

جمهوری اسلامی ایران
سازمان برنامه و بودجه کشور

دستورالعمل انتخاب روسازی خطوط راه آهن (بالاستی – بدون بالاست)

ضابطه شماره ۸۶۳

آخرین ویرایش: ۱۴۰۱-۰۹-۰۷

وزارت راه و شهرسازی
مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی

bhrc.ac.ir

معاونت فنی، امور زیربنایی و تولیدی
امور نظام فنی اجرایی، مشاورین و پیمانکاران

nezamfanni.ir



شماره:	۱۴۰۱/۵۷۸۰۵۳	بخشنامه به دستگاه‌های اجرایی، مهندسان مشاور و پیمانکاران
تاریخ:	۱۴۰۱/۱۰/۲۵	
موضوع: دستورالعمل انتخاب روسازی خطوط راه آهن (بالاستی—بدون بالاست)		

در چهارچوب ماده (۳۴) قانون احکام دائمی برنامه‌های توسعه کشور، ماده (۲۳) قانون برنامه و بودجه و به استناد تبصره (۲) ماده (۴) «نظام فنی و اجرایی یکپارچه کشور» موضوع مصوبه شماره ۲۵۲۵۴/ت/۵۷۶۹۷-مورخ ۱۴۰۰/۰۳/۰۸ هیات محترم وزیران، به پیوست «دستورالعمل انتخاب روسازی خطوط راه آهن (بالاستی-بدون بالاست)» با شماره ۸۶۳، به صورت لازم الاجرا ابلاغ می‌شود.

رعایت مفاد این ضابطه از تاریخ ۱۴۰۲/۰۱/۰۱ برای همه قراردادهایی که از محل وجوه عمومی و یا به صورت مشارکت عمومی و خصوصی منعقد می‌شوند، الزامی است.

امور نظام فنی اجرایی، مشاورین و پیمانکاران دریافت‌کننده نظرات و پیشنهادهای اصلاحی در مورد مفاد این ضابطه بوده و اصلاحات لازم اعلام خواهد کرد.

سید مسعود میرکاظمی

اصلاح مدارک فنی

خواننده گرامی:

امور نظام فنی اجرایی، مشاورین و پیمانکاران معاونت فنی، امور زیربنایی و تولیدی سازمان برنامه و بودجه کشور، با استفاده از نظر کارشناسان برجسته مبادرت به تهیه این ضابطه کرده و آن را برای استفاده به جامعه‌ی مهندسی کشور عرضه نموده است. با وجود تلاش فراوان، این اثر مصون از ایرادهایی نظیر غلط‌های مفهومی، فنی، ابهام، ابهام و اشکالات موضوعی نیست.

از این رو، از شما خواننده‌ی گرامی صمیمانه تقاضا دارد در صورت مشاهده هرگونه ایراد و اشکال فنی، مراتب را به صورت زیر گزارش

فرمایید:

- ۱- در سامانه مدیریت دانش اسناد فنی و اجرایی (سما) ثبت نام فرمایید: sama.nezamfanni.ir
 - ۲- پس از ورود به سامانه سما و برای تماس احتمالی، نشانی خود را در بخش پروفایل کاربری تکمیل فرمایید.
 - ۳- به بخش نظرخواهی این ضابطه مراجعه فرمایید.
 - ۴- شماره بند و صفحه موضوع مورد نظر را مشخص کنید.
 - ۵- ایراد مورد نظر را به صورت خلاصه بیان دارید.
 - ۶- در صورت امکان متن اصلاح شده را برای جایگزینی ارسال کنید.
- کارشناسان این امور نظرهای دریافتی را به دقت مطالعه نموده و اقدام مقتضی را معمول خواهند داشت.
- پیشاپیش از همکاری و دقت نظر جنابعالی قدردانی می‌شود.

نشانی برای مکاتبه: تهران، میدان بهارستان، خیابان صفی علی‌شاه - مرکز تلفن ۳۳۲۷۱

سازمان برنامه و بودجه کشور، امور نظام فنی اجرایی، مشاورین و پیمانکاران

Email: nezamfanni @mporg.ir

web: nezamfanni.ir

پیشگفتار

به طور کلی دو نوع روسازی بالاستی و روسازی بدون بالاست در خطوط ریلی وجود دارد که بسته به شرایط، ملاحظات فنی پروژه‌ها و مزایا و معایب آن‌ها، نوع سیستم روسازی انتخاب می‌شود. انتخاب نظام‌مند و علمی نوع سیستم روسازی نیازمند شناسایی و جمع‌بندی الزامات انتخاب آن در دوره‌های مختلف طراحی، ساخت و بهره‌برداری با تمرکز بر جنبه‌های فنی، هزینه و عملکرد است. نظر به عدم وجود ضوابط و معیارهای فنی در این زمینه، ضروری است تا دستورالعملی برای ارائه فرآیند و الزامات انتخاب سیستم روسازی راه‌آهن با در نظر گرفتن تمام جزئیات فنی، اقتصادی و کارایی تدوین شود. اهداف اصلی تدوین دستورالعمل مذکور به شرح زیر است:

- ارزیابی الزامات مختلف فنی، هزینه‌ای و کارایی مؤثر در تصمیم‌گیری در مورد نوع سیستم روسازی.
- توسعه فرآیند نظام‌مند و یکپارچه انتخاب سیستم روسازی خطوط ریلی سازگار با شرایط و الزامات پروژه‌های مختلف.

در این راستا مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی با هماهنگی امور نظام فنی‌اجرایی، مشاورین و پیمانکاران سازمان برنامه و بودجه، تدوین «دستورالعمل انتخاب روسازی خطوط راه‌آهن (بلاستی – بدون بالاست)» را در دستور کار قرارداد، که پس از بررسی براساس نظام فنی‌اجرایی یکپارچه، موضوع ماده ۳۴ قانون «احکام دائمی برنامه‌های توسعه کشور، ماده ۲۳ قانون برنامه و بودجه و آیین‌نامه استانداردهای اجرایی طرح‌های عمرانی مصوب هیات محترم وزیران تصویب و ابلاغ گردید. علیرغم تلاش، دقت و وقت زیادی که برای تهیه این مجموعه صرف گردید، این مجموعه مصون از وجود اشکال و ابهام در مطالب آن نیست. لذا در راستای تکمیل و پربار شدن این ضابطه از کارشناسان محترم درخواست می‌شود موارد اصلاحی را به امور نظام فنی و اجرایی سازمان برنامه و بودجه کشور ارسال کنند. کارشناسان سازمان پیشنهادهای دریافت شده را بررسی کرده و در صورت نیاز به اصلاح در متن نشریه/ضابطه، با همفکری نمایندگان جامعه فنی کشور و کارشناسان مجرب این حوزه، نسبت به تهیه متن اصلاحی، اقدام و از طریق پایگاه اطلاع رسانی نظام فنی و اجرایی کشور برای بهره‌برداری عموم، اعلام خواهند کرد. به همین منظور و برای تسهیل در پیدا کردن آخرین ضوابط ابلاغی معتبر، در بالای صفحات، تاریخ تدوین مطالب آن صفحه درج شده است که در صورت هرگونه تغییر در مطالب هر یک از صفحات، تاریخ آن نیز اصلاح خواهد شد. از اینرو همواره مطالب صفحات دارای تاریخ جدیدتر معتبر خواهد بود.

حمید امانی همدانی

معاون فنی، امور زیربنایی و تولیدی

پاییز ۱۴۰۱

تهیه و کنترل «دستورالعمل انتخاب روسازی خطوط راه آهن (بالاستی - بدون بالاست)» [ضابطه شماره ۸۶۳]

اعضای گروه تهیه کننده:

مسعود فتحعلی	مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی	پسا دکتری راه آهن - دکتری عمران
فریبرز یعقوبی وایقان	مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی	دکتری عمران - زلزله
حسین کلانتر	مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی	کارشناس ارشد عمران - راه آهن
مرجان مهوری	دانشگاه علم و صنعت ایران	کارشناس ارشد راه آهن

اعضای گروه نظارت:

مرتضی اسماعیلی	دانشگاه علم و صنعت ایران	دکتری عمران - ژئوتکنیک
عاطفه جهان محمدی	مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی	دکتری عمران - سازه
فرهاد کوبن	کارشناس روسازی راه آهن	کارشناس ارشد راه آهن - خط و سازه های ریلی

اعضای گروه هدایت و راهبری :

علیرضا توتونچی	معاون امور نظام فنی اجرایی، مشاورین و پیمانکاران
طاهر فتح الهی	رئیس گروه امور نظام فنی اجرایی، مشاورین و پیمانکاران
مریم سرائی	کارشناس امور نظام فنی اجرایی، مشاورین و پیمانکاران

فهرست مطالب

صفحه	عنوان
ج	پیشگفتار
ز	فهرست مطالب
ی	فهرست شکل‌ها
ک	فهرست جدول‌ها
۱	فصل ۱: مبانی و تعاریف
۳	۱-۱- مبانی
۳	۱-۲- تعاریف
۵	فصل ۲: معرفی انواع روسازی خطوط ریلی
۷	۲-۱- سیستم‌های مختلف روسازی خطوط ریلی
۷	۲-۱-۱- روسازی بالاستی
۷	۲-۱-۲- روسازی بدون بالاست (دال خط)
۱۰	۲-۱-۳- روسازیهای خطوط پرسرعت (بلاستی و بدون بالاست)
۱۱	۲-۲- مقایسه کلی روسازی بالاستی و بدون بالاست
۱۳	فصل ۳: الزامات و ملاحظات انتخاب سیستم روسازی
۱۵	۳-۱- مقدمه
۱۷	۳-۲- الزامات فنی
۱۷	۳-۲-۱- الزامات بهره برداری
۱۷	۳-۲-۱-۱- سرعت
۱۸	۳-۲-۱-۲- بارمحوری
۱۸	۳-۲-۱-۳- ترافیک تجمعی
۱۹	۳-۲-۲- الزامات زیست محیطی
۱۹	۳-۲-۲-۱- آلودگی ناشی از انتشار گازهای گلخانه‌ای
۲۰	۳-۲-۲-۲- آلودگی صوتی
۲۰	۳-۲-۳- الزامات اقلیمی و آب و هوایی
۲۲	۳-۲-۳-۱- الزامات هندسی

۲۳	۳-۲-۱- طرح هندسی مسیر
۲۴	۳-۲-۲- هندسه مقطع خط
۲۵	۳-۲-۴- الزامات ابنیه فنی
۲۵	۳-۲-۴-۱- پل
۲۸	۳-۲-۴-۲- تونل
۲۹	۳-۲-۵- الزامات ژئوتکنیکی
۲۹	۳-۲-۶- ملاحظات طراحی روسازی و زیرسازی
۳۰	۳-۲-۶-۱- ملاحظات زیرسازی مؤثر در انتخاب نوع روسازی
۳۱	۳-۲-۶-۲- ملاحظات ادوات روسازی مؤثر در انتخاب نوع روسازی
۳۳	۳-۲-۷- ملاحظات احداث خط
۳۴	۳-۲-۸- الزامات نگهداری و تعمیر
۳۴	۳-۲-۸-۱- الزامات نگهداری هندسه مسیر
۳۵	۳-۲-۸-۲- بررسی نرخ زوال روسازی
۳۷	۳-۲-۸-۳- وضعیت دسترسی به خط در زمان نگهداری
۳۸	۳-۲-۸-۴- نواحی انتقال
۳۸	۳-۲-۸-۵- تأثیر زهکشی بر نگهداری
۳۸	۳-۲-۸-۶- اقدامات نگهداری در هنگام خروج از خط
۳۸	۳-۳- ملاحظات اقتصادی
۳۹	۳-۳-۱- تعاریف مرتبط با دوره عمر روسازی
۳۹	۳-۳-۲- ساختار و اجزای هزینه‌های چرخه عمر روسازی
۴۲	۳-۳-۳- فرآیند محاسبه هزینه دوره عمر
۴۴	۳-۴- ملاحظات کارایی (RAMS)
۴۵	۳-۴-۱- مفاهیم کارایی (RAMS)
۴۷	۳-۴-۲- روابط حاکم بر کارایی (RAMS)
۴۸	۳-۵- جمع‌بندی الزامات و ملاحظات تأثیرگذار بر انتخاب روسازی
۵۳	فصل ۴: فرآیند تصمیم‌گیری انتخاب روسازی
۵۵	۴-۱- مقدمه
۵۵	۴-۲- تعامل طراحی و انتخاب نوع مسیر

۵۶	۳-۴- راهنمای فرآیند انتخاب و تحلیل تناسب سیستم روسازی
۵۷	۳-۴-۱- بررسی شرایط عملکردی و بهره‌برداری
۵۸	۳-۴-۲- بررسی ویژگی‌های فنی زیرساخت
۶۰	۳-۴-۳- بررسی شرایط زیست‌محیطی
۶۱	۳-۴-۴- تحلیل اقتصادی (هزینه چرخه عمر)
۶۲	۴-۴- مدل‌سازی فرآیند انتخاب روسازی
۶۲	۴-۴-۱- مدل عمومی انتخاب نوع سیستم روسازی
۶۵	پیوست الف : نمونه ای از فرآیند انتخاب روسازی در خطوط معمولی
۶۷	الف-۱- مقدمه
۶۷	الف-۲- معرفی پروژه
۶۹	الف-۲-۱- مشخصات هندسی مسیر
۷۰	الف-۲-۲- وضعیت زمین شناسی کریدور موردبررسی
۷۱	الف-۲-۳- وضعیت ابنیه فنی مسیر
۷۱	الف-۳- تحلیل معیارهای تأثیرگذار بر تصمیم‌گیری
۷۲	الف-۳-۱- تحلیل مشخصات فنی زیرساخت
۷۴	الف-۳-۲- تحلیل شرایط عملکردی و بهره‌برداری
۷۶	الف-۳-۳- تحلیل شرایط زیست‌محیطی
۷۷	الف-۳-۴- تعیین هزینه‌های ساخت، نگهداری و نوسازی
۷۸	الف-۴- انتخاب روسازی بر مبنای معیارهای الزام آور
۷۹	الف-۵- انتخاب روسازی در نقاط باقیمانده بر اساس تحلیل هزینه دوره عمر
۸۱	الف-۶- انتخاب نهایی سیستم روسازی
۵۳	پیوست ب : مروری بر روش‌های پیشرفته تصمیم‌گیری
۸۷	ب-۱- مقدمه
۸۷	ب-۲- مروری بر مدل‌های تصمیم‌گیری چند معیاره
۸۸	ب-۲-۱- بررسی روش‌های غیرجبرانی در انتخاب سیستم روسازی
۸۹	ب-۲-۲- بررسی روش‌های جبرانی در انتخاب سیستم روسازی
۹۱	ب-۲-۳- بررسی روش‌های فازی در انتخاب سیستم روسازی
۹۱	ب-۲-۴- بررسی روش‌های داده‌کاوی مناسب در انتخاب سیستم روسازی

فهرست شکل‌ها

<u>صفحه</u>	<u>عنوان</u>
۷	شکل ۱-۲ مقطع عرضی خط بالاستی تک خطه.....
۸	شکل ۲-۲ مقطع عرضی خط بدون بالاست (دال خط).....
۱۱	شکل ۳-۲ دسته‌بندی اصلی روسازی خطوط پرسرعت.....
۱۵	شکل ۱-۳ انواع پروژه‌های احداث و توسعه خطوط ریلی و دسته‌بندی کلی الزامات انتخاب روسازی.....
۱۶	شکل ۲-۳ نمودار الزامات و ملاحظات اثرگذار بر انتخاب سیستم روسازی.....
۱۹	شکل ۳-۳ نمونه مقادیری از آلودگی ناشی از CO ₂ در خط بالاستی و بدون بالاست.....
۲۲	شکل ۴-۳ تأثیرات ناشی از ماسه‌های روان بر انواع سیستم روسازی.....
۲۳	شکل ۵-۳ الزامات هندسی اثرگذار در انتخاب نوع روسازی.....
۲۷	شکل ۶-۳ چرخش انتهای شاه‌تیرها.....
۲۸	شکل ۷-۳ کاهش سطح مقطع عرضی در تونلها.....
۳۰	شکل ۸-۳ منابع مختلف ایجاد نشست در خط.....
۳۶	شکل ۹-۳ منحنی زوال تئوری هندسه خط (روسازی بالاستی).....
۴۰	شکل ۱۰-۳ اجزاء و ساختار هزینه چرخه عمر.....
۴۲	شکل ۱۱-۳ فرآیند هزینه چرخه عمر.....
۴۴	شکل ۱۲-۳ دوره‌های چرخه عمر زیرساخت‌های ریلی.....
۴۵	شکل ۱۳-۳ اصول RAMS.....
۶۴	شکل ۱-۴ مدل عمومی انتخاب سیستم روسازی.....

فهرست جدول‌ها

عنوان	صفحه
جدول ۱-۲ انواع روسازیهای بدون بالاست.....	۹
جدول ۲-۲ دسته‌بندی اصلی روسازی خطوط پرسرعت شامل مشخصات بهره‌برداری و ابعادی.....	۱۱
جدول ۳-۲ مقایسه کلی سیستم روسازی بالاستی و بدون بالاست در خطوط ریلی.....	۱۲
جدول ۱-۳ سیستم روسازی پیشنهادی بر اساس سرعت.....	۱۷
جدول ۲-۳ نوع روسازی پیشنهاد شده با توجه به ترافیک تجمعی.....	۱۸
جدول ۳-۳ آلودگی ناشی از گاز گلخانه‌های CO ₂ در خط بالاستی و بدون بالاست.....	۲۰
جدول ۴-۳ تأثیر شعاع قوس افقی بر انتخاب سیستم روسازی.....	۲۳
جدول ۵-۳ برابندی مجاز بر اساس نوع سیستم روسازی.....	۲۴
جدول ۶-۳ ابعاد نمونه گاباری راه‌آهن بالاستی و بدون بالاست.....	۲۴
جدول ۷-۳ ارتفاع و وزن تقریبی سیستم‌های روسازی.....	۲۵
جدول ۸-۳ محدوده نشست در پایه‌ها و کولها پس از اتمام فرآیند ساخت.....	۲۶
جدول ۹-۳ محدوده مجاز تنش ریل ناشی از اندرکنش طولی خط و پل.....	۲۶
جدول ۱۰-۳ محدوده چرخش مجاز در شاه‌تیرهای انتهای پل.....	۲۷
جدول ۱۱-۳ نمونه‌هایی از خطوط بدون بالاست به همراه ضخامت آن‌ها در شرایط عادی و در تونل.....	۲۸
جدول ۱۲-۳ سیستم روسازی پیشنهادی بر اساس طول تونل.....	۲۹
جدول ۱۳-۳ سطح مجاز تراز آب زیرزمینی در خط بالاستی و بدون بالاست.....	۲۹
جدول ۱۴-۳ الزامات مربوط به زیرسازی در خط بالاستی و بدون بالاست.....	۳۰
جدول ۱۵-۳ حد مجاز نشست بستر در خطوط بالاستی و بدون بالاست.....	۳۱
جدول ۱۶-۳ نمونه‌هایی از ادوات کاهش ارتعاشات در سیستم‌های بدون بالاست.....	۳۲
جدول ۱۷-۳ نرخ پیشروی ثبت شده در ساخت روسازی‌های بالاستی و بدون بالاست.....	۳۴
جدول ۱۸-۳ رواداریهای مربوط به پارامترهای هندسی خطوط بالاستی و بدون بالاست.....	۳۵
جدول ۱۹-۳ نمونه‌ای از زوال اجزای خط بدون بالاست.....	۳۷
جدول ۲۰-۳ روابط مورد استفاده در تحلیل هزینه دوره عمر سیستم روسازی.....	۴۳
جدول ۲۱-۳ روابط حاکم بر اصول RAMS.....	۴۸
جدول ۲۲-۳ الزامات و ملاحظات اثرگذار بر حوزه انتخاب روسازی.....	۴۹
جدول ۱-۴ تعامل طراحی و انتخاب نوع مسیر.....	۵۶

جدول ۲-۴ شرایط عملکردی و بهره‌برداری.....	۵۸
جدول ۳-۴ بررسی ویژگی‌های فنی زیرساخت.....	۵۹
جدول ۴-۴ شرایط زیستمحیطی (کاهش صدا و ارتعاش، زیرساخت موردنیاز و ...)	۶۰
جدول ۵-۴ تحلیل LCC.....	۶۲

فصل ۱

مبانی و تعاریف

۱-۱- مبانی

در دستورالعمل انتخاب روسازی راه آهن، الزامات تأثیرگذار بر انتخاب روسازی به صورت کیفی و کمی مورد بررسی قرار گرفته است. رعایت تمامی موارد این نشریه که با به کار بردن واژه‌هایی نظیر «باید»، «نباید»، «لازم است» و ... مشخص شده‌اند، اجباری است. رعایت مواردی که به عنوان معیار پیشنهادی ارائه شده است و با واژه‌هایی نظیر «توصیه می شود»، «بهتر است»، «می تواند» و ... مشخص شده‌اند، اجباری نیست.

در تدوین این سند سعی شده است تا از مدارک و منابع اتحادیه بین‌المللی راه آهن‌ها (UIC) و آیین‌نامه‌های برخی از کشورهای اروپایی (نظیر EN و آیین‌نامه کشور آلمان) و آسیایی (مانند آیین‌نامه کشور چین) با در نظر گرفتن معیارهای تجربی رایج در کشور استفاده شود. به علاوه، در این نشریه از بیان مجدد تعاریف و اصطلاحات موجود در نشریات دیگر سازمان برنامه و بودجه صرف نظر و به نشریه مربوطه ارجاع داده شده است. این نشریه بیانگر مقادیر مرزی موجود در انتخاب روسازی است. چنانچه مطالعات خاص و بررسی‌های دقیق‌تر در انتخاب روسازی، استفاده از معیارهای دیگری را پیشنهاد دهد، با ارائه مستندات مربوط به مطالعات و تأیید کارفرما می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد.

در فصل اول این دستورالعمل، مبانی و تعاریف مورد استفاده در فصل‌های بعدی ارائه می‌شود. فصل دوم دربرگیرنده معرفی انواع روسازی راه آهن، اجزای سازنده آن‌ها و مقایسه بین روسازی بالاستی و بدون بالاست است. در فصل سوم، به ترتیب الزامات فنی، اقتصادی و کارایی انتخاب روسازی بالاستی و بدون بالاست مورد بررسی قرار گرفته و در انتها، الزامات معرفی شده به صورت خلاصه و در قالب جدول الزامات یکپارچه انتخاب سیستم روسازی ارائه شده است. در فصل چهارم، فرآیند انتخاب سیستم روسازی به صورت گام به گام تشریح و در پایان، مدل عمومی تصمیم‌گیری جهت استفاده در روند انتخاب سیستم روسازی بررسی شده است. در پایان و در پیوست الف دستورالعمل حاضر، به منظور تشریح نحوه استفاده از مدل عمومی تصمیم‌گیری ارائه شده در فصل چهارم، یک نمونه مثال کاربردی از روند انتخاب سیستم روسازی پروژه‌های ریلی معمولی (به استثنای پروژه‌های ریلی پرسرعت و یا باری سنگین که نیازمند استفاده از روش‌های پیشرفته و با جزئیات بیشتر است) ارائه شده است. پس از آن در پیوست ب، مهم‌ترین روش‌های تصمیم‌گیری پیشرفته جهت استفاده در پروژه‌های خاص و با اهمیت بالا و در روند انتخاب سیستم روسازی معرفی شده‌اند.

۱-۲- تعاریف

تعاریف مربوط به اصطلاحات و واژگان به کار گرفته شده در این دستورالعمل به شرح زیر است:

سناریوی احداث خط: در دو بخش اصلی به شرح زیر قابل طبقه‌بندی می‌باشد:

- خطوط جدید: شامل احداث یک خط جدید در مناطقی که شبکه ریلی وجود ندارد، یا احداث یک خط جدید در کریدور خط موجود (افزایش تعداد خطوط)

- خطوط موجود: شامل برنامه‌ریزی ارتقای سرعت، بارمحموری یا ترافیک تجمعی برای خط موجود و یا برنامه‌ریزی بازسازی و بهسازی خطوط موجود به دلیل اتمام عمر مفید
- راه آهن معمولی: خطوطی که از روی آن‌ها، قطارهای با بیشینه سرعت ۱۶۰ کیلومتر بر ساعت حرکت می‌کنند.
- راه آهن پرسرعت^۱: در دو بخش اصلی به قرار زیر طبقه‌بندی می‌شود:
 - خطوط انحصاری (جدید): مخصوص قطارهای مسافری با سرعت ۲۵۰ کیلومتر بر ساعت یا بیشتر
 - خطوط ارتقاء یافته موجود: مخصوص قطارهای مسافری با سرعت بالاتر از ۱۶۰ کیلومتر بر ساعت
- الزامات فنی:** آن دسته از الزامات که آستانه‌های فنی انتخاب سیستم روسازی راه آهن را مورد بررسی قرار می‌دهند و به دو دسته «عوامل کلی» و «عوامل محلی» به قرار زیر تفکیک می‌شوند:
 - عوامل کلی که بر انتخاب خط آهن به صورت کلی تأثیر می‌گذارند و مستقل از منطقهٔ احداث خط هستند.
 - عوامل محلی که برخلاف عوامل کلی، تحت تأثیر ویژگی‌های منطقه احداث خواهند بود؛
- الزامات اقتصادی:** آن دسته از الزامات که چارچوب مطالعات هزینه دوره عمر سیستم روسازی را مورد بررسی قرار می‌دهند.
- الزامات کارایی:** آن دسته از الزامات که چارچوب اصول RAMS^۲ سیستم روسازی را مورد بررسی قرار می‌دهند.
- هزینه دوره عمر^۳:** روشی برای محاسبهٔ هزینه کل سیستم در طول دورهٔ عمر کلی آن است که با هدف ارائه فرآیندی نظام‌مند جهت ارزیابی و کمی‌سازی اثرات ناشی از هزینه مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این تحلیل، هزینه‌های دوره عمر پروژه شامل هزینه‌های ساخت، نگهداری، نوسازی و عدم دسترسی ارزیابی می‌شود.
- اصول RAMS:** متشکل از چهار مؤلفه «قابلیت اعتماد^۴»، «دسترسی پذیری^۵»، «قابلیت نگهداری^۶» و «ایمنی^۷» است که به عنوان شاخصی در تعیین کارایی سیستم‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد.
- UIC:** اتحادیه بین‌المللی راه‌آهن‌ها با عضویت بیش از ۱۰۰ کشور است که برای هماهنگی و بهبود مشخصات فنی تشکیل شده است و مدارک و مراجع علمی، فنی و اجرایی زیادی را تهیه و به صورت استانداردهای طراحی ارائه می‌کند.
- DB:** استاندارد راه‌آهن آلمان
- TB:** استاندارد راه‌آهن چین
- EN:** استاندارد اتحادیه اروپا

^۱ High Speed Railway (HSR)^۲ Reliability, Availability, Maintainability, Safety^۳ Life Cycle Cost (LCC)^۴ Reliability^۵ Availability^۶ Maintainability^۷ Safety

فصل ۲

معرفی انواع

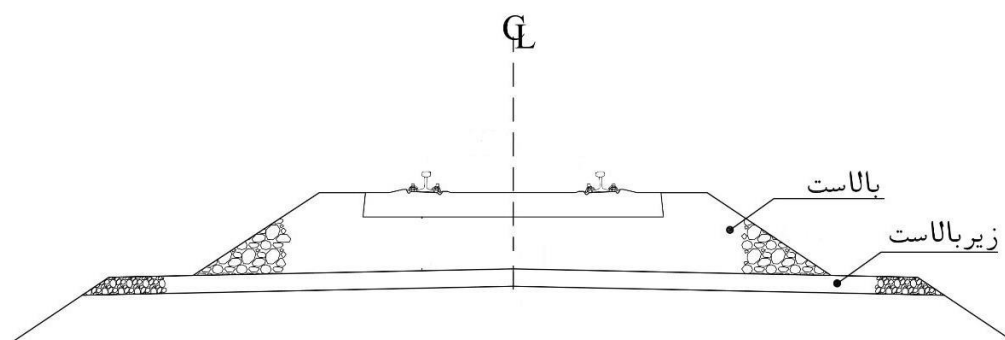
روسازی خطوط ریلی

۲-۱- سیستم‌های مختلف روسازی خطوط ریلی

به‌طور کلی دو نوع سیستم اصلی «روسازی بالاستی» و «روسازی بدون بالاست» در اجرای روسازی خطوط ریلی دنیا مطرح شده و هریک از آن‌ها دارای مزایا، محدودیت‌ها و کارایی‌های متفاوتی نسبت به یکدیگر می‌باشند. انتخاب نوع سیستم روسازی برای یک خط ریلی و متعاقباً تحلیل و طراحی اجزا آن به‌عنوان یک جزء کلیدی در طراحی خطوط ریلی مورد توجه مهندسان و طراحان این حوزه بوده است. در انتخاب نوع مناسب سیستم روسازی برای یک خط ریلی باید ضمن شناخت کافی از هر دو نوع سیستم، شرایط هر پروژه به نحو مطلوبی مطالعه گردد تا نهایتاً در هر پروژه توسعه یا بهسازی زیرساخت خطوط ریلی، نوع سیستم روسازی بهینه از منظر فنی، اقتصادی و کارایی در مدت بهره‌برداری انتخاب شود.

۲-۱-۱- روسازی بالاستی

سیستم روسازی بالاستی در خطوط ریلی متشکل از ریل، تراورس، ادوات اتصال (پابند)، لایه‌های بالاست و زیربالات است که بر بستر خط (زیرسازی) قرار می‌گیرد (شکل ۱-۲). استفاده از این نوع سیستم روسازی در خطوط ریلی بسیار متداول بوده و عملکرد بسیار خوبی از خود نشان داده است. مشخصات فنی عمومی مربوط به هر یک از اجزاء این سیستم روسازی در نشریه شماره ۳۰۱ سازمان برنامه و بودجه و همچنین دستورالعمل نظارت بر اجرای آن در نشریه شماره ۳۵۵ سازمان برنامه و بودجه ارائه شده است.

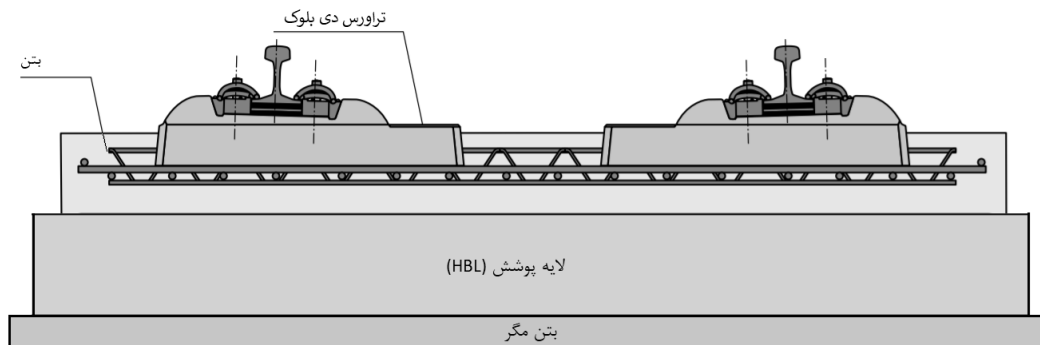


شکل ۱-۲ مقطع عرضی خط بالاستی تک خطه

۲-۱-۲- روسازی بدون بالاست (دال خط)

نیاز به حداقل الزامات نگهداری در بهره‌برداری از خط ریلی به همراه افزایش نیاز به کریدورهای راه‌آهن پرسرعت، رشد روزافزونی داشته است. به‌منظور ایجاد ارتباط مناسب بین این دو موضوع، در طی ۵۰ سال گذشته، فرآیند مدرن‌سازی زیرساخت‌های ریلی و حرکت آن به سمت روسازی‌های بدون بالاست رشد چشمگیری داشته است. استفاده از روسازی بدون بالاست اگرچه موجب رفتار دینامیکی پیچیده‌تر می‌گردد، مزایای قابل توجهی مانند پایداری بیشتر وسیله نقلیه ریلی و به ویژه کاهش عملیات متناوب نگهداری و تعمیر را به همراه دارد.

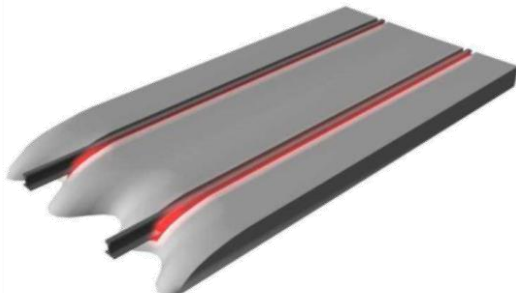
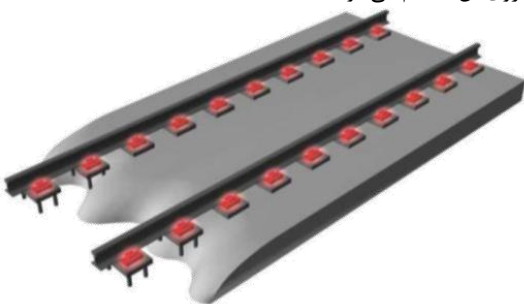
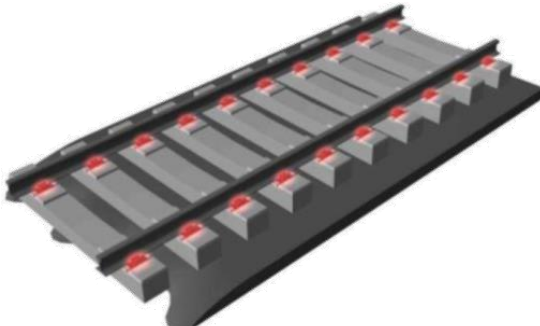
متداول‌ترین نوع سیستم روسازی بدون‌بالاست، روسازی بتنی نام دارد که شامل یک دال بتنی پیش‌ساخته و یا درجاریز است که ریل و صفحه لاستیکی زیر ریل بر روی آن قرار دارد و با پابندها تثبیت می‌شود (شکل ۲-۲). به‌طورکلی تفاوت اساسی میان سیستم روسازی بالاستی و بدون‌بالاست در استفاده یا عدم استفاده از مصالح بالاست به‌عنوان نخستین لایه تکیه‌گاهی برای اجزای فوقانی (ریل و تراورس) می‌باشد. روسازی‌های بتنی می‌توانند به‌صورت یک لایه بتنی منفرد و یا یک مجموعه متشکل از یک لایه بتنی و لایه‌های با خواص سیمانی طراحی شوند. هزینه احداث این نوع روسازی بالا است، لیکن هزینه نگهداری و تعمیر آن پایین‌تر از روسازی بالاستی است. به دلیل حذف بالاست در این نوع خط، صدا و ارتعاش آن در مقایسه با روسازی بالاستی بیشتر است. مشخصات فنی عمومی مربوط به هر یک از اجزاء این سیستم روسازی در فصل هفتم نشریه شماره ۳۰۱ سازمان برنامه و بودجه ارائه شده است. استفاده از خطوط بدون‌بالاست در پل‌ها، تونل‌ها، محوطه بنادر و محدوده شهرها بسیار مناسب ارزیابی شده است.



شکل ۲-۲ مقطع عرضی خط بدون‌بالاست (دال خط)

با توجه به تنوع روسازی‌های بدون‌بالاست راه‌آهن و نحوه ارتباط اجزای آن‌ها با یکدیگر، انواع مختلف این سیستم‌ها در جهان توسعه یافته‌اند که به‌طورکلی می‌توان آن‌ها را در دو دسته کلی «سیستم با تکیه‌گاه پیوسته» و «سیستم با تکیه‌گاه مجزا» تقسیم نمود. این نوع دسته‌بندی، به نحوه اتصال ریل به مجموعه زیرین خود ارتباط دارد. در جدول ۱-۲، مهم‌ترین انواع روسازی‌های بدون‌بالاست به همراه مشخصات و نمونه‌های اجرایی آن‌ها در جهان ارائه شده است.

جدول ۱-۲ انواع روسازی‌های بدون بالاست

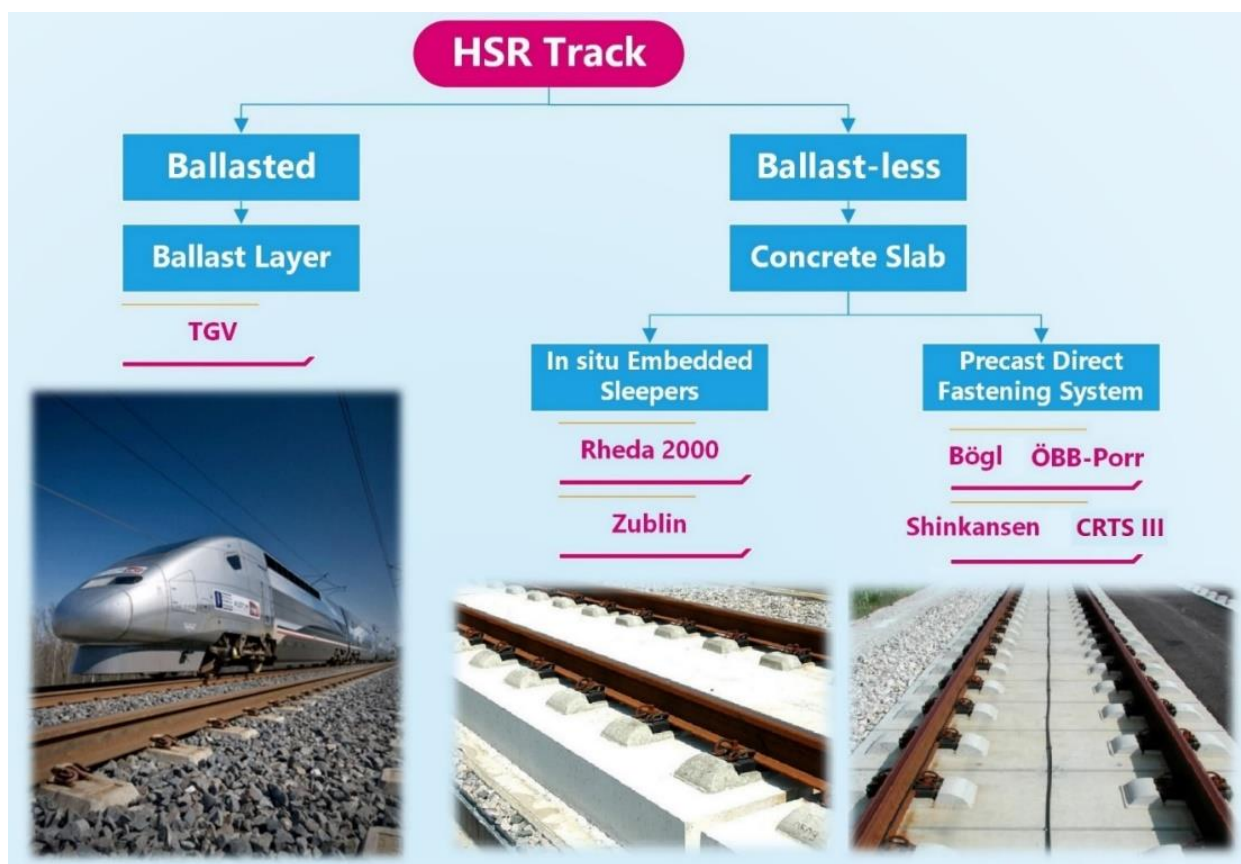
نوع	تعریف سیستم و نمونه‌ها	ویژگی‌ها
سیستم ریل مدفون	ریل مدفون در تکیه‌گاه ارتجاعی پیوسته که با استفاده از مصالح ارتجاعی مانند پلی‌اورتان تقریباً تمامی پروفیل ریل به غیر از تاج آن را پوشانده است.  نمونه‌ها: ادیلون- اینفوندو (Edilon- Infundo)، بالفور بتی یا BBERS (Balfur Beatty)، طرح خط عرشه‌ای (Deck Track)، Grooved ERL، KES.	- روش اجرا از بالا به پایین؛ - نصب دشوار؛ - دستگاه‌های اضافی برای تنظیم موقعیت ریل (مانند شیب‌سنج) همواره مورد نیاز است؛ - ریل تکیه‌گاه پیوسته دارد؛ - نیروهای دینامیکی ناشی از خمش ثانویه بین تکیه‌گاه‌های ریل به وجود نخواهد آمد. - کاهش تولید صدا؛ - کاهش نیاز به نگهداری به دلیل حذف تکیه‌گاه‌های مجزا؛ - فراهم آوردن بستری برای اجرای تقاطعات هم‌سطح؛ - مقاومت بسیار بالای ریل در برابر لغزش.
سیستم ریلی با دال درجا	لایه بتنی یکپارچه و پیوسته اجرا می‌شود و ادوات اتصال مستقیم ریل بر روی آن تنظیم می‌شوند.  نمونه‌ها: دال با اتصال مستقیم (DFST)، خط بتنی بدون تراورس (BES)، خط بتنی بدون تراورس (BTE)، Hochtief، Lawn track.	- روش اجرا از بالا به پایین؛ - برای تنظیم موقعیت ریل همواره نیاز به دستگاه‌های اضافی (مانند شیب‌سنج) وجود دارد؛ - کاهش میزان پایداری هندسی پانل خط حین بتن‌ریزی؛ - تعویض آسان قطعات سایش یافته (ریل و عناصر ارتجاعی)؛
سیستم تراورس غیر مدفون	تراورس‌ها مستقیماً بالای یک لایه بتنی یا آسفالتی قرار می‌گیرند.  نمونه‌ها: GETRAC، ATD، BTG، والتر (WALTER)، ساتو (SATO)، FFYS.	- روش اجرا از پایین به بالا؛ - لایه تحتانی با کیفیت بالا مورد نیاز است؛ - با تغییر شکل‌های پلاستیک جزئی (در سیستم آسفالتی) سازگار است؛ - برای تنظیم موقعیت ریل به دستگاه‌های اضافی (مانند شیب‌سنج) نیازی نیست؛ - نیاز به تنظیم مجدد شیب با استفاده از صفحات زیر ریل برای محدود کردن تغییرات؛ - جهت تأمین پایداری جانبی و طولی خط در برابر لغزش تراورس‌ها و جابجایی عرض خط، به ادوات اضافی نیاز است؛ - آسان بودن تعویض تراورس‌ها؛ - تعویض آسان قطعات سایش یافته (ریل و عناصر ارتجاعی).

نوع	تعریف سیستم و نمونه‌ها	ویژگی‌ها
سیستم ریلی با دال پیش‌ساخته	دال بتن مسلح پیش‌ساخته پیش‌تنیده	- روش اجرا از بالا به پایین؛ - برای تنظیم موقعیت ریل به دستگاه‌های اضافی (مانند شیب‌سنج) نیازی نیست؛ - در فرایندهای ساخت صنعتی با کیفیت بالا، کیفیت دال نیز افزایش خواهد یافت؛ - مهار شدن ادوات اتصال در بتن پیش‌ساخته با کیفیت بالا؛ - تعویض آسان قطعات سایش یافته (ریل و عناصر ارتجاعی)؛ - دارای حمل‌ونقل پیچیده؛ - دارای ارتفاع قابل توجهی است و از این نظر هزینه‌های بالایی به بار می‌آورد.
	نمونه‌ها: OBB-Porr، ایپا (IPA)، بوگل (FF Bögl)، دال J یا شینکانسن، FST، Railtech (دال شناور).	
سیستم تراورس مدفون	قرار گرفتن تراورس‌ها در داخل بتن یا مستقیماً بر روی بستر بتنی	- روش اجرا از بالا به پایین؛ - معمولاً تسلیح شده‌اند؛ - برای تنظیم موقعیت ریل به دستگاه‌های اضافی (مانند شیب‌سنج) نیازی نیست؛ - اتصال ریل به تراورس با کیفیت بالایی انجام می‌شود؛ - تعویض آسان قطعات سایش یافته (ریل و عناصر ارتجاعی)؛ - اتصال بادوام و محکم تراورس‌ها با دال خط (البته این اتصال به نوع تراورس‌های استفاده‌شده نیز وابسته است)؛ - نگهداری و تعویض خط مشکل بوده و تعمیر آن به زمان زیادی نیاز دارد؛ - تنظیم موقعیت قائم و جانبی ریل تنها با استفاده از اعمال تغییرات محدود در ادوات اتصال امکان‌پذیر است.
	نمونه‌ها: رهدا (RHEDA)، رهدا برلین، رهدا ۲۰۰۰، زوبلین (Züblin)، هایت کمپ (Heitkamp)	

۲-۱-۳- روسازی‌های خطوط پرسرعت (بالاستی و بدون‌بالاست)

از سال ۱۹۷۰ میلادی، راه‌آهن ملی ژاپن توجه زیادی به نصب و اجرای دال خط در خطوط پرسرعت داشته است. در اروپا، آلمان از سال ۱۹۷۲ تاکنون، فعال‌ترین کشور در ساخت دال خط بوده و توانسته سیستم‌های بدون‌بالاست موفق متعددی را در سرتاسر جهان گسترش دهد. هم‌اکنون رونق و رواج ساخت شبکه خطوط پرسرعت ریلی در چین با تکیه بر فناوری دال خط بسیار چشمگیر است.

در شکل ۲-۳ و جدول ۲-۲، تلاش شده است تا روسازی‌های بتنی پرکاربرد در خطوط پرسرعت، از منظر تجربه سایر کشورها معرفی شده تا به نوعی، انتخاب بین آن‌ها را آسان‌تر سازد. لازم به ذکر است که مبنای این انتخاب، احداث راه‌آهن‌های پرسرعت با طولی بیش از ۲۰۰۰ کیلومتر بوده است.



شکل ۲-۳ دسته‌بندی اصلی روسازی خطوط پرسرعت

جدول ۲-۲ دسته‌بندی اصلی روسازی خطوط پرسرعت شامل مشخصات بهره‌برداری و ابعادی

ابعاد (میلی‌متر)			سرعت (km/h)	نمونه‌های مطرح	نوع روسازی
ضخامت روسازی	طول * عرض (دال)	ضخامت کلی خط			
۵۰۰-۳۵۰	-	۱۰۵۰	۲۵۰	TGV (فرانسه)	بالاستی
۲۴۰	-	۷۸۰	۳۲۰	رهدا ۲۰۰۰ (آلمان)	دال خط بتنی درجا ریز
۲۰۰	۲۸۰۰ * ۶۴۵۰	۷۵۲	۳۵۰	بوگل (آلمان)	دال خط بتنی پیش‌ساخته
۱۹۰	۲۲۲۰ * ۴۹۰۰	۷۱۵	۳۲۰	شینکانسن (ژاپن)	
۱۹۰	۲۵۰۰ * ۵۶۰۰	۶۹۲	۳۵۰	CRTS III (چین)	

۲-۲- مقایسه کلی روسازی بالاستی و بدون بالاست

از آنجاکه سرمایه‌گذاری‌های ریلی معمولاً قابل بازگشت نیست، لازم است مدیریت زیرساخت در فرایند انتخاب نوع سیستم روسازی بر اساس سیستم‌های پشتیبانی از تصمیم‌گیری و با استناد به پیشنهادات شفاف و قابل اعتماد انجام پذیرد. این پشتیبانی باید بر اساس نگاهی نظام‌مند و جامع نسبت به معیارهای تأثیرگذار بر انتخاب سیستم روسازی از جمله در

حوزه‌های اصلی «شرایط عملکردی و بهره‌برداری»، «ویژگی‌های فنی زیرساخت»، «شرایط زیست‌محیطی» و «تحلیل اقتصادی» صورت پذیرد. در فصول بعدی دستورالعمل حاضر به این موضوعات پرداخته شده است. در این بخش با توجه به مزایا و معایب موجود در هر یک از خطوط بالاستی و بدون بالاست، مقایسه‌ای کلی بین این دو سیستم شامل مزایا و معایب این دو نوع سیستم روسازی در جدول ۲-۳ آمده است.

جدول ۲-۳ مقایسه کلی سیستم روسازی بالاستی و بدون بالاست در خطوط ریلی

خطوط بدون بالاست	خطوط بالاستی
□ مزایا - ارتفاع کمتر سازه و در برخی موارد وزن کمتر خط - هزینه‌های تعمیر و نگهداری پایین‌تر - دوره عمر بالاتر (حدود ۶۰ تا ۱۰۰ سال) - پایداری بیشتر هندسه خط - عایق الکتریکی مناسب - کاهش تنش وارد بر بستر - تأمین مقاومت جانبی کافی به‌خصوص در خطوط CWR - عدم نفوذ آب و حفاظت کامل بستر در مقابل یخبندان و آلودگی - عدم نیاز به برخی از ماشین‌آلات خاص نگهداری و تعمیر - عدم نیاز به مواد شیمیایی برای از بین بردن علف‌های هرز - عدم اعوجاج جانبی یا کماتش خط □ معایب - انعطاف‌پذیری کم برای پیاده‌سازی اصلاحات در آینده - هزینه‌های سرمایه‌گذاری بالاتر (به‌جز در پل‌ها و تونل‌ها) - تغییرات در پارامترهای هندسی خط بسیار مشکل است اما غیرممکن نمی‌باشد. - ساخت و اجرای با تکنولوژی پیچیده‌تر و دقت مورد نیاز بالاتر - نیاز به استفاده از ادوات کاهش صدا - اصلاح زمان‌بر و پیچیده خط پس از رخداد خروج از خط - نیاز به طراحی ناحیه انتقال در محل اتصال خطوط سنتی	□ مزایا - هزینه‌های سرمایه‌گذاری پایین‌تر - الاستیسیته بالاتر خط - سهولت تعویض و جایگزینی اجزای خط - جذب صدای بیشتر - تکنولوژی اجرای ساده‌تر و فناوری به اثبات رسیده □ معایب - تمایل خط به حرکت در دو جهت طولی و جانبی - محدودیت شتاب جانبی جبران نشده در قوس‌ها - خردشدگی و آلودگی بالاست - نفوذپذیری کمتر به دلیل آلودگی و ورود ذرات ریز - وزن سنگین‌تر خطوط بالاستی (طراحی سنگین‌تر ابنیه فنی) - خرابی و سایش تراورس‌ها ناشی از تماس با دانه‌های بالاست - پرتاب شدن سنگدانه‌ها و برخورد با پروفیل چرخ و ریل - پخش گردوغبار در خطوط با سرعت بالا - بلندشدگی و نیروی کششی در خط - عدم ثبات در پارامترهای هندسی خط - نیاز به نگهداری بیشتر و در نتیجه مسدودی بیشتر و آماده‌به‌کاری کمتر - ایجاد موج‌های کوتاه و بلند بیشتر (پدیده کاریوگیشن) - دوره عمر پایین (حدود ۳۰ تا ۴۰ سال) - ارتفاع تمام‌شده زیاد (کاهش گاباری در تونل‌ها) - هزینه بیشتر ساخت تونل به دلیل گاباری بیشتر - هزینه بیشتر ساخت پل به دلیل وزن بیشتر

فصل ۳

الزامات و ملاحظات

انتخاب سیستم روسازی

۳-۱- مقدمه

به‌طور کلی پروژه‌های احداث و توسعه خطوط ریلی در دو بخش اصلی به شرح زیر قابل طبقه‌بندی می‌باشد:

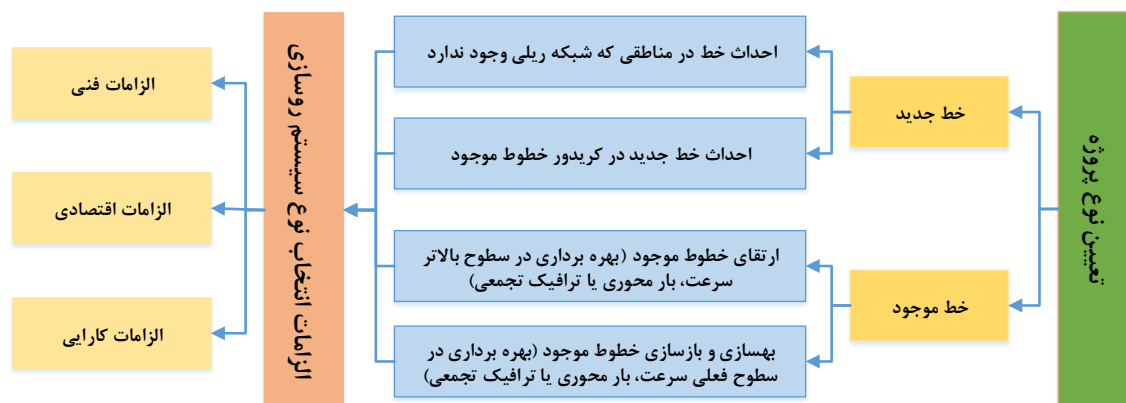
۱- خطوط جدید:

- احداث یک خط جدید در مناطقی که شبکه ریلی وجود ندارد
- احداث یک خط جدید در کریدور خط موجود (افزایش تعداد خطوط)

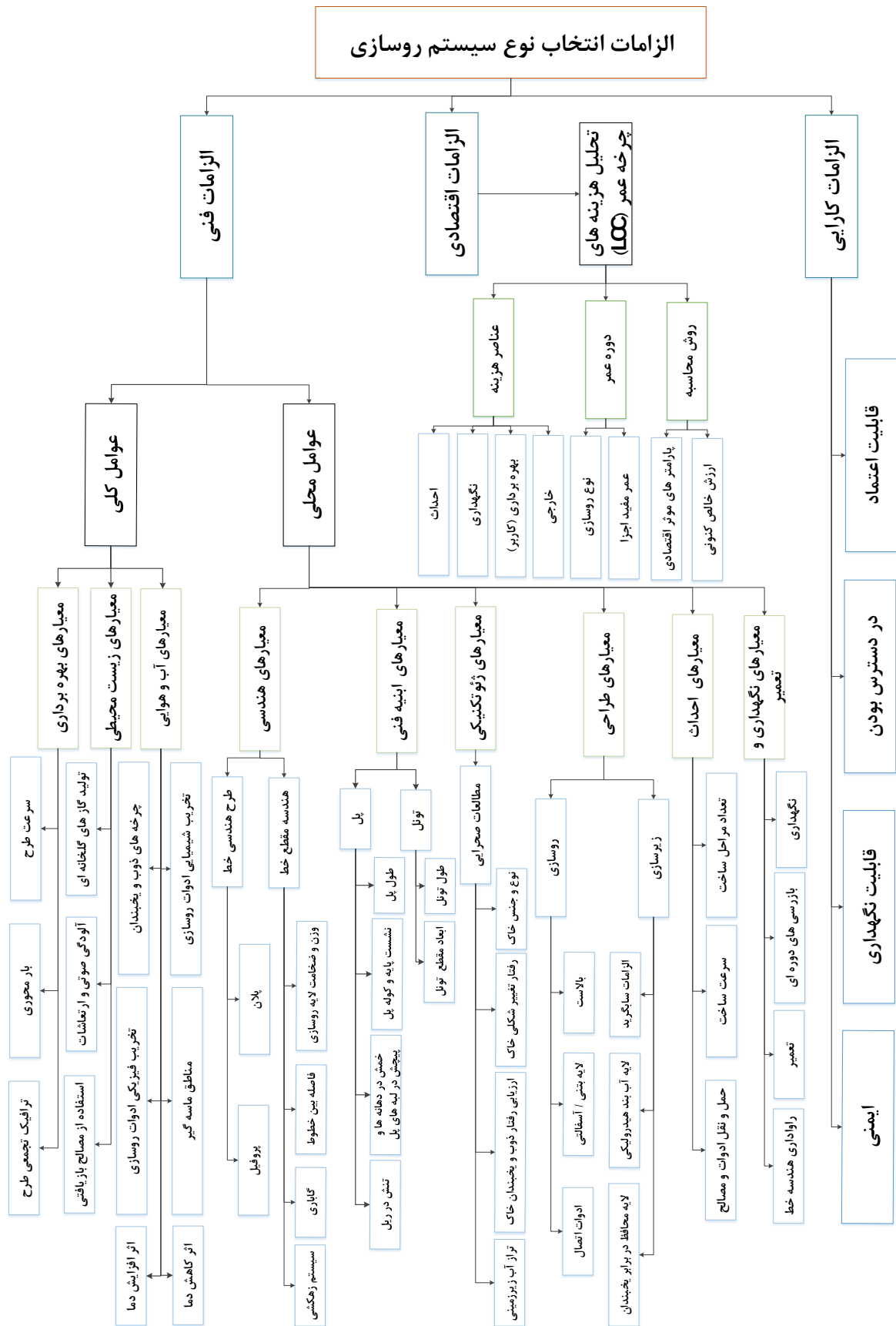
۲- خطوط موجود:

- برنامه‌ریزی ارتقای سرعت، بار محوری یا ترافیک تجمعی برای خط موجود
- برنامه‌ریزی بازسازی و بهسازی خطوط موجود به دلیل اتمام عمر مفید

هدف این فصل، ایجاد چارچوب الزامات متصور برای تصمیم‌گیری و انتخاب بین دو سیستم روسازی بالاستی و بدون‌بلاست در راه‌آهن است. بر این اساس لازم است ابتدا نوع پروژه بر اساس موارد فوق‌الذکر تعیین گردد و سپس به بررسی الزامات انتخاب نوع سیستم روسازی برای پروژه پرداخته شود. این موضوع از این نظر حائز اهمیت است که نوع پروژه در مواردی الزامات و محدودیت‌هایی در انتخاب نوع سیستم ایجاد می‌نماید. به‌طور کلی، الزامات و عوامل اثرگذار در انتخاب سیستم روسازی راه‌آهن، به سه دسته فنی، اقتصادی و کارایی دسته‌بندی می‌شوند. در شکل ۳-۱ و شکل ۳-۲، ساختار کلی این الزامات و معیارهای مربوط به هر طبقه ارائه شده است. لازم به ذکر است در بررسی این عوامل، کارایی دو سیستم روسازی بالاستی و بدون‌بلاست با یکدیگر مقایسه و ارجحیت آن‌ها بر اساس هر عامل تبیین شده است. بدیهی است انتخاب سیستم روسازی باید بر اساس جمع‌بندی کلیه عوامل دخیل در فرآیند انتخاب صورت پذیرد.



شکل ۳-۱ انواع پروژه‌های احداث و توسعه خطوط ریلی و دسته‌بندی کلی الزامات انتخاب روسازی



شکل ۳-۲ نمودار الزامات و ملاحظات اثرگذار بر انتخاب سیستم روسازی

۳-۲- الزامات فنی

الزامات فنی یکی از مهم‌ترین ابزارهای لازم برای تصمیم‌گیری و انتخاب مناسب بین دو سیستم روسازی بالاستی و بدون‌بلاست راه‌آهن است. از منظر الزامات فنی، عواملی که بر انتخاب بین سیستم روسازی بالاستی و بدون‌بلاست اثر می‌گذارند به دو دسته «عوامل کلی»^۱ و «عوامل محلی»^۲ تفکیک می‌شوند (شکل ۳-۲). در ادامه توضیحات مربوط به این الزامات و ملاحظات ارائه شده است.

۳-۲-۱- الزامات بهره‌برداری

الزامات بهره‌برداری، آن دسته از عوامل کلی تأثیرگذار بر انتخاب روسازی راه‌آهن هستند که به شرایط بهره‌برداری از خط وابسته‌اند. عوامل ذیل این موضوع در ادامه بررسی شده‌اند.

۳-۲-۱-۱- سرعت

افزایش سرعت منجر به افزایش بارهای دینامیکی، افزایش ضربه و در نتیجه زوال سریع‌تر خط‌آهن خواهد شد. به‌طور کلی خطوط بالاستی در مقایسه با خطوط بدون‌بلاست پایداری کمتر و زوال سریع‌تری دارند. به همین دلیل خطوط بالاستی نیازمند کنترل بیشتر به منظور محدود نمودن انحراف از وضعیت هندسی مطلوب می‌باشد. از طرف دیگر در خطوط پرسرعت با روسازی بالاستی، با افزایش سرعت (از محدوده سرعت ۲۷۰ کیلومتر بر ساعت و بالاتر) به تدریج مقاومت جانبی تراورس‌ها کاهش می‌یابد و نوسانات طولی به قدری افزایش خواهد یافت که منجر به «پرش بالاست» خواهد شد. به بیان دیگر، به هنگام عبور قطار پرسرعت از روی خط، دانه‌های بالاست از بستر بالاستی جدا شده و به سمت سطح ریل و زیر ناوگان پرتاب می‌شوند. این پدیده علاوه بر آسیب به ناوگان، باعث ایجاد عیوب سطحی در ریل می‌شود و نیاز به سنگ‌زنی ریل را افزایش خواهد داد. بنابراین، تأثیر پدیده پرش بالاست بر افزایش میزان نگهداری از خط و ناوگان را بایستی به‌عنوان یکی از معایب استفاده از روسازی بالاستی قلمداد نمود. بر این اساس و از منظر سرعت سیر ناوگان ریلی، استفاده از سیستم روسازی بدون‌بلاست در سرعت‌های بالا از مقبولیت بیشتری برخوردار است. به‌عنوان یک معیار کلی، طبقه‌بندی ارجحیت نوع سیستم روسازی بر اساس سرعت در جدول ۳-۱ پیشنهاد شده است.

جدول ۳-۱ سیستم روسازی پیشنهادی بر اساس سرعت

نوع روسازی	محدوده سرعت
ترجیحاً بدون‌بلاست	$\geq 300 \text{ km/h}$
بلاستی یا بدون‌بلاست	$200 \leq < 300 \text{ km/h}$
ترجیحاً بالاستی	$< 200 \text{ km/h}$

^۱ Global factors

^۲ Local factors

۳-۲-۱-۲- بارمحوری

با افزایش میزان بار محوری، نیروی وارد شده به خط افزایش خواهد یافت. روسازی بدون بالاست به دلیل توزیع یکنواخت تر تنش در لایه‌های زیرسازی، نسبت به روسازی بالاستی از ظرفیت بالاتری برای افزایش بار محوری برخوردار است. حال آنکه در روسازی بالاستی افزایش بار محوری منجر به خردشدگی دانه‌های بالاست، ایجاد نشست در بالاست و متعاقباً بالا رفتن نرخ زوال خط و به تبع آن کاهش پایداری روسازی و ایمنی خط خواهد شد. بنابراین در بارهای محوری سنگین روسازی بدون بالاست بدلیل توزیع مناسب تر تنش و کاهش عملیات نگهداری و تعمیر مناسب تر رفتار می کند.

۳-۱-۲-۳- ترافیک تجمعی

پیش‌بینی تراکم ترافیک در شرایط بهره‌برداری اولیه، از مهم‌ترین ورودی‌ها جهت تحلیل انتخاب سیستم روسازی است. به بیان ساده‌تر، پیش‌بینی ترافیک میان مدت و بلندمدت دارای دو اثر کلیدی بر انتخاب سیستم روسازی است:

۱- تأثیر بر هزینه‌های نگهداری و تعمیر: با افزایش ترافیک تجمعی در خطوط بالاستی، زوال خط تسریع شده و منجر به افزایش تعداد دفعات زیرکوبی، قطع ترافیک و مسدودی خط و در نتیجه افزایش هزینه‌های نگهداری و تعمیر خواهد شد. به همین علت توصیه می‌شود در خطوط با ترافیک تجمعی بالا با هدف کاهش نیاز به نگهداری، از دال خط استفاده شود.

۲- دسترسی پذیری در انجام عملیات نگهداری و تعمیر: در خطوط با حجم ترافیک عبوری بالا، زمان در دسترس برای انجام عملیات نگهداری و تعمیر بسیار محدود است. از سوی دیگر، الزامات عملیات نگهداری و تعمیر از یک مسیر به مسیر دیگر بسیار متفاوت است و این موضوع نیز بر زمان دسترسی به مسیر جهت انجام عملیات نگهداری و تعمیر تأثیر می‌گذارد. به عنوان مثال، اگر ترافیک خط دارای سرعت یکنواخت در گروه مشخصی (باری یا مسافری) باشد، بهینه‌سازی فرآیند طراحی خط به راحتی قابل انجام بوده و رفتار بارگذاری خط در همه حالات یکسان است. لیکن بارهای محوری متفاوت و سرعت‌های مختلف باعث می‌شوند که خط تحت بارگذاری‌های ایجاد شده رفتار ثابتی نداشته باشد. این موضوع هم بر روی راحتی سفر و هم الزامات نگهداری از خط‌آهن تأثیر خواهد گذاشت و به تبع آن زمان در دسترس بودن جهت عملیات نگهداری و تعمیر را دستخوش تغییر قرار خواهد داد. در جدول ۲-۳، نوع روسازی پیشنهاد شده با توجه به ترافیک تجمعی نشان داده شده است.

جدول ۲-۳ نوع روسازی پیشنهاد شده با توجه به ترافیک تجمعی

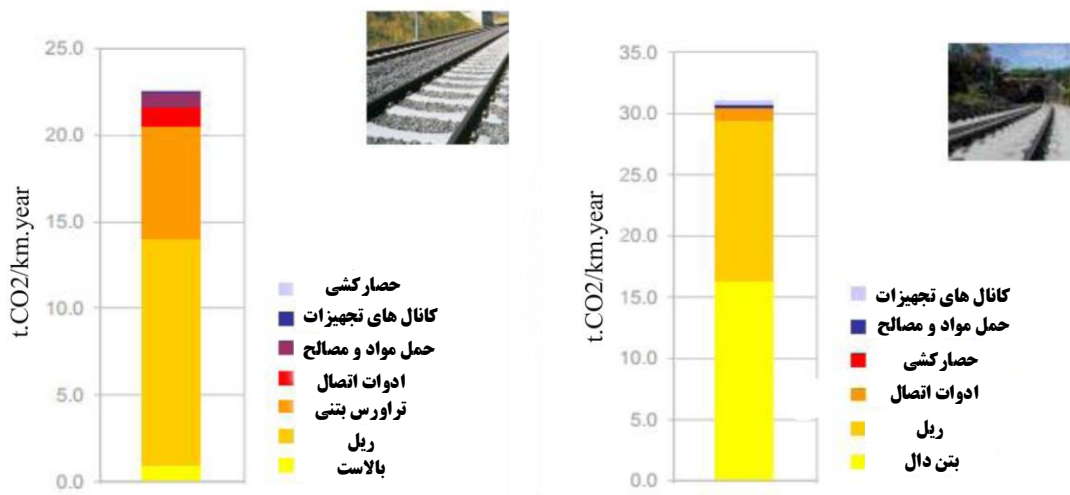
ترافیک ناخالص سالانه (MGT)	روسازی پیشنهاد شده
≤ 10	ترجیحاً بالاستی
$10 < \leq 30$	بلاستی یا بدون بالاست
> 30	ترجیحاً بدون بالاست

۳-۲-۲- الزامات زیست محیطی

تأثیرات زیست محیطی مرتبط با احداث، توسعه، نگهداری و تعمیر خطوط ریلی دامنه وسیعی را شامل می شود. فرآیندهایی مانند حمل مصالح در طول خط و تولید مصالح مورد استفاده در خط (مانند سیمان و مصالح فولادی در بتن و ...)، همگی می توانند با ایجاد تغییرات اقلیمی بر روی محیط زیست (آلودگی ناشی از گازهای گلخانه ای مانند CO₂)، آلودگی هوا، آلودگی صوتی، تغییر کیفیت آب و خاک و تنوع جانوری و چشم اندازهای موجود، محیط پیرامون خود را به شدت تحت تأثیر قرار دهند. در ادامه به مهم ترین آلودگی های زیست محیطی که باید در انتخاب روسازی راه آهن مدنظر قرار گیرند، اشاره می شود.

۳-۲-۲-۱- آلودگی ناشی از انتشار گازهای گلخانه ای

بیشترین تفاوت بین خط بالاستی و بدون بالاست در میزان انتشار CO₂ است. در خطوط بدون بالاست به دلیل استفاده از بتن، میزان CO₂ تولید شده، مقدار قابل توجهی بیشتر از خطوط بالاستی است. به علاوه، به دلیل محدودیت بیشتر در میزان نشست مجاز در خطوط بدون بالاست، بهسازی خاک بستر این خطوط بسیار حائز اهمیت است. این موضوع، خود عاملی بر انتشار قابل توجه CO₂ است. حدود ۵۰٪ از آلودگی در هر دو گزینه، ناشی از تولید فولاد ریل است (شکل ۳-۳). به صورت کلی، خط بدون بالاست در ابتدای احداث، مقدار CO₂ بسیار بیشتری را تولید می کند اما به دلیل نیاز بیشتر به انجام عملیات نگهداری در خطوط بالاستی، در پایان دوره عمر، تولید CO₂ در این خطوط افزایش یافته و به مقدار آلودگی در خطوط بدون بالاست نزدیک می شود اما کماکان کمتر از خط بدون بالاست است.



شکل ۳-۳ نمونه مقادیری از آلودگی ناشی از CO₂ در خط بالاستی و بدون بالاست

به عنوان نمونه، در جدول ۳-۳، آلودگی ناشی از گاز گلخانه ای CO₂ در خط بالاستی و خط بدون بالاست، پس از گذشت ۳۰ سال، ۶۰ سال و در پایان دوره عمر با یکدیگر مقایسه شده است. بر اساس این جدول مشاهده می شود که میزان تولید

گاز گلخانه‌ای CO₂ برای خط بدون‌بالاست رهدا در دوره ۳۰ ساله، ۱۲۵ درصد بیشتر از خط بالاستی است، اما این اختلاف در دوره عمر ۶۰ ساله به ۴۲ درصد و در پایان دوره عمر به حدود ۱۴ درصد می‌رسد. در جدول ۳-۳، دوره عمر خط بدون‌بالاست ۱۰۰ سال و دوره عمر خط بالاستی ۱۲۰ سال با احتساب دو دوره نوسازی برای خط در نظر گرفته شده است. بنابراین در صورتی که پس از گذشت ۴۰ سال، خط بالاستی دیگر قابل بهره‌برداری نبوده و نیاز به احداث خط جدید وجود داشته باشد، می‌توان به نتایج موجود در ستون اول جدول استناد کرده و آلودگی ناشی از انتشار گازهای گلخانه‌ای در خط بالاستی را کمتر از خط بدون‌بالاست برآورد نمود. لیکن در مواردی که پس از گذشت ۴۰ سال، با انجام عملیات نوسازی همان خط قبلی بهره‌برداری گردد، لازم است نتایج موجود در ردیف دوم و سوم جدول استناد کرد.

جدول ۳-۳ آلودگی ناشی از گاز گلخانه‌ای CO₂ در خط بالاستی و بدون‌بالاست

نوع روسازی	آلودگی از نوع CO ₂ (kg/m)		
	پس از ۳۰ سال	پس از ۶۰ سال	پایان دوره عمر
بالاستی	۶۰۰	۱۲۰۰	۱۸۰۰
بدون‌بالاست (رهدا ۲۰۰۰)	۱۳۵۰	۱۷۰۰	۲۰۵۰

۳-۲-۲-۳-۲- آلودگی صوتی

خط بالاستی عمدتاً آلودگی صوتی کمتری را نسبت به خط بدون‌بالاست ایجاد می‌کند. چراکه سازه خط، یکی از عوامل اثرگذار بر میزان جذب ارتعاشات و صدا خواهد بود، به‌طوری که یک سازه صلب مانند دال خط، به اندازه یک سازه انعطاف پذیر مانند خط بالاستی جاذب صدا و ارتعاش نیست. البته تاکنون راهکارهای متنوعی به‌منظور افزایش میزان جذب صدا و ارتعاش در دال خط‌ها ارائه شده است که می‌تواند تأثیر این مشکل را تا حد قابل ملاحظه‌ای کاهش دهد. رفع مشکلات ناشی از تولید صدا و ارتعاش در این خطوط، هزینه‌هایی در بر خواهد داشت که لازم است این هزینه‌ها در بخش تأثیرات اقتصادی انواع خطوط لحاظ شود.

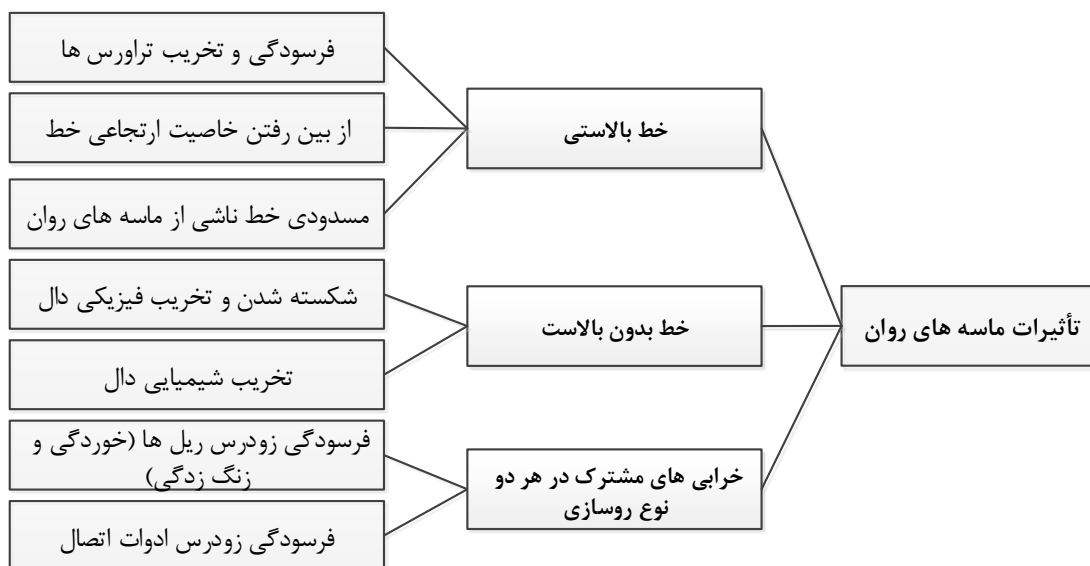
۳-۲-۲-۳- الزامات اقلیمی و آب و هوایی

شرایط آب و هوای منطقه احداث خط، از دو جنبه بر انتخاب سیستم روسازی تأثیر می‌گذارد:

- ۱- اثر افزایش دما: به دلیل خطر کمانش ناشی از تغییرات دمایی در فصول مختلف سال، پایداری جانبی خط تحت تأثیر قرار می‌گیرد. بنابراین لازم است در خط بالاستی، مقدار مجاز نیروی طولی که خطر کمانش را به همراه دارد، به‌صورت یک معیار الزامی در نظر گرفته شود. در دال خط‌ها به دلیل مقاومت جانبی بیشتر، این خطر چندان جدی به شمار نمی‌رود. ولیکن لازم است تمایز بین تنش مجاز فشاری و کششی در خطوط بدون‌بالاست نیز در نظر گرفته شود. چراکه برخلاف آن که دال خط تنش فشاری قابل توجهی تحمل می‌کند، در تحمل کشش ضعیف عمل کرده و ممکن است مشکلاتی را ایجاد نماید.

- ۲- اثر کاهش دما: حداقل دمای موجود در فصول مختلف سال، تأثیر به سزایی بر تعیین نیاز به حفاظت از بستر (لایه محافظ در برابر یخبندان) و بنابراین طراحی نهایی مسیر خواهد داشت. در خطوط پرسرعت با روسازی بالاستی، وجود زمستان‌های بسیار سرد، پدیده پرش بالاست و قطعات یخی که از مسیر بلند شده است را به همراه دارد. تغییرات آب و هوایی در زمستان بر خطوط بدون بالاست نیز اثر می‌گذارد. اثرات ناشی از سیکل‌های ذوب‌شدگی-یخ‌زدگی در طول دوره عمر پیش‌بینی‌شده (۶۰ سال) می‌تواند به دال بتنی آسیب برساند.
- تأثیر شرایط اقلیمی منطقه احداث خط بر انتخاب روسازی، بسته به حساسیت روسازی و اجزای آن نسبت به اقلیم منطقه تعیین می‌شود. در این خصوص توضیحات به شرح زیر قابل ذکر است:
- ۱- مناطق ماسه‌گیر: ماسه‌های روان یکی از اصلی‌ترین خطرات برای خطوط ریلی عبوری از مناطق کویری هستند. عمده مشکلات ناشی از ماسه‌های روان در این مناطق به شرح زیر می‌باشد (شکل ۳-۴):
 - فرآیند ماسه‌سابی^۱ که سایش ادوات به‌ویژه کلاhek ریل، پابند و تراورس را به همراه دارد.
 - انباشت ماسه روی خط که خطر خروج از خط را به‌شدت افزایش داده و سرعت حرکت قطارها را تحت تأثیر قرار می‌دهد.
 - آلودگی بالاست و کاهش قابلیت زهکشی خط؛
 - افزایش صلبیت لایه بالاست و در نتیجه افزایش ضربات دینامیکی؛
 - خوردگی و زنگ‌زدگی ادوات فولادی خط، پاشنه ریل و پابند؛
 - خردشدگی و زوال زودهنگام تراورس‌ها.
- لازم به ذکر است که راهکارهای مختلفی برای مقابله با ماسه‌های روان در خطوط بالاستی و بدون‌بلاست اندیشیده شده است که از جمله آن‌ها دال کوهان‌دار، احداث پل‌های طویل و احداث گالری پوشیده می‌باشد.

^۱ Sand Blast



شکل ۳-۴ تأثیرات ناشی از ماسه های روان بر انواع سیستم روسازی

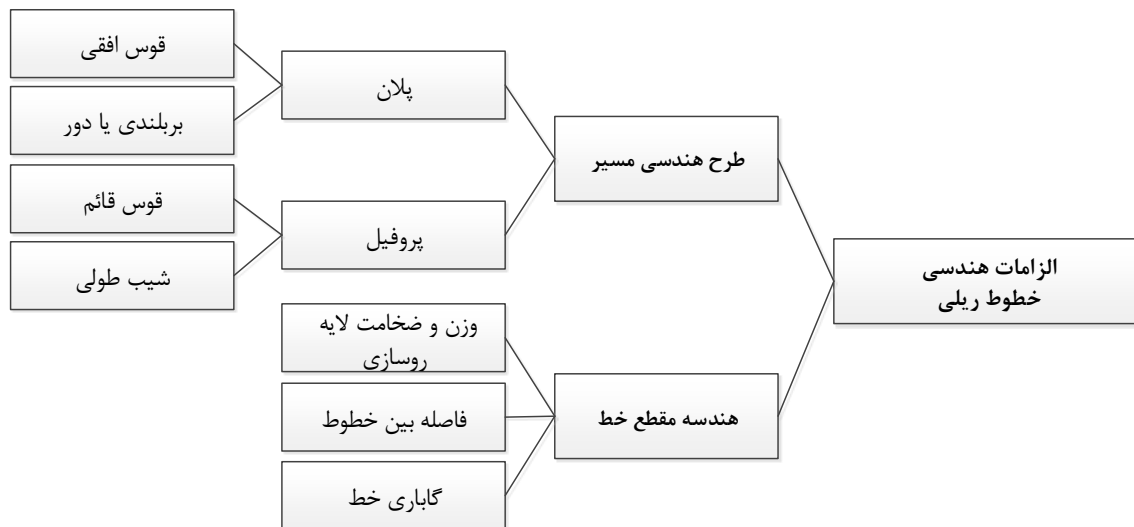
۲- مناطق سیل خیز، برف گیر و مستعد یخبندان: در مناطق سیل خیز، خطر آب شستگی خط در اثر بارندگی و طغیان رودخانه ها به شدت افزایش می یابد. با توجه به آن که خط بالاستی از پایداری کمتری برخوردار بوده و احتمال آب شستگی در آن به مراتب بیش از خط بدون بالاست است، این خطر، خط بالاستی را بیش از خط بدون بالاست تهدید می کند.

در مناطق برف گیر و مستعد یخبندان، فشار ناشی از یخبندان در اثر انجماد قطرات آب در خاک، منجر به پدیده ای که اصطلاحاً «تورم ناشی از یخبندان» نام دارد، می شود. تورم ناشی از یخبندان منجر به رخداد معایب هندسی در خط آهن و افزایش ارتفاع خاک از حد مجاز هندسی آن خواهد شد. از طرفی در طی فرآیند ذوب شدگی نیز ممکن است بستر با ضعف باربری مواجه شود.

بارگذاری متناوب قطارها، یکی از عوامل تأثیرگذار بر پمپاژ آب به سمت خاکریز است که منجر به شکل گیری عدسی های یخی در این مناطق می شود. بارگذاری خط بالاستی و بدون بالاست همراه با پدیده ذوب و یخبندان در طول عمر تخمینی خط، منجر به وارد آمدن آسیب به روسازی می شود. در زیرسازی و بستر راه آهن نیز تأثیر چرخه های ذوب و یخبندان بر رفتار خط قابل چشم پوشی نخواهد بود. این پدیده در خطوط بالاستی با توجه به احتمال نفوذ بیشتر، خطرناک تر از خطوط بدون بالاست است.

۳-۲-۳ الزامات هندسی

آن دسته از الزامات محلی هستند که انتخاب سیستم روسازی را از منظر معیارهای هندسی مسیر، و در دو بخش «طرح هندسی مسیر» و «هندسه مقطع خط» تحت تأثیر قرار می دهند (شکل ۳-۵).



شکل ۳-۵ الزامات هندسی اثرگذار در انتخاب نوع روسازی

۳-۲-۱- طرح هندسی مسیر

پارامترهای اصلی دخیل در طرح هندسی مسیر شامل مشخصات قوس‌های افقی، بریلندی، قوس‌های قائم و شیب و فراز طولی مسیر می‌باشد. در این بین، مشخصات قوس قائم و شیب و فراز طولی تأثیر چندانی بر روند انتخاب سیستم روسازی ندارند. لذا در ادامه تأثیر شعاع قوس افقی و همچنین بریلندی بر انتخاب سیستم روسازی بررسی شده است. لازم به ذکر است که رواداری‌های هندسی مربوط به خط بالاستی نسبت به دال خط در محدوده وسیع‌تری قرار می‌گیرد. از طرفی اصلاح و اعمال تغییرات پس از اجرا یا حین بهره‌برداری، در خطوط بالاستی به دلیل انعطاف‌پذیری بالاتر نسبت به خط بدون بالاست ساده‌تر است. لذا از این منظر خط بالاستی نسبت به خط بدون بالاست دارای مزیت نسبی است.

- شعاع قوس افقی

از آنجاکه کاهش شعاع قوس افقی منجر به افزایش نیروهای جانبی اعمال‌شده به روسازی خط می‌گردد، لذا خطوط بدون بالاست به دلیل پایداری و مقاومت جانبی بیشتر در صورت طرح قوس‌های با شعاع پایین نسبت به خطوط بالاستی دارای مزیت می‌باشد. تأثیر این موضوع که در خطوط پرسرعت مطرح است، در جدول ۳-۴ ارائه شده است.

جدول ۳-۴ تأثیر شعاع قوس افقی بر انتخاب سیستم روسازی

سرعت (km/h)	مقایسه روسازی بالاستی و بدون بالاست
$\leq 200 \text{ km/h}$	تفاوتی در انتخاب سیستم بالاستی و بدون بالاست وجود ندارد.
$> 200 \text{ km/h}$	با افزایش سرعت، حداقل شعاع مجاز قوس در خط بالاستی بیشتر از خط بدون بالاست افزایش می‌یابد.

- بر بلندی (دور)

در خطوط بدون بالاست در مقایسه با خطوط بالاستی، بدلیل پایداری جانبی بیشتر (مقاومت لغزشی مناسب بین دال و بستر) امکان اعمال مقادیر بالاتر دور و یا کسری دور وجود دارد. بر این اساس در صورت نیاز به اعمال مقادیر بالای دور یا کسری دور ناشی از شعاع قوس پایین و یا سرعت بالا، گزینه روسازی بدون بالاست نسبت به روسازی بالاستی دارای مزیت نسبی است. در جدول ۵-۳، حداکثر مقادیر بر بلندی مجاز بر اساس نوع سیستم روسازی نشان داده شده است. لازم به ذکر است در هر دو نوع روسازی در شرایط استثنایی (به صورت محدود) و در صورت تأیید طراح، میزان بر بلندی تا سقف ۱۸۰ میلی متر در استانداردهای مربوطه پیشنهاد شده است.

جدول ۵-۳ بر بلندی مجاز بر اساس نوع سیستم روسازی^۱

نوع روسازی	خطوط بالاستی	خطوط بدون بالاست
مقدار مجاز	۱۶۰ mm	۱۷۰ mm

- ۲-۳-۲-۳- هندسه مقطع خط

- گاباری خط

عرض و ضخامت خط بالاستی بیش از خط بدون بالاست است و از این جهت، در مناطقی که محدودیت فضا وجود دارد، به کارگیری روسازی بدون بالاست می تواند گزینه مناسب باشد. این موضوع قطعاً در هزینه های احداث روسازی، به ویژه در موقعیت ابنیه فنی نظیر تونل ها تأثیر بسزایی خواهد داشت. در جدول ۶-۳، نمونه ای از گاباری خط آهن در روسازی بالاستی و بدون بالاست و سرعت های مختلف با یکدیگر مقایسه شده است.

جدول ۶-۳ ابعاد نمونه گاباری راه آهن بالاستی و بدون بالاست^۲

نوع خط	سرعت	$V \leq 200 \text{ km/h}$	$V > 200 \text{ km/h}$
بلاستی	ضخامت خط	۰,۷ (m)	۰,۷۶ (m)
	طول تراورس	۲,۶ (m)	۲,۸ (m)
	عرض بیرونی بالاست تا تراورس $V \leq 160 \text{ km/h}$ $V > 160 \text{ km/h}$	۰,۴ (m) ۰,۵ (m)	۰,۴۵ (m)
	شیب شانه بالاست	۱:۱,۵	۱:۱,۵
بدون بالاست	ضخامت خط	۰,۵-۰,۷ (m)	۰,۵-۰,۷ (m)

^۱ مقادیر ارائه شده پیشنهاد عمومی است و طراحان باید بر اساس مستندات و نشریات مربوطه اقدام کنند.

^۲ مقادیر ارائه شده پیشنهاد عمومی است و طراحان باید بر اساس مستندات و نشریات مربوطه اقدام کنند.

- وزن و ضخامت لایه روسازی

در جدول ۷-۳، وزن و ضخامت روسازی در خط بالاستی و انواع معروف تر خطوط بدون بالاست با یکدیگر مقایسه شده است. همان طور که مشاهده می شود در اغلب موارد، ارتفاع تمام شده روسازی در خطوط بدون بالاست کمتر از خط بالاستی است. همچنین وزن واحد طول دال خط کمتر از خط بالاستی است که خود معیار رقابتی مهمی از منظر هزینه و زمان در جریان احداث، نگهداری و بازسازی به ویژه با نگاه به ابنیه فنی مسیر نظیر پل ها و تونل ها می باشد.

جدول ۷-۳ ارتفاع و وزن تقریبی سیستم های روسازی

وزن (تن بر متر)	ضخامت لایه هیدرولیکی (میلی متر)	ضخامت کل در تونل ها و پل ها (میلی متر)	ضخامت کلی (میلی متر)	نوع روسازی
۲,۹-۵,۵۷	ضخامت لایه بالاست: ۳۵۰-۵۰۰		۱۰۵۰	خط بالاستی
۱,۵	۳۰۰	۴۷۲	۷۷۲	رهدا ۲۰۰۰
۱,۵	۳۰۰	۴۷۴	۷۷۴	بوگل
۱,۲	۳۰۰	۴۱۵	۷۱۵	شینکانسن

۳-۲-۴- الزامات ابنیه فنی

این بخش به ارائه الزامات فنی مرتبط با پل ها و تونل ها می پردازد. لازم به ذکر است که مطابق الزامات ارائه شده در فصل هفتم نشریه ۳۰۱ با عنوان "مشخصات فنی عمومی روسازی راه آهن"، توصیه شده است که در پل های با طول بیشتر از ۴۰۰ متر و تونل های بیشتر از ۷۰۰ متر از روسازی بدون بالاست استفاده شود. در این بخش نیز بر این الزام تأکید می شود.

۳-۲-۴-۱- پل

تأثیر وجود پل در منطقه احداث خط بر نوع روسازی، از جنبه های مختلفی به شرح زیر قابل بررسی است.

- تأثیر وزن روسازی بر طراحی پل

پل ها بستر نسبتاً صلبی را برای خطوط بالاستی فراهم می کنند، بنابراین برای دستیابی به خاصیت ارتجاعی لازم باید ضخامت لایه بالاست افزایش یابد. این امر می تواند منجر به افزایش ارتفاع و وزن سازه پل ها شود. راهکار متداول برای رفع این مشکل و افزایش خاصیت ارتجاعی در خطوط بالاستی، استفاده از فرش بالاست و یا ادوات اتصال با خاصیت ارتجاعی بالا است که منجر به افزایش هزینه تمام شده احداث خط می گردد.

عموماً استفاده از روسازی بدون بالاست بر روی پل ها به علت وزن کمتر آن ها نسبت به خطوط بالاستی بسیار متداول است. در عین حال، در صورت اجرای خط بدون بالاست بر روی پل، لازم است تأمین نیازهای خاص خطوط بتنی بر روی ابنیه فنی (مانند افزایش خاصیت ارتجاعی خط) پیش بینی شود. البته در پل های با ظرفیت باربری پایین (مانند پل های

خطوط فرعی و ...) به دلیل تمایل به کاهش هزینه‌های ساخت، استفاده از روسازی بدون بالاست معمولاً مورد توجه نمی باشد.

- نشست قائم پایه‌ها و کوله‌های پل

یکی از الزامات تأثیرگذار بر انتخاب سیستم روسازی، نشست قائم پایه‌ها و کوله‌های پل می‌باشد. نشست پایه‌ها و کوله‌های پل باید بر اساس اثر بار مرده وارده بر آن محاسبه شود تا مقدار نشست پس از اتمام فرآیند ساخت از حدود تعیین شده تجاوز ننماید. در جدول ۳-۸، محدوده نشست مجاز یکنواخت و نسبی در پایه‌ها و کوله‌های پل برای روسازی‌های بالاستی و بدون بالاست ارائه شده است.

جدول ۳-۸ محدوده نشست در پایه‌ها و کوله‌ها پس از اتمام فرآیند ساخت

نوع نشست	نوع خط	حد مجاز (میلی‌متر)
نشست یکنواخت پایه‌ها و کوله‌ها	خط بالاستی	۳۰
	خط بدون بالاست	۲۰
نشست نسبی پایه‌ها و کوله‌های مجاور	خط بالاستی	۱۵
	خط بدون بالاست	۵

- تغییر مکان طولی پل

یکی از موضوعات مهم در خصوص پل‌ها، نیروهای طولی و جابجایی نسبی ریل‌های با جوشکاری پیوسته (CWR) به دلیل وجود تغییرات دمایی، شتاب و ترمز، خزش و انقباض است. این تنش‌ها به واسطه اندرکنش پل و خط ایجاد می‌شوند و لازم است به مقادیر معینی محدود شوند (جدول ۳-۹).

جدول ۳-۹ محدوده مجاز تنش ریل ناشی از اندرکنش طولی خط و پل

محدودیت تنش ریل ((60E1 (UIC60))	خط بالاستی	خط بدون بالاست
تنش کششی	$< 92 \text{ MPa}$	$< 92 \text{ MPa}$
تنش فشاری	$< 72 \text{ MPa}$	$< 92 \text{ MPa}$

- خمش در دهانه‌های پل و پیچش در لبه‌های آن

در پل‌های راه آهن مطابق با آنچه در شکل ۳-۶ نشان داده شده است، حد چرخش عمودی انتهای تیر تحت اعمال بار ترافیک باید از مقادیر مجاز موجود در جدول ۳-۱۰ تجاوز ننماید. مطابق با این جدول، نه تنها مقدار مجموع زاویه چرخش انتهای شاه‌تیرها باید در محدوده تعیین شده قرار گیرد، بلکه زاویه چرخش انتهای هر شاه‌تیر باید به مقدار تعیین شده در حالت بین کوله پل و شاه‌تیر انتهایی محدود شود. اگر چرخش انتهای شاه‌تیر در خطوط بدون بالاست بیش از مقادیر معین شده در جدول باشد، لازم است اثر بار بر روی سازه خط در انتهای شاه‌تیرها محاسبه و بررسی شود.



شکل ۳-۶ چرخش انتهای شاه تیرها

جدول ۳-۱۰ محدوده چرخش مجاز در شاه تیرهای انتهای پل

نوع خط	موقعیت	زاویه پیچش (رادیان)	توضیحات
بالاستی	بین کوله پل و شاه تیر انتهایی	$\theta \leq 2\%$	-
	بین شاه تیرهای انتهایی	$\theta_1 + \theta_2 \leq 4\%$	-
بدون بالاست	بین کوله پل و شاه تیر انتهایی	$\theta \leq 1.5\%$	$\leq 0.55m$ طول طره شاه تیر انتهایی
		$\theta \leq 1\%$	$0.55m < \leq 0.75m$ طول طره شاه تیر انتهایی
	بین شاه تیرهای انتهایی	$\theta_1 + \theta_2 \leq 3\%$	$\leq 0.55m$ طول طره شاه تیر انتهایی
		$\theta_1 + \theta_2 \leq 2\%$	$0.55m < \leq 0.75m$ طول طره شاه تیر انتهایی

- سازگاری خط و پل

سازگاری خط و پل به معنای وجود امکان حرکت نسبی عرشه پل نسبت به روسازی بدلیل نیروهای طولی ناشی از تغییرات حرارتی می باشد. خطوط بالاستی سازگاری بالایی با سازه دارند. هنگام استفاده از خط بدون بالاست روی پل نیز باید سازگاری مناسبی بین خط و پل ایجاد کرد. راه حل های مختلفی برای ایجاد این سازگاری پیشنهاد شده است که به طول دهانه پل وابسته بوده و قطعاً بر هزینه های احداث تأثیر گذار می باشد:

* در پل های با دهانه کوتاه (زیر ۲۵m)، استفاده از ادوات اتصال با قابلیت کاهش نیروی گیرداری برای ایجاد سازگاری بین خط و پل پیشنهاد شده است. راهکار پیشنهادی دیگر، استفاده از دال شناور است که در این روش، سازه پل می تواند به صورت آزادانه زیر دال خط بتنی حرکت نماید.

* در پل های بلند (با طول دهانه بیش از ۲۵m)، به منظور مقابله با نیروهای افقی از جمله نیروی ترمز و شتاب گیری، دال خط بتنی معمولاً با استفاده از المان های مهاری (مانند انواع برش گیرها، کلیدهای برشی، آرماتورهای برشی و...) بر روی عرشه پل ثابت می شود. در سیستم های ریل مدفون، حداکثر طول دهانه تا ۱۵m مجاز است. در این پل ها استفاده از درز انبساط توصیه می شود. اطلاعات بیشتر در خصوص انواع درزهای انبساط در فصل هشتم نشریه ۳۰۱ ارائه شده است.

* اجرای خط بدون بالاست با پابندهای متداول در پل های دره ای^۱ کوتاه پیوسته، با محدودیت مواجه است. همانطور که این موضوع منجر به کاهش حداکثر طول انبساط^۲ از ۱۱۵ - ۱۰۰ متر برای خط بالاستی به ۶۵-۷۰ متر برای خط بدون بالاست، نیز می شود. به منظور رفع این محدودیت می توان از پابندهای ویژه با حداکثر مقاومت طولی ۲۳ kN/m

^۱ Viaduct

^۲ طول انبساط به حداکثر فاصله بین درز انبساط روی عرشه پل گفته می شود.

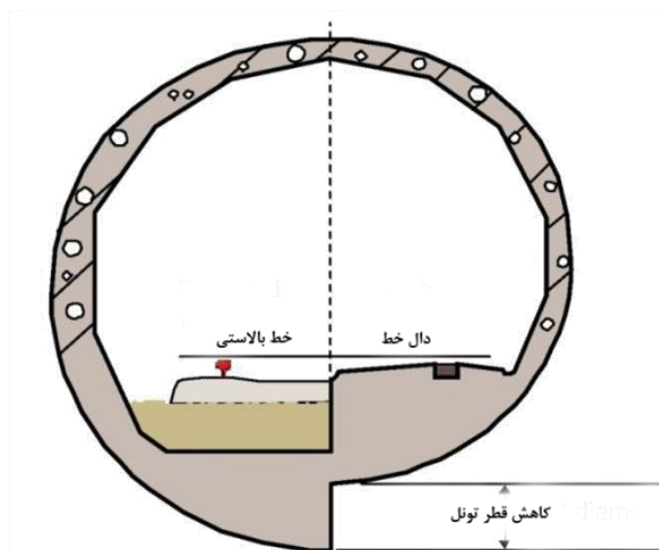
استفاده نمود. در مورد پل‌های دره‌ای بلند پیوسته و پل‌های دره‌ای با تکیه‌گاه ساده، ملاحظات مربوط به درز انبساط پل و همچنین اندرکنش روسازی و عرشه پل از منظر نیروهای طولی وارد بر روسازی نیازمند کنترل توسط طراح روسازی است.

۳-۲-۴-۲- تونل

تأثیر وجود تونل در منطقه احداث خط بر نوع روسازی، از جنبه‌های مختلفی به شرح زیر قابل بررسی است.

- تأثیر نوع روسازی بر سطح مقطع عرضی تونل

مزیت اصلی استفاده از خط بدون بالاست در تونل آن است که روسازی بتنی یا آسفالتی خط می‌تواند به صورت مستقیم روی سطح تمام شده تونل قرار گیرد و به همین علت، ارتفاع ساخت این نوع خطوط و همچنین قطر تونل به نسبت خط بالاستی کاهش خواهد یافت (شکل ۷-۳). به بیان دیگر، نیاز به اجرای لایه آب‌بند هیدرولیکی در تونل‌ها وجود ندارد. از این رو، سطح مقطع عرضی تونل نیز کوچک‌تر و هزینه‌های ساخت آن به صورت چشمگیری کاهش خواهند یافت.



شکل ۷-۳ کاهش سطح مقطع عرضی در تونل‌ها

علاوه بر کاهش ضخامت دال خط در تونل‌ها، مقدار آرماتور بهینه کمتری نیز در دال بتنی نیاز است. مثلاً آرماتورهای تقویتی رهدا ۲۰۰۰ می‌تواند در مقایسه با حالت استاندارد احداث خط روی خاکریز تا ۵۰٪ کاهش یابد. در جدول ۱۱-۳، نمونه‌هایی از انواع معروف‌تر خطوط بدون بالاست به همراه ضخامت آن‌ها در شرایط عادی و در تونل ارائه شده است.

جدول ۱۱-۳ نمونه‌هایی از خطوط بدون بالاست به همراه ضخامت آن‌ها در شرایط عادی و در تونل

نوع سیستم روسازی	ضخامت کلی (mm)	ضخامت کاهش یافته در تونل‌ها (mm)
رهدا ۲۰۰۰	۷۸۰	۴۷۲
بوگل	۷۵۲	۴۵۴
شینکانسن	۷۱۵	۴۱۵

- تأثیر نوع روسازی بر دوره‌های نگهداری تونل

مزیت دیگر استفاده از خط بدون بالاست در تونل، کاهش فواصل دوره‌های نگهداری، نسبت به خط بالاستی است که تأثیر مثبتی بر سلامت و ایمنی خواهند داشت (به عنوان مثال نیاز به حضور کارگران در داخل تونل کاهش خواهد یافت). همین امر منجر به توصیه استفاده از خط بدون بالاست در تونل‌های طویل می‌شود (جدول ۳-۱۲).

جدول ۳-۱۲ سیستم روسازی پیشنهادی بر اساس طول تونل

تونل با طول کمتر از ۳۵۰ متر	امکان استفاده از هر دو روسازی بالاستی و بدون بالاست
تونل با طول بین ۳۵۰ تا ۷۰۰ متر	توصیه اکید استفاده از روسازی بدون بالاست
تونل با طول بیشتر از ۷۰۰ متر	الزام به استفاده از روسازی بدون بالاست

۳-۲-۵- الزامات ژئوتکنیکی

در طی ارزیابی ویژگی‌های ژئوتکنیکی محل احداث خط آهن، لازم است گمانه‌زنی در فواصل معینی انجام شود (مقدار ۲۰۰ متر برای فاصله گمانه‌ها پیشنهاد می‌شود). نوع و فاصله گمانه‌ها از یکدیگر مستقل از نوع خط بوده و ارتباطی با آن ندارد. به عبارت دیگر، فواصل گمانه‌ها در هر دو نوع خط بالاستی و بدون بالاست با یکدیگر یکسان است. سطح تراز آب زیرزمینی نیز یکی از مهم‌ترین ویژگی‌های ژئوتکنیکی یک منطقه است. در عمق پایین‌تر از تراز آب، حفرات بین دانه‌های خاک با آب پر می‌شوند. این موضوع باعث می‌شود تا ظرفیت باربری خاک زیرین کاهش یابد. در جدول ۳-۱۳ سطح تراز آب زیرزمینی مجاز در خط بالاستی و بدون بالاست با یکدیگر مقایسه شده است.

جدول ۳-۱۳ سطح مجاز تراز آب زیرزمینی در خط بالاستی و بدون بالاست

خط بدون بالاست	خط بالاستی	سطح مجاز تراز آب زیرزمینی
حداقل ۱,۵m پایین‌تر از تاج ریل	حداقل ۲,۵m پایین‌تر از تاج ریل *	

* توضیح: مطابق فیش UIC 719، در خطوط بالاستی، اگر مصالح استفاده شده در بستر از رده کیفی P3 با CBR در بازه ۱۰-۱۷ باشد، سطح آب زیرزمینی تا تراز ۰,۸ متر نیز مجاز است.

۳-۲-۶- ملاحظات طراحی روسازی و زیرسازی

منشأ اصلی تفاوت در ویژگی‌های خط بالاستی با خطوط بدون بالاست، و حتی خطوط بدون بالاست با یکدیگر، تفاوت در روند طراحی هر یک از آن‌هاست. این تفاوت‌ها در ارزیابی عملکرد و کارایی سیستم و نیز ارزیابی اقتصادی هر یک از سیستم‌ها دخیل هستند. درعین حال تعیین ضوابط مربوط به طراحی شامل ضوابط طراحی لایه‌های زیرسازی (ساب‌گرید، لایه آب‌بند هیدرولیکی و لایه محافظ در برابر یخبندان) و ضوابط طراحی اجزای روسازی (لایه بالاست، لایه تکیه‌گاه بتنی یا آسفالتی، ادوات اتصال و ریل‌ها) باید بر اساس آیین‌نامه‌ها و استانداردهای مرتبط برای هر دو نوع روسازی بالاستی و بدون بالاست انجام پذیرد و خارج از چارچوب این دستورالعمل می‌باشد. در ادامه، مهم‌ترین ملاحظات طراحی زیرسازی و روسازی با نگاه تأثیر بر انتخاب نوع خط بالاستی و بدون بالاست ارائه شده است.

۳-۲-۶-۱- ملاحظات زیرسازی مؤثر در انتخاب نوع روسازی

در دال خط‌ها، معیارهای طراحی زیرسازی نسبت به خطوط بالاستی سخت‌گیرانه‌تر است؛ چراکه تنظیم هندسه خط پس از ساخت، بسیار مشکل بوده و بنابراین اجرای زیرسازی مطلوب پیش از ساخت روسازی بسیار ضروری می‌نماید. لذا به‌منظور اجرای مناسب دال خط لازم است بستری پایدار و مقاوم در برابر نشست در زیرسازی وجود داشته باشد. در جدول ۱۴-۳ الزامات اصلی مربوط به زیرسازی در خط بالاستی و دال خط با یکدیگر مقایسه شده است.

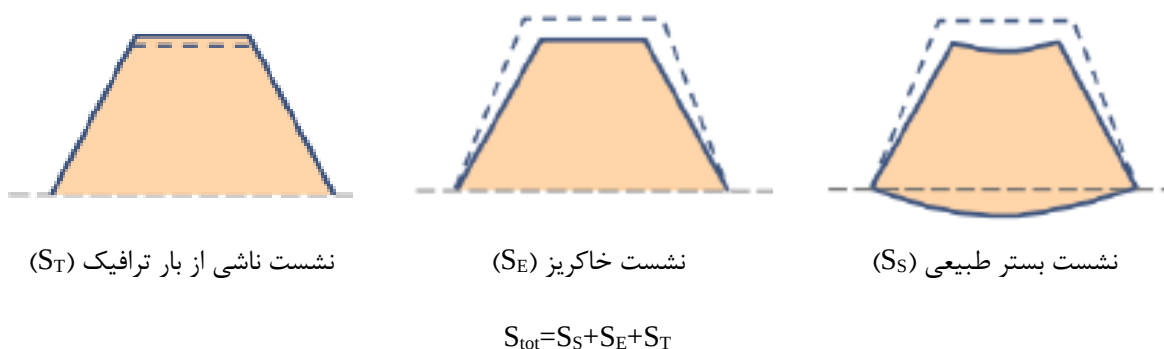
جدول ۱۴-۳ الزامات مربوط به زیرسازی در خط بالاستی و بدون بالاست

خط بالاستی	دال خط	
عمق زیرسازی	۰٫۳۵-۰٫۵m زیر لایه شکل‌دهی	۲٫۵ متر پایین‌تر از نشیمنگاه ریل
ضخامت لایه زیربلاست/لایه محافظ در برابر یخبندان	بیش از ۱۵cm	بیش از ۷۰ cm
مدول الاستیسیته لایه زیربلاست/لایه محافظ در برابر یخبندان در آزمایش PLT (E_{v2})	$E_{v2} > 120 \text{ MN/m}^2$	$E_{v2} > 120 \text{ MN/m}^2$
ضخامت لایه تکیه‌گاه در خاکریزها	-	بیش از ۱٫۸۰ m
مدول الاستیسیته سطح فوقانی زیرسازی در آزمایش PLT (E_{v2})	$E_{v2} > 45 \text{ MN/m}^2$ برای خاک ریزدانه $E_{v2} > 60 \text{ MN/m}^2$ برای شن و ماسه	خط تازه احداث: $E_{v2} > 60 \text{ N/m}^2$ خطوط موجود: $E_{v2} > 45 \text{ N/m}^2$
درصد تراکم پراکتور در خاکریزها	۹۵٪ تا ۱۰۰٪	۹۸ تا ۱۰۰٪ تا عمق بیش از ۲٫۵-۳ متر زیر تاج ریل

- ملاحظات نشست

معمولاً مقدار نشست خط در پل‌ها، آبروها و تونل‌ها ناچیز است. در مواردی همچون وجود خاکریزهای مرتفع، توجه به الزامات نشست بسیار حائز اهمیت است. در خاکریزهای راه‌آهن عمدتاً سه نوع نشست محتمل است (شکل ۸-۳):

- نشست خاک ناشی از بار ترافیک؛
- نشست خاکریز؛
- نشست بستر طبیعی.



شکل ۸-۳ منابع مختلف ایجاد نشست در خط

مقدار نشست مجاز در خطوط بالاستی بیشتر از خطوط بدون بالاست است. و افزایش مقدار نشست در خطوط بدون بالاست منجر به وارد آمدن تنش زیاد به دال بتنی و در مواقع بحرانی، ترک خوردگی آن می شود. بنابراین لازم است در زمان احداث روسازی، مقدار نشست بستر طبیعی (SS) و نشست خاکریز (SE) در خاکریزهای تازه احداث به پایان رسیده باشد. در غیر این صورت، استفاده از خط بدون بالاست در خاکریز توصیه نمی شود. جهت تعیین مقادیر مجاز نشست، استفاده از جدول ۱۵-۳ توصیه می شود.

جدول ۱۵-۳ حد مجاز نشست بستر در خطوط بالاستی و بدون بالاست

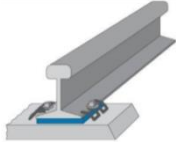
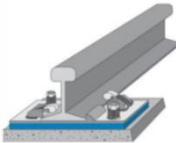
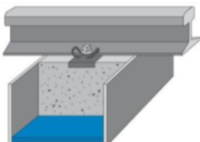
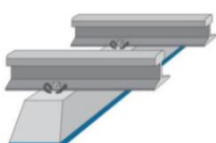
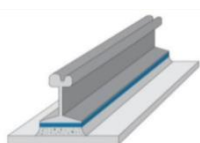
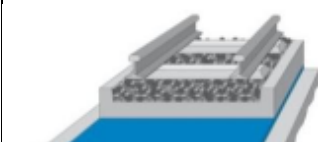
حد مجاز نشست (mm)			نوع خط
$V > 250 \text{ km/h}$	$V \leq 250 \text{ km/h}$	سرعت	
۵۰	۱۰۰	نشست یکنواخت	بلاستی
۱۰	۲۰	نشست نسبی (در طول ۱۰ متر)	
۳۰	۵۰	نشست در محل کوله پل	
۳۰	۳۰	نشست یکنواخت	بدون بالاست
۱۰	۲۰	نشست نسبی (در طول ۱۰ متر)	
۵	۲۰	نشست در محل کوله پل	

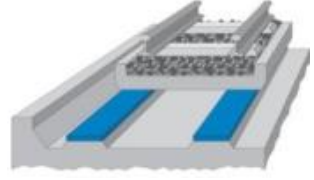
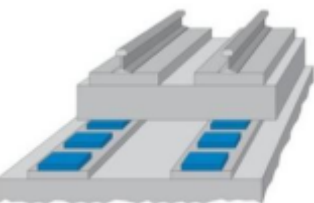
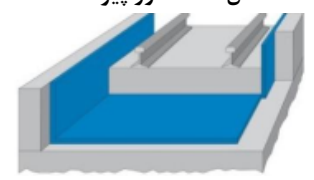
* حدود ارائه شده در جدول برای نشست ماندگار است که پس از اتمام ساخت زیرسازی رخ می دهد. به عبارت دیگر نشست ناشی از بار مرده روسازی و بار زنده ناوگان مدنظر می باشد.

۳-۲-۶-۲-۳- ملاحظات ادوات روسازی مؤثر در انتخاب نوع روسازی

از منظر انتخاب نوع سیستم روسازی، ادوات اتصال ریل به تراورس تأثیر مستقیمی بر عملکرد ارتعاشی و راحتی سفر دارند. ویژگی دال خط سختی کمتر پابندهای آن ($\approx 22.5 \text{ kN/mm}$) به جهت جایگزینی خاصیت ارتجاعی بالاست است. ادوات اتصال باید ایمنی سیر را در سرعت های بالا به ویژه در هنگام بارگذاری طولی و جانبی ناشی از شتاب، ترمز، نیروی خروج از مرکز در قوس و حرکت جانبی قطار فراهم کند. همچنین ادوات اتصال در انطباق افقی و قائم هندسه خط نقش ایفا می کنند. یکی دیگر از روش های استهلاک ارتعاشات در دال بتنی استفاده از ادوات اتصال با قابلیت کاهش ارتعاشات در خط است که نمونه ای از این ادوات در جدول ۱۶-۳ بررسی شده اند. بدیهی است انتخاب نوع روش مرتبط باید در جریان طراحی مورد توجه قرار گیرد.

جدول ۳-۱۶ نمونه‌هایی از ادوات کاهش ارتعاشات

نام و تصویر المان الاستیک	خصوصیات
پد زیر ریل 	- مستقیماً زیر پاشنه ریل قرار می‌گیرند؛ - افزایش احساس راحتی مسافران و کاهش میزان سایش ادوات روسازی و ناوگان ریلی؛ - افزایش خاصیت ارتجاعی خط.
پد زیر زینچه 	- بین زینچه (صفحه فلزی زیر ریل) و دال بتنی نصب می‌شوند؛ - توزیع بهتر بار توسط ریل و کاهش ارتعاشات ناشی از خرابی‌های چرخ و خط؛ - کاهش تغییر شکل در تاج ریل با توزیع مطلوب بار توسط پدها؛
تراورس مدفون در لایه ارتجاعی 	- کاهش انتشار صدا در هوا به علت عبور ارتعاش از یک توده پشتیبانی اضافی؛ - افزایش خاصیت ارتجاعی و عملکرد مناسب در کاهش بار دینامیکی؛ - کاهش میزان سایش در ادوات تثبیت ریل؛ - غالباً در تونل‌ها از این سیستم استفاده می‌شود.
پد زیر تراورس 	- قابلیت نصب در کارخانه تولید تراورس با استفاده از سیستم اتصال مناسب؛ - انجام عملیات نصب سریع، بدون در نظر گرفتن آب و هوا و با حداقل وقفه در خط انجام می‌شود. - پد زیر تراورس، به‌ویژه در دستگاه ویژه خطوط، مانند سوزن‌ها، انشعابات، نواحی انتقال و درز انبساط، عملکرد مناسبی دارند و در بسیاری از کشورها به یک استاندارد فنی تبدیل شده‌اند.
تکیه‌گاه ارتجاعی پیوسته ریل 	- ایجاد سختی یکنواخت برای خط آهن؛ - استفاده از پدهای با ضخامت متغیر در محل تغییر پروفیل ریل امکان‌پذیر است.
سیستم ریل مدفون 	- پوشش کامل ریل؛ - اجزای پرکننده سبک و در عین حال انعطاف‌پذیر، که از پلی‌اورتان فشرده‌شده ساخته شده است. - کاهش جابه‌جایی در روسازه و در نتیجه کاهش ترک‌خوردگی سطح ریل در اثر پرشدگی اطراف ریل به صورت عمودی و افقی؛ - ایجاد بستری الاستیک برای پاشنه ریل؛ - جلوگیری از نفوذ آب به داخل سیستم.
دال خط شناور تمام سطح 	- مناسب برای خطوط در محدوده فرکانس‌های طبیعی ۱۴-۲۵ هرتز؛ - استهلاک صدای ایجاد شده در سازه تا بیش از ۳۰ دسی‌بل در فرکانس‌های فوق بحرانی؛

نام و تصویر المان الاستیک	خصوصیات
دال خط شناور نواری 	- در سیستم‌هایی که از عناصر پیش ساخته و یا بتن درجا استفاده می‌شود، تکیه‌گاه نواری بر دیگر تکیه‌گاه‌ها ترجیح دارد. - کنترل مطلوب نیروهای افقی در جهت حرکت (مانند نیروهای ترمز و شتاب) و نیروهای عمود بر محور مسیر (مانند نیروی گریز از مرکز، نیروهای جانبی ناشی از خطا در طرح هندسی مسیر)؛ - فرکانس طبیعی سیستم در محدوده ۸-۱۵ Hz؛
دال خط شناور نقطه‌ای 	- قابل استفاده در سیستم‌هایی که دال به صورت درجا ریخته می‌شود و پس از سخت شدن در محل قرار می‌گیرد؛ - فرکانس طبیعی سیستم در محدوده ۵-۱۲ Hz؛ - استهلاک صدای ایجاد شده در سازه تا بیش از ۳۰ دسی‌بل در فرکانس‌های فوق بحرانی؛
دال خط شناور پیوسته 	- مناسب برای خطوط تراموا - در این سیستم دیواره‌های کناری و نیز بستر خط به طور کامل با فرش ارتجاعی پوشیده می‌شوند. - مناسب برای سیستم‌های با فرکانس طبیعی ۱۵ تا ۲۲ Hz و نیز صداهای بالاتر از ۲۰ dB در محدوده فرکانس بحرانی.

۳-۲-۷- ملاحظات احداث خط

نوع و تعداد مراحل کار مورد نیاز در پروژه‌های عمرانی، بر روی هزینه و زمان ساخت تأثیر به‌سزایی به همراه خواهد داشت. افزایش تعداد مراحل ساخت در پروژه عمرانی، فارغ از افزایش نیاز به نیروی انسانی و مصالح مورد نیاز در هر مرحله، کم‌وبیش خطرات و عدم قطعیت‌هایی مانند کاهش و در مواردی فقدان کیفیت را به همراه دارد. به‌طور کلی، هرچه عملیات ساخت در محل (درجا) بیشتر باشد، مراحل ساخت نیز بیشتر است. در نتیجه سرعت اجرای خط به‌شدت کاهش خواهد یافت. بنابراین با هدف دستیابی به طراحی بهینه می‌توان گام‌های ساخت را کاهش و در عین حال عملکرد کلی سازه را بهبود بخشید.

در خطوط بالاستی، بالاستریزی و تعیین تراز هندسی مسیر به‌صورت درجا انجام می‌شوند. در دال خط نیز، اتصال عناصر پیش‌ساخته به یکدیگر در خطوط پیش‌ساخته، بتن‌ریزی دال در خطوط درجا و تعیین تراز هندسی مسیر از جمله اقداماتی است که در محل انجام می‌شوند. بنابراین اگر بتوان قطعات تشکیل‌دهنده دال را پیش از نصب، به‌طور مجزا تهیه و سپس آن‌ها را به یکدیگر متصل کرد، علاوه بر کاهش هزینه و انعطاف‌پذیری در طراحی، حجم عملیات درجا نیز کاهش خواهد یافت. قابلیت انبار قطعات و تجهیزات از دو منظر حائز اهمیت است:

- استفاده از قطعات در مواقع اضطراری

- استفاده از قطعات در دوره‌های نگهداری و تعمیر

در صورتی که بتوان دال‌های بتنی را از قبل ساخت و با استفاده از روش‌های پیشرفته انبار نمود، فرآیند ساخت پیشروی مطلوبی خواهد داشت. زیرا در برخی مواقع، نرخ تولید روزانه دال پیش‌ساخته در کارخانه تولیدکننده کمتر از مقدار نیاز روزانه است که این موضوع می‌تواند سرعت احداث خط را تحت تأثیر قرار دهد. بنابراین توانایی ذخیره عناصر پیش‌ساخته، یکی از نیازهای اصلی در طراحی دال خط است. در خط بالاستی نیز آماده‌سازی کوپلاژ خط در کارگاه باعث می‌شود تا در هنگام اجرای خط، پس از بالاست ریزی و تنظیم موقعیت هندسی مسیر، نیازی به اتصال ریل و پابندها به تراورس نباشد. از سوی دیگر در صورت ایجاد خرابی، نیاز به تعویض کل خط نیست، بلکه می‌توان تنها قطعاتی را که دچار آسیب شده‌اند، تعمیر یا تعویض نمود. بنابراین خدمت‌رسانی سیستم افزایش خواهد یافت.

در جدول ۳-۱۷، نرخ پیشروی در فرآیند ساخت متداول‌ترین سیستم‌های روسازی‌های بالاستی و بدون‌بلاست نشان داده شده است. مطابق آنچه در جدول ۳-۱۷ ارائه شده است، سرعت اجرا خطوط بالاستی از بدون‌بلاست بیشتر است. با انجام اقداماتی از قبیل کاهش تعداد مراحل ساخت، افزایش تعداد جبهه‌های کاری، برنامه‌ریزی و مدیریت ساخت و ... می‌توان سرعت اجرای خطوط بدون‌بلاست را افزایش داد.

جدول ۳-۱۷ نرخ پیشروی ثبت‌شده در ساخت روسازی‌های بالاستی و بدون‌بلاست

نوع روسازی	سرعت احداث (متر بر روز)
خط بالاستی	۱۰۰۰
رهدا ۲۰۰۰	۵۰۰
بوگل	۱۸۰
شینکانسن	۲۸۰

۳-۲-۸- الزامات نگهداری و تعمیر

جهت بررسی الزامات نگهداری در خطوط بالاستی و بدون‌بلاست و مقایسه آن‌ها، تمامی وجوه زیر باید مدنظر قرار گیرند.

۳-۲-۸-۱- الزامات نگهداری هندسه مسیر

در خطوط بدون‌بلاست به دلیل پایداری هندسی بیشتر در مقایسه با خطوط بالاستی، عملیات نگهداری و تعمیر محدودتری موردنیاز است (تنها در فعالیت‌هایی همانند ساب‌زنی ریل، تعویض ریل‌های فرسوده و از بین بردن پوشش گیاهی در حاشیه مسیر، تعداد دوره‌های تعمیر و نگهداری خط بدون‌بلاست با خط بالاستی برابر است). از سوی دیگر، انعطاف‌پذیری خط آهن بالاستی مزایایی نیز به همراه دارد. به‌عنوان مثال در صورت نیاز به تغییر در تراز ارتفاعی لایه بالاست به دلایل مختلف، نظیر نشست درازمدت، تغییر وضعیت هندسی مسیر، ارتقای درجه خط و ...، قابلیت اصلاح خط فراهم است. لیکن انجام چنین عملیاتی در خطوط بدون‌بلاست با دشواری بیشتری مواجه خواهد بود. در خطوط بالاستی، تجربه گسترده‌ای از تجهیزات نگهداری و تعمیر هندسه خط و نوسازی اجزای سازنده آن مانند ریل، تراورس، پابند و بالاست وجود

دارد. ازجمله مهم‌ترین عملیات نگهداری خطوط بالاستی می‌توان به زیرکوبی و سرنده بالاست اشاره کرد. این در حالی است که بسیاری از وجوه نگهداری و تعمیر در خطوط بدون بالاست، همچنان در حال توسعه‌اند. به‌طور کلی اگر هر یک از پارامترهای هندسی خط از حدود مجازی که برای آن‌ها تعیین شده است فراتر روند، نیاز به انجام عملیات نگهداری در آن‌ها ضروری است. در جدول ۳-۱۸ رواداری‌های مربوط به هر یک از این پارامترها در خط بالاستی و بدون بالاست برای سرعت‌های مختلف ارائه شده است. چنانچه مشاهده می‌شود خطوط بدون بالاست رواداری‌های محدودتری نسبت به خطوط بالاستی دارد.

جدول ۳-۱۸ رواداری‌های مربوط به پارامترهای هندسی خطوط بالاستی و بدون بالاست^۱

رواداری مجاز (mm)		سرعت سیر (km/h)	پارامتر هندسی
خط بدون بالاست	خط بالاستی		
۲ و -۲	۴ و -۲	$V \leq 100$	عرض خط
	۶ و -۲	$100 < V \leq 120$	
۳ و -۲	۶ و -۲	$120 < V \leq 160$	
۱ و -۱	۲ و -۲	خطوط پرسرعت	
۴		$V \leq 160$	تراز طولی
۲		خطوط پرسرعت	(در یک طول ۱۰ متری)
۴		$V \leq 160$	تراز افقی
۲		خطوط پرسرعت	(در یک طول ۱۰ متری)
۴		$V \leq 160$	تراز عرضی (دور)
۲		خطوط پرسرعت	
-		$V \leq 160$	پیچش
۲		خطوط پرسرعت	(در یک طول ۳ متری)

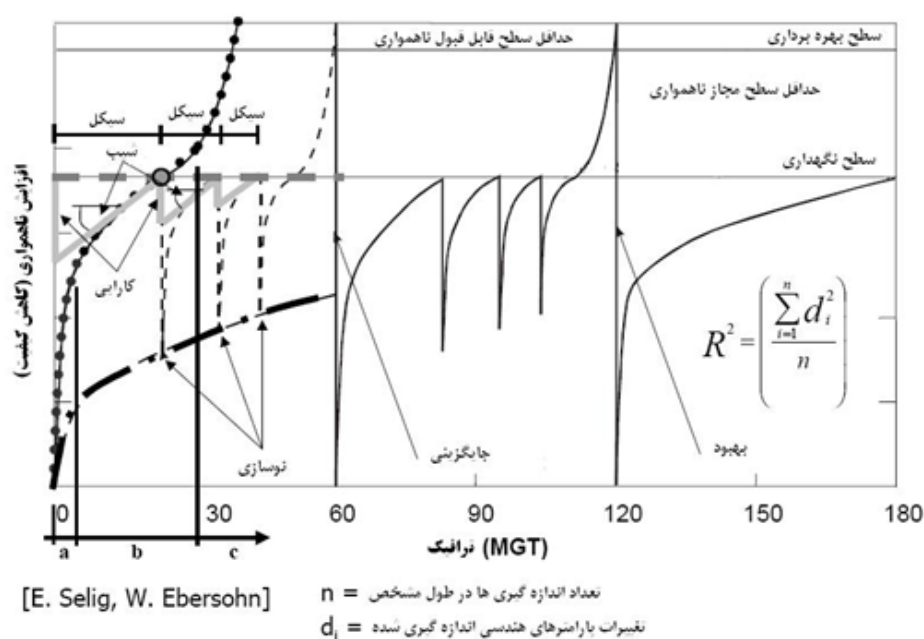
۳-۲-۸-۲- بررسی نرخ زوال روسازی

در شکل ۳-۹، الگوی زوال تئوری برای یکی از پارامترهای خط بالاستی به نام «ناهمواری»^۲ نشان داده شده است. با افزایش این ناهمواری، سطح زوال خط افزایش می‌یابد (خط از حالت ایده‌آل خود دور می‌شود) و به اصلاح نیاز خواهد داشت. بنابراین پس از بارگذاری ترافیک در خط، کیفیت به سمت زوال حرکت کرده و لازم است اقدامات مقتضی انجام شود. در این شکل، خط ضخیم نقطه‌دار در سمت چپ دیاگرام، نشان‌دهنده زوال فرضی هندسه خط بدون در نظر گرفتن هیچ‌گونه نگهداری است. در این بخش، سه مرحله قابل تشخیص است: مرحله اول تحت عنوان «جوانی» به سرعت پس از تکمیل فعالیت نوسازی یا بازسازی رخ داده که نتیجه نشست آبی خط تحت تأثیر بارهای وارده است (بخش a). این بخش غیر قابل پیش‌بینی بوده و از یک بلاک تا بلاک دیگر تغییر می‌کند و از این‌رو مدل‌سازی آن دشوار است. بخش دوم که

^۱ مقادیر ارائه شده پیشنهاد عمومی است و طراحان باید بر اساس مستندات و نشریات مربوطه اقدام کنند.

^۲ Roughness

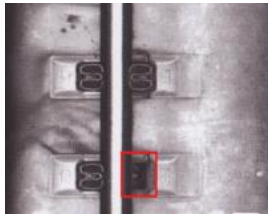
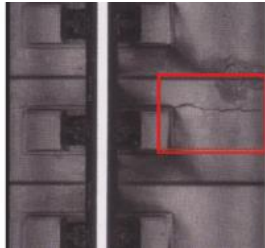
برای خط پایدار شده اتفاق می‌افتد، نشان‌دهنده زوال تقریباً خطی است که اکثر طول عمر خط را شامل می‌شود (بخش b). بخش سوم نیز که همراه زوال بسیار سریع خط با رفتار نمایی است، آخرین بخش از منحنی (بخش c) را تشکیل می‌دهد. معمولاً این بخش شرایطی را شامل می‌شود که به دلیل افت ایمنی سیر و حرکت در آن، هرگز نباید اجازه وقوع آن را داد. برای جلوگیری از رسیدن به این سطح، حد نگهداری و یا به عبارتی سطح حداقل ناهمواری مجاز تعریف می‌شود (خط چین افقی) که منجر به فعالیتهای نگهداری و تعمیر ویژه‌ای می‌گردد.



شکل ۳-۹ منحنی زوال تئوری هندسه خط (روسازی بالاستی)

پدیده خستگی در اجزای خطوط بدون بالاست عمدتاً با پدیدار شدن عیوب و نقایص فیزیکی مانند نشست، فرسایش دال بتنی، خستگی پابند، سایش و کاریوگیشن ریل ظاهر خواهد شد (جدول ۳-۱۹). یکی از مشکلات اساسی خطوط بدون بالاست، زوال زودرس پد زیر ریل و بتن در محل نشیمنگاه ریل است که منجر به کاهش دوره عمر سیستم ادوات اتصال می‌شود. به‌علاوه، سایش شولدرها و ادوات اتصال یکی از معضلات اساسی است که دوره عمر خط را کاهش می‌دهد. در سیستم‌های پیش‌ساخته عمدتاً در بین لایه تکیه‌گاه بتنی و لایه تکیه‌گاه هیدرولیکی از بتن آسفالتی استفاده می‌شود. با افزایش ترافیک عبوری از روی خط و نیز در شرایط آب و هوایی نامساعد، حفراتی درون بتن آسفالتی ایجاد خواهد شد که این پدیده منجر به کاهش توانایی آن در میرایی ارتعاشات و در نتیجه خستگی سایر اجزای خط می‌شود.

جدول ۱۹-۳ نمونه‌ای از زوال اجزای خط بدون بالاست

اجزای خط	نوع زوال	علائم بروز خرابی	عملیات نگهداری
ریل	سایش، کاریوگیشن و سیلان فولاد ریل  	خرابی ظاهری ریل تغییر در سختی قائم ریل تغییر در کیفیت هندسه خط پخی چرخ	تست التراسونیک بررسی میزان جریان سرگردان ساب‌زنی تعویض
ادوات اتصال	خستگی و باز شدن ادوات اتصال 	شکستن شولدرها	تثبیت ادوات تعویض
دال بتنی	ترک‌های عرضی 	افزایش نیروهای جانبی نشست زیرسازی زنگ‌زدگی آرماتورها	تزریق ملات در ترک‌ها تنظیم محل دال با استفاده از تزریق
بتن آسفالتی	ترک‌خوردگی	نفوذ آب باران کاهش مقاومت جانبی اتصال نامناسب دال و لایه زیرین (لایه آسفالتی)	تزریق ملات در ترک‌ها ترمیم نواحی آسیب‌دیده
بستر	نشست و تغییر کیفیت تراز هندسی خط 	کاهش ظرفیت باربری خاک ناشی از پدیده‌های هیدرولوژیکی و عبور قطار	بهبود زهکشی خط تعویض خاک محل تسلیح خاک استفاده از ژئوتکستایل بازسازی خط

۳-۲-۸-۳- وضعیت دسترسی به خط در زمان نگهداری

به‌طور معمول، عملیات نگهداری در هنگامی که ترافیکی بر روی خط وجود ندارد (مثلاً در شب‌هنگام) انجام می‌شود. اگر عملیات نگهداری در این زمان قابل انجام نباشد، یا به عبارتی نیاز به مسدود نمودن خط وجود داشته باشد، قابلیت دسترسی

به طور قابل توجهی کاهش می یابد. نوع عملیات نگهداری و تعمیر، به ویژه در خطوط با حجم ترافیک عبوری بالا و محدود بودن زمان در دسترس برای انجام این عملیات، بسیار حائز اهمیت است. از آنجا که الزامات نگهداری از یک مسیر به مسیر دیگر بسیار متفاوت است، زمان دسترسی به مسیر جهت انجام عملیات نگهداری و تعمیر، عامل بسیار تأثیرگذاری بر تصمیم گیری خواهد بود.

۳-۲-۸-۴- نواحی انتقال

معمولاً نیاز به عملیات نگهداری در نواحی انتقال از سایر مناطق بیشتر است. اگر عملیات نگهداری در این مناطق نادیده گرفته شود، هندسه مسیر و به ویژه تراز ارتفاعی خط با نرخ شتابداری زوال می یابد. با تغییر ناگهانی سختی قائم خط در این مناطق به علت افزایش دامنه بار دینامیکی، لازم است عملیات نگهداری با حساسیت ویژه ای انجام شود.

۳-۲-۸-۵- تأثیر زهکشی بر نگهداری

علت بسیاری از مشکلات نگهداری ناشی از عدم زهکشی صحیح است. در خطوط بالاستی، استفاده از تراورس های مجزا، وجود لایه پشتیبان نامحدود (بالاست و زیربالاست) و شیب عرضی عواملی هستند که با تکیه بر آنها می توان اطمینان حاصل کرد که آب از خط خارج و به سمت زهکش های کناری هدایت شده است. در دال خطها، تخلیه آب کانال میانی خطوط، به زهکش های اضافه نیاز دارد که باید مورد توجه مهندس طراح قرار گیرد.

۳-۲-۸-۶- اقدامات نگهداری در هنگام خروج از خط

در خطوط بالاستی، فرض بر این است که خروج از ریل منجر به آسیب مسیر شده و تعمیر آن ضروری است. بنابراین لازم است تجهیزات نگهداری در برابر خطر خروج از ریل، همواره در دسترس باشد. در همین راستا لازم است اقدامات مشابهی برای خطوط بدون بالاست در نظر گرفته شود. علیرغم آن که خروج از ریل در خطوط بدون بالاست، آسیب کمتری به خط وارد نموده و به راحتی قابل ترمیم است، باید در نظر گرفت که دال شکسته یا به شدت آسیب دیده به سرمایه بالایی برای تعمیرات نیاز خواهد داشت و در نتیجه تأثیرات طولانی مدت آن بر بهره برداری آشکارا به چشم می خورد. با وجود نیاز اندک به فعالیت های تعمیراتی در دال خطها، این عملیات پیچیده، هزینه بر و زمان بر است. زیرا همان طور که عمل آوری و سخت شدن بتن به مدت زمان زیادی نیاز دارد، وقوع پیشامد جدی در این سیستم نیز منجر به بسته شدن کامل خط و ایجاد موانع عملیاتی طولانی مدت خواهد شد.

۳-۳- ملاحظات اقتصادی

به منظور بهره گیری از یک سیستم روسازی باید هزینه های آن سیستم با سایر گزینه ها مقایسه شود. هزینه های مرتبط با یک سیستم روسازی در گام نخست، به میزان سرمایه گذاری اولیه وابسته است. در عین حال هزینه های نگهداری، نوسازی، زیست محیطی و قابلیت دسترسی در طول دوره عمر آن روسازی، در اختصاص بودجه مورد نیاز و جریان مالی به شدت

اثرگذار هستند. بنابراین لازم است جهت محاسبه هزینه کل سیستم در طول دوره عمر کلی آن، از روشی مانند تحلیل هزینه دوره عمر^۱ استفاده شود. هدف اصلی تحلیل هزینه دوره عمر، ارائه یک فرآیند نظاممند برای ارزیابی و کمی سازی اثرات ناشی از هزینه است. می توان گفت تحلیل هزینه چرخه عمر روشی برای تصمیم گیری و ارزیابی اقتصادی، در مقایسه با سایر استراتژی های موجود یا گزینه های طراحی می باشد که باید در انتخاب سیستم روسازی به عنوان گامی اساسی در تصمیم گیری از آن استفاده شود. در ادامه تعاریف و توضیحات مرتبط با روند تحلیل هزینه های دوره عمر روسازی خطوط ریلی ارائه شده است.

۳-۳-۱- تعاریف مرتبط با دوره عمر روسازی

اطلاعات حاکم بر دوره عمر زیرساخت ریلی، اهمیت بالایی را در تحلیل هزینه های چرخه عمر داراست. منظور از دوره عمر روسازی، مدت زمان بین انتخاب روسازی تا خارج شدن از بهره برداری و اسقاط آن است. این موضوع از دو منظر اساسی قابل بررسی است.

الف: طول عمر اجزاء زیرساخت: که به طور متداول عمر متوسط بهره برداری مورد انتظار برای اجزاء مختلف زیرساخت محسوب می شود و با استناد به مدل های زوال مربوط به هر یک از اجزای روسازی راه آهن قابل تعیین می باشد. درعین حال یکی از معضلات مربوط به این بخش، عدم وجود بانک های اطلاعاتی مرتبط با اجزای روسازی است که تعیین دوره عمر اجزاء را با تخمین و تفسیرهای مختلفی همراه خواهد کرد. همچنین تفکر احداث، استراتژی نگهداری و تعمیر و شرایط و سناریوی بهره برداری در تعیین دوره عمر اجزا بسیار مؤثر می باشند.

ب: متوسط عمر روسازی: بر اساس انتخاب بین نوع روسازی بالاستی و بدون بالاست تعیین می شود. برای نمونه، عمر متوسط روسازی بالاستی ۳۰ تا ۴۰ سال و عمر متوسط خطوط بدون بالاست حداقل ۶۰ سال در نظر گرفته می شود.

۳-۳-۲- ساختار و اجزای هزینه های چرخه عمر روسازی

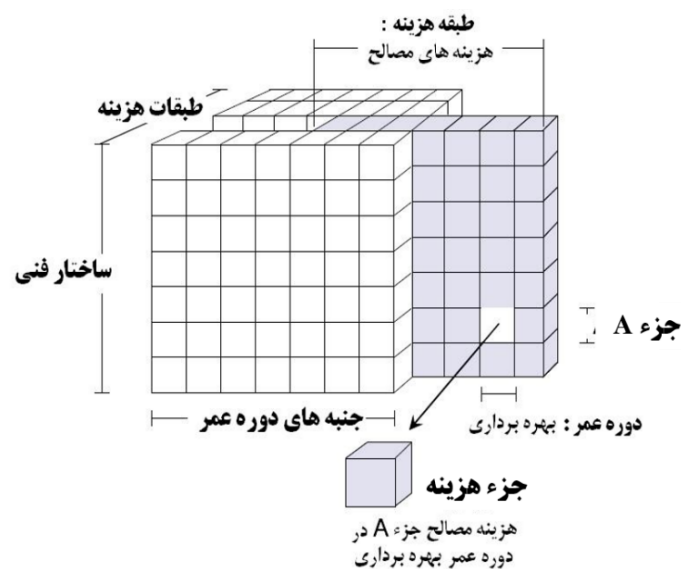
هزینه چرخه عمر روسازی به معنای "ارزیابی تجمعی هزینه های روسازی در طول دوره عمر آن" می باشد. خصوصیات معمول خطوط راه آهن، نشان می دهد که هزینه یابی چرخه عمر برای تصمیم گیری در خصوص سرمایه گذاری و همچنین هماهنگی اولویت های نگهداری و نوسازی اهمیت بسیار بالایی پیدا می کند. این خصوصیات عبارتند از:

- نیاز به سرمایه گذاری های بالا برای ایجاد زیرساخت های جدید؛
- نیاز به عملیات تعمیر و نگهداری سالانه و نوسازی های فراوان؛
- دارا بودن چرخه عمر طولانی (اغلب بیش از ۳۰ سال)؛
- رابطه قوی بین کیفیت زیرساخت و نیاز به تعمیر و نگهداری در طول بهره برداری.

بر این اساس، اهداف اصلی هزینه یابی چرخه عمر در راه آهن عبارتند از:

^۱ Life Cycle Cost Analysis (LCCA)

- ارزیابی مؤثر شرایط و گزینه‌های موجود؛
 - در نظر گرفتن تأثیر تمامی هزینه‌ها به جای «صرفاً هزینه سرمایه‌گذاری اولیه»؛
 - امکان ایجاد مقایسه بهتر و در نتیجه تصمیم‌گیری مناسب‌تر بین گزینه‌ها؛
 - پشتیبانی از مدیریت مؤثر سرمایه‌گذاری‌ها در طول چرخه عمر آن‌ها.
- به منظور دستیابی به هزینه چرخه عمر کل سیستم روسازی، ضروری است که هزینه کل را به مجموعه‌ای از هزینه‌های جزئی‌تر تقسیم نمود. این تقسیم‌بندی می‌تواند در راستای سه محور اصلی به شرح زیر و چنانچه در شکل ۳-۱۰ نیز ارائه شده است، صورت گیرد. توضیحات هر یک از این محورها در ادامه ارائه شده است.
- محور طبقه هزینه (یا محور که؟): طبقه هزینه منابع به کار گرفته شده نظیر نیروی انسانی، مصالح، تجهیزات، انرژی، حمل و نقل و ... که در قالب «اجزاء هزینه» بررسی می‌شود.
 - محور ساختار شکست فعالیت (یا محور چه؟): شکست یک سیستم به زیرسیستم‌های اصلی (ساختار هزینه)
 - محور دوره عمر (یا محور کی؟): زمان مربوط به دوره عمر یک فعالیت یا جزء



شکل ۳-۱۰ اجزاء و ساختار هزینه چرخه عمر

اجزاء هزینه شامل تمامی هزینه‌هایی است که در طول عمر دارایی (یعنی زیرساخت ریلی) پرداخت می‌شود. با توجه به شرایط حاکم بر سیستم، روش‌های متعددی برای شناسایی و تخمین دقیق این هزینه‌ها در نظر گرفته می‌شود. با در نظر گرفتن هزینه‌های مدیریت زیرساخت و بدون مدنظر قرار دادن هزینه‌های اندرکنش زیرساخت و قطار، هزینه‌های اصلی مطرح به قرار زیر خلاصه می‌شوند:

هزینه‌های احداث (خط + زیرساخت‌های مورد نیاز):

- سرمایه‌گذاری: مالکیت دارایی شامل خرید زمین، احداث خط و ابنیه فنی راه آهن و خطوط فرعی
- مدیریت: هزینه‌های مدیریت، دستمزد، امنیت پلیس، برنامه و طرح، آموزش کارکنان، مشاوره (مشاوران خارجی)

هزینه‌های نگهداری:

- نگهداری و تعمیرات: تعمیرات (خط، سوزن، بالاست، ایستگاه، پل، تونل، برق بالاسری، سیگنالینگ و ارتباطات و ...)، نگهداری‌های فصلی، بازرسی‌های هندسی (هزینه برداشت اطلاعات هندسی خط) و بازرسی‌های دوره‌ای (هزینه پایش خط تحت عبور بار ترافیک)، زیرکوبی
- بهره‌برداری و خدمات: خدمات مربوط به پل‌ها، علائم، بهره‌برداری سیگنالینگ، جریان تراکشن، مصرف برق

هزینه‌های نوسازی:

- بازسازی: بازسازی خط، ابنیه، نگهداری و تعمیرات اساسی (خط، سوزن، بالاست، ایستگاه، پل، تونل، برق بالاسری، سیگنالینگ و ارتباطات و ...)
- استهلاک و اسقاط: استهلاک مصالح استفاده‌شده

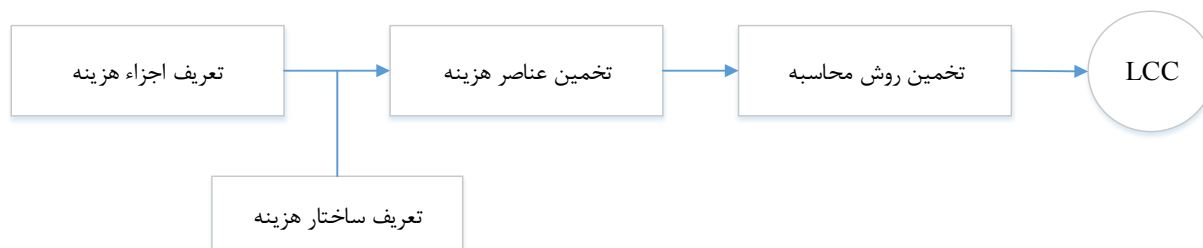
هزینه‌های عدم دسترسی:

- تأخیر: هزینه کارکنان، مصرف انرژی، هزینه وسایط نقلیه، هزینه‌های تجاری، واکنش مشتری
- تعویق: جریمه‌های عدم دسترسی

در صورت دسترسی به داده‌های موثق و قابل اعتماد توصیه می‌شود سایر هزینه‌ها (مانند هزینه ناشی از خرابی مصالح و تجهیزات در اثر بروز سوانح و هزینه‌های ناشی از تخریب محیط زیست) نیز در این بررسی گنجانده شود. منظور از ساختار هزینه، تعریف گروه‌های هزینه به منظور شناخت تعامل بین آن‌ها و دستیابی به هزینه چرخه عمر بهینه می‌باشد. همان‌طور که در شکل ۳-۱۰ نشان داده شده است، هزینه دوره عمر کلی یک سیستم از هزینه‌های جزئی تر موسوم به گروه‌های هزینه تشکیل شده است که با یکدیگر در ارتباط بوده و در دوره عمر سیستم مورد بررسی و در طول زمان بهره‌برداری از آن اتفاق می‌افتند.

تعریف ساختار هزینه به عمق و وسعت مطالعه LCC بستگی دارد و بر مبنای آن گزینه‌های متعددی از ساختار هزینه قابل پیشنهاد است. داده‌های مربوط به هزینه چرخه عمر شامل داده‌های مالی، داده‌های وابسته به زمان، داده‌های کیفی مرتبط با قابلیت اعتماد، ظرفیت و فرآیندهای نگهداری است. اصلی‌ترین گام در تعیین ساختار هزینه، توسعه و بهره‌گیری از پایگاه داده‌ای قابل اعتماد است که تمامی اطلاعات مرتبط مالی، زمانی و کیفی اجزاء هزینه را شامل شده و منجر به شناخت ارتباط بین هزینه احداث (خط و زیرساخت‌های مورد نیاز)، هزینه نگهداری، هزینه نوسازی و سایر هزینه‌ها (تصادفات و تأثیرات محیطی) می‌گردد.

بر اساس توضیحات فوق‌الذکر، فرآیند عمومی حاکم بر تحلیل هزینه چرخه عمر، در شکل ۳-۱۱ ارائه شده است.



شکل ۳-۱۱ فرآیند هزینه چرخه عمر

۳-۳-۳-۳ فرآیند محاسبه هزینه دوره عمر

به منظور تعیین روش محاسبه هزینه چرخه عمر، در گام نخست باید پارامترهای مؤثر اقتصادی تعریف و تعیین شود. مهم‌ترین پارامترهای مورد استفاده در تحلیل هزینه دوره عمر، نرخ تنزیل و نرخ تورم نام دارند. نرخ تنزیل، ارزش زمانی پول را با توجه به شرایط اقتصادی ارزیابی می‌کند. انتخاب نرخ تنزیل مناسب بر مبنای شرایط حاکم بر طرح، از مقدمات ورود به تحلیل LCC است. همچنین نرخ تورم نیز به عنوان پارامتر تأثیرگذار بر تغییرات نسبی شاخص قیمت دارای اهمیت ویژه‌ای است.

گام بعدی، انتخاب روش و انجام فرآیند تحلیل است. نکته حائز اهمیت آن است که ورود به همه هزینه‌های مربوط به پروژه در محاسبات LCCA توصیه نمی‌شود، بلکه تنها ورود به هزینه‌های مربوط به ساخت، نگهداری و بازسازی و هزینه‌هایی که از یک سیستم به سیستم دیگر تغییر می‌یابد، کفایت می‌کند. گنجاندن هزینه‌هایی که در سیستم‌های روسازی مختلف تقریباً یکسان هستند، منجر به حصول نتیجه اشتباه نخواهد شد، اما نیازمند به جمع‌آوری داده‌های اضافی و تحلیل هزینه‌های مربوطه است، فلذا می‌توان برای کاهش زمان ارزیابی از آن‌ها صرف نظر کرد. در جدول ۳-۲۰، روابط و پارامترهای تأثیرگذار بر تعیین اجزاء هزینه در تحلیل هزینه دوره عمر نشان داده شده است.

همان‌طور که پیش‌تر بیان شد، مطالعات موجود در حوزه روسازی‌های بدون بالاست نشان می‌دهد که تنوع این دسته از روسازی‌ها نسبت به خطوط بالاستی بسیار قابل ملاحظه است. این موضوع باعث می‌شود که در تعیین چشم‌انداز موجود در زمینه هزینه‌های ساخت، نگهداری و تعمیر و به‌طور کلی هزینه‌های دوره عمر خطوط بدون بالاست، دشواری‌هایی وجود داشته باشد. به عبارت دیگر، تنوع این دسته از روسازی‌ها و نیز دشواری‌های موجود در تبدیل آن‌ها به یکدیگر می‌تواند بر سیاست‌های تصمیم‌گیری تأثیرگذار باشد.

در تونل‌ها، با در نظرگیری هزینه‌های ناشی از ساخت و اجرا، نگهداری و تعمیر، استفاده از روسازی بدون بالاست مناسب‌تر از بالاستی می‌باشد. هزینه احداث دال در فضای باز بین ۱,۳ تا ۳ برابر بیش از نصب خطوط بالاستی است؛ این در حالی است که هزینه اجرای دال خط در تونل نسبت به خط بالاستی از ۱,۱ تا ۱,۵ برابر است. از طرف دیگر، با در نظر گرفتن هزینه ناشی از نگهداری و تعمیر خط بالاستی در تونل، هزینه چرخه عمر خط بالاستی در تونل به مراتب بزرگ‌تر از هزینه دوره عمر خط بدون بالاست خواهد بود. یکی دیگر از عوامل افزایش هزینه ناشی از ساخت خطوط بالاستی در تونل‌ها، افزایش مقطع تونل به علت ارتفاع بیشتر خطوط بالاستی است. بر این اساس استفاده از روسازی بدون بالاست در تونل‌ها

می‌تواند بیش از خط بالاستی توجیه اقتصادی داشته باشد. یکی دیگر از موضوعات مهم در خصوص تأثیر اقتصادی انتخاب سیستم روسازی، هزینه ناشی از نگهداری خطوط است. الزامات فنی مانند ترافیک تجمعی، سرعت و روش مورد استفاده در نگهداری نیز از جمله عوامل کلیدی تأثیرگذار بر هزینه‌ها هستند که باید به‌دقت مورد توجه قرار گیرند.

جدول ۳-۲۰ روابط مورد استفاده در تحلیل هزینه دوره عمر سیستم روسازی

روابط	پارامتر هزینه
$LCC_{construction} = \sum_{t=0}^{100} \frac{C_{construction}(1+i)^t}{(1+r)^t}$ $C_{construction}$: هزینه اولیه ساخت خط i: نرخ تورم r: نرخ تنزیل t: سال	هزینه ساخت (در یک کیلومتر)
$LCC_{geom.insp} = \sum_{t=1}^N \frac{C_{geom.insp} \times n_{insp} \times (1+i)^t}{(1+r)^t}$ n_{insp}: تعداد بازرسی‌های هندسی در سال N: سال نوسازی $C_{geom.insp}$: هزینه اولیه بازرسی هندسی	بازرسی هندسی
$LCC_{din.insp} = \sum_{t=1}^N \frac{C_{din.insp} \times n_{insp} \times (1+i)^t}{(1+r)^t}$ n_{insp}: تعداد بازرسی‌های دوره‌ای در سال N: سال نوسازی بالاست $C_{din.insp}$: هزینه اولیه بازرسی دوره ای	بازرسی دوره‌ای
$LCC_{tamping} = \sum_{t=1}^N \frac{C_{tamping} (1+i)^{\frac{T_t^{accum}}{T_{year}}}}{(1+r)^{\frac{T_t^{accum}}{T_{year}}}}$ T_t^{accum}: تناژ تجمعی تا آیین عملیات زیرکوبی $LCC_{tamping}$: هزینه زیرکوبی در دوره عمر $C_{tamping}$: هزینه اولیه زیرکوبی T_{year}: تناژ تجمعی سالانه N: آخرین دوره عملیات زیرکوبی منتهی به نوسازی بالاست	زیرکوبی
برآورد این هزینه به عوامل متعددی مانند تجهیزات تعمیر و نگهداری، تیم‌های منابع انسانی و ... بستگی دارد.	عدم دسترسی
$LCC_{renewal} = \sum_{t=0}^N \frac{C_{renewal} \times (1+i)^t}{(1+r)^{\lceil \frac{T_{renewal}}{T_{year}} \rceil}}$ $C_{renewal}$: هزینه نوسازی هر بخش	هزینه نوسازی (در یک کیلومتر)

پس از محاسبه هزینه‌های تبیین شده در جدول ۳-۲۰ با توجه به دوره عمر زیرساخت، هزینه دوره عمر نهایی تعیین خواهد شد. با توجه به دوره عمر زیرساخت‌های ریلی، سه دوره مهم برای مدیریت زیرساخت در راه‌آهن قابل تعریف است (شکل ۳-۱۲):

۱- دوره ابتدایی: مدت زمان پیاده سازی زیرساخت جدید؛

۲- دوره دوم: مدت زمان بهره برداری از زیرساخت؛

۳- دوره سوم: مدت زمان جایگزینی سرمایه گذاری.



شکل ۳-۱۲ دوره های چرخه عمر زیرساخت های ریلی

مدل های تعیین هزینه چرخه عمر راه آهن غالباً به صورت سرمایه گذاری سالانه تعیین شده و با توجه به دوره زمانی عمر زیرساخت، دوره های اول و سوم به عنوان یک سال در محاسبات وارد می شوند. نکته دیگر آنکه هزینه های خارجی معمولاً در طی دوره دوم عمر زیرساخت، یعنی دوره بهره برداری مطرح شده و در مدل سازی هزینه وارد می گردند. بنابراین به منظور محاسبه مجموع هزینه دوره عمر می توان از رابطه ۳-۱ استفاده نمود:

$$LCC_{total} = LCC_{construction} + [LCC_{geom.insp} + LCC_{din.insp} + TLCC_{tamping}] + [LCC_{renewal}] \quad \text{برای خط بالاستی} \quad ۱-۳$$

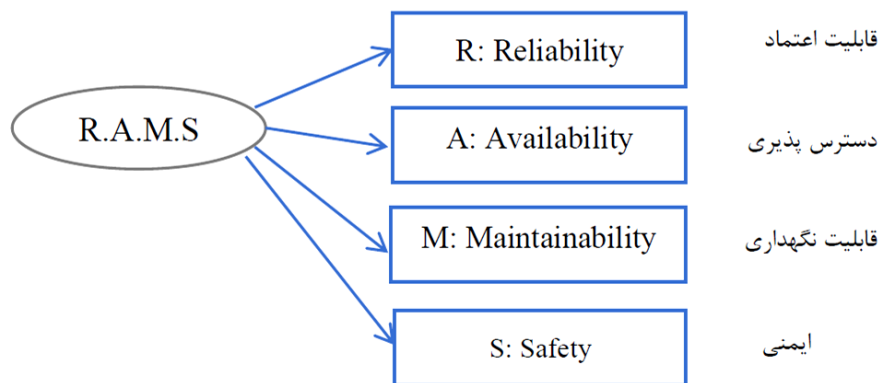
$$LCC_{total} = LCC_{construction} + [LCC_{geom.insp} + LCC_{din.insp}] + [LCC_{renewal}] \quad \text{برای خط بدون بالاست}$$

پارامترهای موجود در رابطه ۳-۱ در جدول ۳-۲۰ معرفی شده اند. جزء اول این رابطه، سرمایه گذاری خالص اولیه است. در حالی که جزء دوم، هزینه متغیر نگهداری سالانه و جزء سوم آن، هزینه ناشی از بازسازی مسیر را در هزینه دوره عمر کلی وارد می کند.

۳-۴- ملاحظات کارایی (RAMS)

امروزه مسائلی از قبیل قابلیت اعتماد، قابلیت نگهداری و در دسترس بودن به عنوان یکی از مهم ترین اصول مدیریت زیرساخت ها مطرح است و هدف اصلی آن ارائه خدمات در زمان مطلوب و با کیفیت مناسب با رویکردی رقابتی می باشد. از دیدگاه مهندسی، موضوعات قابلیت اعتماد و در دسترس بودن مباحث جدیدی تلقی می شوند. این موضوعات تنها به عنوان بخشی از فرآیند طراحی مهندسی در نظر گرفته نمی شوند، بلکه نقش مهمی برای تحلیل هزینه های چرخه عمر، تحلیل های اقتصادی، مطالعات بهره برداری و ظرفیت، مدیریت تعمیر و تأمین قطعات یدکی مورد نیاز، تصمیم گیری های بازسازی و مدیریت نگهداری پیشگیرانه ایفا می کنند. از آنجا که به کارگیری اصول و ملاحظات کارایی نیازمند یک پایگاه داده گسترده و قابل اطمینان می باشد، در پروژه های انتخاب سیستم روسازی در خطوط معمولی به کارگیری این ملاحظات الزامی نیست.

شایان ذکر است در پروژه‌های ریلی با درجه اهمیت زیاد (مانند احداث خطوط ریلی پرسرعت و یا باری سنگین)، به کارگیری این ملاحظات باهدف بهبود مدیریت زیرساخت ریلی و افزایش کیفیت بهره‌برداری از خطوط، توصیه می‌شود. اصول RAMS (قابلیت اعتماد، در دسترس بودن، قابلیت نگهداری و ایمنی) با به کارگیری مفاهیم مهندسی سازمان یافته و روش‌ها و ابزارهای موردنیاز در طول دوره عمر یک سیستم قابل دستیابی است. از این رو می‌تواند نقش مهمی را در کاهش هزینه‌های چرخه عمر زیرساخت ریلی ایفا کند (شکل ۳-۱۳).



شکل ۳-۱۳ اصول RAMS

۳-۴-۱- مفاهیم کارایی (RAMS)

در کنار الزامات مربوط به ایمنی، الزامات قابلیت اطمینان، در دسترس بودن و قابلیت نگهداری (RAM) نیز وجود دارند که هدف همه آن‌ها اعتماد به سطح عملکرد سیستم است. این بدان معنی است که سیستم باید قابل اعتماد بوده و حداقل تأخیرها و حوادث در آن رخ دهد. همچنین فعالیت نگهداری و تعمیر باید بیشترین زمان ممکن را در زمان‌های برنامه‌ریزی شده در اختیار داشته باشد. به طور کلی به منظور پیش‌بینی و اطمینان از قابلیت اعتماد، دسترسی پذیری و قابلیت نگهداری در سیستم راه‌آهن، لازم است که جزئیات و اطلاعات مربوطه در دست باشد تا بتوان تجزیه و تحلیل قابلیت اطمینان از هر زیرسیستم را که از نقطه نظر عملیاتی مهم است، به درستی انجام داد.

اهداف تحلیل RAM بر پایه عناصر زیر تعیین می‌شوند:

- پایگاه اطلاعاتی RAM (مانند تحلیل قابلیت اعتماد از پیمانکاران و فروشندگان در پروژه‌های مشابه)؛
- مودهای خرابی (شکست)؛
- تجارب پیشین.

روش‌های مختلفی برای محاسبه RAM وجود دارد. به همین علت، متخصصان این حوزه به فراخور هدف خود باید یکی از این روش‌ها را انتخاب کنند. جهت محاسبه این پارامتر، ابتدا باید تعیین کرد که RAM در چه شرایطی محاسبه می‌شود و در چه بازه زمانی از آن استفاده خواهد شد. بر این اساس ضروری است بر اساس شرایط واقعی حاکم بر یک پروژه

و داده‌های موجود از منظر نگهداری و بهره‌برداری نسبت به تحلیل‌های مربوطه اقدام نمود. در این بخش صرفاً به کلیات الزامات و ملاحظات RAMS به صورت عمومی پرداخته و از ورود به جزئیات دقیق RAMS صرف نظر شده است.

۳-۴-۱-۱- قابلیت اعتماد

یکی از پارامترهای کارایی، قابلیت اعتماد است که به صورت «احتمالی که یک مورد مشخص برای مدت زمان مشخص، وظیفه تعیین شده‌ای را در یک محیط معین انجام دهد» تعریف شده است. در سیستم‌های پیچیده معمولاً الزامات قابلیت اعتماد برحسب زمان متوسط تا رخداد شکست ($MTBF^1$) و یا نرخ شکست تعیین می‌شود که مقدار آن توسط رابطه ۲-۳ قابل حصول است. همچنین می‌توان گفت قابلیت اعتماد معیاری جهت اندازه‌گیری درجه بهره‌برداری از یک بخش در هر زمان (تصادفی) است، تا جایی که توان و ظرفیت انجام وظایف محول شده را داشته باشد. به عبارت دیگر می‌توان قابلیت اعتماد را به صورت درصد احتمالی که یک بخش بتواند عملکرد موردنظر خود را بدون خرابی در یک بازه مشخص تحت شرایط تعیین شده انجام دهد، تعریف کرد.

$$MTBF = \frac{\text{زمان کل برداری بهره}}{\text{تعداد خرابی یا شکست}} \quad ۲-۳$$

جهت بررسی قابلیت اعتماد به یک سیستم در طول دوره عمر آن باید برنامه‌ای برای پایش قابلیت اعتماد در آن سیستم فراهم ساخت که این فرایند، بخشی از برنامه RAMS را شامل می‌شود. برای محاسبه پارامتر قابلیت اعتماد لازم است که همه اطلاعات موردنیاز طراحی، آرایش زیرسیستم‌ها و روش مورد استفاده را در اختیار داشت. شایان ذکر است که روش‌های مختلفی برای تعیین این پارامتر وجود دارد که به فراخور داده‌های در دسترس می‌توان یکی از آن‌ها را انتخاب کرد.

۳-۴-۱-۲- دسترسی پذیری

توانایی یک محصول در انجام عملکرد موردنیاز در شرایط معین در یک لحظه معین یا خارج از بازه زمانی تعیین شده، با فرض تأمین منابع خارجی موردنیاز «دسترسی پذیری» تعریف می‌شود. یکی از نمونه‌های این مسئله، بررسی تعداد قطارهایی است که می‌توانند هرروزه بدون هیچ‌گونه محدودیت فنی در خط سرویس باشند. برای محاسبه این پارامتر لازم است که همه اطلاعات موردنیاز طراحی، آرایش زیرسیستم‌ها و روش مورد استفاده را در اختیار داشت. شایان ذکر است که روش‌های مختلفی برای تعیین این پارامتر وجود دارد.

دسترسی‌پذیری به فاصله متوسط بین خرابی‌ها و زمان تعمیر مسیر پس از خرابی بستگی دارد. میانگین زمان تعمیر عاملی قابل اندازه‌گیری است که امکان ارزیابی این مؤلفه از RAMS را فراهم کرده و مقدار این پارامتر به منابع خارجی تأمین شده جهت نگهداری (مانند نیروی انسانی باکفایت، توانایی و تخصص موجود) و سطح ترافیک وابسته است.

^۱ Mean Time Between Failure

۳-۱-۴-۳- قابلیت نگهداری

اندازه‌گیری توانایی نگهداری یا بازیابی یک بخش در شرایط مشخص را قابلیت نگهداری آن بخش گویند. نگهداری و تعمیر توسط پرسنلی که دارای سطح مهارت معلومی هستند انجام می‌شود و می‌تواند با استفاده از روش‌ها و منابع موجود، در هر سطح امکان‌پذیر باشد. بنابراین درصد احتمالی که یک فعالیت نگهداری معین در یک بخش، تحت شرایط موجود در بازه زمانی تعیین‌شده و با استفاده از منابع و روش‌های موجود انجام شود، قابلیت نگهداری آن سیستم نامیده می‌شود. قابلیت نگهداری متناوب یکی از شاخص‌های طراحی است که تعیین آن برای اندازه‌گیری میزان سهولت در نگهداری از عنصر موردنظر بسیار ضروری است. به عبارت دیگر، قابلیت نگهداری یکی از شاخص‌های طراحی و نصب است که به صورت احتمال بازگشت یک بخش به شرایط بهره‌برداری با استفاده از روش‌ها و منابع تعیین‌شده در یک بازه زمانی مشخص، بیان می‌شود.

مفهوم قابلیت نگهداری نباید با مفهوم نگهداری و تعمیر یکسان در نظر گرفته شود. چراکه واژه «نگهداری» به معنای تمام فعالیت‌هایی است که برای نگهداری از یک بخش ضروری است تا آن بخش بتواند به وضعیت موجود بازگردد. این فعالیت می‌تواند به صورت اصلاحی و یا پیشگیرانه باشد.

۳-۱-۴-۳- ایمنی

ایمنی عبارت است از انتظار این‌که برای یک سیستم در شرایط تعریف‌شده حالتی رخ ندهد که زندگی انسان در آن به خطر بیفتد. عدول از این شرایط می‌تواند منجر به آسیب رسیدن به تجهیزات و از بین رفتن کل و یا بخش‌هایی از آن‌ها شود و یا آن‌که سیستم دیگر نتواند وظایف خود را به درستی انجام دهد. به علاوه ممکن است از جانب تجهیزات به محیط پیرامون نیز آسیب وارد شود. برای محاسبه ایمنی نیز روابط متعددی موجود است که بسته به داده‌های در دسترس می‌توان یکی از روابط موجود را مورد استفاده قرار داد.

۳-۲-۴-۳- روابط حاکم بر کارایی (RAMS)

در یک جمع‌بندی کلی می‌توان عوامل تأثیرگذار بر تعیین شاخص RAMS را در قالب جدول ۳-۲۱ ارائه داد. شایان ذکر است که این روابط به صورت کلی ارائه شده است و به منظور ورود به جزئیات استفاده از شاخص RAMS باید به کمک داده‌های در دسترس و به فراخور شرایط حاکم بر سیستم مورد بررسی، یکی از این روش‌های موجود در این زمینه را به صلاحدید عوامل دست‌اندرکار پروژه انتخاب نمود.

جدول ۳-۲۱ روابط حاکم بر اصول RAMS

پارامترهای RAMS	تعریف و رابطه
قابلیت اعتماد (R)	برای سیستم S، قابلیت اعتماد به صورت زیر قابل تعیین است: $R(t) = P\left(\frac{S \text{ به صورت تابعی از } t}{S \text{ به صورت تابعی از } t=0}\right)$ R: قابلیت اعتماد به سیستم S: سیستم t: زمان اندازه گیری شده
دسترسی پذیری (A)	برای سیستم S، دسترسی پذیری به صورت زیر قابل تعیین است: $A(t) = P\left(\frac{S \text{ زمان تعمیر سیستم}}{S \text{ زمان رخداد شکست } t=0}\right)$ A: میزان دسترسی به سیستم S: سیستم t: زمان اندازه گیری شده برای سیستم‌های غیر قابل تعمیر، دسترسی پذیری معادل قابلیت اعتماد خواهد بود. $\text{دسترسی پذیری} = 1 - \frac{\text{ناتوانی}}{\text{توان حداکثر}}$
قابلیت نگهداری (M)	برای سیستم S، قابلیت نگهداری $M(t)$ به صورت زیر قابل تعیین است: $M(t) = P\left(\frac{S \text{ زمان تعمیر سیستم}}{S \text{ زمان رخداد شکست } t=0}\right)$ M: قابلیت نگهداری از سیستم S: سیستم t: زمان اندازه گیری شده

۳-۵- جمع بندی الزامات و ملاحظات تأثیرگذار بر انتخاب روسازی

به منظور تصمیم گیری مناسب در انتخاب سیستم روسازی، لازم است درجه سازگاری روش های تصمیم گیری با معیارها و گزینه های اثرگذار بر انتخاب بررسی شود. در این بخش به عنوان جمع بندی، خلاصه ای از الزامات و ملاحظات تأثیرگذار بر انتخاب روسازی در قالب جدول ۳-۲۲ ارائه شده است. لازم به ذکر است که هرگونه اولویت بندی یا وزن دهی به این معیارهای فنی، به روش تصمیم گیری و شرایط پروژه وابسته است و در خلال فرایند تصمیم گیری و با توجه به شرایط و محدودیت های خاص هر پروژه انجام می شود.

شایان ذکر است برخی از الزامات تعیین شده در این جدول، نقش الزامات محدودکننده را ایفا می کنند به نحوی که فارغ از اولویت بندی، رعایت این معیارها الزامی است. به طور مثال، در صورتی که مقدار نشست یکنواخت خاکریز از ۳۰ mm تجاوز نماید، استفاده از خط بدون بالاست ممنوع است، مگر آن که تمهیداتی در زمینه کنترل نشست اندیشیده شود. بنابراین در صورتی که معیار الزام آوری بر بخشی از خط حکم فرما باشد، اولویت با اجرای آن معیار است.

جدول ۳-۲۲ الزامات و ملاحظات اثرگذار بر حوزه انتخاب روسازی

نام	الزام / ملاحظه		توضیحات / پیشنهادات	
(کلی) الزامات فنی	معیارهای بهره‌برداری	سرعت	$\geq 300 \text{ km/h}$	ترجیحاً بدون بالاست
			$200 \leq 300 \text{ km/h}$	بلاستی یا بدون بالاست
			$< 200 \text{ km/h}$	ترجیحاً بلاستی
	معیارهای زیست محیطی	ترافیک تجمعی	≤ 10	ترجیحاً بلاستی
			$10 \leq 30$	بلاستی یا بدون بالاست
			> 30	ترجیحاً بدون بالاست
	معیارهای زیست محیطی	آلودگی ناشی از انتشار گاز گلخانه‌ای	نوع روسازی	
			پس از ۳۰ سال	پایان دوره عمر
			بلاستی	۱۸۰۰
			بدون بالاست (ره‌دا)	۱۳۵۰
	معیارهای آب و هوایی	آلودگی صوتی		آلودگی صوتی خط بدون بالاست از خط بلاستی بیشتر است.
		اثر افزایش دما		خطر ناشی از کم‌انرژی ریل ناشی از افزایش دما در خط بلاستی بسیار بیشتر از خط بدون بالاست است.
		اثر کاهش دما		پرش بالاست در مناطق مستعد یخبندان خطرناک‌تر است.
		تخریب فیزیکی ادوات روسازی		در هر دو نوع روسازی وجود دارد.
		تخریب شیمیایی ادوات روسازی		در هر دو نوع روسازی وجود دارد.
		مناطق ماسه گیر		خطر مسدودی در خط بلاستی بیش از خط بدون بالاست است.
		برف‌گیر، سیل‌خیز و مستعد یخبندان		در خط بلاستی خطر آب‌سنگی و یخبندان لایه روسازی بیشتر از بدون بالاست است
(محلی) الزامات فنی	معیارهای هندسی	طرح هندسی مسیر	$V > 200 \text{ km/h}$: با افزایش سرعت، حداقل شعاع مجاز قوس در خط بلاستی بیشتر از خط بدون بالاست افزایش می‌یابد.	
			$V < 200 \text{ km/h}$: تفاوتی در انتخاب سیستم ایجاد نمی‌کند.	
		بریلندی (دور)	خط بلاستی	۱۶۰ mm
			خط بدون بالاست	۱۷۰ mm
		هندسه مقطع خط	در مناطق با محدودیت فضایی خط بدون بالاست توصیه می‌شود.	
			$V < 200 \text{ km/h}$	$V > 200 \text{ km/h}$
	معیارهای ابنیه فنی	طول	وزن و ضخامت روسازی	
			ارتفاع خط بلاستی	۰٫۷۶ m
			ارتفاع خط بدون بالاست	۰٫۵-۰٫۷ m
		نسبت	طول پل	$> 40 \text{ m}$
				$< 40 \text{ m}$
			نشست یکنواخت پایه‌ها و کوله‌های پل	بلاستی
				بدون بالاست
			نشست نسبی نامتقارن پایه‌ها و کوله‌های پل	بلاستی
				بدون بالاست

نام	الزام/ملاحظه			توضیحات / پیشنهادات		
			خمش در دهانه‌ها و پیچش در لبه‌های پل	بالاستی	موقعیت	زاویه پیچش
					بین کوله پل و شاه‌تیر انتهایی	$\theta \leq 2\%$
					بین شاه‌تیرهای انتهایی	$\theta_1 + \theta_2 \leq 4\%$
					بین کوله پل و شاه‌تیر انتهایی	$\theta \leq 1,5\%$
				بدون بالاست	بین شاه‌تیرهای انتهایی	$\theta_1 + \theta_2 \leq 3\%$
			محدودیت تنش ریل	-	تنش کششی	تنش فشاری
				بالاستی	$< 92 \text{ MPa}$	$< 72 \text{ MPa}$
				بدون بالاست	$< 92 \text{ MPa}$	$< 92 \text{ MPa}$
		تونل		طول تونل	$< 350 \text{ m}$	بالاستی یا بدون بالاست
					$350 \leq < 700 \text{ m}$	توصیه اکید روسازی بدون بالاست
					≥ 700	بدون بالاست
	معیارهای ژئوتکنیکی	مطالعات صحرایی	رفتار یخ‌زدگی - ذوب‌شدگی	خطر آن در خط بالاستی به شدت بالاتر از خط بدون بالاست است.		
			تعیین سطح آب زیرزمینی	در خط بالاستی بین ۰,۸ تا ۲,۵m پایین‌تر از تاج ریل		
				در خط بدون بالاست حداقل ۱,۵m پایین‌تر از تاج ریل		
	ملاحظات زیرسازی		-	خط بالاستی	خط بدون بالاست	
			عمق زیرسازی	۰,۳۵-۰,۵m زیر لایه شکل‌دهی	۲,۵ متر پایین‌تر از نشیمنگاه ریل	
			ضخامت لایه زیربالاست/محافظ در برابر یخبندان	بیش از ۱۵cm	بیش از ۷۰cm	
			مدول الاستیسیته زیربالاست/لایه محافظ یخبندان (PLT)	$Ev_2 > 120 \text{ MN/m}^2$	$Ev_2 > 120 \text{ MN/m}^2$	
			ضخامت لایه تکیه‌گاه در خاکریزها	-	بیش از ۱,۸۰ m	
			مدول الاستیسیته سطح فوقانی زیرسازی (PLT)	$Ev_2 > 45 \text{ MN/m}^2$ برای خاک ریزدانه $Ev_2 > 60 \text{ MN/m}^2$ برای شن و ماسه	خط تازه احداث: $Ev_2 > 60 \text{ N/m}^2$ خطوط موجود: $Ev_2 > 45 \text{ N/m}^2$	
			درصد تراکم پراکتور در خاکریزها	۹۵٪ تا ۱۰۰٪	۹۸ تا ۱۰۰٪ تا عمق بیش از ۳-۲,۵ متر زیر تاج ریل	
			-	سرعت	$V \leq 250 \text{ km/h}$	$V > 250 \text{ km/h}$
ملاحظات نشست	(mm)	نشست مجاز	خط بالاستی	نشست یکنواخت	۱۰۰	۵۰
				نشست نسبی (طول ۱۰m)	۲۰	۱۰
				نشست در محل کوله پل	۵۰	۳۰
			خط بدون بالاست	نشست یکنواخت	۳۰	۳۰
				نشست نسبی (طول ۱۰m)	۲۰	۱۰
				نشست در محل کوله پل	۲۰	۵

نام	الزام/ملاحظه		توضیحات / پیشنهادات															
	ملاحظات روسازی		طراحی ادوات اتصال از منظر ارتعاش و تأمین ارتجاعیت خط برای روسازی‌های بدون‌بالاست متنوع و مهم است.															
	سرعت ساخت		با افزایش تعداد مراحل ساخت در محل، سرعت ساخت کاهش خواهد یافت. حمل‌ونقل ادوات و قطعات (به ویژه قطعات پیش ساخته) با توجه به اندازه و وزن آن‌ها نقش مهمی در سرعت ساخت دارد. روسازی بالاستی (۱۰۰۰ متر در روز) و روسازی بدون‌بالاست رها (۵۰۰ متر در روز)															
	نگهداری و تعمیر در خط بالاستی و بدون‌بالاست		با افزایش تناژ عبوری از روی خط، نیاز به نگهداری و تعمیر در خط بدون‌بالاست کمتر از خط بالاستی است.															
	معیارهای نگهداری و تعمیر		<table><tr><td rowspan="4">ب. س. ب.</td><td>بالاستی</td><td>بدون‌بالاست</td></tr><tr><td>$V \leq 100$</td><td>۴ و -۲</td><td>۲ و -۲</td></tr><tr><td>$100 < V \leq 120$</td><td>۶ و -۲</td><td></td></tr><tr><td>$120 < V \leq 160$</td><td>۶ و -۲</td><td>۳ و -۲</td></tr><tr><td></td><td>خطوط پرسرعت</td><td>۲ و -۲</td><td>۱ و -۱</td></tr></table>	ب. س. ب.	بالاستی	بدون‌بالاست	$V \leq 100$	۴ و -۲	۲ و -۲	$100 < V \leq 120$	۶ و -۲		$120 < V \leq 160$	۶ و -۲	۳ و -۲		خطوط پرسرعت	۲ و -۲
ب. س. ب.	بالاستی	بدون‌بالاست																
	$V \leq 100$	۴ و -۲	۲ و -۲															
	$100 < V \leq 120$	۶ و -۲																
	$120 < V \leq 160$	۶ و -۲	۳ و -۲															
	خطوط پرسرعت	۲ و -۲	۱ و -۱															
			در رواداری تراز طولی، تراز افقی، تراز عرضی و پیچش خط تفاوتی از نظر بالاستی یا بدون‌بالاست بودن خط آهن وجود ندارد.															
ملاحظات اقتصادی	هزینه احداث	سرمایه‌گذاری	مالکیت دارایی شامل زمین، احداث خط و ابنیه فنی و خطوط فرعی															
		مدیریت	هزینه‌های مدیریت، دستمزد، امنیت پلیس، برنامه و طرح، آموزش کارکنان، مشاوره (مشاوران خارجی)															
	هزینه نگهداری و تعمیر	نگهداری و تعمیرات	تعمیرات (خط، سوزن، بالاست، ایستگاه، پل، تونل، برق، سیگنالینگ و ارتباطات و ...)، نگهداری‌های فصلی، بازرسی‌های هندسی (هزینه برداشت اطلاعات هندسی) و بازرسی‌های دوره‌ای (هزینه پایش خط تحت ترافیک)															
		بهره‌برداری و خدمات	خدمات مربوط به پل‌ها، علائم ترافیکی، بهره‌برداری سیگنالینگ، جریان تراکشن، مصرف برق															
	هزینه بازسازی	نوسازی	بازسازی خط، ابنیه، نگهداری و تعمیرات اساسی (خط، سوزن، بالاست، ایستگاه، پل، تونل، برق بالاسری، سیگنالینگ و ارتباطات و ...)															
		استهلاک و اسقاط	استهلاک مصالح استفاده‌شده															
	هزینه عدم دسترسی	تأخیر	هزینه کارکنان، مصرف انرژی، هزینه وسایط نقلیه، هزینه‌های تجاری، واکنش مشتری															
		تعویق	جریمه‌های عدم در دسترس بودن															
	دوره عمر	طول عمر اجزاء زیرساخت		طول عمر اجزای خط بدون‌بالاست بیش از خط بالاستی است.														
		متوسط عمر روسازی		عمر متوسط روسازی بالاستی ۲۵ تا ۳۰ و روسازی بدون‌بالاست ۵۰ تا ۶۰ سال است.														
ملاحظات کارایی	قابلیت اعتماد		بررسی تأثیر RAMS بر نوع سیستم روسازی مستلزم انجام مطالعه دقیق با در نظر گرفتن پارامترهایی همچون سرعت، بار محوری، ترافیک تجمعی و سایر پارامترهای تأثیرگذار می‌باشد.															
	دسترسی‌پذیری																	
	قابلیت نگهداری																	
	ایمنی																	

فصل ۴

فرآیند تصمیم‌گیری

انتخاب سیستم روسازی

۴-۱- مقدمه

در این فصل فرآیند تصمیم‌گیری در انتخاب سیستم روسازی تشریح شده است. بر این اساس لازم است میزان تناسب و تطابق قابلیت‌های نوع سیستم روسازی با شرایط و نیازمندی‌های هر پروژه بررسی گردد. این بررسی شامل حوزه‌های اصلی شرایط عملکردی و بهره‌برداری پروژه، ویژگی‌های فنی زیرساخت، شرایط زیست‌محیطی و تحلیل اقتصادی (تحلیل هزینه‌های چرخه عمر) می‌باشد. چنانچه در فصل قبل نیز گفته شد، تحلیل کارایی (RAMS) الزامی نمی‌باشد. بکارگیری این تحلیل با هدف بهبود مدیریت زیرساخت ریلی و افزایش کیفیت بهره‌برداری از خطوط، در پروژه‌های ریلی با اهمیت بالا (مانند احداث خطوط ریلی پرسرعت و یا باری سنگین)، توصیه می‌شود. همچنین در این فصل یک مدل عمومی برای فرآیند انتخاب روسازی به‌عنوان راهنمای گام‌های تصمیم‌گیری ارائه شده است. شایان‌ذکر است بر اساس مدل عمومی ارائه‌شده در این فصل، در پیوست الف، یک نمونه مثال موردی از انتخاب سیستم روسازی برای خطوط معمولی ارائه شده است. در پروژه‌های ریلی با اهمیت بالا (مانند احداث خطوط پرسرعت و باری سنگین) که به دلایلی از قبیل نیاز به سرمایه‌گذاری اولیه کلان و نیاز به تأمین ایمنی در سطح بالا، از حساسیت بیشتری برخوردار است، ورود به جزئیات فنی و اقتصادی با دقت بالاتر و استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری پیشرفته‌تر ضروری است. بدین منظور لازم است روند انتخاب سیستم روسازی بر اساس فرآیند و مدل عمومی ارائه‌شده در این فصل و با بکارگیری روش تصمیم‌گیری مناسب و به فراخور اقتضائات پروژه، توسط تیمی مجرب از متخصصین این حوزه پیگیری شود. روش‌ها و مدل‌های مطرح تصمیم‌گیری در حوزه انتخاب روسازی در پیوست ب ارائه و به‌اختصار معرفی شده‌اند.

۴-۲- تعامل طراحی و انتخاب نوع مسیر

یکی از موضوعاتی که در انتخاب نوع روسازی حائز اهمیت است، حرکت توأمان فرآیند طراحی و انتخاب مسیر است. زیرا مراحل احداث مسیر ریلی و روند پیشروی در پروژه احداث خط، نقش تعیین‌کننده‌ای در بهینه‌سازی طراحی خط دارد. به‌عبارت‌دیگر، ورودی اولیه در تحلیل انواع خط در فرآیند تصمیم‌گیری، «ویژگی‌های لایه‌های تکیه‌گاهی خط» است که دسترسی به این مشخصات به‌واسطه پیشبرد هم‌زمان فرآیند طراحی و انتخاب سیستم روسازی میسر می‌شود. همچنین به کمک نتایج حاصل از تحلیل این لایه‌ها می‌توان فرآیند بازنگری، بهبود یا اصلاح طرح اولیه زیرساخت را پی‌ریزی نمود. به‌علاوه، ارزیابی میزان تناسب نوع خط انتخاب‌شده با شرایط موجود به‌واسطه این تحلیل امکان‌پذیر است و می‌توان مراحل اولیه انتخاب مسیر را متناسب با ویژگی‌های فنی حاصل از تحلیل، بررسی نمود.

در جدول ۴-۱، تعامل مفهومی بین مراحل اصلی طراحی خط و تحلیل نوع مسیر نشان داده شده است. با استفاده از ارزیابی گزینه‌های مختلف روسازی می‌توان ورودی و خروجی‌های مختلف را از آغاز طراحی تا پایان آن مورد بررسی قرار داد و از طریق ارزیابی آن‌ها، طراحی اولیه و سپس طراحی دقیق به همراه جزئیات را انجام داد. لازم به ذکر است که از

زمان آغاز پروژه، باید ویژگی‌های عملیاتی بلندمدت مسیر (شامل سرعت، بار محوری و ترافیک تجمعی خط) تعیین شود و سپس بر اساس برآوردهای موجود، میزان تقاضای خط در بلندمدت تخمین زده شود. از طرف دیگر، تحلیل شرایط طبیعی محل به عنوان یک ورودی کلیدی در شروع فرآیند طراحی و انتخاب سیستم بسیار حائز اهمیت است. در گام بعد، با توجه به اطلاعات حاصل از مراحل مذکور، انتخاب سیستم آغاز می‌شود که وجود پیکان‌های دوطرفه در جدول ۴-۱، حاکی از همین موضوع است.

با شروع فرآیند انتخاب سیستم، طراحی نیز به صورت توأمان و در دو مرحله «طراحی اولیه» و «طراحی دقیق» آغاز می‌شود. در طراحی اولیه، الزامات معرفی شده در فصل سوم برای هر گزینه بررسی می‌شود و سپس در طراحی دقیق، بر اساس نتایج حاصل از طراحی اولیه، مناسب‌ترین نوع روسازی انتخاب می‌شود.

جدول ۴-۱ تعامل طراحی و انتخاب نوع مسیر

اطلاعات ورودی/خروجی	روند اجرا
- ویژگی‌های عملیاتی بلندمدت (نوع ترافیک (پرسرعت، مسافری، باری، مختلط)، سرعت بهره‌برداری، حداکثر بار محوری و ...) - پیش‌بینی تقاضا در بلندمدت (ویژگی‌های بهره‌برداری، درآمدها و ...)	شروع طراحی
- شرایط طبیعی محلی (وضعیت اقلیمی و آب و هوایی، وضعیت ژئوتکنیکی، شرایط توپوگرافی و ...)	تحلیل کریدور
- ویژگی‌های هندسی مسیر مانند پلان و پروفیل، هندسه مقطع خط و .. - خصوصیات اصلی عملیات عمرانی، وضعیت لایه‌های پشتیبان و ابنیه فنی (خاکریز و ترانشه، تونل‌ها، پل‌ها، ابروها)	گزینه‌های مسیر، ارزیابی محیطی
- تقاضا برای تغییر کاربری (تصحیح مشخصات، ویژگی‌ها و رقوم زمین). - ترازبندی دقیق - تعریف دقیق عملیات خاکی، تونل و پل - هزینه سرمایه‌گذاری اولیه (با در نظر گرفتن هزینه‌های زیست‌محیطی مانند انتشار CO₂، صدا و ارتعاشات)	طراحی اولیه
تحلیل و شناخت مناسب‌ترین نوع روسازی انتخاب نوع خط	طراحی دقیق

۴-۳- راهنمای فرآیند انتخاب و تحلیل تناسب سیستم روسازی

به منظور ایجاد قابلیت مقایسه بین گزینه‌های روسازی و انتخاب بهترین گزینه لازم است در گام اول، اطلاعات کافی در مورد هر یک از گزینه‌ها جمع‌آوری شود. مؤثرترین اطلاعاتی که در فرآیند انتخاب روسازی وارد می‌شوند، در بخش‌های قبلی بررسی شدند. لازم به ذکر است که هدف نهایی تحلیل سیستم روسازی، تنها تصمیم‌گیری بین خط بالاستی و بدون بالاست نیست، زیرا برای هر پروژه یک راه‌حل واحد وجود ندارد، بلکه راهکارهای مختلفی وجود دارد که با توجه به

موقعیت، اهداف، مشخصات و وضعیت پروژه، مزایای خاصی را ارائه می‌دهد. به همین علت لازم است در طی فرآیند تصمیم‌گیری و انتخاب گزینه مناسب، چهار موضوع اصلی را مورد بررسی قرار داد:

۱- شرایط عملکردی و بهره‌برداری

۲- ویژگی‌های فنی زیرساخت

۳- شرایط زیست‌محیطی

۴- تحلیل اقتصادی و کارایی.

نتیجه حاصل از تحلیل سه موضوع اول، اعمال محدودیت‌هایی در طراحی عملیات عمرانی و روسازی مسیر و تثبیت مقادیر آستانه (حدی) برای اطمینان از سازگاری طرح با نیازهای عملیاتی، بهره‌برداری، زیست‌محیطی و نیازهای فنی زیرساخت خواهد بود. این امر مستلزم آن است که بررسی‌های عملکردی و زیرساختی، فنی و زیست‌محیطی در سه گام دنبال شود:

۱- تعیین ورودی‌های موردنیاز در هر تحلیل

۲- خروجی‌های حاصل از تحلیل

۳- روش تحلیل و در صورت لزوم، استفاده از روش‌های تحلیل ویژه.

هر یک از عوامل مذکور، در زیر بخش‌های مربوطه در ادامه تشریح شده است. از دیدگاه مهندسی، هر دو خط بالاستی و بدون‌بالاست تقریباً در تمامی موارد برای رفع نیاز کاربر مناسب است. مگر در موارد ویژه که یک یا چند الزام فنی به آستانه بحران رسیده و منجر به حذف یکی از دو سیستم فوق از فرآیند تصمیم‌گیری شود.

زمانی که هیچ‌یک از الزامات فنی به آستانه بحران نرسید (به عبارت دیگر، هنگامی که معیار فنی نتوانست یکی از سیستم‌های روسازی را از رقابت حذف کند)، می‌توان نتایج حاصل از تحلیل آن گزینه را کمی‌سازی نمود و سپس از آن به عنوان ورودی تحلیل نهایی هزینه دوره عمر استفاده کرد. این کمی‌سازی باید برحسب موارد زیر انجام شود:

۱- هزینه‌ها: شامل هزینه سرمایه‌گذاری، نگهداری و تعمیر، نوسازی مسیر، هزینه پایان دوره عمر و هزینه‌های تأمین

مالی سیستم

۲- در اختیار داشتن خط برای نگهداری و نوسازی

۳- تأثیر شرایط بهره‌برداری بر درآمد حاصل از خط.

۴-۳-۱- بررسی شرایط عملکردی و بهره‌برداری

سه ویژگی که باید با توجه به شرایط عملکردی و بهره‌برداری کمی‌سازی شوند عبارت‌اند از:

- وضعیت دسترسی به خط جهت انجام عملیات نگهداری و نوسازی؛

- تغییر در شرایط بهره‌برداری؛

- قابلیت استفاده از انواع مختلف روسازی در مسیر و ارزیابی سازگاری آن‌ها با یکدیگر.

به منظور کمی سازی موارد فوق لازم است اثر انتخاب سیستم خط بر حسب موارد زیر کمی سازی شود:

- الزامات نگهداری مسیر؛
- الزامات نوسازی؛
- محدوده دور مورد نیاز برای انواع مختلف خط؛
- قابلیت تنظیم تراز قائم و جانبی در انواع مختلف خط؛
- تأثیر نواحی انتقال.

بنابراین، ورودی ها، خروجی ها و روش های تحلیل شرایط عملکردی و بهره برداری به صورت خلاصه در جدول ۴-۲ تبیین شده است.

جدول ۴-۲ شرایط عملکردی و بهره برداری

ورودی	خروجی
- در دسترس بودن خط برای انجام عملیات نگهداری و نوسازی، متناسب با نیازهای عملکردی و بهره برداری - بار ترافیک و سرعت، حجم و تراکم ترافیک در حالت اشباع - دور مورد نیاز برای انواع مختلف خط - قابلیت تنظیم تراز قائم و جانبی در انواع مختلف مسیر	- الزامات نگهداری خط در هر نوع مسیر و برآورد هزینه ها - الزامات نوسازی در هر نوع مسیر و برآورد هزینه ها - تعیین دور و راهکارهای فنی برای هر نوع خط و برآورد هزینه ها - الزامات مربوط به نواحی انتقال، و برآورد هزینه ها
تحلیل مورد نیاز	روش های تحلیلی ویژه
- تحلیل رفتار خط (مکانیکی و عملکردی) - خطر پرش بالاست، به منظور تعیین آستانه فنی مربوط به پرش بالاست در خطوط پرسرعت - محدوده دور مورد نیاز برای خطوط گوناگون، به منظور تعیین هزینه های موجود مانند هزینه محدودسازی شرایط بهره برداری - روش های تحلیل رفتار یکپارچه مسیر و وسیله نقلیه، به منظور تعیین هزینه های نگهداری از کیفیت هندسه مسیر در خطوط گوناگون - روش های تحلیل نواحی انتقال، به منظور تعیین نیاز به استفاده از ناحیه انتقال - تکنیک های مدیریت دارایی، به منظور برنامه ریزی نوسازی	- روش های تحلیل خطر پرش بالاست - روش های تحلیل تعیین دور - روش های تحلیل رفتار یکپارچه مسیر و وسیله نقلیه - روش های تحلیل نواحی انتقال

۴-۳-۲- بررسی ویژگی های فنی زیرساخت

این بخش از تحلیل، جهت حصول اطمینان از وضعیت پایداری هندسه مسیر و کیفیت آن و همچنین سلامت ساختارهای موجود در خط تبیین شده است.

ورودی این تحلیل از طراحی اولیه حاصل می‌شود، لیکن نتایج تحلیل فنی اندرکنش زیرسازی و خط می‌تواند بر طراحی اولیه اجزای سازنده خط تأثیر بگذارد و بنابراین، پس از دریافت بازخورد از تحلیل فنی فوق، لازم است از اطلاعات حاصل از این تحلیل به‌عنوان ورودی مرحله جدید استفاده کرد.

به‌منظور کمی‌سازی اثر انتخاب سیستم خط بر ویژگی‌های فنی زیرساخت لازم است موارد زیر لحاظ شود:

۱- اثر تغییرات زیرساخت (تخریب) بر کیفیت هندسه مسیر؛

۲- اثر تغییرات زیرساخت (خستگی) بر سلامت سازه مسیر.

در مرحله دوم، ارزیابی سازگاری خط با تغییر شکل و نشست زیرسازی، با توجه به حرکات ارتجاعی آبی و نشست‌های تدریجی، ضروری خواهد بود. در جدول ۴-۳، خلاصه‌ای از ورودی‌ها، خروجی‌ها و روش‌های تحلیل این بخش آمده است.

جدول ۴-۳ بررسی ویژگی‌های فنی زیرساخت

ورودی	خروجی
- طراحی اولیه مسیر در تراز افقی و قائم - طراحی مقدماتی عملیات خاکی، تونل‌ها و پل‌ها - سیگنالینگ و تجهیزات زیرسیستم‌های الکتروتکنیکال - داده‌های مربوط به وضعیت فیزیکی محل، شامل داده‌های ژئوتکنیکی و نیازهای زهکشی - حساسیت به نشست در خطوط مختلف، ازجمله بررسی نتایج حاصل از خطر آسیب و اقدامات کاهش نشست در خطوط مختلف - قابلیت تنظیم تراز قائم و جانبی در خطوط مختلف	- الزامات فنی زیرساخت در خطوط مختلف (با در نظر گرفتن امکان بازخورد بین این الزامات و طراحی اولیه) شامل: - الزامات فنی عملیات خاکی - الزامات فنی تونل‌ها - الزامات فنی پل‌ها - دیگر الزامات فنی - برآورد هزینه زیرساخت نهایی در خطوط مختلف
تحلیل موردنیاز	روش‌های تحلیلی ویژه
- تحلیل نشست بستر: تحلیل الزامات فنی ویژه در عملیات خاکی برای خطوط مختلف - تحلیل بهسازی بستر به‌منظور رفع شرایط ضعیف زیرسازی و جلوگیری از رسیدن به آستانه‌های فنی در خطوط مختلف - بررسی وضعیت سرویس‌دهی پل‌ها، ازجمله تحلیل محدودیت‌های موجود در خطوط مختلف (مانند محدودیت دوران و نیروهای بالابرنده در انتهای پل و درزهای انبساط) - بررسی اندرکنش طولی خط و پل، شامل تعیین روش استفاده از ادوات اتصال ویژه با مقاومت کمتر در برابر لغزش طولی در خطوط بدون بالاست روی پل‌ها	- بررسی تغییرات نشست بستر - تحلیل قابلیت سازگاری خط با نشست‌های نامتقارن کنترل نشده - بررسی پاسخ مکانیکی خط نسبت به نشست نسبی نامتقارن - بررسی تکنیک‌های بهسازی بستر - تحلیل آستانه فنی سرویس‌دهی در پل‌ها - تحلیل اندرکنش طولی پل و خط

۴-۳-۳- بررسی شرایط زیست محیطی

مهم‌ترین اثرات زیست محیطی خط آهن ناشی از فرایندهایی همانند حمل و نقل مصالح، استخراج مصالح، استفاده از مصالح بازیافتی و ... هستند که منجر به تغییرات اقلیمی (مانند آلودگی ناشی از گازهای گلخانه‌ای مانند CO_2)، آلودگی هوا، کیفیت آب، کیفیت خاک، تنوع زیستی و چشم‌اندازهای بصری و فیزیکی می‌شوند.

در این بخش، دو هدف اصلی دنبال می‌شود:

- ایجاد الزامات زیرساختی مبتنی بر خط- محیط زیست، از جمله عناصر مورد نیاز برای کاهش صدا و ارتعاش و الزامات زیرساختی جهت اطمینان از محدود شدن انتشار صوت و ارتعاش در حد مقادیر مجاز.

- تحلیل اثر کربن در انواع مختلف خط

داده‌های ورودی این تحلیل، از طراحی اولیه استخراج می‌شود، اما همان‌طور که در مورد ویژگی‌های فنی زیرساخت نیز بیان شد، نتایج تحلیل شرایط محیطی می‌تواند بر برخی از عناصر طراحی اولیه تأثیر بگذارد (جدول ۴-۴).

جدول ۴-۴ شرایط زیست محیطی (کاهش صدا و ارتعاش، زیرساخت مورد نیاز و ...)

خروجی	ورودی
• سطوح انتشار صدا در هر نوع خط: - سطوح انتشار ارتعاش در هر نوع خط - طراحی اجزای کاهش‌دهنده صدا و ارتعاش و سایر الزامات زیرساختی مبتنی بر محیط در هر نوع خط • ارزیابی هزینه‌های مربوط به مسیر و پیرامون آن محیط با توجه به الزامات زیرساختی در هر نوع خط • ارزیابی اثر کربن (انتشار CO_2 در هر نوع خط) • برآورد نهایی هزینه‌های زیست محیطی در هر نوع خط	• طراحی اولیه مسیر، از جمله مقطع عرضی و پروفیل خط • طراحی مقدماتی عملیات خاکی، تونل و آبرو • داده‌های وضعیت فیزیکی محلی: - داده‌های ژئوتکنیکی، از جمله گزارش ژئوتکنیکی زمین با توجه به سرعت امواج S - داده‌های محیط شهری، از جمله فهرستی از ساختمان‌های بالقوه آسیب و ساختمان‌های ویژه • ارزیابی اثرات زیست محیطی، از جمله محدودیت صدا و ارتعاش • داده‌های ترافیک: پیش‌بینی تمام پارامترهای درگیر در تحلیل انتشار صدا و ارتعاش، از جمله نوع قطار، بار، سرعت و تراکم ترافیک • تفاوت بین اثر کربن (عوامل آشکار و پنهان) در انواع مختلف خطوط
روش‌های تحلیلی ویژه	تحلیل مورد نیاز
• تحلیل انتشار صدا • تحلیل انتشار ارتعاش	• تحلیل سطوح انتشار صدا و طراحی اجزای کاهش‌دهنده آن • تحلیل سطوح انتشار ارتعاش و طراحی اجزای کاهش ارتعاش • ارزیابی اثر کربن

۴-۳-۴- تحلیل اقتصادی (هزینه چرخه عمر)

در صورتی که گزینه‌های مناسب طراحی، حداقل سطح عملکرد مورد نیاز را برآورده کنند، اما هزینه سرمایه‌گذاری اولیه، هزینه بهره‌برداری، نگهداری و نوسازی و درآمدهای بهره‌برداری متفاوت داشته باشند، استفاده از تحلیل هزینه چرخه عمر جهت ارزیابی این گزینه‌ها مناسب است.

سرمایه‌گذاری هوشمند در ارزیابی هزینه گزینه‌های مختلف روسازی خطوط، سرمایه‌گذاری است که کمترین هزینه را در مالکیت و بهره‌برداری به همراه دارد. از آنجاکه هزینه بهره‌برداری در طول عمر راه‌آهن چندین برابر هزینه اول است، تصمیم‌گیرنده محتاط تمام هزینه‌های مربوط به هر گزینه، مانند پیش‌بینی هزینه‌های آتی و اختلاف درآمدها را در تحلیل خود در نظر می‌گیرد.

تحلیل اختلاف درآمدهای موجود در خط آهن بسیار دشوار است. به همین علت، اگر کل خط به‌منظور دستیابی به درآمد مشابه طراحی شود، می‌توان از اختلاف موجود در درآمد صرف‌نظر کرد. به‌منظور جلوگیری از نیاز به تخمین هزینه‌های اجتماعی، خطوط مختلف از نظر هزینه‌های اجتماعی نیز مشابه در نظر گرفته می‌شوند (به‌عنوان مثال، مسائل مربوط به راحتی مسافر و انتشار صدا و ارتعاش). این موضوع در جدول ۴-۵ نشان داده شده است. بنابراین به‌منظور نادیده گرفتن درآمدهای متمایز و هزینه‌های اجتماعی، موارد زیر به‌عنوان ورودی تحلیل هزینه دوره عمر در نظر گرفته می‌شوند:

- سرمایه‌گذاری اولیه (زیرساخت + خط)

- هزینه تعمیر و نگهداری

- هزینه نوسازی

- هزینه تأمین مالی

در طی مراحل مختلف طراحی و انتخاب نوع مسیر لازم است به فرآیند تحلیل و ارزیابی ریسک در هر گام توجه نمود. بدین منظور، استفاده از روش‌های متداول ایمنی (CSM^۱)، با در نظر گرفتن عوامل انسانی توصیه می‌شود. مراجع ارزیابی ریسک شامل دستورالعمل EU/۲۰۱۳/۴۰۲ و استاندارد EN 50126-50128 می‌باشد. فارغ از جنبه‌های ایمنی، عملکرد شبکه راه‌آهن تا حد زیادی به در دسترس بودن خطوط آن بستگی دارد. زمانی دسترسی‌پذیری راه‌آهن اهمیت بیشتری می‌یابد که درآمدهای مالک زیرساخت یا اپراتورهای خط، مستقیماً به میزان دسترسی خط وابسته باشد. بنابراین مراجعه به ملاحظات کارایی انتخاب سیستم روسازی در فرآیند عمومی تصمیم‌گیری می‌تواند به‌عنوان یکی از آیتم‌های تحلیل در نظر گرفته شود.

^۱ Common Safety Methods

جدول ۴-۵ تحلیل LCC

ورودی	خروجی
- گزینه‌های شناسایی شده: طراحی اولیه با داده‌های طراحی مرتبط و الزامات زیرساختی که حداقل سطح عملکرد مورد نیاز را به منظور تحقق فرضیه عملکرد مشابه انواع خطوط. برآورده کند، - برآورد هزینه‌ها: این داده ورودی از نتایج حاصل از تحلیل در بخش قبل بدست می‌آیند. - ارزیابی پارامترهای رایج برای تحلیل اقتصادی: - تاریخ پایه: زمانی که در آن تمام هزینه‌های مربوط به پروژه در یک تحلیل هزینه دوره عمر (LCCA^۱) تنزیل می‌شوند. - تاریخ بهره‌برداری: زمانی که انتظار می‌رود خط تا آن زمان سرویس‌دهی کند. - نرخ تنزیل و تورم: ضروری است که برای محاسبه LCCA در گزینه‌های مختلف روسازی و امکان مقایسه منطقی گزینه‌ها، از نرخ تنزیل و تورم یکسان استفاده شود.	- هزینه دوره عمر (LCC^۲) در هر نوع روسازی: هنگامی که بتوان به کمک نرخ تنزیل، هزینه، تاریخ پایه و زمان بهره‌برداری را برای روسازی‌های مختلف تخمین زد، می‌توان LCC را برای هر گزینه محاسبه کرد. جهت تخمین هزینه‌های مرتبط، لازم نیست تمام هزینه‌هایی ممکن را در برآورد تقریبی وارد نمود و تنها لازم است هزینه‌هایی را که به تصمیم مربوط می‌شوند، در تخمین وارد ساخت. گنجاندن هزینه‌هایی که تقریباً برای سیستم‌های مسیرهای مختلف یکسان هستند، نتایج اشتباهی ایجاد نمی‌کند، ولیکن منجر به بار آمدن هزینه‌های اضافی جمع‌آوری و تجزیه و تحلیل داده‌ها شود که می‌توان از آن اجتناب کرد. برای مثال، تنها زمانی لازم است هزینه‌های زیرساختی در محاسبه LCC وارد شود که الزامات زیرساخت در روسازی‌های مختلف، متفاوت باشد. - توصیه‌های اقتصادی در مورد تصمیم نهایی: نتایج LCCA باید به عنوان یک عنصر اساسی در تصمیم نهایی در نظر گرفته شود. هرچند این نتایج برای اخذ تصمیم‌هایی لازم‌اند، اما کافی نخواهند بود.
تحلیل مورد نیاز	روش‌های تحلیلی ویژه
- ارزیابی عدم قطعیت داده‌های ورودی و پارامترهای اقتصادی - برآورد LCC در هر نوع روسازی - تحلیل نهایی LCC	- ارزیابی عدم قطعیت داده‌های ورودی و پارامترهای اقتصادی - تحلیل نهایی احتمالی LCC

۴-۴-۴ مدل سازی فرآیند انتخاب روسازی

روش تحلیل گزینه‌های روسازی با اعمال محدودیت‌های فنی در طرح عملیات عمرانی روسازی و تعیین مقادیر آستانه برای اطمینان از سازگاری طرح با نیازهای عملیاتی، بهره‌برداری، زیست‌محیطی و نیازهای فنی زیرساخت توسعه یافته است. به علاوه، مزیت اقتصادی سیستم روسازی به عنوان تعیین کننده‌ترین معیار در بین سایر معیارها شناخته شده و می‌توان از نتایج حاصل از تحلیل هزینه دوره عمر هر یک از گزینه‌ها در تعیین نوع روسازی استفاده کرد.

۴-۴-۱-۱ مدل عمومی انتخاب نوع سیستم روسازی

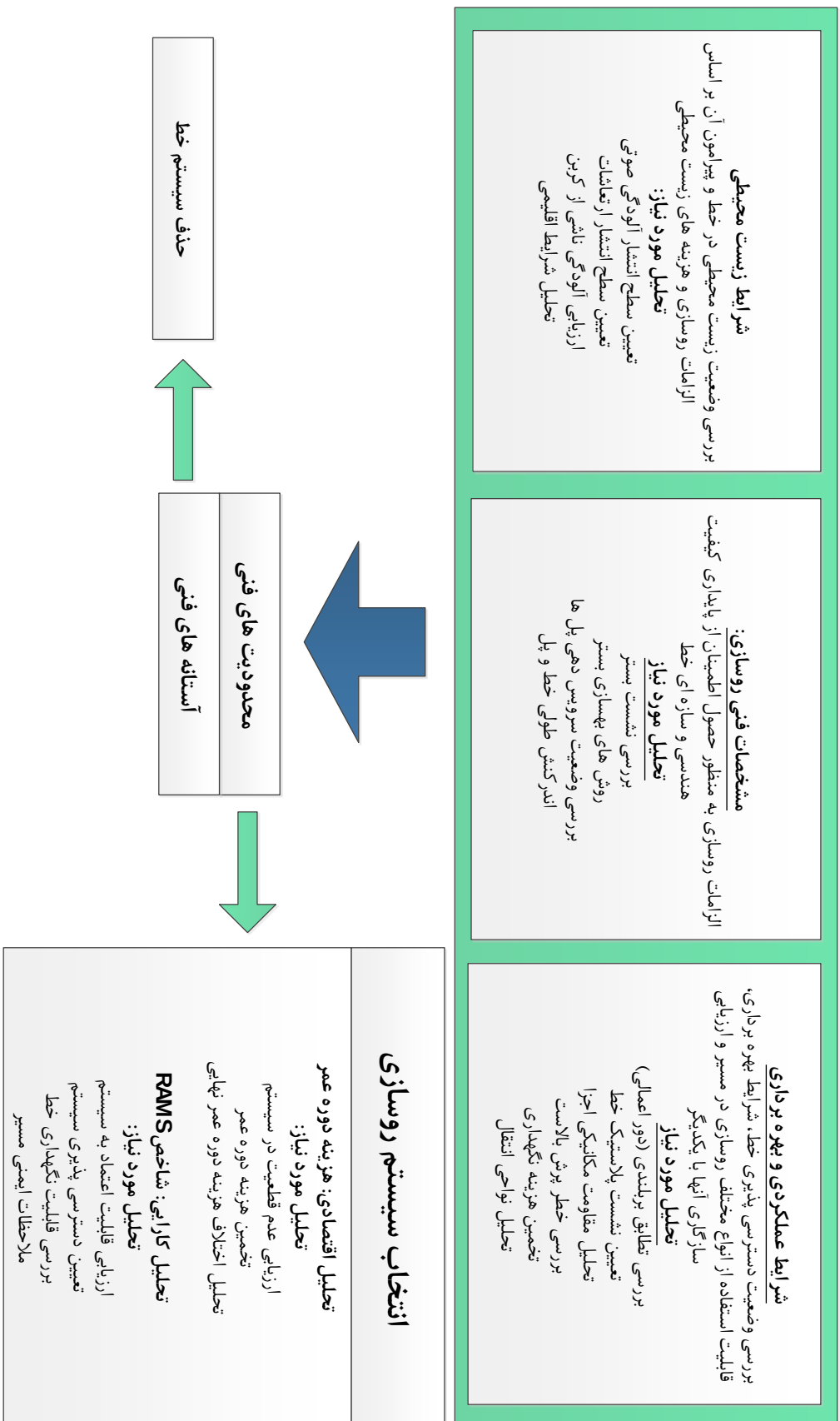
مدل عمومی تصمیم‌گیری در حوزه انتخاب سیستم روسازی از چهار بخش اصلی تشکیل می‌شود. همان‌طور که در شکل ۴-۱ نشان داده شده است، ابتدا باید سه گام تحلیلی به قرار زیر پیگیری شود:

^۱ Life Cycle Cost Analysis (LCCA)

^۲ Life Cycle Cost (LCC)

- تحلیل شرایط عملکردی و بهره‌برداری
- تحلیل ویژگی‌های زیرساختی
- تحلیل شرایط زیست‌محیطی

نتایج سه گام مذکور منجر به اعمال محدودیت‌هایی در طراحی می‌شوند و در مواردی که وضعیت یک گزینه، از آستانه های فنی شرایط عملکردی، بهره‌برداری، زیرساختی و زیست‌محیطی تجاوز کند، آن گزینه حذف می‌شود. در مرحله بعد، یک گروه منتخب از گزینه‌های روسازی باقی می‌مانند که به‌منظور انتخاب یک گزینه از بین آن‌ها به تحلیل اقتصادی «هزینه دوره عمر» و ملاحظات کارایی (در صورت انجام) مراجعه می‌شود. لازم به ذکر است که به‌منظور تحلیل گزینه‌های منتخب می‌توان نتایج حاصل از تحلیل محدودیت‌های فنی در گزینه‌های دیگر را کمی‌سازی و وزن‌دهی کرد و به‌عنوان ورودی برای تحلیل هزینه چرخه عمر نهایی مورد استفاده قرار داد.



شکل ۴-۱ مدل عمومی انتخاب سیستم روسازی

پیوست الف

نمونه ای از فرآیند انتخاب روسازی

در خطوط معمولی

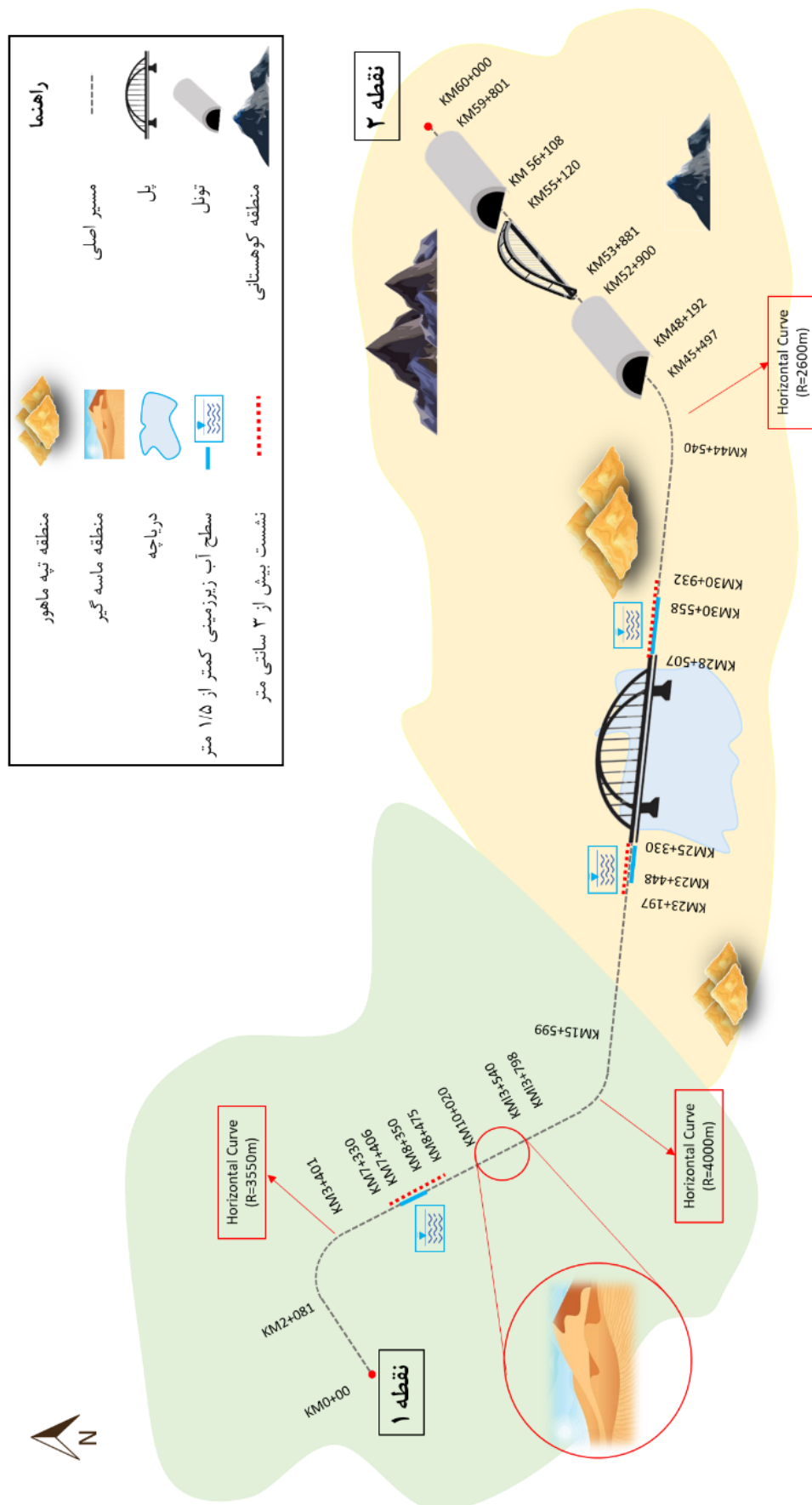
الف-۱- مقدمه

در این پیوست، به منظور تشریح نحوه استفاده از مدل عمومی تصمیم‌گیری ارائه‌شده در فصل چهارم، یک نمونه مثال کاربردی از انتخاب سیستم روسازی پروژه‌های ریلی (به‌استثنای پروژه‌های ریلی پرسرعت و یا باری سنگین که نیازمند استفاده از روش‌های پیشرفته و با جزئیات بیشتر است) ارائه شده است. در این مثال تلاش شده است تا به کمک الزامات فنی و ملاحظات اقتصادی ارائه‌شده در فصل سوم و با بهره‌گیری از مدل عمومی تصمیم‌گیری ارائه‌شده در فصل چهارم، نوع روسازی برای یک خط ریلی با مشخصاتی که در ادامه آمده است، تعیین شود.

لازم به ذکر است در این مثال با توجه به شرایط و فرضیاتی که ارائه شده است، تنها از بخشی از الزامات فنی ارائه‌شده در فصل سوم استفاده شده است و بنابراین لازم است در هر پروژه به تناسب وضعیت فنی حاکم بر منطقه، تمامی الزامات تأثیرگذار بر انتخاب روسازی در آن منطقه مدنظر قرار گیرد. به‌علاوه، هزینه‌های مورد استفاده در این مثال (شامل هزینه ساخت، نگهداری و نوسازی) به صورت تخمینی برآورد شده‌اند. بدیهی است در صورتی که هر یک از داده‌های مورد استفاده در این مثال دستخوش تغییر قرار گیرد، می‌تواند تغییراتی را در نوع سیستم روسازی پیشنهادشده ایجاد کند.

الف-۲- معرفی پروژه

مطابق شکل الف-۱، یک مسیر ریلی از نقطه ۱ به نقطه ۲ به طول ۶۰ کیلومتر در دست احداث است. ترافیک عبوری از روی خط از نوع مختلط (مسافر و بار) بوده و حداقل و حداکثر سرعت بهره‌برداری از خط به ترتیب ۸۰ و ۱۶۰ کیلومتر بر ساعت است. کریدور مورد بررسی از نقطه ۱ در KM 0+000 شروع شده و در محل نقطه ۲ در KM 60+000 خاتمه می‌یابد. در این کریدور هیچ‌گونه زیرساخت ریلی احداث نشده و بنابراین هیچ تأسیسات ریلی دیگری وجود ندارد که قابلیت استفاده و یا ادغام در زیرساخت تازه احداث را داشته باشد.



شکل الف-۱ شمای کلی کریدور مورد بررسی

الف-۲-۱- مشخصات هندسی مسیر

الف-۲-۱-۱- پلان مسیر

در جدول الف-۱، مشخصات پلان مسیر برای حداکثر سرعت ۱۶۰ km/h ارائه شده است. بنابر نتایج حاصل از مطالعات اولیه، در کریدور مورد بررسی ۳ قوس دایره‌ای و ۶ کلوتوئید مورد نیاز است که مشخصات آن‌ها در جدول الف-۲ نشان داده شده است.

جدول الف-۱- مشخصات پلان مسیر

پارامتر هندسی	مطالعات اولیه	مقادیر معمول موجود در کریدور
حداقل شعاع قوس دایره‌ای (m)	۳۵۵۰	~۳۰۰۰
حداقل طول کلوتوئید (m)	۲۰۰	~۳۰۰
حداکثر دور اعمالی (mm)	۱۳۳	~۱۲۰
حداقل طول قوس دایره‌ای (m)	۱۲۰۰	۹۵۷
حداکثر مقدار کسری دور (mm)	-	۸۰
حداکثر مقدار اضافه دور (mm)	-	۸۰

جدول الف-۲- وضعیت پلان مسیر در کریدور مورد بررسی

نقطه شروع	نقطه پایان	نوع مسیر	طول مسیر (m)	مشخصات
KM0+00	KM1+697	مسیر مستقیم	۱۶۹۷	-
KM1+697	KM2+081	کلوتوئید	۳۸۴	A=۱۱۶۷
KM2+081	KM3+401	قوس دایره‌ای	۱۳۲۰	R=۳۵۵۰ m
KM3+401	KM3+916	کلوتوئید	۳۸۴	A=۱۱۶۷
KM3+916	KM13+540	مسیر مستقیم	۹۶۲۴	-
KM13+540	KM13+798	کلوتوئید	۲۵۸	A=۶۸۱
KM13+798	KM 15+599	قوس دایره‌ای	۱۸۰۱	R=۴۰۰۰ m
KM 15+599	KM16+101	کلوتوئید	۲۵۸	A=۶۸۱
KM16+101	KM44+295	مسیر مستقیم	۲۸۱۹۴	-
KM44+295	KM44+540	کلوتوئید	۲۴۵	A=۴۸۵
KM44+540	KM45+497	قوس دایره‌ای	۹۵۷	R=۲۶۰۰ m
KM45+497	KM46+00	کلوتوئید	۲۴۵	A=۴۸۵
KM46+00	KM60+00	مسیر مستقیم	۱۴۰۰۰	-

A: پارامتر ثابت کلوتوئید

R: شعاع قوس

الف-۲-۱-۲- نیمرخ طولی مسیر

به منظور طراحی خط با ترافیک مختلط و حداکثر سرعت بهره‌برداری 160 km/h ، مشخصات نیمرخ طولی مسیر به شرح جدول الف-۳ در نظر گرفته شده است:

جدول الف-۳- وضعیت تراز قائم در کریدور مورد بررسی

مقادیر معمول موجود در کریدور	مقادیر استثنا	
۱۵	۱۸	حداکثر شیب و فراز (mm/m)
۲۲۰۰۰	۱۱۰۰۰	حداقل شعاع قوس قائم (m)
۱۲۵		حداقل طول مسیر مستقیم بین دو قوس قائم متوالی (m)

الف-۲-۲- وضعیت زمین شناسی کریدور مورد بررسی

این خط از منطقه دشت با لایه‌های خاکی آبرفتی (از $\text{KM}0+000$ تا $\text{KM}10+020$ به طول 10020 m) شروع شده و پس از عبور از منطقه ماسه‌گیر با خطر رخداد طوفان شن (از $\text{KM}10+020$ تا $\text{KM}13+540$ به طول 3520 m)، منطقه دریاچه‌ای با عمق کم ($\text{KM}25+330$ تا $\text{KM}28+507$ به طول 3177 m) و منطقه تپه‌ماهوری متشکل از سنگ‌های رسوبی (در دو قطعه، قطعه اول از $\text{KM}13+540$ تا $\text{KM}25+330$ به طول 11790 m و قطعه دوم از $\text{KM}28+507$ تا $\text{KM}48+192$ به طول 19685 m)، به منطقه کوهستانی می‌رسد (از $\text{KM}48+192$ تا $\text{KM}60+000$ به طول 11808 m). حداکثر ارتفاع خاکریزی حدود ۱۲ متر و حداکثر عمق خاکبرداری ۱۵ متر است. ارتفاع از سطح دریا از ۸۰۳ تا ۲۲۰۰ متر متغیر است. نتایج حاصل از اندازه‌گیری سطح آب زیرزمینی از بستر طبیعی زمین به کمک حفاری نشان می‌دهد که در ۳ قطعه از مسیر، سطح آب زیرزمینی کمتر از ۲,۵ متر (جدول الف-۴) و در سایر نقاط بیشتر از ۲,۵ متر است.

جدول الف-۴- وضعیت سطح آب زیرزمینی در کریدور مورد بررسی

ردیف	نقطه شروع	نقطه پایان	طول (m)	سطح آب زیرزمینی از بستر (m)	ارتفاع خاکریز (m)
۱	$\text{KM}7+406$	$\text{KM}8+350$	۹۴۴	۰,۲۵	۰,۳
۲	$\text{KM}23+448$	$\text{KM}25+330$	۱۸۸۲	۰,۸	۵
۳	$\text{KM}28+507$	$\text{KM}30+558$	۲۰۵۱	۰,۵	۴

با توجه به آن که ارتفاع خاکریز در قطعات $\text{KM}23+448$ تا $\text{KM}25+330$ و $\text{KM}28+507$ تا $\text{KM}30+558$ به ترتیب برابر با ۵ و ۴ متر است، فاصله سطح آب زیرزمینی از تاج ریل بیش از ۱,۵ m بوده و بنابراین محدودیتی در اجرای روسازی بالاستی یا بدون بالاست در این مناطق وجود ندارد. ولیکن در قطعه $\text{KM}7+406$ تا $\text{KM}8+350$ ، ارتفاع خاکریز برابر با ۰,۳ m است و فاصله سطح آب زیرزمینی از تاج ریل کمتر از ۱,۵m خواهد بود. بنابراین لازم است در این قطعه روسازی بالاستی اجرا شود و یا با اعمال اصلاحات در پروفیل طولی مسیر، ارتفاع خاکریز به اندازه‌ای افزایش یابد که اجرای روسازی

بدون بالاست در این قطعه بلامانع باشد که در این صورت باید هزینه افزایش ارتفاع خاکریز در هزینه ساخت خط بدون بالاست لحاظ شود.

الف-۲-۳- وضعیت ابنیه فنی مسیر

الف-۲-۳-۱- طراحی اولیه تونل ها

تونل های موجود در قطعه موردبررسی به صورت یک خطه طراحی شده است. این کریدور شامل دو تونل به طول کل ۸۴۰۱ متر است که به روش NATM احداث می شوند. با توجه به طراحی صورت گرفته، موقعیت تونل ها در طول مسیر در جدول الف-۵ ارائه شده است.

جدول الف-۵- تعداد و طول تونل های موجود در کریدور موردبررسی

ردیف	نوع ابنیه فنی	نقطه شروع	نقطه پایان	طول تونل (m)
۱	تونل شماره ۱	KM48+192	KM 52+900	۴۷۰۸
۲	تونل شماره ۲	KM56+ 108	KM 59+801	۳۶۹۳

الف-۲-۳-۲- طراحی اولیه پل ها

همان طور که در جدول الف-۶ نشان داده شده است، پروژه دارای دو پل با عرشه ۷ متری است که بر روی آن مسیر تک خطه طراحی شده و طول کل پل ها ۴۴۱۶ متر است.

جدول الف-۶- تعداد و طول پل های موجود در کریدور مورد بررسی

ردیف	نوع ابنیه فنی	نقطه شروع	نقطه پایان	نوع پل	طول پل (m)
۱	پل شماره ۱	KM25+330	KM28+507	پیوسته	۳۱۷۷
۲	پل شماره ۲	KM 53+881	KM55+ 120	پیوسته	۱۲۳۹

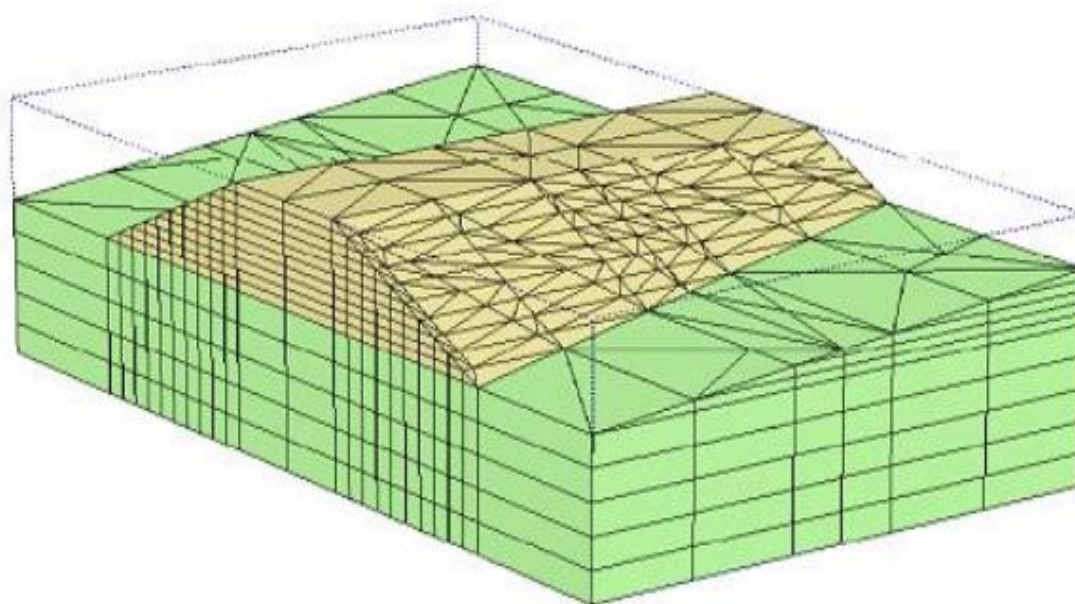
الف-۳- تحلیل معیارهای تأثیرگذار بر تصمیم گیری

مطابق با مدل عمومی تصمیم گیری ارائه شده در فصل چهارم، لازم است هر یک از شرایط عملکردی و بهره برداری، مشخصات فنی زیر ساخت و شرایط زیست محیطی مورد بررسی و تحلیل قرار گرفته و سپس با توجه به نتایج حاصل از تحلیل، روسازی مطلوب به قطعه موردبررسی اختصاص یابد. در این بخش، برای هر یک از تحلیل های مذکور، یک روش معرفی و نتایج حاصل از آن در تعیین سیستم روسازی مورد استفاده قرار گرفته است. بدیهی است روش های دیگری نیز برای انجام تحلیل های موردنظر وجود دارند که طراحان می توانند با توجه به نیاز پروژه و میزان دسترسی به داده موردنیاز، یکی از آن ها را انتخاب نمایند.

الف-۳-۱- تحلیل مشخصات فنی زیرساخت

الف-۳-۱-۱- تحلیل نشست بستر

تغییر شکل‌های مورد تحلیل در این بخش، نشست پلاستیک ایجادشده در خاکریز در درازمدت است که شامل تحلیل نشست طبیعی زمین به دلیل بار مرده (S_g)، نشست خاکریز ناشی از وزن خود (S_E) و نشست دائمی ناشی از بار ترافیک (S_T) می‌باشد (شکل ۳-۸). در این نمونه، از میان بسیاری از تکنیک‌های پیش‌بینی نشست، مدل سه‌بعدی خاکریز با در نظر گرفتن ارتفاع متفاوت، مورد استفاده قرار گرفته است (شکل الف-۲).



شکل الف-۲: نمونه ای از مدل اجزای محدود سه بعدی خاکریز و زمین طبیعی برای تحلیل نشست

پس از مدل‌سازی اجزای محدود خط ریلی در نرم‌افزارهای موجود، مقدار نشست محاسباتی یکنواخت در قطعات مورد بررسی تعیین و مشخص شد که مطابق با معیار ارائه‌شده در جدول ۳-۱۵، در برخی از قطعات، سطح نشست محاسباتی دارای مقادیر بالاتر از ۳۰ میلی‌متر است. این قطعات و مقدار نشست آن‌ها در جدول الف-۷ نشان داده شده است. شایان ذکر است در این مثال فرض شده است نشست نسبی در محدوده مجاز برای هر دو نوع سیستم روسازی بالاستی و بدون بالاست قرار دارد.

جدول الف-۷- قطعات با سطح نشست محاسباتی بالا

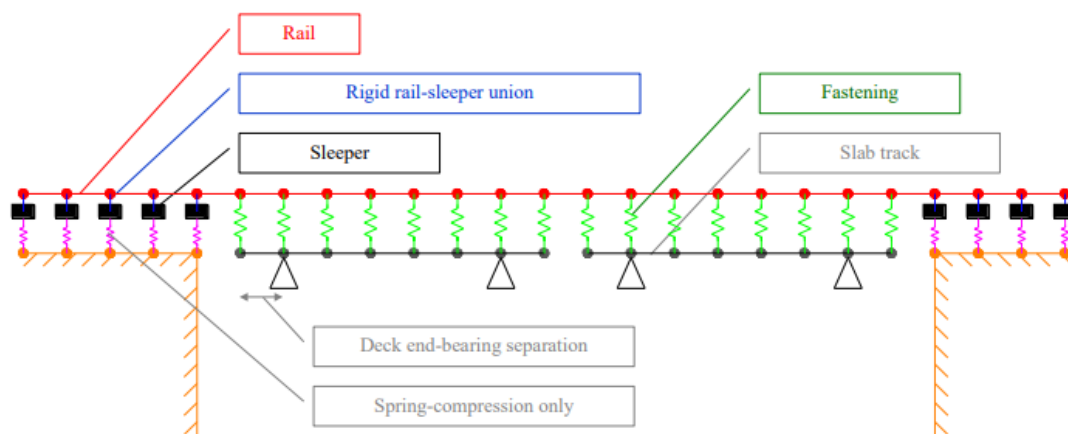
ردیف	نقطه شروع	نقطه پایان	طول	مقدار نشست یکنواخت (mm)
۱	KM7+330	KM8+475	۱۱۴۵	۵۴
۲	KM23+197	KM25+330	۲۱۳۳	۶۰
۳	KM28+507	KM30+932	۲۴۲۵	۵۰

الف-۳-۱-۲- تحلیل روش های بهسازی بستر

چنانچه در فصل سوم ارائه شد مقدار نشست مجاز برای خطوط معمولی با روسازی بالاستی حداکثر ۱۰۰ میلی‌متر و برای خطوط با روسازی بدون بالاست ۳۰ میلی‌متر می‌باشد. بر اساس نتایج بدست آمده در تحلیل نشست، میزان نشست بستر خط ریلی در صورت استفاده از سیستم روسازی بالاستی در محدوده مجاز قرار می‌گیرد. لکن در صورت استفاده از سیستم روسازی بدون بالاست در محدوده‌های ارائه شده در جدول الف-۷، لازم است بستر یا خاکریز خط ریلی باهدف کاهش میزان نشست به مقادیر کمتر از ۳۰ میلی‌متر، تحت بهسازی قرار گیرد. از مهم‌ترین روش‌های بهسازی می‌توان به استفاده از شمع کوبی، ستون سنگی، اخلاط عمیق، روش‌های تزریق، اجرای خاکریز خاک مسلح با استفاده از انواع ژئوسنتتیک‌ها از جمله ژئوگرید و ... اشاره کرد. لازم است در هر پروژه، بسته به نیاز به بهسازی بستر طبیعی و همچنین شرایط پروژه، روش مناسب و بهینه بهسازی انتخاب گردد.

الف-۳-۱-۳- تحلیل وضعیت سرویس دهی پل ها

به‌منظور ارزیابی سازگاری خط با طراحی اولیه پل‌ها، گشتاور خمشی ریل و نیروی کششی در ادوات اتصال محاسبه می‌شود. این محاسبه را می‌توان همانند شکل الف-۳، با استفاده از مدل اجزا محدود انجام داد. در این مدل، قرار دادن مقدار دقیق نیروی گیرداری ادوات اتصال به‌عنوان ورودی تحلیل بسیار حائز اهمیت است. در این مثال، محدودیت‌های مربوط به چرخش در انتهای شاهتیرها و پیچش در لبه‌های پل به کمک مدل‌سازی تعیین و مشخص شد که مقدار پیچش بین کوله و شاهتیر انتهایی کوچک‌تر از ۱,۵% و مقدار پیچش بین شاهتیرهای انتهایی کوچک‌تر از ۰,۳% است. بنابراین هر دو سیستم بالاستی و بدون بالاست از منظر وضعیت سرویس‌دهی پل‌ها قابل استفاده هستند (جدول ۳-۱۰). بااین‌حال، انطباق با این معیارها به تغییر شکل قائم ادوات اتصال بستگی دارد و در برخی موارد برای ارزیابی مقادیر حدی، مطالعات خاصی موردنیاز است که ممکن است محدودیت این مقادیر را بیشتر سازد. با بررسی وضعیت پل‌ها از منظر طول می‌توان نتیجه گرفت که با توجه به آن که طول هر دو پل از ۴۰۰m بیشتر است، اجرای روسازی بدون بالاست بر روی آن‌ها الزامی است.



شکل الف-۳- مدل شماتیک محاسبه گشتاورهای خمشی ریل و نیروی کششی در ادوات اتصال بر روی پل

الف-۳-۲- تحلیل شرایط عملکردی و بهره برداری

خط در نظر گرفته شده در این مطالعه موردی برای حمل مسافر و بار (ترافیک مختلط) طراحی شده است. تردد مسافران توسط قطارهای مسافری با حداکثر سرعت ۱۶۰ km/h انجام می شود، درحالی که ترافیک باری توسط قطارهای باری با حداکثر سرعت ۱۰۰ km/h حمل می شود. با توجه به اینکه خط به تازگی احداث می شود و پیش از آن هیچگونه مسیر ریلی دو نقطه ۱ و ۲ را به یکدیگر متصل نمی کرده است، ترافیک مورد مطالعه صرفاً از نوع ترافیک جدید ناشی از حضور شیوه حمل و نقل جدید است. به منظور برآورد تقاضای مسافر بین دو نقطه مورد بررسی باید ماتریس تقاضای مسافر برای سال اول تعیین شود. مهم ترین عواملی که در تعیین ماتریس تقاضای مسافر در نظر گرفته می شوند عبارتند از:

- فاصله بین دو نقطه ۱ و ۲؛
- جاذبه های گردشگری بین دو نقطه ۱ و ۲؛
- فعالیت های اقتصادی- اجتماعی در داخل منطقه و ارتباط آن ها با فعالیت های انجام شده در خارج؛
- داده های ترافیک جاده ای و قابلیت انتقال ترافیک از جاده به ریل.

پس از تعیین ماتریس تقاضای مسافر، ضریب رشد تقاضای مسافر برآورد می شود که نسبتی از تقاضای مسافر در n امین سال افق به تقاضای سال اول بهره برداری است. به منظور تخمین ماتریس تقاضای مسافر در سال n ام، نرخ رشد تقاضا در درایه های ماتریس تقاضای مسافر در سال اول بهره برداری ضرب می شود. در نهایت با محاسبه مجموع درایه های ماتریس تقاضا، تعداد مسافر متقاضی سفر بین دو نقطه ۱ و ۲ در سال n ام تعیین می گردد.

در صورتی که نوع قطار مورد استفاده در کریدور مورد بررسی تعیین شده باشد، با احتساب درصدی از ظرفیت قطار به عنوان ظرفیت مورد استفاده، تعداد قطاری که لازم است در هر سال از مبدأ به مقصد حرکت کند، محاسبه شده و بنابراین تناژ سالانه عبوری از روی خط تعیین می شود. لازم به ذکر است که در طی گذشت زمان، آرایش قطارها و تعداد آن ها دستخوش تغییراتی می شود که تکرار محاسبات مربوطه را ضروری می نماید. از مقدار تناژ عبوری از روی خط در روابط مربوط به محاسبه هزینه دوره عمر زیرکوبی (T_t^{accum} و T_{year} در جدول ۳-۲۰) استفاده می شود. در این روابط با توجه به مشخصات فنی مصالح بالاست میزان تناژ تجمعی بار عبوری که پس از آن لایه بالاست نیاز به زیرکوبی خواهد داشت (T_t^{accum}) تعیین می گردد. از تقسیم این تناژ بر تناژ بار سالانه (T_{year})، زمان انجام عملیات زیرکوبی بدست می آید. در هر پروژه با توجه به شرایط پروژه و نوع مصالح بالاست مصرفی محاسبات فوق انجام می گردد. در این مثال فرض شده است عملیات زیرکوبی هر ۵ سال یکبار انجام گردد. به عبارت دیگر کسر $\frac{T_t^{accum}}{T_{year}}$ برای لحاظ سال انجام عملیات زیرکوبی در محاسبات هزینه دوره عمر، برای اولین عملیات زیرکوبی معادل ۵، برای دومین عملیات زیرکوبی ۱۰ و.... خواهد بود.

الف-۳-۲-۱- تحلیل نشست پلاستیک خط

از آنجاکه بخش عمده ای از خاصیت ارتجاعی خط بالاستی توسط بالاست تأمین می شود، هرچه ارتفاع بالاست بیشتر باشد، خاصیت ارتجاعی خط بیشتر خواهد بود. لیکن این افزایش در خاصیت ارتجاعی، به مقدار معینی محدود می شود، زیرا علاوه بر کاهش پایداری خط، با زوال و خردشدگی بالاست و نیاز به افزودن بالاست در هنگام انجام عملیات زیرکوبی،

نرخ افزایش خاصیت الاستیسیته به تدریج کاهش می‌یابد. بنابراین، علیرغم بالا بودن ظرفیت تنظیم قائم خط بالاستی، محدودیت‌های خاصی نیز به همراه خواهد داشت که از جمله آن‌ها می‌توان به نشست پلاستیک خط که ناشی از زوال لایه بالاست رخ می‌دهد، اشاره نمود. این موضوع از طریق دوره‌های نگهداری و تعمیر و همچنین زیرکوبی خط بالاستی مرتفع خواهد شد.

در خط بدون بالاست، خاصیت ارتجاعی خط از طریق استفاده از ادوات اتصال ارتجاعی تأمین می‌شود. بنابراین هزینه ناشی از تأمین پابندهای با خاصیت ارتجاعی بالا تأثیر به سزایی در هزینه دوره عمر خط بدون بالاست به همراه دارد که مقدار آن در هزینه ساخت لحاظ شده است. موضوع نشست پلاستیک یا تغییر شکل‌های ماندگار در روسازی خطوط بدون بالاست بسیار محدود و کنترل شده است.

الف-۳-۲-۲- تحلیل مقاومت مکانیکی اجزا

به منظور بررسی مقاومت مکانیکی اجزا در برابر بارهای وارده از طرف ناوگان در طولانی مدت می‌بایست نرخ زوال هر یک از اجزای خط به طور جداگانه تعیین شده و بر اساس آن، دوره عمر آن جزء و متعاقباً دوره عمر روسازی مشخص گردد. از سوی دیگر، معضل عدم وجود بانک‌های اطلاعاتی مرتبط با اجزای روسازی، تعیین دوره عمر اجزاء را با تخمین و تفسیرهای مختلفی همراه خواهد کرد. به همین علت در این مثال، دوره عمر تمامی اجزای خط با دوره عمر روسازی یکسان و برای خط بالاستی و بدون بالاست به ترتیب برابر با ۳۵ و ۶۰ سال فرض شده است. هزینه تعویض یا تعمیرات موردی اجزا و قطعات در طول بهره‌برداری، در هزینه‌های نگهداری و تعمیر لحاظ شده است. پس از به پایان رسیدن دوره عمر خط بالاستی و بدون بالاست، فرآیند نوسازی خط آغاز می‌شود. با توجه به دوره تحلیل در نظر گرفته شده که در این مثال ۱۰۰ سال لحاظ شده است، دو دوره نوسازی برای خط بالاستی و یک دوره برای خط بدون بالاست در محاسبات وارد می‌شود. در این مثال، هزینه‌های نوسازی مسیر (شامل هزینه برچیدن مسیر قدیمی و تنظیم زیرسازی برای احداث روسازی جدید) با هزینه‌های ساخت برابر در نظر گرفته شده است. در خط بالاستی، هزینه‌های نوسازی هر ۳۵ سال پرداخت شده و شامل هزینه تعویض بالاست، تراورس‌ها، ادوات اتصال و ریل می‌باشد. در دال خط، هزینه نوسازی هر ۶۰ سال پرداخت و شامل هزینه نوسازی لایه بتنی، تراورس (در صورت وجود)، ادوات اتصال و ریل می‌شود.

الف-۳-۲-۳- تحلیل خطر پرش بالاست

یکی از مهم‌ترین آثاری که باید در تحلیل خطوط بالاستی پرسرعت در نظر گرفته شود، خطر پرش بالاست است که منجر آسیب دیدن بدنه ناوگان و سطح ریل می‌شود. از آنجاکه خط مورد بررسی در دسته خطوط پرسرعت قرار ندارد، بررسی خطر پرش بالاست در این مثال موضوعیت نخواهد داشت.

الف-۳-۲-۵- تحلیل نواحی انتقال

یکی از مسائل قابل توجه در تحلیل نواحی انتقال، طول این ناحیه می‌باشد. طول ناحیه انتقال به حداکثر سرعت قطار در خط بستگی دارد به طوری که حداقل مقدار آن (برحسب متر)، نصف حداکثر سرعت بهره‌برداری خط (برحسب متر بر

ثانیه) در نظر گرفته می‌شود. در صورت لزوم احداث ناحیه انتقال، حداقل طول ناحیه انتقال باید ۲۲ متر باشد که در این مثال برابر با ۲۵ m لحاظ می‌شود.

الف-۳-۳- تحلیل شرایط زیست محیطی

الف-۳-۳-۱- سطح انتشار صدا و ارتعاش

یکی از اثرات زیست محیطی احداث خطوط ریلی، تولید و انتشار صدا و ارتعاشات در محدوده پیرامون خط ریلی می‌باشد. صدا و ارتعاشات تولید شده می‌تواند منجر به آزردهی و حتی آسیب‌های روانی در ساکنین مناطق همجوار خط ریلی گردد. در موضوع تحلیل صدا و ارتعاشات منتشر شده در اطراف خطوط ریلی، لازم است مناطق اطراف خط ریلی از دو منظر نوع و کاربری مناطق همجوار خط ریلی و همچنین فاصله آن‌ها از خط ریلی مورد بررسی قرار گرفته و پس از برآورد سطوح صدا و ارتعاش رسیده به این همجواری‌ها، در صورتیکه مقادیر برآورد شده از مقادیر مجاز ارائه شده در استانداردهای مربوطه بیشتر باشد، لازم است از راهکارهای کاهش سطوح صدا و ارتعاش استفاده گردد. از مهم‌ترین و رایج‌ترین راهکارهای مورد استفاده در خطوط ریلی احداث موانع یا دیوارهای صوتی^۱ در طرفین خط ریلی برای کنترل و کاهش صدای منتشر شده و همچنین استفاده از لایه‌های ارتجاعی (فرش ارتجاعی زیر دال خط یا زیر بالاست) برای کاهش سطوح ارتعاشات می‌باشد. در مثال حاضر فرض شده است در طول مسیر و به‌ویژه نقاط مبدأ و مقصد مسیر (ورودی و خروجی مناطق شهری به‌عنوان مبدأ و مقصد خط ریلی) شرایط و فاصله همجواری‌ها (ساختمان‌ها، تأسیسات و مناطق با کاربری‌های مختلف مسکونی، اداری و تجاری) به نحوی است که سطوح صدا و ارتعاشات رسیده به آن‌ها در محدوده مجاز استاندارد قرار دارد و بنابراین نیازمند بکارگیری راهکارهای کاهش صدا و ارتعاشات نمی‌باشد.

الف-۳-۳-۲- سطح انتشار کربن

همان‌طور که پیش‌ازین نیز بیان شد، سطح انتشار کربن در خط بدون بالاست بیشتر از خط بالاستی است و بنابراین، خط بالاستی از منظر کاهش آلودگی ناشی از انتشار گازهای گلخانه‌ای دارای مزیت نسبی است. با این‌وجود به دلیل عدم وجود اطلاعات دقیق در این خصوص، در این مثال از ورود به جزئیات این موضوع صرف‌نظر شده است.

الف-۳-۳-۳- تحلیل شرایط اقلیمی منطقه

یکی از مسائل اثرگذار بر مشخصات فنی و وضعیت خط در طول دوران بهره‌برداری وضعیت و شرایط اقلیمی منطقه احداث خط ریلی می‌باشد. در این مثال، در مناطق عبور خط ریلی، دمای هوا در بازه $35^{\circ}\text{C} \sim 5^{\circ}\text{C}$ قرار دارد. با توجه به شرایط و دمای منطقه، افزایش و یا کاهش دمای بیش‌ازحد که منجر به وقوع عواقب نامطلوبی از جمله سیکل‌های یخبندان و ذوب‌شدگی یا کم‌انداختن خط گردد، مطرح نمی‌باشد. همچنین خطر بارش سنگین باران، سیل و طغیان رودخانه، برف سنگین و بهمن مسیر ریلی را تهدید نمی‌کند.

^۱ Noise Barrier

چنانچه گفته شد، خط ریلی از یک منطقه ماسه‌گیر با خطر رخداد طوفان شن (از KM10+020 تا KM13+540 به طول ۳۵۲۰m) عبور می‌کند که لازم است در طراحی راهکارهای مربوط به مقابله با اثرات آن از جمله دوام ادوات و مصالح روسازی در مواجهه با شرایط محیطی و همچنین جلوگیری از تجمع ماسه‌های روان و مسدودی خط لحاظ گردد. در این مثال روش احداث موانع یا دیوارهای محافظ در برابر طوفان شن (احداث گالری) در صورت استفاده از سیستم روسازی بالاستی و اجرای دال خط کوهان‌دار در صورت استفاده از سیستم روسازی بدون بالاست برای منطقه ماسه‌گیر به‌عنوان راهکارهای بهینه انتخاب شده است. شایان‌ذکر است در هر پروژه، با توجه به شرایط و وضعیت منطقه، راهکار بهینه مقابله با شرایط اقلیمی نامطلوب تعیین می‌گردد.

الف-۳-۴- تعیین هزینه‌های ساخت، نگهداری و نوسازی

هزینه ساخت شامل هزینه سرمایه‌گذاری اولیه به انضمام تهیه ادوات و تجهیزات اضافی است که لزوم استفاده از آن‌ها در خط برای مهندس طراح در حین طراحی خط احصا می‌شود (مانند دیوارها و موانع صوتی، ادوات جاذب ارتعاش، تقویت و بهسازی بستر و ...). تجارب حاصل از احداث خطوط ریلی نشان می‌دهند که هزینه ساخت روسازی بدون بالاست به‌طور قابل‌توجهی بیش از خط بالاستی است. با توجه به آن‌که در این مثال، هزینه نوسازی خطوط با هزینه ساخت آن‌ها برابر در نظر گرفته شده است، در محاسبات هزینه دوره عمر، هزینه نوسازی خط بدون بالاست نیز بسیار بیشتر از خط بالاستی لحاظ می‌شود.

هزینه‌های ساخت در این مثال به شرح جدول الف-۸ در نظر گرفته شده است. این هزینه‌ها در طول خط ثابت فرض شده است. شایان‌ذکر است از آنجاکه این هزینه‌ها در هر منطقه و در طول مسیر می‌تواند متفاوت باشد، لازم است با توجه به شرایط و وضعیت منطقه احداث پروژه، برآورد دقیقی از هزینه‌های ساخت در طول مسیر پروژه انجام گردد.

جدول الف-۸- هزینه ساخت و نوسازی مورداستفاده در تعیین هزینه دوره عمر

نوع هزینه	مقدار هزینه در هر کیلومتر (میلیارد ریال)
هزینه ساخت روسازی بالاستی	۹۰
هزینه ساخت روسازی بدون بالاست	۱۵۰
هزینه ساخت گالری سبک در مناطق ماسه‌گیر (در خط با روسازی بالاستی)	۱۷۰
هزینه ساخت دال خط کوهان‌دار در مناطق ماسه‌گیر (در خط با روسازی بدون بالاست)	۲۰۰
هزینه نوسازی خط بالاستی	۹۰
هزینه نوسازی خط بدون بالاست	۱۵۰

هزینه نگهداری و تعمیر شامل تمامی عملیات انجام‌شده به‌صورت دوره‌ای است تا از عملکرد مناسب خط ریلی در طول عمر آن اطمینان حاصل شود. هزینه نگهداری شامل نگهداری از روسازی مسیر (لایه بالاستی یا لایه بتنی)، تراورس (در صورت وجود)، ادوات اتصال، ریل، پدهای ارتجاعی، هزینه‌های زیرکوبی (در خطوط بالاستی و معمولاً هر ۵ سال یکبار در

طول مدت بهره‌برداری) و ... می‌باشد. تجارب حاصل از نگهداری خط بالاستی و بدون بالاست نشان می‌دهد که به‌طور کلی هزینه نگهداری و تعمیر خط بدون بالاست به اندازه ۴۰-۵۰ درصد کمتر از خط بالاستی است.

برآورد هزینه‌های مرتبط با نگهداری و تعمیر بر اساس نظام نگهداری و تعمیری که برای خط ریلی در نظر گرفته می‌شود، صورت می‌پذیرد. در این مثال این هزینه‌ها شامل بازرسی و تعمیرات دوره‌ای، بازرسی و تعمیرات هندسی و زیرکوبی (در خط بالاستی) در نظر گرفته شده است. جزییات این موارد در جدول الف-۹ و الف-۱۰ ارائه شده است.

جدول الف-۹- جزییات هزینه نگهداری و تعمیر

نوع عملیات	تواتر عملیات		هزینه واحد هر عملیات (میلیارد ریال در هر کیلومتر)
	بلاستی	بدون بالاست	
بازرسی و تعمیر هندسی	هر ۲ ماه یکبار (۶ بار سالانه)	هر ۳ ماه یکبار (۴ بار سالانه)	۰,۴۲۰
بازرسی و تعمیر دوره‌ای	هر ۳ هفته یکبار (۱۷ بار سالانه)	هر ۶ هفته یکبار (۹ بار سالانه)	۰,۴۲۰
زیرکوبی	هر ۵ سال یکبار	/	۹,۵

جدول الف-۱۰- هزینه نگهداری و تعمیر مورد استفاده در تعیین هزینه دوره عمر

نوع روسازی	نوع عملیات	هزینه (میلیارد ریال در هر کیلومتر)	دوره عمر هزینه
بلاستی	بازرسی و تعمیر (هندسی و دوره‌ای)	۹,۶۶	سالانه
	زیرکوبی	۹,۵	هر ۵ سال یکبار
بدون بالاست	بازرسی و تعمیر (هندسی و دوره‌ای)	۵,۴۶	سالانه

الف-۴- انتخاب روسازی بر مبنای معیارهای الزام آور

پس از تعیین داده‌های موردنیاز در انتخاب سیستم روسازی و تحلیل وضعیت خط بر اساس اطلاعات جمع‌آوری شده، نوع روسازی بر مبنای محدودیت‌های فنی تعیین می‌شود. در مواردی که محدودیت‌های فنی از حد مجاز فراتر رفته و به مقدار «آستانه‌های فنی» نزدیک شود، نوع روسازی تحت تأثیر قرار می‌گیرد که به این مناطق «نقاط اجباری» گفته می‌شود. به بیان دیگر، نقاط اجباری نقاطی هستند که نوع روسازی در آن‌ها به دلیل وجود محدودیت فنی، پیش از ورود به تحلیل اقتصادی معین می‌شود. در شکل الف-۴، وضعیت نقاط اجباری در طول مسیر موردبررسی مشخص شده است.



شکل الف-۴- انتخاب سیستم روسازی بر مبنای معیارهای الزام آور

الف-۵- انتخاب روسازی در نقاط باقیمانده بر اساس تحلیل هزینه دوره عمر

همان طور که در شکل الف-۴ نشان داده شده است، در برخی از قطعات، معیارهای الزام آور معرفی شده در بخش الف-۲ از حد آستانه فراتر رفته و بنابراین، نوع روسازی خاصی به آن‌ها اختصاص یافته است. از سوی دیگر، در برخی از قطعات، همچنان نوع روسازی نامشخص است و بنابراین لازم است به کمک روابط موجود در جدول ۳-۲۰ و داده‌های ارائه شده در جدول الف-۸ و جدول الف-۱۰، تحلیل اقتصادی بر روی آن‌ها انجام شود. بدین منظور پس از تعیین مجموع هزینه دوره عمر خط بالاستی و بدون بالاست، مقایسه‌ای بین این مقادیر در طول دوره تحلیل صد ساله انجام شده و روسازی که هزینه کمتری را در این دوره زمانی در پی داشته باشد، به عنوان روسازی مطلوب انتخاب می‌شود.

با توجه به مقادیر دوره عمر ۳۵ و ۶۰ سال برای خط بالاستی و بدون بالاست، در یک دوره صد ساله به دو مرتبه نوسازی خط بالاستی و یک مرتبه نوسازی خط بدون بالاست نیاز خواهد بود. بنابراین می‌توان هزینه دوره عمر روسازی بالاستی و بدون بالاست را با احتساب نرخ تنزیل و نرخ تورم تعیین نمود. شایان ذکر است انتخاب نرخ تنزیل و تورم در محاسبات تأثیر بسیار قابل توجهی دارد. از آنجاکه این نرخ‌ها برای کل دوره تحلیل لحاظ می‌گردد، لازم است بر اساس دورنمای اقتصادی کشور و با دقت برای هر پروژه تعیین گردند. در این مثال نرخ تنزیل $r = 16\%$ و نرخ تورم $i = 14\%$ در نظر گرفته شده است. باهدف افزایش دقت محاسبات می‌توان برای دوره تحلیل و در بازه‌های زمانی مشخص، نرخ‌های تنزیل و تورم را متفاوت در نظر گرفت.

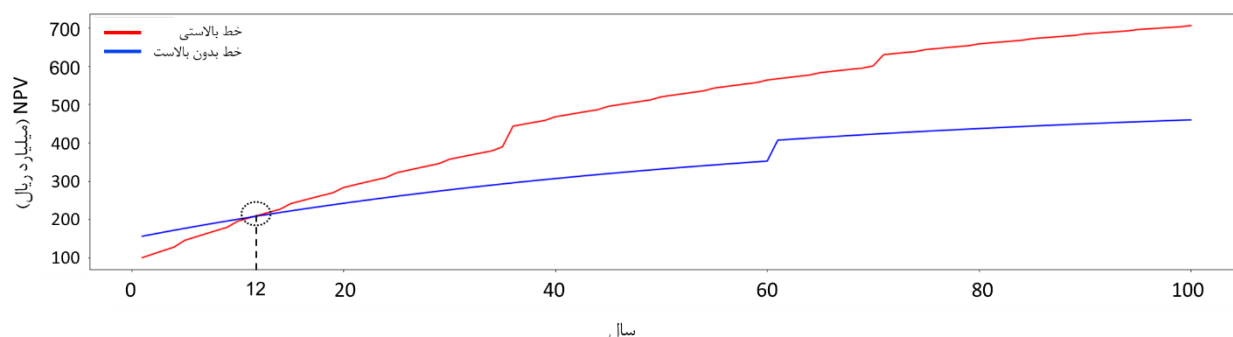
از آنجاکه هزینه‌های ساخت برای خطوط بالاستی و بدون بالاست در طول مسیر ثابت فرض شده است و این هزینه‌ها صرفاً در منطقه ماسه‌گیر متفاوت است، با هدف تعیین سیستم روسازی بهینه از منظر هزینه دور عمر، دو تحلیل مجزا در نواحی با شرایط عادی و نواحی ماسه‌گیر (برای یک کیلومتر روسازی) انجام شده است. در صورتیکه بنا به شرایط پروژه هزینه‌های ساخت در نواحی مختلف متفاوت باشد، لازم است این تحلیل در هر ناحیه به صورت مجزا انجام شود. نتایج تحلیل انجام شده در شکل الف-۵ برای نواحی عادی و شکل الف-۶ برای نواحی ماسه‌گیر ارائه شده است. در این اشکال

محور قائم نشان‌دهنده ارزش خالص فعلی (NPV^1) برحسب میلیارد ریال و محور افقی نشان‌دهنده تعداد سال گذشته از سال مبنا است.

چنانچه در شکل الف-۵ مشاهده می‌شود، در نواحی عادی در سال‌های اولیه بهره‌برداری، هزینه ناشی از ساخت خط بدون بالاست بیش از خط بالاستی است. لیکن به دلیل بالا بودن هزینه ناشی از نگهداری و تعمیر در خط بالاستی، هزینه دوره عمر خط بالاستی با شیب بیشتری نسبت به خط بدون بالاست افزایش می‌یابد به نحوی که ۱۲ سال پس از بهره‌برداری هزینه دوره عمر خط بالاستی بیشتر از خط بدون بالاست خواهد شد. این اختلاف با افزایش عمر بهره‌برداری بیشتر می‌شود. در سال سی و پنجم، خط بالاستی به نوسازی نیاز دارد درحالی که خط بدون بالاست بدون نیاز به نوسازی، همچنان قابل بهره‌برداری است. در سال شصتم، خط بدون بالاست و در سال هفتادم خط بالاستی نیاز به نوسازی خواهد داشت. در انتهای تحلیل (سال صدم) هزینه دوره عمر خط بدون بالاست به‌طور تقریبی معادل ۶۵ درصد خط بالاستی می‌باشد (چنانچه قبلاً ذکر شد در صورت هرگونه تغییر در فرضیات، ورودی‌ها و شرایط پروژه این نسبت متفاوت خواهد بود). بنابراین بر اساس تحلیل هزینه دوره عمر، برای نواحی با شرایط عادی، روسازی بدون بالاست پیشنهاد می‌شود.

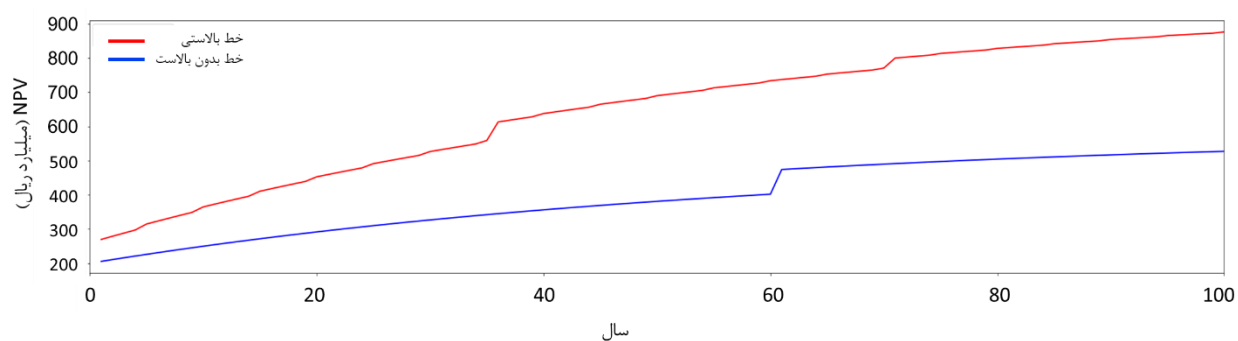
بر اساس نتایج شکل الف-۶، در نواحی ماسه‌گیر به دلیل هزینه بالای احداث گالری در خطوط بالاستی نسبت به احداث دال خط کوهان‌دار، نمودار هزینه دوره عمر برای خط بدون بالاست همواره کمتر از خط بالاستی می‌باشد و بدلیل هزینه‌های بیشتر نگهداری و تعمیر خط بالاستی این اختلاف با افزایش دوره عمر بهره‌برداری افزایش می‌یابد به نحوی که در انتهای تحلیل (سال صدم) هزینه دوره عمر خط بدون بالاست به‌طور تقریبی معادل ۶۰ درصد خط بالاستی می‌باشد. بنابراین مشابه نواحی با شرایط عادی، برای نواحی ماسه‌گیر نیز احداث روسازی بدون بالاست (دال خط کوهان‌دار) به‌عنوان سیستم روسازی بهینه تعیین می‌گردد.

بر اساس نتایج بدست آمده از مقایسه هزینه دوره عمر خطوط بالاستی و بدون بالاست، در شکل الف-۷، نوع روسازی انتخاب‌شده بر اساس وضعیت نقاط اجباری و هزینه دوره عمر نشان داده شده است. به عبارت دیگر این شکل، از تکمیل شکل الف-۴ با اعمال نتایج تحلیل هزینه دوره عمر بدست آمده است.

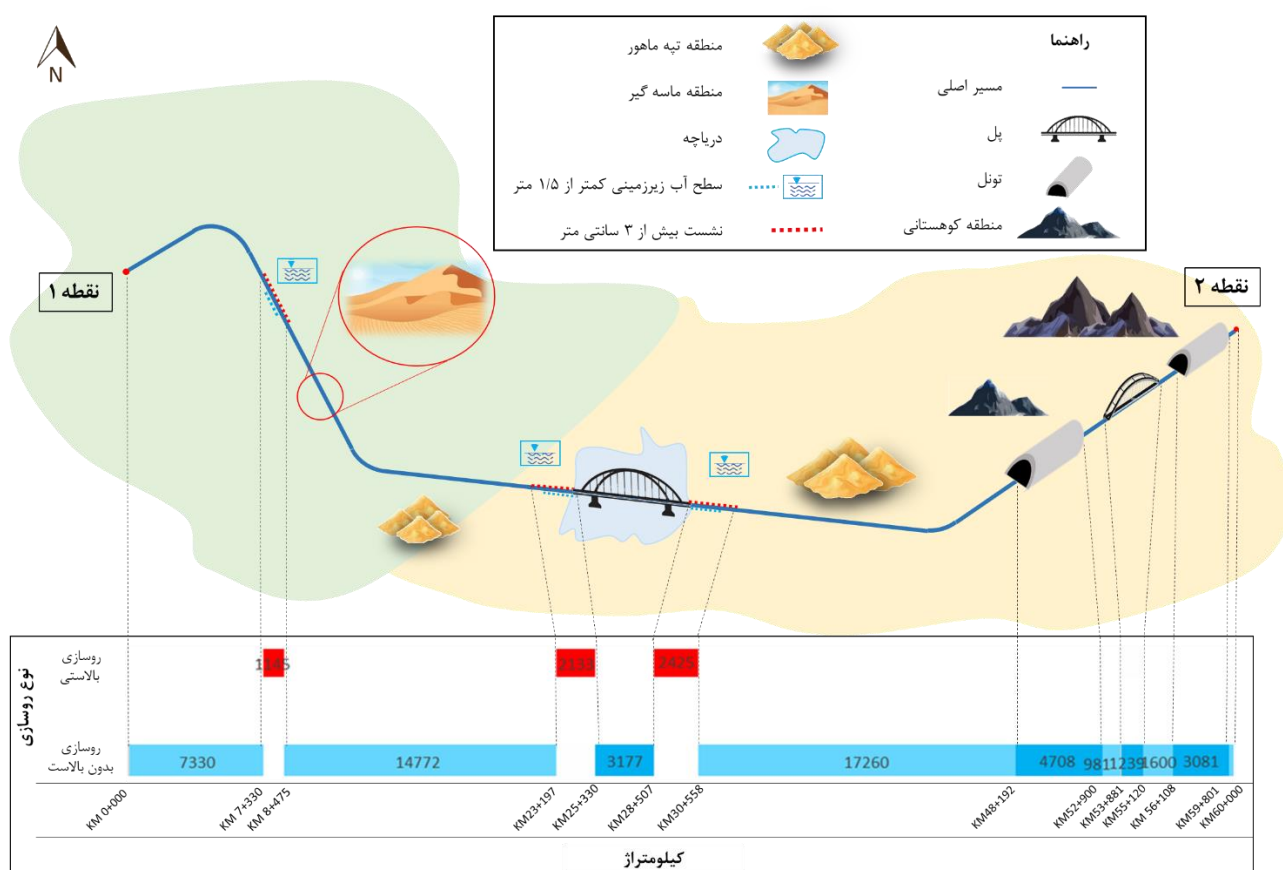


شکل الف-۵- هزینه دوره عمر یک کیلومتر روسازی بالاستی و بدون بالاست در نواحی عادی با احتساب $i = 14\%$ و $r = 16\%$

¹ Net Present Value



شکل الف-۶- هزینه دوره عمر یک کیلومتر روسازی بالاستی و بدون بالاست در نواحی ماسه‌گیر با احتساب $i=14\%$ و $r=16\%$



شکل الف-۷- انتخاب اولیه نوع روسازی پس از تحلیل هزینه دوره عمر

الف-۶- انتخاب نهایی سیستم روسازی

با توجه به آن که تعویض مکرر نوع سیستم روسازی، هزینه‌های هنگفتی برای پروژه به همراه خواهد داشت، مهندس طراح می‌تواند با هدف یکپارچه‌سازی سیستم روسازی، نوع روسازی را در برخی مناطق به روسازی غالب اجرا شده در کردور با در نظرگیری ملاحظات مربوطه و بدون عدول از معیارهای فنی الزام‌آور، تغییر دهد. در این خصوص لازم است

گزارش فنی-اقتصادی، شامل طرح توجیهی تأمین الزامات فنی تغییر سیستم روسازی در محدوده مدنظر و همچنین هزینه‌های ناشی از آن را به تأیید و تصویب عوامل تصمیم‌گیر در پروژه برسد.

چنانچه در شکل الف-۷ مشاهده می‌شود، برای تمام طول مسیر به‌جز نواحی محدودی (به طول کل ۵۷۰۳ متر)، سیستم روسازی بدون بالاست به‌عنوان سیستم روسازی بهینه تعیین شده‌است. به‌عبارت‌دیگر برای حدود ۹۰ درصد از مسیر سیستم روسازی بدون بالاست تعیین شده‌است. محدوده‌هایی که اجرای سیستم روسازی بالاستی در آن‌ها الزامی است به شرح زیر می‌باشد:

- محدوده کیلومتر ۷+۴۰۶ تا ۸+۳۵۰ به طول ۹۴۴ متر بدلیل سطح آب زیرزمینی بالا
- محدوده کیلومتر ۷+۳۳۰ تا ۸+۴۷۵ به طول ۱۱۴۵ متر بدلیل نشست غیرمجاز (دارای همپوشانی با نواحی با سطح آب زیرزمینی بالا)
- محدوده کیلومتر ۲۳+۱۹۷ تا ۲۵+۳۳۰ به طول ۲۱۳۳ متر بدلیل نشست غیرمجاز
- محدوده کیلومتر ۲۸+۵۰۷ تا ۳۰+۹۳۲ به طول ۲۴۲۵ متر بدلیل نشست غیرمجاز

در صورت تصمیم بر اجرای روسازی بالاستی در این نواحی (مطابق آنچه در انتخاب اولیه سیستم روسازی بدست آمد)، لازم است در محل تغییر سیستم روسازی ناحیه انتقال اجرا و هزینه آن در برآورد هزینه احداث روسازی لحاظ شود. با توجه به آن که یکی از راهکارهای تعدیل سختی در ناحیه انتقال، استفاده از پد زیر تراورس (USP) است، این راهکار به‌عنوان روش اجرای ناحیه انتقال می‌تواند در دستور کار قرار گیرد. از طرفی تغییر در سیستم روسازی عملیات اجرا را پیچیده‌تر نموده و محدودیت‌هایی در احداث و بهره‌برداری به همراه دارد که ازجمله می‌توان به موارد زیر اشاره نمود:

- تعدد در نوع اجزا و ادوات مصرفی روسازی ازجمله تراورس و پابند
- لزوم اجرای ناحیه انتقال در فصل مشترک دو سیستم و ملاحظات خاص مرتبط با نگهداری و تعمیر و همچنین هزینه احداث آن
- محدودیت‌های اجرایی دو نوع سیستم روسازی مختلف ازجمله تجهیزات مختلف اجرا
- محدودیت‌های نگهداری و تعمیر ازجمله تفاوت در تجهیزات و دستورالعمل‌ها نگهداری و تعمیر

بر این اساس در اینجا استفاده از سیستم روسازی بدون بالاست برای کل مسیر با لحاظ اصلاحاتی به شرح زیر جهت تأمین الزامات فنی در مناطقی که اجرای روسازی بالاستی الزامی است، بررسی شده است:

- افزایش ارتفاع خاکریز از ۰,۳ به ۰,۶ متر در محدوده کیلومتر ۷+۴۰۶ تا ۸+۳۵۰ جهت تأمین حداقل فاصله ۱,۵ متری تراز آب زمینی تا تاج ریل

- استفاده از ۲ لایه ژئوگرید در خاکریز کیلومتر ۷+۳۳۰ تا ۸+۴۷۵ جهت کاهش میزان نشست تا سقف ۳۰ میلی متر
- استفاده از ۲ لایه ژئوگرید در خاکریز کیلومتر ۲۳+۱۹۷ تا ۲۵+۳۳۰ جهت کاهش میزان نشست تا سقف ۳۰ میلی متر
- استفاده از ۲ لایه ژئوگرید در خاکریز کیلومتر ۲۸+۵۰۷ تا ۳۰+۹۳۲ جهت کاهش میزان نشست تا سقف ۳۰ میلی متر

از آنجا که راهکارهای اصلاحی فوق، هزینه‌هایی را به پروژه تحمیل می‌کند، لازم است اثرات هزینه‌ای مربوطه در تحلیل هزینه چرخه عمر پروژه مجدد بررسی شود و با حالتی که در نواحی فوق‌الذکر از سیستم روسازی بالاستی استفاده شود، مقایسه گردد. در این خصوص برآورد هزینه راهکارهای اصلاحی فوق‌الذکر به شرح جدول الف-۱۱ و الف-۱۲ در هزینه ساخت پروژه لحاظ می‌گردد.

جدول الف-۱۱- هزینه تأمین و اجرای ژئوگرید در نواحی با نشست غیرمجاز

ردیف	نقطه شروع	نقطه پایان	طول (m)	ژئوگرید موردنیاز (مترمربع)	هزینه (میلیارد ریال)
۱	KM7+330	KM8+475	۱۱۴۵	۲۱۵۲۶	۷,۵۴
۲	KM23+197	KM25+330	۲۱۳۳	۱۱۵۱۸۲	۴۰,۳۷
۳	KM28+507	KM30+932	۲۴۲۵	۱۳۰۹۵۰	۴۵,۹۰
جمع کل هزینه					۹۳,۸۱

جدول الف-۱۲- هزینه افزایش ارتفاع خاکریز در منطقه با سطح آب زیرزمینی بالا

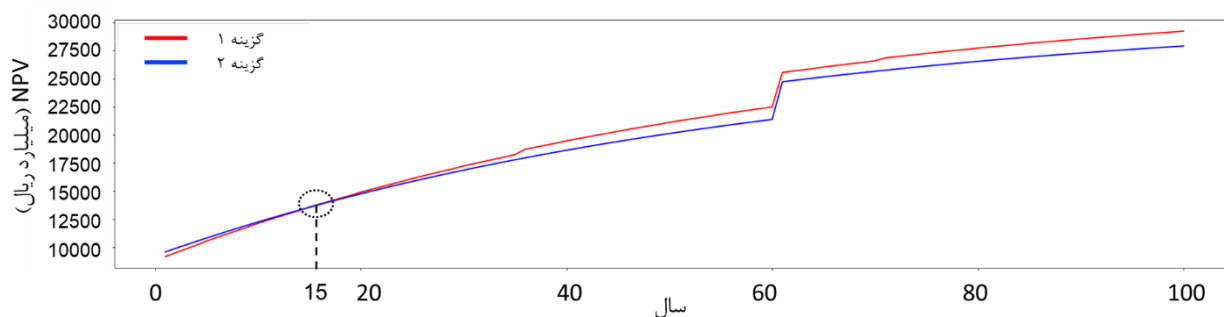
ردیف	نقطه شروع	نقطه پایان	طول (m)	حجم خاکریزی موردنیاز (مترمکعب)	هزینه (میلیارد ریال)
۱	KM7+406	KM8+350	۹۴۴	۲۴۹۲,۱۶	۰,۹۹

مطابق جداول الف-۱۱ و الف-۱۲ در صورت استفاده از راهکارهای اصلاحی فوق‌الذکر، هزینه‌ای معادل ۹۴,۸ میلیارد ریال به هزینه ساخت پروژه اضافه خواهد شد و هزینه اجرای نواحی انتقال (جمعاً ۶ ناحیه انتقال) از هزینه‌های پروژه حذف خواهد گردید. با لحاظ هزینه ۱۰ میلیون ریال برای تأمین پد زیر تراورس در اجرای هر متر طول ناحیه انتقال (هر ناحیه ۲۵ متر) جمعاً هزینه‌ای معادل ۱,۵ میلیارد ریال از هزینه‌های پروژه کسر خواهد شد.

بر این اساس به‌منظور مقایسه دو گزینه مطرح شامل «گزینه اول: اجرای روسازی بدون بالاست به همراه اجرای روسازی بالاستی در نواحی با محدودیت فنی (مطابق نتیجه بخش انتخاب اولیه سیستم روسازی)» و «گزینه دوم: اجرای روسازی بدون بالاست در کل پروژه با لحاظ اصلاحات لازم در نواحی با محدودیت فنی» هزینه دوره عمر برای کل پروژه برای هر دو گزینه مذکور محاسبه و در شکل الف-۸ ارائه شده است.

مطابق شکل الف-۸، در گزینه دوم اگرچه بدلیل انجام اصلاحات در طراحی با هدف تأمین الزامات فنی اجرای روسازی بدون بالاست، هزینه احداث پروژه بیشتر از گزینه دوم است، ولی هزینه چرخه عمر روسازی در گزینه دوم پس از گذشت ۱۵ سال، کمتر از گزینه اول خواهد شد و در سال صدم بهره‌برداری هزینه چرخه عمر حدود ۵ درصد کمتر از خواهد بود.

بر این اساس گزینه دوم هم به لحاظ فنی و هم از منظر هزینه چرخه عمر از مطلوبیت بیشتری برخوردار است و به عنوان گزینه نهایی تعیین می شود.



گزینه ۱: اجرای روسازی بدون بالاست به همراه اجرای روسازی بالاستی در نواحی با محدودیت فنی
گزینه ۲: اجرای روسازی بدون بالاست در کل پروژه با لحاظ اصلاحات لازم در نواحی با محدودیت فنی

شکل الف-۸- مقایسه هزینه دوره عمر پروژه برای دو گزینه مختلف اجرای روسازی

پیوست ب

مروری بر

روش های پیشرفته تصمیم گیری

ب-۱- مقدمه

در پروژه های ریلی حساس مانند احداث خطوط پرسرعت و باری سنگین که به سرمایه گذاری اولیه کلان از یک سو و تأمین ایمنی در سطح بالا از سوی دیگر نیازمند است، مطالعه عمیق تر موضوع انتخاب سیستم روسازی با استفاده از روش های پیشرفته تصمیم گیری ضروری است. در این پیوست برخی از مهم ترین روش های تصمیم گیری ارائه شده اند. تعیین صحیح و اصولی مناسب ترین روش تصمیم گیری با توجه به شرایط و مشخصات هر پروژه نیازمند بکارگیری تیم مجرب و متخصص در حوزه روسازی خطوط ریلی و همچنین روش های تصمیم گیری می باشد.

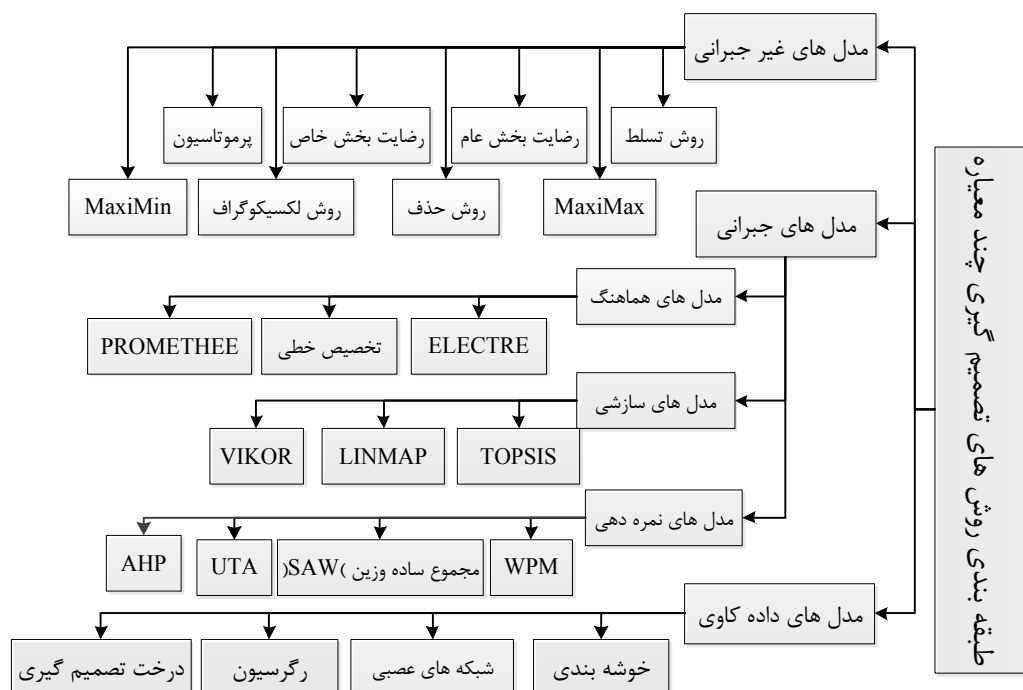
ب-۲- مروری بر مدل های تصمیم گیری چند معیاره

این بخش به عنوان یک راهنمای مختصر جهت معرفی روش های تصمیم گیری چند معیاره به منظور بهره گیری در انتخاب نوع بهینه روسازی در نظر گرفته شده است. این راهنما می تواند در راستای توسعه مدل جزئی تر تصمیم گیری بر اساس گام های متصور در مدل عمومی اشاره شده در فصل چهارم، مورد استفاده مجریان و مشاوران پروژه های ریلی قرار گیرد.

تصمیم گیری فرآیندی است که در طی آن، اطلاعات و داده های موجود درباره موضوعی تجزیه و تحلیل می شود تا از ترکیب مناسب آن ها، به استراتژی های مورد نظر و بهترین راه حل دست یافت. از میان مجموعه تکنیک های تحقیق در عملیات، تکنیک های «تصمیم گیری با معیارهای چندگانه»^۱ (MCDM) عهده دار حل مسائل تصمیم گیری با چندین معیار متفاوت خواهند بود. روش های تصمیم گیری MCDM علاوه بر مقادیر عینی و واقعی، توانایی استفاده از اطلاعات ذهنی و قضاوتی را نیز دارند. اطلاعات ذهنی در قالب اطلاعات ارجحیت تصمیم گیرنده ارائه می شود و در نهایت به یافتن راه حل توافقی منجر خواهد شد.

تکنیک های تصمیم گیری در قالب تکنیک های جبرانی و غیر جبرانی، فازی و غیر فازی و روش های داده کاوی قابل تقسیم هستند که مهم ترین آن ها در شکل ب-۱ نمایش داده شده اند.

^۱ Multiple Criteria Decision Making



شکل ب-۱- روش های تصمیم گیری چند معیاره

ب-۲-۱- بررسی روش های غیر جبرانی در انتخاب سیستم روسازی

مدل غیر جبرانی شامل روش هایی می شود که در آن ها مبادله در بین شاخص ها مجاز نیست، به عبارت دیگر نقطه ضعف موجود در یک شاخص توسط مزیت موجود از شاخص دیگر جبران نمی شود. بنابراین در این روش هر شاخص به تنهایی مطرح می شود و مقایسات به صورت شاخص به شاخص انجام می شود. این مدل شامل روش هایی است که اغلب نیاز به کسب اطلاعات از تصمیم گیرنده نداشته و منجر به یک جواب عینی می گردند. کاربرد این روش های نسبتاً ساده بستگی به موقعیت تصمیم گیری داشته و دقت بیشتری را از جانب فرد تحلیل گر می طلبد.

با توجه به الزامات و ملاحظات ارائه شده در فصل سوم، می توان تقسیم بندی ای مطابق با شکل ب-۲ و با تأکید بر وابستگی معیارها نسبت به یکدیگر انجام داد.

همان طور که در شکل ب-۲ ملاحظه می شود، معیارهایی همانند سرعت، ترافیک تجمعی و سطح آب زیرزمینی به طور مستقیم یا غیرمستقیم بر شاخص های دیگر تأثیر می گذارند و بنابراین، بررسی هر شاخص به طور مجزا و بدون در نظر گرفتن اثر شاخص های دیگر، امکان پذیر نخواهد بود. از این رو توصیه می شود در حوزه انتخاب سیستم روسازی از مدل های غیر جبرانی استفاده نشود.



شکل ب-۲- اثرگذاری معیارهای سرعت، ترافیک تجمعی و سطح آب زیرزمینی بر معیارهای دیگر

ب-۲-۲- بررسی روش های جبرانی در انتخاب سیستم روسازی

مدل جبرانی مشتمل بر روش هایی است که اجازه مبادله در بین شاخص ها در آن ها مجاز است. به عبارت دیگر تغییر در یک شاخص می تواند توسط تغییری در شاخص (یا شاخص های) دیگر جبران شود. در این مدل، وابستگی موجود بین معیارها را می توان در دو دسته طبقه بندی نمود:

- وابستگی جمع پذیر: در این نوع وابستگی، هر عامل سهم خاصی در اثربخشی بر روی متغیر وابسته دارد. روش های SAW و مجموع وزین ردهای از جمله روش های با رویکرد وابستگی جمع پذیر هستند.
- وابستگی سینرژستیک^۱: این نوع وابستگی عبارت است از اثر تداخلی عوامل بر یکدیگر که ممکن است بیشتر از مجموع اثرات انفرادی آن ها باشد. روش های AHP و مدل های نشأت گرفته از مقایسات زوجی با رویکرد وابستگی سینرژستیک عمل می کنند. در این روش، هر معیار در هر مورد، «هدف» تلقی شده و اثربخشی کلیه معیارهای دیگر به صورت زوجی با معیار موردنظر مقایسه می گردد.

^۱ Synergistic-interdependence

در جدول ب-۱، برخی معیارهای اثرگذار بر انتخاب سیستم روسازی ریلی با رویکرد وابستگی معیارها به یکدیگر نمایش داده شده است. همان طور که در جدول مذکور قابل مشاهده است، تأثیر معیارهایی همانند سرعت، ترافیک تجمعی و سطح آب زیرزمینی بر سایر معیارها کاملاً مشهود است. بنابراین در حوزه انتخاب بین سیستم‌های روسازی بالاستی و بدون بالاست می‌توان از روش‌های جبرانی استفاده نمود. لازم به ذکر است که استفاده از روش‌های جبرانی در تصمیم‌گیری در حوزه انتخاب سیستم روسازی در مطالعات متعددی مشاهده و اثبات شده است. از مهم‌ترین این روش‌ها، می‌توان به روش TOPSIS، روش VIKOR و روش AHP اشاره نمود. در عین حال امکان استفاده از رویکرد فازی در هر یک از این تکنیک‌ها نیز وجود خواهد داشت که در ادامه، توضیح مختصری در مورد آن ارائه می‌شود.

جدول ب-۱- معیارهای اثرگذار بر انتخاب سیستم با رویکرد وابستگی معیارها به یکدیگر

شاخص	عناصر اثرپذیر رده اول	عناصر اثرپذیر رده دوم	عناصر اثرپذیر رده سوم
سرعت	معیارهای هندسی خطوط	طرح هندسی خط	شعاع قوس افقی (افزایش سرعت~افزایش شعاع قوس افقی)
			بریلندی (افزایش سرعت~افزایش بریلندی)
			شعاع قوس قائم (افزایش سرعت~افزایش شعاع قوس قائم)
		هندسه مقطع خط	فاصله بین خطوط (افزایش سرعت~افزایش فاصله بین خطوط)
			ارتفاع خط (افزایش سرعت~افزایش ارتفاع خط)
	معیارهای ابنیه فنی	پل	افزایش سرعت~افزایش نیروهای طولی~تدقیق معیارهای فنی طراحی پل
		تونل	افزایش سرعت~افزایش نیروهای طولی~تدقیق معیارهای فنی طراحی تونل
	معیارهای نگهداری و تعمیر	پارامترهای هندسی خطوط	عرض خط (افزایش سرعت~کاهش رواداری‌های عرض خط)
			تراز طولی (افزایش سرعت~کاهش بازه رواداری مربوط به طول موج)
			تراز افقی (افزایش سرعت~کاهش بازه رواداری مربوط به طول موج)
ترافیک تجمعی	الزامات کارایی (RAMS)	ایمنی (Safety)	افزایش سرعت~کاهش ایمنی
	معیارهای ابنیه فنی	پل	افزایش ترافیک تجمعی~افزایش بار وارد بر پل~تغییر در معیارهای طراحی پل
		تونل	افزایش ترافیک تجمعی~افزایش بار وارد بر تونل~تغییر در معیارهای طراحی تونل
	معیارهای نگهداری و تعمیر	نگهداری و تعمیر در خط بالاستی و بدون بالاست	افزایش تناژ عبوری از روی خط~افزایش نیاز به نگهداری و تعمیر در خطوط بالاستی و بدون بالاست
			افزایش تناژ تجمعی~کاهش زمان متوسط تا شکست (MTBF)
	الزامات کارایی (RAMS)	قابلیت اعتماد (Reliability)	افزایش تناژ تجمعی~کاهش فاصله متوسط بین دو خرابی (MTBF)
			افزایش تناژ تجمعی~کاهش قابلیت اعتماد
		دسترسی پذیری (Availability)	افزایش تناژ تجمعی~کاهش زمان متوسط تا شکست (MTBF)
			افزایش تناژ تجمعی~کاهش زمان متوسط تا نگهداری (MTTR)
	معیارهای ابنیه فنی	قابلیت نگهداری (Maintainability)	افزایش تناژ تجمعی~کاهش زمان متوسط تا نگهداری (MTTR)
			افزایش تناژ تجمعی~کاهش فاصله زمانی بین دو اقدام نگهداری (MTTR)
تراز آب زیرزمینی	معیارهای ابنیه فنی	پل	تراز آب زیرزمینی نزدیک به سطح زمین~افزایش نشست پایه‌ها و کوله‌های پل
		رفتار یخ‌زدگی ذوب‌شدگی	تراز آب زیرزمینی نزدیک به سطح زمین~افزایش تعداد چرخه‌های ذوب و یخبندان
	معیارهای ژئوتکنیکی	ویژگی‌های تغییرشکلی خاک	تراز آب زیرزمینی نزدیک به سطح زمین~افزایش تغییر شکل خاک توأم با تغییر فشار آب حفره‌ای

ب-۲-۳- بررسی روش های فازی در انتخاب سیستم روسازی

در نظریه فازی، محاسبات در مجموعه های فازی به کمک کلمات صورت می گیرد. چراکه منطق دو ارزشی سنتی (منطق صفر و یک) دارای معایبی است که مهم ترین آن ها عبارتند از:

- در منطق سنتی، یک گزاره درست است یا نادرست. لیکن گفتار انسانی گنگ و فازی است و به ندرت دارای دو حد نهایی می باشد.

- در منطق دو ارزشی، منظورها محدود به سخت بودن^۱ هستند، ولی کلام انسانی حاوی منظوره های گنگ و فازی می باشد.

- منطق سنتی دو ارزشی تنها استفاده از^۲ حد کمی را برای تصمیم گیرنده مجاز می داند: همه، برخی به عبارت دیگر، در منطق فازی حدهای متفاوتی وجود دارد که امکان تحلیل دقیق تر موضوع را ممکن می سازد، مانند برخی، خیلی، کمی، خیلی کم، خیلی زیاد، متوسط و چون زبان نشان دهنده هوش و دانش انسانی است، باید آن را به شکلی تبدیل کرد که برای حل مسائل تصمیم گیری و مدیریتی در کامپیوترها حائز اهمیت فراوانی باشد. از این جهت توصیه می شود در محاسبات تصمیم گیری، حالات عدم قطعیت نیز در مسئله دیده شوند. محاسبات فازی حالتی از عدم قطعیت در مسائل تصمیم گیری است.

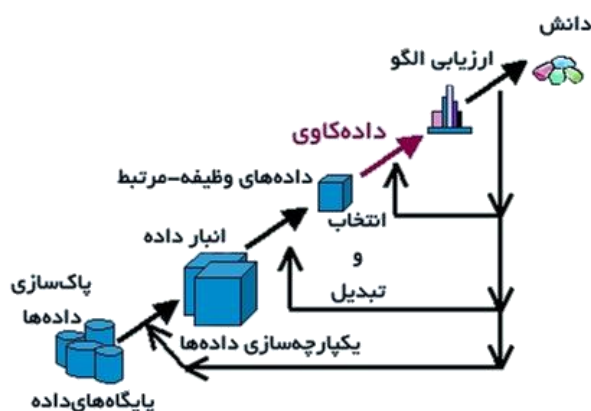
بر این اساس، در یک تقسیم بندی دیگر می توان گفت برخی از معیارهای انتخاب روسازی جنبه کمی ندارند. بنابراین الزامات و ملاحظات انتخاب سیستم روسازی را می توان بر اساس فازی بودن ارائه نمود. برای نمونه می توان مباحثی مثل معیارهای بهره برداری (نظیر سرعت یا ترافیک تجمعی)، ملاحظات احداث یا الزامات نگهداری و تعمیر را به صورت فازی بیان نمود. روش های ارائه شده در بخش قبل (نظیر روش TOPSIS، روش VIKOR و روش AHP)، قابلیت استفاده در مدل های فازی را دارا هستند. بر این اساس نتایج دقیق تر و بهینه تری در تصمیم گیری های جزئی انتخاب سیستم روسازی به دست خواهد آمد.

ب-۲-۴- بررسی روش های داده کاوی مناسب در انتخاب سیستم روسازی

داده کاوی که با عنوان «کشف دانش از داده (KDD)»^۲ نیز شناخته شده است، فرآیند استخراج اطلاعات و دانش از داده های موجود در پایگاه داده است (شکل ب-۳). امروزه داده کاوی به عنوان شالوده تصمیم های مهم محسوب می شود و به توسعه سیستم هایی کمک می کند که قادر هستند از میان میلیون ها یا میلیارد ها رکورد، روابط غیر پنهانی را کشف کنند. هر چند به ظاهر رابطه ای بین داده ها وجود نداشته باشد. ابزارهای داده کاوی از انواع مختلف داده پشتیبانی می کنند و به طور خودکار روابط بین آن ها را تشخیص می دهند. از مهم ترین ویژگی های داده کاوی می توان به کشف اتوماتیک الگوها، پیش بینی احتمالی نتایج و خروجی ها، ایجاد اطلاعات اجرایی و مفید و قابلیت تمرکز بر روی داده های بزرگ و مجموعه پایگاه های داده اشاره نمود.

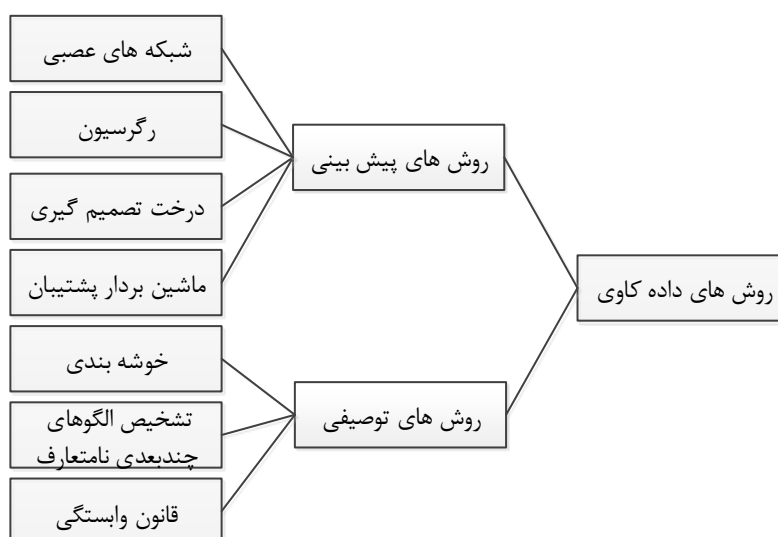
^۱ Crisp

^۲ Knowledge Discovery From Data



شکل ب-۳- فرآیند تبدیل داده به دانش در عملیات داده‌کاوی

در داده‌کاوی از الگوریتم‌ها و روش‌های مختلفی استفاده می‌شود. روش‌های اصلی داده‌کاوی به دو دسته کلی «روش‌های توصیفی»^۱ و «روش‌های پیشگویی»^۲ تقسیم می‌شوند (شکل ب-۴).



شکل ب-۴- انواع روش‌های داده‌کاوی

با توجه به گسترده بودن دامنه استفاده از روش‌های غیرالگوریتمی در علوم و فناوری‌های گوناگون، در صورتی که پایگاه داده قدرتمندی در اختیار تصمیم‌گیرنده باشد می‌توان از تکنیک‌های غیرالگوریتمی به‌عنوان روشی مناسب و دقیق برای انتخاب سیستم بهینه روسازی استفاده کرد. ازجمله مهم‌ترین این روش‌ها می‌توان به روش شبکه عصبی اشاره نمود

^۱ Descriptive Method

^۲ Predictive Method

خواننده گرامی

امور نظام فنی و اجرایی سازمان برنامه و بودجه کشور، با گذشت بیش از چهل سال فعالیت تحقیقاتی و مطالعاتی خود، افزون بر هشتصد عنوان نشریه تخصصی - فنی، در قالب آیین نامه، ضابطه، معیار، دستورالعمل، مشخصات فنی عمومی و مقاله، به صورت تألیف و ترجمه، تهیه و ابلاغ کرده است. ضابطه حاضر در راستای موارد یادشده تهیه شده، تا در راه نیل به توسعه و گسترش علوم در کشور و بهبود فعالیت های عمرانی به کار برده شود. فهرست نشریات منتشر شده در سال های اخیر در سایت اینترنتی nezamfanni.ir قابل دست یابی می باشد.

**Islamic Republic of Iran
Plan and Budget Organization**

**Technical Standards and Guidelines
for
Railway Track Superstructure
Selection
(Ballasted Track / Ballastless Track)**

No 863

Last Edition: 28-11-2022

Deputy of Technical, Infrastructure
and Production Affairs
Department of Technical & Executive
affairs, Consultants and Contractors
nezamfanni.ir

The Ministry of Road & Urban
Development
Road, Housing & Urban Development
Research Center
Bhrc.ac.ir

2023

این ضابطه

با عنوان «دستورالعمل انتخاب روسازی خطوط راه آهن (بالاستی- بدون بالاست)» در چهار فصل مربوط به انواع روسازی خطوط ریلی، الزامات و ملاحظات انتخاب سیستم روسازی و فرایند تصمیم گیری در این حوزه توسعه یافته است. انتخاب نظام مند و علمی نوع سیستم روسازی، نیاز به شناسایی و جمع بندی الزامات انتخاب سیستم ها در دوره های مختلف طراحی، ساخت و بهره برداری با تمرکز بر جنبه های فنی، هزینه و عملکرد دارد که در این ضابطه به طور گسترده مورد بررسی قرار گرفته است.