

## تحلیل هیدرولوژیکی و استاتیکی مقاوم سازی پل های آبرو مسیر ریلی مطهری - کاشمر با لوله بتنی پیش ساخته

### مقاله علمی-پژوهشی

ابراهیم هادیزاده رئیسی، دانشجوی دکتری، گروه مهندسی عمران، واحد آیت الله امینی، دانشگاه آزاد اسلامی، آمل، ایران

مجتبی اسماعیل نیا امیری\*، استادیار، گروه مهندسی عمران، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد آیت الله امینی، آمل، ایران

امیر حاجی میرزاجان، دانش آموخته دکتری، گروه مهندسی صنایع دانشگاه یزد، یزد، ایران

میلاذ طاهریان، دانشجوی دکتری، دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر، دانشگاه سمنان، سمنان، ایران

\*پست الکترونیکی نویسنده مسئول: Mo.Esmaeilnia@iau.ac.ir

دریافت: ۱۴۰۳/۰۱/۲۰ - پذیرش: ۱۴۰۳/۰۶/۰۵

صفحه ۴۳۰-۴۱۵

### چکیده

در طول سال های گذشته با توجه فرسودگی پل های قدیمی، پایدارسازی زیرساخت ریلی و رفع محدودیت تقلیل سرعت قطارها و افزایش ظرفیت حمل بار از طریق افزایش ظرفیت بارمحوری عبوری از پل های قدیمی ریلی و همچنین افزایش ضریب ایمنی سیر و حرکت در هنگام وقوع سیلاب و روان آب ها، از اهمیت ویژه ای برخوردار بوده است. از این جهت مقاوم سازی و تقویت پل های قدیمی که اصلی ترین سازه جهت افزایش ظرفیت خطوط هستند، در اولویت های اجرایی مسئولان حمل و نقل ریلی قرار گرفته است. محور کاشمر- مطهری به عنوان بخشی از مسیر مهم ترانزیتی ریلی سرخس- بافق- بندرعباس، به دلیل فرسودگی پل ها و تغییرات محیط هیدرولوژیکی منطقه فاقد ظرفیت بارمحوری ۲۵ تن است. در این محور در حفاصل کیلومتر ۷۶۴ تا ۸۸۷ محور ریلی خراسان با ظرفیت بارمحوری ۲۰ تن، تعداد ۶۵ عدد پل با پایه های سنگی و دال بتنی وجود دارد که می توان با روش های گوناگون مقاوم سازی شوند. یکی از روش های بسیار اقتصادی افزایش مقاومت پل های مذکور کارگذاری لوله های بتنی پیش ساخته مقاوم در داخل دهانه آنها است که نیاز به بررسی های مقایسه ای ظرفیت هیدرولیکی پل دارد. بر اساس مطالعات انجام شده مطالعات هیدرولوژی حوضه آبریزهای مربوط به پل های موجود تهیه و بهترین روش استفاده از لوله بتنی پیش ساخته در نظر گرفته شد. در ادامه مطالعات، مقایسه هیدرولیکی مقطع آبرو و همچنین سازه لوله بتنی پیش ساخته در نرم افزار SAP 2000 ورژن 17 مدل سازی و مورد تحلیل قرار گرفت. در نهایت مقاوم سازی این پل ها با استفاده از لوله های بتنی با قطر داخلی ۷۰ الی ۸۰ سانتیمتر در داخل آبروها انجام شده و مسیل طرفین آبروها نیز تا حدود ۵۰ متری پل، جهت گذردهی مناسب آب، تسطیح و آماده سازی گردید.

واژه های کلیدی: آبروهای ریلی، تحلیل هیدرولوژیکی، مقاوم سازی پل ها، لوله های بتنی، محور ریلی خراسان

### ۱-مقدمه

رویکردهای متعدد و متنوع در افزایش ظرفیت خطوط به ویژه افزایش کارایی و مقاوم سازی پل ها و تونل ها معطوف نموده است. (AmouzadehOmran et al., 2023) نیاز به مرمت

نیاز افزایش سرعت و ظرفیت حمل بار و مسافر در خطوط ریلی و همچنین روند رو به رشد افزایش تقاضای حمل بار و مسافر در شبکه حمل و نقل ریلی، توجه متخصصین ریلی را به بررسی

اندک تهیه و اجرا و عدم مسدودی خط گرم ریلی می‌تواند یک جایگزین عالی برای پل‌های با دهانه کوتاه در محل آبرو قوسی قدیمی، پل‌های کوتاه و آبروهای مدور در خطوط ریلی باشند (Abdi et al., 2014). در این مطالعات گسترده در خصوص نحوه استفاده مطلوب از فضای زیر خاکریز تحقیقات بسیاری انجام شده است. در بسیاری از مناطق خطوط ریلی ایران با توجه به تغییرات جغرافیایی و هیدرولوژیکی، بازنگری محاسبات و مقاوم‌سازی و پیش بینی زمان مقاوم‌سازی این پل‌ها از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است (Sahrapeyma et al., 2013). در بسیاری از مناطق خطوط ریلی ایران که دشت محسوب شده و محاسبات هیدرولوژیکی برای مسیر راه انجام نمی‌گردد به صورت یک پروتکل اجرائی در هر ۲۰۰ متر یک آبرو با دهانه یک تا سه متری از زمان احداث پیش بینی شده است. همچنین برخی پل‌های بزرگتر در محل مسیل‌ها محل عبور احشام و افراد محلی بوده است که در اثر تغییرات اقلیمی نیازمند بازنگری محاسبات هیدرولوژیک است. در این شرایط اهمیت مطالعات و اقدامات عملی لازم در ارتباط با ارزیابی آسیب پذیری و مقاوم‌سازی و ارزیابی و تقویت ظرفیت هیدرولیکی پل‌ها و آبروها در منطقه ریلی خراسان دوجندان خواهد بود. مطالعات متعددی در مورد طراحی و ساخت و تقویت پل‌های آبرو به ویژه پل‌های آبرو در مسیر خطوط ریلی انجام شده است. به عنوان نمونه بر اساس مطالعه ریواز و موسوی جهرمی (۲۰۱۲)، طراحی پل‌های آبرو باید ویژگی‌های هیدرولیکی روان آبها و جریان‌های فصلی، مانند سرعت جریان و سطح آب را در نظر بگیرد (Rivaz & Musavi-Jahromi, 2012). فلین (۲۰۱۰) برای درک پتانسیل سیل و تاثیر پل‌های آبی بر روی خطوط راه آهن، مطالعه هیدرولوژیک در نیوهمپشایر را انجام داد (Flynn, 2010). از یافته‌های این مطالعه می‌توان برای ارزیابی آسیب‌پذیری خطوط راه آهن در برابر سیل و اطلاع‌رسانی در طراحی پل‌های آبرو استفاده کرد. از این رو در مطالعاتی مانند مطالعه شرموخمادوف و همکاران (۲۰۲۳) استفاده از لوله‌های بتن مسلح را به عنوان یک راه حل مقرون به صرفه برای ساخت پل آبرو پیشنهاد شده است (Shermukhamedov et al., 2023). در پژوهشی مشابه، دیپ و همکاران (۲۰۲۳) استفاده از

و مقاوم‌سازی پل‌های موجود و همچنین تحلیل و بررسی‌های مداوم هیدرولوژیک حوضه‌های آبریز منتهی به آنها به ویژه در کوریدورها و مقاطع خاص گلوگاهی راه آهن بسیار حائز اهمیت است.

عدم توجه به تحلیل‌های هیدرولوژیک حوزه آبریز مجاور ریل با گذشت زمان و تغییر اقلیمی و توپولوژیک منطقه از یک سو و کاهش مقاومت پل‌های سنگی قدیمی و مشکلات خط در این بخش، می‌تواند منجر به ایجاد مشکلات متعددی در جهت حفظ ظرفیت حمل و ایمنی سیر ایجاد کند (AmouzadehOmrani et al., 2024).

از سوی دیگر ارزیابی اقتصادی مقاوم‌سازی پل‌ها با اهمیت است (Mirhashemi, 2021). از این جهت لازم است راهکار مناسبی جهت کاهش اثرات فرسودگی و افزایش ظرفیت بار محوری پل اتخاذ نمود. (Karamali et al., 2012). از جمله مهمترین مقاطع حساس در طول خطوط ریلی که از اهمیت ویژه برخوردار است؛ می‌توان به محل‌هایی نظیر محل اتصال خط بالاستی به پلها و آبروها، دال خط، ورودی و خروجی تونلها، سوزن‌ها و همچنین محل تلاقی خطوط با جاده اشاره نمود (Esmaeili et al., 2016). عدم کنترل رفتار خط در بخش‌های مختلف و همچنین عدم تحلیل و بررسی مجدد هیدرولوژیک منطقه با توجه به شرایط اقلیمی می‌تواند منجر به بروز اثرات منفی مانند نشست خط، به هم خوردن هندسه خط، فرار بالاست و جابجایی تراورس، اعمال نیروی زیاد بر خط، خستگی سطح ریل، خرابی و شکست تراورس و حتی از بین بردن و آبستگی خط در محل این مقاطع شود (Dikanski et al., 2016; Pakbaz et al., 2018). بر اساس تحقیقات، بسیاری از پل‌ها آبروهای شبکه ریلی نیازمند مقاوم‌سازی و افزایش ظرفیت هیدرولیک هستند (Hayward, 2014). برای حل این مشکل انجام تحلیل هیدرولیک بر روی پل‌ها و آبروها و مقام‌سازی آنها بسیار در شبکه ریلی ایران با اهمیت است. به عنوان یک راه کار مناسب و مقرون به صرفه میتوان برای حل این مشکل از باکس‌های بتنی بهره برد. این موضوع توسط برخی از محققین در ایران و سایر نقاط جهان پیشنهاد شده است (Abdi et al., 2014; Hayward, 2014; Wang et al., 2014). باکس‌ها و لوله‌های بتنی با توجه به مزیت هزینه

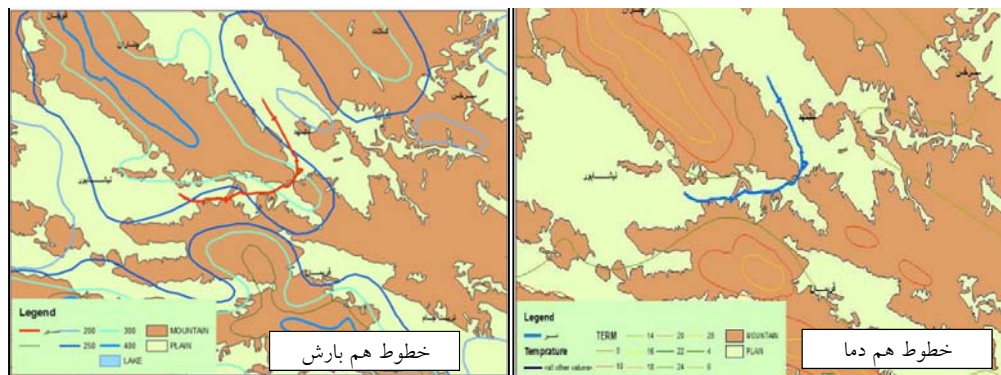
بسیار با اهمیت و برجسته شد. آنها دریافتند که طراحی نامناسب فونداسیون می‌تواند منجر به نشست و تغییر شکل پل‌های آبرو شود و یکپارچگی ساختاری آن را به خطر بیندازد (Wang et al., 2015). در نهایت، اهمیت نگهداری و ارزیابی منظم پل‌های آبرو توسط تالچستن و همکاران (۲۰۰۷) مورد تأکید قرار گرفت. آنها دریافتند که نگهداری صحیح می‌تواند طول عمر پل‌های آبرو را افزایش دهد و از تعمیرات پرهزینه و ریسک خطرات آسیب به پل جلوگیری کند (Täljsten et al., 2007). با توجه به تعداد نسبتاً زیاد آبروها در محور ریلی خراسان با دهانه‌های یک متر و کمتر از یک متر و قدیمی بودن بسیاری از این پل‌ها مقاومت‌سازی و تحلیل هیدرولیک مناسب این پل‌های آبرو یک ضرورت است. به ویژه که آزمایش‌های مقاومت مصالح انجام شده ضرورت مقاومت‌سازی این‌گونه پل‌ها در مطالعات میدانی را نشان داده است که در اکثر موارد بتن این آبروها با توجه به گذشت زمان مقاومت مناسبی نداشته و این موضوع به عنوان یکی از راهکارهای افزایش مقاومت می‌بایست در نظر گرفته شود (Hosseini & Sahrapima, 2011). با توجه به پر تردد بودن محور ریلی خراسان و زمان محدود مسدودی خطوط اهمیت یافتن بهترین رویکرد در پاسخ به این چالش‌ها بسیار کلیدی است (Hassannayebi et al., 2017). همچنین فضای محدود فعالیت عمرانی در زیر پل‌های آبرو دهانه یک متر روش تغییر مقطع و افزودن لوله بتنی پیش ساخته با توجه به مقاومت مناسب و هزینه و زمان اجرای مطلوب در داخل آبرو موجود به همراه مقطع بتنی دایره‌ای مورد بررسی هیدرولیکی و سازه‌ای قرار خواهد گرفت.

#### مقاوم‌سازی محور ریلی مسیر ریلی مطهری - کاشمر

هدف از این مطالعه بررسی شرایط و الزامات مقاوم‌سازی ۶۵ پل سنگی دهانه ۱ و ۳ متری در محور ریلی مطهری-کاشمر است. برای این منظور ابتدا بررسی مطالعات هیدرولوژی منطقه و هیدرولیک پل و سپس بررسی تحلیل مقاومت استاتیکی پل بتنی پیش‌ساخته پرداخته می‌شود. برای این منظور ابتدا توپوگرافی و منحنی‌های هم‌دما و هم‌باران منطقه را بررسی مطابق شکل (۱) بررسی می‌گردد. مسیر مورد مطالعه با رنگ آبی مشخص شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، منطقه توپوگرافی محور ریلی مسیر ریلی مطهری - کاشمر عموماً در دشت واقع شده است.

لوله‌های بتنی پیش ساخته برای ساخت پل‌های آبرو بررسی کردند. آنها دریافتند که لوله‌های بتنی پیش ساخته مزایای متعددی از جمله زمان اجرای سریع‌تر و کنترل کیفیت مطمئن‌تر نسبت به بتن ریخته‌گری در محل دارند (Diep et al., 2023). اهمیت طراحی هیدرولوژی مناسب برای خطوط راه آهن در مطالعه لگادک و همکاران (۲۰۱۸) مورد بررسی قرار گرفت است. آنها تأثیر ارزیابی ضعیف هیدرولوژی بر پایداری مسیر راه آهن را مطالعه کردند و دریافتند که می‌تواند منجر به نشست خط و تهدید جدی امنیت سیر قطارها در خطوط ریلی گردد (Lagadec et al., 2018).

به علاوه الردادی و میلان (۲۰۲۲) از دیدگاه تحلیل هیدرولوژیکی، یک مدل ریاضی برای پیش بینی خطر سیل در مسیرهای راه آهن پیشنهاد کردند. آنها از داده‌های مربوط به بارندگی، توپوگرافی و ویژگی‌های خاک برای شبیه‌سازی جریان آب از طریق بالاست راه آهن با نفوذپذیری تصادفی رویدادهای سیل و ارزیابی تأثیر آنها بر خطوط راه آهن استفاده نمودند (Aldadi & Meylan, 2022). به منظور تقویت مقاومت خطوط ریلی در برابر تهدیدات سیل و بارندگی استفاده از ژئوسنتتیک‌ها برای تقویت خطوط راه آهن توسط هیام (۲۰۱۴) پیشنهاد شد. آنها دریافتند که ژئوسنتتیک‌ها می‌توانند ثبات بهره برداری مسیر ریلی را بهبود بخشند و هزینه‌های نگهداری را کاهش دهند (Heibaum, 2014). مطالعه ایندرا راتنا و نیمالکار (۲۰۱۳) نتایج آزمایش‌های هیدرولوژیک و مطالعات عددی بر روی بسترهای بالاست راه آهن تقویت شده ژئوسنتتیکی را ارائه می‌کند. تحقیقات انجام شده توسط آنها بر اهمیت درک نظارت و بازطراحی پل‌های آبرو برای اطمینان از پایداری و عملکرد طولانی مدت خطوط راه آهن تأکید می‌کند (Indraratna & Nimbalkar, 2013). در مطالعه سادوری و همکاران (۲۰۱۹)، تأثیر تغییرات آب و هوا بر هیدرولوژی مسیر راه آهن مورد بررسی قرار گرفت. آنها دریافتند که افزایش بارندگی و دما می‌تواند منجر به سیل و فرسایش مکرر مسیر ریلی شود که خود در گرو بازطراحی و تقویت پل‌های آبرو در مسیرهای ریلی قدیمی است (Thaduri et al., 2021). بر اساس مطالعه وانگ و همکاران (۲۰۱۵) طراحی فونداسیون مناسب از منظر تحلیل استاتیکی، برای پل‌های آبرو



شکل ۱. توپوگرافی و منحنی‌های هم دما و همبارش مسیر ریلی کاشمر-فریمان

عرض جغرافیائی آن می‌باشد و با افزایش ارتفاع بر میزان بارش افزوده می‌شود. در ادامه این مطالعه محاسبه دبی سیلاب در منطقه مورد مطالعه بررسی می‌گردد.

#### بررسی هیدرولیکی مقطع آبروها

پل‌های تادهانه یک متر حوضه آبریز کوچکی را شامل می‌شوند که در اکثر موارد به دلایل تغییرات در توپوگرافی منطقه توسط عوامل انسانی و کشاورزی ممکن است در طول زمان کارکرد هیدرولیکی خود را از دست بدهند و در نتیجه در منطقه عبور آب انجام نشود (Aftab et al., 2014).

در منطقه مورد مطالعه بارش در فصل سرد سال با توزیع غیرنرمال است. به علاوه بارش‌های سیل‌آسا، کوتاه‌مدت و رگباری قسمت عمده بارش سالیانه را تشکیل می‌دهد. متوسط بارش استان خراسان رضوی طی دوره آماری (۱۳۶۸-۱۳۹۷) ۲۰۳/۲ میلی‌متر محاسبه شده است که حدود یک‌چهارم متوسط بارش جهانی بوده و جزء مناطق کم‌باران جهان محسوب می‌گردد. توزیع بارش استان یکنواخت نبوده و به‌طور کلی مقدار آن از مناطق شمال به جنوب کاهش می‌یابد (Mahdaviyafa & Sharifi, 2019). در تصویر زیر از انطباق نقشه توپوگرافی و خطوط هم باران، چنین برمی‌آید که طرز گسترش منحنی‌های هم باران دقیقاً منطبق بر روند پهنه بندی بارش منطقه و تغییرات



شکل ۲. پل شماره R44 کیلومتر (۸۴۳+۰۰۰) که به واسطه گذشت زمان از کارائی هیدرولیک و مقاومتی آن کاسته شده

شده است. طرح هیدرولیکی مقاوم‌سازی پل‌های مورد بررسی به دلیل آنکه با تخلیه آب‌های سطحی، ارتباط متقابل دارد از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. در طراحی هیدرولیکی جریان کانال‌ها فرض بر آن است که جریان یکنواخت و پایدار است. در جریان‌های پایدار یکنواخت، عمق و دبی جریان بر حسب زمان ثابت است در نتیجه در طراحی پل و مطالعات هیدرولیک، شکل،

برای نمونه تصویر شکل (۲) پل قدیمی (R44) کیلومتر ۸۴۳+۰۰۰ را نشان می‌دهد که در ادامه مطالعه به عنوان مبنای محاسبات مقایسه دبی جریان با دبی جریان قابل گذر از مقطع لوله‌ای قرار خواهد گرفت. همان‌طور که در شکل مشاهده می‌شود به واسطه تغییرات تدریجی در گذر زمان کارایی پل مذکور هم به لحاظ گذر مسیل‌ها و هم به جهت مقاومت کاسته

از نزولات جوی به صورت نفوذ در خاک، تبخیر، تعرق و جمع شدن در گودال‌های سطح حوضه آبریز تلف می‌شود که مقدار آن مطابق برآورد موجود در جدول (۱) به دست می‌آید. میزان پستی و بلندی اراضی ( $C1=0.20$ )، جنس اراضی خاک رسی یا لومی با نفوذپذیری کم ( $C2=0.12$ )، پوشش گیاهی کم با پوشش خیلی پراکنده ( $C3=0.12$ ) و میزان گودال‌های سطحی کم ( $C4=0.1$ ) است. ضرایب ارائه شده در این جدول برای دوره‌های بازگشت حداکثر ۱۰ سال است و برای دوره‌های بازگشت بیشتر می‌توان از ضریب تبدیل  $C_f$  که در جدول بعد آمده است، استفاده نمود. حاصل ضرب رواناب سطحی در  $C_f$  از یک بیشتر نمی‌شود. در نهایت بر اساس اطلاعات جدول (۳) مقدار ضرایب تبدیل  $C_f$  برابر ۱٫۱ انتخاب می‌شود.

همچنین برای انتخاب دوره بازگشت برای آبرو می‌توان از اطلاعات جدول (۳) استفاده نمود (Evangelista & Vedova, 2008). بر اساس این اطلاعات برای مسیر شریانی و آزاد راه و راه اصلی مقدار ۲۵ انتخاب و برای راه فرعی از عدد ۱۵ استفاده می‌شود. در مساله ما با توجه به خطوط اصلی بودن مقدار ۲۵ در نظر گرفته می‌شود.

ابعاد، شیب طولی و زبری پوشش مقطع کانال ثابت در نظر گرفته می‌شود که برای، انرژی، جریان بحرانی، انتقال، عدد فرود و یا سایر روابط متداول و معتبر استفاده کرد. با توجه مطالب اشاره شده تحلیل هیدرولیکی پل آبرو بالا را به عنوان نمونه با روش استدلالی و روش SCS استفاده می‌شود. در روش استدلالی که ابتدایی‌ترین و رایج‌ترین روش محاسبه دبی اوج رواناب سطحی است (Ellington & Ferguson, 1991)؛ از رابطه (۱) کمک می‌گیریم. این روش در حوضه‌های کوچک روش منطقی است و برای حوضچه های روان آب بزرگ دارای دقت کافی نیست. به عبارت بهتر این روش برای حوضه‌هایی به کار می‌رود که وسعت آنها از ۱۳۰ هکتار کمتر باشد. در این روش فرض می‌شود بارندگی روی حوضه یکنواخت بوده و مدت بارش برابر زمان تمرکز ( $T_c$ ) حوضه باشد.

$$Q = 0.28CIA \quad (1)$$

که در رابطه (۱) مقدار  $Q$  برابر دبی حداکثر سیلاب بر حسب مترمکعب بر ثانیه،  $I$  برابر شدت بارندگی بر حسب سانتی‌متر بر ساعت،  $A$  معادل مساحت حوضه آبریز بر حسب کیلومتر مربع و  $C$  ضریب رواناب سطحی به کل نزولات جوی است، بخشی

جدول ۱. ضرایب رواناب سطحی (استخراج شده از جدول ۱۰-۶ آیین نامه ۴۱۵)

ماهیت اراضی	کم	معمولی	زیاد	خیلی زیاد
پستی و بلندی اراضی	۰/۰۸ - ۰/۲۰	۰/۱۴ - ۰/۲۰	۰/۲۰ - ۰/۲۸	۰/۲۸ - ۰/۳۵
	ارضی نسبتاً هموار، شیب متوسط صفر تا ۵ درصد	ارضی تپه‌ماهوری، شیب متوسط ۵ تا ۱۰ درصد	ارضی کوهستانی، شیب متوسط ۱۰ تا ۳۰ درصد	ارضی با شیب تند، شیب متوسط بالای ۳۰ درصد
جنس اراضی	۰/۰۴ - ۰/۰۶	۰/۰۶ - ۰/۰۸	۰/۰۸ - ۰/۱۲	۰/۱۲ - ۰/۱۶
	ارضی ماسه‌ای با عمق زیاد، خاک‌های با میزان نفوذ زیاد، خاک‌های با میزان نفوذ خوب	ارضی لوم ماسه‌ای، لوم لایی، ماسه‌ای	ارضی خاک رسی یا لومی، خاک‌های با میزان نفوذ کم	ارضی با پوشش خاکی کم یا بدون آن، خاک‌های با میزان نفوذ قابل اغماض
پوشش گیاهی اراضی	۰/۰۴ - ۰/۰۶	۰/۰۶ - ۰/۰۸	۰/۰۸ - ۰/۱۲	۰/۱۲ - ۰/۱۶
	ارضی جنگلی با پوشش حدود ۹۰ درصد	ارضی زراعی با پوششی حدود ۵۰ درصد	ارضی چمنی با پوشش کمتر از ۲۰ درصد	ارضی لخت یا با پوشش خیلی پراکنده
میزان چاله در حوضه آبریز	۰/۰۴ - ۰/۰۶	۰/۰۶ - ۰/۰۸	۰/۰۸ - ۰/۱۰	۰/۱۰ - ۰/۱۲
	میزان گودال‌های سطحی خیلی زیاد، اراضی بزرگ و سیلابی	میزان گودال‌های سطحی قابل ملاحظه، دریاچه و اراضی باتلاقی	میزان گودال‌های سطحی کم، فاقد اراضی باتلاقی یا حوضچه‌های آب	میزان گودال‌های سطحی قابل اغماض، فاقد اراضی باتلاقی

برای به دست آوردن شدت بارندگی  $I$  بر حسب میلی‌متر بر ساعت، از رابطه ۲ مطابق تعاریف ذیل استفاده می‌شود.

$$I = \frac{a}{(t + b)^c} \quad (2)$$

جدول ۱. ضرایب تبدیل  $Cf$  و راهنمای انتخاب دوره بازگشت برای آبرو (استخراج شده از جدول ۱۰-۷ آیین نامه ۴۱۵)

راهنمای انتخاب دوره بازگشت برای آبرو			راهنمای انتخاب ضرایب تبدیل $Cf$		
دوره بازگشت سیلاب طرح (سال)			ضریب تبدیل $Cf$	احتمال	دوره بازگشت (سال)
مسیر اصلی	مسیر اصلی	مسیر اصلی			
۲۵	۲۵	۲۵	۱/۱	٪۴	۲۵
۲۵			۱/۲	٪۲	۵۰
۱۵			۱/۲۵	٪۱	۱۰۰

شدت - مدت بارندگی برای دوره بازگشت ۲ تا ۱۰۰ سال ایستگاه کاشمر از آیین نامه طراحی و اجرای سیستم زهکشی آب های سطحی و زیر سطحی استخراج شده است. این ضرایب مطابق جدول (۲ و ۳) محاسبه می شود.

در رابطه فوق پارامترها  $t$  مدت بارندگی برحسب ساعت و مقادیر  $a$  و  $b$  و  $c$  ضرایبی هستند که علاوه بر دوره بازگشت، به شرایط اقلیمی و نوع بارش بستگی دارند. این ضرایب با توجه به محل احداث پروژه، با استفاده از منحنی های شدت - مدت ایستگاه های اطراف محل تعیین می شوند. اعداد ثابت رابطه

جدول ۳. پارامترهای منحنی شدت - مدت - فراوانی ( $IDF$ ) ایستگاه کاشمر

دوره بازگشت (سال)						ضرایب
۱۰۰	۵۰	۲۰	۱۰	۵	۲	
۹۴۴۱,۳۲	۷۶۲۲,۳۸	۵۸۵۴,۸۸	۴۶۶۵,۱۹	۳۰۰۷,۰۳	۱۳۱۹	$a$
۳۹,۸۹	۳۹,۷۵	۴۰,۹۸	۴۲,۹۴	۴۲,۸۴	۴۶,۵۶	$b$
۱,۲۴۲	۱,۲۱۹	۱,۱۹۵	۱,۱۷۵	۱,۱۲۵	۱,۰۳۵	$c$

دلیل کاهش می یابد و برعکس اگر مدت بارندگی از زمان تمرکز کمتر باشد، قبل از آنکه تمام سطح حوضه در رواناب مشارکت نمایند، باران خاتمه پیدا کرده و لذا دبی کمتر می شود. بنابراین حداکثر دبی وقتی است که مدت بارندگی برابر زمان تمرکز حوضه باشد.

برای محاسبه زمان تمرکز ( $T_c$ ) هر حوضه در این رابطه معمولاً از رابطه کریپیچ (رابطه (۳)) استفاده می گردد (Kirpich, 1940). در این رابطه  $L$  طول مسیر حرکت آب داخل حوضه بر حسب کیلومتر و  $H$  اختلاف ارتفاع بین نقطه تمرکز و بلندترین قسمت حوضه بر حسب متر است.

در روش استدلالی حداکثر دبی لحظه ای با این فرض محاسبه می شود که مدت بارندگی برابر زمان تمرکز باشد. (زمان تمرکز بنا به تعریف عبارت است از حداکثر زمانی که طول می کشد تا آب از دورترین نقطه حوضه آبریز مسیر هیدرولوژیکی خود را طی کرده و به نقطه خروجی برسد). یعنی حداکثر شدت بارانی که مدت آن برابر زمان تمرکز حوضه است، در معادله لحاظ می شود. در این نمودار پارامتر  $t$ ، نشان دهنده مدت بارندگی هست که برابر زمان تمرکز حوضه در نظر گرفته می شود. در غیر این صورت دبی کمتر از مقدار فوق خواهد بود. زیرا اگر مدت بارندگی بیشتر از زمان تمرکز باشد، بر اساس رابطه شدت - مدت چنین بارانی از شدت کمتری برخوردار است و لذا دبی به این

$$T_c = 0.949 \left( \frac{L^3}{H} \right)^{0.385} \quad (3)$$

بسیار کاربرد دارد. روش SCS یا روش معروف به شماره منحنی یکی از روش‌های مناسب و کاربردی جهت انجام مطالعات رواناب سطحی است (Karami Moghadam et al., 2021).

رابطه S.C.S به صورت رابطه (۴) بیان می‌شود.

$$Q_p = \frac{0.00208 \times A \times Q_d}{T_p} \quad (4)$$

در رابطه فوق  $Q_p$  برابر دبی اوج بر حسب متر مکعب بر ثانیه،  $A$  مساحت حوضه بر حسب هکتار،  $Q_d$  ارتفاع رواناب بر حسب میلیمتر و  $T_p$  زمان رسیدن دبی به مرحله اوج (بر حسب ساعت) که از رابطه (۵) محاسبه می‌گردد.

$$T_p = 0.6T_c + \sqrt{T_c} \quad (5)$$

$T_c$  برابر زمان تمرکز حوضه بر حسب ساعت است. در این روش که برای حوضه‌های بزرگ کاربرد دارد، زمان تمرکز از رابطه (۶) به دست می‌آید.

$$T_c = 1.67 \times t_{lag} \quad (6)$$

$t_{lag}$ ، زمان تاخیر حوضه (بر حسب ساعت) که عبارتست از فاصله زمانی بین مرکز بارندگی تا نقطه اوج (هیدروگراف) که خود از رابطه (۷) به دست می‌آید.

$$t_{lag} = \frac{L^{0.8} \times (S + 1)^{0.7}}{1900 \times Y^{0.5}} \quad (7)$$

در این رابطه  $L$  طول رودخانه اصلی بر حسب متر،  $Y$  متوسط شیب حوضه (درصد) که غالباً برابر شیب متوسط رودخانه اصلی حوضه است.  $S$  نمایه نگهداشت آب در داخل حوضه (بر حسب سانتی‌متر) که مقدار آن مطابق رابطه (۸) برابر است با:

$$S = \frac{1000}{CN} - 10 \quad (8)$$

ارتفاع رواناب ( $Q_d$ ) از رابطه (۹) به دست می‌آید:

$$Q_d = \frac{(P - 0.2S)^2}{P + 0.8S} \quad (9)$$

که در آن  $P$  مقدار بارش بر حسب میلیمتر و  $S$  حداکثر یا پتانسیل نگهداشت بارش روی زمین (بر حسب میلیمتر) که مقدار آن در سیستم متریک از رابطه (۱۰) به دست می‌آید:

$$S = \left( \frac{1000}{CN} - 10 \right) \times 25.4 \quad (10)$$

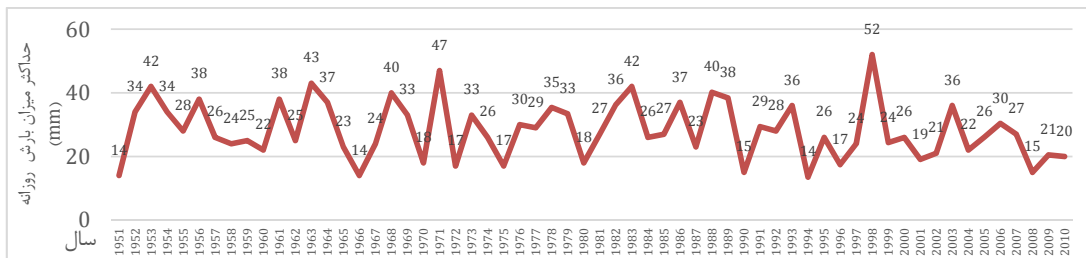
$CN$  نیز نمایه مربوط به خصوصیات نفوذ حوضه به نام شماره منحنی (Curve Number) است که از جدول (۴)، زیر گروه  $C$  به دست می‌آید.

جدول ۲. طبقه بندی خاک های حوضه بر حسب نفوذپذیری

گروه	حداقل نفوذپذیری (میلی متر بر ساعت)
A	۷/۵ - ۱۱/۵
B	۳/۸ - ۷/۵
C	۱/۳ - ۳/۸
D	۰ - ۱/۳

روزانه ایستگاه مشهد استفاده می شود. شکل (۳) میزان حداکثر بارندگی بر حسب سال ایستگاه مشهد را نشان می دهد. همان طور که مشاهده می شود، حداکثر بارندگی به میزان ۴۷ میلی متر است، بنابراین مقدار P برابر ۴۷ میلی متر در نظر گرفته می شود.

همچنین مقدار CN با توجه به گروه نفوذپذیری خاک حوضه و پوشش گیاهی سطح آن از جدول (۵) برابر با ۸۴ به دست می آید. برای به دست آوردن مقدار بارش روی سطح حوضه ها (P) با توجه به آمار بارندگی از حداکثر میزان بارندگی



شکل ۳. حداکثر میزان بارش روزانه ایستگاه راه آهن مشهد

جدول ۳. مقدار CN با توجه به نوع پوشش و طبقه بندی خاک

D	C	B	A	خصوصیات پوشش سطح حوضه
۷۹	۷۳	۶۰	۳۶	پوشش جنگلی متوسط
۷۷	۷۰	۵۵	۲۵	پوشش جنگلی خوب
۸۴	۷۹	۶۹	۴۹	مراتع طبیعی با پوشش متوسط
۸۰	۷۴	۶۱	۳۹	مراتع طبیعی با پوشش خوب
اراضی کشاورزی				
۸۳	۷۸	۶۹	۵۵	زیر کشت حبوبات
۸۸	۸۴	۷۶	۶۵	زیر کشت غلات (ردیف های مستقیم)
۸۴	۸۱	۷۳	۶۰	زیر کشت غلات (ردیف ها به موازات خطوط تراز)
زیر کشت گیاهان ردیفی				
۹۱	۸۸	۸۱	۷۲	ردیف های مستقیم با پوشش متوسط
۸۹	۸۵	۷۸	۶۷	ردیف های مستقیم با پوشش خوب
ردیف ها به موازات خطوط تراز				
۸۸	۸۴	۷۹	۷۰	با پوشش متوسط
۸۶	۸۲	۷۵	۶۵	با پوشش خوب
۹۸	۹۸	۹۸	۹۸	پشت بام ها، پارکینگ ها و دیگر جاهای آسفالتی
۹۲	۹۰	۸۵	۷۷	مناطق مسکونی با ۶۵٪ آسفالت
۸۴	۷۹	۶۸	۵۱	مناطق مسکونی با ۲۰٪ آسفالت
۹۸	۹۸	۹۸	۹۸	خیابان ها و جاده های آسفالتی
۸۹	۸۷	۸۲	۷۲	جاده های خاکی
۹۱	۸۹	۸۵	۷۶	جاده های شوسه

هیدرولیک در مجاری باز می‌باشد که در آن فرض بر پایداری و یکنواختی جریان است.

تعیین دهانه آبروها مطابق با آئین‌نامه طرح هندسی راهها (نشریه شماره ۴۱۵) و با استفاده از رابطه مانینگ (رابطه ۱۱) انجام می‌گیرد (Manning, 1891). این رابطه براساس اصل

$$Q = \frac{A}{n} R_H^{2/3} \times I^{1/2} \quad (11)$$

که در آن  $Q$  دبی ماکزیم عبوری از کانال بر حسب مترمکعب بر ثانیه،  $A$  مساحت سطح مقطع کانال بر حسب مترمربع،  $I$  شیب بر حسب درصد و  $R_H$  شعاع هیدرولیکی که از رابطه ۱۲ به دست می‌آید.

$$R_H = \frac{A}{P} \quad (12)$$

$A$  سطح مقطع کانال بر حسب مترمربع،  $P$  محیط‌تر شده کانال بر حسب متر،  $n$  ضریب زبری مانینگ که به وضعیت جدار کانال بستگی دارد و مقدار آن از جدول (۶) برابر با ۰,۰۱۷ تعیین می‌گردد.

جدول ۶. ضریب زبری مانینگ

نوع جدار کانال	ضریب مانینگ (n)
جدار خیلی صاف	۰/۰۱
جدار صاف	۰/۰۱۲
جدار کمی صاف	۰/۰۱۷
جدار خشتی	۰/۰۲
جدار خاکی	۰/۰۲۵

محاسبه شده و با ظرفیت لوله به قطر ۸۰ سانتیمتر مقایسه می‌گردد که نتایج محاسبات قابل مشاهده است.

با توجه به مفروضات فوق مقدار دبی سیلاب برای حوضه آبریز پل شماره R44 (یک پل نمونه که به مشخصات آن اشاره شد) که دارای آبرو به دهانه یک متر با مشخصات جدول (۷) است

جدول ۷. داده‌ها و نتایج محاسبات مقدار دبی سیلاب برای حوضه آبریز پل شماره R44

مساحت حوضه $A=29920$ مترمربع	زمان تأخیر $t_{lag}=0.058$ ساعت
طول آبراهه $L=280$ متر	SCS: زمان تمرکز روش $T_c=0.097$ ساعت
اختلاف ارتفاع حوضه $H=35$ متر	SCS: دبی سیلاب $Q_p=0.274$ مترمکعب بر ثانیه
نمایه نگهداشت آب $S=1.905$ اینچ	زمان تمرکز روش Kerpich $T_c=0.055$ ساعت
ارتفاع رواناب $Q_d=1.625$ سانتیمتر	شدت بارندگی $I=63.089$ میلیمتر بر ساعت
دبی سیلاب روش Rational $Q=0.31$ مترمکعب بر ثانیه	ضریب مانینگ لوله بتنی $n=0.017$
سطح مقطع آب $A=0.23$ مترمربع	محیط‌تر شده $P=1.459$ متر
شیب کف کانال $I=0.01$	ظرفیت لوله به قطر ۸۰ سانتیمتر و ارتفاع آب ۵۰ سانتیمتر
ظرفیت عبوری $Q=0.720$ مترمکعب بر ثانیه	مقدار دبی سیلاب برای حوضه آبریز پل شماره R44

### پیشنهاد تقویت آبرو با استفاده از لوله بتنی پیش ساخته به منظور مقاوم سازی پل های مسیر ریلی مطهری- کاشمر

آبروها غیرممکن است. با توجه به شرایط موجود استفاده از لوله های بتنی پیش ساخته مناسب ترین راه حل است. نحوه جایگذاری لوله پیش ساخته در سازه قدیمی به این صورت است که بعد از قرارگیری لوله داخل سازه قدیمی، جهت از بین بردن اندرکنش بین این دو سازه و یکپارچه کردن این دو، فضای خالی بین آنها با بتن پر می شود. در ادامه طرح استفاده از لوله های بتنی ارائه می شود. لیست پل های با دهانه یک متر و کوچک تر به صورت جدول (۸) است.

پس از بازدیدها و برداشت های انجام شده از پل های محور مطهری- کاشمر مشخص شد که تعداد زیادی از پل ها، آبرو با دهانه یک متر و کوچک تر هستند. با توجه به اینکه تعداد ۶۵ دستگاه پل آبرو موجود در محور دارای دهانه یک متر و کوچک تر هستند طرح بهسازی این تیپ آبرو از اهمیت بالایی برخوردار است. با توجه به شرایط موجود در محور مطهری- کاشمر مشخص گردید که امکان ورود نیروی انسانی زیر دال امکان پذیر نمی باشد و انجام طرح مقاوم سازی دال برای این تیپ

جدول ۴. لیست پل های آبرو با دهانه یک متر و کوچکتر در محور مطهری- کاشمر

شماره پل	طول دهانه (متر)	شماره پل	طول دهانه (متر)	شماره پل	طول دهانه (متر)	شماره پل	طول دهانه (متر)	شماره پل	طول دهانه (متر)
R29	1	R217	1	R177	1	R100	1	R90	1
R30	0.8	R218	1	R178	0.8	R102	0.8	R92	1
R36	1	R219	1	R187	1	R106	1	R98	1
R44	1	R220	1	R188	1	R107	1	R154	1
R45	1	R226	1	R190	1	R108	1	R156.1	0.8
R49	0.8	R227	1	R191.1	1	R109	0.8	R156.2	0.8
R51	0.8	R228	1	R192	1	R110	0.8	R212	0.8
R53	1	R230	1	R193	1	R111	1	R214	0.8
R54	1	R238	1	R194	1	R112	1	R216	1
R57	1	R240	1	R195	1	R114	1	R251	1
R60	1	R242	1	R196	1	R124	1	R69	1
R65	1	R245	1	R198.1	1	R131	1	R153	1
R66	1	R247	1	R199	1	R133	1	R201	0.8

در صورتی که وزن مخصوص مصالح در این استاندارد موجود نباشد از منابع معتبر دیگر استفاده می شود.

### ۳-۱- محاسبه بارهای دائمی

بارهای دائمی عبارتند از وزن اجزای باربر و غیر باربر تشکیل دهنده پل، خاک روی عرشه، ریل، تراورس، بالاست و.... اجزای باربر قسمتی از پل است که نقش سازه ای داشته باشند؛ مانند سنگ و ملاط پل های طاقی سنگی و اجزای غیر باربر قسمتهایی از پل مانند بالاست، نرده ها، تراورس و ... را شامل می شوند. برای محاسبه بارهای مذکور از استاندارد شماره ۵۱۹ مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران استفاده شده است.

### ۳-۲- بار مرده

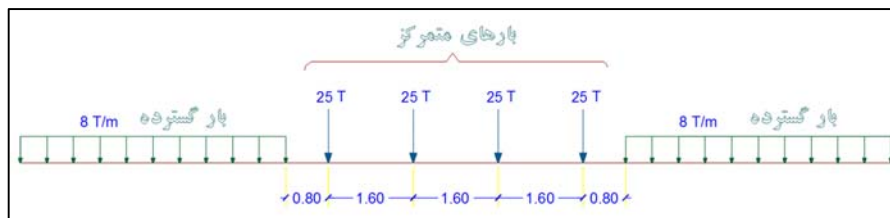
وزن مخصوص خاک و بالاست معادل ۱٫۹ تن بر متر مکعب در نظر گرفته شده است. وزن ریل، تراورس و پابندها معادل ۰٫۷ تن بر متر طول به ازای هر خط عبور می باشد. با توجه به ضخامت ۶۰ سانتی متری بالاست بار مرده پل به طول L از رابطه (۱۳) محاسبه می شود.

$$1.9 \times 0.6 + \frac{0.7 \times L}{L \times 4} = 1.315 \text{ ton}/m^2 \quad (13)$$

با توجه به اینکه پل های با دهانه کمتر از یک متر در اکثر موارد زیرخاکی بوده اند و ارتفاع خاک روی آنها قابل ملاحظه است، بار مرده خاک روی پل در مدل سازی لحاظ شده است. ارتفاع میانگین خاک روی این تیپ آبروها برابر ۱٫۵ متر است.

### ۳-۳- بارهای زنده

برای بارگذاری پل‌ها از بارگذاری استاندارد برای ابنیه فنی راه‌آهن استفاده شده است که بار نشان‌داده‌شده در شکل (۴) را بجای بار واقعی قطار در نظر می‌گیرند.



شکل ۴. بارگذاری استاندارد پل‌های راه‌آهن

### ۴-۳- ضریب دینامیکی ضربه

با توجه به ابعاد سازه مورد تحلیل (قطر یک متری آبرو)، تحلیل سازه مورد نظر با استفاده از روش استاتیک معادل انجام می‌شود. منظور ما از تحلیل دینامیکی در این بخش، بار قطار می‌باشد که به صورت دینامیکی به خط وارد می‌شود و جهت سهولت در تحلیل، بار قطار که باری از جنس دینامیکی و همچنین باری تصادفی می‌باشد به صورت حاصلضرب بار محوری چرخ در ضریب ضربه دینامیکی محاسبه و در ترکیبات بار و تحلیل سازه وارد شده است. در واقع در محاسبه بارها از ضریب ضربه دینامیکی جهت بار قطار استفاده شده است. ضرایب دینامیکی پل‌های دهانه یک متری مذکور با کمک روابط (۱۴ تا ۱۶) محاسبه شده‌اند (Highway & Officials, 2007).

با توجه به ضخامت لایه بالاست نیروهای فوق روی دال توزیع می‌شوند. توزیع بار قطار با توجه به ضخامت خاک و بالاست روی طاق وارد می‌شود. با توجه به وجود حداقل یک متر خاک روی دال بار زنده با شیب یک افقی به دو قائم در عمق کاهش می‌یابد بنابراین ضریب ۰,۵ به بار زنده اعمال می‌شود. برای حمل و نقل‌های خاص می‌توان از بارگذاری اصلاح شده استفاده کرد. در بارگذاری‌های ویژه بارهای متمرکز و یکنواخت تعیین شده در بارگذاری استاندارد ضرایب اصلاحی ۰,۸ برای بار سبک و ۱,۲ برای بار سنگین در نظر گرفته می‌شود. با توجه به اینکه بارگذاری پل‌های محور از نوع ۳ ارزیابی شده است لذا ضریب افزایش بار سنگین ۱,۲ به بارهای زنده اعمال می‌شود.

$$\delta_1 = \frac{0.96}{\sqrt{L} - 0.2} + 0.88 \leq 1.44 \quad (14)$$

$$\delta_2 = \frac{1.44}{\sqrt{L} - 0.2} + 0.82 \leq 1.67 \quad (15)$$

$$\delta_3 = \frac{2.16}{\sqrt{L} - 0.2} + 0.73 \leq 2 \quad (16)$$

مورد پل‌های قوسی با پوشش خاکیز و بالاست بیش از ۱ متر (که تمام آبروهای موردبحث را شامل می‌شود)، ضرایب دینامیکی با رابطه (۱۷) اصلاح می‌شود:

در روابط فوق  $L$  طول مشخصه پل است. با توجه به طول مشخصه و شرایط نگهداری خطوط، ضرایب دینامیکی برای لنگر خمشی و تلاش برشی به دست می‌آید. مقدار ضریب ضربه  $\delta_3$  و  $\delta_2$  به ترتیب نباید از ۲ و ۱,۶۷ بیشتر در نظر گرفته شوند. در

$$\delta_4 = \delta_2 \text{ or } \delta_3 - \frac{\square - 1}{10}, \delta_5 = \delta_1 \text{ or } \delta_2 - \frac{\square - 1}{10} \quad (17)$$

با توجه به دهانه و ارتفاع خاک روی پل‌های محور ضرایب ضربه به صورت جدول (۹) است.

جدول ۵. ضرایب ضربه پس از تصحیح با توجه به پوشش خاک و بالاست

لنگر خمشی		تلاش برشی		ارتفاع پوشش خاکریز و بالاست	دهانه (متر)
δ4	δ3	δ5	δ2		
1.95	2.00	1.62	1.67	1.5	1

### تحلیل سناریوهای بارگذاری

ضرایب بار و تنش‌های مجاز محاسباتی، مطابق آیین‌نامه طراحی انجمن مهندسی و نگهداری خطوط راه آهن آمریکا تعیین شده است (Arema, 2013)، اما احتمال هم‌زمانی و ترکیبات بارگذاری به شرح زیر در محاسبات منظور شده است.

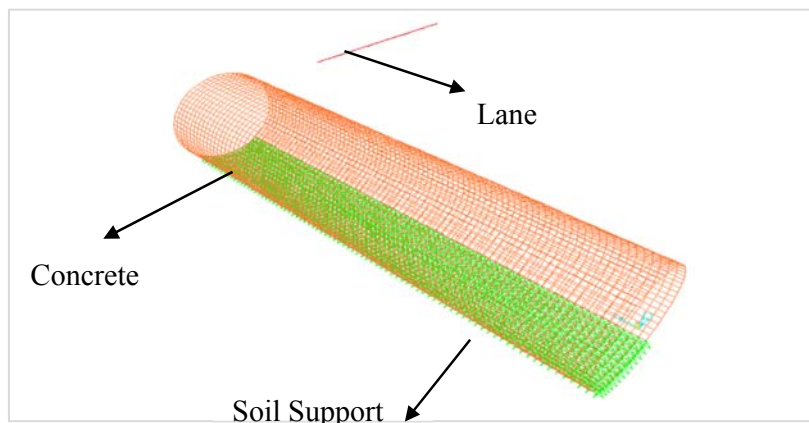
- گروه یک: بار مرده + اثر جریان آب + اثر کاهش وزن ناشی از غوطه‌وری + اثر تغییر شکل‌های تابع زمان مصالح (جمع‌شدگی و وارفتگی) + اثر نشست پایه‌ها + فشار خاک
- گروه دو: شامل گروه یک + بارهای بهره‌برداری همراه با اثر ضربه، ترمز، کشش، گریز مرکز و تأثیر نوسانات جانبی
- گروه سه (الف): شامل گروه یک + اثر باد
- گروه سه (ب): شامل گروه دو + اثر باد
- گروه چهار (الف): شامل گروه یک + اثر تغییرات دما
- گروه چهار (ب): شامل گروه دو + اثر تغییر دما
- گروه پنج: شامل گروه یک + اثر زمین‌لرزه
- گروه شش: شامل گروه یک + نصف سربارهای بهره‌برداری + اثر زمین‌لرزه
- گروه هفت: شامل گروه یک + بارهای ویژه

### بارگذاری در نرم‌افزار SAP

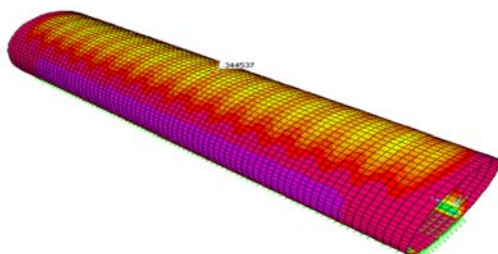
سانتی‌متر و قطر ۸۰ سانتی‌متر استفاده شده است. در شکل (۵) مدل ساخته شده در نرم‌افزار *SAP2000 v17* نشان‌داده شده است.

پس از تحلیل و بررسی نتایج مشاهده می‌شود که بیشترین لنگر خمشی در ترکیب بار زیر دست می‌آید:  $Comb1=1.4$   $Dead + 2.33 Train$  مقدار لنگر خمشی مطابق شکل‌های (۶ و ۷) شبیه‌سازی گردید. بیشینه مقدار لنگر در قسمت فوقانی لوله است. با توجه به مقدار این لنگر و در نظر گرفتن ضخامت ۱۰ سانتی‌متر برای لوله، مقطع لوله طراحی می‌شود. در شکل زیر میزان لنگر ناشی از ترکیب بار فوق مشاهده می‌شود.

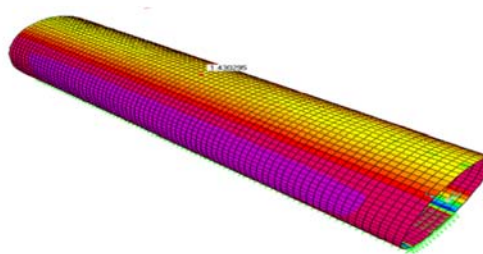
جهت اعمال بار در نرم‌افزار *SAP*، بارهای وارده به سازه قدیمی تماماً به لوله وارد شده است که ترکیبات بارهای مختلف طبق نشریه ۱۳۹ بخش قبل بیان گردیده است (IMPO, 1999). لازم به ذکر می‌باشد که بتن پرکننده بین سازه قدیم و لوله نیز به عنوان بار مرده در محاسبات در نظر گرفته شده است. همچنین در مدل‌سازی باید وضعیت قرارگیری قطار بر روی عرشه به نحوی در نظر گرفته شود که حداکثر تنش‌ها را در مقطع ایجاد نماید. این وضعیت توسط رسم خطوط تأثیر ممان و برش به دست می‌آیند. برای بررسی شرایط پل از مدل‌سازی سه‌بعدی با المان *Shell* استفاده شده است. برای مدل‌سازی از مصالح بتن با مقاومت ۳۰۰ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع و ضخامت ۱۰



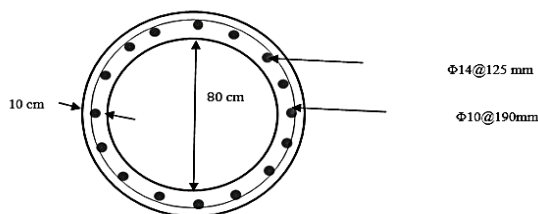
شکل ۵. مدل Shell لوله به قطر ۸۰ سانتی متر



شکل ۷. مقدار لنگر خمشی در جهت طولی لوله



شکل ۶. مقدار لنگر خمشی در قسمت فوقانی لوله



شکل ۸. مقطع پیشنهادی لوله بتنی و میل گردگذاری

دارد که می توان با روش های گوناگون مقاوم سازی شوند. یکی از روش های بسیار اقتصادی افزایش مقاومت پل های مذکور کارگذاری لوله های بتنی پیش ساخته مقاوم در داخل دهانه آنها است که نیاز به بررسی های مقایسه ای ظرفیت هیدرولیکی پل دارد. بر اساس مطالعات انجام شده مطالعات هیدرولوژی حوضه آبریزهای مربوط به پل های موجود تهیه و بهترین روش استفاده از لوله بتنی پیش ساخته در نظر گرفته شد. با توجه به مطالعات هیدرولیکی صورت گرفته می توان از لوله های بتنی با قطر داخلی ۷۰ الی ۸۰ سانتی متر در داخل آبروها استفاده نمود و مسیر آبروها در حدود ۵۰ متری اطراف دهانه اصلاح گردد. این روش ضمن سهولت در اجرا برابر محاسبات به خوبی می تواند ظرفیت

بر اساس نتایج پیشینه مقدار لنگر خمشی در این مدل برابر ۱,۴۳۵ تن بر متر است. با توجه به میزان لنگر فوق مقدار میل گرد مورد نیاز در جهت محیطی و طولی محاسبه شده و مقطع لوله بتنی به صورت شکل (۸) پیشنهاد می شود.

### ۵- نتیجه گیری

از مسیر مهم ترانزیتی ریلی سرخس- بافق- بندرعباس، به دلیل فرسودگی پل ها و تغییرات محیط هیدرولوژیکی منطقه فاقد ظرفیت بارمحوری ۲۵ تن است. در این محور در حدفاصل کیلومتر ۷۶۴ تا ۸۸۷ محور ریلی خراسان با ظرفیت بارمحوری ۲۰ تن، تعداد ۶۵ عدد پل با پایه های سنگی و دال بتنی وجود

## ۶- سیاست‌گذاری

در این بخش لازم است از زحمات آقای محمد مجید زهتابیان از اداره کل خط راه آهن ج.ا.ا برای تهیه اطلاعات پروژه و همچنین مصطفی نصیری ورگ مدیر کل محترم و آقای حسین رنجبر زنجانی ریس گروه خط و سازه‌های فنی اداره کل راه آهن خراسان که در تهیه و جمع‌آوری اطلاعات و تکمیل مراحل این مطالعه کمک شایانی نمودند؛ تقدیر و تشکر به عمل آید.

هیدرولیکی پل‌های آبرو ریلی را پوشش دهد. پس از مطالعات انجام شده با توجه به وضعیت موجود محور مطهری-کاشمر و فریمان-مشهد و عدم دسترسی به زیر آبروها با دهانه کمتر از یک متر از طرح تقویت با استفاده از لوله بتنی استفاده شده است. ضخامت لوله ۱۰ سانتی و قطر داخلی آن برابر ۸۰ سانت است. همچنین با این شیوه می‌توان به استحکام مناسب در جهت تقویت و مقاوم‌سازی پل‌ها دست‌یافت.

## ۷-مراجع

- Dikanski, H., Hagen-Zanker, A., Imam, B., & Avery, K. (2016). Climate change impacts on railway structures: bridge scour. Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Engineering Sustainability ,
- Dooge, J. C. (1986). Looking for hydrologic laws. *Water Resources Research*, 22(9S), 46S-58S .
- Ellington, M. M., & Ferguson, B. K. (1999). Comparison of infiltration and detention in the Georgia Piedmont using recent hydrologic models. Georgia Institute of Technology .
- Esmaili, M., Kamali, M., & Heydari-Noghabi, H. (2016). Numerical investigation of the behavior of approach slabs in transition zone of ballasted track to box culvert in high-speed railway lines. *Journal of Structural and Construction Engineering*, 3(1), 112-128. [https://www.jsce.ir/article\\_38591\\_276060c97f387c52d08d3c555bad77eb.pdf](https://www.jsce.ir/article_38591_276060c97f387c52d08d3c555bad77eb.pdf)
- Evangelista, L., & Vedova, M. (2008). The Italian high speed network: Design and construction of the reinforced concrete bridges. In *Bridges for High-Speed Railways* 57-80, CRC Press .
- Flynn, R. H. (2010). *Flood study of the Suncook River in Epsom, Pembroke, and Allenstown, New Hampshire* . ۲۰۰۹, US Department of the Interior, US Geological Survey .
- Hassannayebi, E., Zegordi, S. H., Amin-Naseri, M. R., Yaghini, M., & Kalantari, H. (2017). Passenger Train Re-Scheduling Model in Rail Networks under Line Blockage. *Quarterly Journal of Transportation Engineering*, 9(1), 91-123. [http://jte.sinaweb.net/article\\_49115\\_1e429f28a4a721c5ddcfb5a1572c3c41.pdf](http://jte.sinaweb.net/article_49115_1e429f28a4a721c5ddcfb5a1572c3c41.pdf)
- Abdi, A., Qanbarpur, A., & Mousavi, S. I. (2014). Economic and seismic analysis of can-shaped highways at the same level and underground, *The second national earthquake conference of Iran*. <https://civilica.com/doc/362721>
- Aftab, A., Ghorbani, A., Taghilo ,A. A., & Soltanzadeh, V. (2014). Study the effect of natural factors on the spatial distribution of ancient centers using GIS in West Azerbaijan. *Spatial planning*, 4(3), 37-60 .
- Alrdadi, R., & Meylan, M. H. (2022). Modelling water flow through railway ballast with random permeability and a free boundary. *Applied Mathematical Modelling*, 103, 36-50 .
- AmouzadehOmrani, M., Hadizadeh, E., & Hajimirzajan, A. (2024). Investigating the causes and factors of railway accidents caused by the escape of a train carrying dangerous goods and its role in the Khayyam station accident. *Road*, 32(118), 75-90 .
- AmouzadehOmrani, M., Hadizadeh, E., & Taherian, M. (2023). Investigation of Parameters Affecting the Increase of Railway Capacity (Case Study: Mashhad-Tehran and Doroud-Andimeshk Lines). *Road*, 31(114), 71-80.
- doi.org/10.22034/road.2022.337304.2038**
- Arema, L. (2013). American railway engineering and maintenance-of-way association. *Man. Railw. Eng*, 2, 55-57 .
- Diep, H. T., Moon, J., & Choi, B. H. (2023). Structural Performance of Prefabricated Composite Girders for Railway Bridges along with Girder-to-Deck Interface Connections for Mechanical Injection. *Applied Sciences*, 13(11), 6686 .

- Khorasan Province. *Iranian Journal of Ecohydrology*, 6(2), 385-395.  
**doi.org/10.22059/ije.2019.272500.1015**
- Manning, R. (1891). On the flow of water in open channels and pipes: Institute of Civil Engineers of Ireland Transactions, v. 20 .
- Mirhashemi, S. N. (2021). Effective Measures to Reduce Factors Affecting Increase in Cost of Bridge Projects. *Road*, 29(106), 43-52.  
**doi.org/10.22034/road.2021.99590**
- Mishra, S. K., & Singh, V. (2003). *Soil conservation service curve number (SCS-CN) methodology* (Vol. 42). Springer Science & Business Media .
- Pakbaz, H., safaee kochaksaraee, a., & Habibi, m. (2018). Study of the Basic Parameters in the Design and Construction of Bridge Overpass in the River .*Water Engineering*, 6(2), 124-131.  
[https://jwe.shoushtar.iau.ir/article\\_665408edde71e03f93596a4459c1cec703bbca.pdf](https://jwe.shoushtar.iau.ir/article_665408edde71e03f93596a4459c1cec703bbca.pdf)
- Rivaz, N., & Musavi-Jahromi, S. H. (2012). Effect of bridges on the river hydrograph characteristics along the ephemeral rivers system. *World Appl Sci J*, 19(2), 248-256 .
- Sahrpeyma, A., Hosseini, A., & Marefat, M.-S. (2013). Life-cycle prediction of steel bridges using reliability-based fatigue deterioration profile: case study of neka bridge. *International Journal of Steel Structures*, 13 ,229-242 .
- Shermukhamedov, U., Karimova, A., Abdullaev, A., & Khakimova, Y. T. (2023). Comparison of operating costs of reinforced concrete bridges and overpasses with different static schemes. *E3S Web of Conferences*.
- Täljsten, B., Carolin, A., & Pedersen, H. (2007). Repair and Strengthening of Railway Bridges: Guideline. *In Sixth Framework Programme*.
- Thaduri, A., Garmabaki, A., & Kumar, U. (2021). Impact of climate change on railway operation and maintenance in Sweden: A State-of-the-art review. *Maintenance, Reliability and Condition Monitoring (MRCM)*, 1(2), 52-70 .
- Wang, H., Hsieh, S.-C., Lin, C., & Wang, C.-Y. (2014). Forensic diagnosis on flood-induced bridge failure. I: Determination of the possible causes of failure. *Journal of Performance of Constructed Facilities*, 28(1), 76-84 .
- Wang, Y.-h., Zou, Y.-s., Xu, L.-q., & Luo, Z. (2015). Analysis of water flow pressure on bridge piers considering the impact effect. *Mathematical Problems in Engineering*.
- Hayward, A. C. (2014). The construction of railway bridges then and now. *The International Journal for the History of Engineering & Technology*, 84, (1), 59-87 .
- Heibaum, M. (2014). Geosynthetics for waterways and flood protection structures–Controlling the interaction of water and soil. *Geotextiles and Geomembranes*, 42(4), 374-393 .
- Highway, A. A. o. S., & Officials, T. (2007). *AASHTO LRFD Bridge Design Specifications*. American Association of State Highway and Transportation Officials.  
<https://books.google.com/books?id=DqPGWwEACAAJ>
- Hosseini, A., & Sahrapima, A. (2011). *Predicting the time of repair and replacement of metal railway bridges (Case Study: Neka railway bridge and truss* 9th International Congress of Civil Engineering, <https://civilica.com/doc/165311>
- Rules for loading bridges- Issue 139, (1999).
- Indraratna, B., & Nimbalkar, S. (2013). Stress-Strain Degradation Response of Railway Ballast Stabilized with Geosynthetics. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 139(5), 684-700.  
**doi.org/doi:10.1061/(ASCE)GT.1943-5606.0000758**
- Karamali, M., Shujayan, M., & Soltani, A. (2012). *The effect of increasing the axial load and vehicle speed on the transverse vibrations on the bridge* National conference of applied researches in science and engineering.  
<https://civilica.com/doc/290658>
- Karami Moghadam, M., Moradi Motlagh, E., Sabzevari, T., & Mohammadpour, R. (2021). Application of remote sensing and GIS techniques in SCS-CN model (Case Study: Balarood Basin, Khuzestan). *Environment and Water Engineering*, 7(1), 157-169 .
- Kirpich, Z. (1940). Time of concentration of small agricultural watersheds. *Civil engineering*, 10(6), 362 .
- Lagadec, L.-R., Moulin, L., Braud, I., Chazelle, B., & Breil, P. (2018). A surface runoff mapping method for optimizing risk assessment on railways. *Safety Science*, 110, 253-267 .
- Mahdavivafa, h., & Sharifi, R. (2019). Simulation of Hydrological Processes in Dry Areas Case study; Kardeh watershed in Razavi

# Hydrological and Static Analysis of Reinforcing Water Bridges on Motahari-Kashmer Railroad Track with Precast Concrete Pipes

*Ebrahim Hadizadeh, Department of Civil Engineering, Ayat Amoli Unit,  
Islamic Azad University, Amol, Iran.*

*Mojtabi Ismail Nia Amiri, Assistant Professor, Department of Civil Engineering,  
Amol Branch, Islamic Azad University, Amol, Iran.*

*Amir Hajimirzajan, Department of Industrial Engineering, Yazd University, Yazd, Iran.*

*Milad Taherian, Faculty of Electrical and Computer Engineering, Semnan University,  
Semnan, Iran.*

*E-mail: Mo.Esmaeilnia@iau.ac.ir*

Received: June 2024- Accepted: September 2024

## **ABSTRACT**

Over the past years, expelling the speed constraint of passenger trains, expanding the freight carrying capacity on railroad lines, and expanding the safety factor of rail traffic amid floods have been of particular significance. In this manner, retrofitting and strengthening the old bridges, which are the most structured to increase the capacity of the lines, has been placed within the organizational priorities of the railroad transportation authorities. The Kashmer-Motahari axis has lines with an axial load capacity of 20 tons. It is the bottleneck of the Bafaq-Sarkhes rail course, with lines with an axial load capacity of 25 tons. Between 764 and 887 kilometres of the Freeman-Kashmer railroad pivot, numerous bridges with stone foundations and concrete slabs can be strengthened with different barrages. One of the ways to extend the resistance of the specified bridges is to utilize resistant prefabricated concrete pipes inside their openings, which needs comparative investigations of the pressure-driven capacity of the bridge. Within the conducted studies, the hydrological studies of the watersheds related to the existing bridges were arranged, and the leading strategy of using prefabricated concrete pipes was considered. Moreover, the precast concrete pipe structure was modelled and analyzed in SAP 2000 version 17 software. At last, these bridges were reinforced using concrete pipes with an internal diameter of 70-80 cm inside the water passages. The sides of the water passages were levelled and prepared up to approximately 50 meters of the bridge for the proper passage of water.

**Keywords:** Railway Bridges, Hydrological Analysis, Bridge Strengthening, Concrete Pipes, Khorasan Railway Axis