بررسی مشخصات فنی مصالح بالاست و زیربالاست مندرج در فصل ششم مشخصات فنی عمومی روسازی راه آهن (نشریه ۳۰۱، ۱۳۸۴)

فرهاد احمدنیا

شرکت آزمایشگاه فنی و مکانیک خاک

چکیده

*با توجه به گذشت بیش از یک دهه از تدوین آئین‌نامه‌های فنی مرتبط با خطوط راه آهن، از جمله مشخصات فنی عمومی روسازی راه آهن (نشریه ۳۰۱، سال ۱۳۸٤) و مشاهده وجود برخی کاستی‌ها در آنها، ضرورت ایجاد تغییرات و به‌روز رسانی این آئین‌نامه‌ها با توجه به آخرین ویرایش استانداردها و دستورالعمل‌های بین المللی از جمله آئین‌نامه مهندسی راه آهن آمریکا (**AREMA**) و اتحادیه بین المللی راه آهن اروپا (**UIC**) احساس می‌گردد. در این یادداشت فنی سعی شده است تا با ارزیابی دقیق فصل ششم مشخصات فنی عمومی روسازی راه آهن (نشریه ۳۰۱، سال ۱۳۸٤)، در خصوص روش‌های ارزیابی فنی مصالح تولید شده و کنترل کیفیت حین اجرای بالاست و زیر بالاست، با تکیه بر آئین‌نامه‌ها و دستورالعمل‌های بین‌المللی و تجربیات موجود، کاستی‌های فنی در دو بخش مجزای مصالح بالاست و زیربالاست شناسایی شود و اصلاحات لازم ارائه گردد.*

کلمات کلیدی: *بالاست، زیربالاست، میکرو دوال، **GPR***

۱– مقدمه

امروزه حمل و نقل ریلی از جمله بخش‌های زیربنایی اقتصاد هر کشور محسوب می‌شود که می‌تواند نقش به‌سزایی در اقتصاد و سیاست‌های بین‌المللی ایفا نماید و اساس مبادلات بازرگانی و کلید توسعه اقتصادی و اجتماعی باشد. لذا، بهره‌گیری از ضوابط، معیارها و استانداردهای ملی در تمامی مراحل طراحی، اجرا، بهره‌برداری و نگهداری طرح‌های عمرانی و از جمله صنعت حمل و نقل ریلی با رویکرد کاهش هزینه – زمان و ارتقاء کیفیت از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است که در نظام فنی و اجرایی طرح‌های عمرانی کشور نیز مورد تاکید قرار گرفته است. بر این اساس و با استناد به مفاد ماده ۲۳ قانون برنامه و بودجه، سازمان برنامه و بودجه کشور، با استفاده از استانداردهای معتبر موجود در زمینه راه آهن همانند AREMA[1]، UIC[2] و تجربیات متخصصین، نسبت به تهیه و ابلاغ ضوابط و مشخصات فنی در قالب آیین‌نامه‌های مختلف نظیر مشخصات فنی عمومی روسازی راه آهن (نشریه ۳۰۱، سال ۱۳۸٤)، دستورالعمل نظارت بر اجرای روسازی راه آهن (نشریه ۳۵۵، سال ۱۳۸۵)، دستورالعمل

[1] American Railway Engineering and Maintenace of Way Association

[2] Union Internationale Des Chemins DeFER (International Union of Railways)

طراحی و نظارت بر روسازی راه آهن سریع‌السیر (نشریه ۳۹٤، سال ۱۳۸٦) و... اقدام نموده است.

با توجه به نوع فعالیت‌های شرکت سهامی آزمایشگاه فنی و مکانیک خاک (ارائه خدمات مهندسی در زمینه کنترل کیفیت پروژه‌ها)، وجود تخصص و تجربیات لازم در طی سالیان متمادی و مطالعه و بررسی مشخصات فنی عمومی روسازی راه آهن و مقایسه با جدیدترین آیین‌نامه‌ها و استانداردهای معتبر دنیا، ملاحظه گردید که به دلیل وجود برخی ضعف‌ها و نواقص و با گذشت بیش از یک دهه از تدوین آئین‌نامه‌های مذکور، نیاز به ایجاد تغییرات در آنها احساس می‌گردد.

در این یادداشت فنی، تلاش به عمل آمده تا با ارزیابی دقیق فصل ششم مشخصات فنی عمومی روسازی راه آهن (نشریه ۳۰۱، سال ۱۳۸٤)، در زمینه مبانی و روش‌های ارزیابی فنی مصالح تولید شده و کنترل کیفیت حین اجرای لایه‌های بالاست و زیربالاست در روسازی راه‌آهن، کمبودها و نواقص موجود شناسایی و با استناد به استانداردها و آیین‌نامه‌های معتبر از جمله آئین‌نامه مهندسی راه‌آهن آمریکا (AREMA) و اتحادیه بین‌المللی راه‌آهن اروپا (UIC)، پیشنهادهای اصلاحی برای رفع این نقائص و به روز رسانی آنها ارائه گردد. یادداشت فنی مذکور در دو بخش مجزای بالاست و زیربالاست ارائه می‌گردد.

۲- بخش اول – بالاست

با توجه به بررسی‌ها و ارزیابی‌های انجام شده درفصل ٦ نشریه ۳۰۱ (مشخصات فنی عمومی روسازی راه‌آهن) در ارتباط با ویژگی‌های مصالح بالاست و روش‌های کنترل کیفیت آزمایشگاهی وحین اجرا، کاستی‌های موجود در جدول ۱ درج گردیده و در ادامه، اصلاحات فنی لازم پیشنهاد گردیده است.

۲-۱- وظایف لایه بالاست

بالاست لایه‌ای از مصالح سنگی شکسته با قطر متوسط ۲۰ تا ٦۰ میلی‌متر است که مجموعه تراورس و ریل بر روی آن قرار می‌گیرد و کاربرد آن برای رسیدن به اهداف زیر ضروری است [۱]:

- تحمل نیروهای قائم، افقی و جانبی وارده بر تراورس‌ها به‌منظور نگهداشتن خط در موقعیت خود
- تامین بخشی از برجهندگی و جذب انرژی خط
- پخش و انتقال بارها به لایه‌های تحتانی
- زهکشی آب‌های سطحی
- تنظیم و تراز نمودن سطح ریل حین ریل‌گذاری و تعمیرات
- میرایی و استهلاک ضربات، ارتعاشات و صداهای حاصل از حرکت وسایل نقلیه ریلی
- عایق یخبندان برای لایه زیر خود
- جلوگیری از رشد گیاهان در خط

جدول ۱ – کاستی‌های فنی مرتبط با ویژگی‌های مصالح بالاست

ردیف	نشانی و بندها	عنوان	کمبود ها و دلایل تغییر
۱	فصل ٦، بند ٦-٤،	مصالح مناسب برای بالاست	۱- در آخرین دستورالعمل در دسترس AREMA، بکارگیری مصالحی نظیر گرانیت، کوارتز ،سنگ آهک و... مطرح شده است. درحالی که در پارگراف مورد اشاره در نشریه ۳۰۱ موجود، بکارگیری سنگ آهک ممنوع گردیده است.
۲	فصل ٦، بند ٦-٥،	آزمایش‌های کنترل کیفی بالاست	۱- در بند ٦-٥ نشریه ۳۰۱، انجام یکسری آزمایش‌های کامل (دانه‌بندی، درصد ریزتر از الک ۲۰۰، درصد کلوخه‌های رسی، تطویل، تورق، ساندنس، سایش به روش لس آنجلس و...) به ازای هر ۱۸۰ تن مصالح بالاست تولیدی و آماده شده، الزامی است. در حالی که انجام همه این آزمایش‌ها با توجه به فرصت و زمان اجرای پروژه و امکانات آزمایشگاه‌های محلی مستقر در پروژه‌ها میسر نبوده و بعضا زمان‌بر است و موجب تاخیر در روند اجرایی پروژه می‌شود. لذا مطلوب‌تر آن است که مصالح بالاست، پس ازتولید در مقیاس کوچک و نمونه‌برداری معرف، ابتدا مورد ارزیابی آزمایشگاهی کامل قرار گیرد و در صورت انطباق با مشخصات فنی، ادامه تولید و مصرف آن با تایید دستگاه نظارت انجام و در دوره‌های تناوبی بعدی مورد ارزیابی‌های کیفی مستمر قرارگیرد. تواتر نمونه برداری‌های مصالح تولیدی بالاست، در ادامه در جدول ۲ ارائه شده است. ۲- در بند ٦-٥-۹ نشریه ۳۰۱، معیار پذیرش آزمایش تورق مصالح بالاست، بر اساس استاندارد انجام آزمون مطابق BS812، ۵ درصد تعیین شده است، در حالی که مطابق با این روش استاندارد، این عدد بسیار کم است و تامین مصالح بالاست با چنین ویژگی بسیار سخت و هزینه‌بر می‌باشد. علاوه بر این، طویل بودن مصالح بالاست نیز پارامتر بسیار مهمی است و بایستی هردو ویژگی تطویل و تورق در این نوع مصالح با هم دیده شود. در آیین نامه AREMA، این ویژگی با روش انجام آزمون مطابق استاندارد ASTM D4791 و با نسبت ۱ به ۳ سنجیده می‌شود.
۳	فصل ٦، بند ٦-٦،	حمل بالاست	۱- در نشریه ۳۰۱ به نحوه ذخیره‌سازی (دپو) و حمل مصالح بالاست که اهمیت بسیار زیادی بویژه در یکنواختی تولید و عدم وقوع جداشدگی دارد، اشاره نشده است.

۲-۲- مصالح مناسب برای بالاست

کیفیت لایه بالاست به جنس مصالح و میزان تراکم آن در محل بستگی دارد. مصالح بالاست بایستی از سنگ‌های آذرین (گرانیت، بازالت، کوارتز، دیوریت و...) و سنگ آهک منطبق با مشخصات جدول ۲ و زیرنویس این جدول باشد. سنگ‌های رسی و لایه‌ای و به شدت هوازده برای بکارگیری در لایه بالاست مناسب نمی‌باشند [٦].

بکارگیری سرباره‌های آهنی[3] و سرباره‌های فولادی[4] نیز، در صورت انطباق با مشخصات مندرج در جدول ۲ بلامانع است. مصالح مورد مصرف در لایه بالاست برای انجام وظایف خود، باید دارای ویژگی‌های زیر باشند:

- مقاوم در برابر سائیدگی و خردشدگی و شکستن در برابر بارهای اعمالی
- استحکام کافی، ساختار مقاوم در برابر تاثیرات جوی و هوازدگی
- لبه‌های تیز و حتی‌المقدور مکعبی و از نوع سنگ‌های شکسته
- قابلیت زهکشی
- قابلیت تمیز کردن
- کارآیی مناسب
- در دسترس بودن

۲-۳- آزمایش های کنترل کیفی بالاست

آزمایش‌های کنترل کیفی بالاست باید بر اساس آزمایش‌ها و روش‌های آزمون ذکر شده در جدول ۲، بر روی نمونه‌های معرف انجام شود. سپس نتایج آزمایش با مشخصات فنی مقایسه شود. ادامه تولید مصالح بالاست، پس از تایید کیفیت مصالح فوق‌الذکر توسط دستگاه نظارت امکان‌پذیر خواهد بود.

۲-۴- ارزیابی دوام مصالح بالاست

در میان اجزای روسازی راه‌آهن، مصالح سنگی مورد مصرف در لایه بالاست، بایستی به گونه‌ای انتخاب گردند که ضمن ایفای مطلوب نقش خود در تحمل نیروهای وارده و استهلاک ضربات، پخش وانتقال بارها به لایه‌های تحتانی، زهکشی آب‌های نفوذی و...، از استحکام و دوام کافی نیز در شرایط اقلیمی مختلف برخوردار باشند. از آنجا که در صورت ساییدگی و خرد شدن مصالح لایه بالاست، ممکن است کارایی آن به شدت کاهش یافته و قابلیت عملی ساختن وظایف مذکور برای لایه بالاست ناممکن گردد، مقاومت ساییدگی مصالح این لایه به‌ویژه در شرایط بارندگی و مواجه شدن با آب، تحت بارهای ضربه‌ای و لرزشی عبور قطارها، اهمیت قابل توجهی پیدا می‌کند.

از میان آزمایش‌هایی که به‌منظور ارزیابی مقاومت سایشی مصالح بالاست در مقابل ضربات مورد توجه قرار گرفته است، می‌توان به آزمایش سایش به‌روش لوس‌آنجلس (ASTM C131, C535) و سایش به‌روش میکرودوال (ASTM D6928, D7428) اشاره نمود. مطالعات انجام شده توسط برخی محققین، نشان داده است، گروهی از مصالح سنگی درشت‌دانه با ساختار خاص خود، نظیر برخی گرانیت‌ها، ممکن است، در اثر ضربات ناشی از سقوط گلوله‌های فولادی در آزمایش لوس‌آنجلس، دچار شکست شده و عدد سایش بزرگی نشان داده و مورد پذیرش واقع نگردند، درحالی که عملکرد خوبی دارند.

[3] Slags Ballast Furnaces
[4] Furnaces Slags Steel

جدول ۲– مشخصات فنی مصالح مصرفی در بالاست و تواتر نمونه‌برداری [۵ و ۱]

ویژگی	روش آزمایش		مشخصات فنی	تواتر نمونه برداری
	ASTM	AASHTO		
دانه‌بندی	C136	T27	مطابق جدول ٤	هر ۱۰۰۰ متر مکعب
درصد مصالح ریزتر از الک شماره ۲۰۰	C117	T11	≤۱	هر ۱۰۰۰ متر مکعب
درصد کلوخه‌های رسی و سنگدانه‌های شکننده	C142	T112	≤ ۰/۵	هر ۱۰۰۰ متر مکعب
درصد افت وزنی در برابر سایش به روش لوس‌آنجلس (LA)[۱]	C535 یا C131	T96	≤۳۰	هر ۵۰۰۰ متر مکعب
درصدافت وزنی در برابر سولفات سدیم	C88	T104	≤۵	هر ۱۰۰۰۰ متر مکعب
چگالی حقیقی	C127	T85	≥۲/٦	هر ۵۰۰۰ متر مکعب
درصدجذب آب [۲]	C127	T85	≤۱	هر ۵۰۰۰ متر مکعب
وزن واحد حجم	C29	T19	حداقل ۱٤۰۰ کیلوگرم بر متر مکعب	هر ۵۰۰۰ متر مکعب
درصد افت وزنی سایشی در حضور آب با روش میکرودوال (MDE)	D6928,D7428	-	≤۱۵	هر ۱۰۰۰۰ متر مکعب
درصدافت وزنی در برابر یخ زدن وآب شدن،۲۰ سیکل [۳]	EN 1367-1	-	≤٤	هر ۵۰۰۰ متر مکعب

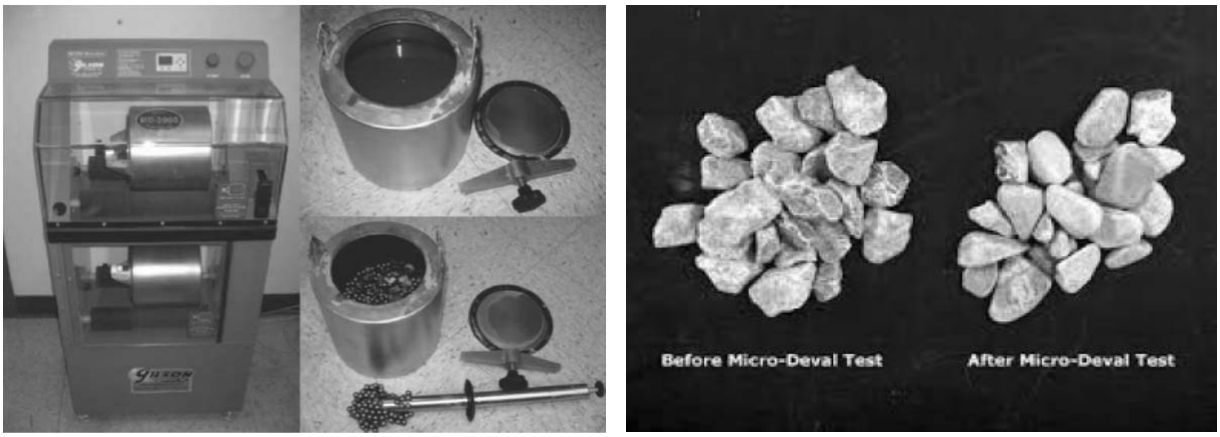
[۱] برای مصالح با دانه‌بندی بزرگتر از یک اینچ، از روش ASTM C535 ومصالح کوچکتراز یک اینچ، ازروش ASTM C131، استفاده شود.

[۲] حداکثر درصد جذب آب مصالح سنگی مورد مصرف در بالاست، در صورتی که از انواع سنگ آهک وسنگ آهک دولومیتی (پس از تشخیص دقیق سنگ) باشند، به ۲ درصد محدود می‌گردد.

[۳] در صورتی که نتیجه درصد جذب آب مصالح سنگی، کمتر از ۰/۵ درصد باشد، نیازی به انجام آزمایش افت وزنی در برابر یخ زدن وآب شدن نخواهد بود. علاوه بر این، در مناطقی که چرخه یخ زدن وآب شدن در شرایط استفاده از مواد یخ زدا ویا همراه با پخش نمک و آب شور روی دهد (شرایط حدی)، با نظر دستگاه نظارت، روش استاندارد EN1367-6 ملاک عمل قرار می‌گیرد. در آن صورت، درصد جذب آب به ۸ درصد محدود می‌گردد.

اما برخی سنگ‌های دیگر که کیفیت ضعیف آنها در عمل به اثبات رسیده (نظیر slate)، به‌دلیل ساختار کریستالی و قابلیت جذب ضربات گلوله‌ها، عدد سایش کمتری در این آزمایش نشان می‌دهند [۷]. لذا بهترین آزمایش برای کنترل کیفیت مصالح در برابر سایش، آزمایشی است که در کنار وارد کردن ضربات به ذرات، شرایط حضور آب را نیز در نظر گرفته باشد. آزمایش میکرودوال، مطابق با استانداردهای ASTM D6928 (بالاست درشت‌دانه) و ASTM D7428 (بالاست ریزدانه) انجام می‌گیرد. این روش‌ها، شامل اندازه‌گیری مقاومت سایشی و دوام مصالح سنگی در دستگاهی با عملکرد ترکیبی حاصل از سایش و خرد کردن سنگدانه‌ها با کمک

یکسری گوی‌های فلزی در حضور آب است. در این فرایند، بر اساس اندازه سنگدانه‌های بالاست، نمونه‌هایی با مقدار و دانه‌بندی استاندارد در ابتدا به مدت یک ساعت در آب غرقاب می‌شوند و سپس به قالب‌های استوانه‌ای حاوی آب به همراه گوی‌های فلزی استاندارد منتقل و مجموعه به مدت ۱۵ دقیقه تا ۲ ساعت (بستگی به اندازه ذرات و روش آزمایش دارد) با سرعت مشخص و مطابق استانداردهای مذکور به چرخش در می‌آیند. پس از اتمام آزمایش، نمونه‌ها شسته شده وخشک می‌گردند. افت وزنی مصالح پس از عبور از الک ۱/۱۸ میلی‌متر (در حالت درشت‌دانه) والک شماره ۲۰۰ (۰/۰۷۵ میلی‌متر در حالت ریزدانه)، به عنوان درصدی از جرم اولیه مصالح سنجیده می‌شود (شکل۱). میزان افت وزنی سایشی مصالح بالاست درحضور آب با دستگاه میکرودوال بایستی حداکثر ۱۵ درصد باشد. شایان ذکر است، این آزمایش‌ها در شرکت سهامی آزمایشگاه فنی ومکانیک خاک نیز انجام می‌شود.



شکل۱- نمایی از ابزار آزمایش میکرو دوال و وضعیت مصالح سنگی در قبل وبعد از آزمایش

تحقیقاتی که تاکنون به منظور تعیین ارتباط بین نتایج آزمایش‌های لوس‌آنجلس و میکرودوال بر روی مصالح سنگی انجام شده است، حاکی از آنست که از میان دو آزمایش اخیر، آزمایش میکرودوال، نتایج متمرکزتری (با انحراف معیار کمتری) به‌دست می‌دهد. سنگ‌های مختلف از جنس مختلف، عملکرد متفاوتی در آزمایش‌های لوس‌آنجلس و میکرودوال از لحاظ مناسب بودن کیفیت آنها داشته‌اند. همچنین ارتباط تجربی مناسبی نیز بین نتایج آزمایش‌های میکرودوال و لوس‌آنجلس وجود ندارد [۷ و ۳].

در نشریه ۳۹٤، با عنوان دستورالعمل طراحی و نظارت بر روسازی راه‌آهن سریع السیر، با توجه به نتایج حاصل از آزمایش‌های میکرودوال (MDE) و لوس‌آنجلس (LA)، محدودیت‌هایی از طریق روابط ۱ و ۲ در نظر گرفته شده است.

$$LA+5MDE \le 44 \quad (۱)$$

$$LA+2MDE \le 33 \quad (۲)$$

نمونه‌ای از نتایج آزمایش‌های میکرودوال و لوس‌آنجلس بر روی مصالح بالاست مورد مصرف در یکی از پروژه‌های راه‌آهن در جدول ۳ ارائه گردیده است.

جدول ۳- نتایج آزمایش‌های افت وزنی در برابر سایش به‌روش میکرودوال (MDE) و لوس‌آنجلس (LA) بر روی مصالح بالاست در یکی از پروژه‌های راه‌آهن(انجام شده در شرکت سهامی آزمایشگاه فنی ومکانیک خاک)

ردیف	نتایج MDE و LA		ترکیب نتایج MDE و LA در صورت استفاده از مصالح بالاست در راه‌آهن سریع السیر	
	میکرودوال (MDE) در حضور آب، ASTM D6928، حداکثر مجاز، ۱۵٪	لوس‌آنجلس (LA)، ASTM C53، حداکثر مجاز، ۳۰٪	$LA+5MDE \le 44$	$LA+2MDE \le 33$
۱	۱۲	۱۵	۷۵	۳۹
۲	۱٤/۳	۱۷	۸۸/۵	٤۵/٦
۳	۱٦	۱۹	۹۹	۵۱
٤	۱٦/۷	۲۰	۱۰۳/۵	۵۳/٤
۵	۱۲	۲۰	۸۰	٤٤
٦	۱۱	۱۸	۷۳	٤۰
۷	۱۰	۱۷	٦۷	۳۷
۸	۱۰/۵	۱۷	٦۹/۵	۳۸
۹	۱۰/۲	۱۸	٦۹	۳۸/٤
۱۰	۱۱/۵	۲۰	۷۷/۵	٤۳

در نشریه شماره ۳۹٤ با عنوان دستورالعمل طراحی و نظارت بر روسازی راه‌آهن سریع السیر، خطوط سریع‌السیر به خطوطی اطلاق می‌شود که قطارهای مسافری با سرعت بیش از ۱٦۰ کیلومتر بر ساعت بر روی آنها تردد می‌کنند. با توجه به نتایج حاصل، بر اساس حدود مشخصات مندرج در جدول ۲ و نتایج جدول حاضر ملاحظه می‌گردد که بکارگیری مصالح مذکور در لایه بالاست در خطوط عادی مناسب، لیکن در خطوط سریع السیر مجاز نمی‌باشد.

۲-۵- نمونه‌گیری

نمونه‌گیری بالاست باید مطابق استاندارد ASTM D75 انجام شود و مقدار نمونه‌های لازم برای انجام آزمون‌های آزمایشگاهی مطابق با ASTM C702 کاهش داده شوند. نمونه‌برداری بایستی بیانگر خواص کل توده بالاست باشد. ظروف نمونه‌گیری و وسایل به‌کار گرفته شده باید طوری باشد که باعث به هم خوردن دانه‌بندی بالاست نشود.

۲-۶- دانه‌بندی

آزمایش دانه‌بندی و تعیین درصد دانه‌های عبوری از الک‌های مختلف باید مطابق استاندارد (ASTM C136) صورت گیرد. دانه‌بندی بالاست مصرفی باید منطبق بر یکی از گروه‌های ۱ تا ۵ جدول ٤ باشد.

جدول ٤- درصد وزنی عبوری مجاز از الک‌های مختلف برای بالاست مصرفی در راه‌آهن

گروه	اندازه چشمه‌های الک (اینچ) یا شماره آن								
	۳	$۲\frac{۱}{۲}$	۲	$۱\frac{۱}{۲}$	۱	$\frac{۳}{٤}$	$\frac{۱}{۲}$	$\frac{۳}{۸}$	#٤
۱	۱۰۰	۹۰-۱۰۰	-	۲۵-٦۰	-	۰-۱۰	۰-۵	-	-
۲	۱۰۰	۸۰-۱۰۰	٦۰-۸۵	۵۰-۷۰	۲۵-۵۰	-	۵-۲۰	۰-۱۰	۰-۳
۳	-	۱۰۰	۹۵-۱۰۰	۳۵-۷۰	۰-۱۵	-	۰-۵	-	-
٤	-	۱۰۰	۹۰-۱۰۰	٦۰-۹۰	۱۰-۳۵	۰-۱۰	-	۰-۳	-
۵	-		۱۰۰	۹۰-۱۰۰	۲۰-۵۵	۰-۱۵	-	۰-۵	

۲-۷- ذخیره‌سازی و حمل بالاست

بالاست بایستی تمیز، گوشه‌دار و عاری از بخش‌های هوازده، ناخاصی‌های آلی و مطابق با مشخصات مندرج در جداول ۲ و ٤ باشد. انبارش و دپوی مصالح بالاست بایستی در روی زمین مسطح، مستحکم، تمیز و با شرایط زهکشی خوب انجام گردد. ارتفاع دپو به اندازه‌ای انتخاب شود که منجر به شکستگی مصالح بالاست و یا افت زیاد ارتفاع آن نشود. عبور و مرور ماشین‌آلات از روی دپو مجاز نمی‌باشد. ظرفیت ماشین آلات تولید، بایستی متناسب با نیاز روزانه انبارش و همچنین بارگیری جهت حمل به محل مصرف بدون هرگونه تاخیر باشد. عملیات اختلاط و انبارش مصالح بالاست بایستی به‌گونه‌ای برنامه‌ریزی و انجام شود که کمترین جداشدگی در محصول بالاست نهایی ایجاد شود. سطح بالایی دپو، حتی الامکان موازی با سطح زمین و شیب‌های کناری دپو نبایستی بیشتر از ۱:۱/۵ (عمودی:افقی) باشند.

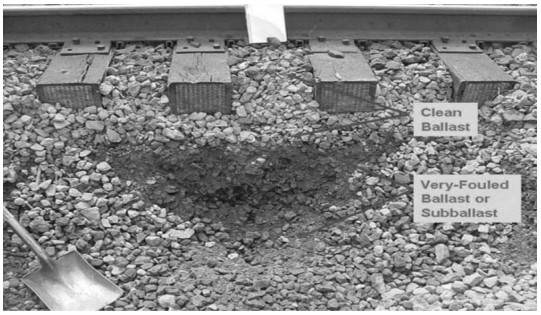
حمل بالاست آماده شده باید با واگن یا کامیون‌های مخصوص حمل بالاست صورت گیرد. حمل باید به‌گونه‌ای انجام شود که دانه‌بندی بالاست به‌هم نخورد و موجب جدایی سنگدانه‌ها نگردد. بالاست آماده شده نبایستی در طی حمل و عملیات اجرایی به مواد خارجی و زیان‌آور آلوده باشد. در صورت وجود آلودگی و ریزدانه‌های بیش از حد در دپوی مصالح بالاست، ممکن است شستشو و یا حتی الک کردن مجدد آن ضروری باشد.

۲-۸- تعیین شاخص کثیفی(آلودگی) بالاست[5]

یکی از مشکلات عمده و متداول خطوط بالاستی که در آن ریل‌ها توسط تراورس‌ها نگه داشته می‌شوند و تراورس‌ها درون لایه‌ای از بالاست کوبیده شده قرار می‌گیرند، آلودگی و زوال تدریجی مصالح بالاست با افزایش عبور ترافیک (تعداد چرخه بارگذاری)، شکستگی گوشه‌های تیز، سایش پی در پی سنگدانه‌ها و خرد شدن ذرات ضعیف تحت بارهای متناوب سنگین، کاهش قابلیت زهکشی به علت پر شدن حفرات توسط ذرات خردشده و پمپاژ و یا نفوذ ریزدانه‌ها از بستر به لایه مذکور و کاهش مقاومت الکتریکی آنها به ویژه در مناطقی که بستر نرم اشباع دارند، می‌باشد. با افزایش بیش از حد ریزدانه در بالاست، خاصیت ارتجاعی لایه بالاست به‌شدت کاهش می‌یابد و ناهمگونی در سختی خط در طول مسیر، تأثیر نامطلوبی در بر خواهد داشت (شکل‌های ۲ و ۳).

[5] FI: Fouling Index

شکل۲- کثیفی بالاست



Clean ballast: Uniformly-graded large aggregate having high air void content
Fouled ballast: Fine materials fill air-void space

شکل۳- کثیفی بالاست

از آنجایی که لایه بالاست نقش محوری در رفتار کلی خطوط راه‌آهن ایفا می‌کند، علاوه بر آنکه بایستی در انتخاب مصالح و ویژگی‌های فیزیکی و دانه‌بندی آن، دقت نمود، می‌توان با پی بردن به خصوصیتی نظیر درصد کثیفی آن، رفتار بالاست را به عنوان یکی از مبناهای تصمیم‌گیری‌های بعدی مدیریت نگه‌داری خطوط راه‌آهن قرار داد. تاکنون شاخص‌های متعددی جهت تعیین شدت آلودگی لایه بالاست معرفی شده است که از جمله می‌توان به شاخص ارائه شده توسط Selige در سال ۱۹۹٤ بر طبق رابطه ۳ اشاره نمود که معتبر ترین شاخص تعیین شدت آلودگی بالاست به شمار می‌رود و مبنای بیشتر مطالعات انجام شده در زمینه آلودگی لایه بالاست می‌باشد [٤].

$$FI = P_4 + P_{200} \quad (۳)$$

در این رابطه،

P4: درصد عبوری از الک شماره ٤ (٤/۷۵ میلی‌متر) و

P200: درصد عبوری از الک شماره ۲۰۰می‌باشد.

[6] Selig and Waters (1994)

بر این اساس، طبقه‌بندی کیفی لایه بالاست از نقطه نظر تمیزی و کثیفی برمبنای شاخص آلودگی به شرح جدول ۵، نشان داده شده است.

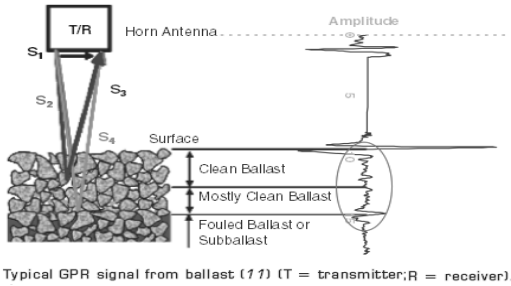
جدول ۵- ارتباط شاخص آلودگی (FI) و طبقه‌بندی کیفی لایه بالاست [٤]

FI (%)، شاخص آلودگی	طبقه‌بندی
کوچکتر از ۱	تمیز
۱ تا ۱۰	نسبتا تمیز (متوسط)
۱۰ تا ۲۰	نسبتا آلوده (آلودگی متوسط)
۲۰ تا ٤۰	آلوده
بزرگتر یا مساوی با ٤۰	شدیدا آلوده

۲-۹- تعیین میزان آلودگی لایه بالاست با استفاده از روش رادار نفوذی زمین (GPR)[7]

در بین روش‌های ژئوفیزیکی مطالعه نزدیک سطح (اعماق کم)، روش رادار نفوذی زمین از جایگاه با اهمیتی برخوردار است و جهت بازرسی سریع و غیرمخرب سلامت زیرسازه خط راه‌آهن به کارگرفته می‌شود. در آزمایش GPR، امواج الکترومغناطیسی توسط آنتن فرستنده به زیر زمین ارسال می‌شود و امواج بازگشتی که از سطح مشترک مصالح باخواص الکترومغناطیسی متفاوت منعکس شده‌اند، توسط آنتن گیرنده دریافت می‌شوند. آنتن‌های GPR (معمولا بصورت سه تایی در بالای مرکز و دو شانه خط) درعرض ناحیه مورد آزمایش حرکت داده می‌شوند ومجموعه پیوسته‌ای از امواج بازگشتی را ثبت و یک پروفیل از لایه‌های زیرین تولید می‌کنند (شکل ٤).

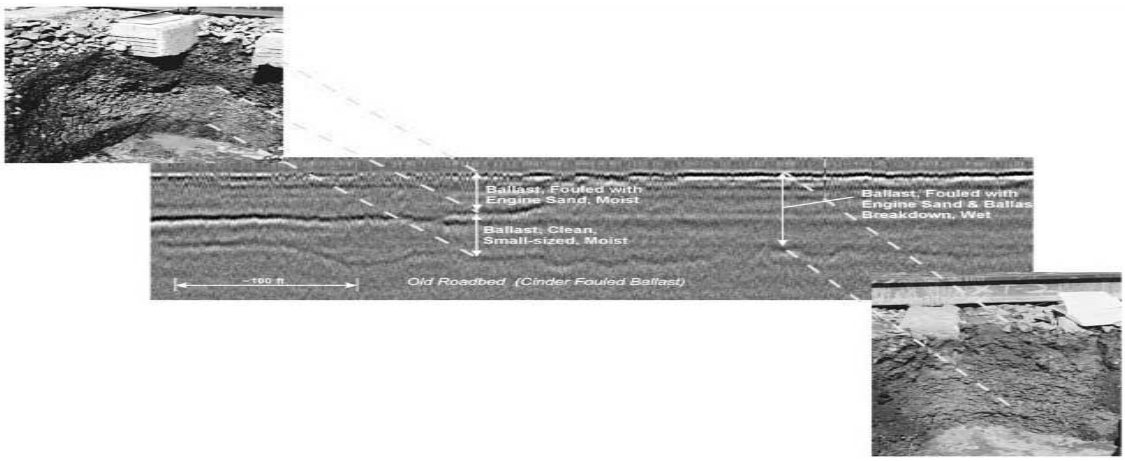
[7] GPR: Ground Penetration Radar



شکل٤- شناسایی لایه زیرسازه خطوط ریلی به کمک آزمایش رادار نفوذی زمین (GPR)

پروفیل اولیه (پردازش‌نشده)، به‌علت موقعیت هندسی، جهت آنتن و خصوصیات مصالح، دارای اغتشاش است. لذا از تکنیک‌های پردازش داده‌ها برای محدود کردن این اغتشاش استفاده می‌شود. تجهیزات این آزمایش غیر تماسی[8] است و امکان جمع‌آوری داده‌ها با سرعت وسیله نقلیه در خط وجود دارد. در آزمایش GPR، با اندازه‌گیری پیوسته در بالای خط، از وضعیت زیرسازه اطلاعاتی کسب می‌شود که امکان تعیین ضخامت لایه، درصد رطوبت و دانسیته اجزای زیرسازه را فراهم می‌کند. GPR، قادر به نشان دادن آب به جای مانده به علت زهکشی نامناسب، بستر ضعیف در اثر درصد رطوبت بالا و تغییرشکل‌های مربوطه است و امکان تشخیص بالاست آلوده از تمیز را می‌دهد. در آزمایش GPR، عمق و کیفیت بررسی به وسیله فرکانس موج تعیین می‌شود. موج‌های با فرکانس کم‌تر می‌توانند به عمق بیشتر زیرسازه خط نفوذ کنند، اما دقت کمتری در ارائه نتایج، حاصل می‌کنند. با افزایش فرکانس موج، امکان کسب نتایج دقیق‌تر مهیا می‌شود، اما عمق نفوذ کم می‌شود. علاوه بر این، موج‌های با فرکانس بیشتر، به تداخل با نویزهای محیطی حساس هستند. برای آزمایش زیرسازه خط راه‌آهن، فرکانس مناسب موج، بین ٤٠٠ مگاهرتز تا ٢ گیگاهرتز برای عمق نفوذ ٦٠ تا ٣٠٥ سانتی‌متر در نظر گرفته می‌شود. وجود فضاهای خالی در لایه بالاست، اثر قابل ملاحظه‌ای بر داده‌های GPR دارد. این فضاها موجب شکست موج در سطح مشترک دانه‌ها می‌شود و اجازه می‌دهد تا لایه بالاست نسبتا درشت‌دانه از زیربالاست نسبتا ریزدانه، قابل تشخیص باشد. تغییرات در پروفیل GPR، امکان می‌دهد تا بالاست آلوده شناسایی شود. زیرا فضاهای خالی لایه بالاست آلوده با ذرات ریزتر پرشده‌اند و شکست موج، محدود شده است. خروجی‌های GPR به‌صورت مجزا و گرافیکی قابل نمایش است. در شکل ٥ نمونه‌ای از نتایج و تفسیر آن نشان داده شده است.

[8] Air-launched



شکل۵- خروجی اطلاعات بدست آمده از آزمایش GPR

۳- مراجع

۱. مشخصات فنی عمومی رو سازی راه‌آهن، نشریه ۳۰۱، سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور.

۲. دستورالعمل طراحی و نظارت بر روسازی راه‌آهن سریع السیر، نشریه ۳۹٤، سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور.

۳. دستور العمل نظارت بر اجرای روسازی راه‌آهن، نشریه ۳۵۵، سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور.

٤. اصول و مبانی آزمایشات اجزاء و روسازی کنترل کیفیت خطوط راه‌آهن، مولف، دکتر سید جواد میر محمد صادقی

۵. ژئوتکنولوژی پیشرفته در خطوط بالاستی، ترجمه دکتر مرتضی اسماعیلی، مهندس سعید مجیدی پرست و..

1. AREMA, American Railway Engineering and Maintenance of Way Association.

2. NCAT Report 02-09, micro Deval Testing of Aggregates in The Southeast.

3. UIC719R, Union Internationale Des Chemins De Fer, (International Union of Railways, Earthworks and Track bed for Railway Lines.

4. MDOT, Michigan Department of Transportation (Standard Specifications for Railroad Work, 2015).

5. California High Speed Train Project, Technical Memorandum.