

رتبه‌بندی پارامترهای هیدرولوژیکی حوضه آبریز و مشخصات هیدرولیکی پل در پتانسیل رخداد سیل جهت بازرسی پل‌های رودخانه‌ای

مقاله پژوهشی

امیر محجوب*، استادیار، پژوهشکده حمل و نقل، مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی، تهران، ایران
ندا خادم گرایلی، دانش آموخته کارشناسی ارشد، پژوهشکده حمل و نقل، مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی، تهران، ایران
*پست الکترونیکی نویسنده مسئول: a.mahjoob@bhrc.ac.ir

دریافت: ۹۹/۰۹/۲۷ - پذیرش: ۱۴۰۰/۰۲/۰۵

صفحه ۱۰-۱

چکیده

پل‌های رودخانه‌ای بدلیل واقع شدن در یک محیط آبی دینامیک و در زیر یک محیط ترافیکی دینامیکی، از آسیب‌پذیری زیادی برخوردار می‌باشد. علت اصلی تخریب پل‌های مذکور، عمدتاً وقوع سیلاب و مسایل هیدرولیکی مرتبط با آن است. جهت مقابله با این موضوع و حرکت در جهت مدیریت دارایی‌های زیرساختی، انجام بازرسی هیدرولیکی پل می‌تواند در تعیین نقاط آسیب‌پذیر بسیار موثر باشد. در این مقاله پارامترهای هیدرولوژیکی مشخصات حوضه آبریز، مشخصات کلی هیدرولیکی پل، مشخصات هیدرولیکی پایه‌ها و کوله‌های پل که در پتانسیل رخداد موثر هستند، پیشنهاد و رتبه‌بندی شده‌اند. از موارد مطرح شده می‌توان در تهیه چک لیست بازرسی پل‌های رودخانه‌ای و در نهایت اولویت‌بندی خطرپذیری پل‌های رودخانه‌ای استفاده کرد. بررسی‌ها نشان می‌دهد کل خروجی مطالعات هیدرولوژیکی حوضه آبریز به عنوان یک واحد تاثیر گذار طی فرآیند بازرسی پل و در نهایت اولویت‌بندی خطرپذیری پل مطرح می‌گردد درحالی که مشخصات کلی پل، مشخصات پایه‌ها و مشخصات کوله‌ها به ترتیب چهار واحد، پنج واحد و سه واحد تاثیر گذار در بازرسی پل و اولویت‌بندی خطرپذیری پل دارند که اهمیت موارد مذکور را نسبت به شاخص هیدرولوژیکی حوضه آبریز بیان می‌کند.

واژه‌های کلیدی: بازرسی، پل‌های رودخانه‌ای، سیلاب، ارزیابی هیدرولیکی، ارزیابی هیدرولوژیکی

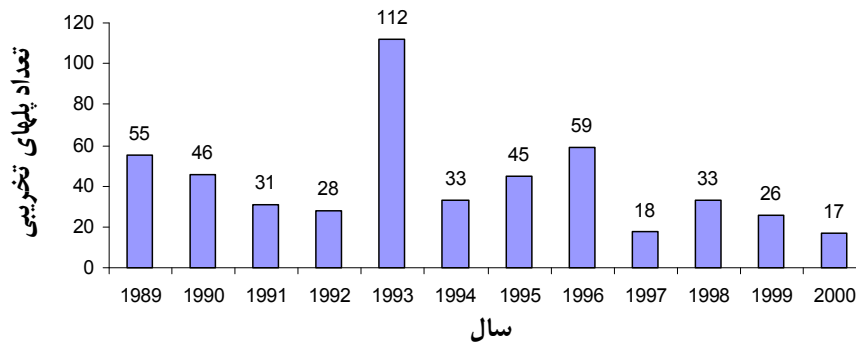
۱- مقدمه

طول دوره ۱۲ ساله، ۱۱۲ مورد (۲۲ درصد) در سال ۱۹۹۳ رخ داده است که غیر طبیعی به نظر می‌رسید. تحقیقات بیشتر نشان داد که اغلب تخریب پل‌ها در سال ۱۹۹۳ در اثر وقوع سیل در برخی ایالات غربی آمریکا رخ داده است. در آن سال رودخانه‌های می‌سی‌سی‌پی و می‌سوری و زیرشاخه‌هایشان در چندین ایالت در غرب آمریکا طغیان کردند. سال ۱۹۹۶ در رده بعدی تخریب پل‌ها بود و در آن سال نیز سیلاب‌های متعددی رخ داده بود. در جمع‌بندی انجام شده، مهمترین عوامل تخریب پل‌ها، دلایل هیدرولیکی اعلام شد. به‌طورکلی وقوع سیلاب، آبستگي و انباشت آشغال و الوار در محل پل

تخریب اغلب پل‌ها نه به‌دلایل سازه‌ای، اجرائی و ژئوتکنیکی بلکه به دلیل در نظر نگرفتن نقش عوامل هیدرولیکی در طراحی پل‌ها می‌باشد. قطع راه‌های ارتباطی در اثر تخریب پل در زمان سیلاب بجز وارد آوردن خسارات جانی و مالی، موجب تاخیر و یا عدم امکان کمک رسانی به سیل زدگان می‌گردد (غیائی، ۱۳۸۷). به عنوان نمونه می‌توان به تحقیقی که در سال ۲۰۰۳ بر روی ۵۰۳ پل تخریب شده بین سال‌های ۱۹۸۹ تا ۲۰۰۰ در آمریکا انجام گرفت، اشاره کرد. طول عمر این پل‌ها بین ۱ تا ۱۵۷ سال و متوسط عمر این پل‌ها ۵۲/۵ سال بوده است. مطابق شکل (۱) از ۵۰۳ پل تخریب شده در

شدند و آسیب‌های زیادی به زیرساخت‌های کشور وارد شد (غلامی و همکاران، ۱۳۹۸). در شکل (۲) نمونه‌ای از تجمع آشغال و الوار در اطراف پایه‌ها که می‌تواند سبب تنگ‌شدن دهانه عبوری جریان و در نهایت تشدید آبشستگی شود، نشان داده شده است. در شکل (۳) نیز نمونه‌ای از پل تخریب شده در مازندران طی سیلاب سال ۱۳۹۸ در اثر آبشستگی نشان داده شده است.

از دلایل اصلی تخریب ۵۳ درصد این پل‌ها بوده است (Wardhana and Hadipriono, 2003) در بررسی دیگری نشان داده شد که تقریباً اکثر خرابی‌های پل در ترکیه مربوط به پل‌های رودخانه‌ای بود که عمدتاً توسط عوامل مختلف هیدرولیکی مانند آبشستگی بیش از حد در اطراف پایه‌های پل و انباشت آشغال و الوار ایجاد شده است (Akay et. al., 2019). در ایران نیز عمده تخریب پل‌ها ناشی از سیلاب است. در بارش‌های رخ داده در اواخر اسفند ۱۳۹۷ و فروردین ۱۳۹۸ تعداد زیادی از پل‌های رودخانه‌ای تخریب



شکل ۱. توزیع شکست پل برحسب سال تخریب (Kumalasar Wardhana, 2003)



شکل ۲. تجمع آشغال و الوار در اطراف پایه پل در سیلاب فروردین ۱۳۹۸ (غلامی و همکاران، ۱۳۹۸)



شکل ۳. تخریب کامل پل و دیوار هدایت آب آن بالارستم - کیاکلاه در سیلاب فروردین ۱۳۹۸ (غلامی و همکاران، ۱۳۹۸)

تعداد خرابی‌های فاجعه بار پل ناشی از سیل، امروزه بر ارزیابی آبستگي پل بیشتر تأکید شده و مطالعات مختلفی برای ارزیابی پایداری رودخانه و شرایط کانال انجام شده است. در دو دهه گذشته تحقیقات بر روی توسعه روش‌های ارزیابی آبستگي پل و تخمین آسیب‌پذیری در اثر آن متمرکز بوده است (Manfreda et. al., 2018). در سال ۱۹۹۵، لاگاس و همکاران روشی سه سطحی برای ارزیابی پایداری کانال در مجاورت پل‌ها ارائه نمودند که در آن مفاهیم ژئومورفیک و تجزیه و تحلیل کیفی در سطح یک، جنبه‌های هیدرولوژیکی، هیدرولیکی و انتقال رسوب در سطح دو، و مطالعات مدل‌سازی ریاضی و فیزیکی در سطح سه ارزیابی می‌شدند (Lagasse et. al., 1995). جانسون در سال ۲۰۰۵ یک روش ارزیابی مقدماتی درباره پایداری رودخانه و رتبه‌بندی پایداری کانال در مجاورت پل‌های موجود در سراسر ایالات متحده توسعه داد که در آن پایداری کانال با استفاده از سیزده شاخص عملکرد و خصوصیات حوضه آبریز و سیلاب‌دشت، رفتار رودخانه، الگوی کانال و محدود شدن عرض آن ارزیابی می‌گردید (Johnson, 2005).

راهنمای مرجع بازرس پل، مرجع اصلی بازرسی انواع پل و کالورت در ایالات متحده محسوب می‌شود (FHWA, 2012). در فصل سیزدهم این راهنما بازرسی و ارزیابی آبراهه، کانال و اجزاء آن بطور مشروح مورد بحث قرار گرفته است. این فصل در بازرسی پل‌های رودخانه‌ای کاربرد دارد. بازرسی زیر آب و روش انجام آن نیز در این بخش ارائه گردیده است. اهداف بازرسی آبراهه به صورت تشخیص آسیب‌های بحرانی، ثبت شرایط موجود و در نهایت پیمایش تغییرات کانال تعیین شده است. خصوصیات کانال و سیلاب‌دشت به صورت تصویری توضیح داده شده است. تعاریف مربوط به روش‌های مقاوم‌سازی بستر و اصلاح رودخانه بیان گردیده و عوامل مهم در عملکرد آبراهه بررسی شده است. انواع مختلف آبستگي بستر و سواحل مدنظر قرار گرفته و اثرات آن شامل آب‌کنی، نشست و تخریب ارائه گردیده است. اطلاعات و تجهیزات مورد نیاز، روش‌های بازرسی و توضیحات ضروری، مدنظر قرار گرفته است. در قسمت ارزیابی تمرکز اصلی بر روی آبستگي است. مطالبی در مورد آبروها و خاکریزهای دسترسی نیز آورده شده است.

از آنجا که پل‌ها از زیرساخت‌های اصلی ارتباطی محسوب شده و بروز هر گونه اشکال و وقفه در عملکرد آن‌ها می‌تواند موجب قطع ارتباط و وارد آمدن خسارت اقتصادی هنگفت شود، لذا لزوم بازرسی، نگهداری مداوم آنها و ارزیابی مستمر وضع موجود پل‌ها اهمیتی زیادی پیدا می‌کند. همچنین، هزینه اولیه صرف شده برای احداث پل‌ها صرفاً در صورت حفظ عملکرد بلند مدت و عمر مفید طولانی آنها توجیه‌پذیر است. این موارد برای پل‌های رودخانه‌ای بدلیل پیچیدگی‌های اندرکنش جریان آب، سازه پل و خاک بستر رودخانه از اهمیت بیشتری برخوردار است. بدون بازرسی و ارزیابی وضع پل در هر زمان و تشخیص میزان فرسایش، خرابی‌ها و آسیب‌های وارد آمده به آن در طی مدت عملکرد آن، رسیدن به شرایط مطلوب ناممکن است. می‌توان گفت میزان تأثیر مثبت عملیات نگهداری و بهسازی عملکرد یک پل تابعی از اعتبار و دقت بازرسی و ارزیابی‌های صورت گرفته است. پیرامون مسایل هیدرولیکی پل، مطالعات متعددی در داخل و خارج از کشور انجام شده است که با استفاده از آن‌ها می‌توان به شناخت هرچه بیشتر عوامل تأثیرگذار در عملکرد هیدرولیکی پل پرداخت و نهایتاً معیارهای لازم جهت بررسی و بازرسی پل را تعیین نمود. در ادامه به برخی از مطالعات مذکور اشاره شده است. برای مدیریت کارآمد پل به عنوان یک دارایی، بسیاری از کشورها، بسته به نیاز، سیستم‌های مدیریت پل خود را ایجاد کردند. برخی نیز سیستم‌های پر کاربرد و شناخته شده ساینرین را به کار گرفتند. در یک سیستم مدیریت پل سنتی، چهار معیار وجود دارد: فهرست دارایی، بازرسی، نگهداری و بهینه‌سازی که در بین آن‌ها فهرست دارایی به عنوان مهمترین بخش در نظر گرفته می‌شود که در آن پایگاه داده دقیق، کلیه ویژگی‌های المان‌های پل جمع‌آوری می‌شود (Pregolato, 2019). در سراسر جهان، کشورهای مختلف مانند فرانسه، ایتالیا، تایوان و هند هنوز در تلاش هستند تا پایگاه داده پل ملی خود را برای بهبود مدیریت دارایی‌های خود توسعه دهند (Orcesi and Cremona, 2011). در حال حاضر، اتحادیه اروپا، دارایی‌های زیرساختی متنوع و سیستم‌های مدیریت پل مختلفی دارد که اکثر آن‌ها عمدتاً بر پایش سلامت سازه‌ای متمرکزند و خطرات مربوط به آب مانند آبستگي در پی پل و انباشت آشغال و الوار را کمتر در نظر می‌گیرند. با افزایش

آبخیز، و شکل هیدروگراف، که همه به طور مستقیم بر فرایندهای هیدرولوژیکی بارش- رواناب و سیل تأثیر می‌گذارد، با استفاده از پارامترهای مورفومتریکی ساده می‌شود (Akay et. al., 2019). بنابراین، پارامترهای مورفومتریکی حوضه آبریز پل‌های رودخانه‌ای در ارزیابی پتانسیل‌های سیلاب ناگهانی آن حوضه‌های آبخیز در نظر گرفته شد. پارامتر شاخص مورفومتریکی (MI) با استفاده از فاکتورهای مانند نسبت انشعاب (R_b)، تراکم زهکشی (D_d)، فراوانی رودخانه (F_s)، نسبت بافت (T)، ضریب چگالی ρ ، طول جریان سطحی (روی زمین) (L_o)، نسبت کشیدگی (E_r)، فاکتور شکل (S_f)، فاکتور فرم (F_f)، ضریب فشردگی (C_c)، نسبت گردی (C_r) و نسبت عرض به طول (WL_r) معرفی گردیده است (۴۲).

پارامترهای بیان شده به صورت زیر تعریف می‌شوند:

۱- نسبت انشعاب (R_b): نسبت تعداد شاخه‌های رودخانه از یک مرتبه معین به تعداد شاخه‌های رودخانه از یک مرتبه بزرگتر ($R_b = \frac{N_u}{N_{u+1}}$) (Strahler, 1957). این نسبت می‌تواند از ۲ برای حوضه‌های آبریز در دشت تا ۳ و ۴ در حوضه‌های آبریز کوهستانی باشد.

۲- تراکم زهکشی (D_d): طول رودخانه به مساحت حوضه آبریز ($\frac{\sum L_u}{A}$) (Horton, 1932)

۳- فراوانی رودخانه (F_s): نسبت تعداد کل رودخانه‌ها به مساحت حوضه آبریز ($\frac{\sum N_u}{A}$) (Horton, 1932)

۴- نسبت بافت (T): نسبت تعداد رودخانه‌های مرتبه یک به محیط حوضه آبریز ($\frac{N_1}{P}$) (Schumm, 1956)

۵- ضریب چگالی ρ : نسبت بین نسبت طول رودخانه به نسبت انشعاب ($\frac{L_{ur}}{R_b}$) (Horton, 1945)

۶- طول جریان سطحی (روی زمین) (L_o): برابر است با نصف معکوس تراکم زهکشی ($\frac{A}{2L_u}$) (Horton, 1945)

۷- نسبت کشیدگی (E_r): نسبت بین قطر دایره معادل سطح حوضه آبریز به حداکثر طول حوضه آبریز ($\frac{1.128A^{0.5}}{L}$) (Schumm, 1956)

۸- فاکتور شکل (S_f): نسبت مربع حداکثر طول حوضه آبریز به مساحت حوضه آبریز ($\frac{L^2}{A}$) (Horton, 1945)

۹- فاکتور فرم (F_f): نسبت مساحت حوضه آبریز به مربع حداکثر طول حوضه آبریز ($\frac{A}{L^2}$) (Horton, 1945)

در سال ۲۰۱۹ آکای و همکارانش یافته‌های یک پروژه تحقیقاتی در مورد پل‌های رودخانه‌ای در ترکیه را ارائه کردند و جزئیات روش بازرسی- ایمنی که بر اساس عوامل هیدرولوژیکی و هیدرولیکی توسعه یافته است را ارائه نمودند. روش بازرسی- ایمنی توسعه یافته، از چهار قسمت اصلی تشکیل شده است: (۱) ارزیابی هیدرولوژی و پتانسیل سیل حوضه آبریز، (۲) پایداری رودخانه، (۳) ویژگی‌های پل و (۴) یک ارزیابی سریع آبستگي که ضمناً ارزیابی سازه‌ای را نیز شامل می‌شود. برای بازرسی دقیق و کاربرد روش، پنج پل رودخانه‌ای انتخاب شدند و نتایج نشان داد که این روش می‌تواند پل‌ها را به لحاظ نیازهای تعمیر و نگهداری شناسایی و رتبه بندی کند و اطلاعات جامعی برای مهندسان پل جمع‌آوری نماید (Akay et. al., 2019).

در این مقاله شاخص‌های هیدرولوژیکی حوضه آبریز، شاخص‌های کلی پل، شاخص‌های مربوط به پایه‌ها و کوله‌های پل بررسی و در هر مورد نحوه طبقه‌بندی پل در شرایط مختلف ارائه شده است. بر اساس مطالبی که ارائه خواهد شد، با انجام مطالعات هیدرولوژیکی و انجام بازرسی از پل، می‌توان اولویت‌بندی خطرپذیری پل را از منظر موارد مذکور انجام داد.

۲- مشخصات هیدرولوژیکی حوضه آبریز

برای ارزیابی هیدرولوژیکی یک حوضه آبریز که خروجی آن در مقطع پل رودخانه‌ای قرار دارد، استفاده از شاخص‌های هیدرولوژیکی متعددی مد نظر قرار گرفت. در نهایت شاخص مورفومتریکی (ریخت شناسی)، شاخص کاربری زمین حوضه آبریز، شاخص پوشش حوضه آبریز، شاخص نوع و مقدار بارش‌های حوضه آبریز، تاریخچه زمین لغزش و سیلاب، و شاخص سازه‌های مربوط به مخازن و نگهداری آب در حوضه آبریز انتخاب شدند.

۱-۲- شاخص مورفومتریکی

شاخص مورفومتریکی به عنوان میانگین پارامترهای مورفومتریکی حوضه آبریز پل تعریف شده و به عنوان شاخص استفاده می‌شود زیرا پتانسیل جریان، ظرفیت نفوذ، شرایط آب و هوایی، ساختار زمین‌شناسی، پستی و بلندی، لایه زیرسطحی غیرقابل نفوذ، ظرفیت ذخیره کانال در حوضه

۳- توسعه شهری قابل توجه در حوضه آبریز ایجاد شده است و جنگل‌ها از بین رفته و همچنین فعالیت‌های کشاورزی و دامی وجود دارد.

۴- توسعه شهری متراکم و صنعتی‌سازی در حوضه آبریز وجود آمده است. فعالیت‌های کشاورزی و دامداری وجود دارد و در حوضه آبریز مرتع و چمنزار وجود دارد.

۲-۳- پوشش حوضه آبریز

پوشش گیاهی حوضه آبریز تاثیر مهمی در کنترل سیلاب دارد. پوشش گیاهی به صورت‌های مختلفی می‌تواند باشد که طبقه‌بندی آن به صورت زیر پیشنهاد شده است. مورد شماره یک بهترین حالت برای کنترل سیلاب و مورد شماره چهار ضعیف‌ترین حالت می‌باشد:

- ۱- پوشش گیاهی طبیعی بدون تغییرات و یا با تغییرات کم بوده و زمین اکثراً مسطح یا با شیب ملایم است.
- ۲- خرابی نادر در ساختار طبیعی حوضه آبریز وجود دارد و حوضه آبریز تا حدی ناهموار با شیب متوسط است.
- ۳- در حوضه آبریز خرابی مداوم جنگل، افزایش مراتع و چمنزارها مشاهده می‌شود و تپه، فلات و شیب‌های تند وجود دارد.
- ۴- در حوضه آبریز خرابی شدید یا نبود پوشش گیاهی منظم دیده می‌شود و کوهستانی بودن با شیب تند از ویژگی‌های آن است.

۲-۴- نوع و مقدار بارش‌های حوضه آبریز، تاریخچه زمین

لغزش و سیلاب

بارش‌ها با شدت کم و مدت طولانی‌تر از لحاظ رخداد سیلاب ایمن‌تر از بارش‌های با شدت زیاد و مدت کم هستند. تاریخچه زمین‌لغزش در حوضه آبریز هم می‌تواند نشانه‌ای از پتانسیل رخداد سیل باشد. موارد مذکور به صورت زیر طبقه شده‌اند که در این موضوع نیز، مورد شماره یک کمترین پتانسیل وقوع سیل و مورد شماره چهار بیشترین پتانسیل وقوع سیل در حوضه آبریز را دارد:

- ۱- عمدتاً خشکی زیادی در طول سال حاکم بوده و بارش‌های طولانی و کم شدت رخ می‌دهد. فاصله زمانی بین وقوع سیلاب‌ها بیش از ۵۰ ساله است.

۱۰- ضریب فشردگی (C_c): نسبت بین محیط حوضه آبریز به محیط دایره معادل سطح حوضه آبریز ($\frac{0.282P}{A^{0.5}}$) (Patel et al., 2013)

۱۱- نسبت گردی (C_r): نسبت مساحت حوضه آبریز به مساحت دایره‌ای که محیط آن با محیط حوضه آبریز برابر باشد ($\frac{12.566A}{P^2}$) (Patel et al., 2013)

۱۲- نسبت عرض به طول (WL_r): نسبت بین عرض به حداکثر طول حوضه آبریز ($\frac{W}{L}$) (Al-Saif, 2010)

برخی از پارامترهای شاخص مورفومتریک مانند D_d , R_b , C_r و F_f , E_r , T , F_s (پارامترهای گروه یک) یک رابطه خطی با وقوع سیلاب ناگهانی دارند درحالی‌که بقیه پارامترها (پارامترهای گروه دو) رابطه معکوس با رخداد سیلاب ناگهانی دارند. بنابراین پتانسیل رخداد سیلاب ناگهانی در حوضه آبریز با افزایش پارامترهای گروه یک، افزایش می‌یابد درحالی‌که با افزایش پارامترهای گروه دو، پتانسیل رخداد سیل کاهش می‌یابد. باید تمام پارامترهای مورفومتریک برای هر زیرحوضه محاسبه شده و براساس تاثیر پارامترها بر پتانسیل رخداد سیل در زیرحوضه، رتبه‌بندی شوند. شاخص مورفومتریک به صورت میانگین مقادیر رتبه‌بندی شده محاسبه می‌گردد. بدین ترتیب، شاخص مورفومتریک با پتانسیل رخداد سیل نسبت مستقیم دارد بنابراین هرچه میزان شاخص مورفومتریک کمتر باشد، پتانسیل رخداد سیل کمتر خواهد بود.

۲-۲- کاربری زمین حوضه آبریز

در یک تقسیم‌بندی کلی، کاربری زمین حوضه آبریز در تعیین پتانسیل رخداد سیل را می‌توان به موارد زیر طبقه‌بندی کرد. در این تقسیم‌بندی مورد شماره یک کمترین پتانسیل رخداد سیل و مورد شماره چهار بیشترین پتانسیل رخداد سیل از نظر کاربری زمین حوضه آبریز را دارد (Akay and Baduna Kocyigit, 2020):

- ۱- حوضه آبریز بدون تخریب بوده و فعالیت‌های انسانی در آن وجود ندارد و یا کم است.
- ۲- جنگل در حوضه آبریز به صورت محدودی از بین رفته است و تغییرات جزئی به دلیل زمین‌های کشاورزی و مداخلات دامی و انسانی در آن ایجاد شده است.

نکته بسیار مهم اینست که حاصل بررسی‌های بیان شده در بندهای ۱-۲ تا ۵-۲ باید به عنوان یک واحد تاثیر گذار در تعیین اولویت‌بندی خطرپذیری پل، مطرح شود. بدین ترتیب که پس از انجام بررسی‌های مذکور شرایط هیدرولوژیکی حوضه آبریز پل به صورت یکی از رتبه‌های "عالی"، "خوب"، "متوسط" و یا "ضعیف" در اولویت‌بندی خطرپذیری پل موثر خواهد بود (Akay et. al., 2019).

۳- مشخصات کلی پل، مشخصات پایه‌ها و کوله‌ها

برخی از خصوصیات پل‌های رودخانه‌ای می‌توانند باعث تشدید آبهستگی موضعی در اطراف پی‌ها شوند. موقعیت پل، فاصله میاندر بالادست تا پل، بیه پل، وضعیت جریان در دهانه‌ها و مشخصات پایه‌ها و کوله‌ها به عنوان شاخص‌های مشخصات پل هستند. بررسی منابع نشان می‌دهد که سه مورد اول از خصوصیات مهم پل هستند. به عنوان مثال زاویه بیه پل‌های رودخانه‌ای می‌تواند به دلیل محدودیت‌های توپوگرافی یا اقتصادی، تا ۵۰ درجه افزایش یابد. در موارد بسیاری مشاهده شده است که اغلب پل‌های از بین رفته، زاویه بیه بیش از ۱۰ درجه داشتند. تحقیقات نشان داد که عرشه یک پل با بیه ۱۵ درجه، حداکثر عمق آبهستگی را تحت شرایط جریان مستغرق تا ۵۷ درصد افزایش می‌دهد (Akay et. al., 2019). دهانه پل نیز ویژگی مهم دیگری است که باید تا حد امکان بزرگ باشد و به دلیل ته‌نشینی رسوب یا انباشت آشغال و الوار تنگ نشده باشد تا امکان عبور جریان اضافی، خصوصاً در هنگام سیلاب‌ها، فراهم باشد. در غیر این صورت، شرایط جریان مستغرق، شدت جریان را افزایش می‌دهد و آبهستگی بیشتر می‌تواند منجر به آبهستگی بیش از حد اطراف پایه‌ها شود و ممکن است نیاز باشد برای تأمین ایمنی عمومی، پل با تحمل هزینه‌های عملیاتی و زمانی اضافی بسته شود. راستای کانال، مشخصات هندسی و قابل مشاهده بودن پایه‌ها، شدت آبهستگی و وجود اقدامات متقابل در اطراف پایه‌ها نیز از شاخص‌های مهم پایداری رودخانه و آبهستگی موضعی هستند. قابل مشاهده بودن پایه‌ها نیز مهم است زیرا ممکن است لازم باشد در بازرسی‌ها، شدت آبهستگی در اطراف پایه‌ها بررسی شود. به علاوه، در فضولی که جریان کم است،

۲- باران بهاری و پاییزی سنگین و کوتاه مدت می‌باشد. بارش برف در حوضه آبریز کم بوده و فاصله زمانی بین وقوع سیلاب‌ها بین ۲۵ تا ۵۰ سال است.

۳- باران و برف شدید و کوتاه مدت در اکثر مدت سال در حوضه آبریز رخ می‌دهد. زمین لغزش در منطقه دیده می‌شود و فاصله زمانی بین وقوع سیلاب‌ها بین ۱۰ تا ۲۵ سال است.

۴- باران‌های شدید و کوتاه مدت در طول سال وجود دارد. بارش برف زیاد بوده و زمین لغزش‌های شدید دیده می‌شود. فاصله زمانی بین وقوع سیلاب‌ها کمتر از ۱۰ سال است.

۲-۵- سازه‌های مربوط به مخازن و نگهداری آب در حوضه آبریز:

وجود سازه‌های مهم آبی در حوضه آبریز می‌تواند تاثیر بسزایی بر پتانسیل رخداد سیل داشته باشد. از جمله این سازه‌ها، نیروگاه‌های برق آبی، سدها و حوضچه‌های نگهداشت سیلاب است. طبقه‌بندی مربوط به این موضوع در حالتی که مورد شماره یک کمترین پتانسیل رخداد سیل و مورد شماره چهار بیشترین پتانسیل رخداد سیل در حوضه آبریز را دارد، به شرح زیر است:

۱- نیروگاه‌های برق آبی یا سد در حوضه آبریز وجود ندارد و فقط استخرها یا حوضچه نگه‌داشت سیلاب کم ظرفیت که از پل دورند، وجود دارد.

۲- نسبت سطح آب ناحیه نیروگاه‌های برق آبی، سطح برکه یا حوضچه نگه‌داشت سیلاب به سطح حوضه آبریز کمتر از ۰/۵ درصد بوده و از محل پل دور می‌باشد.

۳- نیروگاه‌های برق آبی متوالی بوده و مساحت سطح آب آن‌ها به مساحت حوضه آبریز بیشتر از ۰/۵ درصد و کمتر از یک درصد بوده و نزدیک به محل پل می‌باشد به طوری که جریانی که از زیر پل عبور می‌کند، تحت تأثیر قرار می‌گیرد.

۴- سدها و نیروگاه‌های برق آبی متوالی بوده و نسبت مساحت سطح آب آن‌ها به مساحت حوضه آبریز بیشتر از یک درصد بوده و بسیار نزدیک به محل پل می‌باشد به طوری که جریانی که از زیر پل عبور می‌کند و بستر جریان، تحت تأثیر قرار می‌گیرند.

۳-۲- مشخصات پایه‌ها و کوله‌ها:

در جداول (۲) و (۳) به ترتیب مشخصات پایه و کوله پل که می‌تواند در عملکرد پل در مواقع سیلابی موثر باشند، ارائه و طبقه‌بندی شده است. در این جداول نیز "عالی" به معنای اینست که با توجه به مشخصه پایه و کوله، پل تا حد زیادی از خطرات سیلاب مصون است و "ضعیف" بدین معناست که پل به شدت متاثر از آثار مخرب سیلاب خواهد بود. همانطور که پیش از این بدان اشاره شد، از بررسی‌های هیدرولوژیکی حوضه آبریز، یکی از رتبه‌های "عالی"، "خوب"، "متوسط" و یا "ضعیف" برای شرایط پل از تعیین می‌شود. از بررسی‌های بیان شده در بند ۳ نیز دوازده شاخص دیگر با بازرسی از محل پل تعیین می‌شوند که می‌توان از آن‌ها با وزن یکسان در اولویت‌بندی خطرپذیری پل از منظر موارد بیان شده، استفاده کرد (Akay et. al., 2019).

مطالعات بازرسی در اطراف کوله‌ها آسان‌تر انجام می‌شود. اما گاهی لازم است عوامل محیطی مؤثر بر کوله‌ها و شرایط خاکریز دسترسی نیز از نظر آسیب پذیری کوله در برابر فرسایش بررسی شوند.

۳-۱- مشخصات کلی پل

موقعیت پل، فاصله میاندر بالادست تا پل (Johnson, 2005)، بیه پل و وضعیت جریان در دهانه‌های پل پارامترهایی هستند که در آسیب‌پذیر بودن پل از لحاظ سیلاب موثرند. طبقه‌بندی پارامترهای مذکور از لحاظ میزان تاثیرپذیری بر پل مطابق جدول (۱) است. در این جدول "عالی" به معنای اینست که پل تا حد زیادی از خطرات سیلاب مصون است و "ضعیف" بدین معناست که پل به شدت متاثر از آثار مخرب سیلاب خواهد بود.

جدول ۱. طبقه‌بندی مشخصات کلی پل که بر آسیب‌پذیری آن ناشی از سیلاب موثرند

شاخص مشخصات کلی پل	عالی	خوب	متوسط	ضعیف
موقعیت پل	پل بر روی دریا یا دریاچه قرار دارد.	پل بر روی رودخانه-های با شیب ملایم است.	پل بر روی رودخانه‌های دره‌ای است.	پل روی دامنه کوهستانی یا رودخانه با شیب تند قرار دارد.
فاصله میاندر بالادست تا پل (بر حسب متر D_m)	$D_m > 35$	$20 < D_m < 35$	$10 < D_m < 20$	$0 < D_m < 10$
زاویه بیه پل (α)	$0 \leq \alpha \leq 5^0$	$5 < \alpha \leq 10^0$	$10 < \alpha \leq 30^0$	$\alpha > 30^0$
جریان در دهانه‌های پل	عرض دهانه پل کافی بوده و برگشت آب وجود ندارد. جریان سطحی آزاد در دهانه‌ها برقرار است.	عرض دهانه پل کافی بوده و مقداری برگشت آب وجود دارد. جریان سطحی آزاد در دهانه‌ها برقرار است.	سطح آب تا زیر شاه تیر پل بالا آمده و جریان تحت فشار برقرار است.	جریان از روی پل، حداقل یک بار در طول عمر مفید آن عبور کرده بطوریکه نوع جریان سرریزی بوجود آید.

جدول ۲. طبقه‌بندی مشخصات پایه پل که بر آسیب‌پذیری پل ناشی از سیلاب موثرند.

شاخص مشخصات پایه	عالی	خوب	متوسط	ضعیف
نوع پایه، پایه‌های تکی یا گروهی، زاویه بیه	پایه تکی با نوک گرد یا نیم دایره وجود دارد و جدایی جریان وجود ندارد یا ناچیز است.	پایه تکی بدون نوک گرد در بالادست یا پایین‌دست وجود دارد. جدایی جریان مشاهده می‌شود اما گردابه‌های قوی وجود ندارد.	آرایش پایه‌ها ردیفی است. زاویه بیه ندارند. گردابه‌های قوی وجود دارد.	آرایش پایه‌ها ردیفی است. بیه و گردابه‌های قوی وجود دارد.

نسبت طول به عرض پایه	کمتر از ۲	بین ۲ تا ۳	بین ۳ تا ۵	بیشتر از ۵
قابل مشاهده بودن	همیشه قابل مشاهده است.	به دلیل کم بودن عمق آب معمولاً قابل مشاهده است.	فقط در فصل خشک (بدون جریان) قابل مشاهده است.	همیشه زیر آب است و هرگز با چشم قابل مشاهده نیست.
آبستگی	آبستگی صفر یا کم در اطراف پایه‌ها است. لبه پی دیده نمی‌شوند.	آبستگی کم است و لبه‌های پی کمی دیده می‌شوند.	لبه‌های پی دیده می‌شوند و آبستگی زیاد است.	آبستگی بسیار زیاد در اطراف پایه‌ها
اقدامات متقابل در برابر آبستگی	نیازی به اقدامات متقابل در برابر آبستگی نیست.	از سنگ‌های بزرگ برای مقابله با آبستگی استفاده می‌شود و اقدامات کافی و مناسب در برابر آبستگی انجام شده است.	از سنگ‌های بزرگ در برابر آبستگی استفاده می‌شود اما مقابله کافی و مناسب انجام نمی‌شود. اقدامات به خوبی کارآمد نیست.	اقدام متقابل در برابر آبستگی صورت نمی‌گیرد یا نامناسب است.

جدول ۳. طبقه‌بندی مشخصات کوله پل که بر آسیب‌پذیری پل ناشی از سیلاب موثرند.

شاخص مشخصات کوله	عالی	خوب	متوسط	ضعیف
نوع و شرایط حفاظت	دیوار برشی بتن مسلح آسیب ندیده و تغییر شکل ندارد.	آسیب و ترک‌های جزئی در دیوار برشی بتن مسلح بدون تغییر شکل دیده می‌شود.	آسیب و ترک در دیوار برشی بتن مسلح بدون تغییر شکل دیده می‌شود.	آسیب و ترک شدید در دیوار برشی بتن مسلح همراه با تغییر شکل دیده می‌شود.
نشست و شرایط خاکریز دسترسی	نشست یا تغییر شکل قابل مشاهده وجود ندارد.	نشست یا تغییر شکل قابل مشاهده وجود ندارد و برشی جزئی در خاکریز وجود دارد.	برش و تغییر شکل شدید در خاکریز وجود دارد.	نشست و برش شدید در خاکریز وجود دارد. گوۀ خاکریز عمل نمی‌کند.
عوامل فیزیکی و محیطی موثر بر کوله‌ها	بدون تغییر	خسارت جزئی به خاکریز دسترسی به دلیل تعریض راه ایجاد شده است.	نشست به دلیل مشکلاتی مانند زهکشی یا احیای رودخانه رخ داده است.	آسیب در اثر تغییر ساختار رودخانه به دلیل احیای رودخانه و ... دیده می‌شود.

۴- نتیجه‌گیری

هیدرولوژیکی برای پل‌های رودخانه‌ای استفاده نمی‌شود. بنابراین، چنانچه شاخص‌های پیشنهادی از حوضه آبریز، مشخصات کلی پل، مشخصات پایه‌ها و مشخصات کوله‌ها در سیستم مدیریت پل پیاده‌سازی شود، قادر است با توجه به مقدار فعالیت و محدودیت‌های بودجه‌ای اداره کل راهداری، یک پایگاه داده جامع برای اینگونه پل‌ها فراهم نماید. در روش پیشنهادی، کل عوامل هیدرولوژیکی حوضه آبریز به

در جهان سیستم مدیریت پل‌های زیادی وجود دارد، از انواع بسیار پیشرفته با اندازه‌گیری‌های دقیق و سیستم‌های تصمیم‌گیری قوی گرفته تا سیستم‌های بسیار ساده که فقط بازرسی‌های اولیه چشمی انجام می‌دهند. ویژگی‌های سیستم مدیریت پل به خصوصیات پل، نیاز و پیش‌بینی‌های آینده کشور و بودجه آن بستگی دارد. عموماً در سیستم‌های مدیریت پل موجود به اندازه کافی از عوامل هیدرولیکی و

-FHWA, (2012), "Bridge Inspector's Reference Manual", Vol. 1, NHI 12-049 & Vol. 2, NHI 12-050.

-Horton, R. E., 1932, "Drainage basin characteristics", Transactions American Geophysical Union, Vol. 13, No. 1, pp. 350-361.

- Horton, R. E., (1945), "Erosional development of streams and their drainage basins, hydro physical approach to quantitative morphology", Geological Society of America Bulletin, Vol. 56, No. 3, pp. 275-370.

- Johnson, P.A., (2005), "Preliminary Assessment and Rating of Stream Channel Stability", Journal of Hydraulic Engineering, Vol. 131, No. 10, pp. 845-852.

-Lagasse, P.F., Schall, J.D., Johnson, F., Richardson, E.V., Richardson, J.R. and Chang, F., (1995), "Stream Stability at Highway Structures", 2nd ed., Department of Transportation, Federal Highway Administration, Washington, DC, USA.

- Manfreda, S., Link, O. and Pizarro, A., (2018), "A Theoretically Derived Probability Distribution of Scour", Water, Vol. 10, No. 11, 1520.

-Orcesi, A.D., Cremona, C.F., (2011), "Optimization of Maintenance Strategies for the Management of the National Bridge Stock in France", Journal of Bridge Engineering, Vol. 16, No. 1, pp. 44-52.

- Patel, D. P., Gajjar, C. A., and Srivastava, P. K., (2013), "Prioritization of Malesari mini-watersheds through morphometric analysis: A remote sensing and GIS perspective", Environmental Earth Sciences, Vol. 69, No. 8, pp. 2643-2656.

-Pregnotato, M., (2019), "Bridge Safety is Not for Granted—A Novel Approach to Bridge Management", Engineering Structures, Vol. 196, 109193.

- Schumm, S. A., (1956), "Evolution of drainage systems and slopes in badlands at Perth Amboy, New Jersey", Geological Society of America Bulletin, Vol. 67, No. 5, pp. 597-646.

- Strahler, A. N., (1957), "Quantitative analysis of watershed geomorphology", Transactions American Geophysical Union, Vol. 38, No. 6, pp. 913-920.

-Wardhana, K., and Hadipriono, F. C., (2003) "Analysis of Recent Bridge Failures in the United States", Journal of Performance of Constructed Facilities, Vol. 17, No. 3, pp. 151-158.

اندازه یک واحد در تعیین اولویت‌بندی خطرپذیری پل موثر است اما در بقیه عوامل مرتبط با پل، هر شاخص به اندازه یک واحد موثر است. بنابراین میزان تاثیر پذیری اولویت‌بندی خطرپذیری، از عوامل هیدرولوژیکی حوضه آبریز، مشخصات کلی پل، مشخصات پایه‌ها و مشخصات کوله‌ها به ترتیب ۷/۶۹، ۳۰/۷۷، ۳۸/۴۶ و ۲۳/۰۸ درصد است. نکته بسیار مهم اینست که برای بررسی جامع‌تر خطرپذیری پل‌های رودخانه‌ای، باید موارد مربوط به پایداری رودخانه که می‌تواند شامل مشخصات بستر رودخانه، سیلاب‌دشت‌ها، سواحل رودخانه و ... می‌باشد، نیز در نظر گرفته شود.

۵- سپاسگزاری

این مقاله از پروژه تحقیقاتی "راهنمای بازرسی هیدرولیکی پل‌های رودخانه‌ای" استخراج گردیده است. از مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی به جهت حمایت مالی تشکر می‌شود.

۶- مراجع

- غلامی، م.، قدیم، ع.، احمدی، ر.، محجوب، ا.، پوریاری، م.، ایار، پ.، محب‌زاده، ع.ر.، صیادی، ع.ر. و بنی‌زمان، ف.، (۱۳۹۸)، "مجموعه گزارش‌های تخصصی سیلاب‌های فروردین ۹۸، بررسی آسیب‌های راه و ابنیه فنی، گزارش کار گروه حمل و نقل و ابنیه فنی"، مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی، چاپ اول.

- غیائی، ر.، (۱۳۸۷)، "مطالعه موردی هفت پل تخریب شده و یا در حال تخریب و تعیین مکانیسم تخریب"، پژوهشکده حمل و نقل وزارت راه و شهرسازی.

-Akay, H., Baduna Kocyigit, M., (2020), "Hydrologic Assessment Approach for River Bridges in Western Black Sea Basin, Turkey", Journal of Performance of Constructed Facilities, Vol. 34, No. 1, 04019090.

- Akay, H., Kocyigit, M.B. and Yanmaz, A.M., (2019), "Development of a Safety-Inspection Method for River Bridges in Turkey", Water, Vol. 11, pp. 1-24.

-Al-Saif, H. (2010), "Assessing flood vulnerability of Wadi Hanifa Basin and surrounding area, Central Saudi Arabia." Journal of Environmental Hydrology, Vol. 18 (Jan), pp. 1-23.

Ranking of Basin Hydrological Parameters and Hydraulic Characteristics of the Bridge on the Flood Potential for Inspection of River Bridges

Amir Mahjoob, Assistant Professor, Transportation Research Institute, Road, Housing and Urban Development Research Center, Tehran, Iran.

Neda Khadem Geraili, M.Sc., Grad., Transportation Research Institute, Road, Housing and Urban Development Research Center, Tehran, Iran.

E-mail: a.mahjoob@bhrc.ac.ir

Received: June 2021-Accepted: August 2021

ABSTRACT

River bridges are highly vulnerable due to their location in a dynamic aquatic environment and under a dynamic traffic environment. The main reason for the destruction of these bridges is mainly the occurrence of floods and related hydraulic problems. To deal with this issue and move towards infrastructure asset management, hydraulic inspection of the bridge can be very effective in identifying vulnerabilities. In this paper, hydrological parameters of basin characteristics, general hydraulic characteristics of bridges, hydraulic characteristics of bridge piers and abutments that are effective in the event potential are proposed and ranked. These issues can be used in preparing a checklist for inspecting river bridges and finally prioritizing the risk of river bridges. Studies show that the total output of hydrological studies of the basin is considered as an effective unit during the inspection process of the bridge and finally the risk of the bridge is prioritized, while the general characteristics of the bridge, the characteristics of the piers and the characteristics of the abutments are four units, five units and three, respectively effective units in bridge inspection and bridge risk prioritization, which express the importance of the mentioned cases in relation to the hydrological index of the basin.

Keywords: Inspection, River Bridges, Flood, Hydraulic assessment, Hydrological Assessment