تحلیل و مقایسه گزینه‌های اصلاح مسیر و ایستگاه ریلی در محدوده‌های تاریخی (مطالعه موردی: تپه حصار دامغان)

مقاله علمی - پژوهشی

محمد محسن کبیری نصرآباد، دستیار تحقیقاتی، مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی، تهران، ایران
*مسعود فتحعلی (نویسنده مسئول)، استادیار، مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی، تهران، ایران
*پست الکترونیکی نویسنده مسئول: m.fathali@bhrc.ac.ir

دریافت: ۱۴۰۴/۰۹/۲۰- پذیرش: ۱۴۰۵/۰۳/۰۲
صفحه ۲۲۲-۲۰۷

چکیده

عبور خط ریلی تهران-مشهد از مجاورت محوطه تاریخی تپه حصار دامغان در نزدیکی شهر دامغان، ضرورت بررسی گزینه‌های اصلاح مسیر را از منظر فنی، اقتصادی و حفاظتی مطرح ساخته است. در این پژوهش، گزینه‌های مختلف شامل جابه‌جایی ایستگاه، اصلاح هندسه مسیر و اجرای سازه‌های غیرهمسطح با استفاده از شاخص‌هایی نظیر سرعت قابل دستیابی قطار، شعاع قوس‌ها، هزینه احداث، تداخل بهره‌برداری و هزینه‌های نگهداری ارزیابی شدند. نتایج نشان داد برخی گزینه‌ها به دلیل نیاز به سرمایه‌گذاری بسیار سنگین و ایجاد اختلال قابل‌توجه در بهره‌برداری محور پرتردد، فاقد توجیه اجرایی هستند؛ در حالی که گزینه‌های مبتنی بر اصلاح هندسی مسیر یا انتقال محدود ایستگاه، با سطح سرمایه‌گذاری به‌مراتب کمتر، توانسته‌اند الزامات عملکردی مسیر را تأمین کنند. برآوردها نشان داد انتقال کامل ایستگاه مستلزم هزینه‌ای به‌مراتب بالاتر از گزینه‌های اصلاح مسیر است، در حالی که برخی اصلاحات هندسی با هزینه‌ای به‌مراتب پایین‌تر و در محدوده‌ای قابل‌مدیریت قابل اجرا هستند. همچنین افزایش شعاع قوس‌ها از مقادیر کم به مقادیر بزرگ‌تر، موجب بهبود راندمان حرکت قطار، کاهش هزینه‌های تعمیر و نگهداری و صرفه‌جویی زمانی در سیر قطار می‌شود. بر این اساس، انتخاب گزینه بهینه وابسته به اولویت‌های تصمیم‌گیری میان توسعه خطوط با ارتقای سرعت، سطح سرمایه‌گذاری مورد نیاز، شرایط بهره‌برداری موجود و الزامات حفاظت از میراث فرهنگی بوده و نتایج این مطالعه می‌تواند به‌عنوان چارچوبی تصمیم‌یار در پروژه‌های ریلی واقع در مجاورت محوطه‌های تاریخی مورد استفاده قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی: اصلاح مسیر ریلی، تپه حصار دامغان، ارزیابی فنی و اقتصادی، واریانت‌های مسیر، حفاظت میراث فرهنگی

۱- مقدمه

ایستگاه دامغان، یکی از ایستگاه‌های کلیدی در مسیر پرترافیک تهران-مشهد (Shakibayifar et al., 2018)، در فاصله ۳۶۲ کیلومتری از تهران و در جنوب شهر دامغان واقع شده است. این ایستگاه به‌عنوان یکی از نقاط حیاتی شبکه ریلی کشور، نقش مهمی در حمل و نقل مسافری و باری دارد و روزانه هزاران مسافر و صدها تن بار از آن عبور می‌کنند. بخشی از ایستگاه و ادامه خط ریلی به سمت مشهد در محدوده حریم و عرصه محوطه تاریخی تپه حصار قرار گرفته است (شکل (۱)). عبور خطوط ریلی از این محدوده تاریخی، علاوه بر ایجاد آسیب‌های مستقیم به بافت میراثی، مشکلات فنی و اجرایی متعددی در

نگهداری و بهره‌برداری خطوط ایجاد می‌کند و نیازمند بررسی دقیق مهندسی و اقتصادی برای اصلاح مسیر است. مطالعات اولیه نشان می‌دهد که ارتعاش و صدا ناشی از عبور قطارها، تماس چرخ و ریل، ناهمواری مسیر و عملیات نگهداری خطوط می‌تواند بر پایداری سازه‌ها، سلامت انسان و حفاظت از میراث فرهنگی تأثیر منفی داشته باشد (Casazza & Barone, 2024; Ouakka et al., 2022; Popa et al., 2025; Thompson, 2008; Vogiatzis & Kouroussis, 2017). این اثرات به ویژه برای محوطه‌های باستانی حساس‌تر است و نیازمند مدیریت مهندسی دقیق است تا ضمن حفظ ارزش تاریخی، عملکرد خطوط ریلی مختل نشود (فتحعلی و کبیری نصرآباد، ۱۴۰۵).

شکل ۱. محدوده عرصه و حریم مجموعه تاریخی تپه حصار

تپه حصار دامغان، واقع در دو کیلومتری جنوب شرق شهر، یکی از محوطه‌های باستانی برجسته ایران با قدمت حدود هفت هزار سال است و در تاریخ ۲۴ شهریور ۱۳۱۰ در فهرست آثار ملی به ثبت رسیده است (Afshar, 2014; Antonson et al., 2010). این محوطه برای نخستین بار توسط اریش اشمیت از دانشگاه پنسیلوانیا در سال ۱۳۱۲ مورد کاوش قرار گرفت و مشخص شد که دارای سه دوره اصلی فرهنگی از اواخر نوسنگی تا پایان عصر مفرغ است.

کاوش‌های بعدی در سال‌های ۱۳۵۵ و ۱۳۷۳ توسط تیم‌های باستان‌شناسی دانشگاه‌های پنسیلوانیا و تورین و مرکز باستان‌شناسی ایران انجام شد و یافته‌ها شامل بررسی مواد به‌دست‌آمده، بازنگری دوره‌بندی فرهنگی و شناسایی فعالیت‌های تولیدی و تجاری منطقه بود (Anisi, 2021). مطالعات باستان‌شناسی نشان داده‌اند که تپه حصار در هزاره‌های چهارم و سوم قبل از میلاد، به‌عنوان یکی از مراکز مهم تولید انواع اقلام صادراتی مانند اشیای سنگی و فلزی در فلات مرکزی ایران نقش برجسته‌ای داشته است. همچنین کشف گل‌نبشته‌های میخی بابلی با قدمت حدود ۲۲۰۰–۲۰۰۰ قبل از میلاد و گورستان عصر آهن (۱۵۰۰ تا ۵۵۰ قبل از میلاد) اهمیت تاریخی و فرهنگی این محوطه را به‌وضوح نشان می‌دهد (Afshar, 2014; Anisi, 2021; Meybodi, 2021). یافته‌های باستان‌شناسی همچنین بیانگر استمرار سکونت در تپه حصار تا حدود ۱۷۰۰ قبل از میلاد و آیین‌های دفن مردگان مرتبط با خورشید و اشیاء همراه آنها است که نشان‌دهنده پیچیدگی فرهنگی و اقتصادی این منطقه در دوره‌های مختلف است (ANDAROODI & Aghaeimeybodi, 2021; Khazaiee, 2018). علاوه بر این، کشف گچبری‌ها و سازه‌های دوره ساسانی در فاصله حدود ۲۰۰ متر از تپه حصار، نشان‌دهنده اهمیت تاریخی و معماری منطقه در دوره‌های پس از عصر مفرغ است (Farokhnia & De Graef, 2020).

هدف اصلی این مطالعه، ارائه گزینه‌ای بهینه است که ضمن حفظ ارزش تاریخی و فرهنگی تپه حصار، عملکرد و ایمنی خطوط

ریلی پرترافیک تهران–مشهد را تضمین نماید. به دلیل حساسیت محوطه‌های تاریخی نسبت به ارتعاش و صدا (Casazza & Barone, 2024; Coulier et al., 2014; Hanson et al., 2012)، تحلیل مهندسی دقیق و ارزیابی اقتصادی هر گزینه، پیش‌شرط انتخاب بهترین روش اصلاح مسیر و تغییر موقعیت ایستگاه است. این رویکرد امکان تصمیم‌گیری مبتنی بر داده‌های فنی، اقتصادی و فرهنگی را فراهم می‌کند و تضمین می‌کند که توسعه زیرساخت‌های ریلی با حفاظت از میراث ملی ایران هم‌راستا باشد.

با این حال، تحقیقات در زمینه تعامل بین توسعه زیرساخت‌های ریلی و حفاظت از محوطه‌های تاریخی بسیار اندک است و به‌ویژه در منابع داخلی، خلا تحقیقاتی عمده‌ای در زمینه‌های بین‌رشته‌ای میراث فرهنگی و مهندسی زیرساخت وجود دارد. این کمبود اطلاعات علمی، نیاز به مطالعات جامع و چارچوب‌های تصمیم‌یار مبتنی بر داده‌های فنی، اقتصادی و فرهنگی را دوچندان می‌کند.

برای ارائه ارزیابی اقتصادی قابل مقایسه و بدون استفاده از مقادیر عددی مطلق، در این مطالعه از یک نظام سطح‌بندی نسبی مبتنی بر نماد G استفاده شده است. در این چارچوب، G نمایانگر سطح مبنای هزینه پروژه‌های مشابه ریلی در شرایط اجرایی منطقه است و سایر نمادها به‌صورت افزایشی یا کاهشی نسبت به این مبنا تعریف می‌شوند؛ به‌طوری که سطوحی مانند +G، G++ بیانگر افزایش مرتبه‌ای هزینه نسبت به سطح مبنا و سطوحی مانند -G نشان‌دهنده هزینه کمتر از سطح مرجع هستند. این شیوه، امکان مقایسه شفاف گزینه‌ها از منظر اقتصادی را بدون وابستگی به اعداد مطلق فراهم می‌کند و قابلیت تعمیم نتایج به سایر پروژه‌های مشابه را نیز افزایش می‌دهد.

ارزیابی اقتصادی گزینه‌ها اهمیت ویژه‌ای دارد. هزینه‌های احتمالی شامل عملیات خاکی، زیرسازی، روسازی، تجهیزات ایستگاهی، خطوط بالک، برقی کردن مسیر و ایجاد تقاطع‌ها بر اساس برآوردهای پروژه محاسبه شده است تا تصمیم‌گیری مبتنی بر منطق هزینه–فایده انجام شود. با توجه به داده‌های تاریخی، فرهنگی و فنی، این مطالعه چارچوبی جامع برای مدیریت همزمان توسعه زیرساخت ریلی و حفاظت از میراث ملی ارائه می‌دهد و بررسی گزینه‌های اصلاح مسیر ریلی در محدوده تاریخی تپه حصار دامغان می‌تواند الگویی برای سایر محوطه‌های تاریخی ایران باشد که در مسیر توسعه زیرساخت‌های حمل و نقل قرار دارند.

۲- معرفی واریانت‌های پیشنهادی اصلاح مسیر

به‌منظور بررسی گزینه‌های مختلف اصلاح موقعیت ایستگاه و خطوط بالک در محدوده دامغان، هشت واریانت پیشنهادی تعریف و مورد مطالعه قرار گرفته است. این واریانت‌ها با هدف کاهش اثرات عبور خط ریلی از محدوده تاریخی، بهبود شرایط بهره‌برداری و امکان ارتقای سرعت حرکت قطارها طراحی شده‌اند. گزینه‌های پیشنهادی شامل جابجایی ایستگاه، اصلاح هندسه مسیر، افزایش شعاع قوس‌ها و استفاده از سازه‌های غیرهمسطح می‌باشند که به شرح زیر دسته‌بندی می‌شوند (شهرسازی و ریلی، ۱۴۰۱):

–انتقال ایستگاه به سمت شمال‌شرق (واریانت ۱)

–انتقال ایستگاه به سمت شمال‌شرق با آرایش هندسی متفاوت (واریانت ۲)

–انتقال ایستگاه به جنوب موقعیت فعلی (واریانت ۳)

–اصلاح انتهای خطوط ایستگاهی بدون جابجایی کامل ایستگاه (واریانت ٤)

–اصلاح انتهای ایستگاه همراه با افزایش شعاع قوس‌ها (واریانت ۵)

–دوران کامل ایستگاه (واریانت ٦)

–اجرای ایستگاه و مسیر در محدوده تاریخی به‌صورت روگذر (واریانت ۷)

–اجرای ایستگاه و مسیر به‌صورت زیرگذر (واریانت ۸)

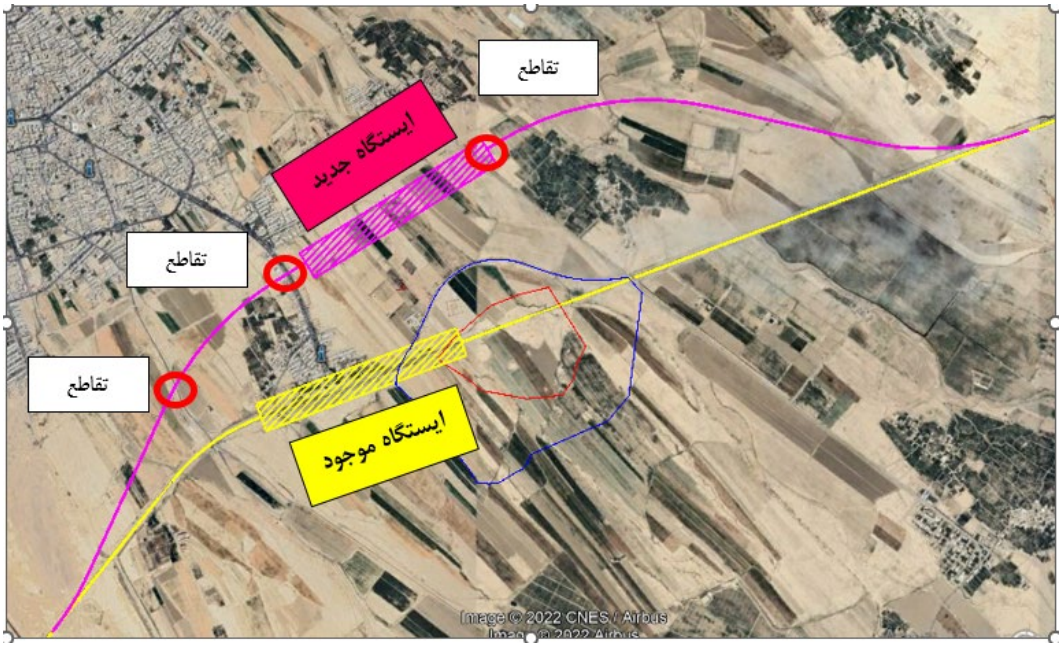
لازم به توضیح است که بررسی دقیق فنی و اقتصادی هر یک از گزینه‌ها نیازمند مطالعات تفصیلی هندسی، عملیاتی و هزینه‌ای است. در این مرحله، مقایسه واریانت‌ها به‌صورت اولیه و با برآوردهای تقریبی انجام شده است تا امکان غربالگری گزینه‌ها و تمرکز بر گزینه‌های دارای قابلیت اجرایی فراهم گردد. در ادامه، پس از حذف گزینه‌های دارای صعوبت اجرایی یا هزینه‌های غیرقابل توجیه، مقایسه تفصیلی میان گزینه‌های منتخب از منظر فنی و اقتصادی انجام شده است.

۲-۱-واریانت ۱: انتقال ایستگاه به شمال‌شرق ایستگاه موجود

در واریانت ۱، کل ایستگاه تشکیلاتی دامغان به سمت شمال و در حدفاصل ایستگاه موجود و محدوده شهری جابه‌جا شده است. در طراحی این گزینه تلاش شده است مسیر جدید با حداقل میزان تلاقی با کاربری‌های موجود، به‌ویژه ساختمان‌ها و باغات، انتخاب شود و در عین حال از قوس‌هایی با شعاع مناسب (حدود ۲۰۰۰ متر) برای تأمین الزامات هندسی خط استفاده گردد. با وجود این، در سه نقطه تلاقی با راه‌های موجود مشاهده می‌شود که مستلزم احداث تقاطع غیرهمسطح یا اصلاح مسیر راه‌های دسترسی خواهد بود. مشخصات کلی هندسی و برآورد هزینه تقریبی اجرای این گزینه در جدول (۱) ارائه شده و نمای شماتیک آن در شکل (۲) نشان داده شده است. طول خطوط ایستگاهی در این واریانت در مجموع حدود ۱۳٬۹۶۰ متر (دو خط) و طول بالاست موردنیاز نزدیک به ۶٬۰۰۰ متر برآورد می‌شود که بیانگر مقیاس قابل توجه عملیات زیرسازی و روسازی در این گزینه است.

جدول ۱. مشخصات هندسی و برآورد هزینه واریانت ۱

پارامتر / آیتم هزینه	واحد	مقدار	سطح هزینه (G)	توضیحات
شعاع قوس افقی	متر	2,000	—	مشخصات هندسی مسیر
حداکثر شیب مسیر	‰	8	—	مشخصات هندسی مسیر
سرعت سیر قطار	km/h	200	—	مشخصات هندسی مسیر
احداث زیرسازی	متر طول	19,960	G+	هزینه قابل توجه اجرایی
احداث روسازی	متر طول	19,960	G++	هزینه بالا در سازه مسیر
ابنیه فنی (تقاطع غیرهمسطح)	دستگاه	3	G	هزینه متوسط سازه‌ای
جابجایی علائم و سیگنالینگ	—	—	G-	هزینه کم‌اثر در کل پروژه
احداث ایستگاه جدید	—	—	G+	هزینه قابل توجه ساختمانی
تملک اراضی	هکتار	51	G+++	بیشترین فشار مالی پروژه
جمع کل هزینه‌ها	—	—	G++	سطح کلی سرمایه‌گذاری پروژه



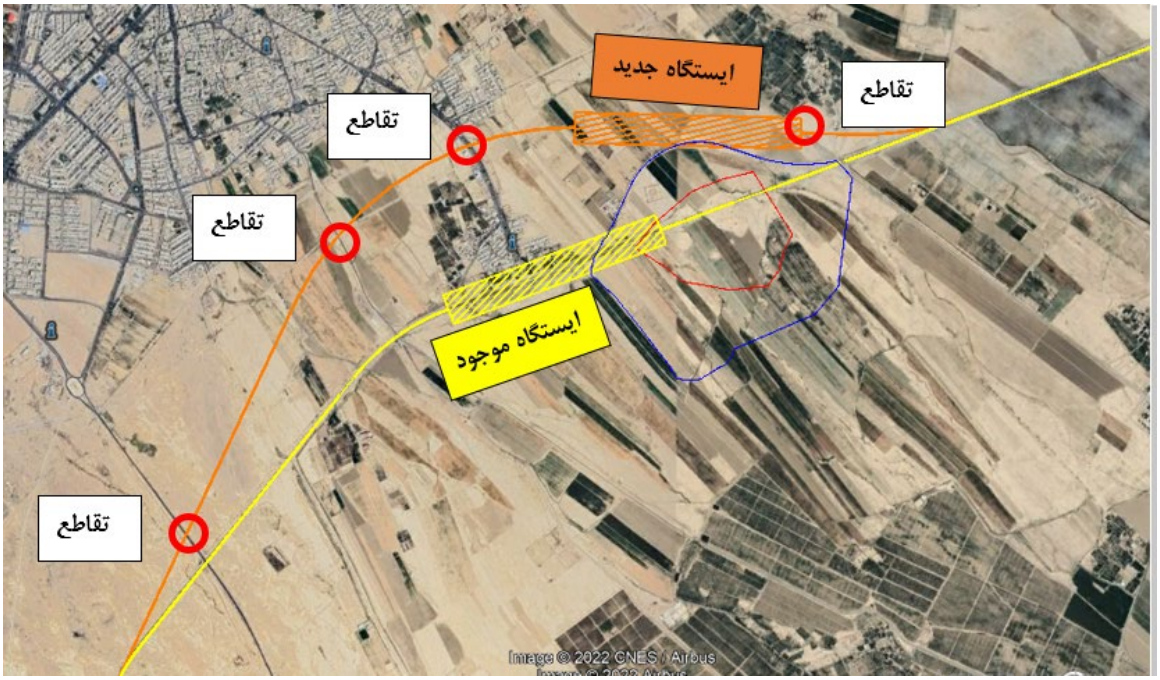
شکل ۲. شمایی از واریانت شماره ۱

۲-۲- واریانت ۲: انتقال ایستگاه به شمال‌شرق ایستگاه موجود

در واریانت ۲، مشابه واریانت ۱، کل ایستگاه تشکیلاتی دامغان به سمت شمال و در حدفاصل ایستگاه موجود و محدوده شهری انتقال داده شده است، با این تفاوت که آرایش مسیر در بخش شرقی ایستگاه اصلاح شده تا ضمن حفظ الزامات عملکردی، میزان تلاقی با کاربری‌های موجود به حداقل برسد. در طراحی این گزینه نیز از قوس‌هایی با شعاع حدود ۲۰۰۰ متر استفاده شده است تا شرایط مناسب هندسی و بهره‌برداری تأمین شود. با این حال، مسیر پیشنهادی در چهار نقطه با راه‌های موجود، ساختمان‌ها و باغات تلاقی دارد که اجرای تقاطع‌های غیرهمسطح یا اصلاح دسترسی‌های محلی را ضروری می‌سازد. مشخصات کلی طرح هندسی و براورد هزینه‌های این واریانت در جدول (۲) ارائه شده و نمای آن در شکل (۳) نمایش داده شده است.

جدول ۲. مشخصات هندسی و برآورد هزینه واریانت ۲

پارامتر / آیتم هزینه	واحد	مقدار	سطح هزینه (G)	توضیحات
شعاع قوس افقی	متر	2,000	—	مشخصات هندسی مسیر
حداکثر شیب مسیر	‰	8	—	مشخصات هندسی مسیر
سرعت سیر قطار	km/h	200	—	مشخصات هندسی مسیر
احداث زیرسازی	متر طول	18,280	G+	هزینه قابل توجه اجرایی
احداث روسازی	متر طول	18,280	G++	هزینه بالا در سازه مسیر
ابنیه فنی (تقاطع غیرهمسطح)	دستگاه	4	G+	هزینه سازه‌ای قابل توجه
جابجایی علائم و سیگنالینگ	—	—	G-	هزینه کم در مقیاس پروژه
احداث ایستگاه جدید	—	—	G+	هزینه ساختمانی قابل توجه
تملک اراضی	هکتار	48	G+++	بیشترین سهم هزینه پروژه
جمع کل هزینه‌ها	—	—	G++	سطح کلی سرمایه‌گذاری



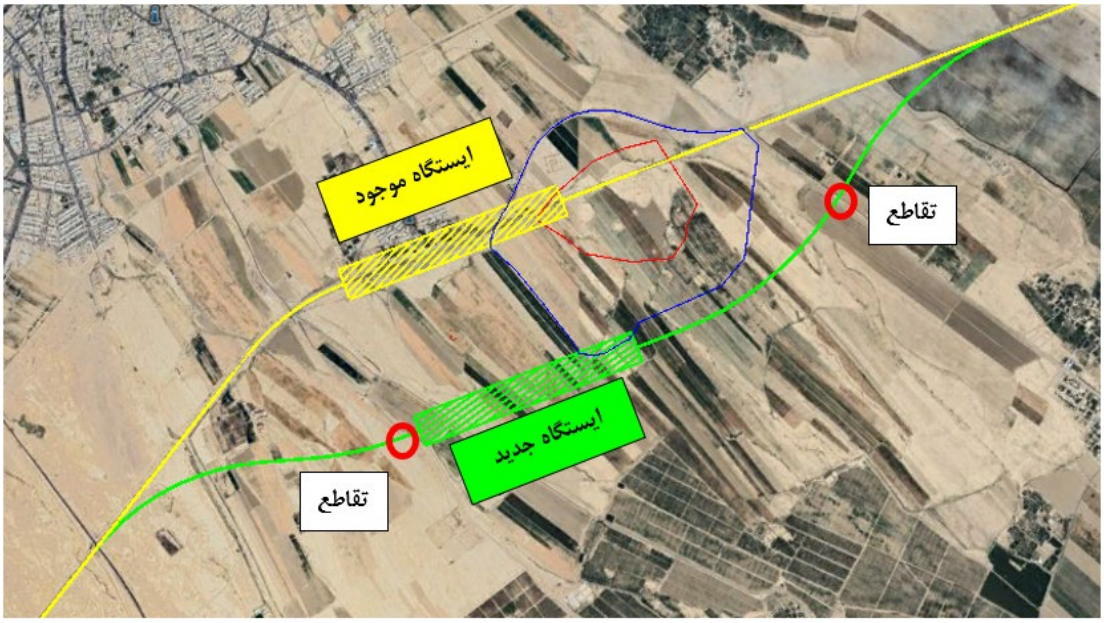
شکل ۳. شمایی از واریانت شماره ۲

۲-۳-واریانت ۳: انتقال ایستگاه به جنوب ایستگاه موجود

در واریانت ۳، کل ایستگاه تشکیلاتی دامغان به سمت جنوب و در فاصله‌ای دورتر از محدوده شهری منتقل شده است. در این گزینه، تلاش شده است با بهره‌گیری از قوس‌هایی با شعاع حدود ۲۰۰۰ متر، مسیر جدید به گونه‌ای طراحی شود که ضمن تأمین الزامات هندسی و بهره‌برداری، کمترین میزان تلاقی با کاربری‌های موجود را داشته باشد. با این وجود، مسیر پیشنهادی در دو نقطه با راه‌های موجود، ساختمان‌ها و باغات تلاقی دارد که اجرای تقاطع‌های غیرهمسطح یا اصلاحات موضعی در دسترسی‌ها را ضروری می‌سازد. مشخصات کلی طرح هندسی و براورد هزینه این واریانت در جدول (۳) ارائه شده و تصویر آن در شکل (٤) نمایش داده شده است. لازم به ذکر است که با توجه به فاصله بیشتر ایستگاه از محدوده شهری در این گزینه، هزینه‌های استملاک زمین نسبت به سایر واریانت‌ها کمتر برآورد می‌شود که می‌تواند از منظر اقتصادی یک مزیت نسبی برای این گزینه محسوب شود.

جدول ۳. مشخصات هندسی و برآورد هزینه واریانت ۳

پارامتر / آیتم هزینه	واحد	مقدار	سطح هزینه(G)	توضیح
شعاع قوس افقی	متر	2,000	—	مشخصات هندسی مسیر
حداکثر شیب مسیر	‰	3	—	مشخصات هندسی مسیر
سرعت سیر قطار	km/h	200	—	مشخصات هندسی مسیر
احداث زیرسازی	متر طول	17,104	G+	هزینه اجرایی قابل توجه
احداث روسازی	متر طول	17,104	G++	هزینه بالا در ساخت مسیر
ابنیه فنی (تقاطع غیرهمسطح)	دستگاه	2	G	هزینه متوسط سازه‌ای
جابجایی علائم و سیگنالینگ	—	—	G-	سهم کم در کل پروژه
احداث ایستگاه جدید	—	—	G+	هزینه ساختمانی قابل توجه
تملک اراضی	هکتار	45	G+++	بیشترین فشار مالی پروژه
جمع کل هزینه‌ها	—	—	G++	سطح کلی سرمایه‌گذاری



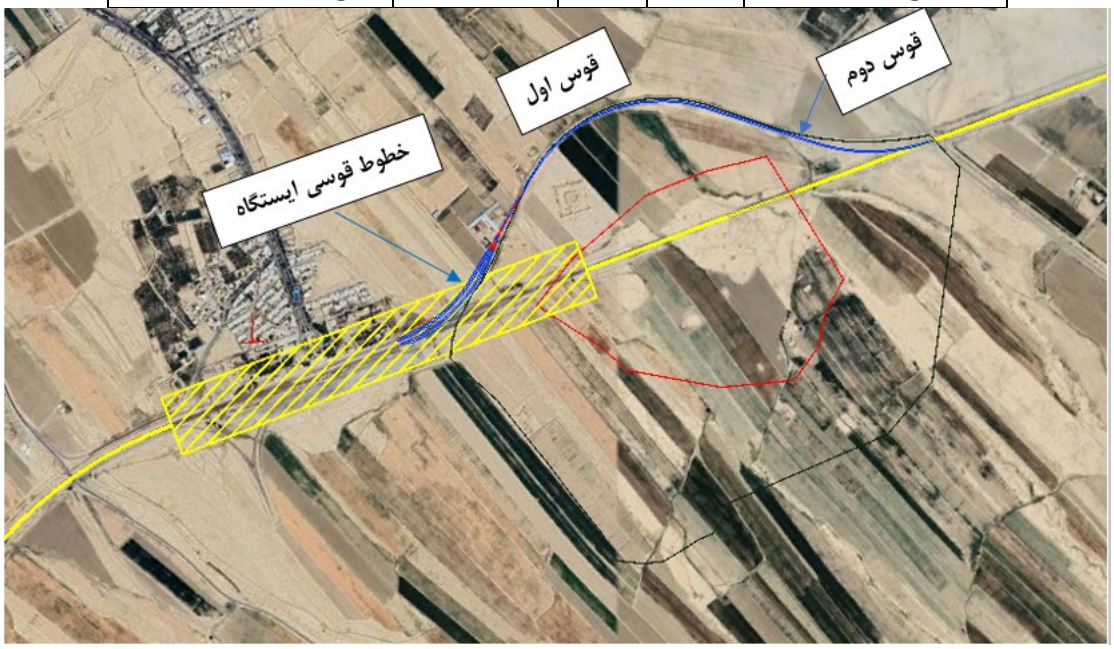
شکل ٤. شمایی از واریانت شماره ۳

۲-٤- واریانت ٤: اصلاح انتهای ایستگاه به سمت مشهد

در واریانت ٤، آرایش کلی خطوط بالک ایستگاه دامغان به‌گونه‌ای حفظ شده است که امتداد خطوط به سمت تهران بدون تغییر اساسی باقی مانده و تنها خطوط انتهایی در جهت مشهد اصلاح شده‌اند. در این گزینه، مسیر جدید پس از طراحی دو قوس متوالی (قوس نخست با حداقل شعاع حدود ۵۰۰ متر و قوس دوم با حداقل شعاع حدود ٦۰۰ متر) از محدوده حریم و مرزهای خط فرعی موجود در محدوده تاریخی تپه حصار عبور کرده و مجدداً به خط بالک موجود متصل می‌شود. بر این اساس، در این واریانت نیاز به استملاک زمین جدید وجود نداشته و همچنین تقاطع غیرهمسطح جدیدی با راه‌ها یا آبروها پیش‌بینی نشده است که این موضوع از منظر اقتصادی و اجرایی یک مزیت مهم محسوب می‌شود. برای تأمین پیوستگی هندسی و اصلاح انحراف خطوط داخلی ایستگاه، قوس‌های داخلی نیز بازطراحی شده‌اند؛ به‌گونه‌ای که حداقل شعاع قوس در محدوده ایستگاه حدود ٤۵۰ متر در نظر گرفته شده، هرچند در برخی خطوط امکان استفاده از شعاع حدود ۵۰۰ متر نیز وجود دارد که می‌تواند سرعت عبوری قطارها را تا حدود ۱۰۰ کیلومتر بر ساعت تأمین نماید. مشخصات کلی طرح هندسی و براورد هزینه این واریانت در جدول (٤) ارائه شده و تصویر آن در شکل (۵) نمایش یافته است.

جدول ٤. مشخصات هندسی و برآورد هزینه واریانت ٤

پارامتر / آیتم هزینه	واحد	مقدار	سطح هزینه(G)	توضیح
شعاع قوس افقی بلاک	متر	500	—	مشخصات هندسی مسیر
حداکثر شیب مسیر	‰	3	—	مشخصات هندسی مسیر
سرعت سیر قطار	km/h	100	—	مشخصات بهره‌برداری
احداث زیرسازی	متر طول	5,350	G-	هزینه اجرایی محدود
احداث روسازی	متر طول	5,350	G	هزینه متوسط مسیر
ابنیه فنی (تقاطع غیرهمسطح)	دستگاه	0	G--	عدم نیاز به سازه خاص
جابجایی علائم و سیگنالینگ	—	—	G--	هزینه بسیار کم در مقیاس پروژه
احداث ایستگاه جدید	—	—	G--	بدون هزینه احداث ایستگاه
تملک اراضی	هکتار	0	G--	بدون نیاز به تملک
جمع کل هزینه‌ها	—	—	G-	سطح کلی سرمایه‌گذاری پایین



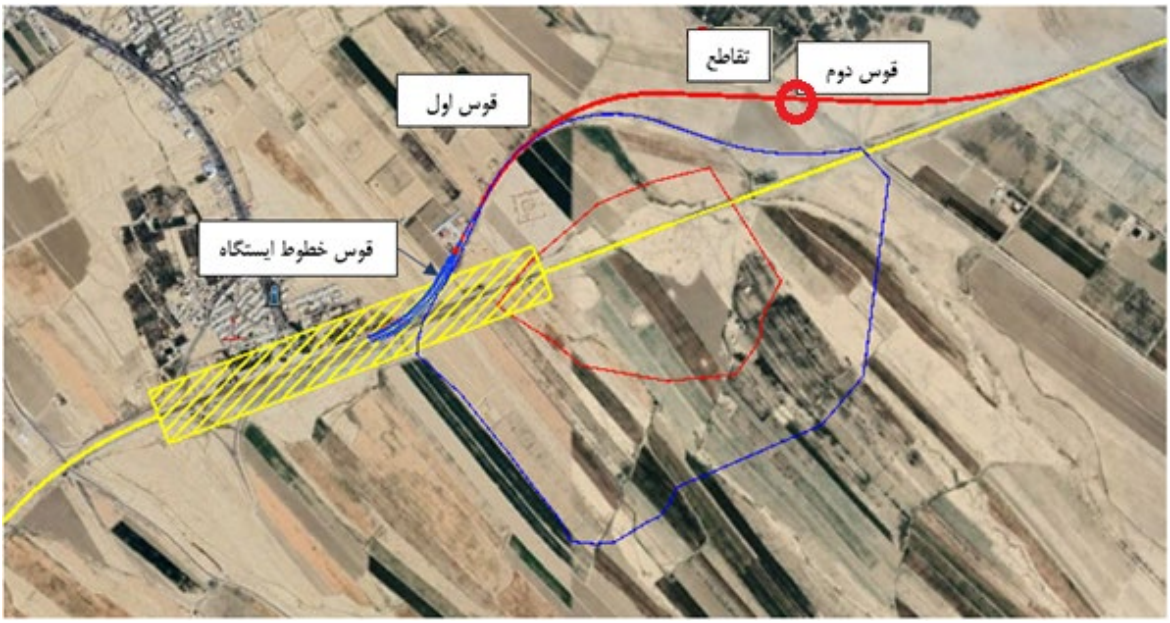
شکل ۵. شمایی از واریانت شماره ٤

۲-۵- واریانت ۵: اصلاح انتهای ایستگاه و افزایش شعاع قوس

در واریانت ۵، مشابه واریانت ٤، آرایش اصلی خطوط بالک ایستگاه دامغان در سمت تهران حفظ شده و اصلاحات عمدتاً در امتداد خطوط انتهایی به سمت مشهد انجام گرفته است. در این گزینه، مسیر پس از طراحی قوس نخست با حداقل شعاع حدود ۷۰۰ متر از محدوده تپه حصار عبور کرده و سپس با یک قوس دوم با شعاع بزرگ‌تر در حدود ۲۰۰۰ متر مجدداً به خط بالک موجود متصل می‌شود. به‌منظور تأمین پیوستگی هندسی و اصلاح انحراف در خطوط داخلی ایستگاه، بازطراحی قوس‌ها در محدوده ایستگاهی نیز مدنظر قرار گرفته و حداقل شعاع قوس در این محدوده حدود ٤٥٠ متر در نظر گرفته شده است. در این واریانت، یک تقاطع غیرهمسطح جدید در انتهای ایستگاه موجود و در محل تقاطع با مسیر جاده‌ای پیش‌بینی شده است که از نظر اجرایی می‌تواند بر هزینه ساخت و پیچیدگی عملیات تأثیرگذار باشد. مشخصات کلی طرح هندسی و براورد هزینه‌ها این گزینه در جدول (۵) ارائه شده و تصویر آن در شکل (٦) نمایش یافته است.

جدول ۵. مشخصات هندسی و برآورد هزینه واریانت ۵

پارامتر / آیتم هزینه	واحد	مقدار	سطح هزینه(G)	توضیح
شعاع قوس افقی بلاک	متر	700	—	مشخصات هندسی مسیر
حداکثر شیب مسیر	‰	3	—	مشخصات هندسی مسیر
سرعت سیر قطار	km/h	100	—	مشخصات بهره‌برداری
احداث زیرسازی	متر طول	7,062	G	هزینه اجرایی متوسط
احداث روسازی	متر طول	7,062	G+	هزینه قابل توجه مسیر
ابنیه فنی (تقاطع غیرهمسطح)	دستگاه	1	G	سازه محدود ولی اثرگذار
جابجایی علائم و سیگنالینگ	—	—	G--	سهم اندک در کل پروژه
احداث ایستگاه جدید	—	—	G--	بدون هزینه احداث ایستگاه
تملک اراضی	هکتار	7	G+	عامل اصلی افزایش هزینه این گزینه
جمع کل هزینه‌ها	—	—	G	سطح کلی سرمایه‌گذاری متوسط



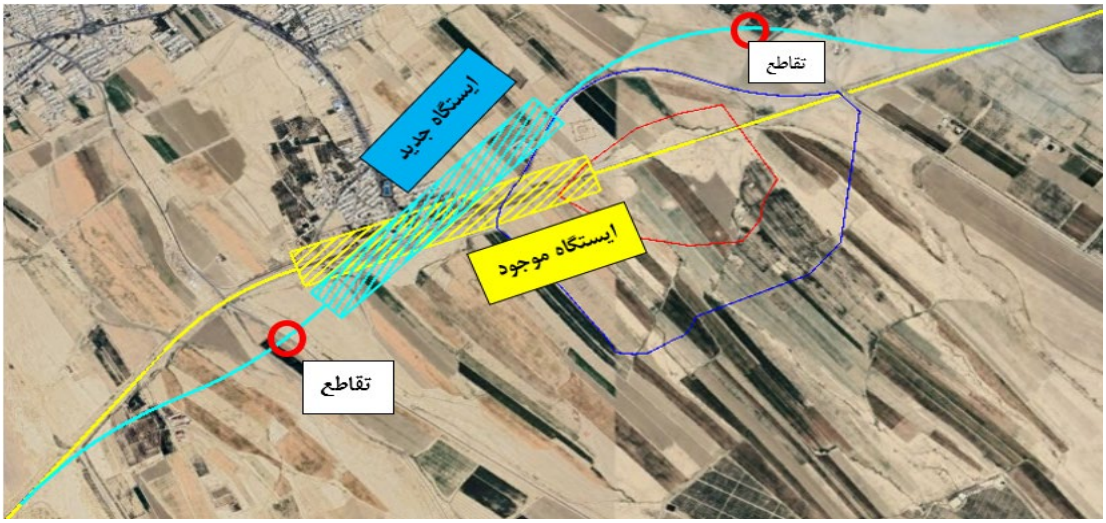
شکل ٦. شمایی از واریانت شماره ۵

۲-۶-واریانت ۶: دورزدن ایستگاه

در واریانت ۶، آرایش ایستگاه تشکیلاتی دامغان به‌گونه‌ای بازطراحی شده است که مجموعه خطوط ایستگاهی حول محور خود دوران یافته و امتداد خط بالک به سمت مشهد از محدوده عرصه و حریم تاریخی تپه حصار خارج شود. در طراحی این گزینه، برای خط بالک در جهت مشهد از قوسی با حداقل شعاع حدود ۱۲۰۰ متر استفاده شده است که امکان عبور مناسب قطارها و کاهش محدودیت‌های بهره‌برداری را فراهم می‌کند؛ همچنین شعاع قوس در امتداد قبلی خط بالک به سمت تهران حدود ۲۰۰۰ متر در نظر گرفته شده است. این تنظیم هندسی سبب کاهش تلاقی با محدوده‌های سکونتی مجاور، از جمله روستاهای اطراف، می‌شود، با این حال در این واریانت احداث دو تقاطع غیرهمسطح جدید با مسیرهای جاده‌ای اجتناب‌ناپذیر است که می‌تواند بر هزینه اجرایی طرح اثرگذار باشد. مشخصات کلی هندسی و براورد هزینه های آن در جدول (۶) ارائه شده است و تصویر این گزینه در شکل (۷) نمایش داده شده است. شایان ذکر است که به دلیل تلاقی خطوط پیشنهادی با محدوده ایستگاه موجود، اجرای این واریانت از نظر عملیاتی با دشواری‌های قابل توجهی همراه بوده و نیازمند احداث خطوط موقت و برنامه‌ریزی مرحله‌بندی دقیق در زمان ساخت خواهد بود، موضوعی که ریسک اجرایی آن را نسبت به برخی گزینه‌های دیگر افزایش می‌دهد.

جدول ۶. مشخصات هندسی و برآورد هزینه واریانت ۶

پارامتر / آیتم هزینه	واحد	مقدار	سطح هزینه(G)	توضیح
شعاع قوس افقی	متر	1,200	—	مشخصات هندسی مسیر
حداکثر شیب مسیر	‰	3	—	مشخصات هندسی مسیر
سرعت سیر قطار	km/h	160	—	مشخصات بهره‌برداری
احداث زیرسازی	متر طول	14,390	G+	هزینه اجرایی قابل توجه
احداث روسازی	متر طول	14,390	G++	هزینه بالا در ساخت مسیر
ابنیه فنی (تقاطع غیرهمسطح)	دستگاه	2	G+	سازه‌های اثرگذار در هزینه
جابجایی علائم و سیگنالینگ	—	—	G-	سهم محدود در مقیاس کل پروژه
احداث ایستگاه جدید	—	—	G+	هزینه ساختمانی قابل توجه
تملک اراضی	هکتار	28	G++	یکی از عوامل اصلی هزینه
جمع کل هزینه‌ها	—	—	G+	سطح کلی سرمایه‌گذاری نسبتاً بالا



شکل ۷. شمایی از واریانت شماره ۶

۲-۷-واریانت ۷: ایستگاه روگذر

در واریانت ۷، گزینه خروج مسیر ریلی از محدوده تاریخی تپه حصار از طریق اجرای روگذر در مجاورت ایستگاه دامغان بررسی شده است. هدف اصلی این گزینه، انتقال مسیر از حریم اثر تاریخی بدون ایجاد تغییرات گسترده در جانمایی کلی ایستگاه است؛ با این حال، به دلیل محدودیت‌های شیب و فراز خطوط ریلی در نزدیکی ایستگاه و الزامات فنی بهره‌برداری، طراحی این واریانت مستلزم احداث یک سازه روگذر با طول قابل توجه و شیب‌های کنترلی است تا شرایط عملکردی خطوط حفظ شود. این موضوع موجب افزایش طول مسیر اصلاحی و نیاز به بازطراحی بخش‌هایی از خطوط دسترسی و مانوری ایستگاه می‌گردد. مشخصات کلی طرح هندسی و براورد هزینه این گزینه در جدول (۷) ارائه شده شده است. با توجه به تردد بالای خطوط در محدوده ایستگاه، اجرای این واریانت می‌تواند با اختلال در بهره‌برداری جاری همراه باشد و مستلزم پیش‌بینی خطوط موقت و مرحله‌بندی پیچیده عملیات ساخت است؛ از این رو، هزینه‌های اجرایی و ریسک عملیاتی آن نسبتاً بالا ارزیابی می‌شود و امکان اجرای آن بدون تمهیدات ویژه بهره‌برداری چندان محتمل به نظر نمی‌رسد.

جدول ۷. مشخصات هندسی و برآورد هزینه واریانت ۷

پارامتر / آیتم هزینه	واحد	مقدار	سطح هزینه(G)	توضیح
شعاع قوس افقی	متر	2,000	—	مشخصات هندسی مسیر
حداکثر شیب مسیر	‰	12.5	—	مشخصات هندسی مسیر
سرعت سیر قطار	km/h	200	—	مشخصات بهره‌برداری
احداث زیرسازی	متر طول	10,200	G--	عدم نیاز به عملیات گسترده زیرسازی
احداث روسازی	متر طول	10,200	G	هزینه معمول مسیر
ابنیه فنی (روگذر)	مترمربع	91,000	G++++	عامل اصلی هزینه بسیار سنگین پروژه
جابجایی علائم و سیگنالینگ	—	—	G-	سهم کم در مقیاس کل
احداث ایستگاه جدید	—	—	G--	بدون هزینه احداث ایستگاه
تملک اراضی	هکتار	—	G--	بدون نیاز به تملک
جمع کل هزینه‌ها	—	—	G++++	سطح کلی سرمایه‌گذاری بسیار سنگین

۲-۸-واریانت ۸: ایستگاه زیرگذر

در واریانت ۲-۸ مسیر ایستگاه دامغان و خطوط بالک در محدوده مجاور محوطه تاریخی به‌صورت زیرگذر طراحی شده است تا مسیر از حریم اثر تاریخی خارج گردد و کمترین تداخل با محوطه‌های حساس ایجاد شود. طراحی این گزینه با توجه به الزامات شیب و فراز خطوط ریلی در نزدیکی ایستگاه، مستلزم اجرای سازه زیرگذر طولانی و کنترل‌شده است تا شرایط فنی و بهره‌برداری خطوط حفظ شود. به دلیل طول قابل توجه سازه و پیچیدگی‌های اجرایی، این واریانت نیازمند استفاده از روش‌های ساخت مرحله‌ای مانند "کند و پوش" است که اجرای آن را پیچیده و زمان‌بر می‌کند. این ویژگی باعث می‌شود که اجرای این گزینه برای خطوط پرتردد با ریسک بالای عملیاتی همراه باشد و برنامه‌ریزی بهره‌برداری موقت و مدیریت دقیق ترافیک ریلی ضروری گردد. مشخصات کلی هندسی و برآورد هزینه های این واریانت در جدول (۸) ارائه شده است.

جدول ۸ مشخصات هندسی و برآورد هزینه واریانت ۸

پارامتر / آیتم هزینه	واحد	مقدار	سطح هزینه(G)	توضیح
شعاع قوس افقی	متر	2,000	—	مشخصات هندسی مسیر
حداکثر شیب مسیر	‰	12.5	—	مشخصات هندسی مسیر
سرعت سیر قطار	km/h	200	—	مشخصات بهره‌برداری
احداث زیرسازی	متر طول	10,200	G-	عملیات محدود زیرسازی
احداث روسازی	متر طول	10,200	G	هزینه معمول مسیر
ابنیه فنی (زیرگذر)	مترمربع	91,000	G++++	عامل اصلی هزینه بسیار سنگین پروژه
جابجایی علائم و سیگنالینگ	—	—	G-	سهم اندک در کل پروژه
احداث ایستگاه جدید	—	—	G--	بدون هزینه احداث ایستگاه
تملک اراضی	هکتار	—	G--	بدون نیاز به تملک
جمع کل هزینه‌ها	—	—	G++++	سطح کلی سرمایه‌گذاری بسیار سنگین

۳- مقایسه و تحلیل فنی–اقتصادی واریانت‌ها

در این مطالعه، هشت واریانت پیشنهادی برای اصلاح مسیر ریلی دامغان و محدوده تاریخی تپه حصار بررسی شدند. تحلیل نهایی بر اساس این مشخصات و ملاحظات اجرایی انجام می‌شود. ابتدا واریانت‌های با پیچیدگی اجرایی بالا مورد بررسی قرار گرفتند و سپس تمرکز بر واریانت‌های قابل‌اجرای فنی و اقتصادی صورت گرفت.

۳-۱- تحلیل واریانت‌های پرهزینه و با صعوبت اجرایی بالا

واریانت‌های ٦، ۷ و ۸ دارای محدودیت‌ها و چالش‌های اجرایی ویژه‌ای هستند که عملاً امکان پیاده‌سازی آن‌ها را دشوار می‌سازد. واریانت ٦ که بر دوران ایستگاه و انتقال آن تمرکز دارد، نیازمند احداث یک ایستگاه موقت و جایگزینی کامل ایستگاه موجود است. این اقدام ضمن قرارگیری در سطح هزینه‌ای +G، با توجه به تردد بالای محور تهران–مشهد، با محدودیت‌های عملیاتی جدی مواجه است و به همین دلیل از بررسی‌های نهایی حذف شد. هرچند این واریانت از نظر هندسی و سرعت بهره‌برداری شرایط فنی قابل قبولی دارد، اما مشکلات اجرایی و نیاز به ایستگاه موقت، آن را از گزینه‌های اولویت‌دار خارج می‌کند.

واریانت‌های ۷ و ۸ نیز به دلیل اجرای سازه‌های غیرهمسطح در محدوده تاریخی تپه حصار، در طبقه هزینه‌ای +++G قرار می‌گیرند. علاوه بر این، اجرای این مسیرها با تداخل شدید با بهره‌برداری ایستگاه همراه خواهد بود. واریانت ۷ به‌صورت روگذر، نیازمند افزایش قابل‌توجه تراز مسیر در محدوده ایستگاه است که علاوه بر تغییر هندسی مسیر، مستلزم احداث ابنیه فنی گسترده بوده و شرایط عملیاتی موجود را مختل می‌کند. واریانت ۸ نیز به‌صورت زیرگذر طراحی شده و نیازمند روش‌های حفاری مرحله‌ای و اجرای سازه زیرزمینی است که با ترافیک بالای قطارها همخوانی ندارد و امکان بهره‌برداری همزمان با اجرای پروژه را به‌شدت محدود می‌سازد. بر این اساس، این سه واریانت از فیلتر تحلیل فنی و اقتصادی حذف شدند و تمرکز مطالعه بر واریانت‌های ۱ تا ۵ قرار گرفت که از نظر اجرایی، اقتصادی و بهره‌برداری در سطوح هزینه‌ای قابل‌مدیریت‌تری قرار دارند.

۳-۲- تحلیل واریانت‌های ۱ تا ۵

۳-۲-۱- تحلیل فنی

واریانت‌های ۱، ۲ و ۳ از نظر تأمین الزامات فنی و سرعت سیر دارای عملکرد مشابهی هستند. در هر سه واریانت، شعاع قوس افقی برابر ۲۰۰۰ متر و حداکثر شیب مسیر بین ٤ تا ۸ در هزار است که امکان عبور قطار با حداکثر سرعت ۲۰۰ کیلومتر بر ساعت را فراهم می‌کند. این واریانت‌ها ضمن حفظ سطح فنی مطلوب، به دلیل قرار گرفتن ایستگاه جدید در مجاورت محدوده شهر دامغان، به لحاظ بهره‌برداری نیز دارای مزیت هستند؛ چراکه تداخل با عملیات اجرایی ایستگاه حداقل است. تفاوت اصلی میان این سه واریانت، موقعیت ایستگاه و طول خطوط جدیدالاحداث است. واریانت ۳ که انتقال کامل ایستگاه به سمت

جنوب ایستگاه موجود را پیشنهاد می‌دهد، طول خطوط جدید ۱۷۱۰٤ متر و افزایش مسافت سیر تنها ۵۷ متر دارد. این واریانت نسبت به واریانت‌های ۱ و ۲ از نظر هزینه استملاک زمین نیز بهینه‌تر است، زیرا از زمین‌های مجاور شهر کمتر استفاده می‌کند. واریانت‌های ۱ و ۲ با طول خطوط ۱۹۹٦۰ و ۱۸۲۸۰ متر، افزایش مسافت سیر ۷۳۳ و ٦۷٤ متر، مزیت نزدیکی به شهر و سهولت دسترسی را دارند اما نیازمند استملاک زمین بیشتر و احداث ایستگاه تشکیلاتی جدید هستند. واریانت‌های ٤ و ۵، اصلاح انتهای ایستگاه را در محدوده فعلی مدنظر قرار می‌دهند. واریانت ٤ دارای شعاع قوس داخلی ایستگاه ۵۰۰ متر و حداکثر سرعت ۱۰۰ کیلومتر بر ساعت است و واریانت ۵ با شعاع قوس ۷۰۰ متر در قوس اول و ۲۰۰۰ متر در قوس دوم، سرعت قابل ارتقا تا ۲۰۰ کیلومتر بر ساعت را ارائه می‌دهد. این دو واریانت مزیت اصلی خود را در کاهش هزینه استملاک و حفظ ایستگاه موجود نشان می‌دهند. استفاده از قوس با شعاع بالاتر در واریانت ۵ علاوه بر ارتقای سرعت سیر در بخش دوم قوس، مزایای فنی متعددی شامل کاهش هزینه‌های نگهداری مسیر و ناوگان و بهبود راندمان حرکت قطار را فراهم می‌کند. تحلیل دقیق چراغ‌های علائم در فاصله‌های ۵۳۰ و ۱۲۰۰ متری نشان می‌دهد که با طراحی صحیح قوس دوم و رعایت محدودیت‌های سرعتی، می‌توان کاهش سرعت مؤثر و روان قطارها را تضمین نمود و از توقف‌های ناگهانی جلوگیری کرد (شکل (۸)). بنابراین واریانت ۵ از نظر فنی نسبت به واریانت ٤ برتری دارد، هرچند هزینه احداث آن تقریبا دو برابر واریانت ٤ برآورد شده است.

۳-۲-۲-تحلیل اقتصادی

از منظر اقتصادی، واریانت‌های ۱ تا ۳ به دلیل نیاز به احداث ایستگاه جدید و تملک اراضی گسترده‌تر، در سطوح هزینه‌ای بالاتری نسبت به سایر گزینه‌ها قرار می‌گیرند. با این حال، این واریانت‌ها امکان تأمین سرعت‌های بهره‌برداری بالا را فراهم کرده و مزیت نزدیکی بیشتر به شهر و کاهش زمان دسترسی مسافران را ارائه می‌دهند. در میان این سه گزینه، واریانت ۳ در سطح هزینه‌ای پایین‌تری نسبت به دو گزینه دیگر قرار می‌گیرد و طول خطوط جدیدالاحداث آن نیز کمتر است که نشان‌دهنده بهینه‌تر بودن نسبی آن از منظر اقتصادی است؛ هرچند فاصله بیشتر ایستگاه از شهر می‌تواند بر سهولت دسترسی و بهره‌برداری اثرگذار باشد. واریانت‌های ٤ و ۵ از نظر هزینه احداث و تملک اراضی در سطوح **-G تا G** قرار می‌گیرند و برای شرایطی که حداقل تداخل با بهره‌برداری ایستگاه فعلی مدنظر باشد، گزینه‌های مناسبی محسوب می‌شوند. این واریانت‌ها ضمن حفظ ایستگاه موجود، امکان اصلاح مسیر در محدوده ایستگاه را فراهم می‌کنند. تحلیل هزینه و مزایای عملیاتی نشان می‌دهد که در واریانت ۵، افزایش شعاع قوس دوم موجب بهبود راندمان سیر قطار و کاهش هزینه‌های نگهداری در بلندمدت می‌شود. در مقایسه با واریانت‌های پرهزینه‌تر ٦ تا ۸ که در سطوح بالای هزینه‌ای قرار دارند، این دو گزینه از نظر اقتصادی مقرون‌به‌صرفه‌تر بوده و قابلیت اجرا در شرایط بهره‌برداری واقعی را دارند.

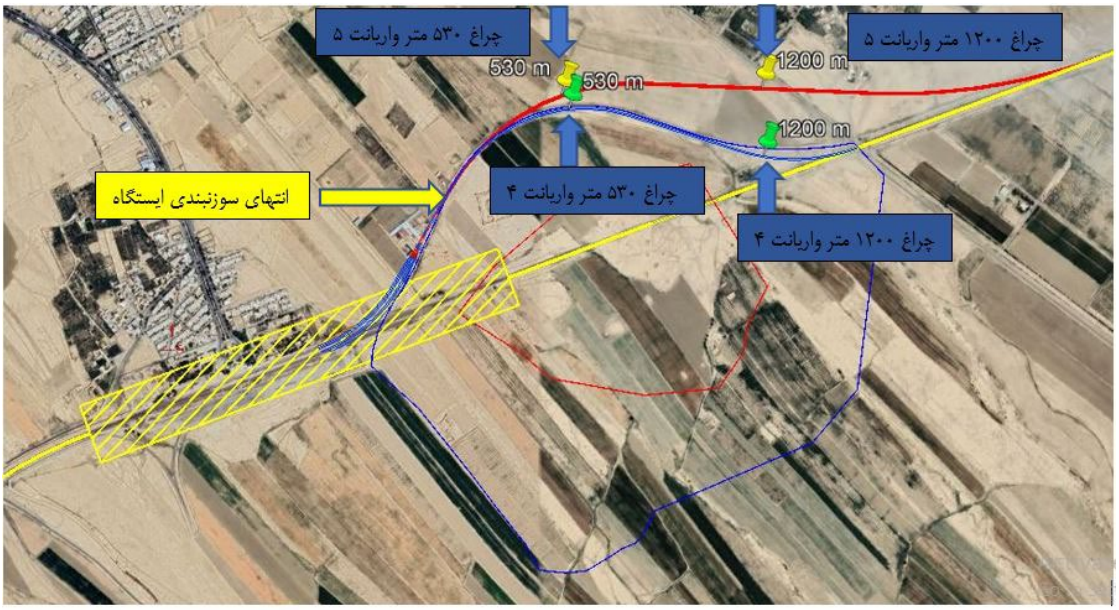
۳-۲-۳-ارزیابی جامع و مقایسه واریانت‌ها

تحلیل جامع نشان می‌دهد که انتخاب واریانت نهایی باید بر اساس اولویت‌های تصمیم‌گیرنده تعیین شود. اگر هدف اصلی ارتقای سرعت سیر خطوط برقی و پرسرعت تهران–مشهد باشد، واریانت‌های ۱، ۲ و ۳ با شعاع قوس ۲۰۰۰ متر و حداکثر سرعت ۲۰۰ کیلومتر بر ساعت اولویت دارند. واریانت ۳ به دلیل هزینه کمتر و طول کوتاه‌تر خطوط، در شرایط اقتصادی بهینه محسوب می‌شود، هرچند فاصله بیشتر ایستگاه نسبت به شهر باید در نظر گرفته شود. از سوی دیگر، اگر هدف اصلی حداقل تداخل با بهره‌برداری ایستگاه و کاهش هزینه‌های استملاک باشد، واریانت‌های ٤ و ۵ مناسب‌تر هستند. واریانت ۵ با شعاع بالاتر قوس و بهبود راندمان سیر، علی‌رغم هزینه بالاتر، مزایای فنی و عملیاتی بیشتری ارائه می‌دهد و می‌تواند در برنامه‌ریزی بلندمدت حمل‌ونقل ریلی مؤثر باشد. همچنین، تحلیل نتایج نشان می‌دهد که هرچه شعاع قوس افزایش یابد، امکان افزایش سرعت و کاهش نیروهای وارد بر ریل و واگن‌ها بیشتر خواهد شد، در حالی که قوس‌های کوچک‌تر باعث محدودیت سرعت و افزایش هزینه‌های نگهداری می‌شوند. در مورد واریانت‌های ٤ و ۵، با وجود محدودیت سرعت اولیه (۱۰۰–۱۲۰ کیلومتر بر ساعت)، طراحی دقیق و اعمال اصلاحات هندسی امکان رسیدن به عملکرد عملیاتی مناسب را فراهم کرده است. در مقابل واریانت‌های ٦ تا ۸، به دلیل نیاز به ایستگاه موقت، اجرای زیرگذر یا روگذر و هزینه‌های فوق‌العاده بالا، از نظر اقتصادی و عملیاتی گزینه‌های غیرقابل توجیه هستند.

٤- یافته‌ها

در نهایت، بررسی‌های فنی و اقتصادی نشان می‌دهد که واریانت‌های ۱ تا ۵، با توجه به پارامترهایی نظیر شعاع قوس، حداکثر شیب مسیر، طول خطوط جدیدالاحداث، میزان تداخل با حریم تپه حصار، تعداد تقاطع‌های غیرهم‌سطح و برآورد

هزینه‌ها، گزینه‌هایی عملی و نسبتاً مقرون‌به‌صرفه برای اصلاح مسیر ریلی دامغان در محدوده تاریخی تپه حصار محسوب می‌شوند. بر این اساس، جمع‌بندی مزایا و معایب گزینه‌های منتخب، حاصل از تحلیل‌های فنی، اقتصادی و اجرایی، در جدول (۹) ارائه شده است. نتایج نشان می‌دهد که انتخاب واریانت نهایی مستلزم در نظر گرفتن هم‌زمان معیارهای فنی، اقتصادی و بهره‌برداری بوده و تصمیم‌گیری باید با لحاظ سیاست‌های شرکت راه‌آهن، ملاحظات مدیریت شهری و شرایط عملیاتی مسیر انجام پذیرد.



شکل ۸ مقایسه فنی واریانت‌های ٤ و ٥

جدول ۹. جمع‌بندی شاخص‌های تصمیم‌گیری واریانت‌ها

واریانت	مزایا	معایب
واریانت ۱	۱- تأمین سرعت سیر ۲۰۰ در خطوط بلاک ۲- نزدیکی به شهر ۳- عدم تداخل عملیات اجرایی با بهره‌برداری ٤- حذف قوس موجود در قبل از ایستگاه با شعاع ۱٤۰۰	۱- نیاز به احداث یک ایستگاه تشکیلاتی جدید ۲- نیاز به استملاک زمین‌های مجاور شهر ۳- عدم امکان استفاده از ایستگاه موجود ٤- هزینه احداث بالا
واریانت ۲	۱- تأمین سرعت سیر ۲۰۰ در خطوط بلاک ۲- نزدیکی به شهر ۳- عدم تداخل عملیات اجرایی با بهره‌برداری ٤- حذف قوس موجود در قبل از ایستگاه با شعاع ۱٤۰۰	۱- نیاز به احداث یک ایستگاه تشکیلاتی جدید ۲- نیاز به استملاک زمین‌های مجاور شهر ۳- عدم امکان استفاده از ایستگاه موجود ٤- هزینه احداث بالا
واریانت ۳	۱- تأمین سرعت سیر ۲۰۰ در خطوط بلاک ۲- عدم تداخل عملیات اجرایی با بهره‌برداری ۳- هزینه استملاک پایین‌تر ٤- حذف قوس موجود در قبل از ایستگاه با شعاع ۱٤۰۰	۱- نیاز به احداث یک ایستگاه تشکیلاتی جدید ۲- عدم امکان استفاده از ایستگاه موجود ۳- هزینه احداث بالا ٤- دور شدن ایستگاه نسبت شهر

واریانت	مزایا	معایب
واریانت ٤	۱- هزینه پایین‌تر به لحاظ استملاک و اجرا ۲- حفظ ایستگاه تشکیلاتی موجود ۳- تأمین سرعت سیر موردنیاز در محدوده ایستگاه ٤- تأمین حداقل شعاع موردنیاز در محدوده ایستگاه ۵- تداخل کم عملیات اجرایی و بهره‌برداری	۱- تأمین سرعت سیر حداکثر ۱۰۰ کیلومتر بر ساعت در محدوده ایستگاه و مجاور آن
واریانت ۵	۱- هزینه پایین‌تر به لحاظ استملاک و اجرا ۲- حفظ ایستگاه تشکیلاتی موجود ۳- تأمین سرعت سیر موردنیاز در محدوده ایستگاه ٤- تأمین حداقل شعاع موردنیاز در محدوده ایستگاه ۵- تداخل کم عملیات اجرایی و بهره‌برداری	۱- تأمین سرعت سیر حداکثر ۱۰۰ کیلومتر بر ساعت در محدوده ایستگاه و مجاور آن

۵- نتیجه‌گیری

مطالعات امکان‌سنجی اصلاح مسیر ریلی در محدوده تاریخی تپه حصار دامغان، با بررسی هشت واریانت مختلف، نشان داد که برخی گزینه‌ها به دلیل محدودیت‌های اجرایی و اقتصادی، قابلیت عملیاتی پایینی دارند. واریانت‌های ٦، ۷ و ۸ به دلیل پیچیدگی‌های ساخت و بهره‌برداری، نیاز به احداث ایستگاه موقت و جایگزینی کامل ایستگاه موجود، تداخل با عملیات جاری و هزینه‌های بسیار بالای اجرای مسیر از مجموعه گزینه‌های نهایی حذف شدند. این یافته، اهمیت بررسی همه‌جانبه قابلیت اجرایی و هزینه‌های اقتصادی در تصمیم‌گیری برای اصلاح مسیرهای ریلی حساس به محیط تاریخی را برجسته می‌سازد.

از میان واریانت‌های ۱ تا ۵، مشخص شد که گزینه‌های ۱، ۲ و ۳ با تأمین الزامات فنی و امکان حرکت قطار تا سرعت ۲۰۰ کیلومتر بر ساعت، برای ارتقای عملکرد خطوط پرسرعت و برقی مناسب هستند. در این میان، واریانت ۳ با انتقال کامل ایستگاه به جنوب ایستگاه موجود، به دلیل کاهش هزینه‌های اجرایی و سهولت تملک زمین، از منظر اقتصادی گزینه برتری محسوب می‌شود. در مقابل، واریانت‌های ٤ و ۵ با هدف کاهش تداخل با بهره‌برداری موجود، حفظ ایستگاه موجود و کاهش نیاز به تملک زمین، گزینه‌های عملیاتی بهینه برای شرایط بهره‌برداری فعلی به شمار می‌آیند. واریانت ۵، با افزایش شعاع قوس‌ها، امکان حرکت با سرعت بالاتر در قوس دوم، کاهش هزینه‌های تعمیر و نگهداری و بهبود راندمان سیر قطار را فراهم می‌کند، هرچند هزینه احداث آن نسبت به واریانت ٤ تقریباً دو برابر است.

این مطالعات نشان می‌دهد که تصمیم‌گیری نهایی در اصلاح مسیر ریلی دامغان، مستلزم توازن میان معیارهای فنی، اقتصادی، عملیاتی و حفاظت از میراث فرهنگی است. انتخاب مسیر مناسب باید با توجه به سیاست‌های کلان شرکت راه‌آهن، مدیریت شهری، سهولت تملک اراضی، توسعه آینده خطوط ریلی و اهمیت حفظ محدوده تاریخی صورت گیرد. به‌عبارت دیگر، تصمیم‌گیرندگان باید بین ارتقای عملکرد فنی و کاهش هزینه‌های عملیاتی، اولویت‌های بهره‌برداری موجود و حفاظت از ارزش‌های تاریخی، تعادل مناسبی برقرار کنند تا اصلاح مسیر ریلی با کمترین ریسک اجرایی و حداکثر بهره‌وری تحقق یابد.

٦- سپاسگزاری

از همکاران محترم بخش حمل و نقل ریلی (آقای مهندس کلانتر نیستانکی) در مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی که در انجام مطالعات و برداشت‌های میدانی همکاری موثری را ارائه نمودند، کمال قدردانی را دارد. همچنین از همکاری موثر اداره کل میراث فرهنگی و گردشگری استان سمنان به‌ویژه آقایان مهندس رستگاران و مهندس یغماییان کمال تشکر و سپاس را دارد.

۷-مراجع

– فتحعلی، مسعود و کبیری نصرآباد، محمد محسن (۱۴۰۵). ارزیابی صدا و ارتعاش ناشی از عبور قطار در محدوده تاریخی تپه حصار دامغان، *پژوهشنامه حمل و نقل*، ۲۳(۲) ۱۰۸-۹۳.

-Afshar, Z. *(2014).* Mobility and economic transition in the 5th to the 2nd millennium BC in the population of the Central Iranian Plateau, Tepe Hissar Durham University.

-Andaroodi, E., & Aghaeimeybodi, M. *(2021) .* Analysis of Prehistoric Architecture in the Northeast of the Iranian Plateau: A Study of Architectural Developments in the Residential-ritual Sections of Damghan's Tepe Hissar. *Archaeological Research of Iran*, *11*(28), 53–71 .

-Anisi, A. *(2021).* Tepe Hissar in Damghan: A Conservation and Management Plan. *Conservation and Management of Archaeological Sites*, *23*(3-4), 172–194 .

-Antonson, H., Gustafsson, M., & Angelstam, P. (2010). Cultural heritage connectivity. A tool for EIA in transportation infrastructure planning. *Transportation Research Part D : Transport and Environment*, *15*(8), 463–472 .

-Casazza, M., & Barone, F. *(2024).* Cultural heritage structures and infrastructures vibration monitoring: vibration sensors metrological characteristics identification through finite elements modelling and simulation. *Acta IMEKO*, *13*(2), 1–9 .

-Coulier, P., Lombaert, G., & Degrande, G. (2014). The influence of source–receiver interaction on the numerical prediction of railway induced vibrations. *Journal of Sound and Vibration*, *333*(12), 2520–2538 .

-Farokhnia, S & ,.De Graef, K. *(2020).* Tape Hissar: pass through simple to complex. International Colloquium: Ancient Iran: new perspectives from archaeology and cuneiform studies.

-Hanson, C. E., Ross, J. C., Towers, D. A., & Harris, M. (2012). High-speed ground transportation noise and vibration impact assessment .

-Khazaiee, M. *(2018).* Survey and Study on Archaeological Sites of central part of Kojour from Prehistory until the rise of Islam. *Journal of Iran's Pre Islamic Archaeological Essays*, *2*(2), e10178 .

-Meybodi, M .A. *(2021).* Analysis of prehistoric architecture in the northeast of the Iranian plateau: a study of architectural developments in the residential-ritual sections of Damghan's Tappe Hessar *Journal of Pazhohesh-ha-ye Bastanshenasi Iran (Iranian Archeological Researches), Bu Ali Sina University* .

-Ouakka, S., Verlinden, O., & Kouroussis, G. (2022). Railway ground vibration and mitigation measures :benchmarking of best practices. *Railway Engineering Science*, *30*(1), 1–22 .

-Popa, G., Oprea, R. A., Tudor, E., Gheti, M. A., & Munteanu, I. S. (2025). Vibration Measurement and Monitoring in Railway Vehicles. *Technologies*, *13*(8), 370 .

-Shakibayifar, M., Sheikholeslami, A., Corman, F., & Shafahi, Y. (2018). Simulation analysis of the effect of doubling and electrification on the reliability of the rail networks: A case study of Tehran-Mashhad railroad. *Scientia Iranica*, *25*(6), 3066–3087 .

-Thompson, D. *(2008).* Railway noise and vibration: mechanisms, modelling and means of control. *Elsevier .*

-Vogiatzis, K. E., & Kouroussis, G. *(2017).* Environmental ground-borne noise and vibration from urban light rail transportation during construction and operation. *Current Pollution Reports*, *3*(2), 162–173 .

Comparative Analysis of Railway Alignment and Station Modification Options in Historic Areas (Case Study: Tappeh Hesar, Damghan)

Mohammad Mohsen Kabiri Nasrabad, Research Assistant, Road, Housing and Urban Development Research Center, Tehran, Iran.

***Masoud Fathali,** Assistant Professor, Road, Housing and Urban Development Research Center, Tehran, Iran.*

E-mail: m.fathali@bhrc.ac.ir

Received: February 2026- Accepted: May 2026

ABSTRACT

The passage of the Tehran–Mashhad railway corridor from the vicinity of the historic site of Tappeh Hesar near the city of Damghan has necessitated the examination of route modification alternatives from technical, economic, and conservation perspectives. In this study, different options—including station relocation, track geometry improvement, and the construction of grade-separated structures—were evaluated using indicators such as attainable train speed, curve radius, construction cost, operational interference, and maintenance expenses. The results indicate that some alternatives lack practical feasibility due to the need for extremely high capital investment and the significant disruption they would cause to operations on this heavily trafficked corridor between Tehran and Mashhad. In contrast, options based on geometric alignment improvements or limited station relocation, requiring substantially lower investment levels, were able to satisfy the functional requirements of the line. Cost estimates show that full station relocation would require far greater expenditure than alignment modification options, while certain geometric corrections can be implemented at considerably lower and more manageable costs. Furthermore, increasing curve radii from small to larger values improves train operational efficiency, reduces maintenance costs, and results in travel time savings. Accordingly, the selection of an optimal alternative depends on decision-making priorities among high-speed rail development goals, required investment levels, existing operational conditions, and cultural heritage protection requirements. The findings of this study can serve as a decision-support framework for railway projects located near historical and archaeological sites.

Keywords: Railway Route Improvement, Tappeh Hesar, Damghan, Technical and Economic Assessment, Cultural Heritage Protection