شناسایی و تعیین شاخص‌های بازرسی هیدرولیکی مؤثر بر آسیب‌پذیری پل‌های رودخانه‌ای

مقاله علمی – پژوهشی

مهیار جولانی، دانش آموخته کارشناسی ارشد، گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی ومهندسی، دانشگاه بین المللی امام خمینی (ره)، قزوین، ایران

امیر محجوب*، استادیار، مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی، تهران، ایران

فواد کیلانه‌ئی، دانشیار، گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی ومهندسی، دانشگاه بین المللی امام خمینی (ره)، قزوین، ایران

خیراله خادمی، استادیار، مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی، تهران، ایران

*پست الکترونیکی نویسنده مسئول:a.mahjoob@bhrc.ac.ir

دریافت: ۱۴۰۴/۰۴/۰۸- پذیرش: ۱۴۰۴/۰۸/۰۷

صفحه ۲۰-۱

چکیده

پل‌های رودخانه‌ای به دلیل تعامل مستمر با آب و عوامل هیدرولیکی، در معرض تخریب قرار دارند. در گام اول شناسایی شاخص‌های آسیب‌پذیری پل‌های رودخانه‌ای از منظر هیدرولیکی جهت بازرسی هیدرولیکی، در فرآیند نگهداری این سازه‌ها بسیار ضروری است. در این راستا، چک‌لیست جامعی برای ارزیابی شرایط هیدرولیکی پل‌ها استخراج شده و در بازدیدهای میدانی از پل‌های رودخانه‌ای در چهار استان گیلان، اصفهان، آذربایجان غربی و لرستان، اطلاعات مورد نیاز جمع‌آوری و چک‌لیست‌ها تکمیل گردید. یافته‌های این پژوهش نشان می‌دهند که پدیده آبشستگی اطراف پایه‌ها و کوله‌های پل، یکی از تهدیدات عمده هیدرولیکی است که در مواجهه با جریان‌های شدید و سیلاب‌های ناشی از بارش‌های سنگین، به‌ویژه در فصول بارندگی، موجب کاهش پایداری ساختار پل‌ها شده و خطر تخریب آن‌ها را عمدتا در دراز مدت به دنبال دارد. علاوه بر این، عوامل محیطی مانند فقر پوشش گیاهی در اطراف پل‌ها و برداشت بی‌رویه مصالح از بستر رودخانه‌ها، توان مقاومت بستر را در برابر جریان‌های پرقدرت کاهش داده و آسیب‌پذیری پایه‌ها را در برابر پدیده آبشستگی افزایش می‌دهند. انسدادهای رودخانه‌ای، شامل زباله‌ها، الوارهای بزرگ و دیگر اجسام معلق، می‌توانند مسیر جریان را تغییر داده و سرعت آن را افزایش دهند که فشار مضاعفی بر سازه‌های پل وارد کرده و موجب آسیب‌های فیزیکی به آن‌ها می‌گردد. در ارزیابی وضعیت کلی پل‌ها، نتایج نشان داد که از میان پنج پل مورد بررسی، پل راه آهن اصفهان درمجموع وضعیت نامطلوب‌تری داشته و تحت تأثیر پدیده‌های هیدرولیکی چون آبشستگی قرار داشته و برای حفظ ایمنی و کارایی آن‌ها نیاز به بازبینی و اتخاذ اقدامات پیشگیرانه می‌باشد. همچنین پل قوسی رودبار در اکثر شاخص‌ها نسبت به بقیه پل‌ها وضعیت مطلوب‌تری داشته است.

واژه‌های کلیدی: بازرسی، پل‌های رودخانه‌ای، سیلاب، آبشستگی، اولویت‌بندی

1-مقدمه

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. بنابراین بازرسی، نگهداری مداوم آنها و ارزیابی مستمر وضع موجود پل ها 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 و خرابی‌های وارد آمده به آن، رسیدن به شرایط مطلوب ناممکن است. می‌توان گفت میزان تأثیر مثبت عملیات نگهداری و بهسازی یک پل، تابعی از اعتبار و دقت بازرسی و ارزیابی‌های صورت گرفته است (محجوب و گواشیری، ۱٤۰۱).

در این راستا، شناسایی شاخص‌های هیدرولیکی آسیب‌پذیری پل‌ها و ارائه یک چارچوب علمی برای بهبود ایمنی و نگهداری این سازه‌ها در برابر تهدیدات هیدرولیکی ضروری است. در پژوهش‌های مختلف به بررسی تاثیرات سیلاب‌ها بر سازه‌های رودخانه‌ای و پل‌ها پرداخته شده است. سیلاب‌ها معمولاً به دوره بازگشت خاصی وابسته نیستند و پیش‌بینی آن‌ها به دلیل وابستگی به شرایط جریان و بستر رودخانه، دشوار است (جندقی و بایروند، ۱۳۸۷). در تحقیقی بر تأثیر بارش‌های کوتاه‌مدت و بلندمدت بر وقوع سیلاب‌ها تأکید شده است و همچنین به نقش جنس مصالح بستر و پوشش گیاهی در جلوگیری از وقوع سیلاب اشاره شده است (معیری و انتظاری، ۱۳۸۷). همچنین روش‌هایی برای کنترل آبشستگی در اطراف پایه‌های پل‌ها ارائه شده است که شامل استفاده از سنگچین، گابیون، و ساخت ریزشمع‌ها می‌باشد. در این روش‌ها، سنگچین تأثیر قابل توجهی در کاهش آبشستگی دارد (شربیان و همکاران، ۱۳۹٦)، پوشش گیاهی در بستر و حاشیه رودخانه تأثیرات قابل توجهی بر ویژگی‌های هیدرولیکی جریان آب دارد. این پوشش باعث افزایش زبری بستر شده و سرعت جریان کاهش می‌یابد. همچنین پوشش گیاهی می‌تواند پروفیل سرعت و توزیع سرعت لایه‌ای را تغییر دهد و رسوب‌گذاری را افزایش دهد. در برخی موارد، ممکن است موجب بالا آمدن سطح آب و افزایش عمق جریان شود. فرسایش خاک یکی از مسائل محیطی جهانی است که با کاهش پوشش گیاهی تشدید می‌شود. پوشش گیاهی می‌تواند به‌عنوان یک مانع طبیعی از فرسایش خاک جلوگیری کند و از افزایش رواناب و رسوب در رودخانه‌ها بکاهد. (اسمعلی و دیگران، ۱۳۹٤). در مناطقی که پوشش گیاهی در سیلاب‌دشت‌ها رشد می‌کند، زبری سطح افزایش یافته و به‌عنوان چالشی برای مهندسان رودخانه محسوب می‌شود، زیرا ممکن است ظرفیت جریان را کاهش دهد و مشکلاتی در مدیریت سیلاب‌ها ایجاد کند (یونسی و دیگران، ۱۳۹٤). از طرف دیگر وجود الوار و آشغال در جریان سیلاب می‌تواند باعث انسداد در پل‌ها و کاهش ظرفیت عبور آب شود. این موارد باعث تغییرات در رفتار سیلاب و آسیب به سازه‌های هیدرولیکی می‌شوند (روحانی و شیبانی، ۱۳۹۹). علاوه بر آن برداشت منابع شن و ماسه از بستر رودخانه موجب فرسایش بستر رودخانه می‌شود و می‌تواند کیلومترها به پایین‌دست و بالادست رودخانه کشیده شود و این امر باعث تخریب یا تضعیف پل‌ها و سایر سازه‌های رودخانه و مشکلات زیست محیطی می‌شود (اصغری، ۱۳۹۳). بررسی‌ها نشان داده‌اند که برداشت شن از بستر رودخانه، بدون مدیریت صحیح، می‌تواند منجر به کاهش کیفیت خاک، افزایش فرسایش و کاهش پایداری سازه‌ها شود. اکثر عوامل هیدرولیکی در نهایت به صورت آبشستگی بستر بروز کرده و سبب تخریب پل‌ها می‌شود. تغییرات هیدرولیکی ناشی از جریان‌های مختلف، از جمله جریان‌های گردابی، نقش مهمی فرآیند آبشستگی دارند. (زراتی و عزیزی، ۱۳۸۰)

کشورهای مختلف در راستای مدیریت بهینه زیرساخت‌های پل‌های خود، سیستم‌های مدیریت پلِ خاصی را با توجه به نیازها و شرایط بومی خود توسعه داده‌اند. برخی از این کشورها از سیستم‌های شناخته‌شده و معتبر بین‌المللی استفاده کرده‌اند، در حالی که دیگر کشورها به‌طور خاص و مطابق با الزامات محلی خود به طراحی و پیاده‌سازی این سیستم‌ها پرداخته‌اند. به‌طور کلی، سیستم‌های مدیریت پل شامل چهار بخش اصلی و حیاتی هستند: قسمتی که اطلاعات ساختاری و وضعیت پل‌ها را جمع‌آوری می‌کند، بازرسی که ارزیابی دقیق و منظم وضعیت پل‌ها را تضمین می‌کند، نگهداری که برای پیشگیری از آسیب‌های احتمالی و افزایش عمر مفید پل‌ها طراحی شده است، و بهینه‌سازی که در جهت ارتقاء عملکرد و کارایی سیستم‌های پل‌ها در طول زمان است. در برخی از کشورها مانند فرانسه، ایتالیا و هند، تلاش‌های گسترده‌ای برای ایجاد پایگاه‌های داده جامع و یکپارچه به منظور مدیریت بهتر پل‌ها انجام شده است. این پایگاه‌ها شامل اطلاعات ساختاری، هیدرولیکی، محیطی و مدیریتی هستند که به تصمیم‌گیرندگان این امکان را می‌دهند تا برنامه‌های نگهداری و ارتقاء را با دقت بیشتری طراحی کنند. با توجه به تغییرات اقلیمی و افزایش شدت سیلاب‌ها و سایر حوادث طبیعی، بازرسی از پل‌های رودخانه‌ای در آینده اهمیت بیشتری پیدا می‌کند.

در ترکیه، بازرسی پل‌ها در دو سطح انجام می‌شود. سطح اول به شناسایی مشکلات ظاهری و نیازهای فوری تعمیر اختصاص دارد، در حالی که سطح دوم به ارزیابی دقیق‌تر شرایط ساختاری و هیدرولیکی مانند فرسایش و پایداری جریان می‌پردازد. روش‌های بازرسی شامل تحلیل ویژگی‌های هیدرولوژیکی حوضه آبخیز، ارزیابی پایداری جریان در بالادست و پایین‌دست پل و بررسی آسیب‌پذیری پل‌ها در برابر فرسایش می‌باشد. (Akay et. al., 2019)

در آمریکا، بازرسی‌ها تحت نظارت اداره حمل و نقل فدرال به انواع مختلفی تقسیم می‌شود که شامل بازرسی‌های اولیه، روتین، عمیق و اعضای بحرانی است. این بازرسی‌ها به بررسی وضعیت فیزیکی و عملکرد پل‌ها، به‌ویژه در شرایط هیدرولیکی مانند سرعت جریان، فرسایش بستر و آسیب‌های ناشی از سیلاب‌ها می‌پردازد. همچنین، ارزیابی وضعیت پایه‌ها و اجزای زیرآب در این فرآیند ضروری است(FHWA, 2012).

در ایران، شاخص‌های بازرسی پل‌های رودخانه‌ای به ارزیابی ویژگی‌های ساختاری و شرایط هیدرولیکی، از جمله نوع بستر، سرعت جریان، فاصله آزاد و خطرات ناشی از فرسایش و آبشستگی می‌پردازد. عوامل محیطی مانند پوشش گیاهی اطراف پل، برداشت مصالح از بستر رودخانه و شیب کانال نیز در ارزیابی شرایط هیدرولیکی مؤثر هستند.

در هلند، بازرسی پل‌های رودخانه‌ای به‌طور سیستماتیک انجام می‌شود و بر کیفیت سازه‌ای و شرایط هیدرولیکی پل‌ها تأکید دارد. در این کشور، بررسی وضعیت سازه‌ای شامل ترک‌ها، زنگ‌زدگی و فرسایش در مصالح سازه‌ای است که می‌تواند بر ایمنی پل تأثیر بگذارد. همچنین، ارزیابی شرایط هیدرولوژیکی شامل بررسی سرعت جریان، سطح آب و اثرات سیلاب است که می‌تواند بر پایداری پل‌ها تأثیر بگذارد. یکی از مهم‌ترین شاخص‌ها در این بازرسی‌ها، نظارت بر آبشستگی اطراف پایه‌ها است که می‌تواند به کاهش توان باربری پایه‌ها و تهدید سلامت سازه‌ها منجر شود. در کنار این شاخص‌ها، ارزیابی اثرات محیطی مانند زنگ‌زدگی ناشی از رطوبت و تغییرات دما، بررسی وضعیت عرشه، پایه‌ها و کوله‌ها و همچنین استفاده از فناوری‌های نوین مانند پهپادها و حسگرهای هوشمند برای بهبود سرعت و دقت بازرسی‌ها از دیگر مواردی است که در آیین‌نامه هلند لحاظ شده است (Jonkman et. al., 2018).

در این مقاله پس از بررسی تعداد زیادی از پل‌های رودخانه‌ای نسبتا بزرگ کشور، با در نظر گرفتن امکانات موجود در زمینه انجام فرآیند بازرسی هیدرولیک و همچنین قابلیت دستیابی به اطلاعات فنی پروژه‌ها، پنج پل برای انجام مطالعات میدانی انتخاب شدند. از طرف دیگر فرم‌ها و چک لیست‌هایی برای بازرسی پل از منظر هیدرولیکی تهیه شد و با انجام بازدیدهای میدانی برای پنج پل منتخب تکمیل گردید. با توجه به چک لیست‌های تکمیل شده وضعیت هر پل در هر شاخص مشخص و همچنین شرایط پل نسبت به بقیه پل‌ها قابل ارزیابی است.

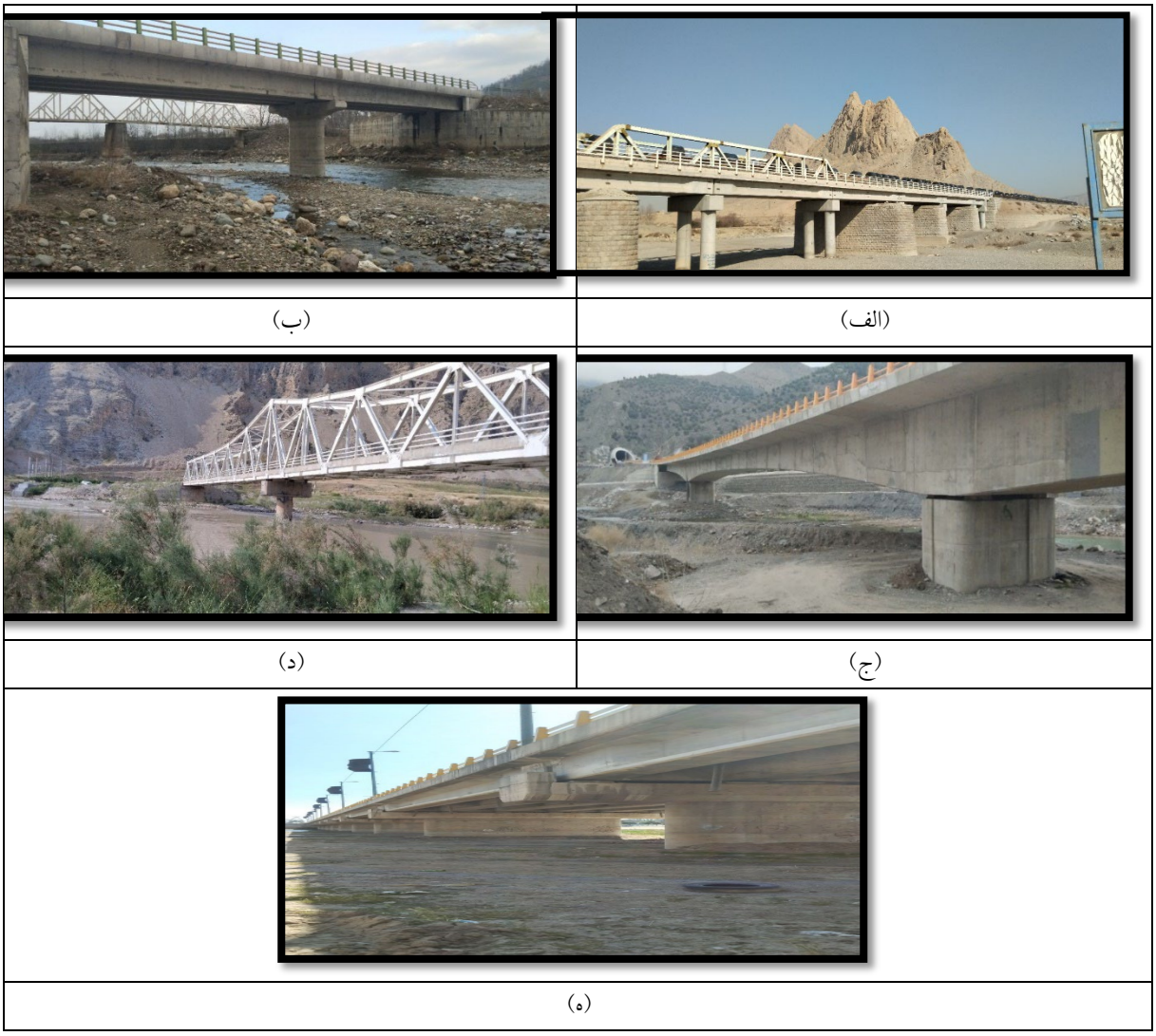
۲- پل‌های مورد مطالعه

در این تحقیق، تعدادی از پل‌های رودخانه‌ای واقع در حوزه‌های مختلف کشور تحت شرایط متنوع جریان مورد بررسی قرار گرفتند. طی سفرهای میدانی، ویژگی‌های حوزه‌ها، جریان رودخانه، و عواملی که به‌طور طبیعی یا انسانی بر پل‌ها تأثیر می‌گذارند، همراه با مشخصات ساختاری پل‌ها، به دقت مشاهده و ارزیابی شدند. از میان این پل‌ها، پنج پل که جزئیات آن‌ها در جدول ۱ و نمای آن‌ها در شکل ۱ ارائه شده است، به‌منظور انجام بازرسی کامل و ارزیابی دقیق شاخص‌های بازرسی هیدرولیکی انتخاب گردیدند. این فرآیند امکان بررسی دقیق‌تر وضعیت پل‌ها و شناسایی نقاط آسیب‌پذیر در برابر عوامل مختلف هیدرولیکی را فراهم ساخت.

درخصوص تمام پل‌های ارایه شده در جدول ۱، حوزه آبریز رودخانه‌ای که پل بر روی آن احداث شده است، بررسی گردید. در ادامه به عنوان نمونه حوزه آبریز رودخانه زرینه رود و کلیاتی درخصوص پل میاندوآب ارایه می‌گردد.

جدول ۱. موقعیت جغرافیایی، نام رودخانه و استان محل استقرار پل‌های بازرسی شده

پل	موقعیت جغرافیایی	رودخانه	استان
پل راه آهن اصفهان	**51°34'10.42"E/32°24'9.72"N**	**زاینده رود**	**اصفهان**
پل سید آباد	**49°16'12.78"E/37°6'22.08"N**	**قلعه رود**	**گیلان**
پل قوسی رودبار	**49°25'12.39"E/36°49'0.54"N**	**سفید رود**	**گیلان**
پل پران پرویز	**47°43'5.51"E/33°14'22.90"N**	**کشکان**	**لرستان**
پل میاندوآب	**46°7'4.42"E/36°57'48.96"N**	**زرینه رود**	**آذربایجان غربی**



شکل ۱. پل‌هایی که جهت انجام بازرسی هیدرولیکی انتخاب شدند، الف) پل راه آهن اصفهان، ب) پل سید آباد، ج) پل قوسی رودبار، د) پل پران پرویز، ه) پل میاندوآب

۲-۱- معرفی پل میاندوآب و حوزه آبریز زرینه رود

پل میاندوآب، واقع بر رودخانه زرینه‌رود در شهرستان میاندوآب، یکی از زیرساخت‌های کلیدی حمل‌ونقل در شمال‌غرب ایران به شمار می‌رود. این پل با طول ۱٦۱ متر و ۱۱ دهانه به عرض متوسط ۱۵ متر، در نزدیکی دریاچه ارومیه و در محل تلاقی استان‌های آذربایجان غربی و شرقی قرار دارد. عرض خط رفت پل حدود ۱۲ متر بوده و عرشه آن با سیستم تیر و دال بتن مسلح ساخته شده است. طراحی پی‌های عمیق و کوله‌های بسته (با قرارگیری کوله چپ در خیابان اصلی و کوله راست در سیلاب‌دشت رودخانه) موجب پایداری بالا در برابر جریان‌های هیدرودینامیکی و سیلاب‌های ناگهانی فصلی شده است. وجود ۹ پایه در بستر رودخانه و یک دهانه در خیابان اصلی، سازه را از نظر استاتیکی و دینامیکی تقویت کرده‌اند. با توجه به اقلیم سرد و خشک و شرایط زمین‌شناسی خاص استان آذربایجان غربی، طراحی و ساخت این پل با ملاحظات ویژه‌ای صورت گرفته است. پل میاندوآب نه‌تنها در تسهیل تردد و اتصال مناطق غربی و شمال‌غرب کشور نقش مؤثری دارد، بلکه از جنبه توسعه اقتصادی، اجتماعی و ترانزیتی نیز حائز اهمیت است. نگهداری دوره‌ای و پایش مستمر عملکرد سازه‌ای، برای تضمین بهره‌برداری بلندمدت از این پل ضروری است.

از طرف دیگر حوضه آبریز زرینه‌رود با وسعتی حدود ۱۱/۰۰۰ کیلومتر مربع، یکی از مهم‌ترین حوضه‌های آبریز در استان آذربایجان غربی محسوب می‌شود و نقش کلیدی در تغذیه

دریاچه ارومیه ایفا می‌کند. زرینه‌رود با طول تقریبی ۳۰۰ کیلومتر، از ارتفاعات زاگرس سرچشمه گرفته و پس از عبور از شهرستان میاندوآب به دریاچه ارومیه می‌ریزد. سرشاخه‌های اصلی آن شامل رودهای چم جغتا، خورخوره و سیمینه‌رود هستند که در تأمین آب منطقه به‌ویژه برای کشاورزی نقش مهمی دارند. اقلیم این حوضه سرد و خشک بوده و بارش‌ها عمدتاً در فصول پاییز و زمستان به‌صورت برف و در بهار به‌صورت باران رخ می‌دهد؛ میانگین بارش سالانه بین ۵۰۰ تا ۱۰۰۰ میلی‌متر متغیر است. منابع آبی حوضه شامل آب‌های سطحی ناشی از رودخانه‌ها و آب‌های زیرزمینی حاصل از چاه‌ها و قنات‌ها است. با توجه به افزایش تقاضا و تغییرات اقلیمی، مدیریت پایدار منابع آبی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار بوده و نیازمند اجرای برنامه‌های حفاظتی و کنترلی است. از مهم‌ترین چالش‌های این حوضه می‌توان به کم‌آبی ناشی از خشکسالی‌های دوره‌ای، آلودگی منابع آبی بر اثر فعالیت‌های کشاورزی و صنعتی، و فرسایش بستر رودخانه در نبود زیرساخت‌های حفاظتی اشاره کرد. تنوع زیستی قابل‌توجه در این حوضه، شامل گونه‌های مختلف گیاهی و جانوری، نشان‌دهنده اهمیت اکولوژیکی آن است. پوشش گیاهی حاشیه رودخانه ضمن کاهش فرسایش خاک، گاهی با ایجاد موانع طبیعی مانع از عبور جریان آزاد آب می‌شود.

۳- فرم‌های بازرسی هیدرولیکی پل‌های رودخانه‌ای

برای اطلاع از وضعیت کلی پل و همچنین شرایط هندسی و هیدرولیکی مفروض در زمان طراحی، فرم‌های بازرسی طراحی گردید. این فرم‌ها شامل فرم مشخصات هیدرولیکی پل، فرم مشخصات رودخانه و فرم مشخصات سازه‌های هدایت و کنترل کننده جریان می‌باشد. عمده اطلاعات شده در این فرم‌ها مربوط به زمان طراحی است. فرم‌های بازرسی در حکم شناسنامه هیدرولیکی پل می‌باشد و اکثر اطلاعات مندرج در آن در دوره‌های مختلف بازرسی تغییر نمی‌کند. پس از احداث پل، فرم‌های مذکور تکمیل شده و در اختیار تیم بازرسی قرار می‌گیرد تا شناخت نسبی نسبت به وضعیت پل و رودخانه برای بازرسین حاصل گردد. برای یکسان‌سازی نحوه تکمیل فرم‌ها، راهنمایی در مرجع (محجوب و گواشیری، ۱٤۰۱) ارایه شده است که هم تعاریف پارامترها به صورت مصور ارایه گردیده و هم تعاریف مرتبط با وضعیت کیفی هر پارامتر بیان گردیده است. در پایان هر بازرسی، فرم‌های بازرسی مجددا بازبینی می‌گردد تا اگر نیاز به تغییراتی بود، در فرم‌ها لحاظ شده و مدارک جهت بازرسی دور بعد تکمیل گردد.

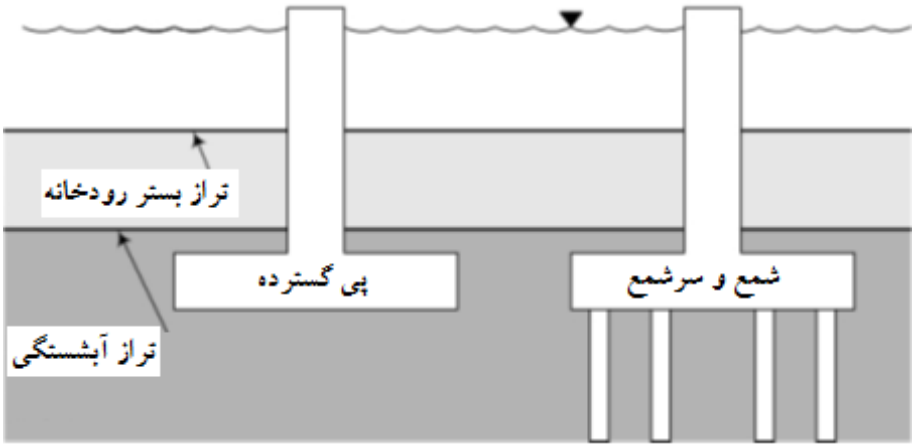
به عنوان نمونه درخصوص برآورد وضعیت کلی آبشستگی (فرم شماره یک)، "سیل فوق العاده" یا سیل با دوره بازگشت ۵۰۰ ساله (سیلی که ۰/۲ درصد احتمال وقوع در هر سال را دارد) مدنظر قرار می‌گیرد. بدین ترتیب شرایط آبشستگی کم، متوسط و زیاد به یکی از سه شرط زیر تعیین و اختصاص داده می‌شود:

-شرایط آبشستگی کم: اگر محاسبات نشان دهد که عمق آبشستگی احتمالی سیل فوق العاده در بالای تراز بالای پی قرار گیرد، پل ایمن یا پایدار و با آبشستگی کم در نظر گرفته خواهد شد (شکل ۲).

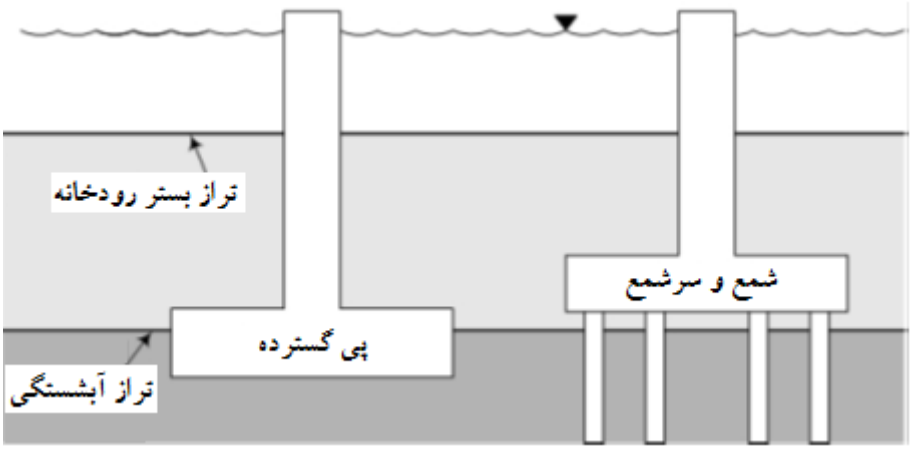
-شرایط آبشستگی متوسط: اگر محاسبات نشان دهنده عمق آبشستگی احتمالی سیل فوق العاده در محدوده پی گسترده و یا شمع‌ها باشد، ممکن است برای تعیین ثبات احتمالی پی، ارزیابی بیشتر سازه‌ای یا پی مورد نیاز باشد و پل با آبشستگی متوسط قلمداد می‌گردد (شکل ۳).

-شرایط آبشستگی زیاد: در مواردی که نشانه‌هایی وجود داشته باشد که عمق آبشستگی احتمالی سیل فوق العاده در زیر پی پایه گسترده و یا شمع‌ها قرار داشته باشد، پل به وضوح از لحاظ آبشستگی بحرانی درنظر گرفته می‌شود و در معرض آسیب یا ریزش قرار دارد(شکل ٤).

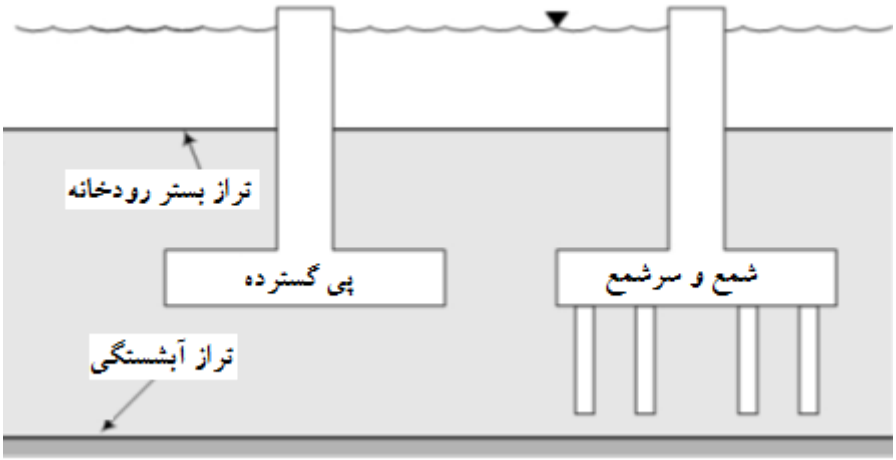
در صورتیکه فقط به نتایج سیل با دوره بازگشت ۱۰۰ ساله (سیلی که یک درصد احتمال وقوع در هر سال را دارد) دسترسی وجود داشته باشد، شرایط آبشستگی کم، متوسط و زیاد، به نحو دیگری تعریف می‌گردد که در مراجع بدان اشاره شده است (محجوب و گواشیری، ۱٤۰۱).



شکل ۲. شرایط ایمن و آبشستگی کم



شکل ۳. شرایط ارزیابی و آبشستگی متوسط



شکل ٤. شرایط تعمیر و آبشستگی زیاد

به عنوان نمونه دیگری که در فرم شماره دو بدان اشاره شده است، وضعیت برداشت مصالح از بستر رودخانه می‌باشد. شرایط مختلف برداشت مصالح از بستر رودخانه به شرح زیر طبقه‌بندی شده است.

-بسیار ناچیز: شن و ماسه برداشت نمی‌شود و یا فاصلهٔ برداشت از پل بیشتر از ۵ کیلومتر

-کم: فاصله برداشت از پل ۲ تا ۵ کیلومتر، برداشت مداوم و در مقدار زیاد نیست.

-متوسط: فاصله برداشت از پل ۱ تا ۲ کیلومتر، برداشت مداوم و در مقادیر زیاد است.

-زیاد: برداشت در فاصله‌ای کمتر از ۱ کیلومتر، برداشت مداوم و در مقادیر زیاد است.

نمونه تکمیل شده فرم‌های مرتبط با پل میاندوآب بر اساس بازدید صورت پذیرفته در جداول ۲ تا ٤ ارایه شده است. در شکل ۵ به عنوان نمونه وضعیت آبشستگی نشان داده شده است و شکل مذکور بیانگر این است که آبشستگی متوسط ارزیابی می‌گردد و همانطور که مشاهده می‌گردد لبه‌های پی کمی دیده می‌شوند. برای بقیه پل‌ها نیز فرم‌های بازرسی براساس بازدید میدانی انجام شده و عکس‌های تهیه شده، تکمیل گردیده که در مرجع (جولانی، ۱٤۰٤) قابل استحصال است. در قسمت‌های بعدی از نتایج فرم‌ها و چک‌لیست‌های تکمیل شده استفاده گردیده است.

جدول ۲. فرم شماره یک (مشخصات هیدرولیکی پل)

نام پل: پل میاندوآب		محور: میاندوآب– ملکان
موقعیت کوله‌ی ساحل سمت چپ:	در کانال اصلی☐ در سیلاب دشت■	خارج از مقطع رودخانه☐
موقعیت کوله‌ی ساحل سمت راست:	در کانال اصلی☐ در سیلاب دشت☐	خارج از مقطع رودخانه■
شکل سطح مقطع پایه‌ها: مستطیلی دماغه گرد		موقعیت پایه‌ها: تعداد پایه در کانال اصلی:٦ .تعداد پایه در سیلاب‌دشت: ۳
نوع پایه‌ها:	تک ستونه■ چند ستونه☐	هر دو مورد☐
تعداد دهانه‌های آبگیر: ۹	متوسط عرض دهانه‌ها: ۱۵ متر	متوسط ارتفاع دهانه‌ها: ٦ متر
وضعیت کلی آبشستگی:	کم☐ متوسط■	زیاد☐
نوع پی:	سطحی☐ نیمه عمیق☐	عمیق■
طول پایه: حدودا ٤ متر عرض پایه: حدودا ۰/۸ متر		
فاصله با نزدیکترین پل در بالادست: حدود ۱ متر		
فاصله با نزدیکترین پل در پایین‌دست: حدود ۱/۲۵ کیلومتر		
توضیحات: به علت فاصله نزدیک دو پل اثر پل‌ها بر یکدیگر باید بررسی گردد.		

جدول ۳. فرم شماره دو(مشخصات رودخانه)

نام پل: پل میاندوآب		محور: میاندوآب– ملکان
نام رودخانه: زاینده رود دائمی■ فصلی☐		طول رودخانه:۳۰۰ کیلومتر
هندسه رودخانه: مستقیم☐	میاندری■ درهم تنیده☐	کوهستانی با شیب تند☐
شیب متوسط رودخانه در طراحی: ۰/۰۱۵ ٪		حداکثر عمق رودخانه در طراحی: ۲ متر
سرعت متوسط جریان در طراحی: ۱/۸ متر بر ثانیه		
دبی طراحی: ۱۳۰۰ متر مکعب بر ثانیه		دوره بازگشت دبی طراحی: ۱۰۰ سال
عرض کانال اصلی: حدودا ۱۲۰ متر.	مصالح بستر کانال اصلی: شن و ماسه	پوشش گیاهی کانال اصلی: متوسط
نوع بستر کانال اصلی:	طبیعی■	مصنوعی☐
پایداری سواحل کانال اصلی:	پایدار■	ناپایدار☐

عرض سیلاب دشت ساحل چپ: حدودا ۳٦متر	مصالح بستر سیلا دشت ساحل چپ: شن و ماسه	پوشش گیاهی سیلاب‌دشت ساحل چپ: متوسط
نوع بستر سیلاب‌دشت ساحل چپ:	طبیعی☐	مصنوعی■
پایداری سیلاب دشت ساحل چپ:	پایدار■	ناپایدار☐
عرض سیلاب دشت ساحل راست: .حدودا ۱۰ متر	مصالح بستر سیلا دشت ساحل راست: شن و ماسه.	پوشش گیاهی سیلاب دشت ساحل راست : ضعیف.
نوع بستر سیلاب‌دشت ساحل راست:	طبیعی■	مصنوعی☐
پایداری سیلاب دشت ساحل راست:	پایدار■	ناپایدار☐
آیا پل در خم رودخانه ساخته شده است؟	بلی☐	خیر■
وضعیت برداشت مصالح از بستر رودخانه:		
بسیار ناچیز■	کم☐	متوسط☐ زیاد☐
پتانسیل ورود آشغال و الوار:		
بسیار ناچیز☐	کم☐	متوسط■ زیاد☐
توضیحات: ...		

جدول ٤- فرم شماره سه (مشخصات سازه‌های هدایت و کنترل کننده جریان)

نام پل: پل میاندوآب		محور: میاندوآب- ملکان	
دیوار هدایت آب:	وجود ندارد■	وجود دارد☐	شکل دیوار: ... طول دیوار: ...
نوع دیوار:	سنگی☐ بتنی☐	سایر☐: ...	مشخصات مصالح دیوار:...
سنگچین:	وجود ندارد■	وجود دارد☐	ضخامت سنگچین: ... طول و عرض سنگچین: ...،...
نوع سنگ: ...	لایه فیلتر:	وجود ندارد☐	وجود دارد☐ جنس فیلتر: ...
رادیه برید:	وجود ندارد■	وجود دارد☐	فاصله برید از پل: ...
مشخصات مصالح رادیه: ...		مشخصات مصالح برید:...	توضیحات: ...
آبشکن:	وجود ندارد■	وجود دارد☐	
نوع آبشکن: نفوذپذیری	عمودی☐	هدایت کننده☐	
آبشکن:	نفوذ ناپذیر☐	شکافنده☐ نفوذ پذیر☐	
حوضچه آرامش:	وجود ندارد■	وجود دارد☐	فاصله از پل: ... طول حوضچه: ...
گابیون:	وجود ندارد■	وجود دارد☐	ضخامت گابیون: ... طول و عرض گابیون: ...، ...
نوع سبد: ...	لایه فیلتر:	وجود ندارد☐	وجود دارد☐ جنس فیلتر: ...
سایر سازه‌های کنترل کننده جریان درصورت وجود: ...			
توضیحات: ...			

شکل ۵. در اثر آبشستگی رخ داده، لبه‌های پی کمی دیده می‌شود.

٤- چک‌لیست‌های بازرسی هیدرولیکی پل‌های رودخانه‌ای

شاخص‌های هیدرولیکی که در بازرسی هیدرولیکی پل‌های رودخانه‌ای از اهمیت بالایی برخوردارند، تعیین و چک لیست‌های بازرسی طراحی گردید و در اختیار تیم بازرسی قرار گرفت (جداول ۵ تا ۱۱). این چک لیست‌ها در هفت جدول تهیه شده که شامل چک لیست بازرسی هیدرولیکی مشخصات کلی پل، بازرسی هیدرولیکی مشخصات پایه، بازرسی هیدرولیکی مشخصات کوله، بازرسی هیدرولیکی مشخصات بستر کانال اصلی رودخانه، بازرسی هیدرولیکی مشخصات سیلاب‌دشت، بازرسی هیدرولیکی مشخصات ساحل رودخانه و بازرسی هیدرولیکی مشخصات سایر اثرات رودخانه است. در هرکدام از این چک لیست‌ها شاخص‌هایی مطرح شده و تاثیر هر کدام از این شاخص‌ها در عملکرد نامناسب پل، به چهار حالت کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد طبقه‌بندی شده است. در هر کدام از این چهار حالت، شرایط قابل پذیرش توصیف شده است. نمونه تکمیل شده چک لیست‌های مرتبط با پل میاندوآب در جداول ۵ تا ۱۱ ارایه شده است. برای بقیه پل‌ها نیز چک لیست‌های بازرسی بر اساس بازدید میدانی صورت پذیرفته تکمیل گردیده که در مرجع (جولانی، ۱٤۰٤) قابل استحصال است.

٤-۱- امتیاز دهی به هر پل براساس چک‌لیست‌های تکمیل شده

هر هفت چک لیست برای پنج پل مندرج در جدول ۱، تکمیل گردید. در این مرحله برای مقایسه وضعیت هیدرولیکی پل‌ها نسبت به یکدیگر، ضروری است که امتیازی به هر پل اختصاص یابد. در این راستا میزان اثرگذاری هر یک از شاخص‌های مندرج در چک لیست‌های بازرسی پل با یکدیگر برابر در نظر گرفته شد. مجموع تعداد شاخص‌های مندرج در هفت چک لیست، برابر ۳۰ شاخص است. هر شاخص نیز در ٤ گروه کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد طبقه‌بندی شده است. اثرگذاری "کم" بدین معنا است که میزان تاثیر بر عملکرد نامناسب پل، کم می‌باشد. در این تحقیق فرض گردید که مقدار عددی اثر گذاری "کم"، "متوسط"، "زیاد" و "خیلی زیاد" به ترتیب برابر ٤، ۳، ۲ و ۱ در نظر گرفته شود. بنابراین با درنظرگرفتن ۳۰ شاخص موجود، اگر در بازرسی از پلی تمام شاخص‌ها دارای میزان اثرگذاری "کم" باشند، امتیاز ۱۲۰ به پل اختصاص خواهد یافت. عدد ۱۲۰ بهترین حالت ممکن است که حاکی از وضعیت خوب پل از منظر هیدرولیکی است. کمترین امتیاز نیز به پلی تعلق می‌گیرد که در تمام شاخص‌ها، دارای اثرگذاری نامناسب "خیلی زیاد" بوده و به امتیاز ۳۰ خواهد رسید. براساس موارد مطرح شده و چک لیست‌های تکمیل شده برای هر پنج پل، امتیاز هر پل به تفکیک چک لیست‌های هفت گانه و امتیاز کلی پل در جدول ۱۲ ارایه شده است.

جدول ۵- چک لیست بازدیدی هیدرولیکی مشخصات کلی پل

نام پل: میاندوآب		محور: میاندوآب– ملکان		کیلومتر: ۱ میاندوآب		کد پل: ۰۵		تاریخ بازدید: ۱۴۰۳/۰۶/۲۱	
شاخص		جدول میزان تاثیر بر عملکرد نامناسب هیدرولیکی پل				نیاز به بازرسی بیشتر و تعمیر		توضیحات۱	توضیحات۲
		کم	متوسط	زیاد	خیلی زیاد				
سرعت پل		بر روی رودخانه با شیب بسیار ملایم□	بر روی رودخانه با شیب ملایم■	بر روی رودخانه دوره ای□	بر روی دامنه کوهستانی یا رودخانه با شیب تند□				
فاصله میاندر بالادست تا پل		بزرگتر از ۴۵متر■	بین ۲۰ تا ۳۵ متر□	بین ۱۰ تا ۲۰ متر□	بین صفر تا ۱۰ متر□	بلی□ خیر□			
پیه پل		بین صفر تا ۵ درجه■	بین ۵ تا ۱۰ درجه□	بین ۱۰ تا ۳۰ درجه□	بیشتر از ۳۰ درجه□	بلی□ خیر□			
جریان در دهانه های پل		دهانهٔ کافی، بدون برگشت آب، وجود جریان سطحی آزاد در دهانه ها■	دهانهٔ کافی، ایجاد عقبداری برگشت آب، وجود جریان سطحی آزاد در دهانه ها□	بالا آمدن سطح آب تا زیر شاه تیر پل، وجود جریان تحت فشار□	عبور رودخانه از روی پل حداقل یک بار در طول عمر مفید (جریان سرریزی)□	بلی□ خیر□	با توجه به تعداد بالای دهانه با فاصله مناسب و دبی کم آب عبور راحتی دارد.		

جدول ۶- چک لیست بازدید میدانی مشخصات پایه

نام پل: پل میاندوآب		محور: میاندوآب- ملکان		کیلومتر: ۱ میاندوآب		کد پل: ۰۵		تاریخ بازدید: ۱۴۰۳/۰۶/۲۱	
شاخص	ردیف	میزان تاثیر بر عملکرد و مناسب هیدرولیکی پل				نیاز به بازدید بیشتر و تعمیر		نوع فعالیت۱	توضیحات۲
		کم	متوسط	زیاد	خیلی زیاد				
نوع پایه، پایه های تکی یا گروهی، زاویه پایه	۱	پایه تکی با مرکز گرد یا سر دایره و بدون زوائد	پایه تکی بدون مرکز گرد دریاددست یا باشیب ملایم	آرایش پایه ها ردیفی است، زاویه پایه ها زیاد، گروه‌های قوی وجود دارد □	آرایش پایه ها ردیفی است، پایه و گروه‌ها قوی وجود ندارد □	بلی □ خیر □		آب در اطراف پایه ها ساکن بوده و گرداب مشاهده نشد	
نسبت طول به عرض پایه	۲	کمتر از ۲ □	بین ۲ تا ۳ □	بین ۳ تا ۵ □	بیشتر از ۵ □	بلی □ خیر □			
قابل مشاهده بودن کل پایه	۳	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 □	بلی □ خیر □	٤		
آبشستگی	۴	عمق آبشستگی صفر یا کم در اطراف پایه ها است و لایه های بی دیده سنگی شونده □	آبشستگی کم است و لایه‌های بی کفی دیده می شونده ■	لایه های بی دیده میشوند و آبشستگی زیاد است □	آبشستگی بسیار زیاد در اطراف پایه ها □	بلی ■ خیر □	٥	تشکیل پشته های رسوبی اطراف برخی از پایه های پل وعمق آبشستگی ۵۰ تا ۸۰ س.م	بیشتر در اطراف پایه ها دیده میشود
اقدامات متقابل در برابر آبشستگی	۵	نیازی به اقدامات متقابل در برابر آبشستگی نیست ■	عقابله با آبشستگی استفاده میشود و اقدامات کافی و مناسب در برابر آبشستگی انجام شده است □	از سنگهای بزرگ برای برابر آبشستگی استفاده میشود اما به صورتی کارآمد نیست □	اقدام متقابلی در برابر آبشستگی صورت نمیگیرد یا نامناسب است □	بلی □ خیر □		دلیل جریان به عمق بودن بی دارای شیب شاره کرد	

جدول ۷- چک لیست بازدید میدانی مشخصات کوله

نام پل: میاندوآب		محور: میاندوآب – ملکان			کیلومتر: ۱ میاندوآب		کد پل: ۰۵		تاریخ بازدید: ۱۴۰۳/۰۶/۲۱	
شاخص		میزان تاثیر بر عملکرد و نقاط ضعف هیدرولیکی پل					نیاز به بازدید پیشتر و تعمیر		توضیحات۱	توضیحات۲
		کم	متوسط	زیاد	خیلی زیاد					
نوع و شرایط حفاظت	دیوار برشی بتن سطح آسیب ندیده و تخریب نشکل ندارد□		آسیب و ترکهای جزئی در دیوار برشی بتن سطح بدون تخریب نشکل دیده میشود	آسیب و ترک در دیوار برشی بتن سطح بدون تخریب نشکل دیده می شود□	آسیب و ترک شدید در دیوار برشی بتن مسلح همراه با تخریب نشکل دیده میشود□		بلی□ خیر□		به نظر میرسد بر اثر آبشستگی باشد	
نشست و شرایط عاکریز دسترسی	نشست یا تخریب نشکل قابل مشاهده وجود ندارد		نشست یا تخریب نشکل قابل مشاهده وجود ندارد و برشی جزئی در عاکریز وجود دارد□	برشی و تخریب نشکل شدید در عاکریز وجود دارد□	نشست و برشی شدید در عاکریز وجود دارد. گیرزه عاکریز عمل نمیکند□		بلی□ خیر□			
عوامل فیزیکی و محیطی موثر بر کوله ها	بدون نشست		خسارت جزئی به عاکریز دسترسی به دلیل ترمیض راه ایجاد شده است□	نشست به دلیل شکلاتی مانند زهکشی یا اجرای رودخانه رخ داده است□	آسیب در اثر تخریب ساختار رودخانه به دلیل اجرای رودخانه و ... دیده می شود□		بلی□ خیر□			

جدول ۸- چک لیست بازرسی هیدرولیکی مشخصات بستر کانال اصلی رودخانه

نام پل: پل میاندوآب											کد پل: ۰۵		کیلومتر: ۱ میاندوآب						تاریخ بازدید: ۱۴۰۳/۰۶/۲۱	
شاخص					محور: میاندوآب – تلکان								میزان تاثیر بر عملکرد نامناسب هیدرولیکی پل						نیاز به بازرسی بیشتر و تعمیر	توضیحات ۱
					کم			متوسط			زیاد		خیلی زیاد							
عریان پایه					ثابت بدون رفتار ناگهانی □			۱ ۲ ۳			ثابت یا تغاریب با رفتار ناگهانی		کاملاً ناگهانی، ریسک بالا، سیلاب ناگهانی □						بلی □ خیر □	با توجه به سنگی بودن آب رودخانه و پوشش گیاهی بستر
شیب پروفیل طولی رودخانه (S)					کانال غیرعمیق و عمیقا □ ۰.۰۰۱ > S			رودخانه در زمین پست ۰/۰۰۰۱ > S > ۰/۰۰۱			رودخانه در فلات، □ ۰/۰۰۱ > S > ۰/۰۱		رودخانه کوهستانی، □ S > ۰/۰۱						بلی □ خیر □	
الگوی کانال					سیستم مهندسی شده، تا میاندری با شعاع انحنا کم، عمدتاً حاوی بار معلق □			میاندری با شعاع انحنا متوسط، متغیرطولی از بارهای معلق و بستر، کانال با نگهداری مهندسی خوب			میاندری با شعاع انحنا هم تنیده، عمدتاً حاوی بار بستر، کانال با نگهداری مهندسی ضعیف □		دارای بخشهای در هم تنیده، عمدتاً حاوی بار بستر، کانال بدون نگهداری مهندسی □				بلی □ خیر □	
مقدار تقریبی (D_{84}مصالح بستر بالادست در بستر)					در اندازههای مختلف و محکم درهم تنیده، دارای هموشکلی، اندازه الکترومصالح بزرگتر از ۱ سانتیمتر، □ D_{84}< ۲۰ %			درهم تنیدگی متوسط با گستره هموشکلی متغیر، بسیار کمی از مصالح کوچکتر از ۱ سانتیمتر، ۲۰ % < D_{84} < ۵۰ %			دانه بندی ضعیف و بدون هموشکلی مشخص، مقادیر کم تا متوسطی از مصالح کوچکتر از ۱ سانتیمتر، ۵۰ □% < D_{84} < ۷۰ %		دانه بندی بسیار ضعیف و بدون درهمتنیدگی مقادیر زیادی از مصالح کوچکتر از ۱ سانتیمتر، □ ۷۰٪ > D_{84}				بلی □ خیر □	مصالح بستر دارای مقدار مناسبی از دانه بندی خوب میباشد
محافظت از بستر کانال، سازههای کنترل، تحکیم و تسلیح					تسلیح بستر انجام شده □			جریاناهای عرضی سبب فرسایش جزئی ساحل و کف میشود، تسلیح بستر کافی است □			فرسایش قابل توجه کانال، تجمع رسوب زیاد در پشت موانع، تسلیح شدن بستر ضعیف است □		جابجایی رسوبات زیاد و ناپایدار میشوند کانال جابجا یا تغریض شود □				بلی □ خیر □	

جدول ۹- چک لیست بازدید میدانی مشخصات سیلاب دشت

نام پل: پل میاندوآب	محور: میاندوآب – ملکان	کیلومتر: ۱ میاندوآب	کد پل: ۰۵	تاریخ بازدید: ۱۴۰۳/۰۹/۲۱
شاخص	میزان تاثیر بر عملکرد نامناسب هیدرولیکی پل		نیاز به بازدید تعمیر	توضیحات۱
	کم	متوسط	زیاد	خیلی زیاد		
ساختار سیلاب دشت	سیلابشست فعالی وجود دارد، هیچ گونه (سیلبند درطرفین کانال اصلی) وجود ندارد ■	سیلاب دشت فعالی موزیکه است، سیلابشست جدید در مرحلهٔ تشکیل است، گونه ها کوتاه هستند □	سیلاب دشت فعال وجود دارد، اندازهٔ گونه ها متوسط است □	سیلاب دشت فعال با تراس وجود ندارد، گونه ها در امتداد لبهٔ کانال پلشدند □	بلی □ خیر □	
عرضی و پوشش سیلابشست	عرضی یکنواخت، عرضی کل سیلابشتها بزرگتر از ۵ برابر عرضی کانال اصلی، بدون درخت، آشغال و آوار و غیره که مانع جریان هستند □	عدم وجود عرضی یکنواخت، نسبت عرضی کل سیلاب دشتها به عرضی کانال اصلی بین ۳ تا ۵، فقدری پوشش گیاهی اما بدون ایجاد مانع برای جریان □	عرضی غیر یکنواخت، نسبت عرضی کل سیلاب دشت به عرضی کانال اصلی بین ۱ تا ۳، تعدادی مانع برای جریان به دلیل وجود درخت و پوشش گیاهی □	عرضی غیر یکنواخت، عرضی کل سیلابشتها، کمتر از عرضی کانال اصلی، پوشش گیاهی زیاد و ایجاد موانع حدی برای جریان ■	بلی □ خیر □	پوشش گیاهی زیاد در بستر و ساحل ممکن است باعث بالارفتگی جریان شود

جدول ۱۰- چک لیست بازدیدی هیدرولیکی مشخصات ساحل رودخانه

نام پل: پل میاندوآب	محور: میاندوآب- ملکان	کیلومتر: ۱ میاندوآب	کد پل: ۰۵	تاریخ بازدید: ۱۴۰۳/۰۶/۲۱

شاخص	میزان تاثیر بر عملکرد تقاطعی هیدرولیکی پل				نیاز به بازدید تعمیر	توضیحات۱	توضیحات۲
	کم	متوسط	زیاد	خیلی زیاد			
ارتفاع ساحل	زیر شاه تیر طولی	بین شاه تیر طولی و عرشه □	در سطح عرشه □	بالای تردهای □	بلی□ خیر□		
میانگین زاویه شیب ساحل رودخانه	تا شیب ۲۰ درجه برای مصالح غیرچسبنده یا ناشرافکم و تا شیب ۴۵ درجه در خاک رس در هر دو ساحل	تا شیب ۲۵درجه مصالح غیرچسبنده یا مصالح ناشرافکم و تا ۵۰ درجه در خاک رس در یک یا هر دو ساحل□	تا شیب ۴۵ درجه برای مصالح غیرچسبنده یا مصالح ناشرافکم و تا ۶۰ درجه در خاک رس در یک یا هر دو ساحل□	صدمتا بیش از ۴۵ درجه برای مصالح غیر چسبند یا تا ناشرافکم تا بیش از ۶۰ درجه در خاک رس در یک یا هر دو ساحل□	بلی□ خیر□		
بافت خاک ساحل رودخانه	خاک رس و رس لایدار□ مصالح چسبنده□	لوم رسدار تا لوم رسدار ماسه‌ای	رسی ماسه‌ای تا لوم ماسه ای □	ماسه لومی تا ماسه و شن□ مصالح غیرچسبنده□	بلی□ خیر□	ساحل دارای تراکم خودی است	
تخریب توده خاک یا عوارض ساحل رودخانه	شواهدی از هدر رفت یافرو یا بسیار کم توده وجود ندارد یا بسیار کم است،عرض کانال تقریبا یکنواخت است	شواهدی از هدر رفت اتفاقی و یا جزئی توده خاکوجود دارد که اغلب با پوشش گیاهی بهبود یافته است عرض کانال نسبتاً یکنواخت، پوسته پوسته شدن حداقلی سواحل دیده میشود□	شواهدی از هدر رفت مکرر و قابل توجه توده خاک وجود دارد که می‌تواند با جرم‌های برآب-تر تشدید شود و باعث زیرکنی و هدر رفت توده سواحل ناپایدار گردد، عرض کانال کاملاً نامنظم و پوسته پوسته شدن سواحل مشهود است.□	وجود ترکهای نشتی گواه پتانسیل هدر رفت مکرر قابل توجه توده خاک برای تخریب ساحل است، زیرکنی سواحل زیاد است وبصورت ناگهانی آنها مشهودعرض کانال بسیار نامنظم است و سواحل پوسته پوسته میشوند.□	بلی□ خیر□		
پوشش گیاهی ساحل رودخانه	صدمتاً بصورت سطحت، برگ-دار، درختان برگریزیا پوشش گیاهی کامل، سالم ومتنوع در ساحل، پوشش گیاهی درختی در جهت عمودی، هر دو ساحل دارای پوشش یا شدیداً مسلح□	توازی متوسط از پوشش گیاهی درختی با ۷۰- ۸۰٪ تراکم و پوشش گیاهی، علفزار، درختان برگریزیا پوشش گیاهی کامل و متنوع در ساحل، پوشش گیاهی درختی با زاویه ۸۰ تا ۹۰ درجه نسبت به افق و به میزان حداقل ممکن ریشه ها نمایان است، پوشش جزئی یا تسلیح یک یا هر دو ساحل	توازی کوچمک از پوشش گیاهی درختی با ۵۰٪ ۷۰ تراکم و پوشش گیاهی، اکثر درختان دارای چوب نرم، کاجی، برگ سوزنی یا پوشش گیاهی جوان با پیر فاقد تنوع در ساحل یا نزدیک بالای آن پوشش گیاهی درختی با زاویه ۷۰ تا ۸۰ درجه نسبت به افق و ریشهٔ اغلب نمایان، سواحل پوشش ندارند، اما ممکن است یک ساحل کمی تسلیح شده باشد. حفاظت از سواحل فعلاً مسأله-دار است. □	توازی متوسط از پوشش گیاهی درختی با ۵۰٪ ۷۰ تراکم و پوشش گیاهی درختان دارای چوب نرم، کاجی، برگ سوزنی یا پوشش گیاهی سوزنی با پوشش گیاهی بسیار جوان، پیر و فترت، و یا نکی در ساحل، پوشش گیاهی درختی با زاویهٔ کمتر از ۷۰ درجه نسبت به افق و نمایانی گستردهٔ ریشه، بدون پوشش یا تسلیح سواحل و حفاظت جدی از سواحل□	بلی□ خیر□	تشکیل شده از درختچه های بومی و با تراکم بالا و سالح عبور جریان	

جدول ۱۱- چک لیست بازرسی هیدرولیکی مشخصات سایر اثر رودخانه

نام پل: پل میاندوآب	محور: میاندوآب- ملکان	کیلومتر: ۱ میاندوآب			کد پل: ۰۵		تاریخ بازدید: ۱۴۰۳/۰۶/۲۱	
شاخص	میزان تاثیر بر عملکرد نامناسب هیدرولیکی پل				نیاز به بازرسی بیشتر و تعمیر		توضیحات	
	کم	متوسط	زیاد	خیلی زیاد				
برداشت شن و ماسه از بستر رودخانه	شن و ماسه برداشت نمی- شود و یا فاصلهٔ برداشت از پل بیشتر از ۵ کیلومتر	فاصله برداشت از پل ۲ تا ۵ کیلومتر، برداشت مداوم و در مقدار زیاد نیست□	فاصله برداشت از پل ۱ تا ۲ کیلومتر، برداشت مداوم و در مقادیر زیاد است□	برداشت در فاصله‌های کمتر از ۱ کیلومتر، برداشت مداوم و در مقادیر زیاد است□	بلی□ خیر□		زمان بازرسی مشاهده نشد	
اتصال انشعابات رودخانه	نزدیک پل، جریانی به رودخانه‌نمی‌رساند، هنگام بازدیدی، هیچ رودخانه موقتی به بستر رودخانه نزدیک نمی‌شود	بسیار دور از پل، رودهای موقت با دبیهای ناچیز به رودخانه اصلی می‌پیوندند□	دهی جریان متصل شونده ۱ تا ۲ برابر کمتر از رودخانه اصلی، فاصله محل اتصال از پل کمتر از۳کیلومتر□	دهی جریان متصل شونده ۱ تا ۲ برابر کمتر از رودخانه اصلی، فاصله محل اتصال از پل کمتر از ۲/۵ کیلومتر□	بلی□ خیر□			
انباشت آبشکن و الوار	کانال با پتانسیل تشکیل آن قابل صرفنظر کردن است□	کمی آبشکن و الوار موجود است و ممکن است تجمع کوچکی تشکیل شود□	انباشت زیاد در همهٔ اندازه‌ها پتانسیل تجمع متوسط آبشکن و الوار وجود دارد	انباشت آبشکن و الوار در اندازه‌های مختلف تحصیل و پتانسیل آن زیاد است□	بلی□ خیر□		در اطراف کوله چپ تجمع زیادی از آبشکن وجود دارد.	
احیای رودخانه (بستر و ساحل)	تغییری در ساختار رودخانه که بر پل مؤثر باشد وجود ندارد□	تغییر در ساختار رودخانه وجود دارد اما اثر نامطلوبی بر پل مشهود نیست	اندازه و جهت رودخانه تغییر نکرده، آبشستگی در اطراف پایهٔ پل آغاز شده، گرداب وجود دارد□	آبشستگی شدید در اطراف پایه‌های پل، گرداب‌های قوی وجود دارد□	بلی□ خیر□		ساخت پارک در اطراف رودخانه زریه رود	
درصد انقباض کانال	حضر تا ۵ درصد	۱۶ تا ۲۵ درصد□	۲۶ تا ۵۰ درصد□	بیشتر از ۵۰ درصد□	بلی□ خیر□			
احداث پل جدید در نزدیکی پل	اطراف پایه های پل موجود بدون اثر یا کم تاثیر است	بر ساختار رودخانه اثر دارد اما تاثیرش بر پل موجود زیاد نیست□	ساختار رودخانه را تغییر میدهد اما باعث آبشستگی جدی نمیشود □	باعث ایجاد گرداب های شدید، آبشکنی جریان، جریانهای ثانویه و آبشستگی میشود□	بلی□ خیر□			

جدول ۱۲. امتیاز دهی به پل‌ها به تفکیک چک لیست هفت گانه

چک لیست / نام پل	مشخصات کلی پل (۱٦)*	مشخصات پایه پل (۲۰)*	مشخصات کوله پل (۱۲)*	مشخصات کانال اصلی (۲۰)*	مشخصات سیلاب دشت (۸)*	مشخصات ساحل (۲۰)*	مشخصات سایر اثرات مرتبط (۲٤)*	امتیاز کلی
پل راه‌آهن اصفهان	۱٦	۱۱	۱۲	۱٤	۷	۱۲	۲۱	۹۳
پل سید آباد	۱۱	۱۸	۱۲	۱۳	٦	۱۷	۲۲	۹۹
پل قوسی رودبار	۱۳	۱۹	۱۱	۱۷	۷	۱۸	۲۳	۱۰۸
پل پران پرویز	۱۲	۱۸	۱۱	۱۲	٦	۱٦	۲۳	۹۸
پل میاندوآب	۱۵	۱٦	۱۱	۱٤	۵	۱۸	۲۱	۱۰۰
میانگین	۱۳/٤	۱٦/٤	۱۱/٤	۱٤	٦/۲	۱٦/۲	۲۲	
درصد	۸٤	۸۲	۹۵	۷۰	۷۸	۸۱	۹۲	

*اعداد ذکر شده در پرانتز، حداکثر امتیازی است که از هر چک لیست قابل دریافت است.

با توجه به اعداد مندرج در جدول ۱۲، پل قوسی رودبار و پل راه آهن اصفهان در مجموع به ترتیب دارای بهترین و بدترین شرایط می‌باشند. پل قوسی رودبار در ٤ چک لیست مشخصات پایه پل، مشخصات کانال اصلی، مشخصات ساحل و سایر اثرات حائز رتبه برتر در بین پنج پل بوده است. همچنین پل راه آهن اصفهان نیز در ۳ چک لیست مشخصات پایه، مشخصات ساحل و سایر اثرات کمترین امتیاز را نسبت به بقیه پل‌ها اخذ کرده است. پایین‌ترین ردیف از جدول ۱۲، درصد امتیاز کسب شده توسط تمام پل‌ها در هر چک لیست را نشان می‌دهد. بدین معنا که با مقایسه درصدهای ارایه شده در هر چک لیست با یکدیگر می‌توان به دسته شاخص‌های بحرانی و غیربحرانی در مجموع پل‌ها پی برد. بیشترین درصد و کمترین درصد به ترتیب مربوط به مشخصات کوله پل و مشخصات کانال اصلی می‌باشد. بنابراین می‌توان چنین برداشت کرد که در کل پل‌ها وضعیت کوله‌ها مناسب بوده اما شرایط کانال اصلی مطلوب نیست. بعد از مشخصات کانال اصلی، عملکرد نامطلوب بعدی در مشخصات سیلاب‌دشت رخ داده است و حاکی از آن است که عملیات نگهداری از رودخانه نسبت به وضعیت خود سازه پل به خوبی انجام نشده است.

در این مرحله، با توجه به مشاهدات میدانی و امتیازات اخذ شده توسط هر پل، تصمیم گرفته شد که طبقه‌بندی وضعیت پل‌ها به صورت جدول ۱۳ درنظر گرفته است. لازم به توضیح است که هر چه تعداد پل‌های بازرسی شده بیشتر باشد، می‌توان محدوده‌های در نظر گرفته شده در جدول ۱۲ تغییر یابد و به نتایج مطلوب‌تری رسید.

جدول ۱۳. طبقه‌بندی وضعیت پل براساس امتیاز اخذ شده در بازرسی

مجموع امتیازات	وضعیت پل	توضیحات
۱۲۰-۱۱۰	خوب	پل در وضعیت خوبی قرار دارد. این وضعیت نشان‌دهنده سلامت پل و عدم وجود مشکلات ساختاری یا ایمنی است.
۱۰۹-۱۰۰	متوسط	پل نیاز به توجه ویژه ندارد و وضعیت کلی آن پایدار است، اما ممکن است برخی از نقاط نیاز به نگهداری دوره‌ای داشته باشند.
۹۹-۹۰	نامطلوب	این شرایط نشان‌دهنده وجود مشکلات جزئی یا متوسط است که نیاز به بررسی دقیق‌تر و اقدامات پیشگیرانه برای جلوگیری از تشدید آسیب‌ها دارد.
زیر ۹۰	بحرانی	مشکلات جدی است که می‌تواند تهدیدی برای ایمنی و کارکرد پل باشد و نیازمند اقدامات فوری برای جلوگیری از آسیب‌های شدید و وقوع خطرات جدی است.

۵- نتیجه‌گیری

درصد تخریب پل‌های رودخانه‌ای، نسبت به سایر پل‌ها بدلیل عوامل هیدرولیکی بسیار بالاست. اولین قدم در حفظ و نگهداری پل‌های مذکور، آگاهی از وضعیت موجود آن‌هاست. بنابراین جهت رسیدن به این هدف، انجام فرآیند بازرسی از پل‌های رودخانه‌ای از منظر هیدرولیکی ضروری است. در این پژوهش به شناسایی و تعیین شاخص‌های بازرسی هیدرولیکی مؤثر بر آسیب‌پذیری پل‌های رودخانه‌ای پرداخته شد. این شاخص‌ها در ابتدا در دو دسته کلی پل و رودخانه تقسیم بندی گردید و در ادامه دسته پل به مشخصات کلی، مشخصات پایه و مشخصات کوله و دسته رودخانه به مشخصات کانال اصلی، سیلاب‌دشت، سواحل و سایر مشخصات طبقه‌بندی گردید. در مرحله تعیین شاخص‌ها، دلیل اصلی تخریب پل‌های رودخانه‌ای، پدیده آبشستگی تشخیص داده شد. البته عواملی مانند بازشدگی ناکافی، برداشت غیراصولی مصالح از بستر رودخانه و دبری‌ها و ... از طریق افزایش میزان آبشستگی سبب تخریب پل می‌گردند. مکانیسم تخریب پل‌های هیدرولیکی عمدتا بدین صورت است که عوامل مختلف سبب افزایش تنش برشی حاصل از عبور جریان در بستر رودخانه شده و نیروی حاصل سبب آبشستگی می‌گردد و در نهایت با خالی شدن خاک زیر پی، بدلیل نیروی هیدرودینامیکی حاصل از جریان، واژگونی عناصر سازه‌ای مانند عرشه و پایه رخ می‌دهد و پل از انتفاع خارج می‌گردد. با بررسی منابع در نهایت ۳۰ شاخص در هفت دسته چک‌لیست استخراج شده و با انجام بازدید میدانی ۵ پل منتخب در استان‌های مختلف کشور از لحاظ این شاخص‌ها بررسی گردیدند.

پل قوسی رودبار در ٤ چک لیست مشخصات پایه پل، مشخصات کانال اصلی، مشخصات ساحل و سایر اثرات حائز رتبه برتر در بین پنج پل بوده است. همچنین پل راه آهن اصفهان نیز در ۳ چک لیست مشخصات پایه، مشخصات ساحل و سایر اثرات کمترین امتیاز را نسبت به بقیه پل‌ها اخذ کرده است. در کل پل‌ها وضعیت کوله‌ها مناسب بوده اما شرایط کانال اصلی مطلوب نیست. بعد از مشخصات کانال اصلی، عملکرد نامطلوب بعدی در مشخصات سیلاب‌دشت رخ داده است و حاکی از آن است که عملیات نگهداری از رودخانه نسبت به وضعیت خود سازه پل به خوبی انجام نشده است.

٦- مراجع

- اصغری سراسکانرود، صیاد (۱۳۹۳). تحلیل تأثیرات برداشت شن و ماسه بر مورفولوژی رودخانه قرنقو (محدوده بعد از سد سهند تا روستای خراسانک). *هیدروژئومورفولوژی*، ۱(۱)،۳۹-۲۱.

- جندقی، نادر و بایروند، مائده (۱۳۸۷). بررسی عملکرد پل‌ها در مسیر رود الگندره گرگان نسبت به وقوع سیلاب. *اولین کنفرانس بحران آب*، دانشگاه زابل، ایران.

- جولانی، مهیار (۱٤۰٤). بررسی شاخص‌های آسیب‌پذیری پل‌های رودخانه‌ای از منظر هیدرولیکی. پایان‌نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)، قزوین، ایران.

- روحانی‌نیا، نیما، و شیبانی، حمیدرضا (۱۳۹۹). مدل‌سازی آزمایشگاهی تاثیر حجم و شکل الوار شناور و ارتفاع جریان سیل بر شرایط هیدرولیکی حالت انسداد جریان رودخانه، در مقطع پل. *مهندسی عمران مدرس*، ۲۰(۱)، ٤۸-۳۵.

- زراتی، امیر رضا، و عزیزی، سید محمد (۱۳۸۰). کنترل آب شستگی در اطراف پایه‌های پل. *نشریه دانشکده فنی*، ۳۵(۱).

- اسمعلی، اباذر، فرهودی، محمدحسین، جعفریان، زینب و کاویان پور، امیر حسین (۱۳۹٤). اثر پوشش گیاهی بر کاهش رواناب و هدررفت خاک با استفاده از شبیه سازی باران در مراتع نشو استان مازندران. *جغرافیا و برنامه ریزی محیطی*، ۲٦(۲)، ۱۹۰-۱۷۹.

- محجوب، امیر، و گواشیری، زهرا (۱٤۰۱). راهنمای بازرسی هیدرولیکی پل‌های رودخانه‌ای. *مرکز تحقیقات راه و مسکن و شهرسازی*.

- معیری، مسعود، و انتظاری، مژگان (۱۳۸۷). سیلاب و مروری بر سیلاب‌های استان اصفهان. *مطالعات برنامه‌ریزی سکونتگاه‌های انسانی (چشم انداز جغرافیایی)*، ۳(٦)، ۱۲۳-۱۰۹.

- نظری شربیان، علی اصغر، کیلانه‌ئی، فواد، و عباس‌نیا، امیر حسین (۱۳۹٦). بررسی کارآیی روش‌های مختلف کنترل آبشستگی در پل‌های رودخانه‌ای با استفاده از روش عددی. *پژوهشنامه حمل و نقل*، ۱٤(۲)، ٤۰۰ -۳۸۵.

- یونسی، حجت اله، امید، محمد حسین، و ایوب‌زاده، سید علی (۱۳۹٤). اثر زبری سیلاب‌دشت بر هیدرولیک جریان در مقاطع مرکب با سیلاب‌دشت غیرمنشوری. *پژوهش آب ایران*، ۹(۲)، ۷۲ -۳٦.

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

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

-Jonkman, S. N., Voortman, H. G., Klerk, W. J., & van Vuren, S. (2018). Developments in the management of flood defences and hydraulic infrastructure in the Netherlands. *Structure and Infrastructure Engineering*, 14 (7), *895–910.*

Identifying and Determining Hydraulic Inspection Indicators Affecting the Vulnerability of River Bridges

Mahyar Jolani, M.Sc. Grad., Department of Civil Engineering, Faculty of Technology and Engineering, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran.

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

Fouad Kilanehei, Associate Professor, Department of Civil Engineering, Faculty of Technology and Engineering, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran.

Kheirollah Khademi, Assistant Professor, Transportation Research Institute, Road, Housing & Urban Development Research Center, Tehran, Iran.

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

Received: April 2025- Accepted: November 2025

ABSTRACT

River bridges are subject to destruction due to their interaction with water and hydraulic factors. In the first step, identifying the vulnerability indicators of river bridges from a hydraulic perspective for hydraulic inspection is essential in the maintenance process of these structures. In this regard, a comprehensive checklist for hydraulic assessment of bridges was prepared and the required information was collected and the checklists were completed during field visits to river bridges in four provinces of Gilan, Isfahan, West Azerbaijan and Lorestan. The findings of this research show that scouring around bridge piers and abutments is a major hydraulic threat that, when faced with strong currents and floods caused by heavy rainfall, reduces the stability of bridge structures and poses the risk of their destruction in the long term. Environmental factors such as poor vegetation around bridges and excessive removal of materials from riverbeds reduce the bed's resistance to strong currents and increase the vulnerability of foundations to scour. River obstructions, including debris, large logs, and other suspended objects, can change the flow path and increase its speed, which puts additional pressure on bridge structures and causes physical damage to them. In assessing the overall condition of the bridges, the results showed that among the five bridges studied, the Isfahan Railway Bridge was in a more unfavorable condition overall and was affected by hydraulic phenomena such as scour, and needed to be reviewed and preventive measures taken to maintain their safety and efficiency. Also, the Rudbar Arch Bridge was in a more favorable condition than the other bridges in most indicators.

Keywords: Inspection, River Bridges, Flood, Scour, Prioritization