جمهوری اسلامی ایران

سازمان برنامه و بودجه کشور

دستورالعمل انتخاب روسازی خطوط راه‌آهن (بالاستی– بدون‌بالاست)

ضابطه شماره ۸۶۳

آخرین ویرایش: ۰۷-۰۹-۱۴۰۱

معاونت فنی، امور زیربنایی و تولیدی

امور نظام فنی اجرایی، مشاورین و پیمانکاران

nezamfanni.ir

وزارت راه و شهرسازی

مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی

bhrc.ac.ir

۱۴۰۱

shaghool.ir

shaghool.ir

ریاست جمهوری
سازمان برنامه و بودجه کشور
رئیس سازمان

باسمه تعالی

بخشنامه به دستگاه‌های اجرایی، مهندسان مشاور و پیمانکاران	شماره: **۱۴۰۱/۵۷۸۰۵۳**
	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/ت۵۷۶۹۷هـ مورخ ۱۴۰۰/۰۳/۰۸ هیات محترم وزیران، به پیوست «**دستورالعمل انتخاب روسازی خطوط راه‌آهن (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

shaghool.ir

ش ش: ۶۱۹۹۷۶۷

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، ایهام و اشکالات موضوعی نیست.

ازاین‌رو، از شما خواننده‌ی گرامی صمیمانه تقاضا دارد در صورت مشاهده هرگونه ایراد و اشکال فنی، مراتب را به‌صورت زیر گزارش فرمایید:

۱- در سامانه مدیریت دانش اسناد فنی و اجرایی (سما) ثبت‌نام 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 به‌صورت خلاصه بیان دارید.

۶- در صورت امکان متن اصلاح‌شده 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**

باسمه تعالی

پیشگفتار

به طور کلی دو نوع روسازی بالاستی و روسازی بدون‌بالاست 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 (بالاستی – بدون‌بالاست)" را در دستور کار قرارداد، که پس از بررسی براساس نظام فنی اجرایی 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 شده‌است 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 راه‌آهن (بالاستی- بدون‌بالاست)» [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-راه‌آهن
مرجان مهوری	دانشگاه علم و صنعت ایران	کارشناس ارشد راه‌آهن

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 راه‌آهن	کارشناس ارشد راه‌آهن- خط و سازه‌های 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

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

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

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

فهرست شکل‌ها

عنوان **صفحه**

شکل ۲-۱ مقطع عرضی خط بالاستی تک خطه ۷
شکل ۲-۲ مقطع عرضی خط بدون‌بالاست (دال خط) ۸
شکل ۲-۳ دسته‌بندی اصلی روسازی خطوط پرسرعت ۱۱
شکل ۳-۱ انواع پروژه‌های احداث و توسعه خطوط ریلی و دسته‌بندی کلی الزامات انتخاب روسازی ۱۵
شکل ۳-۲ نمودار الزامات و ملاحظات اثرگذار بر انتخاب سیستم روسازی ۱۶
شکل ۳-۳ نمونه مقادیری از آلودگی ناشی از CO_2 در خط بالاستی و بدون‌بالاست ۱۹
شکل ۳-۴ تأثیرات ناشی از ماسه‌های روان بر انواع سیستم روسازی ۲۲
شکل ۳-۵ الزامات هندسی اثرگذار در انتخاب نوع روسازی ۲۳
شکل ۳-۶ چرخش انتهای شاه‌تیرها ۲۷
شکل ۳-۷ کاهش سطح مقطع عرضی در تونلها ۲۸
شکل ۳-۸ منابع مختلف ایجاد نشست در خط ۳۰
شکل ۳-۹ منحنی زوال تئوری هندسهٔ خط (روسازی بالاستی) ۳۶
شکل ۳-۱۰ اجزاء و ساختار هزینه چرخه عمر ۴۰
شکل ۳-۱۱ فرآیند هزینه چرخه عمر ۴۲
شکل ۳-۱۲ دوره‌های چرخه عمر زیرساخت‌های ریلی ۴۴
شکل ۳-۱۳ اصول RAMS ۴۵
شکل ۴-۱ مدل عمومی انتخاب سیستم روسازی ۶۴

فهرست جدول‌ها

عنوان **صفحه**

جدول ۲-۱ انواع روسازیهای بدون‌بالاست ۹
جدول ۲-۲ دسته‌بندی اصلی روسازی خطوط پرسرعت شامل مشخصات بهره‌برداری و ابعادی ۱۱
جدول ۲-۳ مقایسه کلی سیستم روسازی بالاستی و بدون‌بالاست در خطوط ریلی ۱۲
جدول ۳-۱ سیستم روسازی پیشنهادی بر اساس سرعت ۱۷
جدول ۳-۲ نوع روسازی پیشنهاد شده با توجه به ترافیک تجمعی ۱۸
جدول ۳-۳ آلودگی ناشی از گاز گلخانهای CO_2 در خط بالاستی و بدون‌بالاست ۲۰
جدول ۳-۴ تأثیر شعاع قوس افقی بر انتخاب سیستم روسازی ۲۳
جدول ۳-۵ بربلندی مجاز بر اساس نوع سیستم روسازی ۲۴
جدول ۳-۶ ابعاد نمونه گاباری راهآهن بالاستی و بدون‌بالاست ۲۴
جدول ۳-۷ ارتفاع و وزن تقریبی سیستم‌های روسازی ۲۵
جدول ۳-۸ محدوده نشست در پایهها و کولهها پس از اتمام فرآیند ساخت ۲۶
جدول ۳-۹ محدوده مجاز تنش ریل ناشی از اندرکنش طولی خط و پل ۲۶
جدول ۳-۱۰ محدوده چرخش مجاز در شاه‌تیرهای انتهای پل ۲۷
جدول ۳-۱۱ نمونههایی از خطوط بدون‌بالاست به همراه ضخامت آن‌ها در شرایط عادی و در تونل ۲۸
جدول ۳-۱۲ سیستم روسازی پیشنهادی بر اساس طول تونل ۲۹
جدول ۳-۱۳ سطح مجاز تراز آب زیرزمینی در خط بالاستی و بدون‌بالاست ۲۹
جدول ۳-۱۴ الزامات مربوط به زیرسازی در خط بالاستی و بدون‌بالاست ۳۰
جدول ۳-۱۵ حد مجاز نشست بستر در خطوط بالاستی و بدون‌بالاست ۳۱
جدول ۳-۱۶ نمونههایی از ادوات کاهش ارتعاشات در سیستم‌های بدون‌بالاست ۳۲
جدول ۳-۱۷ نرخ پیشروی ثبت‌شده در ساخت روسازی‌های بالاستی و بدون‌بالاست ۳۴
جدول ۳-۱۸ رواداریهای مربوط به پارامترهای هندسی خطوط بالاستی و بدون‌بالاست ۳۵
جدول ۳-۱۹ نمونه‌ای از زوال اجزای خط بدون‌بالاست ۳۷
جدول ۳-۲۰ روابط مورد استفاده در تحلیل هزینه دوره عمر سیستم روسازی ۴۳
جدول ۳-۲۱ روابط حاکم بر اصول RAMS ۴۸
جدول ۳-۲۲ الزامات و ملاحظات اثرگذار بر حوزه انتخاب روسازی ۴۹
جدول ۴-۱ تعامل طراحی و انتخاب نوع مسیر ۵۶

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

فصل ۱

مبانی و تعاریف

۱-۱- مبانی

در دستورالعمل انتخاب روسازی راه‌آهن، الزامات تأثیرگذار بر انتخاب روسازی به‌صورت کیفی و کمی مورد بررسی قرارگرفته است. رعایت تمامی موارد این نشریه که با به کاربردن واژه‌هایی نظیر «باید»، «نباید»، «لازم است» و ... مشخص‌شده‌اند، اجباری است. رعایت مواردی که به‌عنوان معیار پیشنهادی ارائه شده است و با واژه‌هایی نظیر «توصیه می شود»، «بهتر است»، «می‌تواند» و ... مشخص‌شده‌اند، اجباری نیست.

در تدوین این سند سعی شده است تا از مدارک و منابع اتحادیه بین‌المللی راه‌آهن‌ها (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. به‌علاوه، در این نشریه از بیان مجدد تعاریف و اصطلاحات موجود در نشریات دیگر سازمان برنامه و بودجه صرف‌نظر 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 راه‌آهن، اجزای سازنده آن‌ها و مقایسه بین روسازی بالاستی و بدون‌بالاست است. در فصل سوم، به ترتیب الزامات فنی، اقتصادی و کارایی انتخاب روسازی بالاستی و بدون‌بالاست مورد بررسی قرارگرفته و در انتها، الزامات معرفی‌شده به صورت خلاصه و در قالب جدول الزامات یکپارچه انتخاب سیستم روسازی ارائه شده است. در فصل چهارم، فرآیند انتخاب سیستم روسازی به‌صورت گام‌به‌گام 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، به‌منظور تشریح نحوه استفاده از مدل عمومی تصمیم‌گیری ارائه‌شده در فصل چهارم، یک نمونه مثال کاربردی از روند انتخاب سیستم روسازی پروژه‌های ریلی معمولی (به‌استثنای 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 بااهمیت بالا و درروند 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، بارمحوری یا ترافیک تجمعی برای خط موجود و یا برنامه‌ریزی بازسازی و بهسازی خطوط موجود به دلیل اتمام عمر مفید

راه‌آهن معمولی: خطوطی که از روی آن‌ها، قطارهای با بیشینه سرعت ۱۶۰ کیلومتر بر ساعت حرکت می‌کنند.

راه‌آهن 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 ارتقاءیافته موجود: مخصوص قطارهای مسافری با سرعت بالاتر از ۱۶۰ کیلومتر بر ساعت

الزامات فنی: آن دسته از الزامات که آستانه‌های فنی انتخاب سیستم روسازی راه‌آهن را مورد بررسی قرار می‌دهند و به دو دسته «عوامل کلی» و «عوامل محلی» به‌قرار زیر تفکیک می‌شوند:

- عوامل کلی که بر انتخاب خط آهن به‌صورت 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]»، «دسترسی‌پذیری[۵]»، «قابلیت نگهداری[۶]» و «ایمنی[۷]» است که به‌عنوان 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 به‌صورت 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

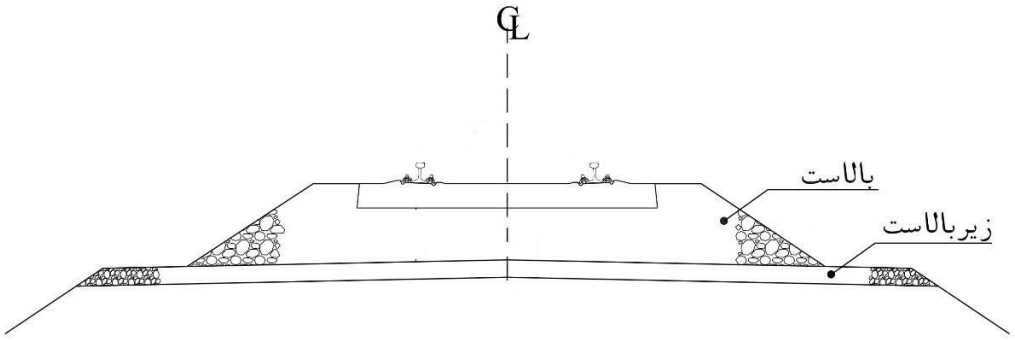
روسازی خطوط ریلی

۲-۱- سیستم‌های مختلف روسازی خطوط ریلی

به‌طورکلی دو نوع سیستم اصلی «روسازی بالاستی» و «روسازی بدون‌بالاست» 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 زیربالاست است که بر بستر خط (زیرسازی) قرار می‌گیرد (شکل ۲-۱). 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.

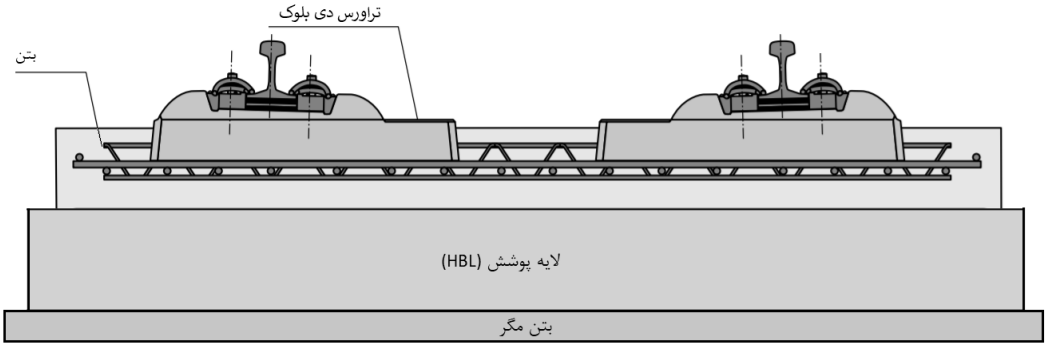


شکل ۲-۱ مقطع عرضی خط بالاستی تک خطه

۲-۱-۲- روسازی بدون‌بالاست (دال‌خط)

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 بدون‌بالاست رشد چشمگیری داشته است. استفاده از روسازی بدون‌بالاست اگرچه موجب رفتار دینامیکی پیچیده‌تر می‌گردد، مزایای قابل‌توجهی مانند پایداری بیشتر وسیله نقلیه ریلی و به ویژه کاهش عملیات متناوب نگهداری و تعمیر را به همراه دارد.

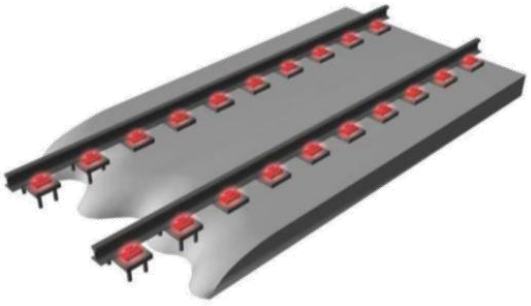
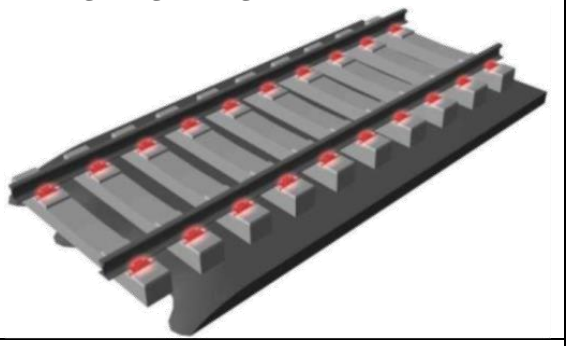
متداول‌ترین نوع سیستم روسازی بدون‌بالاست، روسازی بتنی نام دارد که شامل یک دال بتنی پیش‌ساخته و یا درجاریز است که ریل و صفحه لاستیکی زیر ریل بر روی آن قرار دارد و با پابندها تثبیت می‌شود (شکل ۲-۲). به‌طورکلی تفاوت اساسی میان سیستم روسازی بالاستی و بدون‌بالاست در استفاده یا عدم استفاده از مصالح بالاست به‌عنوان نخستین لایهٔ تکیه‌گاهی برای اجزای فوقانی (ریل و تراورس) می‌باشد. روسازی‌های بتنی می‌توانند به‌صورت یک لایه بتنی منفرد و یا یک مجموعهٔ متشکل از یک لایهٔ 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.

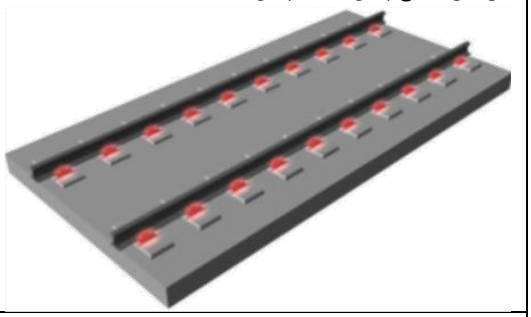
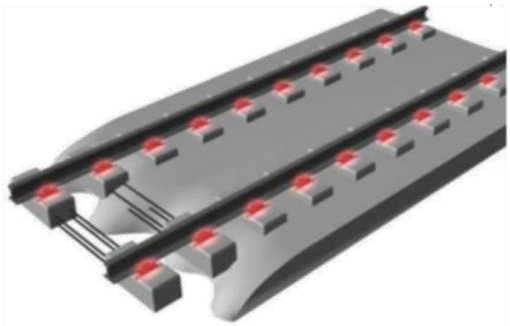


شکل ۲-۲ مقطع عرضی خط بدون‌بالاست (دال خط)

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 ۲-۱، مهم‌ترین انواع روسازی‌های بدون‌بالاست به همراه مشخصات و نمونه‌های اجرایی آن‌ها در جهان ارائه شده است.

جدول ۲-۱ انواع روسازی‌های بدون‌بالاست

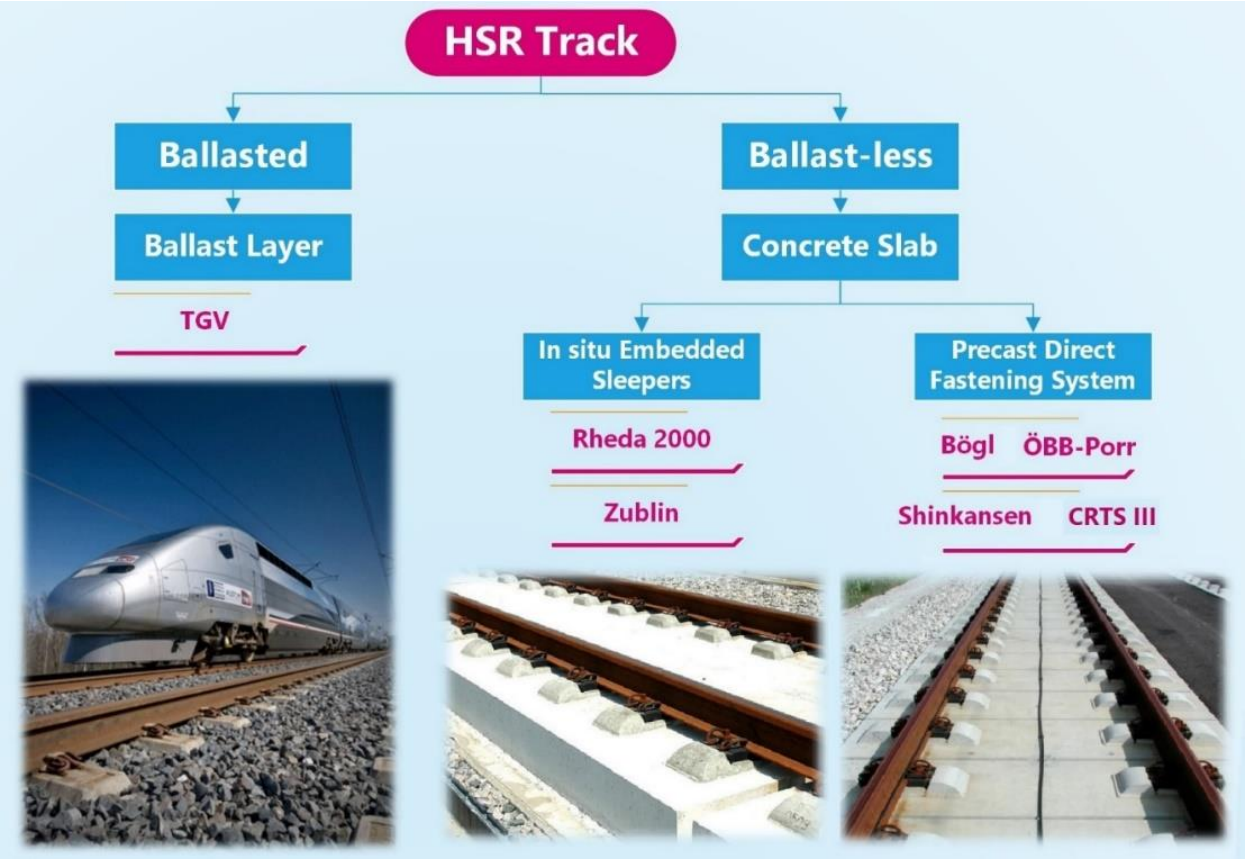
نوع	تعریف سیستم و نمونه‌ها	ویژگی‌ها
سیستم ریل مدفون	ریل مدفون در تکیه‌گاه ارتجاعی پیوسته که با استفاده از مصالح ارتجاعی مانند پلی‌اورتان تقریباً تمامی پروفیل ریل به غیر از تاج آن را پوشانده است. **نمونه‌ها:** ادیلون- اینفوندو (Edilon- Infundo)، بالفور بتی یا BBERS (Balfur Beatty)،طرح خط عرشه‌ای (Deck Track)، KES، Grooved ERL.	- 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	لایهٔ 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:** ATD، BTD، GETRAC، والتر (WALTER)، ساتو (SATO)، FFYS.	- روش اجرا از پایین به بالا؛ - لایهٔ 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 پیش‌ساختهٔ پیش‌تنیده  **نمونه‌ها:** OBB-Porr، ایپا (IPA)، بوگل (FF Bögl)، دال J یا شینکانسن، FST، Railtech (دال شناور).	- 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 قابل‌توجهی است و از این نظر هزینه‌های بالایی به بار می‌آورد.
سیستم تراورس مدفون	قرار گرفتن تراورس‌ها در داخل بتن یا مستقیماً بر روی بستر بتنی  **نمونه‌ها:** رهدا (RHEDA)، رهدا برلین، رهدا ۲۰۰۰، زوبلین (Züblin)، هایت کمپ (Heitkamp)	- 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.

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

از سال ۱۹۷۰ میلادی، راه‌آهن ملی ژاپن توجه زیادی به نصب و اجرای دال‌خط در خطوط پرسرعت داشته است. در اروپا، آلمان از سال ۱۹۷۲ تاکنون، فعال‌ترین کشور در ساخت دال‌خط 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 به‌نوعی، 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

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

۲-۲- مقایسه کلی روسازی بالاستی و بدون‌بالاست

ازآنجاکه 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 قابل‌اعتماد انجام پذیرد. این پشتیبانی باید بر اساس نگاهی نظام‌مند و جامع نسبت به معیارهای تأثیرگذار بر انتخاب سیستم روسازی ازجمله 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 بدون‌بالاست، 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 بدون‌بالاست در خطوط ریلی

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

به‌طورکلی پروژه‌های احداث و توسعه خطوط ریلی در دو بخش اصلی به شرح زیر قابل‌طبقه‌بندی می‌باشد:

۱- خطوط جدید:

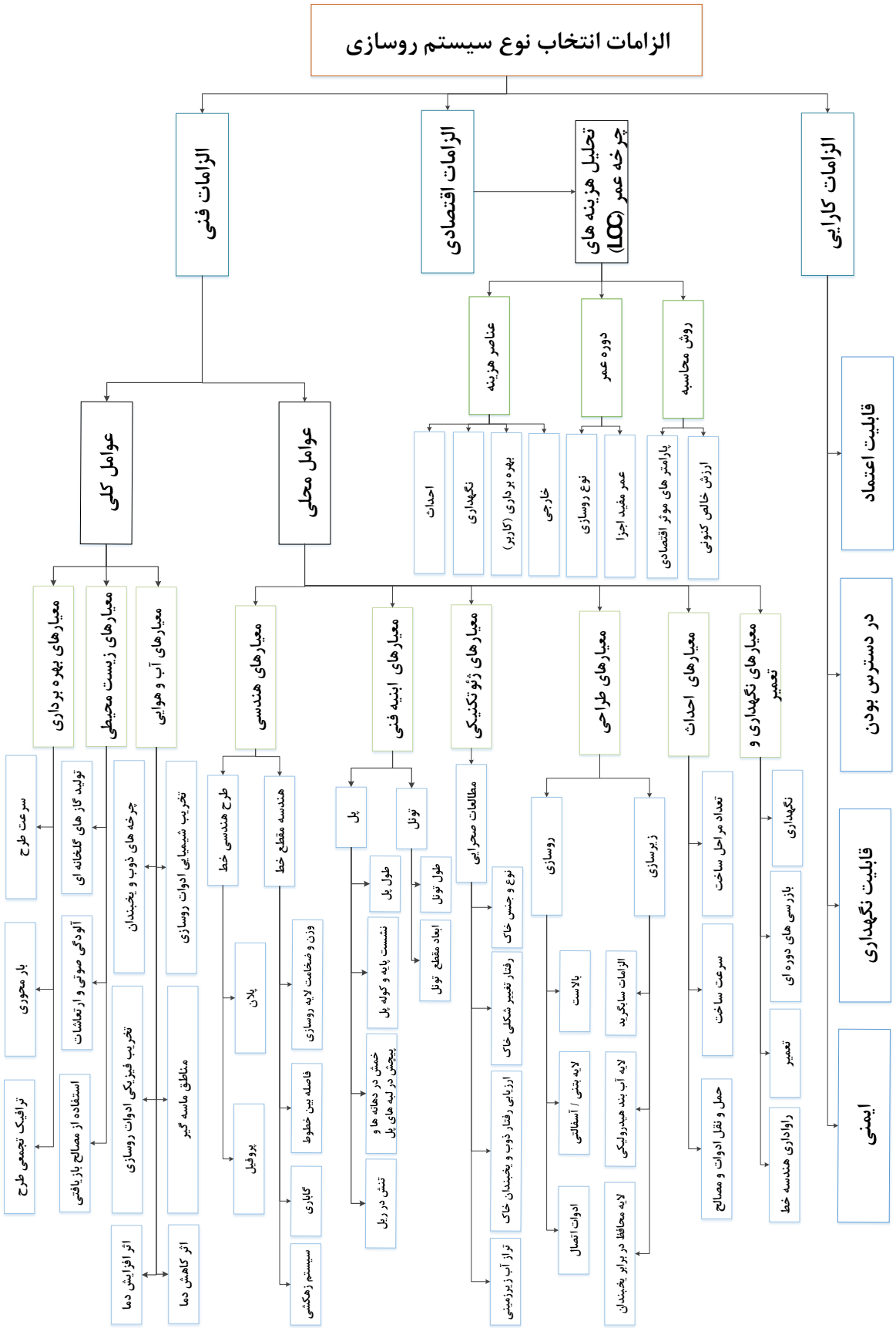
- احداث یک خط جدید در مناطقی که شبکه ریلی وجود ندارد
- احداث یک خط جدید در کریدور خط موجود (افزایش تعداد خطوط)

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 بدون‌بالاست 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. به‌طورکلی، 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 بدون‌بالاست 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 بدون‌بالاست راه‌آهن است. از منظر الزامات فنی، عواملی که بر انتخاب بین سیستم روسازی بالاستی و بدون‌بالاست اثر می گذارند 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 بهره برداری

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 بررسی‌شده‌اند.

۳-۲-۱-۱- سرعت

افزایش سرعت منجر به افزایش بارهای دینامیکی، افزایش ضربه و در نتیجه زوال سریع‌تر خط‌آهن خواهد شد. به‌طورکلی خطوط بالاستی در مقایسه با خطوط بدون‌بالاست 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 بدون‌بالاست 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

محدوده سرعت	نوع روسازی
$\geq$ ۳۰۰ km/h	ترجیحاً بدون‌بالاست
۲۰۰ $\leq$ < ۳۰۰ km/h	بالاستی یا بدون‌بالاست
< ۲۰۰ km/h	ترجیحاً بالاستی

[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 بدون‌بالاست به دلیل توزیع یکنواخت‌تر 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 بدون‌بالاست بدلیل توزیع مناسب‌تر تنش و کاهش عملیات نگهداری و تعمیر مناسب‌تر رفتار می کند.

۳-۲-۱-۳- ترافیک تجمعی

پیش‌بینی تراکم ترافیک در شرایط بهره‌برداری اولیه، از مهم‌ترین ورودی‌ها جهت تحلیل انتخاب سیستم روسازی است. به بیان ساده‌تر، پیش‌بینی ترافیک میان‌مدت 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 درنتیجه 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 دال‌خط استفاده شود.

۲- دسترسی‌پذیری 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 می گذارد. 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 همهٔ 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 ۳-۲، نوع روسازی پیشنهاد شده با توجه به ترافیک تجمعی نشان داده شده است.

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

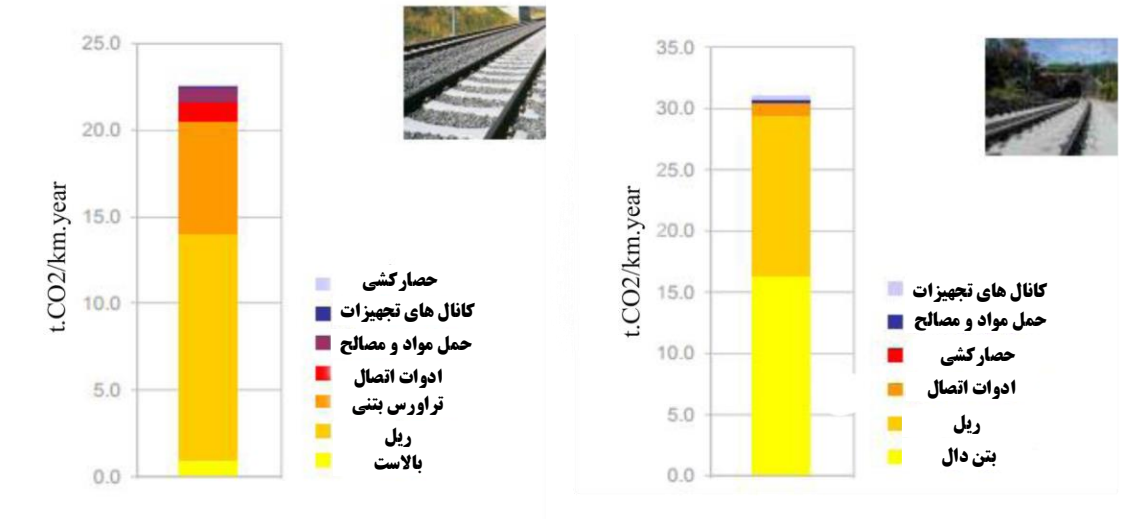
تناژ ناخالص سالانه (MGT)	روسازی پیشنهاد شده
≤ ۱۰	ترجیحاً بالاستی
۱۰ < ≤ ۳۰	بالاستی یا بدون‌بالاست
> ۳۰	ترجیحاً بدون‌بالاست

۳-۲-۲- الزامات زیست‌محیطی

تأثیرات زیست‌محیطی مرتبط با احداث، توسعه، نگهداری و تعمیر خطوط ریلی دامنه وسیعی را شامل می‌شود. فرآیندهایی مانند حمل مصالح در طول خط و تولید مصالح مورد استفاده در خط (مانند سیمان و مصالح فولادی در بتن و ...)، همگی می‌توانند با ایجاد تغییرات اقلیمی بر روی محیط‌زیست (آلودگی ناشی از گازهای گلخانه‌ای مانند CO2)، آلودگی هوا، آلودگی صوتی، تغییر کیفیت آب و خاک و تنوع جانوری و چشم‌اندازهای موجود، محیط پیرامون خود را به‌شدت تحت تأثیر قرار دهند. در ادامه به مهم‌ترین آلودگی‌های زیست‌محیطی که باید در انتخاب روسازی راه‌آهن مدنظر قرار گیرند، اشاره می‌شود.

۳-۲-۲-۱- آلودگی ناشی از انتشار گازهای گلخانه‌ای

بیشترین تفاوت بین خط بالاستی و بدون‌بالاست در میزان انتشار CO_2 است. در خطوط بدون‌بالاست به دلیل استفاده از بتن، میزان CO_2 تولیدشده، مقدار قابل‌توجهی بیشتر از خطوط بالاستی است. به‌علاوه، به دلیل محدودیت بیشتر در میزان نشست مجاز در خطوط بدون‌بالاست، بهسازی خاک بستر این خطوط بسیار حائز اهمیت است. این موضوع، خود عاملی بر انتشار قابل‌توجه CO_2 است. حدود ۵۰٪ از آلودگی در هر دو گزینه، ناشی از تولید فولاد ریل است (شکل ۳-۳). به‌صورت کلی، خط بدون‌بالاست در ابتدای احداث، مقدار CO_2 بسیار بیشتری را تولید می‌کند اما به دلیل نیاز بیشتر به انجام عملیات نگهداری در خطوط بالاستی، در پایان دوره عمر، تولید CO_2 در این خطوط افزایش‌یافته و به مقدار آلودگی در خطوط بدون‌بالاست نزدیک می‌شود اما کماکان کمتر از خط بدون‌بالاست است.



شکل ۳-۳ نمونه مقادیری از آلودگی ناشی از CO_2 در خط بالاستی و بدون‌بالاست

به‌عنوان نمونه، در جدول ۳-۳، آلودگی ناشی از گاز گلخانه‌ای CO_2 در خط بالاستی و خط بدون‌بالاست، پس از گذشت ۳۰ سال، ۶۰ سال و در پایان دوره عمر با یکدیگر مقایسه شده است. بر اساس این جدول مشاهده می‌شود 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 درصورتی‌که 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 CO_2 در خط بالاستی و بدون‌بالاست

نوع روسازی	آلودگی از نوع CO_2 (kg/m)		
	پس از۳۰سال	پس از۶۰سال	پایان دوره عمر
بالاستی	۶۰۰	۱۲۰۰	۱۸۰۰
بدون‌بالاست (رهدا ۲۰۰۰)	۱۳۵۰	۱۷۰۰	۲۰۵۰

۳-۲-۲-۲- 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، به‌طوری‌که یک سازه صلب مانند دال‌خط، 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 دال‌خط‌ها 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 دال‌خط‌ها 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 آن‌که 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 دورهٔ عمر پیش‌بینی‌شده (۶۰ سال) می‌تواند به دال بتنی آسیب برساند.

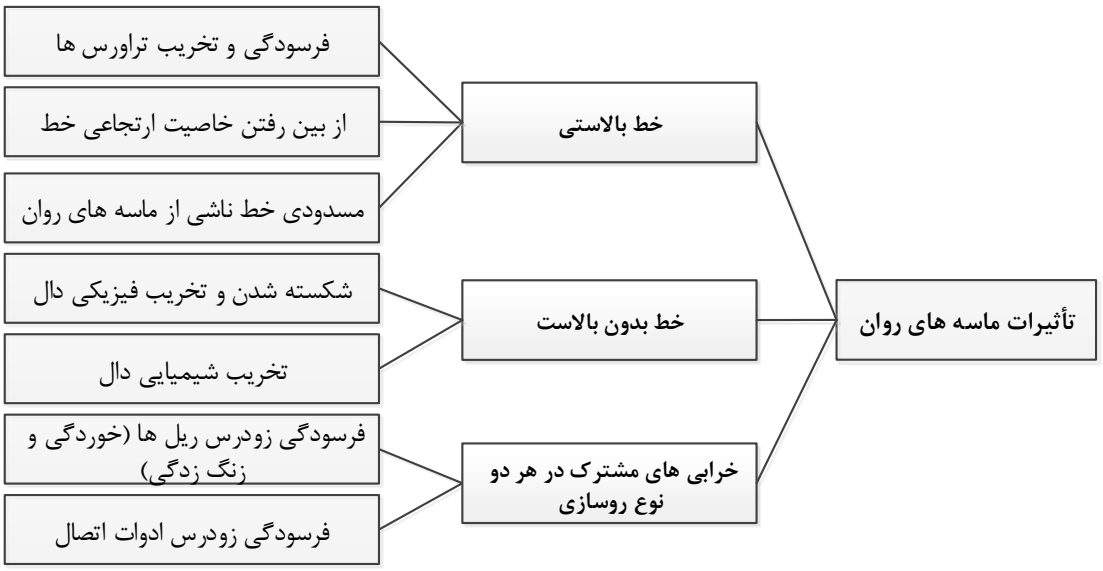
تأثیر شرایط اقلیمی منطقه احداث خط بر انتخاب روسازی، بسته به حساسیت روسازی و اجزای آن نسبت به اقلیم منطقه تعیین می‌شود. در این خصوص توضیحات به شرح زیر قابل‌ذکر است:

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 کلاهک 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 درنتیجه 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 بدون‌بالاست 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 ماسه‌های روان بر انواع سیستم روسازی

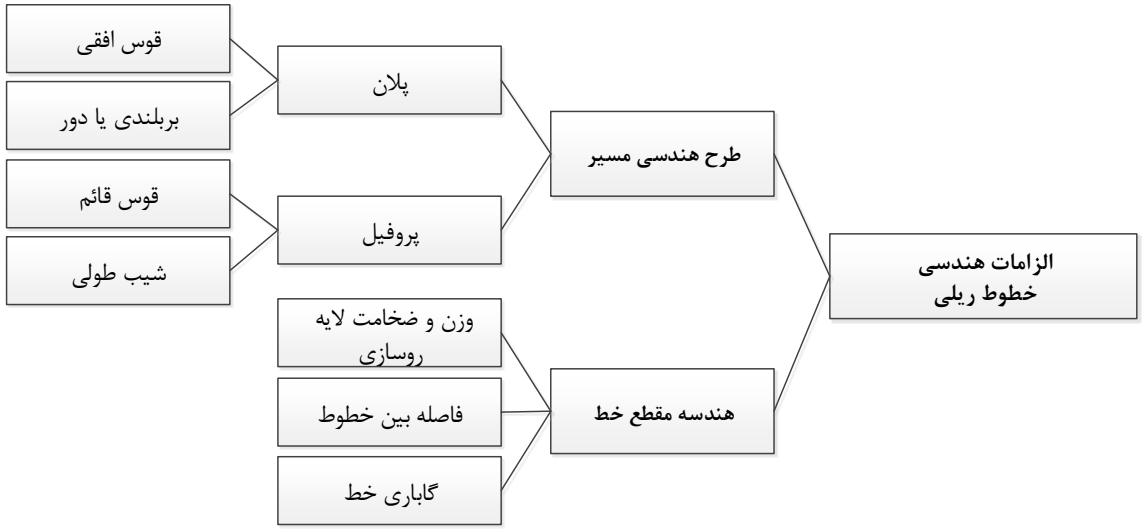
۲- مناطق سیل‌خیز، برف‌گیر و مستعد یخبندان: در مناطق سیل‌خیز، خطر آب‌شستگی خط در اثر بارندگی و طغیان رودخانه‌ها به‌شدت افزایش می‌یابد. با توجه به آن که خط بالاستی از پایداری کمتری برخوردار بوده و احتمال آب شستگی در آن به‌مراتب بیش از خط بدون‌بالاست است، این خطر، خط بالاستی را بیش از خط بدون‌بالاست تهدید می‌کند.

در مناطق برف‌گیر 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، می‌شود. 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 ذوب‌شدگی 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 شکل‌گیری عدسی‌های یخی در این مناطق می‌شود. بارگذاری خط بالاستی و بدون‌بالاست همراه با پدیده ذوب و یخبندان در طول عمر تخمینی خط، منجر به وارد آمدن آسیب به روسازی می‌شود. در زیرسازی و بستر راه‌آهن نیز تأثیر چرخه های ذوب و یخبندان بر رفتار خط قابل‌چشم‌پوشی نخواهد بود. این پدیده در خطوط بالاستی با توجه به احتمال نفوذ بیشتر، خطرناک‌تر از خطوط بدون‌بالاست 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 می‌دهند (شکل ۳-۵).



شکل ۳-۵ الزامات هندسی اثرگذار در انتخاب نوع روسازی

۳-۲-۳-۱- طرح هندسی مسیر

پارامترهای اصلی دخیل در طرح هندسی مسیر شامل مشخصات قوس‌های افقی، بربلندی، قوس‌های قائم و شیب و فراز طولی مسیر می‌باشد. دراین 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 بربلندی بر انتخاب سیستم روسازی بررسی شده است.

لازم به ذکر است که رواداری‌های هندسی مربوط به خط بالاستی نسبت به دال‌خط 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 بدون‌بالاست ساده‌تر است. لذا از این منظر خط بالاستی نسبت به خط بدون‌بالاست دارای مزیت نسبی است.

- **شعاع قوس افقی**

ازآنجاکه کاهش شعاع قوس افقی منجر به افزایش نیروهای جانبی اعمال‌شده به روسازی خط می‌گردد، لذا خطوط بدون‌بالاست 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 بدون‌بالاست
≤۲۰۰km/h	تفاوتی در انتخاب سیستم بالاستی و بدون‌بالاست وجود ندارد.
>۲۰۰km/h	با افزایش سرعت، حداقل شعاع مجاز قوس در خط بالاستی بیشتر از خط بدون‌بالاست افزایش می‌یابد.

- **بربلندی (دور)**

در خطوط بدون‌بالاست 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 بدون‌بالاست نسبت به روسازی بالاستی دارای مزیت نسبی است. در جدول ۳-۵، حداکثر مقادیر بربلندی مجاز بر اساس نوع سیستم روسازی نشان داده شده است. لازم به ذکر است در هر دو نوع روسازی در شرایط استثنایی (به‌صورت محدود) و در صورت تأیید طراح، میزان بربلندی تا سقف ۱۸۰ میلی‌متر در استانداردهای مربوطه پیشنهاد شده است.

جدول ۳-۵ بربلندی مجاز بر اساس نوع سیستم روسازی[1]

نوع روسازی	خطوط بالاستی	خطوط بدون‌بالاست
مقدار مجاز	۱۶۰mm	۱۷۰mm

۳-۲-۳-۲- هندسه مقطع خط

- **گابارى خط**

عرض و ضخامت خط بالاستی بیش از خط بدون بالاست است و از این جهت، در مناطقی که محدودیت فضا وجود دارد، به‌کارگیری روسازی بدون‌بالاست می‌تواند گزینه مناسب باشد. این موضوع قطعاً در هزینه‌های احداث روسازی، به‌ویژه در موقعیت ابنیه فنی نظیر تونل‌ها تأثیر بسزایی خواهد داشت. در جدول ۳-۶، نمونه‌ای از گابارى خط‌آهن در روسازی بالاستی و بدون‌بالاست و سرعت‌های مختلف با یکدیگر مقایسه شده است.

جدول ۳-۶ ابعاد نمونه گابارى راه‌آهن بالاستی و بدون‌بالاست[2]

نوع خط	سرعت	V ≤ ۲۰۰km/h	V >۲۰۰km/h
بالاستی	ضخامت خط	۰,۷ (m)	۰,۷۶ (m)
	طول تراورس	۲,۶ (m)	۲,۸ (m)
	عرض بیرونی بالاست تا تراورس V≤۱۶۰km/h V>۱۶۰km/h	 ۰,۴ (m) ۰,۵ (m)	۰,۴۵ (m)
	شیب شانه بالاست	۱:۱,۵	۱:۱,۵
بدون‌بالاست	ضخامت خط	۰,۵-۰,۷ (m)	۰,۵-۰,۷ (m)

[1] مقادیر ارائه شده پیشنهاد عمومی است و طراحان باید بر اساس مستندات و نشریات مربوطه اقدام کنند.

[2] مقادیر ارائه شده پیشنهاد عمومی است و طراحان باید بر اساس مستندات و نشریات مربوطه اقدام کنند.

- **وزن و ضخامت لایه روسازی**

در جدول ۳-۷، وزن و ضخامت روسازی در خط بالاستی و انواع معروف‌تر خطوط بدون‌بالاست با یکدیگر مقایسه شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود در اغلب موارد، ارتفاع تمام‌شده روسازی در خطوط بدون‌بالاست کمتر از خط بالاستی است. هم‌چنین وزن واحد طول دال‌خط کمتر از خط بالاستی است که خود معیار رقابتی مهمی از منظر هزینه و زمان در جریان احداث، نگهداری و بازسازی به‌ویژه با نگاه به ابنیه فنی مسیر نظیر پل‌ها و تونل‌ها می‌باشد.

جدول ۳-۷ ارتفاع و وزن تقریبی سیستم‌های روسازی

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

۳-۲-۴- الزامات ابنیه فنی

این بخش به ارائه الزامات فنی مرتبط با پل‌ها و تونل‌ها می‌پردازد. لازم به ذکر است که مطابق الزامات ارائه‌شده در فصل هفتم نشریه ۳۰۱ با عنوان "مشخصات فنی عمومی روسازی راه‌آهن"، توصیه شده است که در پل‌های با طول بیشتر از ۴۰۰ متر و تونل‌های بیشتر از ۷۰۰ متر از روسازی بدون‌بالاست استفاده شود. در این بخش نیز بر این الزام تأکید می‌شود.

۳-۲-۴-۱- پل

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

- **تأثیر وزن روسازی بر طراحی پل**

پل‌ها بستر نسبتاً صلبی را برای خطوط بالاستی فراهم می‌کنند، بنابراین برای دستیابی به خاصیت ارتجاعی لازم باید ضخامت لایه بالاست افزایش یابد. این امر می‌تواند منجر به افزایش ارتفاع و وزن سازه پل‌ها 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 تمام‌شده احداث خط می‌گردد.

عموماً استفاده از روسازی بدون‌بالاست بر روی پل‌ها به علت وزن کمتر آن‌ها نسبت به خطوط بالاستی بسیار متداول است. درعین‌حال، در صورت اجرای خط بدون‌بالاست بر روی پل، لازم است تأمین نیازهای خاص خطوط بتنی بر روی ابنیه فنی (مانند افزایش خاصیت ارتجاعی خط) پیش‌بینی شود. البته در پل‌های با ظرفیت باربری پایین (مانند پل‌های

خطوط فرعی و ...) به دلیل تمایل به کاهش هزینه‌های ساخت، استفاده از روسازی بدون‌بالاست 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 تعیین‌شده تجاوز ننماید. در جدول ۳-۸، محدوده نشست مجاز یکنواخت و نسبی در پایه‌ها و کوله‌های پل برای روسازی‌های بالاستی و بدون‌بالاست 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 بدون‌بالاست	۲۰
نشست نسبی پایه‌ها و کوله‌های مجاور	خط بالاستی	۱۵
	خط بدون‌بالاست	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 به‌واسطهٔ 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 بدون‌بالاست
تنش کششی	<۹۲MPa	<۹۲MPa
تنش فشاری	<۷۲MPa	<۹۲MPa

- **خمش در دهانه‌های پل و پیچش در لبه‌های آن**

در پل های 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 تعیین‌شده قرار گیرد، بلکه زاویه چرخش انتهای هر شاه‌تیر باید به مقدار تعیین‌شده در حالت بین کوله پل و شاه‌تیر انتهایی محدود شود. اگر چرخش انتهای شاه‌تیر در خطوط بدون‌بالاست بیش از مقادیر معین‌شده در جدول باشد، لازم است اثر بار بر روی سازهٔ خط در انتهای شاه‌تیرها محاسبه و بررسی شود.

شکل ۳-۶ چرخش انتهای شاه‌تیرها

جدول ۳-۱۰ محدوده چرخش مجاز در شاه‌تیرهای انتهای پل

نوع خط	موقعیت	زاویه پیچش (رادیان)	توضیحات
بالاستی	بین کوله پل و شاه‌تیر انتهایی	$\theta \leq ۲‰$	-
	بین شاه‌تیرهای انتهایی	$\theta_۱+\theta_۲ \leq ۴‰$	-
بدون‌بالاست	بین کوله پل و شاه‌تیر انتهایی	$\theta \leq ۱,۵‰$	$\leq ۰,۵۵m$ طول طره شاه‌تیر انتهایی
		$\theta \leq ۱‰$	$۰,۵۵m <$ طول طره شاه‌تیر انتهایی $\leq ۰,۷۵m$
	بین شاه‌تیرهای انتهایی	$\theta_۱+\theta_۲ \leq ۳‰$	$\leq ۰,۵۵m$ طول طره شاه‌تیر انتهایی
		$\theta_۱+\theta_۲ \leq ۲‰$	$۰,۵۵m <$ طول طره شاه‌تیر انتهایی $\leq ۰,۷۵m$

- **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 می‌باشد. خطوط بالاستی سازگاری بالایی با سازه دارند. هنگام استفاده از خط بدون‌بالاست روی پل نیز باید سازگاری مناسبی بین خط و پل ایجاد کرد. راه‌حل‌های مختلفی برای ایجاد این سازگاری پیشنهاد شده است که به طول دهانهٔ پل وابسته بوده و قطعاً بر هزینه‌های احداث تأثیرگذار می‌باشد:

* در پل‌های 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 می‌تواند به‌صورت آزادانه زیر دال‌خط بتنی حرکت نماید.

* در پل‌های بلند (با طول دهانهٔ بیش از ۲۵m)، به منظور مقابله با نیروهای افقی از جمله نیروی ترمز و شتاب‌گیری، دال‌خط بتنی معمولاً با استفاده از المان‌های مهاری (مانند انواع برش‌گیرها، کلیدهای برشی، آرماتورهای برشی و...) بر روی عرشهٔ پل ثابت می‌شود. در سیستم‌های ریل مدفون، حداکثر طول دهانه تا ۱۵m مجاز است. در این پل‌ها استفاده از درز انبساط توصیه می‌شود. اطلاعات بیشتر در خصوص انواع درزهای انبساط در فصل هشتم نشریه ۳۰۱ ارائه شده است.

* اجرای خط بدون‌بالاست با پابندهای متداول در پل‌های دره‌ای[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 ۷۰-۶۵ متر برای خط بدون‌بالاست، نیز می‌شود. به‌منظور رفع این محدودیت می‌توان 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 می‌شود.

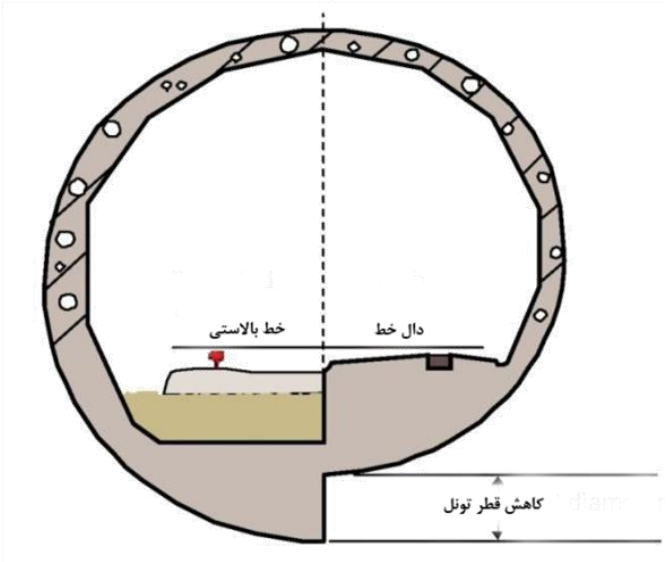
استفاده نمود. در مورد پل‌های دره‌ای بلند پیوسته و پل‌های دره‌ای با تکیه‌گاه ساده، ملاحظات مربوط به درز انبساط پل و همچنین اندرکنش روسازی و عرشه پل از منظر نیروهای طولی وارد بر روسازی نیازمند کنترل توسط طراح روسازی است.

۳-۲-۴-۲- تونل

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

- **تأثیر نوع روسازی بر سطح مقطع عرضی تونل**

مزیت اصلی استفاده از خط بدون‌بالاست در تونل آن است که روسازی بتنی یا آسفالتی خط می‌تواند به‌صورت 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 ۳-۷). به‌بیان‌دیگر، نیاز به اجرای لایه آب‌بند هیدرولیکی در تونل‌ها وجود ندارد. ازاین‌رو، سطح مقطع عرضی تونل نیز کوچک‌تر و هزینه‌های ساخت آن به‌صورت چشمگیری کاهش خواهند یافت.



شکل ۳-۷ کاهش سطح مقطع عرضی در تونل‌ها

علاوه بر کاهش ضخامت دال‌خط 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 ۳-۱۱، نمونه‌هایی از انواع معروف‌تر خطوط بدون‌بالاست به همراه ضخامت آن‌ها در شرایط عادی و در تونل ارائه شده است.

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

نوع سیستم روسازی	ضخامت کلی (mm)	ضخامت کاهش‌یافته 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 بدون‌بالاست 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 بدون‌بالاست 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 بدون‌بالاست
تونل با طول بین ۳۵۰ تا ۷۰۰ متر	توصیه اکید استفاده از روسازی بدون‌بالاست
تونل با طول بیشتر از ۷۰۰ متر	الزام به استفاده از روسازی بدون‌بالاست

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 فاصلهٔ 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 بدون‌بالاست 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. درجدول ۳-۱۳ سطح تراز آب زیرزمینی مجاز در خط بالاستی و بدون‌بالاست با یکدیگر مقایسه شده است.

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

	خط بالاستی	**خط بدون‌بالاست**
سطح مجاز تراز آب زیرزمینی	حداقل ۲٫۵m پایین‌تر از تاج ریل *	حداقل ۱٫۵m 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 بدون‌بالاست، و حتی خطوط بدون‌بالاست 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. درعین‌حال 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 بدون‌بالاست 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 بدون‌بالاست ارائه شده است.

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

در دال‌خط‌ها، 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 دال‌خط لازم است بستری پایدار و مقاوم در برابر نشست در زیرسازی وجود داشته باشد. در جدول ۳-۱۴ الزامات اصلی مربوط به زیرسازی در خط بالاستی و دال خط با یکدیگر مقایسه شده است.

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

	خط بالاستی	دال خط
عمق زیرسازی	۰٫۳۵-۰٫۵m زیر لایه شکل‌دهی	۲٫۵ متر پایین‌تر از نشیمنگاه ریل
ضخامت لایه زیربالاست/ لایه محافظ در برابر یخبندان	بیش از ۱۵cm	بیش از ۷۰cm
مدول الاستیسیته لایه زیربالاست/ لایه محافظ در برابر یخبندان در آزمایش PLT (Ev_2)	E_{v2}>۱۲۰ MN/m^2	E_{v2}>۱۲۰ MN/m^2
ضخامت لایه تکیه‌گاه در خاکریزها	-	بیش از ۱٫۸۰ m
مدول الاستیسیته سطح فوقانی زیرسازی در آزمایش PLT (Ev_2)	E_{v2}>۴۵ MN/m^2 برای خاک ریزدانه E_{v2}>۶۰ MN/m^2 برای شن و ماسه	خط تازه احداث: E_{v2}>۶۰ N/m^2 خطوط موجود: E_{v2}>۴۵ N/m^2
درصد تراکم پراکتور در خاکریزها	٪۹۵ تا ٪۱۰۰	۹۸ تا ٪۱۰۰ تا عمق بیش از۲٫۵-۳ 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 ۳-۸) :

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

نشست بستر طبیعی (S_S) نشست خاکریز (S_E) نشست ناشی از بار ترافیک (S_T)

$$S_{tot}=S_S+S_E+S_T$$

شکل ۳-۸ منابع مختلف ایجاد نشست در خط

مقدار نشست مجاز در خطوط بالاستی بیشتر از خطوط بدون بالاست است. و افزایش مقدار نشست در خطوط بدون‌بالاست منجر به وارد آمدن تنش زیاد به دال بتنی و در مواقع بحرانی، ترک‌خوردگی آن می‌شود. 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 بدون‌بالاست در خاکریز توصیه نمی‌شود. جهت تعیین مقادیر مجاز نشست، استفاده از جدول ۳-۱۵ توصیه می‌شود.

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

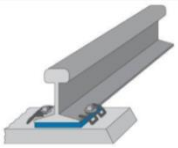
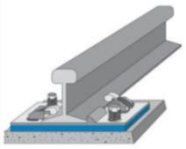
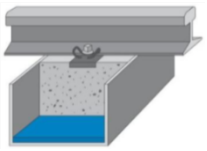
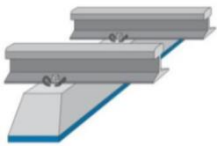
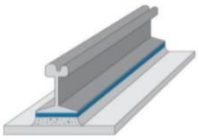
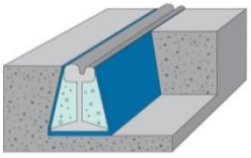
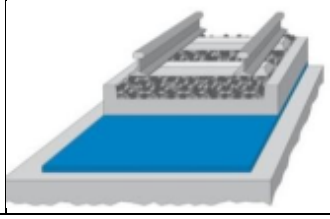
نوع خط	حد مجاز نشست (mm)		
	سرعت	V ≤ ۲۵۰km/h	V >۲۵۰km/h
بالاستی	نشست یکنواخت	۱۰۰	۵۰
	نشست نسبی (در طول ۱۰ متر)	۲۰	۱۰
	نشست در محل کوله پل	۵۰	۳۰
بدون بالاست	نشست یکنواخت	۳۰	۳۰
	نشست نسبی (در طول ۱۰ متر)	۲۰	۱۰
	نشست در محل کوله پل	۲۰	۵

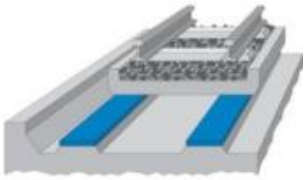
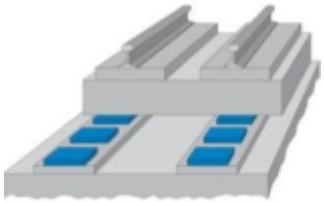
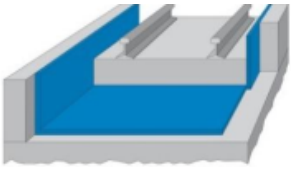
*** حدود ارائه‌شده در جدول برای نشست ماندگار است که پس از اتمام ساخت زیرسازی رخ می‌دهد. به‌عبارت‌دیگر نشست ناشی از بار مرده روسازی و بار زنده ناوگان مدنظر می‌باشد.**

۳-۲-۶-۲- 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 دال‌خط سختی کمتر پابندهای آن (≈22.5kN/mm) به جهت جایگزینی خاصیت ارتجاعی بالاست است. ادوات اتصال باید ایمنی سیر را در سرعت‌های بالا به‌ویژه 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 می‌کنند. یکی دیگر از روش‌های استهلاک ارتعاشات در دال بتنی استفاده از ادوات اتصال با قابلیت کاهش ارتعاشات در خط است که نمونه‌ای از این ادوات در جدول ۳-۱۶ بررسی شده‌اند. بدیهی است انتخاب نوع روش مرتبط باید در جریان طراحی موردتوجه 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 (صفحهٔ 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.
دال‌خط شناور تمام سطح 	- مناسب برای خطوط در محدودهٔ 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
دال‌خط 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 Hz ۱۵-۸ ؛
دال‌خط 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 Hz ۱۲-۵ ؛ - استهلاک صدای ایجاد شده در سازه تا بیش از ۳۰ دسی‌بل در فرکانس‌های فوق بحرانی؛
دال‌خط شناور پیوسته 	- مناسب برای خطوط تراموا - در این سیستم دیواره‌های کناری و نیز بستر خط به طور کامل با فرش ارتجاعی پوشیده می شوند. - مناسب برای سیستم‌های با فرکانس طبیعی ۱۵ تا ۲۲Hz و نیز صداهای بالاتر از ۲۰dB 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. به‌طورکلی، هرچه عملیات ساخت در محل (درجا) بیشتر باشد، مراحل ساخت نیز بیشتر است. درنتیجه سرعت اجرای خط به‌شدت کاهش خواهد یافت. بنابراین با هدف دستیابی به طراحی بهینه می‌توان گام‌های ساخت را کاهش و درعین‌حال عملکرد کلی سازه را بهبود بخشید.

در خطوط بالاستی، بالاست‌ریزی و تعیین تراز هندسی مسیر به‌صورت درجا انجام می‌شوند. در دال‌خط نیز، اتصال عناصر پیش‌ساخته به یکدیگر در خطوط پیش‌ساخته، بتن‌ریزی دال در خطوط درجا و تعیین تراز هندسی مسیر ازجمله 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

درصورتی‌که 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 دال‌خط 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 بدون‌بالاست نشان داده‌شده است. مطابق آنچه در جدول ۳-۱۷ ارائه شده است، سرعت اجرا خطوط بالاستی از بدون‌بالاست بیشتر است. با انجام اقداماتی از قبیل کاهش تعداد مراحل ساخت، افزایش تعداد جبهه‌های کاری، برنامه‌ریزی و مدیریت ساخت و ... می‌توان سرعت اجرای خطوط بدون‌بالاست را افزایش داد.

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

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 بدون‌بالاست و مقایسه آن‌ها، تمامی وجوه زیر باید مدنظر قرار گیرند.

۳-۲-۸-۱- الزامات نگهداری هندسه مسیر

در خطوط بدون‌بالاست 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 بدون‌بالاست با خط بالاستی برابر است). از سوی دیگر، انعطاف‌پذیری خط‌آهن بالاستی مزایایی نیز به همراه دارد. به‌عنوان‌مثال 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 بدون‌بالاست 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 سرند بالاست اشاره کرد. این در حالی است که بسیاری از وجوه نگهداری و تعمیر در خطوط بدون‌بالاست، همچنان در حال توسعه‌اند.

به‌طورکلی 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 بدون‌بالاست برای سرعت‌های مختلف ارائه شده است. چنانچه مشاهده می‌شود خطوط بدون‌بالاست رواداری‌های محدودتری نسبت به خطوط بالاستی دارد.

جدول ۳-۱۸ رواداری‌های مربوط به پارامترهای هندسی خطوط بالاستی و بدون‌بالاست[1]

پارامتر هندسی	سرعت سیر (km/h)	رواداری مجاز (mm)	
		خط بالاستی	خط بدون‌بالاست
عرض خط	V ≤۱۰۰	۴+ و ۲-	۲+ و ۲-
	۱۰۰ < V ≤ ۱۲۰	۶+ و ۲-	
	۱۲۰ < V ≤ ۱۶۰	۶+ و ۲-	۳+ و ۲-
	خطوط پرسرعت	۲+ و ۲-	۱+ و ۱-
تراز طولی (در یک طول ۱۰ متری)	V ≤۱۶۰	۴	
	خطوط پرسرعت	۲	
تراز افقی (در یک طول ۱۰ متری)	V ≤۱۶۰	۴	
	خطوط پرسرعت	۲	
تراز عرضی (دور)	V ≤۱۶۰	۴	
	خطوط پرسرعت	۲	
پیچش (در یک طول ۳ متری)	V ≤۱۶۰	-	
	خطوط پرسرعت	۲	

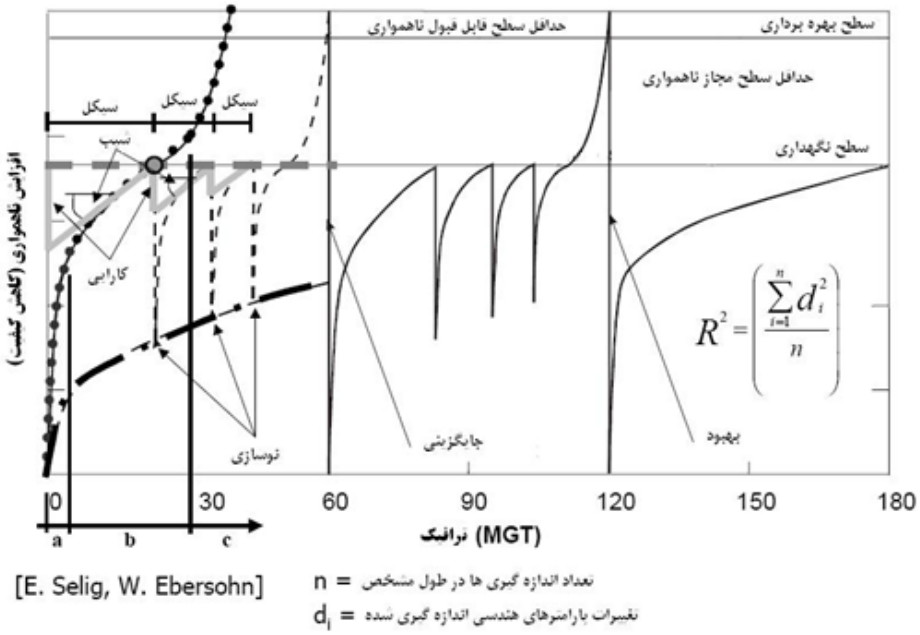
۳-۲-۸-۲- بررسی نرخ زوال روسازی

در شکل ۳-۹، الگوی زوال تئوری برای یکی از پارامترهای خط بالاستی به نام «ناهمواری»[2] 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 قابل‌تشخیص است: مرحله اول تحت عنوان «جوانی» به‌سرعت پس از تکمیل فعالیت نوسازی یا بازسازی رخ‌داده که نتیجه نشست آنی خط تحت تأثیر بارهای وارده است (بخش a). این بخش غیر قابل پیش‌بینی بوده و از یک بلاک تا بلاک دیگر تغییر می‌کند و ازاین‌رو مدل‌سازی آن دشوار است. بخش دوم که

[1] مقادیر ارائه شده پیشنهاد عمومی است و طراحان باید بر اساس مستندات و نشریات مربوطه اقدام کنند.

[2] Roughness

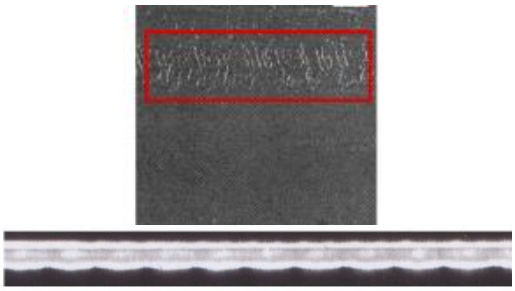
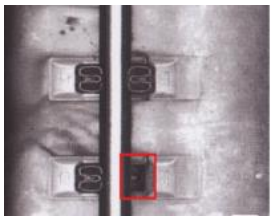
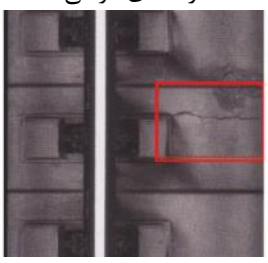
برای خط پایدار شده اتفاق می‌افتد، نشان‌دهنده زوال تقریباً خطی است که اکثر طول عمر خط را شامل می‌شود (بخش b). بخش سوم نیز که همراه زوال بسیار سریع خط با رفتار نمایی است، آخرین بخش از منحنی (بخش c) را تشکیل می‌دهد. معمولاً این بخش شرایطی را شامل می‌شود که به دلیل افت ایمنی سیر و حرکت در آن، هرگز نباید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



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

پدیده خستگی در اجزای خطوط بدون‌بالاست 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 بدون‌بالاست، 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 درنتیجه خستگی سایر اجزای خط می‌شود.

جدول ۳-۱۹ نمونه‌ای از زوال اجزای خط بدون‌بالاست

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

به‌طورمعمول، عملیات نگهداری در هنگامی‌که 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

به‌طور قابل‌توجهی کاهش می‌یابد. نوع عملیات نگهداری و تعمیر، به‌ویژه در خطوط با حجم ترافیک عبوری بالا و محدود بودن زمان در دسترس برای انجام این عملیات، بسیار حائز اهمیت است. ازآنجاکه 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 تصمیم‌گیری 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 به‌ویژه تراز ارتفاعی خط با نرخ شتابداری زوال می‌یابد. با تغییر ناگهانی سختی قائم خط در این مناطق به علت افزایش دامنه بار دینامیکی، لازم است عملیات نگهداری با حساسیت ویژه‌ای 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 تراورس‌های مجزا، وجود لایه پشتیبان نامحدود (بالاست و زیربالاست) و شیب عرضی عواملی هستند که با تکیه بر آن‌ها می‌توان اطمینان حاصل کرد که آب از خط خارج و به سمت زهکش‌های کناری هدایت شده است. در دال‌خط‌ها، تخلیه آب کانال میانی خطوط، به زهکش‌های 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 بدون‌بالاست در نظر گرفته شود. علیرغم آن‌که خروج از ریل در خطوط بدون‌بالاست، آسیب کمتری به خط وارد نموده و به‌راحتی قابل‌ترمیم است، باید در نظر گرفت که دال شکسته یا به‌شدت آسیب‌دیده به سرمایه بالایی برای تعمیرات نیاز خواهد داشت و درنتیجه تأثیرات طولانی‌مدت آن بر بهره‌برداری آشکارا به چشم می‌خورد. باوجود نیاز اندک به فعالیت‌های تعمیراتی در دال‌خط‌ها، این عملیات پیچیده، هزینه‌بر و زمان‌بر است. زیرا همان‌طور که عمل‌آوری و سخت شدن بتن به مدت‌زمان زیادی نیاز دارد، وقوع پیشامد جدی در این سیستم نیز منجر به بسته شدن کامل خط و ایجاد موانع عملیاتی طولانی‌مدت خواهد شد.

۳-۳- ملاحظات اقتصادی

به‌منظور بهره‌گیری از یک سیستم روسازی باید هزینه‌های آن سیستم با سایر گزینه‌ها مقایسه شود. هزینه‌های مرتبط با یک سیستم روسازی در گام نخست، به میزان سرمایه‌گذاری اولیه وابسته است. درعین‌حال هزینه‌های نگهداری، نوسازی، زیست‌محیطی و قابلیت دسترسی در طول دوره عمر آن روسازی، در اختصاص بودجه موردنیاز و جریان مالی به‌شدت

اثرگذار هستند. بنابراین لازم است جهت محاسبهٔ هزینه کل سیستم در طول دورهٔ 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 کمی‌سازی اثرات ناشی از هزینه است. می‌توان گفت تحلیل هزینه چرخه عمر روشی برای تصمیم‌گیری و ارزیابی اقتصادی، در مقایسه با سایر استراتژی‌های موجود یا گزینه‌های طراحی می‌باشد که باید در انتخاب سیستم روسازی به‌عنوان گامی اساسی در تصمیم‌گیری از آن استفاده شود. در ادامه تعاریف و توضیحات مرتبط با روند تحلیل هزینه‌های 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 هزینه‌های چرخه عمر داراست. منظور از دوره عمر روسازی، مدت‌زمان بین انتخاب روسازی تا خارج شدن از بهره‌برداری و اسقاط آن است. این موضوع از دو منظر اساسی قابل‌بررسی است.

الف: طول عمر اجزاء زیرساخت: که به طور متداول عمر متوسط بهره‌برداری مورد انتظار برای اجزاء مختلف زیرساخت محسوب می‌شود و با استناد به مدل‌های زوال مربوط به هر یک از اجزای روسازی راه‌آهن قابل‌تعیین می‌باشد. درعین‌حال یکی از معضلات مربوط به این بخش، عدم وجود بانک‌های 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 بهره‌برداری در تعیین دوره عمر اجزا بسیار مؤثر می‌باشند.

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

۳-۳-۲- ساختار و اجزای هزینه‌های چرخه عمر روسازی

هزینه چرخه عمر روسازی به معنای "ارزیابی تجمعی هزینه‌های روسازی در طول دوره عمر آن" می‌باشد. خصوصیات معمول خطوط راه‌آهن، نشان می‌دهد که هزینه‌یابی چرخه عمر برای تصمیم‌گیری در خصوص سرمایه‌گذاری و همچنین هماهنگی اولویت‌های نگهداری و نوسازی اهمیت بسیار بالایی پیدا می‌کند. این خصوصیات عبارت‌اند از:

- نیاز به سرمایه‌گذاری‌های بالا برای ایجاد زیرساخت‌های جدید؛
- نیاز به عملیات تعمیر و نگهداری سالانه و نوسازی‌های فراوان؛
- دارا بودن چرخه عمر طولانی (اغلب بیش از ۳۰ سال)؛
- رابطه قوی بین کیفیت زیرساخت و نیاز به تعمیر و نگهداری در طول بهره‌برداری.

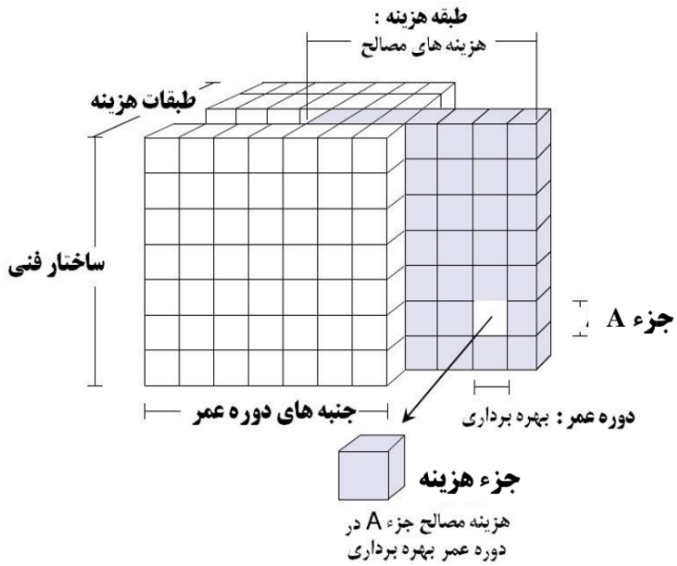
بر این اساس، اهداف اصلی هزینه‌یابی چرخه عمر در راه‌آهن عبارت‌اند از:

[۱] Life Cycle Cost Analysis (LCCA)

- ارزیابی مؤثر شرایط و گزینه‌های موجود؛
- در نظر گرفتن تأثیر تمامی هزینه‌ها به‌جای «صرفاً هزینه سرمایه‌گذاری اولیه»؛
- امکان ایجاد مقایسه بهتر و درنتیجه تصمیم‌گیری مناسب‌تر بین گزینه‌ها؛
- پشتیبانی از مدیریت مؤثر سرمایه‌گذاری‌ها در طول چرخه عمر آن‌ها.

به‌منظور 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 گرفته‌شده نظیر نیروی انسانی، مصالح، تجهیزات، انرژی، حمل‌ونقل 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 به‌قرار زیر خلاصه می‌شوند:

هزینه‌های احداث (خط+ زیرساخت‌های مورد نیاز):

- سرمایه‌گذاری: مالکیت دارایی شامل خرید زمین، احداث خط و ابنیه فنی راه‌آهن 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:

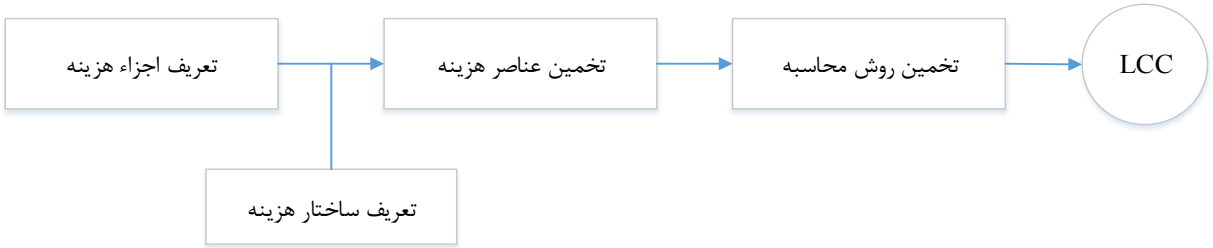
- تأخیر: هزینه کارکنان، مصرف انرژی، هزینه وسایط نقلیه، هزینه‌های تجاری، واکنش مشتری
- تعویق: جریمه‌های عدم دسترسی

در صورت دسترسی به داده‌های موثق و قابل‌اعتماد توصیه می‌شود سایر هزینه‌ها (مانند هزینه ناشی از خرابی مصالح و تجهیزات در اثر بروز سوانح و هزینه‌های ناشی از تخریب محیط‌زیست) نیز در این بررسی گنجانده شود.

منظور از ساختار هزینه، تعریف گروه‌های هزینه به‌منظور 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 قابل‌اعتماد 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- فرآیند محاسبه هزینه دوره عمر

به‌منظور 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 به‌عنوان 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 هزینه هایی که از یک سیستم به سیستم دیگر تغییر می‌یابد، کفایت می‌کند. گنجاندن هزینه‌هایی که در سیستم‌های روسازی مختلف تقریباً یک سان ه ستند، منجر به ح صول نتیجه ا شتباه نخواهد شد، اما نیازمند به جمع‌آوری داده‌های ا ضافی و تحلیل هزینه‌های مربوطه است، فلذا می‌توان برای کاهش زمان ارزیابی از آن‌ها صرف‌نظر 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 بدون‌بالاست نشان می‌دهد که تنوع این دسته از روسازی‌ها نسبت به خطوط بالاستی بسیار قابل‌ملاحظه است. این موضوع باعث می‌شود که در تعیین چشم‌انداز موجود درزمینه هزینه‌های ساخت، نگهداری و تعمیر و به‌طورکلی هزینه‌های دورهٔ عمر خطوط بدون‌بالاست، دشواری‌هایی وجود داشته باشد. به‌عبارت‌دیگر، 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 بدون‌بالاست 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 دال‌خط 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 به‌مراتب بزرگ‌تر از هزینه دوره عمر خط بدون‌بالاست خواهد بود. یکی دیگر از عوامل افزایش هزینه ناشی از ساخت خطوط بالاستی در تونل ها، افزایش مقطع تونل به علت ارتفاع بیشتر خطوط بالاستی است. بر این اساس استفاده از روسازی بدون‌بالاست 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 مورداستفاده در نگهداری نیز ازجمله عوامل کلیدی تأثیرگذار بر هزینه‌ها هستند که باید به‌دقت موردتوجه قرار گیرند.

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

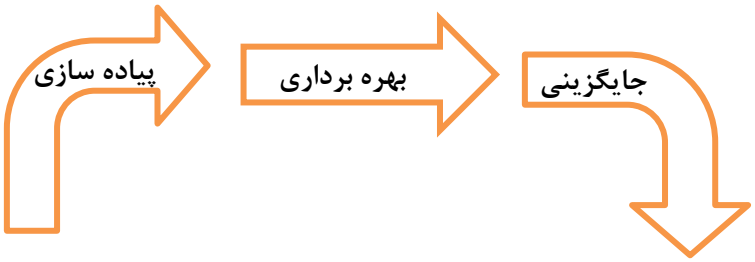
پارامتر هزینه		روابط
هزینه ساخت (در یک کیلومتر)		$LCC_{construction} = \sum_{t=0}^{100} \frac{C_{construction}(1+i)^t}{(1+r)^t}$ t: سال r : نرخ تنزیل i :نرخ تورم $C_{construction}$: هزینه اولیه ساخت خط
هزینه نگهداری (در یک متر)	بازرسی هندسی	$LCC_{geom.insp} = \sum_{t=1}^{N} \frac{C_{geom.insp} \times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

پس از محاسبهٔ 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 قابل‌تعریف است (شکل ۳-۱۲):

۱- دوره ابتدایی: مدت‌زمان پیاده‌سازی زیرساخت جدید؛

۲- دوره دوم: مدت‌زمان بهره‌برداری از زیرساخت؛

۳- دوره سوم: مدت‌زمان جایگزینی سرمایه‌گذاری.



شکل ۳-۱۲ دوره‌های چرخه عمر زیرساخت‌های ریلی

مدل‌های تعیین هزینه چرخه عمر راه‌آهن غالباً به‌صورت سرمایه‌گذاری سالانه تعیین‌شده و با توجه به دوره زمانی عمر زیرساخت، دوره‌های اول و سوم به‌عنوان یک سال در محاسبات وارد می‌شوند. نکته دیگر آنکه هزینه‌های خارجی معمولاً در طی دوره دوم عمر زیرساخت، یعنی دوره بهره‌برداری مطرح‌شده و در مدل‌سازی هزینه وارد می‌گردند. بنابراین به‌منظور محاسبه مجموع هزینه دوره عمر می‌توان از رابطه ۳-۱ استفاده نمود:

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

$$LCC_{total} = LCC_{construction} + \left[LCC_{geom.insp} + LCC_{din.insp}\right] + \left[LCC_{renewal}\right] \quad \text{برای خط بدون‌بالاست} \qquad ۳\text{-}۱$$

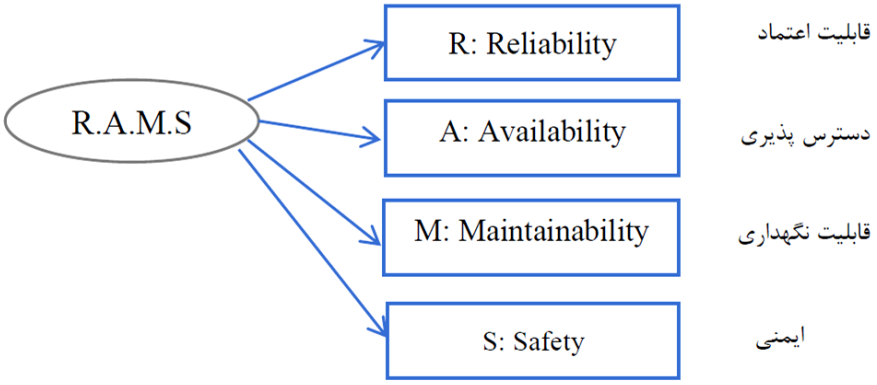
پارامترهای موجود در رابطه ۳-۱ در جدول ۳-۲۰ معرفی شده‌اند. جزء اول این رابطه، سرمایه‌گذاری خالص اولیه است. درحالی‌که جزء دوم، هزینه متغیر نگهداری سالانه و جزء سوم آن، هزینه ناشی از بازسازی مسیر را در هزینه دوره عمر کلی وارد می‌کند.

۳-۴- ملاحظات کارایی (RAMS)

امروزه مسائلی از قبیل قابلیت اعتماد، قابلیت نگهداری و در دسترس بودن به‌عنوان یکی از مهم‌ترین اصول مدیریت زیرساخت‌ها مطرح است و هدف اصلی آن ارائه خدمات در زمان مطلوب و با کیفیت مناسب با رویکردی رقابتی می‌باشد. از دیدگاه مهندسی، موضوعات قابلیت اعتماد و در دسترس بودن مباحث جدیدی تلقی می‌شوند. این موضوعات تنها به‌عنوان بخشی از فرآیند طراحی مهندسی در نظر گرفته نمی‌شوند، بلکه نقش مهمی برای تحلیل هزینه‌های چرخه عمر، تحلیل‌های اقتصادی، مطالعات بهره‌برداری و ظرفیت، مدیریت تعمیر و تأمین قطعات یدکی موردنیاز، تصمیم‌گیری‌های بازسازی و مدیریت نگهداری پیشگیرانه ایفا می‌کنند. از آنجا که به‌کارگیری اصول و ملاحظات کارایی نیازمند یک پایگاه داده گسترده و قابل‌اطمینان می‌باشد، در پروژه‌های انتخاب سیستم روسازی در خطوط معمولی به‌کارگیری این ملاحظات الزامی نیست.

شایان‌ذکر است در پروژه‌های ریلی با درجه اهمیت زیاد (مانند احداث خطوط ریلی پرسرعت و یا باری سنگین)، به‌کارگیری 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 به‌کارگیری مفاهیم مهندسی سازمان‌یافته و روش‌ها و ابزارهای موردنیاز در طول دوره عمر یک سیستم قابل‌دستیابی است. ازاین‌رو 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 قابل‌اعتماد بوده و حداقل تأخیرها و حوادث در آن رخ دهد. همچنین فعالیت نگهداری و تعمیر باید بیشترین زمان ممکن را در زمان‌های برنامه‌ریزی‌شده در اختیار داشته باشد. به‌طورکلی به‌منظور پیش‌بینی و اطمینان از قابلیت اعتماد، دسترسی‌پذیری و قابلیت نگهداری در سیستم راه‌آهن، لازم است که جزئیات و اطلاعات مربوطه در دست باشد تا بتوان تجزیه‌وتحلیل قابلیت اطمینان از هر زیرسیستم را که از نقطه‌نظر عملیاتی مهم است، به‌درستی 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 RAMS 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 RAMS 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 به‌صورت عمومی پرداخته و از ورود به جزئیات دقیق RAMS صرف‌نظر شده است.

۳-۴-۱-۱- قابلیت اعتماد

یکی از پارامترهای کارایی، قابلیت اعتماد است که به‌صورت «احتمالی که یک مورد مشخص برای مدت‌زمان مشخص، وظیفه تعیین‌شده‌ای را در یک محیط معین انجام دهد» تعریف شده است. در سیستم‌های پیچیده معمولاً الزامات قابلیت اعتماد برحسب زمان متوسط تا رخداد شکست (MTBF[۱]) و یا نرخ شکست تعیین می‌شود که مقدار آن توسط رابطه ۳-۲ 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. به‌عبارت‌دیگر می‌توان قابلیت اعتماد را به‌صورت درصد احتمالی که یک بخش بتواند عملکرد موردنظر خود را بدون خرابی در یک بازه مشخص تحت شرایط تعیین‌شده انجام دهد، تعریف کرد.

$$MTBF = \frac{\text{زمان کل برداری‌بهره}}{\text{تعداد خرابی یا شکست}} \qquad ۳-۲$$

جهت بررسی قابلیت اعتماد به یک سیستم در طول دورهٔ 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 مورداستفاده را در اختیار داشت. شایان‌ذکر 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- دسترسی‌پذیری

توانایی یک محصول در انجام عملکرد موردنیاز در شرایط معین در یک لحظه معین یا خارج از بازه زمانی تعیین‌شده، با فرض تأمین منابع خارجی موردنیاز «دسترسی‌پذیری» 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 مورداستفاده را در اختیار داشت. شایان‌ذکر 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 قابل‌اندازه‌گیری است که امکان ارزیابی این مؤلفه از RAMS را فراهم کرده و مقدار این پارامتر به منابع خارجی تأمین‌شده جهت نگهداری (مانند نیروی انسانی باکفایت، توانایی و تخصص موجود) و سطح ترافیک وابسته است.

[۱] Mean Time Between Failure

۳-۴-۱-۳- 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. به‌عبارت‌دیگر، قابلیت نگهداری یکی از شاخص‌های طراحی و نصب است که به‌صورت 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 به‌صورت اصلاحی و یا پیشگیرانه باشد.

۳-۴-۱-۴- ایمنی

ایمنی عبارت است از انتظار این‌که برای یک سیستم در شرایط تعریف‌شده حالتی رخ ندهد که زندگی انسان در آن به خطر بیافتد. 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 به‌درستی انجام دهد. به‌علاوه 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 می توان یکی از روابط موجود را مورد استفاده قرار داد.

۳-۴-۲- روابط حاکم بر کارایی (RAMS)

در یک جمع‌بندی کلی می‌توان عوامل تأثیرگذار بر تعیین شاخص RAMS را در قالب جدول ۳-۲۱ ارائه داد. شایان‌ذکر است که این روابط به‌صورت کلی ارائه شده است و به‌منظور ورود به جزئیات استفاده از شاخص RAMS باید به کمک داده های 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 به‌صورت زیر قابل‌تعیین است: $R(t) = P(\frac{s \text{ به صورت تابعی از } t}{s \text{ به صورت تابعی از } t=0})$ R: قابلیت اعتماد به سیستم S: سیستم t: زمان اندازه‌گیری شده
دسترسی‌پذیری (A)	برای سیستم S، دسترسی‌پذیری به‌صورت زیر قابل‌تعریف است: $A(t) = P\left(\frac{\text{زمان تعمیر سیستم S}}{\text{زمان رخداد شکست } t=0}\right)$ A: میزان دسترسی به سیستم S: سیستم t: زمان اندازه‌گیری شده برای سیستم‌های غیرقابل تعمیر، دسترسی‌پذیری معادل قابلیت اعتماد خواهد بود. $\text{دسترسی پذیری} = 1 - \frac{\text{ناتوانی}}{\text{توان حداکثر}}$
قابلیت نگهداری (M)	برای سیستم S، قابلیت نگهداری $M(t)$ به‌صورت زیر قابل‌تعیین است: $M(t) = P(\frac{\text{زمان تعمیر سیستم S}}{\text{زمان رخداد شکست } t=0})$ M: قابلیت نگهداری از سیستم S: سیستم t: زمان اندازه‌گیری شده

۳-۵- جمع‌بندی الزامات و ملاحظات تأثیرگذار بر انتخاب روسازی

به‌منظور تصمیم‌گیری مناسب در انتخاب سیستم روسازی، لازم است درجهٔ سازگاری روش‌های تصمیم‌گیری با معیارها و گزینه‌های اثرگذار بر انتخاب بررسی شود. در این بخش به‌عنوان جمع‌بندی، خلاصه‌ای از الزامات و ملاحظات تأثیرگذار بر انتخاب روسازی در قالب جدول ۳-۲۲ ارائه شده است. لازم به ذکر است که هرگونه اولویت‌بندی یا وزن‌دهی به این معیارهای فنی، به روش تصمیم‌گیری و شرایط پروژه وابسته است و در خلال فرایند تصمیم‌گیری و با توجه به شرایط و محدودیت‌های خاص هر پروژه انجام می‌شود.

شایان‌ذکر است برخی از الزامات تعیین‌شده در این جدول، نقش الزامات محدودکننده را ایفا می‌کنند به‌نحوی‌که فارغ از اولویت‌بندی، رعایت این معیارها الزامی است. به‌طور مثال، درصورتی‌که مقدار نشست یکنواخت خاکریز از ۳۰mm تجاوز نماید، استفاده از خط بدون‌بالاست ممنوع است، مگر آن‌که تمهیداتی در زمینه کنترل نشست اندیشیده شود. بنابراین درصورتی‌که معیار الزام‌آوری بر بخشی از خط حکم‌فرما باشد، اولویت با اجرای آن معیار است.

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

نام	الزام/ملاحظه			توضیحات/ پیشنهادات		
الزامات فنی (کلی)	معیارهای بهره‌برداری	سرعت	≥ ۳۰۰ km/h	ترجیحاً بدون‌بالاست		
			۲۰۰ ≤ < ۳۰۰ km/h	بالاستی یا بدون‌بالاست		
			< ۲۰۰ km/h	ترجیحاً بالاستی		
		ترافیک تجمعی	≤ ۱۰	ترجیحاً بالاستی		
			۱۰ ≤ < ۳۰	بالاستی یا بدون‌بالاست		
			> ۳۰	ترجیحاً بدون‌بالاست		
	معیارهای زیست‌محیطی	آلودگی ناشی از انتشار گاز گلخانه‌ای	نوع روسازی	آلودگی از نوع CO_2 (kg/m)		
				پس از ۳۰سال	پایان دوره عمر	
			بالاستی	۶۰۰	۱۸۰۰	
			بدون‌بالاست (رهدا)	۱۳۵۰	۲۰۵۰	
		آلودگی صوتی		آلودگی صوتی خط بدون‌بالاست از خط بالاستی بیشتر است.		
	معیارهای آب و هوایی	اثر افزایش دما		خطر ناشی از کمانش ریل ناشی از افزایش دما در خط بالاستی بسیار بیشتر از خط بدون‌بالاست 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 بالاستی بیش از خط بدون‌بالاست است.		
		برف‌گیر، سیل‌خیز و مستعد یخبندان		در خط بالاستی خطر آبشستگی و یخبندان لایه روسازی بیشتر از بدون‌بالاست است		
الزامات فنی (محلی)	معیارهای هندسی	طرح هندسی مسیر	قوس افقی	V>200km/h : با افزایش سرعت، حداقل شعاع مجاز قوس در خط بالاستی بیشتر از خط بدون‌بالاست افزایش می‌یابد.		
				V<200km/h : تفاوتی در انتخاب سیستم ایجاد نمی‌کند.		
			بربلندی (دور)	خط بالاستی	۱۶۰mm	
				خط بدون‌بالاست	۱۷۰mm	
		هندسه مقطع خط	گابارای خط	در مناطق با محدودیت فضایی خط بدون‌بالاست توصیه می‌شود.		
			وزن و ضخامت روسازی		V<۲۰۰km/h	V>۲۰۰km/h
				ارتفاع خط بالاستی	۰,۷m	۰,۷۶m
				ارتفاع خط بدون‌بالاست	۰,۵- ۰,۷ m	۰,۵- ۰,۷ m
	معیارهای ابنیه فنی	پل	طول	طول پل	> ۴۰۰m	بدون‌بالاست
					< ۴۰۰m	بالاستی یا بدون‌بالاست
			نشست پایه و کوله	نشست یکنواخت پایه‌ها و کوله‌های پل	بالاستی	۳۰mm
					بدون‌بالاست	۲۰mm
				نشست نسبی نامتقارن پایه‌ها و کوله‌های پل	بالاستی	۱۵mm
					بدون‌بالاست	۵mm

نام	الزام/ملاحظه			توضیحات/ پیشنهادات		
			خمش در دهانه‌ها و پیچش در لبه‌های پل	-	موقعیت	زاویه پیچش
				بالاستی	بین کوله پل و شاه‌تیر انتهایی	$\theta \leq ۲‰$
					بین شاه‌تیرهای انتهایی	$\theta_۱+\theta_۲ \leq ۴‰$
				بدون‌بالاست	بین کوله پل و شاه‌تیر انتهایی	$\theta \leq ۱,۵‰$
					بین شاه‌تیرهای انتهایی	$\theta_۱+\theta_۲ \leq ۳‰$
			محدودیت تنش ریل	-	تنش کششی	تنش فشاری
				بالاستی	<۹۲MPa	<۷۲MPa
				بدون‌بالاست	<۹۲MPa	<۹۲MPa
			تونل	طول تونل	< ۳۵۰m	بالاستی یا بدون‌بالاست
					۳۵۰≤ <۷۰۰m	توصیه اکید روسازی بدون‌بالاست
					≥ ۷۰۰	بدون‌بالاست
معیارهای ژئوتکنیکی	مطالعات صحرایی	رفتار یخ‌زدگی- ذوب‌شدگی	خطر آن در خط بالاستی به‌شدت بالاتر از خط بدون‌بالاست است.			
		تعیین سطح آب زیرزمینی	در خط بالاستی بین ۰٫۸ تا ۲٫۵m پایین‌تر از تاج ریل			
			در خط بدون‌بالاست حداقل ۱٫۵m پایین‌تر از تاج ریل			
ملاحظات طراحی	ملاحظات زیرسازی	-	خط بالاستی		خط بدون‌بالاست	
		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>۱۲۰ MN/m^2		Ev_2>۱۲۰ MN/m2	
		ضخامت لایه تکیه‌گاه در خاکریزها	-		بیش از ۱٫۸۰ m	
		مدول الاستیسیته سطح فوقانی زیرسازی (PLT)	E_{v2}>۴۵ MN/m^2 برای خاک ریزدانه E_{v2}>۶۰ MN/m^2 برای شن و ماسه		خط تازه احداث: Ev2>۶۰ N/m2 خطوط موجود: Ev2>۴۵ N/m2	
		درصد تراکم پراکتور در خاکریزها	۹۵٪ تا ۱۰۰٪		۹۸ تا ۱۰۰٪ تا عمق بیش از ۳- ۲٫۵ متر زیر تاج ریل	
	ملاحظات نشست (نشست مجاز mm)	-	سرعت	V≤۲۵۰km/h		V>۲۵۰km/h
		خط بالاستی	نشست یکنواخت	۱۰۰		۵۰
			نشست نسبی (طول ۱۰m)	۲۰		۱۰
			نشست در محل کوله پل	۵۰		۳۰
		خط بدون‌بالاست	نشست یکنواخت	۳۰		۳۰
			نشست نسبی (طول ۱۰m)	۲۰		۱۰
			نشست در محل کوله پل	۲۰		۵

<table>
<tr><th>نام</th><th colspan="4">الزام/ملاحظه</th><th colspan="4">توضیحات/ پیشنهادات</th></tr>
<tr><td rowspan="12">ملاحظات اقتصادی</td><td rowspan="2"></td><td colspan="3">ملاحظات روسازی</td><td colspan="4">طراحی ادوات اتصال از منظر ارتعاش و تأمین ارتجاعیت خط برای روسازی‌های بدون‌بالاست متنوع و مهم است.</td></tr>
<tr><td rowspan="2">معیارهای احداث</td><td colspan="3" rowspan="2">سرعت ساخت</td><td colspan="4">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.</td></tr>
<tr><td colspan="4">روسازی بالاستی (۱۰۰۰ متر در روز) و روسازی بدون‌بالاست رهدا (۵۰۰ متر در روز)</td></tr>
<tr><td rowspan="6">معیارهای نگهداری و تعمیر</td><td colspan="3">نگهداری و تعمیر در خط بالاستی و بدون‌بالاست</td><td colspan="4">با افزایش تناژ عبوری از روی خط، نیازبه نگهداری و تعمیر در خط بدون‌بالاست کمتر از خط بالاستی است.</td></tr>
<tr><td rowspan="5">پارامترهای هندسی خطوط ریلی</td><td rowspan="4">عرض خط</td><td></td><td>بالاستی</td><td>بدون‌بالاست</td></tr>
<tr><td>$V \leq 100$</td><td>۴+ و ۲-</td><td rowspan="2">۲+ و ۲-</td></tr>
<tr><td>$100 < V \leq 120$</td><td>۶+ و ۲-</td></tr>
<tr><td>$120 < V \leq 160$</td><td>۶+ و ۲-</td><td>۳+ و ۲-</td></tr>
<tr><td>خطوط پرسرعت</td><td>۲+ و ۲-</td><td>۱+ و ۱-</td></tr>
<tr><td colspan="4">در رواداری تراز طولی، تراز افقی، تراز عرضی و پیچش خط تفاوتی از نظر بالاستی یا بدون‌بالاست بودن خط آهن وجود ندارد.</td></tr>
<tr><td rowspan="6">اجزاء هزینه</td><td rowspan="2">هزینه احداث</td><td>سرمایه‌گذاری</td><td colspan="4">مالکیت دارایی شامل زمین، احداث خط و ابنیه فنی و خطوط فرعی</td></tr>
<tr><td>مدیریت</td><td colspan="4">هزینه‌های مدیریت، دستمزد، امنیت پلیس، برنامه و طرح، آموزش کارکنان، مشاوره (مشاوران خارجی)</td></tr>
<tr><td rowspan="2">هزینه نگهداری و تعمیر</td><td>نگهداری و تعمیرات</td><td colspan="4">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)</td></tr>
<tr><td>بهره‌برداری و خدمات</td><td colspan="4">خدمات مربوط به پل‌ها، علائم ترافیکی، بهره‌برداری سیگنالینگ، جریان تراکشن، مصرف برق</td></tr>
<tr><td rowspan="2">هزینه بازسازی</td><td>نوسازی</td><td colspan="4">بازسازی خط، ابنیه، نگهداری و تعمیرات اساسی (خط، سوزن، بالاست، ایستگاه، پل، تونل، برق بالاسری، سیگنالینگ و ارتباطات و ...)</td></tr>
<tr><td>استهلاک و اسقاط</td><td colspan="4">استهلاک مصالح استفاده‌شده</td></tr>
<tr><td rowspan="2">هزینه عدم دسترسی</td><td>تأخیر</td><td colspan="4">هزینه کارکنان، مصرف انرژی، هزینه وسایط نقلیه، هزینه‌های تجاری، واکنش مشتری</td></tr>
<tr><td>تعویق</td><td colspan="4">جریمه‌های عدم در دسترس بودن</td></tr>
<tr><td rowspan="2">دورهٔ عمر</td><td colspan="3">طول عمر اجزاء زیرساخت</td><td colspan="4">طول عمر اجزای خط بدون‌بالاست بیش از خط بالاستی است.</td></tr>
<tr><td colspan="3">متوسط عمر روسازی</td><td colspan="4">عمر متوسط روسازی بالاستی ۲۵ تا ۳۰ و روسازی بدون‌بالاست ۵۰ تا ۶۰ سال است.</td></tr>
<tr><td rowspan="4">ملاحظات کارایی</td><td rowspan="4">RAMS</td><td colspan="3">قابلیت اعتماد</td><td colspan="4" rowspan="4">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.</td></tr>
<tr><td colspan="3">دسترسی‌پذیری</td></tr>
<tr><td colspan="3">قابلیت نگهداری</td></tr>
<tr><td colspan="3">ایمنی</td></tr>
</table>

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 به‌عنوان 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 به‌صورت توأمان و در دو مرحله «طراحی اولیه» و «طراحی دقیق» آغاز می‌شود. در طراحی اولیه، الزامات معرفی‌شده 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

روند اجرا	اطلاعات ورودی/خروجی
شروع طراحی	- ویژگی‌های عملیاتی بلندمدت (نوع ترافیک (پرسرعت، مسافری، باری، مختلط)، سرعت بهره‌برداری، حداکثر بار محوری و ...) - پیش‌بینی تقاضا در بلندمدت (ویژگی‌های بهره‌برداری، درآمدها و ...)
تحلیل کریدور	- شرایط طبیعی محلی (وضعیت اقلیمی و آب و هوایی، وضعیت ژئوتکنیکی، شرایط توپوگرافی و ...)
گزینه‌های مسیر، ارزیابی محیطی ↔	- 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)
طراحی اولیه ↔	- 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 CO_2، صدا و ارتعاشات)
طراحی دقیق ↔	**تحلیل و شناخت مناسب‌ترین نوع روسازی** ↕ **انتخاب نوع خط**

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

به‌منظور 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 بدون‌بالاست 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 تصمیم گیری 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 (به‌عبارت‌دیگر، هنگامی‌که 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 به‌عنوان 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 کمی سازی 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.

به‌منظور کمی‌سازی موارد فوق لازم است اثر انتخاب سیستم خط برحسب موارد زیر کمی‌سازی شود:

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

بنابراین، ورودی‌ها، خروجی‌ها و روش‌های تحلیل شرایط عملکردی و بهره‌برداری به‌صورت خلاصه در جدول ۴-۲ تبیین شده است.

جدول ۴-۲ شرایط عملکردی و بهره‌برداری

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

۴-۳-۲- بررسی ویژگی‌های 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 آنی 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 بدون‌بالاست 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 زیست‌محیطی

مهم‌ترین اثرات زیست‌محیطی خط آهن ناشی از فرایندهایی همانند حمل‌ونقل 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- محیط‌زیست، ازجمله عناصر موردنیاز 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 زیست‌محیطی (کاهش صدا و ارتعاش، زیرساخت موردنیاز و ...)

ورودی	خروجی
• طراحی اولیه مسیر، ازجمله مقطع عرضی و پروفیل خط • طراحی مقدماتی عملیات خاکی، تونل و آبرو • داده‌های وضعیت فیزیکی محلی: - داده‌های ژئوتکنیکی، ازجمله گزارش ژئوتکنیکی زمین با توجه به سرعت امواج S - داده‌های محیط شهری، ازجمله فهرستی از ساختمان‌های بالقوه آسیب و ساختمان‌های ویژه • ارزیابی اثرات زیست‌محیطی، ازجمله محدودیت صدا و ارتعاش • داده‌های ترافیک: پیش‌بینی تمام پارامترهای درگیر در تحلیل انتشار صدا و ارتعاش، ازجمله نوع قطار، بار، سرعت و تراکم ترافیک • تفاوت بین اثر کربن (عوامل آشکار و پنهان) در انواع مختلف خطوط	• 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 CO۲ در هر نوع خط) • برآورد نهایی هزینه‌های زیست‌محیطی در هر نوع خط
تحلیل موردنیاز	**روش‌های تحلیلی ویژه**
• تحلیل سطوح انتشار صدا و طراحی اجزای کاهش‌دهنده آن • تحلیل سطوح انتشار ارتعاش و طراحی اجزای کاهش ارتعاش • ارزیابی اثر کربن	• تحلیل انتشار صدا • تحلیل انتشار ارتعاش

۴-۳-۴- تحلیل اقتصادی(هزینه چرخه عمر)

درصورتی‌که گزینه‌های مناسب طراحی، حداقل سطح عملکرد موردنیاز 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. ازآنجاکه 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 (به‌عنوان‌مثال، مسائل مربوط به‌راحتی 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[1])، 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.

[1] Common Safety Methods

جدول ۴-۵ تحلیل LCC

ورودی	خروجی
• گزینه‌های شناسایی‌شده: طراحی اولیه با داده‌های طراحی مرتبط و الزامات زیرساختی که حداقل سطح عملکرد موردنیاز را به‌منظور 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[1]) 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[2]) در هر نوع روسازی: هنگامی‌که 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 می شوند، 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 تجزیه‌وتحلیل 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 به‌عنوان یک عنصر اساسی در تصمیم نهایی در نظر گرفته شود. هرچند این نتایج برای اخذ تصمیم‌هایی لازم‌اند، اما کافی نخواهند بود.
تحلیل موردنیاز	**روش‌های تحلیلی ویژه**
• ارزیابی عدم قطعیت داده‌های ورودی و پارامترهای اقتصادی • برآورد LCC در هر نوع روسازی • تحلیل نهاییLCC	• ارزیابی عدم قطعیت داده‌های ورودی و پارامترهای اقتصادی • تحلیل نهایی احتمالیLCC

۴-۴- مدل‌سازی 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. به‌علاوه، مزیت اقتصادی سیستم روسازی به‌عنوان تعیین‌کننده‌ترین معیار در بین سایر معیارها شناخته شده و می توان از نتایج حاصل از تحلیل هزینه دوره عمر هر یک از گزینه‌ها در تعیین نوع روسازی استفاده کرد.

۴-۴-۱- 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 به‌قرار زیر پیگیری شود:

[1] Life Cycle Cost Analysis(LCCA)

[2] 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

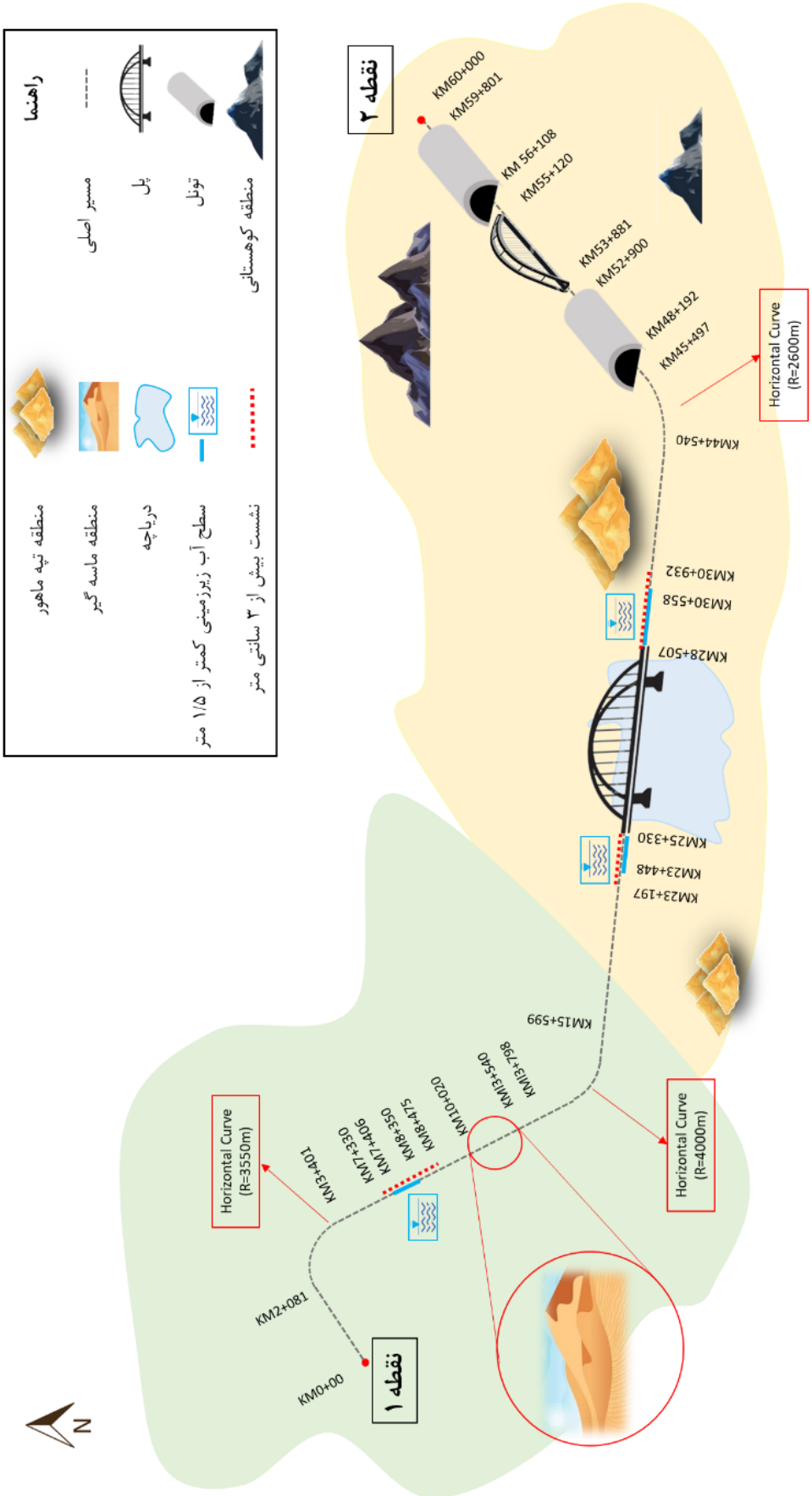
الف-۱- مقدمه

در این پیوست، به‌منظور 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 به‌تناسب 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) به‌صورت تخمینی برآورد شده‌اند. بدیهی است درصورتی‌که هر یک از داده‌های مورداستفاده 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 می یابد. 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 km/h ۱۶۰ ارائه شده است. بنابر نتایج حاصل از مطالعات اولیه، در کریدور مورد برر سی ۳ قوس دایره‌ای و ۶ کلوتوئید مورد نیاز ا ست که م شخ صات آن‌ها در جدول الف-۲ ن شان 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 موردبررسی

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

به‌منظور طراحی خط با ترافیک مختلط و حداکثر سرعت بهره‌برداری km/h ۱۶۰، مشخصات نیمرخ طولی مسیر به شرح جدول الف-۳ در نظر گرفته شده است:

جدول الف-۳- وضعیت تراز قائم در کریدور موردبررسی

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

الف-۲-۲- وضعیت زمین شناسی کریدور موردبررسی

این خط از منطقه دشت با لایه‌های خاکی آبرفتی (از KM0+000 تا KM10+020 به طول ۱۰۰۲۰m) شروع شده و پس از عبور از منطقه ماسه‌گیر با خطر رخداد طوفان شن (از KM10+020 تا KM13+540 به طول ۳۵۲۰m)، منطقه دریاچه‌ای با عمق کم (KM25+330 تا KM28+507 به طول ۳۱۷۷m) و منطقه تپه‌ماهوری متشکل از سنگ‌های رسوبی (در دو قطعه، قطعه اول از KM13+540 تا KM25+330 به طول ۱۱۷۹۰m و قطعه دوم از KM28+507 تا KM48+192 به طول ۱۹۶۸۵m)، به منطقه کوهستانی می‌رسد (از KM48+192 تا KM60+000 به طول ۱۱۸۰۸m). 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 موردبررسی

ردیف	نقطه شروع	نقطه پایان	طول (m)	سطح آب زیرزمینی از بستر (m)	ارتفاع خاکریز (m)
۱	KM7+406	KM8+350	۹۴۴	۰,۲۵	۰,۳
۲	KM23+448	KM25+330	۱۸۸۲	۰,۸	۵
۳	KM28+507	KM30+558	۲۰۵۱	۰,۵	۴

با توجه به آن که ارتفاع خاکریز در قطعات KM23+448 تا KM25+330 و KM28+507 تا KM30+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 بدون‌بالاست در این مناطق وجود ندارد. ولیکن در قطعه KM7+406 تا KM8+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 به‌اندازه‌ای افزایش یابد که اجرای روسازی

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

الف-۲-۳- وضعیت ابنیه فنی مسیر

الف-۲-۳-۱- طراحی اولیه تونل ها

تونل‌های موجود در قطعه موردبررسی به صورت یک‌خطه 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 تونل‌ها 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

همان‌طور 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 پل‌ها 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

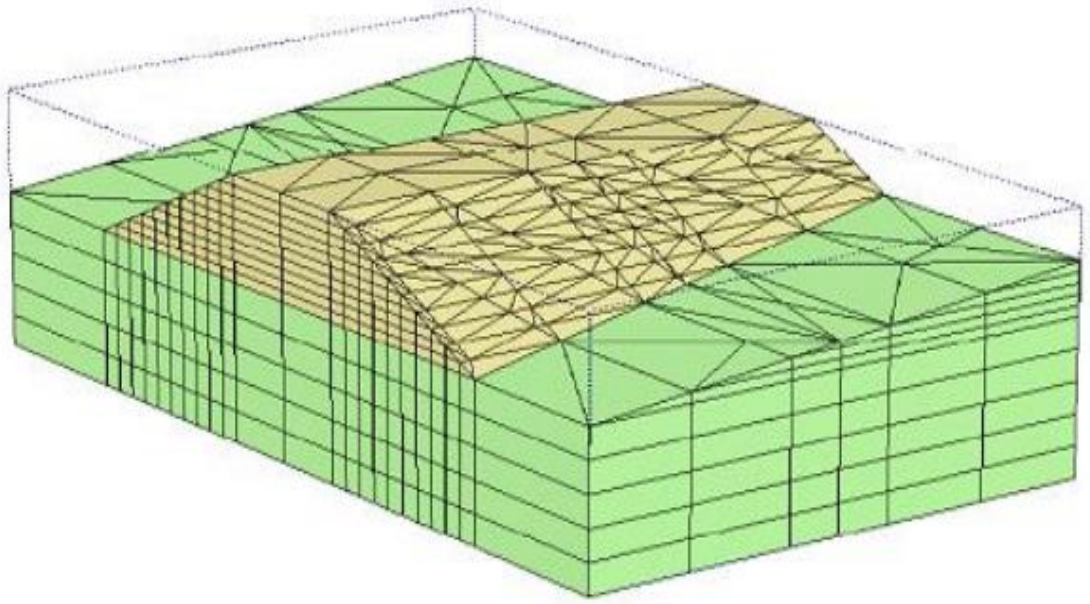
الف-۳- تحلیل معیارهای تأثیرگذار بر تصمیم گیری

مطابق با مدل عمومی تصمیم‌گیری ارائه شده در فصل چهارم، لازم است هر یک از شرایط عملکردی و بهره‌برداری، مشخصات فنی زیرساخت و شرایط زیست‌محیطی مورد بررسی و تحلیل قرارگرفته و سپس با توجه به نتایج حاصل از تحلیل، روسازی مطلوب به قطعه موردبررسی اختصاص یابد. در این بخش، برای هر یک از تحلیل‌های مذکور، یک روش معرفی و نتایج حاصل از آن در تعیین سیستم روسازی مورد استفاده قرار گرفته است. بدیهی است روش‌های دیگری نیز برای انجام تحلیل‌های موردنظر وجود دارند که طراحان می‌توانند با توجه به نیاز پروژه و میزان دسترسی به داده موردنیاز، یکی از آن‌ها 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، مورداستفاده 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 موردبررسی 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. شایان‌ذکر است در این مثال فرض شده است نشست نسبی در محدوده مجاز برای هر دو نوع سیستم روسازی بالاستی و بدون‌بالاست 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

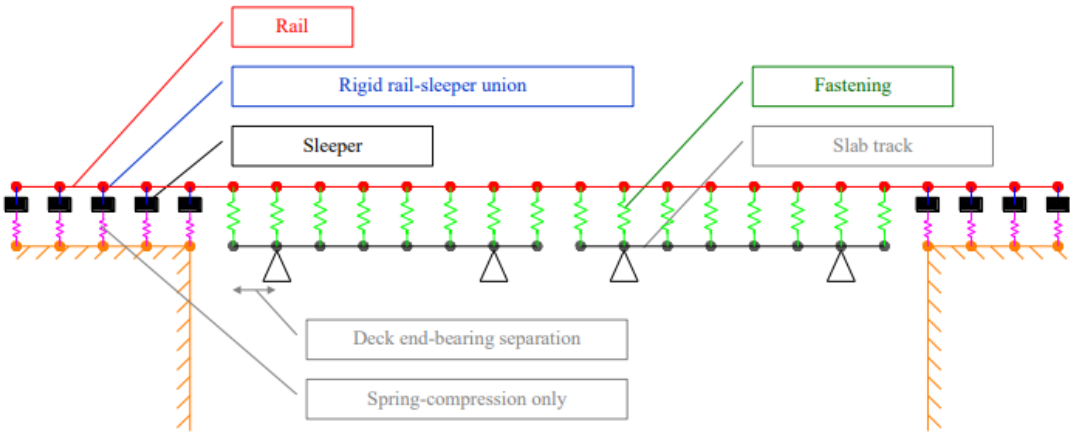
الف-۳-۱-۲- تحلیل روش های بهسازی بستر

چنانچه در فصل سوم ارائه شد مقدار نشست مجاز برای خطوط معمولی با روسازی بالاستی حداکثر ۱۰۰ میلی‌متر و برای خطوط با روسازی بدون‌بالاست 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 بدون‌بالاست 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 می شود. 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 ۳‰ است. بنابراین هر دو سیستم بالاستی و بدون‌بالاست از منظر وضعیت سرویس‌دهی پل‌ها قابل‌استفاده 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 بدون‌بالاست 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 شـده در این مطالعه موردی برای حمل مسـافر و بار (ترافیک مختلط) طراحی شـده اسـت. تردد مسافران توسط قطارهای مسافری با حداکثر سرعت ۱۶۰ km/h انجام می شود، درحالی‌که ترافیک باری توسط قطارهای باری با حداکثر سـرعت ۱۰۰ km/h حمل می‌شـود. با توجه به اینکه خط به‌تازگی احداث می‌شـود و پیش از آن هیچگونه مسـیر ریلی دو نقطه ۱ و ۲ را به یکدیگر متصـل نمی‌کرده اسـت، ترافیک موردمطالعه صـرفاً از نوع ترافیک جدید ناشـی از حضور شیوه حمل‌ونقل جدید است. به‌منظور برآورد تقاضای مسافر بین دو نقطه موردبررسی باید ماتریس تقاضای مسافر برای سال اول تعیین شود. مهم‌ترین عواملی که در تعیین ماتریس تقاضای مسافر در نظر گرفته می‌شوند عبارت‌اند از:

- فاصله بین دو نقطه ۱ و ۲؛
- جاذبه‌های گردشگری بین دو نقطه ۱ و ۲؛
- فعالیت‌های اقتصادی- اجتماعی در داخل منطقه و ارتباط آن‌ها با فعالیت‌های انجام‌شده در خارج؛
- داده‌های ترافیک جاده‌ای 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 nامین سال افق به تقاضای سال اول بهره‌برداری است. به‌منظور تخمین ماتریس تقاضای مسافر در سال nام، نرخ رشد تقاضا در درایه‌های ماتریس تقاضای مسافر در سال اول بهره‌برداری ضرب می‌شود. در نهایت با محاسبه مجموع درایه‌های ماتریس تقاضا، تعداد مسافر متقاضی سفر بین دو نقطه ۱ و ۲ در سال nام تعیین می‌گردد.

درصورتی‌که نوع قطار مورداستفاده در کریدور موردبررسی تعیین شده باشد، با احتساب درصدی از ظرفیت قطار به‌عنوان ظرفیت مورداستفاده، 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 می‌شود. لازم به ذکر است که در طی گذشت زمان، آرایش قطارها و تعداد آن‌ها دستخوش تغییراتی می‌شود که تکرار محاسبات مربوطه را ضروری می‌نماید. 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 می‌شود. 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 می‌آید. در هر پروژه با توجه به شرایط پروژه و نوع مصالح بالاست مصرفی محاسبات فوق انجام می‌گردد. در این مثال فرض شده است عملیات زیر کوبی 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

ازآنجاکه بخش عمده‌ای از خاصیت ارتجاعی خط بالاستی توسط بالاست تأمین می‌شود، هرچه ارتفاع بالاست بیشتر باشد، خاصیت ارتجاعی خط بیشتر خواهد بود. لیکن این افزایش در خاصیت ارتجاعی، به مقدار معینی محدود می‌شود، 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 به‌تدریج کاهش می‌یابد. بنابراین، علیرغم بالا بودن ظرفیت تنظیم قائم خط بالاستی، محدودیت‌های خاصی نیز به همراه خواهد داشت که ازجمله 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 بدون‌بالاست، 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 بدون‌بالاست به همراه دارد که مقدار آن در هزینه ساخت لحاظ شده است. موضوع نشست پلاستیک یا تغییر شکل‌های ماندگار در روسازی خطوط بدون‌بالاست بسیار محدود و کنترل شده است.

الف-۳-۲-۲- تحلیل مقاومت مکانیکی اجزا

به‌منظور بررسی مقاومت مکانیکی اجزا در برابر بارهای وارده از طرف ناوگان در طولانی‌مدت می‌بایست نرخ زوال هر یک از اجزای خط به‌طور جداگانه تعیین‌شده 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 بدون‌بالاست 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 بدون‌بالاست، 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 بدون‌بالاست 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 پرداخت‌شده و شامل هزینه تعویض بالاست، تراورس‌ها، ادوات اتصال و ریل می‌باشد. در دال‌خط، 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. ازآنجاکه خط موردبررسی 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 قابل‌توجه در تحلیل نواحی انتقال، طول این ناحیه می‌باشد. طول ناحیه انتقال به حداکثر سرعت قطار در خط بستگی دارد به‌طوری‌که 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 m ۲۵ لحاظ می‌شود.

الف-۳-۳- تحلیل شرایط زیست محیطی

الف-۳-۳-۱- سطح انتشار صدا و ارتعاش

یکی از اثرات زیست‌محیطی احداث خطوط ریلی، تولید و انتشار صدا و ارتعاشات در محدوده پیرامون خط ریلی می‌باشد. صدا و ارتعاشات تولیدشده می‌تواند منجر به آزردگی 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 موردبررسی قرارگرفته و پس از برآورد سطوح صدا و ارتعاش رسیده به این همجواری‌ها، در صورتیکه مقادیر برآورد شده از مقادیر مجاز ارائه‌شده در استانداردهای مربوطه بیشتر باشد، لازم است از راهکارهای کاهش سطوح صدا و ارتعاش استفاده گردد. از مهم‌ترین و رایج‌ترین راهکارهای مورداستفاده در خطوط ریلی احداث موانع یا دیوارهای صوتی[۱] در طرفین خط ریلی برای کنترل و کاهش صدای منتشرشده و همچنین استفاده از لایه‌های ارتجاعی (فرش ارتجاعی زیر دال‌خط 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 استانداردی قرار دارد و بنابراین نیازمند بکارگیری راهکارهای کاهش صدا و ارتعاشات نمی‌باشد.

الف-۳-۳-۲- سطح انتشار کربن

همان‌طور که پیش‌ازاین نیز بیان شد، سطح انتشار کربن در خط بدون‌بالاست بیشتر از خط بالاستی است و بنابراین، خط بالاستی از منظر کاهش آلودگی ناشی از انتشار گازهای گلخانه‌ای دارای مزیت نسبی است. بااین‌وجود به دلیل عدم وجود اطلاعات دقیق در این خصوص، در این مثال از ورود به جزییات 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 □۳۵+~۵- قرار دارد. با توجه به شرایط و دمای منطقه، افزایش و یا کاهش دمای بیش‌ازحد که منجر به وقوع عواقب نامطلوبی ازجمله سیکل‌های یخبندان و ذوب‌شدگی یا کمانش 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 ازجمله 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 توفان شن (احداث گالری) در صورت استفاده از سیستم روسازی بالاستی و اجرای دال‌خط کوهان‌دار در صورت استفاده از سیستم روسازی بدون‌بالاست 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 هزینه های 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 بدون‌بالاست 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 بدون‌بالاست 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 ازآنجاکه 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 بدون‌بالاست	۱۵۰
هزینه ساخت گالری سبک در مناطق ماسه‌گیر (در خط با روسازی بالاستی)	۱۷۰
هزینه ساخت دال‌خط کوهان‌دار در مناطق ماسه‌گیر (در خط با روسازی بدون‌بالاست)	۲۰۰
هزینه نوسازی خط بالاستی	۹۰
هزینه نوسازی خط بدون‌بالاست	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 بدون‌بالاست نشان می‌دهد که به‌طورکلی هزینه نگهداری و تعمیر خط بدون‌بالاست 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)
	بالاستی	بدون‌بالاست	
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
بالاستی	بازرسی و تعمیر (هندسی و دوره‌ای)	۹,۶۶	سالانه
	زیرکوبی	۹,۵	هر ۵ سال یکبار
بدون‌بالاست	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 جمع‌آوری‌شده، نوع رو سازی بر مبنای محدودیت‌های فنی تعیین می شود. در مواردی که محدودیت‌های فنی از حد مجاز فراتر رفته و به مقدار «آ ستانه‌های فنی» نزدیک شود، نوع رو سازی تحت تأثیر قرار می‌گیرد که به این مناطق «نقاط اجباری» گفته می شـود. به‌بیان‌دیگر، نقاط اجباری نقاطی هسـتند که نوع روسـازی 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 الزام‌آور

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

همان‌طور که در شکل الف-۴ نشان داده شده است، در برخی از قطعات، معیارهای الزام‌آور معرفی‌شده 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 ارائه‌شده در جدول الف-۸ و جدول الف-۱۰، تحلیل اقتصادی بر روی آن‌ها انجام شود. بدین منظور پس از تعیین مجموع هزینهٔ دورهٔ عمر خط بالاستی و بدون‌بالاست، مقایسه‌ای بین این مقادیر در طول دوره تحلیل صد ساله انجام شده و روسازی که هزینه کمتری را در این دورهٔ زمانی در پی داشته باشد، به‌عنوان روسازی مطلوب انتخاب می‌شود.

با توجه به مقادیر دوره عمر ۳۵ و ۶۰ سال برای خط بالاستی و بدون‌بالاست، در یک دوره صد ساله به دو مرتبه نوسازی خط بالاستی و یک مرتبه نوسازی خط بدون‌بالاست نیاز خواهد بود. بنابراین می‌توان هزینه دوره عمر روسازی بالاستی و بدون‌بالاست را با احتساب نرخ تنزیل و نرخ تورم تعیین نمود. شایان‌ذکر است انتخاب نرخ تنزیل و تورم در محاسبات تأثیر بسیار قابل‌توجهی دارد. ازآنجاکه 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.

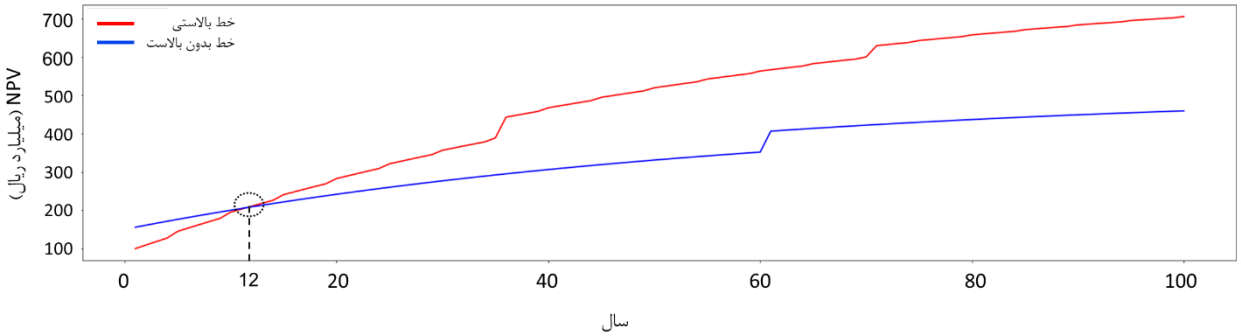
ازآنجاکه هزینه‌های ساخت برای خطوط بالاستی و بدون‌بالاست در طول مسیر ثابت فرض شده است و این هزینه‌ها صرفاً در منطقه ماسه‌گیر متفاوت است، با هدف تعیین سیستم روسازی بهینه از منظر هزینه دور عمر، دو تحلیل مجزا در نواحی با شرایط عادی و نواحی ماسه‌گیر (برای یک کیلومتر روسازی) انجام شده است. در صورتیکه بنا به شرایط پروژه هزینه‌های ساخت در نواحی مختلف متفاوت باشد، لازم است این تحلیل در هر ناحیه به‌صورت مجزا انجام شود. نتایج تحلیل انجام‌شده 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 [۱]) 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 بدون‌بالاست 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 بدون‌بالاست افزایش می‌یابد به‌نحوی‌که ۱۲ سال پس از بهره‌برداری هزینه دوره عمر خط بالاستی بیشتر از خط بدون‌بالاست خواهد شد. این اختلاف با افزایش عمر بهره‌برداری بیشتر می‌شود. در سال سی و پنجم، خط بالاستی به نوسازی نیاز دارد درحالی‌که خط بدون‌بالاست بدون نیاز به نوسازی، همچنان قابل بهره‌برداری است. در سال شصتم، خط بدون‌بالاست و در سال هفتادم خط بالاستی نیاز به نوسازی خواهد داشت. در انتهای تحلیل (سال صدم) هزینه دوره عمر خط بدون‌بالاست 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 بدون‌بالاست پیشنهاد می‌شود.

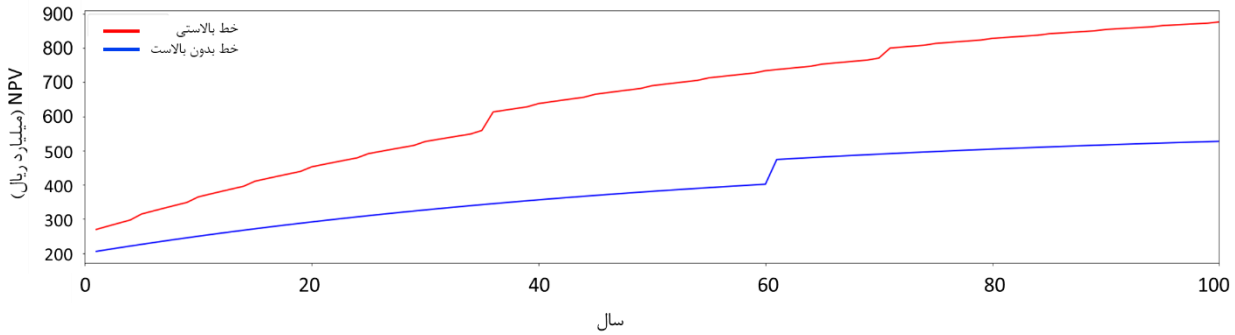
بر اساس نتایج شکل الف-۶، در نواحی ماسه‌گیر به دلیل هزینه بالای احداث گالری در خطوط بالاستی نسبت به احداث دال‌خط کوهان‌دار، نمودار هزینه دوره عمر برای خط بدون‌بالاست همواره کمتر از خط بالاستی می‌باشد و بدلیل هزینه‌های بیشتر نگهداری و تعمیر خط بالاستی این اختلاف با افزایش دوره عمر بهره‌برداری افزایش می‌یابد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

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

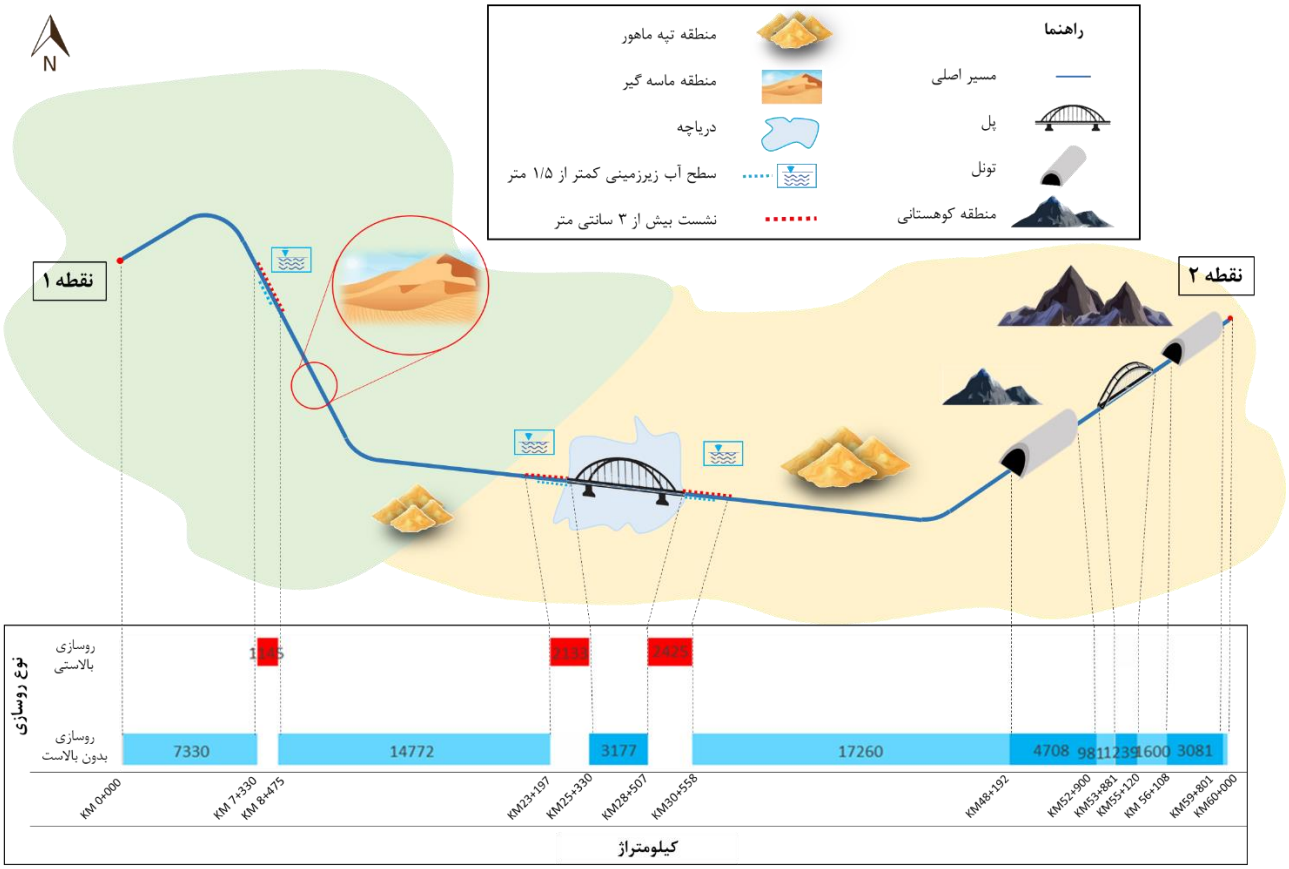


شکل الف-۵- هزینه دوره عمر یک کیلومتر روسازی بالاستی و بدون‌بالاست در نواحی عادی با احتساب i =۱۴٪ و r=۱۶٪

[۱] Net Present Value



شکل الف-۶- هزینه دوره عمر یک کیلومتر روسازی بالاستی و بدون‌بالاست در نواحی ماسه‌گیر با احتساب ٪۱۴= i و ٪۱۶=r



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 به‌همراه خواهد داشت، مهندس طراح می‌تواند با هدف یکپارچه‌سازی سیستم روسازی، نوع روسازی را در برخی مناطق به روسازی غالب اجراشده در کریدور با درنظرگیری 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 بدون‌بالاست به‌عنوان سیستم روسازی بهینه تعیین شده‌است. به‌عبارت‌دیگر برای حدود ۹۰ درصد از مسیر سیستم روسازی بدون‌بالاست تعیین شده‌است. محدوده‌هایی که اجرای سیستم روسازی بالاستی در آن‌ها الزامی است به شرح زیر می‌باشد:

- محدوده کیلومتراژ ۷+۴۰۶ تا ۸+۳۵۰ به طول ۹۴۴ متر بدلیل سطح آب زیرزمینی بالا
- محدوده کیلومتراژ ۷+۳۳۰ تا ۸+۴۷۵ به طول ۱۱۴۵ متر بدلیل نشست غیرمجاز (دارای همپوشانی با نواحی با سطح آب زیرزمینی بالا)
- محدوده کیلومتراژ ۲۳+۱۹۷ تا ۲۵+۳۳۰ به طول ۲۱۳۳ متر بدلیل نشست غیرمجاز
- محدوده کیلومتراژ 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 بدون‌بالاست 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 کیلومتراژ 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 کیلومتراژ ۳۳۰+۷ تا ۴۷۵+۸ جهت کاهش میزان نشست تا سقف ۳۰ میلی‌متر
- استفاده از ۲ لایه ژئوگرید در خاکریز کیلومتراژ ۱۹۷+۲۳ تا ۳۳۰+۲۵ جهت کاهش میزان نشست تا سقف ۳۰ میلی‌متر
- استفاده از ۲ لایه ژئوگرید در خاکریز کیلومتراژ ۵۰۷+۲۸ تا ۹۳۲+۳۰ جهت کاهش میزان نشست تا سقف ۳۰ میلی‌متر

ازآنجاکه 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

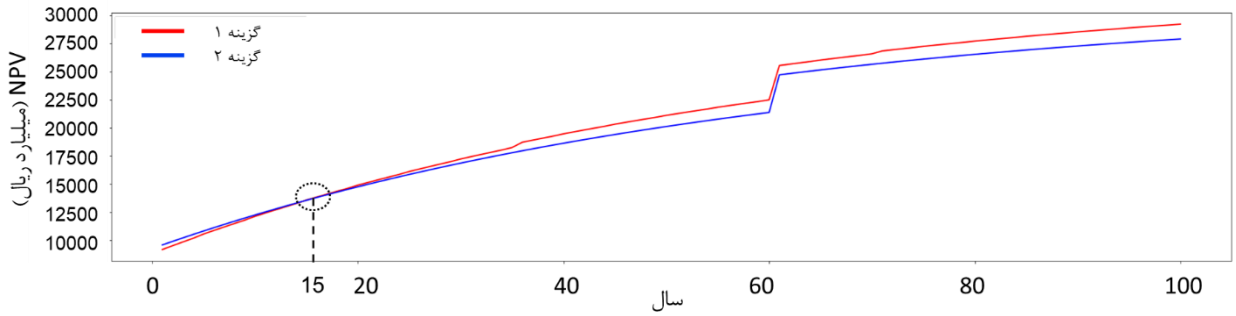
ردیف	نقطه شروع	نقطه پایان	طول (m)	حجم خاکریزی موردنیاز (مترمکعب)	هزینه (میلیارد ریال)
۱	KM7+406	KM8+350	۹۴۴	۲۴۹۲,۱۶	۰,۹۹

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 بدون‌بالاست به همراه اجرای روسازی بالاستی در نواحی با محدودیت فنی (مطابق نتیجه بخش انتخاب اولیه سیستم روسازی)» و «گزینه دوم: اجرای روسازی بدون‌بالاست 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 بدون‌بالاست، 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 به‌عنوان گزینه نهایی تعیین می‌شود.



گزینه ۱ : اجرای روسازی بدون‌بالاست به همراه اجرای روسازی بالاستی در نواحی با محدودیت فنی
گزینه ۲: اجرای روسازی بدون‌بالاست 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 پروژه‌های ریلی حساس مانند احداث خطوط پرسرعت و باری سنگین که به سرمایه‌گذاری اولیه کلان از یک سو و تأمین ایمنی در سطح بالا از سوی دیگر نیازمند است، مطالعه عمیق‌تر موضوع انتخاب سیستم روسازی با استفاده از روش‌های پیشرفته تصمیم‌گیری ضروری است. در این پیوست برخی از مهم‌ترین روش‌های تصمیم‌گیری ارائه‌شده‌اند. تعیین صحیح و اصولی مناسب‌ترین روش تصمیم‌گیری با توجه به شرایط و مشخصات هر پروژه نیازمند بکارگیری تیم مجرب و متخصص در حوزه روسازی خطوط ریلی و همچنین روش‌های تصمیم‌گیری می‌باشد.

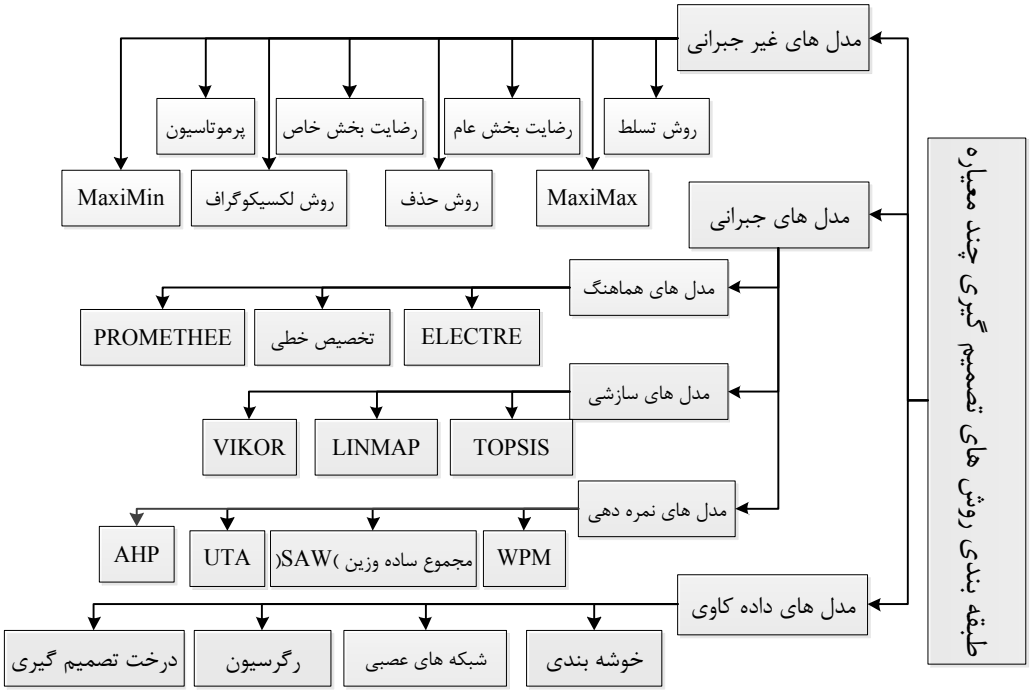
ب-۲- مروری بر مدل‌های تصمیم‌گیری چند معیاره

این بخش به‌عنوان یک راهنمای مختصر جهت معرفی روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره به‌منظور بهره‌گیری در انتخاب نوع بهینه روسازی در نظر گرفته شده است. این راهنما می‌تواند در راستای توسعه مدل جزئی‌تر تصمیم‌گیری بر اساس گام‌های متصور در مدل عمومی اشاره‌شده در فصل چهارم، مورداستفاده مجریان و مشاوران پروژه‌های ریلی قرار گیرد.

تصمیم‌گیری فرآیندی است که در طی آن، اطلاعات و داده‌های موجود دربارهٔ موضوعی تجزیه‌وتحلیل می‌شود تا از ترکیب مناسب آن‌ها، به استراتژی‌های موردنظر و بهترین راه‌حل دست‌یافت. از میان مجموعه تکنیک‌های تحقیق در عملیات، تکنیک‌های «تصمیم‌گیری با معیارهای چندگانه (MCDM[۱])» عهده‌دار حل مسائل تصمیم‌گیری با چندین معیار متفاوت خواهند بود. روش‌های تصمیم‌گیری MCDM علاوه بر مقادیر عینی و واقعی، توانایی استفاده از اطلاعات ذهنی و قضاوتی را نیز دارند. اطلاعات ذهنی در قالب اطلاعات ارجحیت تصمیم‌گیرنده ارائه می‌شود و درنهایت به یافتن راه‌حل توافقی منجر خواهد شد.

تکنیک‌های تصمیم‌گیری در قالب تکنیک‌های جبرانی و غیرجبرانی، فازی و غیرفازی و روش‌های داده‌کاوی قابل‌تقسیم هستند که مهم‌ترین آن‌ها در شکل ب-۱ نمایش داده‌شده‌اند.

[۱] Multiple Criteria Decision Making



شکل ب-۱- روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره

ب-۲-۱- بررسی روش‌های غیرجبرانی در انتخاب سیستم روسازی

مدل غیرجبرانی شامل روش‌هایی می‌شود که در آن‌ها مبادله در بین شاخص‌ها مجاز نیست، به‌عبارت‌دیگر نقطه‌ضعف موجود در یک شاخص توسط مزیت موجود از شاخص دیگر جبران نمی‌شود. بنابراین در این روش هر شاخص به‌تنهایی مطرح می‌شود و مقایسات به‌صورت شاخص به شاخص انجام می‌شود. این مدل شامل روش‌هایی است که اغلب نیاز به کسب اطلاعات از تصمیم‌گیرنده نداشته و منجر به یک جواب عینی می‌گردند. کاربرد این روش‌های نسبتاً ساده بستگی به موقعیت تصمیم گیری داشته و دقت بیشتری را از جانب فرد تحلیل‌گر می‌طلبد.

با توجه به الزامات و ملاحظات ارائه‌شده در فصل سوم، می‌توان تقسیم‌بندی‌ای مطابق با شکل ب-۲ و با تأکید بر وابستگی معیارها نسبت به یکدیگر انجام داد.

همان‌طور که در شکل ب-۲ ملاحظه می‌شود، معیارهایی همانند سرعت، ترافیک تجمعی و سطح آب زیرزمینی به‌طور مستقیم یا غیرمستقیم بر شاخص‌های دیگر تأثیر می‌گذارند و بنابراین، بررسی هر شاخص به‌طور مجزا و بدون در نظر گرفتن اثر شاخص‌های دیگر، امکان‌پذیر نخواهد بود. ازاین‌رو توصیه می‌شود در حوزه انتخاب سیستم روسازی از مدل‌های غیرجبرانی استفاده نشود.

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

ب-۲-۲- بررسی روش‌های جبرانی در انتخاب سیستم روسازی

مدل جبرانی مشتمل بر روش‌هایی است که اجازه مبادله در بین شاخص‌ها در آن‌ها مجاز است. به‌عبارت‌دیگر تغییر در یک شاخص می‌تواند توسط تغییری در شاخص (یا شاخص‌های) دیگر جبران شود. در این مدل، وابستگی موجود بین معیارها را می‌توان در دو دسته طبقه‌بندی نمود:

- وابستگی جمع‌پذیر: در این نوع وابستگی، هر عامل سهم خاصی در اثربخشی بر روی متغیر وابسته دارد. روش های SAW و مجموع وزین رده‌ای ازجمله روش‌های با رویکرد وابستگی جمع‌پذیر هستند.
- وابستگی سینرژستیک[1]: این نوع وابستگی عبارت است از اثر تداخلی عوامل بر یکدیگر که ممکن است بیشتر از مجموع اثرات انفرادی آن‌ها باشد. روش‌های AHP و مدل‌های نشأت گرفته از مقایسات زوجی با رویکرد وابستگی سینرژستیک عمل می‌کنند. در این روش، هر معیار در هر مورد، «هدف» تلقی شده و اثربخشی کلیه معیارهای دیگر به‌صورت زوجی با معیار موردنظر مقایسه می‌گردد.

[1] Synergistic-interdependence

در جدول ب-۱، برخی معیارهای اثرگذار بر انتخاب سیستم روسازی ریلی با رویکرد وابستگی معیارها به یکدیگر نمایش داده شده است. همان‌طور 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 حوزهٔ انتخاب بین سیستم‌های روسازی بالاستی و بدون‌بالاست 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. درعین‌حال امکان استفاده از رویکرد فازی در هر یک از این تکنیک ها 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)
			بربلندی (افزایش سرعت~افزایش بربلندی)
			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 طول‌موج)
			تراز افقی (افزایش سرعت~کاهش بازه رواداری مربوط به طول‌موج)
	الزامات کارایی (RAMS)	ایمنی (Safety)	افزایش سرعت~ کاهش ایمنی
ترافیک تجمعی	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 بدون‌بالاست	افزایش تناژ عبوری از روی خط~ افزایش نیاز به نگهداری و تعمیر در خطوط بالاستی و بدون‌بالاست
	الزامات کارایی (RAMS)	قابلیت اعتماد (Reliability)	افزایش تناژ تجمعی~ کاهش زمان متوسط تا شکست (MTBF) افزایش تناژ تجمعی~ کاهش فاصلهٔ متوسط بین دو خرابی (MTBF) افزایش تناژ تجمعی~ کاهش قابلیت اعتماد
		دسترسی‌پذیری (Availability)	افزایش تناژ تجمعی~ کاهش زمان متوسط تا شکست (MTBF) افزایش تناژ تجمعی~ کاهش زمان متوسط تا نگهداری (MTTR) افزایش تناژ تجمعی~ کاهش دسترسی‌پذیری
		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
	معیارهای ژئوتکنیکی	رفتار یخ‌زدگی ذوب‌شدگی	تراز آب زیرزمینی نزدیک به سطح زمین~ افزایش تعداد چرخه‌های ذوب و یخبندان
		ویژگی‌های تغییرشکلی خاک	تراز آب زیرزمینی نزدیک به سطح زمین~ افزایش تغییر شکل خاک توأم با تغییر فشار آب حفره‌ای

ب-۲-۳- بررسی روش‌های فازی در انتخاب سیستم روسازی

در نظریه فازی، محاسبات در مجموعه‌های فازی به کمک کلمات صورت می‌گیرد. چراکه منطق دو ارزشی سنتی (منطق صفر و یک) دارای معایبی است که مهم‌ترین آن‌ها عبارت‌اند از:

- در منطق سنتی، یک گزاره درست است یا نادرست. لیکن گفتار انسانی گنگ و فازی است و به‌ندرت دارای دو حد نهایی می‌باشد.
- در منطق دو ارزشی، منظورها محدود به سخت‌بودن[۱] هستند، ولی کلام انسانی حاوی منظورهای گنگ و فازی می‌باشد.
- منطق سنتی دو ارزشی تنها استفاده از دو حد کمی را برای تصمیم‌گیرنده مجاز می‌داند: همه، برخی

به‌عبارت‌دیگر، در منطق فازی حدهای متفاوتی وجود دارد که امکان تحلیل دقیق‌تر موضوع را ممکن می‌سازد، مانند برخی، خیلی، کمی، خیلی کم، خیلی زیاد، متوسط و .... چون زبان نشان‌دهندهٔ هوش و دانش انسانی است، باید آن را به شکلی تبدیل کرد که برای حل مسائل تصمیم‌گیری و مدیریتی در کامپیوترها حائز اهمیت فراوانی باشد. ازاین‌جهت توصیه می‌شود در محاسبات تصمیم‌گیری، حالات عدم قطعیت نیز در مسئله دیده شوند. محاسبات فازی حالتی از عدم قطعیت در مسائل تصمیم‌گیری است.

بر این اساس، در یک تقسیم‌بندی دیگر می‌توان گفت برخی از معیارهای انتخاب روسازی جنبه کمی ندارند. بنابراین الزامات و ملاحظات انتخاب سیستم روسازی را می‌توان بر اساس فازی بودن ارائه نمود. برای نمونه می‌توان مباحثی مثل معیارهای بهره‌برداری (نظیر سرعت یا ترافیک تجمعی)، ملاحظات احداث یا الزامات نگهداری و تعمیر را به‌صورت فازی بیان نمود. روش‌های ارائه‌شده در بخش قبل (نظیر روش TOPSIS، روش VIKORو روش AHP)، قابلیت استفاده در مدل های فازی را دارا هستند. بر این اساس نتایج دقیق‌تر و بهینه‌تری در تصمیم‌گیری‌های جزئی انتخاب سیستم روسازی به دست خواهد آمد.

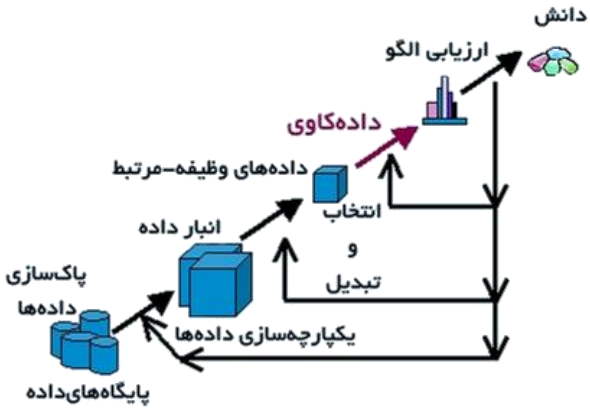
ب-۲-۴- بررسی روش‌های داده‌کاوی مناسب در انتخاب سیستم روسازی

داده‌کاوی که با عنوان «کشف دانش از داده (KDD[۲])» نیز شناخته شده است، فرآیند استخراج اطلاعات و دانش از داده‌های موجود در پایگاه داده است (شکل ب-۳). امروزه داده‌کاوی به‌عنوان شالودهٔ تصمیم‌های مهم محسوب می‌شود و به توسعه سیستم‌هایی کمک می‌کند که قادر هستند از میان میلیون‌ها یا میلیاردها رکورد، روابط غیر پنهانی را کشف کنند. هرچند به‌ظاهر رابطه‌ای بین داده‌ها وجود نداشته باشد. ابزارهای داده‌کاوی از انواع مختلف داده پشتیبانی می‌کنند و به‌طور خودکار روابط بین آن‌ها را تشخیص می‌دهند. از مهم‌ترین ویژگی‌های داده‌کاوی می‌توان به کشف اتوماتیک الگوها، پیش‌بینی احتمالی نتایج و خروجی‌ها، ایجاد اطلاعات اجرایی و مفید و قابلیت تمرکز بر روی داده‌های بزرگ و مجموعه پایگاه‌های داده اشاره نمود.

---

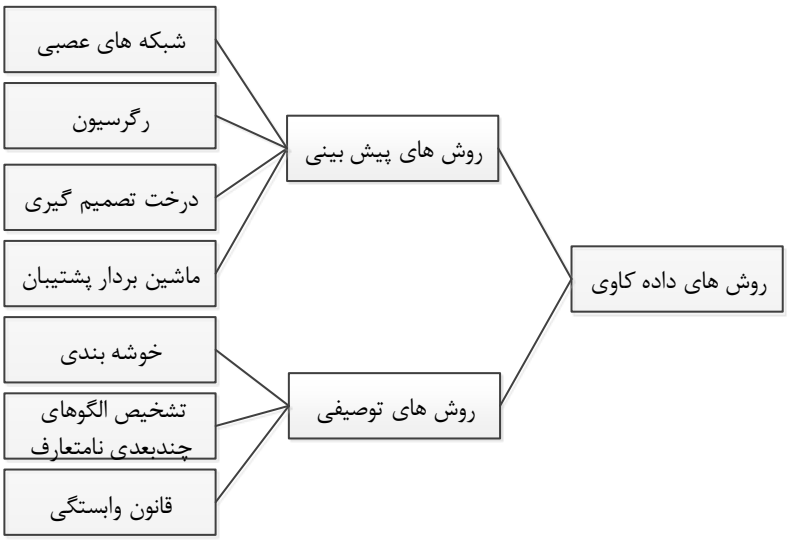
[۱] Crisp

[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 دستهٔ کلی «روش های 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، درصورتی‌که پایگاه دادهٔ 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 Predective 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 آیین‌نامه، ضابطه، معیار، دستورالعمل، مشخصات فنی عمومی و مقاله، به‌صورت تألیف و ترجمه، تهیه و ابلاغ کرده است. ضابطه حاضر در راستای موارد یادشده تهیه‌شده، تا در راه نیل به توسعه و گسترش علوم در کشور و بهبود فعالیت‌های عمرانی به کار برده شود. فهرست نشریات منتشر شده در سال‌های اخیر در سایت اینترنتی **nezamfanni.ir** قابل دست‌یابی می‌باشد.

Islamic Republic of Iran
Plan and Budget Organization

Technical Standards and Guidelines for

Railway Track Superstructure Selection

(BallastedTrack /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- بدون‌بالاست)» در چهار فصل مربوط به انواع رو سازی خطوط ریلی، الزامات و ملاحظات انتخاب سیستم روسازی و فرایند تصمیم¬گیری در این حوزه توسعه یافته است. انتخاب نظام‌مند و علمی نوع سیستم روسازی، نیاز به شناسایی و جمع‌بندی الزامات انتخاب سیستم‌ها در دوره‌های مختلف طراحی، ساخت و بهره‌برداری با تمرکز بر جنبه‌های فنی، هزینه و عملکرد دارد که در این ضابطه به‌طور گسترده مورد بررسی قرار گرفته است.

shaghool.ir