مرکز آموزش های تخصصی ریلی
راه آهن جمهوری اسلامی ایران

اصول سیستم های علائم الکتریکی

نویسنده:
پروفسور یورن پاچل (دانشگاه فنی براونشویگ آلمان)

مترجم: دکتر نوذر ابراهیمی لامع

بسم الله الرحمن الرحيم

مرکز آموزش‌های تخصصی ریلی
راه‌آهن جمهوری اسلامی ایران

اصول سیستم‌های علائم الکتریکی

نویسنده:

پروفسور یورن پاچل

(دانشگاه فنی براونشویگ آلمان)

مترجم:

دکتر نوذر ابراهیمی لامع

سال ۱۴۰۴

اصول سیستم‌های علائم الکتریکی

تدوین: مرکز آموزش‌های تخصصی ریلی راه‌آهن جمهوری اسلامی ایران
نویسنده: پروفسور یورن پاچل
مترجم: نوذر ابراهیمی لامع
طراح و صفحه‌آرا: فریده چنانی عابد
مشخصات نشر: تهران، انتشارات دیموند بلورین، ۱۴۰۴
مشخصات ظاهری: ۱۵۲ صفحه
نوبت چاپ: اول
شمارگان: محدود
چاپ: نوتاش
شابک: ۹ - ۴۴۲ - ۲۱۰ - ۶۲۲ - ۹۷۸
ISBN: 978-622-210-442-9
نشانی: میدان راه‌آهن، خیابان دشت آزادگان، درب غربی راه‌آهن، حوزه ۶، ساختمان مرکز آموزش‌های ریلی راه‌آهن
تلفن: ۳۰-۵۵۱۲۴۱۲۹-۰۲۱
وب‌سایت: https://rtc.rai.ir

مرکز آموزش‌های تخصصی ریلی
راه‌آهن جمهوری اسلامی ایران

سرشناسه	: پاخل، یورن Pachl, Jorn
عنوان و نام پدیدآور	: اصول سیستم‌های علایم الکتریکی/ نویسنده یورن پاچل؛ تدوین مرکز آموزش‌های تخصصی ریلی راه‌آهن جمهوری اسلامی ایران؛ مترجم نوذر ابراهیمی‌لامع.
مشخصات نشر	: تهران: دیموند بلورین، ۱۴۰۴.
مشخصات ظاهری	: ۱۵۲ ص.
شابک	: ۹-۴۴۲-۲۱۰-۶۲۲-۹۷۸
وضعیت فهرست‌نویسی	: فیپا
یادداشت	: عنوان اصلی :.Railway signalling principles
یادداشت	: واژه‌نامه.
یادداشت	: کتابنامه.
موضوع	: راه‌آهن -- مخابره علایم Railroads -- Signaling
شناسه افزوده	: ابراهیمی لامع، نوذر، ۱۳۴۷ -، مترجم
شناسه افزوده	: راه‌آهن جمهوری اسلامی ایران. مرکز آموزش‌های تخصصی ریلی
رده‌بندی کنگره	: TF۶۱۵
رده‌بندی دیویی	: ۶۲۵/۱۲۵
شماره کتابشناسی ملی	: ۱۰۱۸۶۵۰۱
اطلاعات رکورد کتابشناسی: فیپا	

فهرست مطالب

درباره نویسنده ۷
پیشگفتار نویسنده ۹
پیشگفتار مترجم ۱۱

فصل ۱: عناصر و اصطلاحات اساسی ۱۳
۱-۱: عناصر کنترلی کنار خط ۱۵
۱-۱-۱: عناصر متحرک خط ۱۵
عناصر و اصطلاحات اساسی ۱۵
۱-۱-۲: چراغ‌های کنار خط ۱۹
۱-۱-۳: تشخیص آزادی خط ۲۲
۱-۲: اصطلاحات اولیه بهره‌برداری ۲۸

فصل ۲: فاصله‌گذاری بین قطارها ۳۹
۲-۱: نظریه فاصله بین قطارها ۴۱
۲-۲: روش‌های کنترل قطار ۴۴
۲-۲-۱: کنترل قطار با چراغ‌های کنار خط ۴۵
۲-۲-۲: کنترل قطار با علائم داخل کابین ۵۷
۲-۳: روش‌های کنترل بلاک ۶۰
۲-۳-۱: کنترل بلاک از طریق ارتباط کلامی ۶۱
۲-۳-۲: سیستم‌های بلاک برای عملیات بلاک ثابت ۶۲
۲-۳-۳: کنترل بلاک در بلاک متحرک ۷۷

فصل ۳: اصول اینترلاکینگ ۷۹
۳-۱: مسیرهای اینترلاکینگ ۸۱
۳-۱-۱: طبقه‌بندی مسیر ۸۲

۳-۱-۲: قفل سوزن ۸۴
۳-۱-۳: قفل‌کردن و آزادکردن مسیرها ۸۶
۳-۱-۴: تداخل مسیرها ۸۸
۳-۱-۵: حفاظت جانبی ۸۹
۳-۱-۶: همپوشانی‌ها ۹۴
۳-۱-۷: سوزن‌های میانی ۹۷
۳-۱-۸: تشخیص آزادی خط ۹۸
۳-۲: منطق داخلی سیستم‌های اینترلاکینگ ۹۹
۳-۲-۱: اینترلاکینگ جدولی ۹۹
۳-۲-۲: اینترلاکینگ جغرافیایی ۱۰۲
۳-۳: نسل‌های سیستم‌های اینترلاکینگ ۱۰۶
۳-۴: رسیدگی به خرابی‌های اینترلاکینگ ۱۰۹

فصل ۴: حفاظت خودکار قطار ۱۱۳
۴-۱: طبقه‌بندی سیستم‌های ATP ۱۱۵
۴-۲: سیستم کنترل قطار اروپایی (ETCS) ۱۱۷
۴-۲-۱: سیستم‌های ETCS و ERTMS ۱۱۷
۴-۲-۲: سطوح ETCS ۱۱۸
۴-۳: سیستم کنترل قطار چینی (CTCS) ۱۲۵
۴-۴: کنترل قطار کامل (PTC) ۱۲۶

فصل ۵: گذرگاه هم‌سطح ۱۲۹
۵-۱: حفاظت از گذرگاه هم‌سطح ۱۳۱
۵-۲: کنترل و نظارت بر گذرگاه‌های هم‌سطح ۱۳۴
۵-۳: محاسبه بخش راه‌اندازی ۱۳۶

مراجع ۱۳۹
نمادهای بکار رفته در نمودارها ۱۴۱
واژه‌نامه ۱۴۳

درباره نویسنده

پروفسور یورن پاچل (Jörn Pachl)

استاد مهندسی سیستم‌های راه‌آهن در دانشگاه فنی براونشویگ آلمان. مدرس و مشاور دانشگاه در زمینه مهندسی سیستم‌های راه‌آهن، عملیات ریلی و علائم راه‌آهن. نویسنده، نویسنده همکار و ویراستار چندین کتاب درسی برای آموزش حرفه‌ای در فناوری راه‌آهن.

این نسخه یک نسخه پیش‌نویس از پیش منتشرشده در ژوئن ۲۰۲۰ است.

پیشگفتار نویسنده

سیستم‌های علائم الکتریکی[1] در راه‌آهن سیستم‌های کنترل پیچیده‌ای هستند. در تاریخ طولانی راه‌آهن، راه‌حل‌های خاص بسیاری برای تأمین ایمنی راه‌آهن از طریق سیستم علائم الکتریکی و بر اساس فن‌آوری‌های مختلف به وجود آمده‌اند. نکته کلیدی برای یادگیری نحوه عملکرد سیستم‌های علائم الکتریکی، درک اصول کنترلی این سیستم‌ها است. طبق تعریف، اصول علائم الکتریکی عبارت است از اصول سیستم ایمنی مبتنی بر علائم الکتریکی که بر اساس استانداردهای ملی می‌باشد و از الزامات یک شرکت راه‌آهن خاص و فناوری مورد استفاده، مستقل است.

این کتاب اصول اساسی مشترک همه سیستم‌های علائم الکتریکی راه‌آهن‌ها را توضیح می‌دهد. روش مورد استفاده عمومی است و بر روش‌های ملی خاصی تمرکز نمی‌کند. هدف کتاب ارائه دانش‌پایه و بلندمدتی است که در آینده با تغییر فناوری منسوخ نخواهد شد. محتوای این کتاب الکترونیکی برگرفته از تجربه دیرین آموزش بهره‌برداری راه‌آهن و علائم الکتریکی در دانشگاه‌ها و مؤسسات آموزش عالی حرفه‌ای در نقاط مختلف جهان است.

یورن پاچل

۱- سیستم علائم الکتریکی: سیستمی است برای کنترل سیر و حرکت قطارها

پیشگفتار مترجم

با توجه به عدم وجود استاندارد واحد برای طراحی سیستم‌های علائم الکتریکی، راه آهن‌های کشورهای مختلف با توجه به قوانین و مقررات بهره‌برداری، طبقه‌بندی و ترافیک خطوط خود نسبت به طراحی سیستم‌های علائم الکتریکی متناسب با نیازهای خود اقدام کرده‌اند. اما بسیاری از اصول طراحی این سیستم‌ها جهت رسیدن به هدف حفظ ایمنی و افزایش ظرفیت در سیر و حرکت قطارها تقریباً مشابه می باشند. کتاب *Railway Signalling Principles* نوشته پروفسور یورن پاچل به‌صورت نسبتاً ساده و خلاصه اصول حاکم بر سیستم‌های مختلف علائم در راه‌آهن‌های مختلف را بررسی و باهم مقایسه کرده است. بخشی از اصول بیان‌شده در این کتاب با اصول علائم به‌کاررفته با سیستم‌های نصب‌شده در راه‌آهن جمهوری اسلامی ایران مطابقت دارد ولی بخش‌های زیادی از کتاب به توضیح سایر سیستم‌های کاربردی در سایر راه‌آهن‌ها اشاره دارد که دارای مطالب مهمی می‌باشد. موارد مطرح‌شده در کتاب می‌تواند برای پروژه‌های آتی طراحی و پیاده‌سازی سیستم‌های جدید علائم الکتریکی در راه‌آهن ایران مورد بررسی و در صورت صلاحدید ازنظر بهره‌برداری و فناوری مورد استفاده قرار گیرد. این کتاب برای مطالعه مهندسین بخش علائم و همچنین مدیران بهره‌برداری می‌تواند حاوی مطالب مفیدی باشد.

لازم است از همکاری اعضای محترم کمیسیون عالی سوانح راه‌آهن خصوصاً آقایان مهندس حمزه‌ای و مهندس عاطف جباری که در بازخوانی و ویرایش کتاب نقش ارزنده‌ای را به عهده داشتند تشکر و قدردانی نمایم.

نوذر ابراهیمی لامع

فصل ۱

عناصر و اصطلاحات اساسی

فصل ۱

عناصر و اصطلاحات اساسی

هدف از به‌کارگیری سیستم‌های علائم الکتریکی اطمینان از سیر ایمن قطارها در زیرساخت راه‌آهن با قفل‌کردن اجزای متحرک خط در یک موقعیت مناسب، بررسی آزادی سیر در بخش‌های مختلف خط، جلوگیری از برخورد و کنترل حرکات قطارها به‌گونه‌ای است که آن‌ها را به‌صورت ایمن از هم جدا نگه دارد. فصل اول، اجزای کنار خط که توسط سیستم‌های علائم الکتریکی کنترل می‌شوند را توصیف میکند و اصطلاحات اساسی مورد استفاده در روش‌های بهره‌برداری ایمن سیر وسایل نقلیه ریلی در راه‌آهن را توضیح می‌دهد.

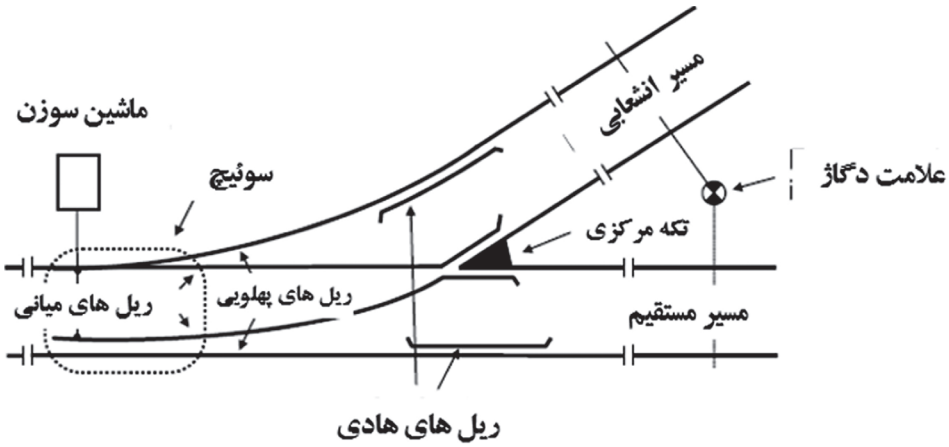
۱-۱: عناصر کنترلی کنار خط

۱-۱-۱: عناصر متحرک خط

سوزن‌ها[۲]

سوزن مجموعه‌ای از ریل‌ها، تیغه‌های[۳] متحرک و تکه مرکزی[۴] است که باعث انشعاب خطوط می‌گردد و به قطارها یا وسایل نقلیه ریلی اجازه می‌دهد تا از خطی به خط دیگر عبور کنند (شکل ۱-۱).

۲- turnouts
۳- points
۴- Frog/crossing



شکل ۱-۱. اجزای سوزن

قابلیت جابجایی مسیر در سوزن‌ها با استفاده از جابجا شدن تیغه‌های فولادی انعطاف‌پذیر فراهم می‌شود. در سوزن‌های قدیمی‌تر، گاهی هنوز سوزن‌هایی وجود دارد که در آن جابه‌جایی تیغه‌های سوزن توسط اتصالات پیچ و مهره[۵] مفصلی انجام می‌شود. سوزن‌ها ممکن است به‌صورت دستی یا توسط یک ماشین سوزن جابجا شوند. ماشین سوزن از یک موتور الکتریکی و یا از سیلندرهای پنوماتیک با کنترل‌کننده الکتریکی برای جابجایی استفاده می‌کنند. درصورتی‌که زاویه واگرایی کوچک باشد، علاوه بر جابجایی تیغه‌ها از یک‌تکه مرکزی متحرک (که به آن دماغه تکه مرکزی چرخان[۶] نیز می‌گویند) که توسط یک ماشین سوزن اضافی دیگری جابجا می شود استفاده می‌گردد. اگر قطار ابتدا به سمت تیغه‌های سوزن نزدیک شود، به آن «سوزن ورود از نوک[۷]» و اگر قطار ابتدا به سمت تکه مرکزی سوزن نزدیک شود، به آن «سوزن ورود از پاشنه[۸]» گفته می‌شود (شکل ۱-۲).

معمولاً زاویه واگرایی سوزن برحسب درجه بیان نمی‌شود، بلکه با تانژانت آن به‌صورت عدد کسری مانند ۱:۱۲ (یک به دوازده) و یا فقط به صورت عدد مخرج کسر بر روی سوزن یا تکه مرکزی نوشته می‌شود. بنابراین، زاویه ۱:۱۲ برابر است با تکه مرکزی ۱۲. حد فاصل ایمن

۵- Bolted joints
۶- Swing nose frog
۷- Facing point movement
۸- Trailing point movement

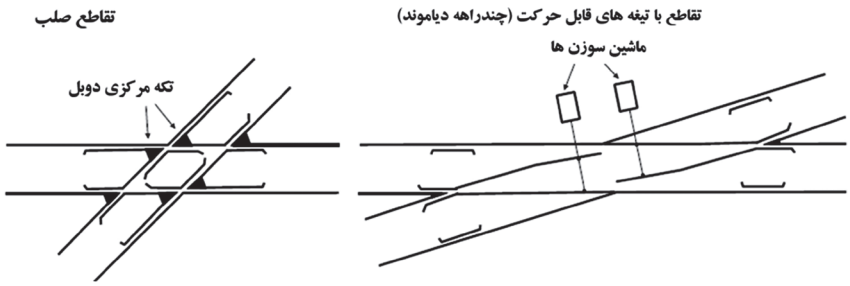
اشغال مسیرهای همگرا دگاژ[۹] نامیده می‌شود. در بسیاری از راه‌آهن‌ها این حد ایمنی با تابلو دگاژ کنار خط مشخص می‌شود.

شکل ۱-۲. حرکت روی سوزن

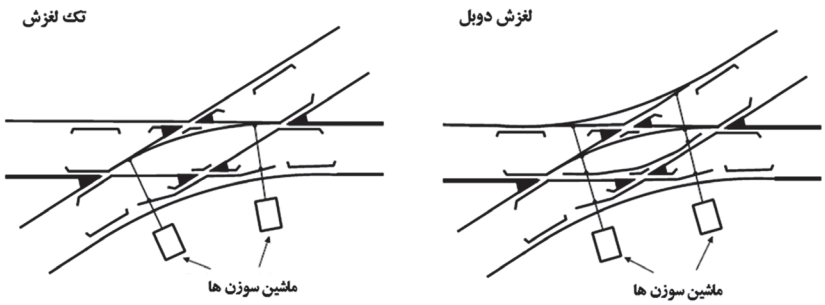
نکته: اصطلاح Turnout بیشتر در مهندسی عمران استفاده می‌شود. در بهره‌برداری راه‌آهن و علائم الکتریکی، سوزن معمولاً به همان یک جفت تیغه[۱۰] سوزن اشاره دارد، اگرچه این اصطلاح در معنای اصلی خود تنها به بخشی از سوزن که تیغه‌ها در آن قرار دارند، اطلاق می‌شود. این قسمت از سوزن (یک جفت تیغه) به‌عنوان سوئیچ[۱۱] نیز شناخته می‌شود. در بهره‌برداری و علائم الکتریکی راه‌آهن آمریکای شمالی، سوزن‌ها معمولاً سوئیچ نامیده می‌شوند (آرمسترانگ، ۲۰۰۸؛ بیست و همکاران، ۲۰۰۸؛ وایت، ۲۰۰۳). درنتیجه، ماشین سوزن، ماشین سوئیچ نیز نامیده می‌شود.

در اصطلاح مهندسی عمران بریتانیا، سوزن‌ها اغلب به‌عنوان سوئیچ نامیده می‌شوند. در آنجا، کل سوزن را «سوئیچ و چندراهه[۱۲]» می‌نامند که از عبارت « چندراهه» برای بخش تکه مرکزی سوزن استفاده می‌شود. ولی در بهره‌برداری راه‌آهن و علائم الکتریکی از عبارت Points به‌عنوان سوزن استفاده می‌شود.

۹- Fouling point
۱۰- A pair of points
۱۱- Switch
۱۲- Switch and crossing



شکل ۱-۳. تقاطع‌ها (چندراهه‌ها)



شکل ۱-۴. لغزش تک و دوبل

چندراهه‌ها[۱۳]

یک چندراهه مجموعه‌ای از ریل‌ها است که دو مسیر هم‌سطح ایجاد می‌کند؛ مانند سوزن‌ها، دوراهه‌ها نیز مجهز به تابلوهای دگاژ هستند. قسمت داخلی یک چندراهه الماس[۱۴] نامیده می‌شود. چندراهه های با زاویه تقاطع زیاد به‌صورت صلب طراحی می‌شوند. در صورت وجود یک زاویه تقاطع کوچک (معمولاً کمتر از ۱:۹)، تکه مرکزی ثابت الماس با تیغه‌های متحرک جایگزین می‌شوند (سوئیچ الماس[۱۵]، شکل ۱-۳).

چندراهه‌های با زاویه کوچک ممکن است مجهز به تیغه‌های اضافی باشند که یک اتصال لغزشی برای امکان حرکت از یک خط به خط دیگر را فراهم کنند. چندراهه با اتصال لغزشی در یک طرف را دوراهه تک لغزش[۱۶] و چندراهه با اتصالات لغزشی در هر دو طرف را چندراهه

۱۳- Crossings
۱۴- Diamond
۱۵- Switch diamond
۱۶- Single Slip

با لغزش دوبل[۱۷] می‌نامند (شکل ۱-۴). در اصطلاح آمریکای شمالی، چندراهه‌های با اتصالات لغزشی، سوئیچ‌های لغزشی[۱۸] نامیده می‌شوند.

خارج کننده از ریل[۱۹]

دیریلرها تجهیزات کنار خطی هستند که برای محافظت از سیر قطار در برابر حرکت‌های ناخواسته سایر وسایل نقلیه ریلی در مسیرهای همگرا استفاده می‌شوند. با این وسیله یک وسیله با حرکت ناایمن (مانند فرار قطار) قبل از اینکه بتواند به مسیر حفاظت‌شده (مانند ایستگاه) برسد از ریل خارج می‌شود. در موقعیت‌های حفاظتی موردنظر، یک قطعه دیریلر روی یک ریل نصب می‌شود. دیریلرها نیز مانند سوزن‌ها، می‌توانند با دست یا به‌وسیله برق کار کند. در بسیاری از راه‌آهن‌ها، دیریلرها، نباید خارج از ریل‌های کناری نصب شوند (به بخش ۱-۲ مراجعه کنید). برخی از راه‌آهن‌ها به‌جای دیریلر، از سوزن ریزش[۲۰] استفاده می‌کنند که همان اثر را دارد.

۱-۱-۲: چراغ‌های کنار خط

سیستم‌های علائم الکتریکی موجود به‌تدریج با سیستم‌های پیشرفته کنترل قطار از طریق سیستم‌های رادیویی در حال جایگزین شدن هستند. در سیستم‌های کنترل رادیویی قطارها با اطلاعات ارسالی به داخل کابین هدایت می‌شوند. بااین‌حال، هنوز چراغ‌های کنار خط رایج‌ترین فناوری برای کنترل حرکت قطار هستند. در راه‌آهن‌هایی که سیر قطار کاملاً از عملیات مانور جدا هستند (به بخش ۱-۲ مراجعه کنید) مانند بیشتر راه‌آهن‌های خارج از آمریکای شمالی، معمولاً دو نوع چراغ کنار خط وجود دارد: چراغ‌های اصلی و چراغ‌های مانوری.

۱۷- Double Slip
۱۸- Slip switches
۱۹- Derailer/derails (US)
۲۰- Trap points

چراغ‌های اصلی

چراغ‌های اصلی مجوز ورود قطار به خط اصلی را می‌دهند. در این آموزش، از اصطلاح چراغ اصلی به‌صورت کلی برای همه چراغ‌هایی که سیر منظم قطار را کنترل می‌کنند، استفاده می‌شود و فرقی نمی‌کند که یک راه‌آهن این چراغ‌ها را از چراغ‌های مانوری جدا کند یا نه. مجوز سیر ارائه‌شده توسط یک چراغ اصلی تا چراغ اصلی بعدی یا نقطه تعیین‌شده طبق قوانین بهره‌برداری معتبر است.

به‌غیر از خطوط با سرعت کم، چراغی که سیر قطار را مجاز می‌کند نیاز به یک چراغ کمکی که نشان‌دهنده نزدیک‌شدن[۲۱] (چراغ اخباری) به چراغ اصلی ورودی در فاصله خط ترمز از چراغ اصلی است دارد زیرا معمولاً طول خط ترمز قطارها بیشتر از محدوده دید لکوموتیوران است. چراغ اخباری برای ترمزگیری ایمن هنگام نزدیک شدن به چراغ توقف، ضروری است. در خطوطی که فاصله بین چراغ‌ها خیلی بیشتر از طول خط ترمز نیست، چراغ اخباری معمولاً قبل از چراغ اصلی نصب می‌شود. در خطوط با فواصل بسیار طولانی بین چراغ‌های اصلی، چراغ‌های اخباری در فاصله خط ترمز از چراغ اصلی قرار می‌گیرند. یک چراغ اخباری فقط می‌تواند نمای نزدیک شدن به چراغ بعدی را ارائه دهد اما نمی‌تواند شامل نمای توقف (قرمز) باشد. یکی دیگر از نام‌های رایج برای چراغ‌های اخباری که در مقررات برخی از راه‌آهن‌ها استفاده می‌شود، چراغ هشدار[۲۲] است (چاندرا و آگاروال ۲۰۰۸).

در خطوط آمریکای شمالی، به‌طورکلی چراغ اخباری وجود ندارد. در مسیرهای دارای علائم الکتریکی، نشانه نزدیک شدن به چراغ اصلی صرف‌نظر از طول بلاک، همیشه توسط چراغ بلاک پشتی، ارائه می‌شود. در این خطوط چراغ‌های اخباری فقط برای اعلام نزدیک شدن به منطقه علائمی از مسیر غیر علائمی استفاده می‌شود.

چراغ‌های مانوری

چراغ‌های مانوری[۲۳] برای مجاز کردن عملیات مانور و محافظت از قطارها در برابر حرکات مانور استفاده می‌شود. در بیشتر راه‌آهن‌ها، نمای توقف چراغ اصلی، نشان دهنده توقف برای عملیات

۲۱- Approach Signal
۲۲- Warner Signal
۲۳- Shunting signals

مانور نیز می‌باشد. در خطوطی که برای عملیات مانور لازم است از چراغ‌های اصلی عبور کنند، چراغ مانوری جداگانه‌ای در چراغ اصلی گنجانده می‌شود، به‌طوری‌که در حالت مانور وسیله نقلیه ریلی مجاز به عبور از چراغ‌های اصلی با نمای توقف نیز باشند. چراغ‌های مانوری، چراغ اخباری ندارند، زیرا عملیات مانور با سرعت بسیار کم انجام می‌شود و لکوموتیوران قادر است در فاصله کوتاهی از هر وسیله نقلیه ریلی یا مانعی قطار را متوقف کند.

در برخی از راه‌آهن‌ها، نمای توقف چراغ‌های مانوری مطلق است، یعنی نشان‌دهنده توقف برای همه قطارها است. در این حالت این چراغ‌های مانوری برای حرکت قطاری که توسط چراغ اصلی مجاز (سبز) است نیز باید مجاز (سبز) شود. وسیله نقلیه ریلی که تحت کنترل یک چراغ اصلی است، درصورتی‌که چراغ‌های مانوری نیز سبز شده باشند می‌تواند با سرعت مجاز چراغ اصلی یا طبق جدول زمانی سیر نماید. برخی از راه‌آهن‌ها از چراغ‌های مانوری با نمای توقف برای مانور استفاده می‌کنند که برای حرکت قطار اعمال نمی‌شود. این روش در چندین راه‌آهن اروپای شرقی، روسیه و چین که از نور آبی برای این منظور استفاده می‌کنند، معمول است. در این راه‌آهن‌ها، حرکتی که تحت کنترل چراغ اصلی انجام می‌شود، می‌تواند نمای توقف چراغ‌های مانوری را نادیده بگیرند.

در راه‌آهن‌هایی که از چراغ‌های اصلی و مانوری متمایز استفاده نمی‌کنند، یک نمای[۲۴] چراغ برای عبور با احتیاط وجود دارد تا وسیله نقلیه در هنگام سیر به‌محض دیدن هر وسیله نقلیه ریلی دیگر یا مانعی قادر به توقف باشد. این نما هم برای اهداف مانوری و هم برای مجاز کردن حرکت قطار برای ورود به بخشی که ممکن است اشغال باشد، استفاده می‌شود.

با توجه به روش کنترل، بین چراغ‌های تحت کنترل و چراغ‌های خودکار تفاوت وجود دارد. چراغ‌های تحت کنترل، چراغ‌هایی هستند که از خطوطی که حاوی اجزای متحرک خط یا سوزن هستند و در آن‌ها امکان برخورد با وسایل نقلیه ریلی متحرک در مسیرهای مختلف وجود دارد، محافظت می‌کنند. نمای طبیعی چراغ‌های تحت کنترل توقف است. برای پاک (سبز) کردن چراغ تحت کنترل، در سیستم کنترل مسیرگیری می‌شود تا تمام اجزای متحرک

۲۴- aspect

خط را در وضعیت مناسب قفل کند و مانع تمام حرکات متضاد شود. مسیرگیری ممکن است توسط اپراتور انسانی یا یک سیستم مسیرگیری خودکار انجام شود. حتی اگر مسیرگیری خودکار باشد، چراغ‌ها همچنان به‌عنوان چراغ‌های تحت کنترل نامیده می‌شوند.

چراغ‌های خودکار چراغ‌هایی هستند که با عبور قطار از بخش‌های مختلف مسیر به‌طور خودکار تنظیم می‌شوند. با استفاده از تجهیزات تشخیص آزادی خط، درصورتی‌که تشخیص داده شود بخش مقابل چراغ اشغال است، نمای چراغ‌ها به‌صورت خودکار به نمای توقف تبدیل می‌شود. چراغ‌های خودکار را فقط می‌توان برای محافظت از بخش‌هایی از مسیر استفاده کرد که حاوی اجزای متحرک یا سوزن‌هایی که ممکن است در آن‌ها تصادف رخ دهد نباشند. بسته به نوع سیستم کنترل، وضعیت طبیعی چراغ‌های خودکار ممکن است توقف (قرمز) یا آزاد (سبز) باشد.

۱-۱-۳: تشخیص آزادی خط

هدف از دستگاه‌های تشخیص آزادی خط[۲۵] این است که قبل از اینکه قطاری مجاز به عبور از یک خط باشد، بررسی کند که تمام بخش‌های مربوطه از وسایل نقلیه ریلی خالی باشد. دو نوع دستگاه تشخیص آزادی خط وجود دارد: مدارخط[۲۶] و محورشمار[۲۷].

مدارخط

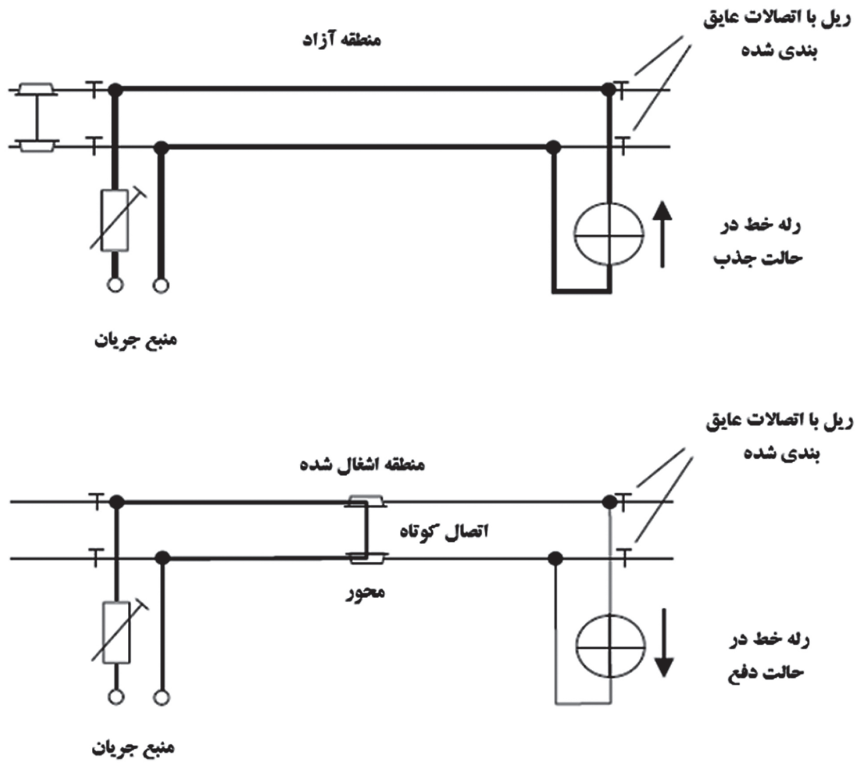
مدارخط مدار الکتریکی است که ریل‌ها بخشی از مدار را تشکیل می‌دهند. معمولاً یک منبع جریان در یک سر و یک دستگاه تشخیص در طرف دیگر وجود دارد. هر مدارخط توسط اتصالات ریلی عایق‌بندی شده از سایر مدارخط ها جدا می‌شود (شکل ۱-۵).

اگر بخشی از خط توسط وسیله نقلیه ریلی اشغال شود، محورها باعث اتصال کوتاه دو ریل می‌شوند. درنتیجه دستگاه تشخیص، هیچ جریانی از منبع تغذیه دریافت نمی‌کند و در نتیجه آن بخش از خط را اشغال‌شده تشخیص می‌دهد. دستگاه تشخیص اغلب یک رله خط است،

۲۵- Track clear detection
۲۶- Track circuit
۲۷- Axle counter

زمانی که خط آزاد است رله در حالت جذب (تحریک)[۲۸] و زمانی که خط اشغال می‌شود، رله از حالت تحریک خارج (دفع)[۲۹] می‌شود. در سیستم‌های جدید، اغلب رله با یک آشکارساز الکترونیکی[۳۰] جایگزین می‌شود. ازآنجایی‌که مدارخط بر اساس اصل مداربسته کار می‌کند، هرگونه قطع جریان بر اثر اشغال کردن مسیر، منجر به حالت ایمن (اشغال خط) می‌شود.

حداکثر طول یک مدارخط بستگی به مقاومت بین دو ریل دارد. ولی طول هر مدارخط نمی‌تواند بیشتر از حدود دو کیلومتر باشد. هنگام عبور وسایل نقلیه ریلی غیرمانوری و مواقعی که به علت زنگ‌زدگی یا کثیفی ریل‌ها عملکرد مدارخط دچار اشکال می‌شود و ایمنی دچار مشکل می‌گردد، لازم است رویه‌های عملیاتی خاصی در نظر گرفته شود.



شکل ۱-۵. مدار خط

۲۸- Picked Up
۲۹- Dropped
۳۰- Electronic Detector

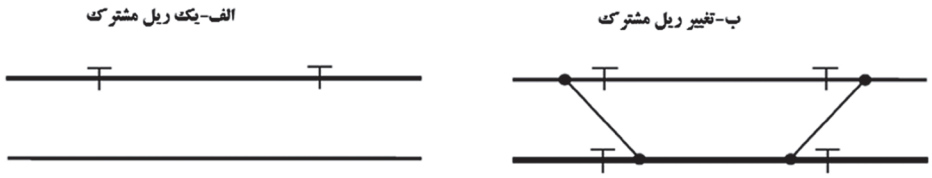
وسایل نقلیه غیرمانوری وسایل نقلیه‌ای هستند که به‌طور ایمن توسط مدارهای خط شناسایی نمی‌شوند، زیرا قادر به ایجاد اتصال کوتاه الکتریکی قابل‌قبول بین ریل‌ها نیستند. مجموعه وسیعی از وسایل نقلیه نگهداری و بازرسی در این دسته قرار می‌گیرند. مدارخط‌های اشغال‌شده توسط وسایل نقلیه غیر مانوری باید با مسئولیت کارکنان و با ایمن کردن چراغ‌های حفاظتی در موقعیت توقف، محافظت شوند. اگر ریل‌های بخشی از مدارخط به‌شدت زنگ‌زده باشند، در این صورت حتی وسایل نقلیه ریلی معمولی نیز دیگر به‌راحتی قابل‌شناسایی نمی‌باشند. به همین دلیل بیشتر راه‌آهن‌ها این قاعده را وضع کرده‌اند که باید حداقل سیری در یک بازه زمانی مشخص وجود داشته باشد تا مدارخط‌ها عملکرد ایمنی داشته باشند. یک قانون معمول، عبور حداقل یک قطار در روز از هر مدارخط است. اگر در مدت مذکور هیچ سیری وجود نداشته باشد، سیر بعدی برای ورود به آن بخش باید با نظارت انجام شود، مگر اینکه از آزاد بودن مسیر با روش‌های دیگری بتوان مطمئن شد. ریل‌های مدار خط نیز باید تمیز نگه‌داشته شوند، زیرا کثیفی زیاد ممکن است همان اثر زنگ‌زدگی را داشته باشد.

در خطوط برقی، از ریل‌ها به‌عنوان مسیر بازگشت جریان کشش استفاده می‌شود؛ بنابراین، باید مدارخط‌های کنار هم از نظر الکتریکی به هم متصل شوند تا جریان کشش از اتصالات عایقی ریل‌ها بتواند عبور کند. ساده‌ترین راه‌حل برای رفع این مشکل استفاده از یک ریل مشترک برای مدارخط‌های تک-ریل[۳۱] است. برای محافظت در مقابل جریان‌های نویز در صورت اتصال ناخواسته ریل عایق شده، از اتصالات متقاطع برای اتصال هر دو ریل به مدارخط‌ها استفاده می‌شود (شکل ۱-۶). به‌این‌ترتیب، جریان کشش بازگشتی در محل اتصالات عایق شده به ریل دیگر منتقل می‌شود.

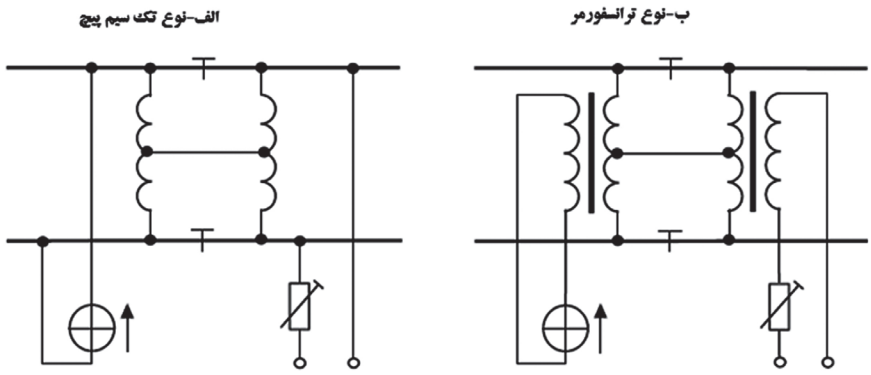
در بیشتر راه‌آهن‌ها، مدارخط‌های تک-ریل فقط برای مسیرهای کوتاه، به‌عنوان‌مثال، در محدوده سوزن‌ها استفاده می‌شوند، و برای تشخیص آزادی مسیرهای طولانی‌تر استفاده نمی‌شوند. زیرا مدارخط‌های مسیرهای طولانی‌تر نیاز به محافظت مناسب‌تری در برابر جریان‌های نویز دارند. برای این منظور از مدارخط‌های دو-ریلی[۳۲] استفاده می‌شود. در این

۳۱- Single-Rail Track Circuit
۳۲- Double-Rail Track Circuit

حالت برای اتصال الکتریکی جریان کشش برگشتی از اتصالات امپدانسی استفاده می‌شود (شکل ۱-۷).



شکل ۱-۶. مدار خط تک ریل



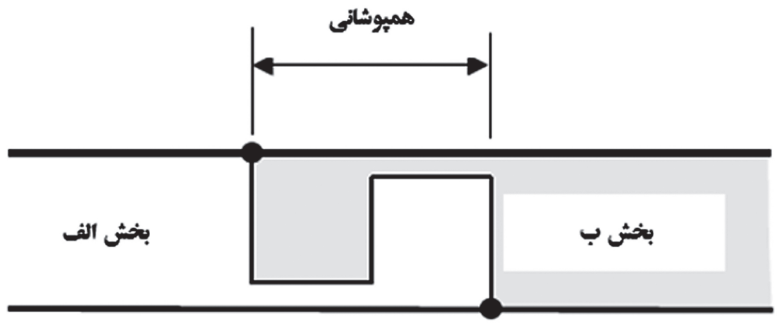
شکل ۱-۷. مدار خط با اتصالات امپدانسی

در ساده‌ترین شکل، در دو طرف اتصالات ریل عایق شده، یک سیم‌پیچ بین دو ریل مسیر قرار می‌گیرد. سیم‌پیچ‌ها توسط یک اتصال مرکزی به هم متصل می‌شوند که هر سیم‌پیچ را به دونیمه تقسیم می‌کند. جریان کششی از هر ریل وارد سیم‌پیچ می‌شود و از طریق اتصال مرکزی سیم‌پیچ را ترک می‌کند و از سیم‌پیچ طرف مقابل به ریل‌های قسمت بعدی می‌گذرد. به‌این‌ترتیب دو میدان مغناطیسی متضاد در هر نیمه هر سیم‌پیچ تولید می‌شود که از نظر قدرت برابر هستند و همدیگر را خنثی می‌کنند. با استفاده از مدارخط‌های AC، امپدانس از اتصال کوتاه مدارخط توسط سیم‌پیچ جلوگیری می‌کند. در نسخه اصلاح‌شده، از ترانسفورماتورها به‌جای سیم‌پیچ‌های تکی استفاده می‌شود. در این حالت، منبع جریان کششی و رله خط دیگر مستقیماً به ریل‌ها متصل نیستند، بلکه از طریق این ترانسفورماتورها متصل می‌شوند.

همان‌طور که در بالا توضیح داده شد، میدان‌های مغناطیسی متضاد تولیدشده توسط جریان کششی در سیم‌پیچ‌های کنار خط، با یکدیگر یکسان هستند، بنابراین جریان‌های القایی در سیم‌پیچ متصل به رله خط ایجاد نمی‌کنند.

برخی از راه‌آهن‌ها (به‌عنوان‌مثال، در سوئیس) از مدارخط‌های با کد دیجیتالی[۳۳] استفاده می‌کنند که در آن رله مسیر با یک دستگاه الکترونیکی جایگزین می‌شود. با استفاده از این فناوری، مدار خط‌های تک-ریل با اتصال فقط در یک ریل برای هر طولی قابل‌استفاده می‌شوند. این روش نیاز به امپدانس را هم از بین می‌برد.

همچنین مدارخط‌های بدون اتصال[۳۴] نیز وجود دارند که به‌عنوان مدار خط‌های فرکانس صوتی[۳۵] شناخته می‌شوند. این مدارخط‌ها خاص هستند و با جریان AC و با فرکانس صوتی کار می‌کنند. البته با توجه به ویژگی‌های القایی و خازنی خط، طول کار چنین مدارخطی محدود است. برای تشخیص مسیر ایمن به‌طور واضح و پیوسته، مدار خط‌های مجاور باید با یکدیگر همپوشانی داشته باشند. یک همپوشانی کنترل‌شده از مدار خط‌های مجاور را می‌توان با اتصال‌دهنده‌های ریلی S شکل به دست آورد (شکل ۱-۸). همچنین مدار خط‌های بدون اتصالی وجود دارد که یک همپوشانی کنترل‌شده را بدون چنین اتصالاتی ایجاد می‌کند، اما منجر به منطقه همپوشانی طولانی‌تری می‌شود.

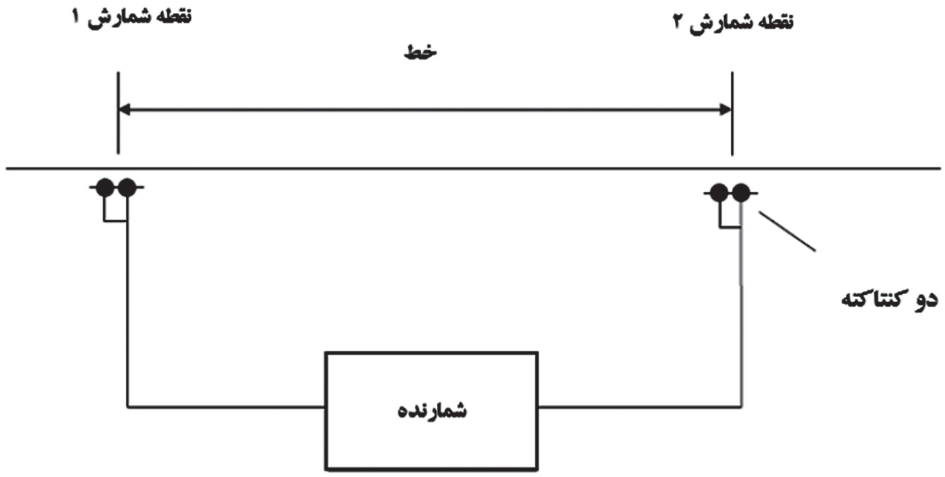


شکل ۱-۸. اتصال S شکل برای جداسازی مدار خط‌های بدون عایق‌بندی ریل

۳۳- digitally coded track circuits
۳۴- jointless track circuits
۳۵- audio frequency track circuits

محورشمار

محورشمار[۳۶] سیستمی است متشکل از نقاط شمارش در ابتدا و انتهای مسیر که به یک شمارنده محور متصل شده‌اند (شکل ۱-۹). اشغال یک بخش با مقایسه تعداد محورهایی که وارد و خارج بخش می‌شوند تشخیص داده می‌شود. درنتیجه، برای تشخیص آزادی خط، برابری تعداد محورهای ورودی و خروجی ضروری است. هر نقطه شمارش معمولاً از دو کنتاکت استفاده می‌کند تا علاوه بر شمارش محورها جهت حرکت را نیز تشخیص دهد. به‌کارگیری کنتاکت دوبل برای تشخیص صحیح اینکه آیا یک محور در حال ورود به بخش یا خروج از بخش است ضروری است.



شکل ۱-۹. محورشمار

برخلاف مدارخط، در این روش حداکثر طول کار محدود نیست. همچنین هیچ مشکلی برای سیستم محورشمار در اثر عبور وسایل نقلیه غیرمانوری یا در حالت زنگ‌زدگی یا کثیفی ریل به وجود نمی‌آید.

۳۶- Axle counter

۱-۲: اصطلاحات اولیه بهره‌برداری

طبقه‌بندی خطوط

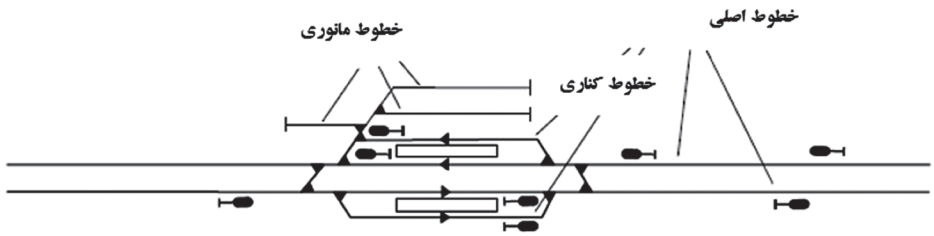
در بهره‌برداری راه‌آهن، به یک خط راه‌آهن[۳۷] اغلب مسیر[۳۸] گفته می‌شود. محوری که فقط از یک خط راه‌آهن تشکیل‌شده باشد، تک‌خطه[۳۹] نامیده می‌شود، درحالی‌که محور با دو خط بهره‌برداری، یعنی دو خط موازی و یک‌جهت مشخص برای حرکت عادی هر یک از خط‌ها، مسیر دوخطه[۴۰] نامیده می‌شود. ازنظر بهره‌برداری، خطوط راه‌آهن به دو طبقه اصلی تقسیم می‌شوند. هرچندکه در مقررات راه‌آهن‌های مختلف شاید دارای اسامی متفاوتی باشند، ولی ایده اصلی همیشه ثابت است:

- **خطوط اصلی**[۴۱]: خطوطی که برای حرکت (سیر) منظم قطارها استفاده می‌شوند.
- **خطوط مانوری**[۴۲]: خطوطی که فقط برای عملیات مانور استفاده می‌شوند.

تمایز بین حرکت قطار و حرکت مانور بعداً در این بخش توضیح داده می‌شود. خطوطی که برای سیر منظم قطار استفاده می‌شوند، خطوط اصلی یا خطوط در حال بهره‌برداری[۴۳] نامیده می‌شوند. اصطلاح خط اصلی عمدتاً در آمریکای شمالی استفاده می‌شود، اما توسط برخی راه‌آهن‌های خارج از آمریکای شمالی نیز مورد استفاده قرار می‌گیرد. در برخی از کتاب‌های درسی بین‌المللی نیز از همین اصطلاحات استفاده‌شده است (Theeg & Vlasenko، 2020). بسیاری از راه‌آهن‌های دیگر، به‌ویژه راه‌آهن‌هایی که ریشه در سیستم بریتانیا دارند، اصطلاح خط در حال بهره‌برداری[۴۴] را ترجیح می‌دهند. این خطوط شامل خطوط بین ایستگاه‌ها و ادامه آن‌ها در خارج از ایستگاه‌ها و مناطق تحت کنترل اینترلاکینگ هستند. این خطوط شامل خطوطی که در ایستگاه‌ها برای عبور و سبقت قطارها هستند نیز می‌شوندکه در بیشتر راه‌آهن‌ها به آن‌ها خطوط کناری[۴۵] (خطوط ایستگاه) می‌گویند (شکل ۱-۱۰). در مسیرهای

۳۷- Track
۳۸- Line
۳۹- Single line
۴۰- Double line
۴۱- Main lines
۴۲- Shunting movement
۴۳- main tracks or running lines
۴۴- Running line
۴۵- loop

علائمی، خطوطی که برای حرکت قطار استفاده می‌شوند، مجهز به تجهیزات علائمی برای عبور ایمن قطارها هستند. در امتداد خطی که قطار از آن عبور می‌کند، سوزن‌ها با چراغ‌های علائمی در هم قفل می‌شوند تا اجازه حرکت ایمن قطار را فراهم کنند. خطوط غیر اصلی/ مانوری[۴۶] خطوطی هستند که فقط برای عملیات مانور استفاده می‌شوند. سوزن‌های خطوط مانوری اغلب تحت پوشش سیستم علائم نیستند.



شکل ۱-۱۰. طبقه‌بندی خطوط

نکته: در اصطلاح آمریکای شمالی، مسیر، خط سیری است که ممکن است از چندین خط موازی تشکیل‌شده باشد. علاوه بر این، خطوط کناری را خطوط مانور و مسیرهای غیر از مسیرهای اصلی را مسیرهای انبار، فرعی یا صنعتی می‌نامند. خطوط تک‌خطه‌ای که انتهای آن‌ها مسدود هستند و به یک خط اصلی متصل می‌شوند را مسیرهای آنتنی[۴۷] (انشعابی) می‌نامند.

بخش بلاک (بلاک)[۴۸]

در سیستم بلاک ثابت، به‌منظور جداسازی ایمن قطارها، یک مسیر را به بخش‌هایی به نام بلاک تقسیم می‌کنند. تا زمانی که قطار جلویی بلاک را ترک نکرده باشد، معمولاً قطار بعدی نباید وارد بلاک شود. در خطوط علائمی، بلاک توسط چراغ‌های علائمی که حرکت قطار را کنترل می‌کنند مشخص می‌شود. چراغی که محدوده بلاک را در خارج از ایستگاه معین می‌کند، چراغ بلاک[۴۹]

۴۶- sidings
۴۷- Spur
۴۸- Block section
۴۹- Block signal

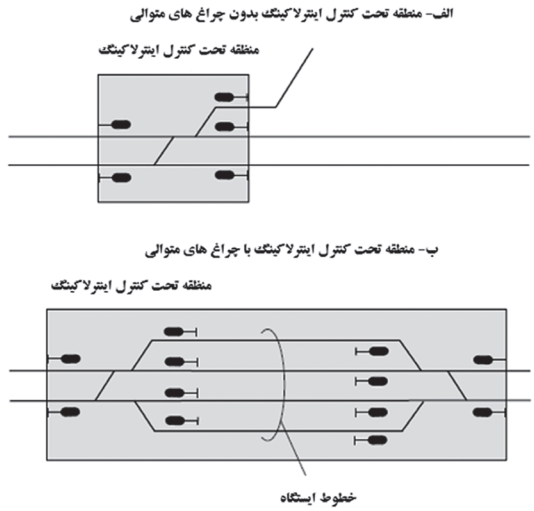
نامیده می‌شود. اگرچه ایده اصلی جداسازی قطار توسط بخش‌های ثابت در خطوط ایستگاه نیز اعمال می‌شود، ولی بسیاری از راه‌آهن‌هایی که محدوده ایستگاه را از خط آزاد جدا می‌کنند (به پاراگراف زیر در مورد مناطق تحت پوشش اینترلاکینگ مراجعه کنید) از اصطلاح بخش بلاک فقط در خارج از محدوده ایستگاه استفاده می‌کنند.

مناطق تحت کنترل اینترلاکینگ

یک منطقه تحت کنترل اینترلاکینگ، بخشی از خط است که در آن چراغ‌های علائمی تحت کنترل سوزن‌ها و دیگر چراغ‌ها به‌گونه‌ای قفل می‌شوند، که تنها زمانی چراغ مسیر سبز می‌شود که همه سوزن‌ها در موقعیت مناسب قفل‌شده باشند و تمام حرکات نامتعارف نیز غیرممکن شوند. چراغ‌هایی که مسیرهای قفل‌شده را کنترل می‌کنند، چراغ‌های اینترلاکینگ نامیده می‌شوند. سوزن‌ها و چراغ‌ها می‌توانند توسط یک اینترلاکینگ محلی یا از یک مرکز کنترل از راه دور کنترل شوند. ایستگاه‌های اینترلاکینگ محلی در آمریکای شمالی برج‌های اینترلاکینگ[۵۰] نامیده می‌شوند و در سایر راه‌آهن‌ها به آن‌ها اتاقک علائم[۵۱] یا کابین علائم[۵۲] گفته می‌شود. یک اینترلاکینگ محلی، شامل سیستم اینترلاکینگ و رابط کاربری اپراتور می‌باشد. سیستم‌های اینترلاکینگ مدرن معمولاً از راه دور و از طریق یک مرکز کنترل، کنترل می‌شوند.

در مناطق تحت کنترل اینترلاکینگ، چیدمان چراغ‌های علائمی به دو روش انجام می‌شود (شکل ۱-۱۱). درروش اول، مناطق اینترلاکینگ فاقد چراغ‌های متوالی در هم قفل‌شده هستند. یک چراغ اینترلاکینگ اجازه عبور قطار از کل منطقه تحت کنترل اینترلاکینگ را به بلاک بعدی فراهم می‌کند. در روش دوم، در مناطق تحت کنترل اینترلاکینگ از چراغ‌های متوالی در هم قفل‌شده استفاده می‌شوند.

۵۰- interlocking towers
۵۱- Signal boxes
۵۲- Signal cabins



شکل ۱-۱۱. انواع مناطق تحت کنترل اینترلاکینگ

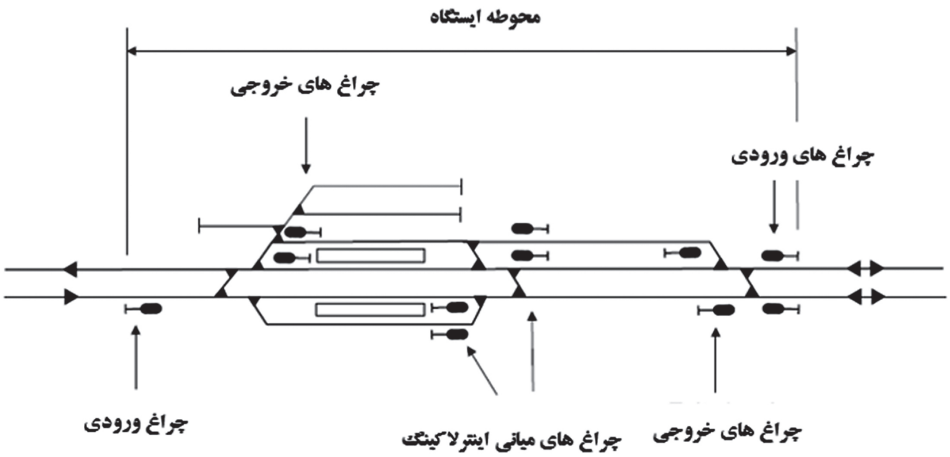
منطقه تحت کنترل اینترلاکینگ ممکن است شامل خطوط تشکیل و اعزام، قبول، عبور و چرخش قطار باشند. در این آموزش به این خطوط، خطوط ایستگاهی گفته می‌شود. به همین ترتیب، مجموعه خطوط داخل ایستگاه، محوطه ایستگاه نامیده می‌شود. همچنین، خطوط خارج و در جهت مخالف چراغ‌های علائمی که محدوده ایستگاه را مشخص می‌کنند، خط آزاد نامیده می‌شوند. اصطلاحات محوطه ایستگاه و خط آزاد در اینجا به‌صورت عمومی استفاده می‌شود و به عملکرد یک راه‌آهن مشخص اشاره نمی‌کند. با توجه به تنوع زیاد مقررات بهره‌برداری که در سراسر جهان استفاده می‌شود، ممکن است اصطلاحات استفاده‌شده در مقررات راه‌آهن برخی کشورها متفاوت باشد.

سکوی ایستگاه برای توقف برنامه‌ای قطارهای مسافری می‌باشد و لزوماً با یک خط ایستگاه که نیازی به سکو ندارد مرتبط نیست. همچنین در برخی خطوط آزاد ایستگاه‌هایی دارای سکو هستند ولی نمی‌توان در آن‌ها هیچ‌گونه عملیات مانوری انجام داد (ایستگاه اضطراری).

در بیشتر راه‌آهن‌ها، چراغ‌های علائمی که از هر دو طرف ایستگاه را محافظت می‌کنند، چراغ‌های ورودی[۵۳] نامیده می‌شوند. چراغ‌های علائمی که حرکت قطار را برای خروج از

۵۳- Home Signal

خطوط ایستگاه به قسمتی از خط آزاد کنترل می‌کنند، اغلب چراغ‌های اعزام یا خروجی[۵۴] ایستگاه یا فقط چراغ‌های اعزام نامیده می‌شوند. در این آموزش نیز از این اصطلاحات استفاده شده است. سایر اصطلاحات رایج برای این چراغ‌ها عبارت‌اند از چراغ‌های بخش، چراغ‌های شروع یا چراغ‌های ترک ایستگاه. چراغ‌های علائمی موجود در محوطه ایستگاه که نه چراغ ورودی هستند و نه چراغ اعزام (خروجی)، چراغ‌های علائم میانی[۵۵] نامیده می‌شوند (شکل ۱-۱۲). در برخی از راه‌آهن‌ها، چراغ‌های میانی، چراغ‌های ورودی داخلی[۵۶] (در هنگام عبور قطارهای ورودی از آن‌ها) و چراغ‌های اعزام داخلی[۵۷] (در هنگام عبور قطارهای خروجی از آن‌ها) نیز نامیده می‌شوند.



شکل ۱-۱۲. محوطه ایستگاه با چراغ‌های میانی اینترلاکینگ

در آمریکای شمالی، اینترلاکینگ با چراغ‌های متوالی در هم قفل‌شده در محدوده همان اینترلاکینگ رایج نیستند. دلیل آن این است که تمایزی بین خطوط ایستگاه و خطوط خط آزاد در مقررات آمریکای شمالی وجود ندارد (Bisset et. al. 2008). ولی در اروپا و بسیاری از راه‌آهن‌های دیگر به‌جز آمریکای شمالی، محدوده ایستگاه با چراغ‌های متوالی تحت کنترل

۵۴- Exit Signal
۵۵- intermediate
۵۶- inner home signals
۵۷- inner starter signals

اینترلاکینگ بسیار رایج هستند. در مراکز علائمی راه‌آهن مدرن بریتانیا نیز دیگر هیچ تمایزی بین خطوط ایستگاه و بخش‌های خط آزاد وجود ندارد. بااین‌حال، مناطق اینترلاکینگ ممکن است حاوی چراغ‌های متوالی به هم قفل‌شده باشند؛ بنابراین، به‌صورت کلی، اصطلاحات استفاده‌شده در اینجا برای سیستم بریتانیایی نیز مناسب است.

حرکت (سیر) وسایل نقلیه ریلی

در اکثر راه‌آهن‌ها، حرکت قطارهای عادی از عملیات مانور جدا می‌شود. در آمریکای شمالی نیز، مقررات برای هر دو نوع عملیات، مشابه اکثر کشورها می‌باشد و تفاوت قابل‌توجهی ندارد. به همین دلیل است که در بهره‌برداری از راه‌آهن آمریکای شمالی، همان‌طور که در بالا ذکر شد، از چراغ‌های مانوری استفاده نمی‌شود.

حرکت قطارها که به‌عنوان حمل‌ونقل ریلی[۵۸] نیز شناخته می‌شود، به حرکت لکوموتیوها یا وسایل نقلیه ریلی خودکشش، به‌تنهایی یا همراه با یک یا چند وسیله نقلیه ریلی دیگر، با مجوز اشغال بخشی از خط تحت شرایط بهره‌برداری مشخص‌شده در مقررات بهره‌برداری گفته می‌شود. هر قطار دارای علامت انتهای قطار (چراغ یا تابلو انتها) می‌باشد تا کارکنان مجاور خط بتوانند کامل بودن قطار را بررسی کنند. تمام حرکات منظم قطار در طول مسیر از ایستگاهی به ایستگاه دیگر را حرکت (سیر) قطار می‌نامند.

مجوز حرکت قطار دارای دو بخش است:

- جدول زمانی مصوب به‌عنوان مرجع سیر از طریق شبکه در طول یک مسیر از پیش تعیین‌شده توسط شرایط بهره‌برداری مشخص (مجوز جدول زمانی)
- مجوز حرکت برای هر بخش از خط در طول سیر قطار

مجوز حرکت برای ورود به بخشی از خط توسط اپراتور صادر می‌شود که مسئول کنترل حرکت قطار در آن بخش از خط است. به‌این‌ترتیب، یک قطار همیشه تحت هدایت خارجی یک اپراتور کنترل قطار است. مجوز سیر قطار توسط عوامل زیر صادر می‌گردد:

۵۸- Running Movements

- علامت ادامه سیر توسط چراغ علائم اصلی
- علامت ادامه سیر توسط نمایشگر علائم داخل کابین
- چراغ مانوری[۵۹] که به قطار اجازه می‌دهد در شرایط خاص درصورتی‌که چراغ‌قرمز باشد، از آن عبور نماید.
- مجوز کتبی یا شفاهی که به قطار اجازه می‌دهد در شرایط خاص درصورتی‌که چراغ‌قرمز باشد، از آن عبور نماید.
- مجوز کتبی یا شفاهی در خطوط غیر علائمی

عملیات مانور عبارت است از عملیاتی برای تشکیل قطار، حرکت وسایل نقلیه ریلی از یک خط به خط دیگر و موارد مشابه. عملیات مانور بدون جدول زمانی و در شرایط بهره‌برداری ساده با سرعت بسیار کم انجام می‌شود و به لکوموتیوران اجازه می‌دهد در مواجهه با هر وسیله نقلیه یا مانعی توقف کند. در خطوط اصلی و فرعی که توسط اینترلاکینگ یا مرکز کنترل، کنترل می‌شوند، قبل از اینکه اپراتور اجازه حرکت مانور را بدهد، هماهنگی شفاهی بین کارکنان مانور و اپراتور لازم است. این هماهنگی شفاهی نقش جدول زمانی برای حرکت قطار را دارد. مقررات سیر در بلاک در عملیات مانور اجرا نمی‌شود. واحدهای مانوری ممکن است وارد مسیرهای اشغال‌شده شوند. عملیات در خطوط صنعتی نیز به‌صورت عملیات مانور انجام می‌شود.

مجوز عملیات مانور به‌صورت زیر داده می‌شود:

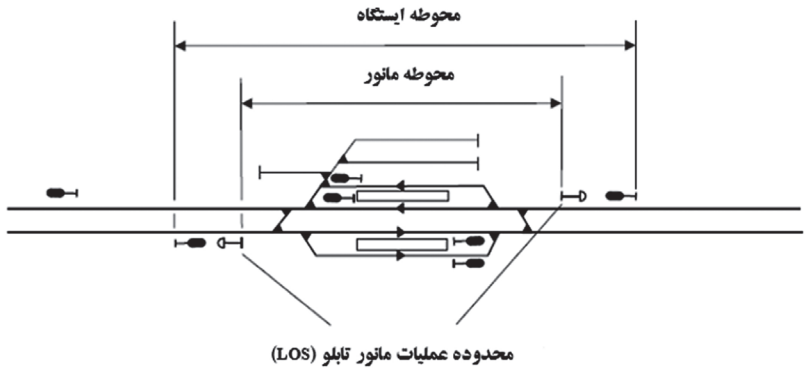
- علامت ادامه عملیات مانور توسط چراغ مانور، که می‌تواند با یک چراغ اصلی ترکیب شود تا عملیات مانور را برای عبور از چراغ اصلی قرمز، مجاز کند.
- مجوز شفاهی

در آمریکای شمالی، از اصطلاح مانور استفاده نمی‌شود. عملیات مانوری عملیات تغییر خط[۶۰] حرکت لکوموتیوهای مانوری[۶۱] نامیده می‌شود.

۵۹- Call-On
۶۰- switching movements
۶۱- Movements of yard engines

در عملیات مانور، راه‌آهن‌های مختلف محدودیت‌های متفاوتی را مطابق با تجربه عملیاتی خود تعیین می‌کنند.

در راه‌آهن‌های اروپایی، جدای از قوانین راه‌آهن مدرن بریتانیا، واحدهای مانوری نباید وارد بخش‌های خارج از محدوده چراغ ورودی محوطه ایستگاه شوند. همین قانون در بسیاری از خطوط راه‌آهن خارج از اروپا نیز اعمال می‌شود. ناحیه بین چراغ‌های ورودی دو طرف که برای مانور استفاده می‌شود نیز معمولاً با استفاده از تابلو محدوده مانور (LOS)[۶۲]، محدودتر می‌شود (شکل ۱-۱۳).



شکل ۱-۱۳. محدوده مانور در محوطه یک ایستگاه

فاصله بین چراغ ورودی و تابلو محدوده مانور LOS برابر است با طول همپوشانی چراغ ورودی. واحدهای مانوری فقط با مجوز کتبی اپراتور می‌توانند از تابلوهای محدوده مانور عبور کنند. قبل از صدور مجوز برای واحد مانوری برای عبور از تابلوی محدوده مانور، اپراتور باید مطمئن شود که قطاری به چراغ ورودی نزدیک نمی‌شود.

با توجه به اینکه در راه‌آهن راه‌آهن مدرن بریتانیا، تمایزی بین محدوده ایستگاه و خط آزاد (بلاک) وجود ندارد، لذا باید از ورود واحدهای مانوری به بخشی که در آن در برابر حرکات از روبرو محافظت نمی‌شوند، جلوگیری شود. اگر هیچ چراغ اصلی یا مانوری برای محدود کردن حرکت مانور وجود نداشته باشد، چراغ‌های محدودیت مانور در محل محدوده مانور قرار داده

۶۲- Lmit Of Shunt

می‌شوند. این چراغ‌های LOS، چراغ‌های مانور غیرفعال هستند و به‌طور دائم دارای نمای توقف (قرمز) می‌باشند.

بهره‌برداری از مسیر دوخطه

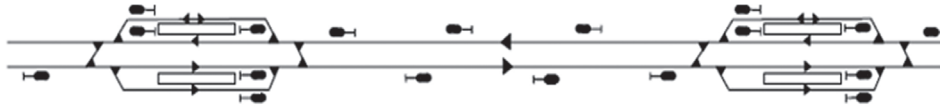
در بهره‌برداری از مسیر دوخطه، معمولاً برای هر خط جهت ترافیکی مشخصی تعیین می‌شود. درحالی‌که حرکت از خط سمت راست در سراسر جهان مرسوم‌تر است، تعداد قابل‌توجهی از کشورها نیز وجود دارند که حرکت در خط سمت چپ شکل استاندارد آن‌ها است. در خطوطی که مجهز به سیستم علائم دوطرفه برای کار در هر دو خط نیستند، تمام حرکات منظم قطار باید مطابق جهت عادی ترافیک انجام شود. در چنین خطوطی، برای حرکت در خلاف جهت عادی (که حرکت در خط اشتباه[۶۳] یا حرکات در بلاک نامتعارف[۶۴] نیز نامیده می‌شود) باید توسط دستورالعمل‌های ویژه‌ای و تحت مسئولیت کارکنان مجوز داده شود. در خطوطی که مجهز به سیستم علائم برای کار دوطرفه هستند، می‌توان با سبز کردن چراغ اصلی، سیر قطار در خلاف جهت عادی را مجاز کرد.

بسیاری از راه‌آهن‌ها چراغ‌های بلاک میانی را برای حرکت در جهت معکوس نصب نمی‌کنند، زیرا در بیشتر خطوط، حرکات در جهت معکوس اغلب انجام نمی‌شود. برای بهره‌برداری موقت از مسیر تک‌خطه در صورت بسته شدن خط دیگر، تقریباً جهت حرکت در تک‌خطه موجود بعد از هر قطار تغییر می‌کند؛ بنابراین، چراغ‌های بلاک میانی هیچ تأثیری بر ظرفیت ندارند. چراغ‌های بلاک میانی برای حرکات غیرمتعارف خلاف جهت عادی فقط در بخش‌هایی معنادارند که حرکت‌های موازی در هر دو خط به‌طور منظم انجام می‌شود.

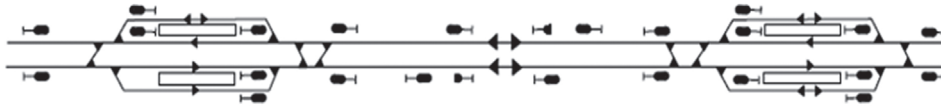
شکل (۱-۱۴) نمونه‌های متداول از چیدمان چراغ‌ها برای بهره‌برداری دوخطه را نشان می‌دهد. در بسیاری از راه‌آهن‌ها، فقط یک‌جهت عادی سیر در خارج از محوطه ایستگاه وجود دارد.

۶۳- wrong line moves
۶۴- reverse movements

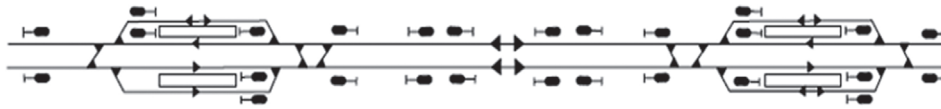
الف- عملیات در خطوط دو خطه با کار در یک جهت



ب- عملیات در خطوط دو خطه با کار در دو جهت بدون چراغ ها میانی برای حرکت در خلاف جهت نرمال



ج- عملیات در خطوط دو خطه با کار در دو جهت با چراغ ها میانی برای حرکت در خلاف جهت نرمال



شکل ۱-۱۴. چیدمان چراغ‌ها برای عملیات در خطوط دو خطه

فصل ۲

فاصله‌گذاری بین قطارها

فصل ۲

فاصله‌گذاری بین قطارها

ضریب اصطکاک استاتیک بین چرخ و ریل فولادی قطار به‌طور متوسط یک‌هشتم ضریب اصطکاک بین لاستیک و جاده است. درنتیجه، حداکثر نیروی ترمزی که می‌تواند بین چرخ و ریل برای یک وزن معین منتقل شود نیز یک‌هشتم جاده است. این امر منجر به طولانی شدن خط ترمز برای وسایل نقلیه ریلی می‌شود که به‌طور قابل‌توجهی از دامنه دید راننده بیشتر است؛ بنابراین، فاصله بین قطارها نمی‌تواند فقط بر اساس دامنه دید لکوموتیوران تنظیم شود، بلکه باید توسط فناوری‌های کنار خط نیز کنترل شود.

۲-۱: نظریه فاصله بین قطارها

سه روش علمی پایه برای فاصله بین قطارها وجود دارد:

- خط ترمز نسبی[۶۵]
- خط ترمز مطلق[۶۶]
- طول بلاک ثابت[۶۷]

خط ترمز نسبی

در حالت خط ترمز نسبی، فاصله بین دو قطار پشت سر هم برابر است با تفاوت بین طول خط ترمز قطارها به‌اضافه یک حاشیه ایمنی اضافی. برای محاسبه سرفاصله[۶۸] (سربه‌سر[۶۹]) بین دو

۶۵- Relative braking distance
۶۶- Absolute braking distance
۶۷- Fixed block distance
۶۸- headway
۶۹- Head-to-head

قطار متوالی، طول قطار اول نیز باید به این فاصله اضافه شود (شکل ۲-۱ الف). طول خط ترمز هر دو قطار یا باید طبق منحنی‌های ترمز با نرخ کاهش سرعت (شتاب منفی برابر) یکسان محاسبه شود، یا با اعمال این قانون که در صورت عملکرد بهتر ترمز قطار دوم، باید همیشه حاشیه ایمنی حداقلی بین این دو قطارها وجود داشته باشد.

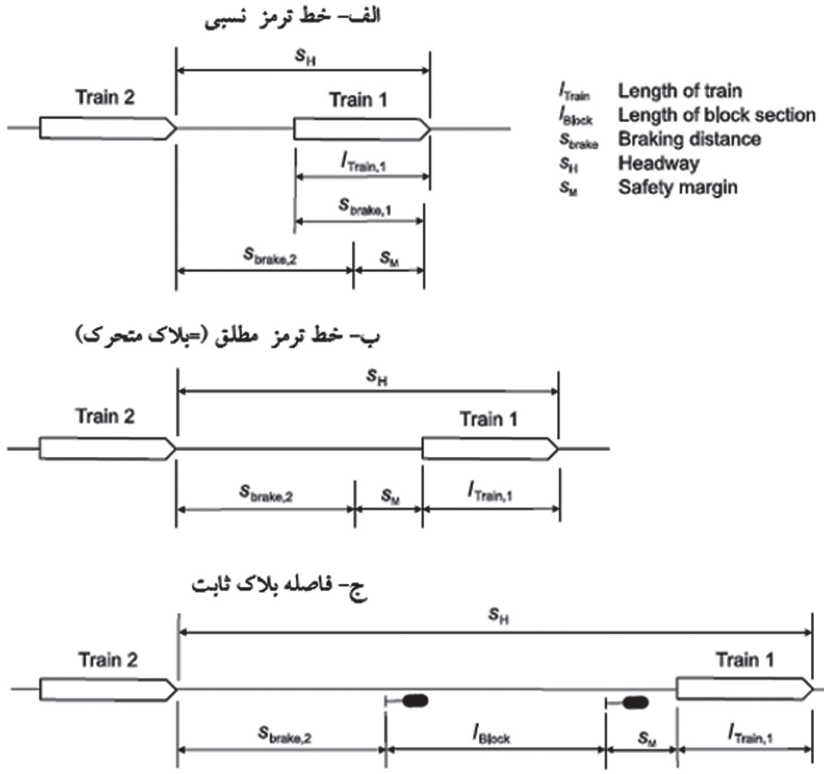
درحالی‌که خط ترمز نسبی منجر به ایجاد حداکثر ظرفیت خط می‌شود، ولی دو مشکل اساسی وجود دارد. اگر قرار باشد سوزن‌ها در فاصله بین دو قطار جابجا شوند، قطار دوم دیگر نمی‌تواند بافاصله ترمز نسبی در نظر گرفته شود، بلکه هنگام نزدیک شدن به سوزن‌ها باید با طول خط ترمز کامل در نظر گرفته شود تا سوزن‌ها زمان کافی برای اینکه به‌طور ایمن در موقعیت جدید قفل شوند داشته باشند. درنتیجه، هنگامی‌که قطارهای متوالی روی سوزن‌ها قرار باشد مسیرهای مختلفی را طی کنند ظرفیت خط توسط سوزن‌ها محدود می‌شود. مشکل دوم این است که در صورت سانحه برای قطار اول، قطار دوم امکان توقف به‌موقع ندارد و با قطار اول برخورد خواهد کرد. به همین دلایل، از این روش تاکنون برای فاصله بین قطارها استفاده‌نشده است، اما توسط برخی راه‌آهن‌های باری برای عملیات اتصال و انفصال لکوموتیوهای کمکی در حال سیر استفاده می‌شود.

خط ترمز مطلق

خط ترمز مطلق بین دو قطار متوالی عبارت است از خط ترمز قطار دوم به‌اضافه یک‌فاصله ایمنی اضافی. برای محاسبه حداقل سرفاصله، طول قطار اول نیز باید اضافه شود (شکل ۲-۱ ب).

فاصله بین قطارها با خط ترمز مطلق اغلب به‌عنوان بهترین روش برای جداسازی قطارها در نظر گرفته می‌شود. تنها مشکلی که تاکنون مانع از معرفی این روش در خارج از سیستم‌های حمل‌ونقل انبوه شده است، فقدان یک فناوری قابل‌استفاده در داخل کابین لکوموتیو برای بررسی کامل بودن قطار (یکپارچگی قطار) در قطارهای باری است که برای تعیین موقعیت ایمن انتهای قطار موردنیاز است. بااین‌حال، با توسعه بیشتر فناوری‌های عملیاتی مبتنی بر سیستم‌های رادیویی، فاصله‌گذاری بین قطارها با استفاده از خط ترمز مطلق پیش‌بینی

می‌شود به‌طور گسترده‌ای در آینده نزدیک مورد استفاده قرار گیرد. استفاده از خط ترمز مطلق به‌طورکلی به‌عنوان بلاک متحرک[۷۰] شناخته می‌شود.



شکل ۲-۱. روش‌های فاصله‌گذاری بین قطارها

طول بلاک ثابت

در یک سیستم بلاک ثابت، مسیر به تعدادی بلاک متوالی تقسیم می‌شود. یک بلاک به‌طور انحصاری تنها توسط یک قطار در یک‌زمان اشغال می‌شود. در این حالت، فاصله ایمن بین دو قطار متوالی برابر است با طول خط ترمز قطار دوم به‌اضافه طول بلاک به‌اضافه یک حاشیه ایمنی اضافی؛ بنابراین، سرفاصله قطارها برابر است با خط ترمز مطلق به‌اضافه طول بخش بلاک (شکل ۲-۱ج). بااین‌حال که حداقل سرفاصله در سیستم بلاک ثابت از حداقل سرفاصله

۷۰- Moving Block

در سیستم بلاک متحرک بیشتر است، اما اثر محدودکننده ظرفیت در حالت بلاک ثابت اغلب چندان قابل‌توجه نمی‌باشد.

درکنترل قطار توسط چراغ‌های کنار خط، محدوده بلاک توسط چراغ‌ها مشخص می‌شوند. امروزه سیر در طول بلاک ثابت رایج‌ترین روش جداسازی قطارها در سراسر جهان است.

۲-۲: روش‌های کنترل قطار

روش‌های مورداستفاده برای فاصله ایمن بین قطارها به معیارهای زیر بستگی دارد:

- نحوه انتقال مجوز سیر از خط به قطار
- نحوه آزاد شدن خط در پشت قطار

اگر مجوز سیر فقط در نقاط گسسته، به‌عنوان‌مثال، از طریق چراغ‌های کنار خط، منتقل شود این امر لزوماً به یک سیستم بلاک ثابت منجر می‌شود. هر مجوز سیری باید کل بخش را تا نقطه بعدی که در آن مجوز دیگری دریافت می‌شود پوشش دهد. در خطوطی که قطارها به‌طور پیوسته توسط سیستم علائم داخل کابین مدیریت می‌شوند، این محدودیت وجود ندارد. بااین‌حال، انتقال پیوسته مجوز سیر، نمی‌تواند معیار کافی برای لغو بلاک ثابت باشد. علاوه بر این، قطار باید مسیر را نه‌فقط در فواصل ثابت، بلکه به‌طور پیوسته آزاد کند. این امر مستلزم بررسی مداوم یکپارچگی قطار توسط تجهیزات داخل قطار است. ازآنجایی‌که در راه‌آهن‌های سنتی، هنوز راه‌حل مناسبی برای این مشکل پیدا نشده است، جداسازی قطارها توسط بلاک ثابت، هنوز هم روش استاندارد برای فاصله‌گذاری ایمن بین قطارها در بیشتر راه‌آهن‌های سراسر جهان است.

قبل از توضیح روش‌های مختلف فاصله‌گذاری قطارها، باید به یکی دیگر از ویژگی‌های ضروری اشاره کرد. خط ترمز قطار عمدتاً به وزن قطار بستگی ندارد بلکه به درصد وزنی که برای انتقال نیروی ترمز بین چرخ و ریل استفاده می‌شود بستگی دارد. قطارهایی با نسبت ترمز یکسان معمولاً مسافت ترمز یکسانی دارند. برای فاصله‌گذاری ایمن قطارها، قطار باید همیشه حداقل به‌اندازه خط ترمز خود، مسیر آزاد در پیش رو داشته باشد؛ بنابراین، ازنظر

استفاده بهینه از ظرفیت خط، اضافه کردن تعداد واگن‌ها در قطارها منطقی است. مجموعه وسایل نقلیه‌ای که یک قطار را تشکیل می‌دهند یک خط ترمز مشترک دارند. تشکیل قطار به میزان قابل‌توجهی ظرفیت مصرفی خط را کاهش می‌دهد. به همین دلیل است که راه‌اندازی قطارهای کامل به‌جای وسایل نقلیه ریلی تکی، یکی از ویژگی‌های اساسی یک سیستم راه‌آهن است.

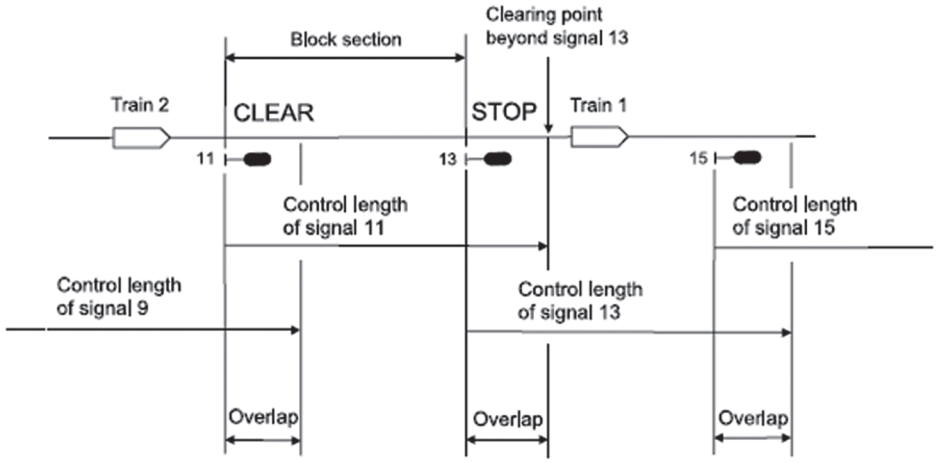
۲-۲-۱: کنترل قطار با چراغ‌های کنار خط

هدایت قطارها در بلاک ثابت

درحالی‌که با معرفی سیستم کنترل قطار مبتنی بر رادیو، راه‌آهن‌ها بیشتر و بیشتر به سمت علائم داخل کابین حرکت می‌کنند، ولی هنوز علائم کنار خط همچنان روش غالب در کنترل قطار است. حتی در بسیاری از خطوط جدید نیز از آن‌ها استفاده می‌شود. ازآنجایی‌که چراغ‌های کنار خط فقط می‌توانند مجوز حرکت را در فواصل ثابت انتقال دهند، بنابراین کنترل قطار توسط چراغ‌های کنار خط همیشه به بهره‌برداری با بلاک ثابت منجر می‌شود. به همین دلیل، مسیر به بلاک‌هایی که توسط چراغ‌ها محدودشده‌اند تقسیم می‌شود. برای آزاد (سبز) کردن چراغ قطاری که قرار است وارد بخش بلاک شود، شرایط زیر باید رعایت شده باشد (شکل ۲-۲):

- قطار قبلی باید بلاک را خالی کرده باشد.
- قطار قبلی باید قسمت همپوشانی بعد از چراغ بعدی را آزادکرده باشد (فقط در خطوطی که از همپوشانی بلاک استفاده می‌شود)
- قطار قبلی باید با چراغ توقف (قرمز) در پشت خود محافظت شود.

در خطوط با بهره‌برداری دوطرفه، قطار باید در برابر حرکات از جهت مخالف نیز محافظت شود.



شکل ۲-۲. طول قابل‌کنترل توسط چراغ‌ها در یک مسیر بلاک ثابت

مسافتی که یک چراغ کنترل می‌کند عبارت است از طول خط جلوی چراغ که باید ایمن و آزاد باشد تا بتوان آن چراغ را سبز کرد. هنگامی‌که از همپوشانی استفاده می‌شود، طول کنترلی از طول بلاک بیشتر می‌شود و با طول کنترلی چراغ بعدی همپوشانی دارد. هدف اصلی از همپوشانی، ایجاد ایمنی بیشتر در مواقعی است که قطار به دلیل کنترل نامناسب ترمز از چراغ‌قرمز به‌اندازه مسافت کوتاهی عبور کند. تا زمانی که کل طول کنترلی آزاد نشود، چراغ نباید سبز شود؛ بنابراین، نقطه آزادسازی جلوی یک چراغ برابر است با انتهای طول کنترلی چراغ عقبی. برخی از خطوط راه‌آهن از همپوشانی استفاده نمی‌کنند. در این حالت، طول کنترلی یک چراغ با طول بلاک برابر است.

نماهای چراغ کنار خط

چراغ‌های کنار خط اطلاعاتی را هم برای فاصله ایمن بین قطارها و هم برای هدایت قطارها از روی سوزن‌ها ارائه می‌دهند. با توجه به طبقه‌بندی نماهای چراغ‌ها، این سیستم‌ها را می‌توان به دو روش علائمی تقسیم کرد:

- علائم سرعت
- علائم مسیر

در سیستم علائم سرعت، چراغ‌ها سرعتی را که قطار نباید از آن تجاوز کند نشان می‌دهند. در سیستم علائم مسیر، چراغ‌های روبرو مسیری را که قطار به آن وارد می‌شود را نشان می‌دهند. در علائم مسیر، راننده باید محدودیت سرعت در مسیری را که قطار ممکن است از آن عبور کند را بداند. درحالی‌که سیستم‌ها از روش علائم سرعت پیروی می‌کنند، علائم مسیر نیز هنوز کاملاً رایج است، به‌ویژه در راه‌آهن‌هایی که ریشه در سیستم بریتانیا دارند.

در برخی از سیستم‌ها، اطلاعات سرعت یا مسیر بخشی از نمای چراغ بلاک است، به‌عنوان‌مثال، با استفاده از ترکیبی از رنگ‌های مختلف. سایر سیستم‌ها، به‌ویژه خطوط مدرن اروپایی، از نشانگرهای تکمیلی سرعت یا مسیر استفاده می‌کنند. در چنین سیستم‌هایی، چراغ بلاک فقط اطلاعات مربوط به اشغال بلاک‌های بعدی را می‌دهد؛ بنابراین نمای چراغ بلاک را می‌توان به شکل بسیار ساده طراحی کرد.

برای فاصله بین قطارها، بیشتر راه‌آهن‌ها از سه نمای اصلی استفاده می‌کنند که معمولاً با نماهای قرمز، زرد و سبز نمایش داده می‌شوند. به همین دلیل است که چنین سیستمی به‌عنوان علائم سه‌نما[۷۱] نیز شناخته می‌شود. ازآنجایی‌که نام‌های متفاوتی برای این نماها در کتاب‌های مقررات راه‌آهن‌های مختلف استفاده می‌شود، اصطلاحات عمومی که در جدول ۱ آمده است در این کتاب نیز استفاده می‌شود.

جدول ۱. مفاهیم چراغ‌های اصلی علائم

Stop	توقف	قطار در نزدیکی چراغ باید متوقف شود
Expect stop	احتمال توقف	قطار با احتیاط به مسیر خود ادامه می دهد و برای توقف در چراغ بعدی آماده می شود
Clear	آزاد	قطار می تواند ادامه سیر دهد

برای نشان دادن نزدیک شدن قطار، دو نوع علائم وجود دارد (شکل ۲-۳):

- علائم تک بلاکی
- علائم چند بلاکی

۷۱- Three-aspect signalling

در علائم تک بلاکی (شکل ۲-۳الف)، نمای چراغ اصلی فقط به وضعیت بلاک جلوی چراغ بستگی دارد. چراغ اصلی نمی‌تواند هیچ اطلاعاتی در مورد نزدیک شدن به چراغ بعدی ارائه دهد؛ بنابراین، هر چراغ اصلی باید یک چراغ اخباری[۷۲] داشته باشد که تنها هدف آن ارائه اطلاعات نمای چراغ اصلی بعدی است. چراغ اخباری در فاصله‌ای به‌اندازه خط ترمز و قبل از چراغ اصلی قرار می‌گیرد. در خطوط دارای بلاک‌های کوتاه که از خط ترمز خیلی طولانی‌تر نیستند، چراغ اخباری قبل از چراغ اصلی قرار می‌گیرد. در چنین سیستم‌هایی، چراغ اصلی و چراغ اخباری برای چراغ اصلی بعدی اغلب بالای یکدیگر و بر روی یک پایه نصب می‌شوند.

در علائم چند بلاکی، نمای چراغ اصلی به وضعیت دو یا چند بلاک بعدی بستگی دارد. در حال حاضر علائم دو بلاکی بسیار رایج است و در آن نمای نزدیک شدن توسط نمای چراغ اصلی عقب بدون نیاز به چراغ‌های اخباری جداگانه داده می‌شود (شکل ۲-۳ ب). ازآنجایی‌که علائم دو بلاکی از سه نمای اصلی چراغ مشابه علائم تک بلاکی استفاده می‌کند، هر دو روش در دسته علائم سه نما قرار می‌گیرند.

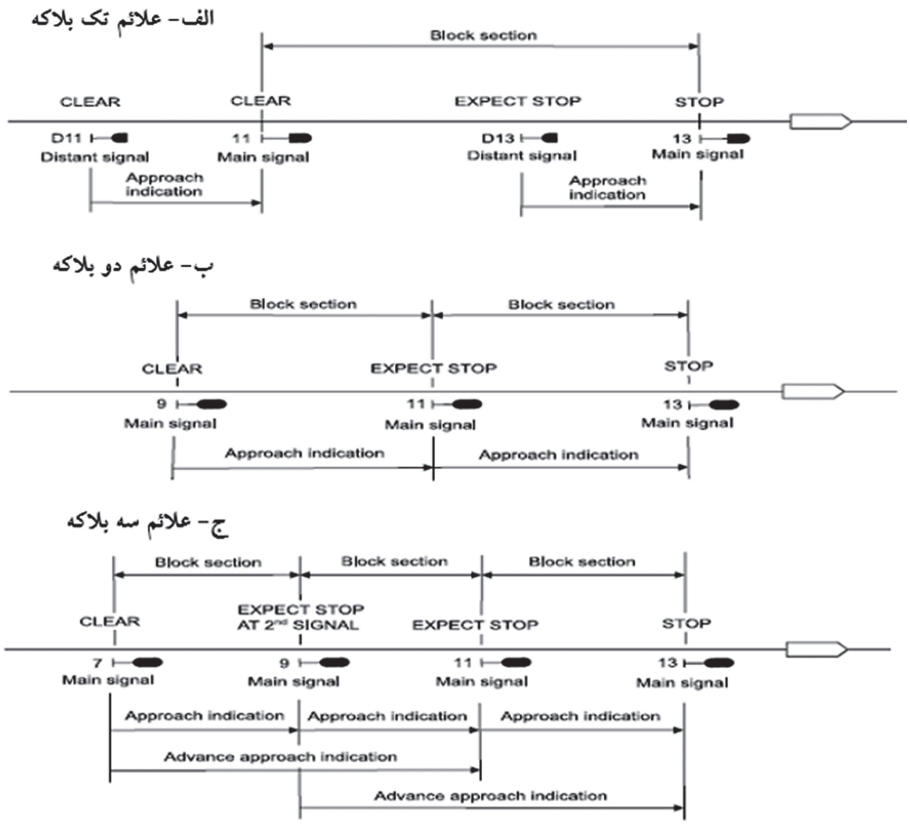
علائم چند بلاکی روش بسیار کارآمدی است، اما لازم است طول بلاک‌ها از خط ترمز خیلی بزرگ‌تر نباشند. در خطوط دارای بلاک‌های بسیار طولانی، علائم چند بلاکی مفید نیست، زیرا ارائه نمای اخباری خیلی زود، باعث افزایش سرفاصله قطارها و کاهش ظرفیت خط می‌شود. بسیاری از سیستم‌های علائم مدرن ممکن است از علائم یک بلاکی یا چند بلاکی بسته به طول واقعی بلاک استفاده نمایند.

برخی از راه‌آهن‌ها حتی از علائم سه بلاکی استفاده می‌کنند که در آن چراغ اصلی با استفاده از یک نمای اخباری پیشرو، اطلاعاتی را در مورد سه بلاک پیش رو ارائه می‌کند (شکل ۲-۳ ج). برای این کار، از نمای چراغ چهارم استفاده می‌شود که به لکوموتیوران می‌گوید آماده توقف در چراغ دوم پیش رو باشد. به همین دلیل به چنین سیستمی علائم چهارنما[۷۳] می‌گویند. در علائم سه بلاکی، خط ترمز ممکن است از طول بلاک بیشتر شود و برای بهبود ظرفیت چراغ‌ها را در فواصل کوتاه‌تر قرار دهند. در راه‌آهن‌هایی

۷۲- Distant signal
۷۳- four-aspect signalling

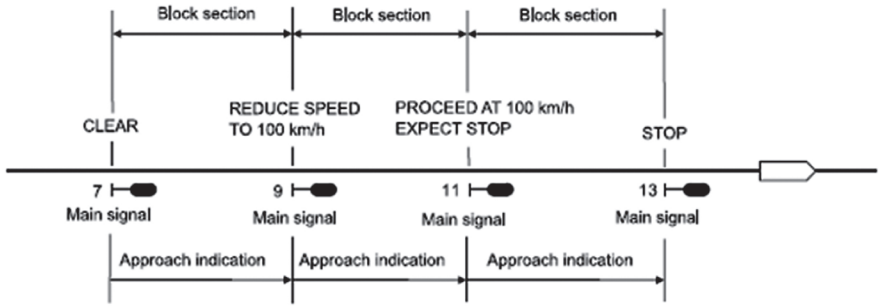
که از علائم سرعت استفاده می‌کنند، همین اثر را می‌توان با علائم سرعت تدریجی[۷۴] به دست آورد (شکل ۲-۴).

در علائم سرعت تدریجی، قطاری که به چراغ توقف نزدیک می‌شود، به‌تدریج و توسط نماهای قبلی سرعت آن کند می‌شود؛ بنابراین، حداکثر سرعت مجاز قطار در عبور از آخرین چراغ قبل از چراغ توقف، برای ترمزگیری ایمن در بلاک‌های کوتاه تضمین می‌شود. اگرچه از بیش از سه نمای چراغ استفاده می‌شود (بیشتر چهار نما و حتی در برخی از خطوط حتی بیشتر)، اما این روش فقط یک سیستم علائم دو بلاکی است زیرا اطلاعات نزدیک شدن فقط برای چراغ پیش رو داده می‌شود.



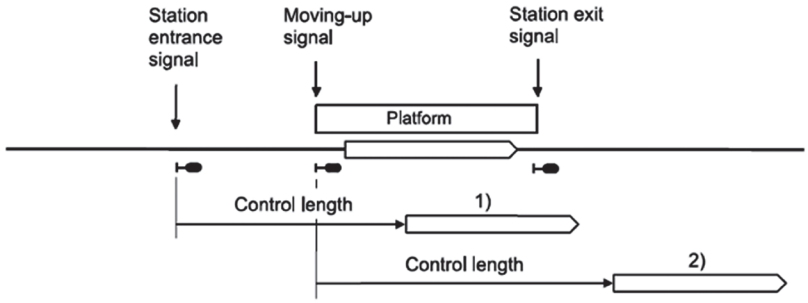
شکل ۲-۳. روش‌های مختلف کاربرد چراغ‌های علائم برای اعلام نزدیکی قطار

۷۴- progressive speed signalling



شکل ۲-۴. علائم مدیریت سرعت

یکی از کاربردهای بسیار متداول بلاک‌های کوتاه، چراغ‌های ادامه حرکت[۷۵] در ایستگاه‌های دارای سکو در راه‌آهن‌های حمل‌ونقل انبوه است (همچنین به‌عنوان چراغ‌های متوالی[۷۶] یا چندگانه شناخته می‌شوند). هدف از این چراغ‌ها صرفه‌جویی در زمان بین اعزام یک قطار و ورود قطار بعدی به همان خط سکو است. چراغ ادامه حرکت بعد از چراغ ورودی ایستگاه مستقیماً در سکو قرار می‌گیرد؛ بنابراین چراغ ورودی ایستگاه و چراغ ادامه حرکت یک بلاک بسیار کوتاه را تشکیل می‌دهند. مسافت کنترلی چراغ ورودی ایستگاه به نقطه آزادسازی در انتهای همپوشانی چراغ ادامه حرکت منتهی می‌شود (شکل ۲-۵).



۱- وضعیت قطار برای آزادسازی چراغ ورودی ایستگاه

۲- وضعیت قطار برای آزادسازی چراغ ادامه حرکت

شکل ۲-۵. چراغ ادامه حرکت

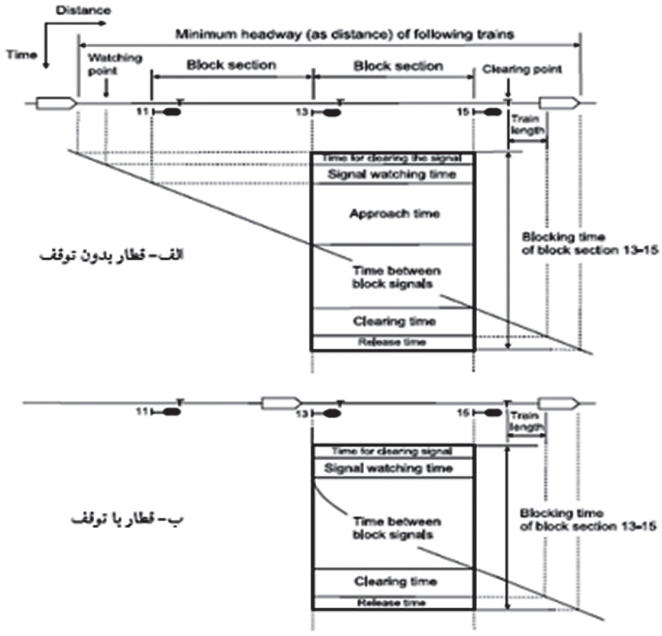
۷۵- moving-up signal چراغی که بین چراغ ورودی و سکو قرار می‌گیرد تا به قطار اجازه دهد از چراغ ورودی بگذرد درحالی‌که قطاری که در حال حرکت است هنوز قسمت سکو را کاملاً آزاد نکرده است.

۷۶- Staggered اصطلاح دیگری برای آرایش چراغ‌ها است که در آن یک چراغ ورودی با یک یا چند چراغ ادامه حرکت دنبال می‌شود.

در زمان توقف قطار در سکو، قطار توسط دو چراغ توقف محافظت می‌شود، زیرا طول کنترلی چراغ ورودی ایستگاه و چراغ ادامه حرکت را اشغال می‌کند. هنگامی‌که یک قطار در حال حرکت، طول کنترلی چراغ ورودی ایستگاه را آزاد کرد (موقعیت ۱ در شکل ۲-۵)، قطار بعدی ممکن است از قبل به سمت سکو حرکت کرده باشد، در این حالت قطار در حال حرکت هنوز توسط چراغ ادامه حرکت محافظت می‌شود. چراغ ادامه حرکت پس از خروج کامل قطار از بخش ایستگاه آزاد می‌شود (موقعیت ۲ در شکل ۲-۵). در ایستگاه‌های با ترافیک بسیار بالا، ممکن است چندین چراغ ادامه حرکت وجود داشته باشد (اما به‌سختی به بیش از چهار عدد می‌رسد). برخی راه‌آهن‌ها حتی چراغ‌های ادامه حرکت را در وسط سکو قرار می‌دهند.

مدل زمان اشغالی[۷۷]

برای عبور بدون تأخیر قطارها، قبل از اینکه قطار توسط نمای چراغ قبلی مجبور به ترمز گیری شود، باید چراغ روبرو سبز شود. حداقل سرفاصله بین دو قطار پشت سر هم به زمان اشغال بستگی دارد (Hansen & Pachl 2014, Pachl 2018).



شکل ۲-۶. زمان اشغال یک بلاک

۷۷- blocking time model

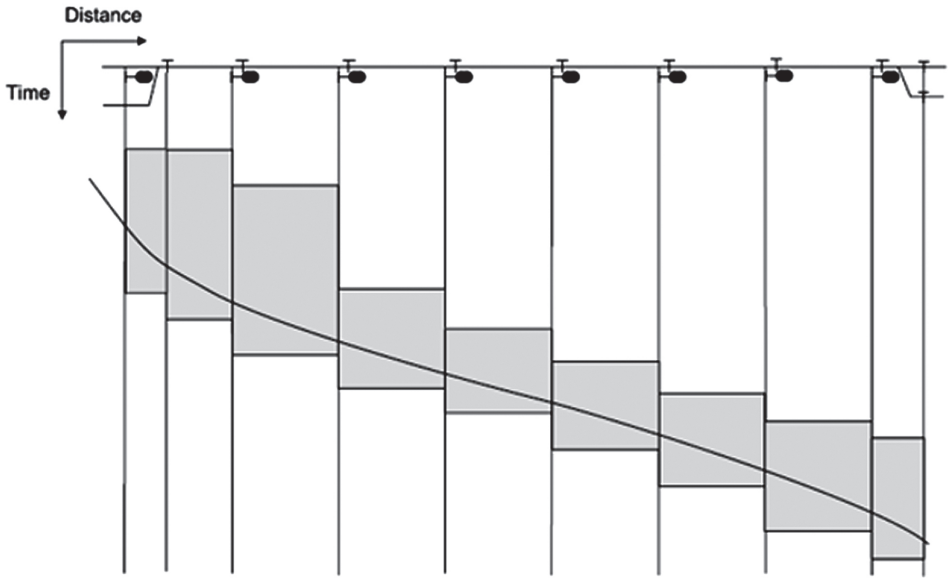
زمان اشغال (اصطلاح آلمانی "Sperrzeit") فاصله زمانی است که در آن یک بخش از خط (معمولاً یک بلاک) منحصراً به یک قطار اختصاص می‌یابد و بنابراین برای قطارهای دیگر مسدود می‌شود. زمان اشغال عبارت است از آخرین زمان ممکن برای صدور مجوز ورود به بخش با سبز کردن چراغ بدون تأخیر قطار تا زمانی که مجوز حرکت به قطار بعدی برای ورود به همان بخش صادر شود؛ بنابراین، زمان اشغال، پنجره زمانی را توصیف می‌کند که باید برای عبور بدون تأخیر یک قطار از یک بخش خط، آن بخش آزاد نگه‌داشته شود. اگرچه این زمان برای سیستم علائم کنار خط توضیح داده شد، ولی ایده مدل زمان اشغال عمومی است و می‌تواند برای سیستم‌های علائم داخل کابین و عملیات خودکار قطار[۷۸] نیز اعمال شود. همان‌طور که در بخش ۲-۲-۲ توضیح داده شد، حتی برای سیستم‌های بلاک متحرک نیز این روش مناسب است.

در عمل زمان اشغال یک بخش خط بسیار بیشتر از زمانی است که قطار آن بخش را اشغال می‌کند. در کنترل قطار با چراغ‌های کنار خط، برای قطار بدون توقف برنامه‌ریزی‌شده، زمان اشغال یک بلاک شامل فواصل زمانی زیر است (شکل ۲-۶):

- زمان سبز کردن چراغ
- زمان رؤیت چراغ، یعنی زمان مشخصی برای راننده برای رؤیت نمای سبز چراغ که نشانگر نزدیک شدن به چراغ در ورودی بلاک است (این چراغ می‌تواند چراغ بلاک در عقب یا یک چراغ اخباری جداگانه باشد)
- زمان سیر بین چراغ اخباری و چراغ ورودی بلاک
- زمان بین چراغ‌های بلاک
- زمان مورد نیاز برای آزادسازی کامل بخش بلاک و در صورت نیاز بخش همپوشانی
- زمان لازم برای «آزاد کردن» بخش بلاک

زمان نزدیک شدن زمانی است که چراغ باید قبل از قطار سبز شود تا از ترمز اجباری قطار در چراغ قبلی جلوگیری کند. اگر قطار دارای توقف برنامه‌ای در چراغ ورودی بلاک باشد، این زمان اعمال نمی‌شود. در چنین حالتی، زمان رؤیت چراغ برای آن چراغ در نظر گرفته می‌شود.

۷۸- automatic train operations

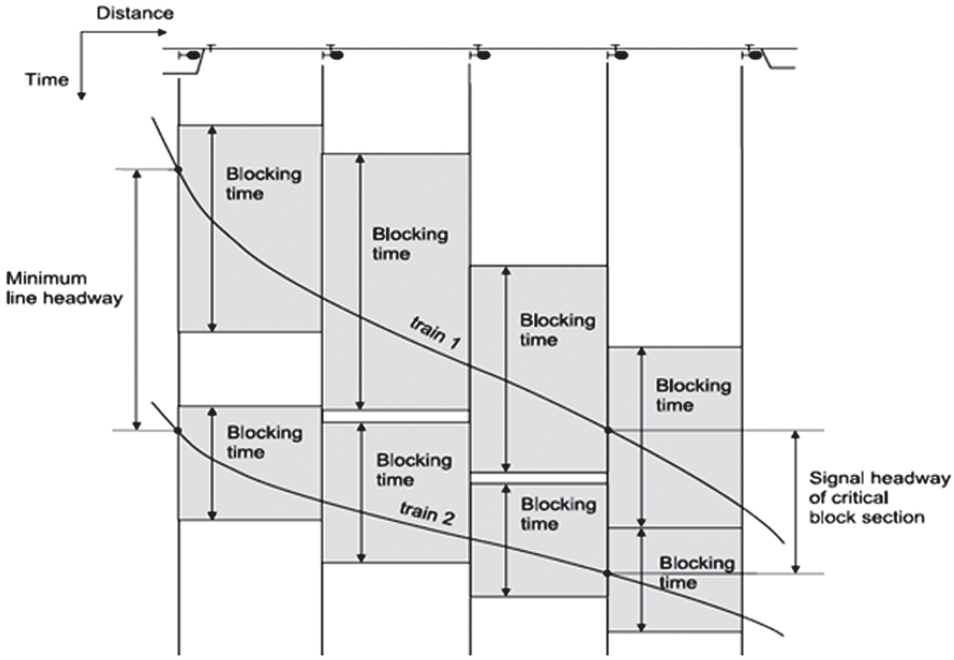


شکل ۲-۷. نردبان زمان اشغال

ترسیم زمان‌های اشغال تمام بلاک‌هایی که یک قطار در نمودار زمان-مسافت عبور می‌کند، منجر به نردبان زمان اشغال[۷۹] می‌شود (شکل ۲-۷). نردبان زمان اشغال کاملاً نشان‌دهنده استفاده عملیاتی از یک مسیر توسط یک قطار است. محاسبه پله‌های زمان اشغال توسط رایانه، یک ویژگی عمومی سیستم‌های برنامه‌ریزی پیشرفته برای ایجاد مسیرهای بدون تداخل قطار است.

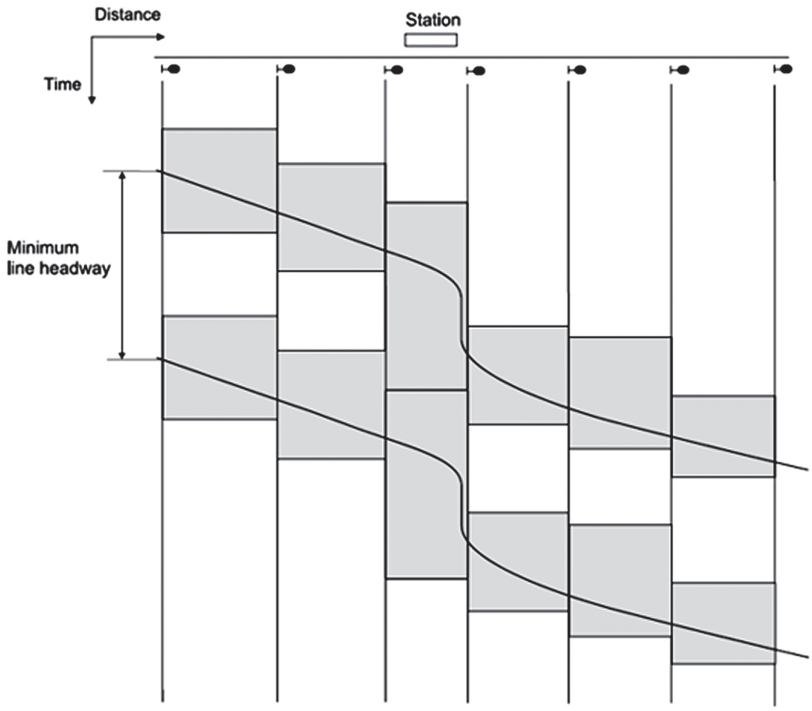
با استفاده از نمودار نردبانی زمان اشغال، می‌توان حداقل سرفاصله بین دو قطار را تعیین کرد. زمان اشغال مستقیماً سرفاصله چراغ را به‌عنوان حداقل فاصله زمانی بین دو قطار پشت سر هم در هر بلاک تعیین می‌کند. سرفاصله مسیر حداقل سرفاصله بین دو قطار است که نه‌تنها یک بخش بلاک را در نظر می‌گیرد، بلکه کل پله‌های زمان اشغال مسیر را در نظر می‌گیرد (شکل ۲-۸). در این حالت، پله‌های زمان اشغال دو قطار پشت سر هم بدون هیچ‌گونه روا داری حداقل در یک بخش بلاک (بلاک بحرانی[۸۰]) با یکدیگر تماس دارند.

۷۹- blocking time stairway
۸۰- Critical block section



شکل ۲-۸. سرفاصله چراغ و سرفاصله مسیر

در خطوط با ترافیک مختلط، حداقل سرفاصله مسیر به‌طور قابل‌توجهی به تفاوت سرعت بین قطارها بستگی دارد. در خطوطی که همه قطارها با سرعت کاملاً یکسانی حرکت می‌کنند (معمولاً در راه‌آهن‌های دارای حمل‌ونقل انبوه)، بلاک‌های بحرانی معمولاً بلاکی هستند که در آن زمان اشغال شامل زمان توقف در سکو می‌شود (ایستگاه‌ها، شکل ۲-۹). در چنین خطوطی، چراغ‌ها باید به‌گونه‌ای قرار داده شوند که زمان اشغال ایستگاه تا حد امکان کوتاه باشد.



شکل ۲-۹. پلکان زمان اشغال در یک راه‌آهن با حمل‌ونقل انبوه

مدل منطقه حفاظت‌شده

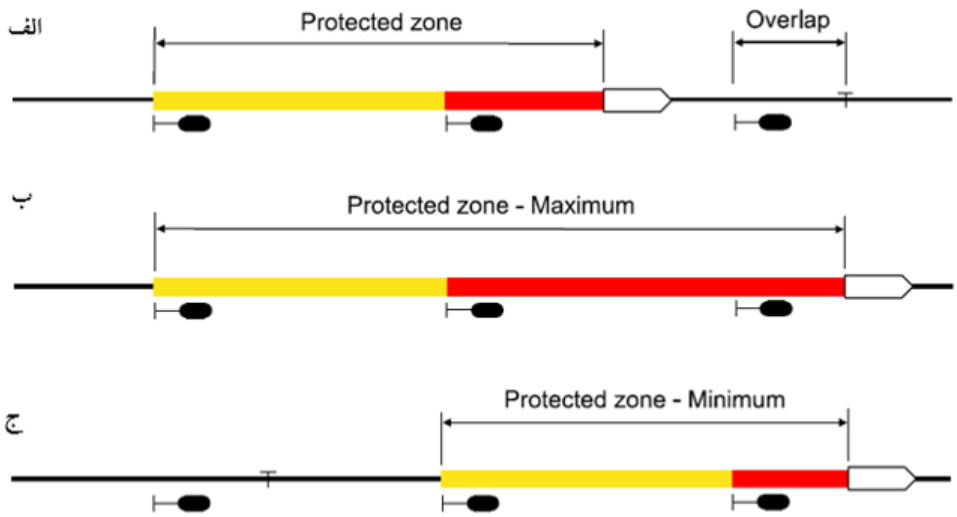
مدل منطقه حفاظت‌شده[۸۱] یک رویکرد جایگزین برای مدل‌سازی اثر سیستم علائم روی فاصله قطارها است. اصطلاح «مدل منطقه حفاظت‌شده « برای اولین بار در (Pachl, 2018) استفاده شد. ایده اصلی این است که سیستم علائم در پشت هر قطار منطقه خاصی را برای محافظت از آن قطار در برابر قطارهای بعدی تأمین می‌کند. منطقه حفاظت‌شده را می‌توان به دو قسمت تقسیم کرد (شکل ۲-۱۰ الف). بخش اول، شامل حفاظت مطلق است که با رنگ قرمز مشخص‌شده است. این بخش شامل تمام بخش‌های مسیر است که قطار حفاظت‌شده دارای مجوز انحصاری برای اشغال است.

این منطقه توسط یک چراغ توقف محافظت می‌شود. بخش دوم، بخشی است که در آن قطارهای دیگر مجبور به کاهش سرعت می‌شوند تا از ورود آن‌ها به بخش حفاظت مطلق

۸۱- The protected zone model

جلوگیری شود. این منطقه با اولین چراغ محدودکننده‌ای که قطار بعدی با آن مواجه می‌شود شروع می‌شود. در نمودار، این قسمت با رنگ زرد مشخص‌شده است. زمانی که قطار می‌خواهد یک بخش بلاک را آزاد کند، منطقه حفاظت‌شده به بیشترین طول خود می‌رسد (شکل ۲-۱۰ب). پس‌ازاینکه قطار بلاک را آزادکرد، منطقه حفاظت‌شده کوتاه‌ترین طول خود را دارد و دوباره شروع به رشد می‌کند (شکل ۲-۱۰ ج).

تغییر از وضعیت شکل (۲-۱۰ ب) به وضعیت شکل (۲-۱۰ج) نشان‌دهنده یک «پله « در نمودار پله‌ای زمان اشغال است. اگرچه ترسیم نقشه مناطق حفاظت‌شده با در نظر گرفتن زمان‌های اضافی برای عملکرد و رؤیت چراغ‌ها در طول مسیر حرکت قطار منجر به تصویری شبیه به پلکان زمان اشغال می‌شود، ولی یک نقص اساسی در اینجا وجود دارد.



شکل ۲-۱۰. مدل منطقه حفاظت‌شده

ازآنجایی‌که زمان نزدیک شدن در ابتدا اضافه نمی‌شود، بلکه در پایان اشغال بلاک اضافه می‌شود، مدل منطقه حفاظت‌شده نمی‌تواند سیستم‌های علائم داخل کابین را که در آن خط ترمز به سرعت واقعی قطار بستگی دارد، کنترل کند. در چنین سیستم‌هایی، قطار فقط می‌تواند خط ترمز خود را محاسبه کند، اما نمی‌تواند خط ترمز قطار بعدی را محاسبه کند.

۲-۲-۲: کنترل قطار با علائم داخل کابین

در علائم داخل کابین، مجوز سیر مستقیماً روی میز راننده نمایش داده می‌شود. در بیشتر راه‌آهن‌هایی که از علائم داخل کابین استفاده می‌کنند، سیستم با یک سیستم حفاظت خودکار قطار (ATP)[۸۲] پیوسته ترکیب می‌شود تا داده‌های کنترلی علائم داخل کابین را فراهم کند. اگرچه علائم داخل کابین به بخش زیربنایی اجازه می‌دهد تا چراغ‌های کنار خط را به‌طور کامل حذف کند، اما علائم داخل کابین ممکن است به‌عنوان یک سیستم تکمیلی در خطوط مجهز به چراغ‌های کنار خط نیز استفاده شود، بنابراین قطارها ممکن است توسط علائم داخل کابین یا چراغ‌های کنار خط کنترل شوند. برای جلوگیری از سردرگمی راننده، اکثر راه‌آهن‌ها این قانون را وضع کرده‌اند که در چنین خطوطی، نمای چراغ‌های داخل کابین همیشه بر چراغ‌های کنار خط اولویت دارد.

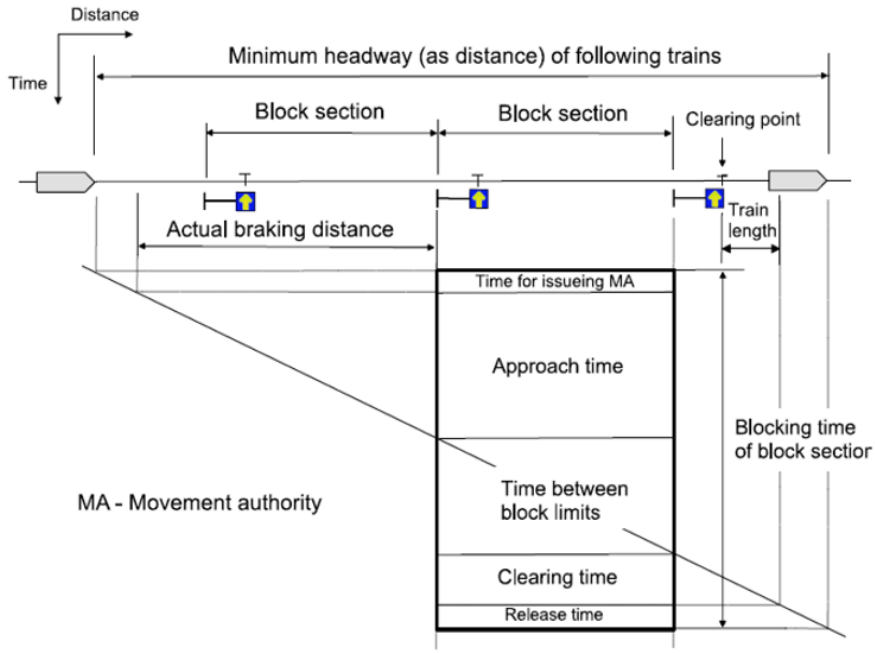
در برخی راه‌آهن‌ها، سیستم‌های علائم داخل کابین قدیمی وجود دارند که فقط به‌عنوان سیستم‌های کمکی کار می‌کنند. در چنین خطوطی، قطارها همچنان توسط چراغ‌های کنار خط کنترل می‌شوند و نمای چراغ‌های داخل کابین، راننده را در تشخیص نماهای کنار خط پشتیبانی می‌کند.

علائم داخل کابین در بلاک‌های ثابت

دلیل اصلی وجود بلاک‌های ثابت در خطوط با علائم داخل کابین، نیاز به بررسی کامل بودن قطار توسط فناوری تشخیص آزادی خط است. این مورد برای تمام خطوطی است که دارای ترافیک باری هستند، زیرا هنوز راه‌حل مناسبی برای تشخیص کامل بودن (یکپارچگی) قطارهای باری وجود ندارد. به‌عنوان یک فناوری تائید شده، از این سیستم در بسیاری از خطوط صرفاً مسافربری نیز استفاده می‌شود. در خطوط دارای علائم داخل کابین و فاقد چراغ‌های کنار خط، اکثر راه‌آهن‌ها از تابلوهای نشانگر بلاک برای علامت‌گذاری محدوده‌ای از بلاک که باید سرعت کاهش یابد استفاده می‌کنند.

۸۲- Automatic Train Protection

گاهی اوقات، در خطوط صرفاً مسافری با علائم داخل کابین نیز از بلاک‌های ثابت استفاده می‌شود که در آن صورت یکپارچگی قطار از داخل قطار بررسی می‌شود و فناوری تشخیص آزادی خط وجود ندارد. این روش بلاک مجازی[۸۳] نامیده می‌شود، زیرا در سیستم کنترل، بلاک‌ها فقط به‌صورت مجازی و بدون هیچ‌گونه نصب میدانی در طول خط وجود دارند. دلیل وجود بلاک‌های مجازی به‌جای بلاک متحرک، کاهش میزان انتقال داده توسط سیستم رادیویی است. برخلاف سیستم بلاک متحرک که در آن به‌روزرسانی مستمر مجوز سیر مستلزم انتقال داده در فواصل زمانی بسیار کوتاه است، مجوز سیر یک سیستم بلاک مجازی تنها پس‌ازاینکه قطار جلویی یک بلاک را آزادکند به‌روزرسانی می‌شود. این کار به‌طور قابل‌توجهی انتقال داده از خط به قطار را کاهش می‌دهد. در بلاک مجازی، اگر ظرفیت خط نیاز به بهبود داشته باشد، می‌توان به‌راحتی طول بلاک را در سیستم کنترل بدون تغییری در محوطه کاهش داد.



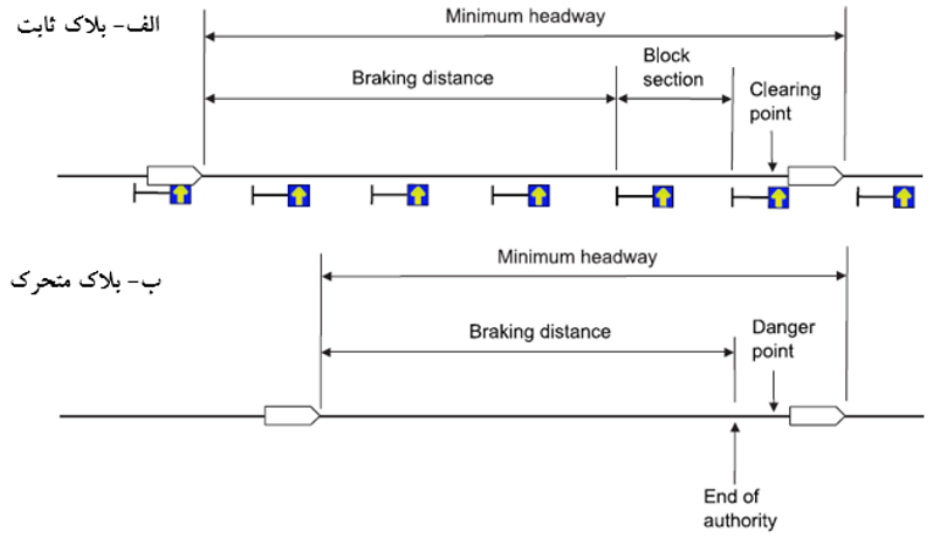
شکل ۲-۱۱. زمان اشغال یک بلاک در مسیر با علائم داخل کابین

۸۳- virtual block

تفاوت اصلی علائم داخل کابین با بلاک ثابت با یک سیستم بلاک ثابت با چراغ‌های کنار خط، استقلال از فاصله چراغ اخباری کنار خط است که عبارت است از فاصله بین چراغ ورودی بلاک و چراغ قبلی که نمای نزدیک شدن را فراهم می‌کند. زمان نزدیک شدن بیشتر از زمان سیر بین این دو چراغ نیست، اما زمان سیر در فاصله خط ترمز واقعی بر اساس منحنی‌های نظارتی سیستم علائم داخل کابین است. همچنین، به دلیل عدم وجود چراغ‌های کنار خط، دیگر نیازی به زمان رؤیت چراغ برای مشاهده یک نمای چراغ در یک مکان خاص نیست. سایر عناصر زمان اشغال با یک سیستم با چراغ‌های کنار خط تفاوتی ندارند (شکل ۲-۱۱).

علائم داخل کابین با بلاک متحرک

بلاک متحرک بر اساس خط ترمز مطلق عمل می‌کند. ازآنجایی‌که بلاک‌های ثابت حذف می‌شوند، مسیر در پشت انتهای یک قطار در حال حرکت به‌طور مداوم آزاد می‌شود. در سیستم بلاک متحرک علاوه بر تشخیص مستمر مکان قطار و یکپارچگی قطار، به‌روزرسانی مداوم مجوز سیر نیز الزامی است. شکل (۲-۱۲) اثر بلاک متحرک روی حداقل سرفاصله را در مقایسه با سیستم علائم داخل کابین با بلاک ثابت نشان می‌دهد.



شکل ۲-۱۲. سرفاصله در علائم داخل کابین برای بلاک ثابت و بلاک متحرک

امروزه بلاک متحرک تنها در برخی از سیستم‌های حمل‌ونقل استفاده می‌شود. یکی از دلایلی که علاقه راه‌آهن‌های معمول به بلاک متحرک نسبتاً محدود است این است که میزان افزایش بالقوه ظرفیت خطوط با بلاک متحرک اغلب غیرواقعی و بیش‌ازحد ارزیابی می‌شود. در یک خط با بلاک متحرک، طول بلاک‌ها به صفر کاهش می‌یابد. این بدان معنی است که زمان سیر بلاک در نمودار زمان اشغال حذف می‌شود ولی تمام اجزای دیگر زمان اشغال را می‌توان در بلاک متحرک نیز یافت. در بیشتر خطوط، مجموع این اجزای دیگر بسیار بیشتر از زمان اشغالی است که می‌توان با بلاک متحرک آن را حذف کرد. به همین دلیل است که در مقایسه با عملکرد بلاک ثابت با بلاک‌های کوتاه، بلاک متحرک فقط منجر به بهبود متوسطی در ظرفیت می‌شود. در خطوط با ترافیک ترکیبی و قطارهای با سرعت‌های متفاوت، بهبود احتمالی در مقایسه با سیستم با بلاک‌های ثابت کوتاه، تقریباً ناچیز است. همین امر برای خطوط تک‌خطه با بهره‌برداری دوطرفه نیز صادق است. به همین دلیل بسیاری از راه‌آهن‌ها به علت پیشرفت‌های اخیر در علائم داخل کابین مبتنی بر سیستم رادیویی، روش بلاک مجازی را به بلاک متحرک ترجیح می‌دهند.

۲-۳: روش‌های کنترل بلاک

برای اطمینان از فاصله ایمن بین قطارها، رویه‌های کنترلی باید اطمینان حاصل کنند که مجوز سیر برای ورود به یک بخش از خط نباید صادر شود، مگر اینکه دو شرط اساسی زیر وجود داشته باشد:

- مسیر تا محدوده‌ای که مجوز داده‌شده آزاد است و انتهای آخرین قطار جلویی با آن حد محافظت می‌شود.
- تمام حرکات در جهت غیرمتعارف همان مسیر به‌طور ایمن قفل‌شده‌اند.

اگرچه این الزامات اساسی ایمنی هم در سیستم‌های بلاک ثابت و هم در سیستم‌های بلاک متحرک معتبر هستند، ولی راه‌حل‌های برآورده کردن این الزامات متفاوت است.

۲-۳-۱: کنترل بلاک از طریق ارتباط کلامی

در خطوط انشعابی که سرعت سیر و حجم ترافیک بسیار کم است، سیر قطار می‌تواند فقط با قوانین بهره‌برداری تحت مسئولیت کارکنان محافظت شود. این کار بر اساس ارتباط کلامی از طریق رادیو (بیسیم) یا تلفن انجام می‌شود. برای این کار دو اصل وجود دارد:

- عملیات توسط مأمور اعزام[۸۴] (دیسپچر) کنترل شود.
- قطار توسط اپراتورهای محلی کنترل شود.

امروزه اکثر این نوع خطوط، دارای نوعی کنترل توسط مأمور اعزام هستند. مأمور اعزام اپراتوری است که مسئول کنترل قطار در یک قطعه خط طولانی است. مأمور اعزام از طریق بیسیم با مأمورین قطار در ارتباط است. در این خطوط سوزن‌ها به‌صورت دستی توسط مأمورین قطار مدیریت می‌شوند. مأمورین قطار ورود به ایستگاه‌ها یا مکان‌های خاص را به مأمور اعزام گزارش می‌دهند و همه حرکات توسط مأمور اعزام به‌صورت دستی بر روی برگه کاغذی قطار یا با واردکردن آن‌ها در یک سیستم رایانه‌ای ثبت و پیگیری می‌شود. مجوزهای حرکت صادرشده توسط مأمور اعزام نیز به‌صورت شفاهی از طریق بیسیم مخابره و به‌صورت دستی ثبت می‌شوند. هنگامی‌که از یک رایانه استفاده می‌شود، موقعیت قطار و مجوزهای سیر روی صفحه رایانه به تصویر کشیده می‌شود. بااین‌حال، این سیستم کنترل فقط یک سیستم آفلاین است که توسط داده‌هایی که به‌صورت دستی توسط مأمور اعزام وارد می‌شود کنترل می‌شود. در خطوط با تراکم ترافیک بالاتر، ممکن است از یک سیستم علائم ساده برای پوشش ایمنی استفاده شود. در چنین سیستمی، چراغ‌های خودکار بلاک که توسط مدارهای خط[۸۵] کنترل می‌شوند، محافظت از بخش‌های اشغال‌شده خط را به عهده دارند. ازآنجایی‌که هیچ چراغ کنترل‌شده‌ای وجود ندارد، مجوز سیر هنوز باید به‌صورت شفاهی توسط مأمور اعزام صادر شود. این روش اغلب در آمریکای شمالی استفاده می‌شود، چراکه ترافیک کم در بسیاری از خطوط، نصب یک سیستم کنترل از راه دور را توجیه نمی‌کند.

۸۴- dispatcher
۸۵- Track circuits

اگرچه امروزه ارتباط شفاهی کمتر مورداستفاده قرار می‌گیرد، ولی کنترل قطار از طریق ارتباط شفاهی توسط اپراتورهای محلی هنوز هم در برخی از خطوط راه‌آهن رایج است. در چنین خطوطی، تمام ایستگاه‌هایی که محدوده یک بلاک را مشخص می‌کنند باید دارای کارکنان محلی باشند. اپراتورهای محلی از طریق تلفن و ارسال پیام‌های کنترلی به قطارهای ورودی و خروجی از بلاک و کنترل جهت برای محافظت از حرکات مخالف باهم در ارتباط هستند. پیام‌های مبادله شده و حرکات قطارها به‌صورت دستی ثبت می‌شوند. در این حالت مجوزهای سیر معمولاً توسط چراغ‌های کنار خط که توسط اپراتورهای محلی کنترل می‌شوند صادر می‌شوند. در شرایط بسیار ساده، ایستگاه فقط به چراغ‌های ورود مجهز است. سپس، مجوز خروج از ایستگاه به بخش بعدی خط به‌صورت شفاهی یا با علامت دست یا پرچم داده می‌شود.

در سیستم‌های قدیمی بریتانیا، بلاک‌ها توسط ابزارهای بلاک و ارتباط آن‌ها با کدهای صدای زنگ محافظت می‌شوند. اپراتورهای محلی اعزام، قبول و خروج قطارها را با کدهای صدای زنگ گزارش می‌دهند. این روش با ابزارهای بلاک برای نشان دادن وضعیت بلاک تکمیل می‌شود. در ورودی و خروجی بلاک ابزارهای همکاری وجود دارد که فقط از سمت خروجی قابل کار هستند. این ابزارها وسایل کاملاً ارتباطی هستند که با چراغ‌ها در هم قفل نمی‌شوند؛ بنابراین، اصول کار بسیار شبیه به یک سیستم مبتنی بر ارتباطات کلامی است. ارتباطات تلفنی با کدهای صدای زنگ و نشانگرهای بلاک جایگزین شده است؛ بنابراین، این سیستم هنوز به‌عنوان یک سیستم بلاک که با چراغ‌ها به معنایی که در پاراگراف بعدی آمده است قفل نیست. این نوع محافظت از بلاک، در خطوط جدید دیگر استفاده نمی‌شود.

۲-۳-۲: سیستم‌های بلاک برای عملیات بلاک ثابت

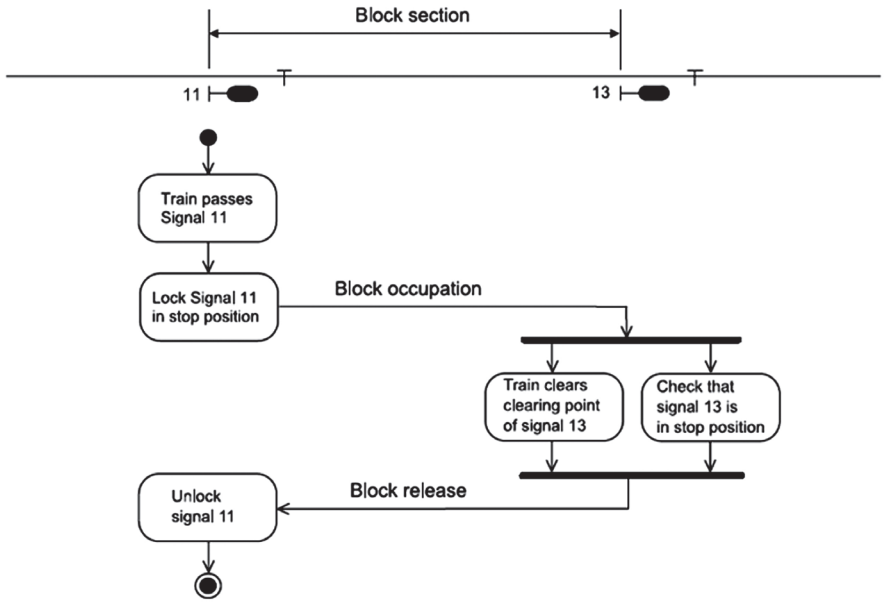
در بهره‌برداری از خطوط اصلی، ضوابط و مقررات بلاک ثابت توسط سیستم‌های بلاک اعمال می‌شوند. این سیستم‌ها چراغ‌ها را در موقعیت توقف (قرمز) قفل می‌کنند و تا زمانی که ورود قطار به بخش بلاک ایمن نباشد این چراغ‌ها به‌صورت توقف باقی می‌مانند. ازآنجایی‌که

سیستم‌های بلاک فقط برای اجرای عملیات بلاک ثابت در بخش‌هایی از خط که بین ایستگاه‌ها قرار دارند مورداستفاده قرار می‌گیرند، اغلب به‌عنوان سیستم‌های بلاک مسیر[۸۶] شناخته می‌شوند (UIC، 2012؛ Theeg & Vlasenko، 2020). در خطوط ایستگاه بین چراغ‌های متوالی تحت کنترل اینترلاکینگ، عملیات بلاک ثابت توسط سیستم بلاک اعمال نمی‌شود، بلکه توسط سیستم اینترلاکینگ هنگام تنظیم مسیرها از چراغی به چراغ دیگر اعمال می‌شود. این بخش در فصل ۳ توضیح داده خواهد شد. به این دلیل است که در بسیاری از راه‌آهن‌ها، خطوط ایستگاه بین چراغ‌های متوالی تحت کنترل اینترلاکینگ به‌عنوان بخش‌های بلاک شناخته نمی‌شوند.

اصول کار بلاک

برای محافظت از قطاری که وارد بلاک شده است در برابر قطارهای بعدی، چراغ ورودی آن بلاک در حالت توقف (قرمز) قفل می‌شود. این چراغ می‌تواند یک چراغ کنار خط باشد یا فقط یک محدودکننده بلاک (معمولاً با تابلوی نشانگر بلاک مشخص می‌شود) که در این حالت قطار نباید بدون مجوز علائم داخل کابین حرکت کند. اگرچند خط همگرا به یک بلاک منتهی شوند، عدم ورود به بلاک برای همه چراغ‌های منتهی به آن بلاک اعمال می‌شود. پس‌ازاینکه قطار به‌طور کامل از بلاک شامل همپوشانی (در صورت نیاز به همپوشانی) خارج شد و توسط یک چراغ توقف محافظت شد، بلاک آزاد می‌شود. اکنون، چراغ ورودی بلاک می‌تواند برای قطار بعدی پاک (سبز) شود (شکل ۲-۱۳).

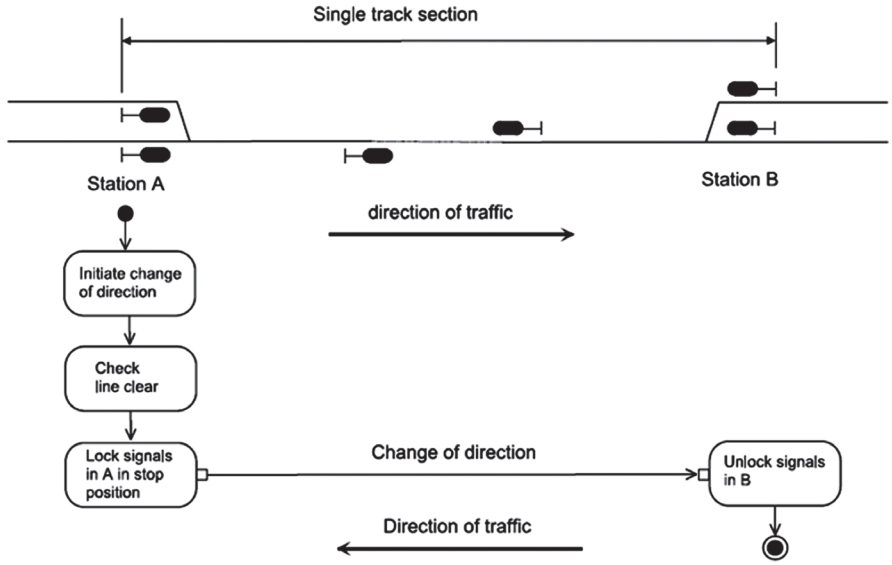
۸۶- line block systems



شکل ۲-۱۳. حفاظت از بلاک برای قطارهای متوالی

اگر مسیر فقط از یک بلاک تشکیل‌شده باشد، حرکت‌های مخالف را می‌توان به‌راحتی با قفل‌کردن همه چراغ‌های در جهت مخالف در موقعیت توقف قبل از اینکه چراغی برای ورود به بخش سبز شود، قفل کرد. در یک مسیر طولانی‌تر که از چندین بلاک تشکیل‌شده است، حرکات مخالف با اعمال قفل جهت[۸۷] محافظت می‌شوند. چراغ ورود به چنین قطعه‌ای از مسیر تنها پس از قفل شدن کل بخش در جهت موردنظر می‌تواند پاک شود. قفل جهت تمام چراغ‌های جهت مخالف را تا زمانی که حداقل یک قطار در مسیر وجود داشته باشد در وضعیت توقف نگه می‌دارد.

۸۷- Direction locking



شکل ۲-۱۴. قفل جهت با موقعیت عادی غیرمتقارن

در برخی از سیستم‌ها، قفل جهت پس از آزادسازی کامل بخش از قطارها آزاد می‌شود. در چنین سیستمی، قفل جهت مجدداً برقرار می‌شود تا قطار بعدی در همان جهت وارد بخش تک‌خطه شود؛ بنابراین، در حالت عادی هیچ جهتی آزاد نمی‌شود. این سیستم به‌عنوان یک سیستم بلاک با موقعیت نرمال متقارن[۸۸] شناخته می‌شود. در سیستم‌های دیگر، قفل جهت حتی پس از خروج آخرین قطار از بخش تک‌خطه نیز به قوت خود باقی می‌ماند. تنها زمانی که قطاری قرار است از سمت مقابل وارد بلاک شود، قفل به جهت دیگر تغییر می‌کند. سپس، جهت جدید قفل می‌شود تا زمانی که تغییر جهت دیگری لازم باشد. این سیستم به‌عنوان یک سیستم بلاک با موقعیت نرمال غیرمتقارن[۸۹] شناخته می‌شود (شکل ۲-۱۴).

اگر قفل جهت با سیستم موقعیت نرمال غیرمتقارن در مسیری که نواحی کنترل اپراتورهای مختلف را به هم متصل می‌کند استفاده شود، دو روش برای کنترل تغییر جهت وجود دارد:

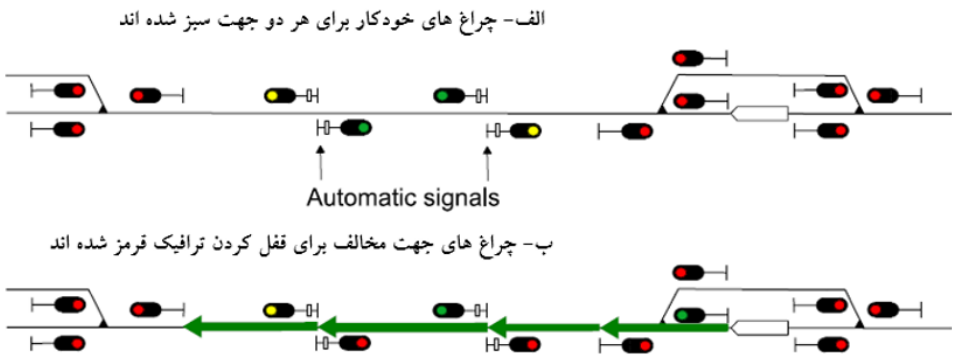
- تغییر جهت توسط ایستگاهی که در حال حاضر جهت را نگه می‌دارد آغاز شود.
- تغییر جهت توسط ایستگاهی که جهت را درخواست می‌کند آغاز شود.

۸۸- block system with symmetrical normal position
۸۹- block system with non-symmetrical normal position

اگر تغییر جهت توسط ایستگاهی که در حال حاضر جهت را نگه می‌دارد آغاز شود، باید رویه‌ای برای پیشنهاد (احضار) و قبول قطار بین دو اپراتور ایجاد شود. در غیر این صورت، اپراتور دریافت‌کننده قطار از لزوم شروع تغییر جهت آگاه نخواهد شد. اگر تغییر جهت توسط ایستگاهی که جهت را درخواست می‌کند آغاز شود، اپراتوری که جهت را درخواست می‌کند به علامتی بر روی رابط کنترل خود نیاز دارد تا متوجه شود تغییر جهت در حال حاضر امکان‌پذیر است و توسط چراغ سبز شده در ایستگاه مقابل مسدود نشده است. در غیر این صورت و در صورت عدم موفقیت درخواست جهت، اپراتور علت را متوجه نمی‌شود. لزوماً رویه‌ای برای احضار و قبول قطار موردنیاز نیست، اما گاهی اوقات برای جلوگیری از ناسازگاری‌ها در کنترل ترافیک، بهتر است از چنین رویه‌ای استفاده می‌شود.

یک روش جایگزین برای محافظت از حرکات در جهت مخالف، قفل‌کردن ترافیک است که راه‌حلی استاندارد در آمریکای شمالی است (Aubertin, 2018). در آنجا، چراغ‌های خودکار در بخش‌های خطوط دوطرفه بین نواحی تحت کنترل اینترلاکینگ در حالت عادی برای هر دو جهت سبز می‌شوند. هنگامی‌که یک چراغ تحت کنترل اینترلاکینگ برای خروج از ناحیه تحت کنترل اینترلاکینگ سبز می‌شود، همه چراغ‌های خودکار مخالف تا ناحیه اینترلاکینگ بعدی «پایین می‌افتند[۹۰]»، یعنی به حالت توقف درمی‌آیند. روال «پایین افتادن» از یک بخش به بخش دیگر منتقل می‌شود تا زمانی که کل جهت مسدود شود. سپس، دیگر امکان سبز کردن چراغ کنترل‌شده در جهت مخالف در ناحیه تحت کنترل اینترلاکینگ مجاور وجود ندارد (شکل ۲-۱۵).

۹۰- Tumbled down



شکل ۲-۱۵. روش‌های قفل کردن ترافیک

سیستم بلاک دستی

در سیستم بلاک دستی، بلاک‌ها مجهز به سیستم تشخیص آزادی خط پیوسته نیستند. چراغ‌های محافظت از بلاک به‌صورت دستی توسط اپراتورهای محلی کنترل می‌شوند. ایستگاه‌ها مجهز به تجهیزات بلاک الکتریکی که توسط یک خط بلاک به هم متصل شده‌اند هستند. پس‌ازاینکه قطار وارد بلاک شد، اپراتور در ورودی بلاک چراغ را به حالت توقف درآورده و از تجهیزات بلاک برای قفل‌کردن چراغ در موقعیت توقف استفاده می‌کند. یک ابزار هم‌کنشی[۹۱] در سمت خروجی بلاک، اپراتور بعدی را از نزدیک شدن قطار، مطلع می‌کند. اگر اپراتور ورودی بلاک نتواند از ابزار بلاک استفاده کند، یک قفل چرخشی چراغ را در موقعیت توقف قفل می‌کند تا زمانی که توسط ابزار بلاک به‌درستی قفل شود. هنگامی‌که قطار از بلاک خارج شد، اپراتور سمت خروجی کامل بودن قطار را با دیدن علامت انتهای قطار بررسی می‌کند، چراغ را به حالت توقف بازمی‌گرداند و ابزار بلاک را برای آزادسازی بلاک به کار می‌گیرد. این کار ابزار بلاک را در ورودی بلاک آزاد می‌کند، به‌طوری‌که چراغ ورودی دیگر در وضعیت توقف قفل نباشد. برای جلوگیری از آزادکردن تصادفی بلاک توسط اپراتور درزمانی که قطار هنوز از بلاک خارج نشده است، یک قفل الکتریکی از عملکرد ابزار بلاک در سمت خروجی جلوگیری می‌کند تا زمانی که قطار از مدارخط کوتاهی بعد از چراغ عبور کند؛

۹۱- coacting

بنابراین، این ابزار بلاک هم‌کنشی دقیقاً مطابق با چرخه بلاک همان‌طور که در شکل (۲-۱۳) نشان داده‌شده است، کار می‌کند.

در خطوط با عملکرد دوطرفه، قفل جهت نیز می‌تواند در دو طرف بخش تک‌خطه تحت تأثیر ابزار هم‌کنشی بلاک قرار گیرد. در ایستگاهی که جهت را نگه نمی‌دارد، چراغ‌هایی که خلاف جهت قفل‌شده را نشان می‌دهند، توسط یک ابزار بلاک در موقعیت توقف قفل می‌شوند. برای تغییر جهت، اپراتور ایستگاهی که در حال حاضر جهت را نگه می‌دارد، ابزار بلاک را به‌کار می‌گیرد تا چراغ‌ها را در موقعیت توقف قفل کند و ابزار بلاک را در ایستگاه مقابل آزاد می‌کند. امتداد خط بین دو ایستگاه ممکن است شامل چندین بلاک باشد. برای تغییر جهت، بررسی می‌شود تا تمام ابزارهای بلاک در بلاک‌های میانی در وضعیت عادی قرار داشته باشند. این فرایند با اصل نشان داده‌شده در شکل (۲-۱۴) مطابقت دارد.

امروزه اکثر سیستم‌های بلاک دستی به‌عنوان سیستم‌های بلاک نیمه‌خودکار[۹۲] کار می‌کنند و به‌جای ابزارهای بلاک از مدارهای رله‌ای استفاده می‌کنند. در یک سیستم بلاک نیمه‌خودکار، قفل‌کردن بلاک پس از ورود قطار به بخش بلاک به‌طور خودکار انجام می‌شود. بااین‌حال، پس از خروج قطار از بلاک، باید بلاک به‌صورت دستی توسط اپراتور آزاد شود. در مراکز کنترل مدرن، سیستم بلاک نیمه‌خودکار اغلب به‌عنوان رابط خطوطی که هنوز مجهز به فناوری قدیمی هستند استفاده می‌شوند.

سیستم‌های بلاک دستی که در بالا توضیح داده شد به‌عنوان بلاک بدون شناسه یا توکن لس[۹۳] نیز شناخته می‌شوند. راه‌حل دیگر برای محافظت از بلاک‌های تک‌خطه، بلاک توکن است. این روش هنوز هم در اغلب راه‌آهن‌های بر مبنای سیستم بریتانیایی استفاده می‌شود. در ساده‌ترین شکل خود، هر بخش خط دارای یک شناسه فیزیکی است (به‌عنوان‌مثال، یک کارمند، کلید یا برگه). فقط اپراتور شناسه دار مجاز است به قطارها اجازه ورود به مسیر را بدهد. برای تغییر جهت مجاز، توکن به راننده قطار داده می‌شود تا آن را به ایستگاه مقابل برساند.

۹۲- semi-automatic block systems
۹۳- tokenless

توسعه این سیستم‌ها منجر به سیستم‌های بلاک با توکن الکتریکی شده است. در چنین سیستم‌هایی، ایستگاه‌های کنترل مجهز به ابزارهای توکنی هستند که به‌طور الکتریکی به یکدیگر متصل هستند. تعداد مشخصی از توکن به هر بخش از خط اختصاص داده می‌شود. هر قطار برای ورود به بخش باید یک توکن دریافت کند. تا زمانی که تعداد کل توکن های نگهداری شده در ابزارهای ارتباطی با تعداد توکن های تعیین‌شده برای بلاک برابر باشد، می‌توان یک توکن را از یکی از دو ابزار آزاد کرد. پس از برداشتن یک توکن، تمام توکن های دیگر در هر دو ابزار قفل می‌شوند. هنگامی‌که اپراتور ایستگاه کنترل مقابل، توکن را به ابزار توکن در آنجا برگرداند، هر دو ابزار مجدداً آزاد می‌شوند. پس‌ازآن، می‌توان توکن دیگری برای اجازه دادن به قطار برای ورود به بخش برداشته شود. ازآنجایی‌که تنها یک توکن می‌تواند در هر زمان آزاد شود، ایجاد بلاک میانی در این سیستم امکان‌پذیر نیست.

اگرچه این سیستم دارای فناوری قدیمی است اما کنترل‌های بلاک توکن در مراکز کنترل مدرن هنوز یافت می‌شود و بین بلاک توکن و منطقه کنترلی ارتباط برقرار است. ازآنجایی‌که دیگر به هیچ پرسنل محلی نیاز نیست، ابزار توکن از راه دور و از مرکز کنترل آزاد می‌شود و توسط راهبران قطار مدیریت می‌شود. یک سیستم توسعه‌یافته جدیدی به نام بلاک توکن دیجیتال[۹۴] (DiBloc) نیز وجود دارد. این سیستم مانند یک سیستم بلاک توکن سنتی عمل می‌کند، اما دیگر با ابزارهای توکن و با یک خط بلاک الکتریکی متصل نمی‌شود، بلکه از طریق اینترنت یا رادیو دیجیتال به هم متصل می‌شوند. این روش راه‌حلی بسیار مقرون‌به‌صرفه برای خطوط انشعابی با ترافیک کم است.

سیستم بلاک خودکار

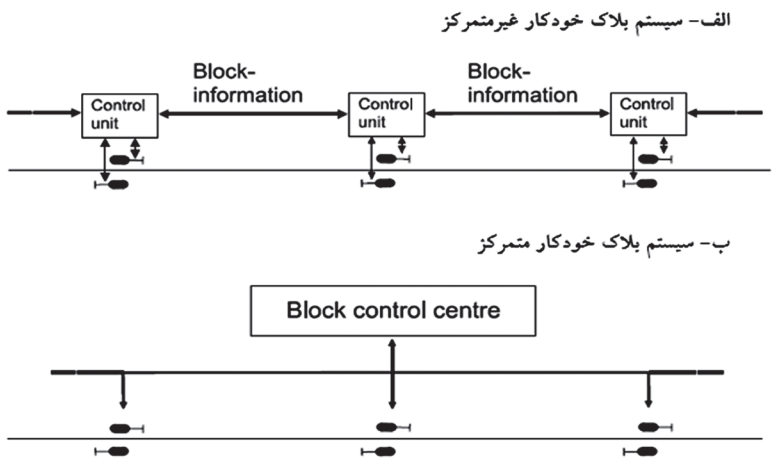
در یک سیستم بلاک خودکار[۹۵]، بخش‌های بلاک مجهز به تشخیص خودکار آزادی خط هستند تا چراغ‌ها را به‌طور خودکار فعال کنند. چراغ خودکار تنها در صورتی آزاد می‌شود که کل طول ناحیه تحت‌کنترل تا نقطه آزادسازی بعد از چراغ بعدی آزادگردد و قطار جلویی با چراغ توقف پشت آن محافظت شود. برای آزادسازی یک بلاک، قطار نه‌تنها باید بلاک را آزادکرده باشد و در صورت

۹۴- Digital Token Block
۹۵- automatic block system

لزوم، همپوشانی را رد کرده باشد، بلکه باید چراغ بعدی را نیز قرمز کرده باشد. این شرایط تائید می‌کند که قطار به‌سلامت از بلاک عبور کرده است؛ بنابراین، کارکرد ایمن بلاک تنها به تشخیص آزادی خط بستگی ندارد، بلکه باید چرخه بلاک نشان داده‌شده در شکل (۲-۱۳) کامل گردد.

این امر باعث بهبود ایمنی سیستم‌های بلاک خودکار مبتنی بر مدارخط می‌شود. اگر درحالی‌که قطار هنوز از بلاک خارج نشده است اشغال بلاک به دلیل عملکرد نادرست مدار خط ناپدید شود، (به‌عنوان‌مثال، اگر مقداری خاک روی ریل‌ها ریخته شده باشد)، بلاک آزاد نمی‌شود. همچنین اگر قطار از بلاک خارج‌شده باشد اما به دلیل نقص در مدار خط بعدی، چراغ را در سمت خروجی بلاک به حالت توقف بازنگرداند، بلاک آزاد نمی‌شود. برای سیستم بلاک خودکاری که با محورشمار کار می‌کند، این روال ایمنی به‌طور خودکار اجرا می‌شود، زیرا اشغال خط هرگز بدون عبور قطار از نقطه شمارش نمی‌تواند ناپدید شود. عبور از نقطه شمارش نیز به‌صورت ایمن چراغ را به نمای توقف برمی‌گرداند. با توجه به روش‌های کنترلی، سیستم‌های بلاک خودکار را می‌توان به دودسته تقسیم کرد (شکل ۲-۱۶):

- سیستم‌های بلاک خودکار غیرمتمرکز[۹۶]
- سیستم‌های بلاک خودکار متمرکز[۹۷]



شکل ۲-۱۶. سیستم‌های بلاک خودکار غیرمتمرکز و متمرکز

۹۶- Decentralised automatic block systems
۹۷- Centralised automatic block systems

در سیستم بلاک خودکار غیرمتمرکز، دستگاه‌های کنترل در کابینت‌های در محوطه در درون چراغ‌های بلاک قرار می‌گیرند. این کابینت‌های چراغ بلاک اطلاعات کنترل بلاک را یا توسط یک خط بلاک الکتریکی یا از طریق مدارخط‌های کدگذاری شده مبادله می‌کنند. پس از خروج قطار از بلاک، چراغ ورودی آن بخش بلافاصله سبز می‌شود؛ بنابراین، در حالت عادی، چراغ‌های بلاک خودکار درصورتی‌که با قفلِ جهت نمای آن‌ها توقف نشده باشد، بدون توجه به اینکه قطار نزدیک شود یا نه سبز می‌شوند. در خطوط دوطرفه که حرکات مخالف با قفلِ جهت محافظت می‌شوند، تمام چراغ‌هایی که خلاف جهت قفل‌شده‌اند در موقعیت توقف قفل می‌شوند. هنگامی‌که یک تغییر جهتی شروع شود، تمام چراغ‌ها به حالت توقف برمی‌گردند. پس از قفل شدن جهت جدید، تمام چراغ‌هایی که به این جهت اشاره می‌کنند سبز می‌شوند. در خطوط دوطرفه‌ای که حرکات مخالف با قفلِ ترافیک محافظت می‌شوند، چراغ‌های خودکار هر دو جهت در حالت عادی سبز می‌شوند و فقط برای محافظت از حرکت مخالف "می‌افتند[۹۸]" (قرمز می‌شوند).

در یک سیستم بلاک خودکار متمرکز، کنترل بلاک بخشی از سیستم کنترل متمرکزی است که محدوده تحت کنترل اینترلاکینگ را نیز کنترل می‌کند. به‌جای تبادل اطلاعات کنترل بلاک، بلاک‌های متمرکز مانند مسیرهای یک سیستم تحت‌کنترل اینترلاکینگ رفتار می‌کنند (به فصل ۳ مراجعه کنید). بااین‌حال، این مسیرهای بلاک[۹۹] هیچ سوزن یا بخش متحرک زیربنایی را قفل نمی‌کنند. آن‌ها فقط بخشی از منطق کنترل بلاک هستند. قبل از اینکه چراغ ورودی یک بلاک متمرکز سبز شود، بلاک باید قفل شود. بعدازاینکه قطار از چراغ عبور کرد، در حالت توقف قفل می‌شود تا زمانی که قطار بلاک را آزاد کند. با قفل‌کردن بلاک از سمت ورودی و آزاد کردن آن از سمت خروجی، منطق کنترلی آن نیز با اصل چرخه بلاک نشان داده‌شده در شکل (۲-۱۳) مطابقت می‌کند.

در حالت عادی، تمام بلاک‌های متمرکز آزاد می‌شوند. درنتیجه، تمام چراغ‌های بلاک خودکار در یک مسیر بلاک خودکار متمرکز در موقعیت توقف هستند. با سبز کردن یک چراغ

۹۸- tumbled down
۹۹- block routes

کنترلی برای ورود به مسیر بلاک خودکار، اولین بلاک قفل می‌شود. آن بلاک، بلاک بعدی را قفل می‌کند و الی‌آخر؛ بنابراین، تمام چراغ‌های بلاک خودکار قبل از قطار سبز می‌شوند. در خطوط دوطرفه، حرکات مخالف با قفلِ جهت محافظت می‌شوند. فقط زمانی می‌توان جهت را تغییر داد که تمام بلاک‌های میانی آزاد شوند.

بسته به قوانین راه‌آهن‌ها، همپوشانی بلاک‌ها ممکن است در چراغ‌های بلاک خودکار در نظر گرفته شود. اگر از همپوشانی بلاک در خطوط بلاک خودکار استفاده شود، سه روش مختلف برای حفاظت از همپوشانی وجود دارد (شکل ۲-۱۷):

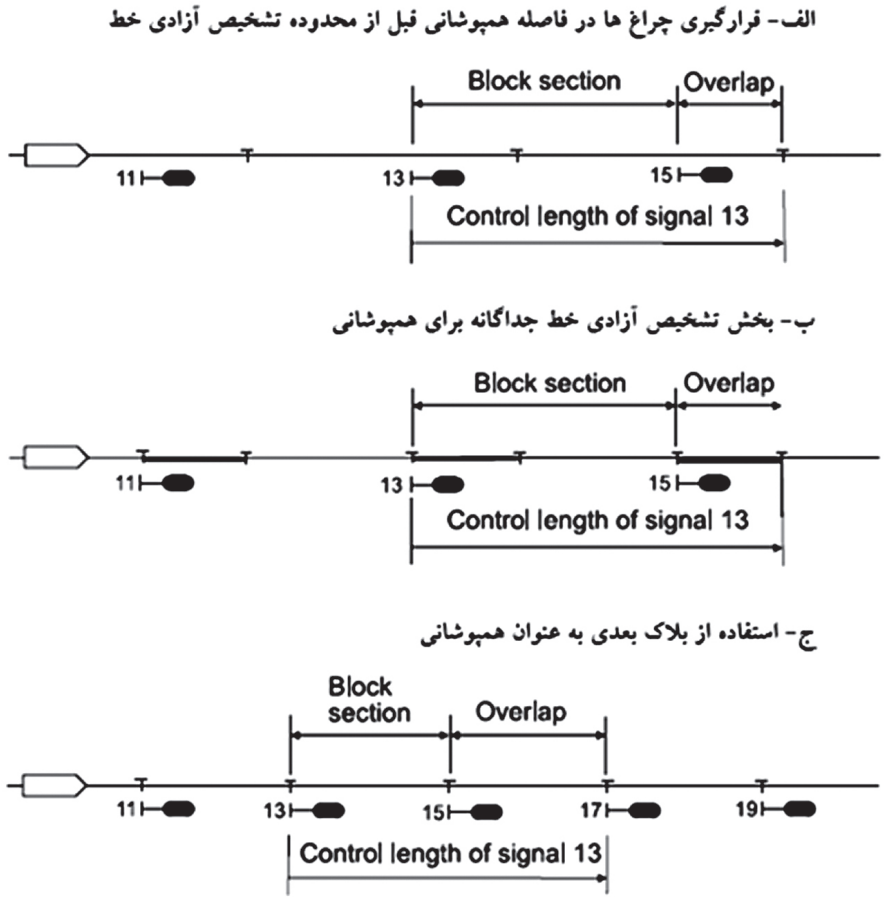
- قرار دادن چراغ‌ها در ابتدای همپوشانی و قبل از محدوده تشخیص آزادی خط
- جداکردن بخش تشخیص آزادی خط برای همپوشانی
- استفاده از بلاک بعدی به‌عنوان همپوشانی

قرار دادن چراغ‌ها در ابتدای همپوشانی قبل از محدوده تشخیص آزادی خط، ساده‌ترین راه‌حل است. بااین‌حال، در چنین سیستمی، همپوشانی بعد از چراغ توسط آن چراغ کنترل نمی‌شود، بلکه توسط چراغ در ورودی بلاک کنترل می‌شود. اگر قطاری منفصل و وسایل نقلیه را در همپوشانی جاگذاشته باشد، وسایل نقلیه گم‌شده توسط چراغ ورودی بخش بلاک محافظت می‌شود، درحالی‌که چراغ در سمت خروجی بلاک ممکن است سبز شود و از همپوشانی اشغال‌شده محافظت نمی‌کند. هنگامی‌که قطاری مجاز به عبور بااحتیاط از بلاک باشد، ممکن است این امر به یک مشکل ایمنی در عملیات حالت تقلیل یافته[۱۰۰] (با حکم احتیاط) تبدیل شود. در این حالت، ممکن است راننده با یک چراغ سبز در همپوشانی اشغال‌شده مواجه شود. برای مدیریت ایمن چنین شرایطی، برخی از راه‌آهن‌ها این قانون را وضع کردند که قطاری که مجوز دارد از یک بلاک با حکم احتیاط و رؤیت[۱۰۱] عبور کند، پس از عبور از چراغ سبز در انتهای بلاک باید برای یک‌فاصله مشخصی بعد از چراغ نیز باحالت احتیاط ادامه دهد. البته اگر همپوشانی دارای بخش تشخیص آزادی خط جداگانه باشد، این کار ضروری نیست. در این صورت، هر اشغال همپوشانی همیشه چراغ را به حالت توقف برمی‌گرداند.

۱۰۰- degraded mode

۱۰۱- Proceed On Sight Authority: مجوزی است برای زمانی که نمای چراغ اصلی قرمزاست و دو چراغ فرعی سفید چشمک‌زن هستند تا به راننده هشدار دهند که فقط تا آنجایی که می‌توان خط را واضح دید بااحتیاط حرکت کند.

در خطوط با بلاک‌های بسیار کوتاه، کل یک بلاک می‌تواند به‌عنوان همپوشانی استفاده شود. این روش به‌طور گسترده‌ای در راه‌آهن‌های با حمل‌ونقل انبوه استفاده می‌شود.



شکل ۲-۱۷. همپوشانی‌های مختلف برای مسیرهای با بلاک خودکار

مدیریت خرابی‌های سیستم بلاک

در صورت خرابی سیستم بلاک دستی، عملیات به صورت با حکم احتیاط و بر اساس ارتباط کلامی بین اپراتورهای محلی خواهد بود. هنگامی‌که قطاری از یک بلاک خارج می‌شود، اپراتور سمت خروجی بلاک، باید آزادی بلاک را به اپراتور سمت ورودی گزارش دهد. سپس، اپراتور ورودی بلاک می‌تواند به قطار بعدی اجازه دهد تا از چراغ بلاک عبور کند و اعزام

قطار را به اپراتور در سمت خروجی گزارش دهد. در خطوط با عملکرد دوطرفه، اپراتورهای ایستگاه‌های ابتدا و انتها باید برای محافظت از حرکات در جهت مخالف، تک‌تک قطارها را احضار و قبول نمایند. همه پیام‌های ردوبدل شده نیز باید به‌صورت دستی ثبت شوند. قبل از اینکه قطار مجاز به ورود به مسیر دوطرفه شود، اپراتور باید سوابق قطارها را بررسی کند تا آخرین قطار اعزامی بلاک را آزادکرده باشد و هیچ قطار مخالفی پذیرفته‌نشده باشد.

در مسیرهای بلاک خودکار، این روش به دلیل عدم وجود اپراتورهای محلی امکان‌پذیر نیست. در چنین سیستمی برای عملیات با حکم احتیاط، دو روش متفاوت توسط راه‌آهن‌ها استفاده می‌شود:

- مسیرهای بلاک خودکار با بلاک مطلق
- مسیرهای بلاک خودکار با مجوز

در خطوط بلاک خودکار با بلاک مطلق، نمای توقف در چراغ‌های بلاک خودکار مطلق است، یعنی با نمای توقف در چراغ‌های تحت کنترل تفاوتی ندارد. قطار نباید بدون مجوز اپراتور از هیچ چراغی در موقعیت توقف عبور نماید (توقف مطلق = توقف و ماندن). در صورت خرابی سیستم بلاک، اپراتور باید فرمان شروع مجدد (ریست)[۱۰۲] برای آزادکردن بلاک را اجرا کند یا باید به قطار اجازه دهد تا از چراغ بلاک با نمای توقف عبور کند، در این حالت اپراتور باید بررسی نماید که بلاک آزاد باشد.

برای بررسی آزادی بلاک، اپراتور باید آخرین قطاری را که از بلاک مربوطه عبور کرده است را به‌وضوح شناسایی کند. برای آن قطار، معیارهای زیر باید تائید شوند:

- قطار به ایستگاه انتهای بلاک رسیده باشد.
- قطار باید توسط یک چراغ توقف محافظت شود. این محافظت در صورت لزوم، شامل آزاد بودن همپوشانی بعدازآن چراغ نیز است.
- قطار باید کامل باشد. یکپارچگی قطار باید توسط کارکنان محلی یا خدمه قطار بررسی شود.

۱۰۲- reset

همچنین قبل از اجازه دادن به قطار برای عبور از چراغ توقف برای ورود به بلاک در یک مسیر دوطرفه، اپراتور باید تائید کند که هیچ قطار مخالفی در کل بلاک بین چراغ‌های محدوده بلاک و چراغ‌های جهت مخالف که با نمای توقف از بلاک محافظت می‌کنند وجود ندارد.

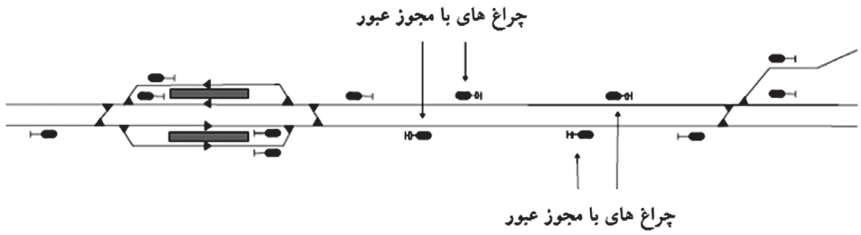
اگر کامل بودن آخرین قطار پیش رو را نمی‌توان تائید شود، بنابراین قطار بعدی باید مجوز عبور از بخش مربوطه را با حکم احتیاط و رؤیت داشته باشد. اگر در موردی که کامل بودن قطار نمی‌تواند تائید شود و اپراتور قصد دارد محورشمار بلاک را تحت مسئولیت خود ریست کند، دستور ادامه سیر به‌شرط حکم احتیاط و رؤیت، باید قبل از اجرای دستور ریست صادر شود. اگر ریست کردن ناموفق باشد، اپراتور باید برای رعایت ایمنی، چراغِ محافظت از بلاک را در موقعیت توقف قرار دهد. سپس، اپراتور موظف است بررسی‌های آزاد بودن بلاک را برای تمام قطارهای بعدی انجام دهد تا زمانی که تعمیرکار علائم عملکرد عادی سیستم بلاک را دوباره برقرار کند.

اگر اپراتور نتواند آخرین قطار پیش رو را به‌وضوح شناسایی کند، بررسی آزاد بودن خط ممکن نخواهد بود. در چنین حالتی، قطار بعدی باید مجوز عبور از بخش مربوطه را با حکم احتیاط و رؤیت داشته باشد، اما اپراتور نباید بخش بلاک را ریست کند. بدون داشتن تأییدیه آخرین قطار پیش رو، اپراتور نمی‌تواند مطمئن باشد که اشغال خط نشان داده‌شده در رابط کاربری ناشی از افتادن تجهیزات روی خط، خرابی سیستم تشخیص آزادی خط، یا توسط یک قطار درراه‌مانده[۱۰۳] که هنوز در حال اشغال مسیر است می‌باشد. در مورد آخر، اگر قطار فراموش‌شده به‌طور غیرمنتظره‌ای ادامه سیر دهد ریست مجدد بخش بلاک می‌تواند منجر به خطر شود. در خطوط مسافری، قطارهای با تعداد محور یکسان یک اتفاق معمول است. اگر قطار دوم پس از ریست کردن محورشمار، بخش موردنظر را اشغال کند و قطار اول به‌طور غیرمنتظره‌ای در حال حرکت باشد ممکن است همان تعداد محورهایی را که برای قطار دوم شمارش کرده، برای قطار اول نیز شمارش کند؛ بنابراین، درحالی‌که قطار دوم هنوز خط را اشغال کرده است، ازنظر محورشمار این بخش آزاد می‌شود. برای جزئیات بیشتر به (Theeg & Vlasenko، 2020) مراجعه کنید.

۱۰۳- forgotten train

قانون بررسی آزادی خط برای هر قطار مجزا باعث افزایش حجم کار اپراتور و کاهش قابل‌توجه ظرفیت در حالت سیر با حکم احتیاط می‌شود. به همین دلیل است که بسیاری از راه‌آهن‌ها از مجوز عبور[۱۰۴] در خطوط بلاک خودکار استفاده می‌کنند.

در خطوط بلاک خودکار با مجوز عبور، فقط چراغ‌های کنترلی دارای نمای توقف مطلق هستند درحالی‌که چراغ‌های خودکار چراغ‌های با مجوز عبور هستند (شکل ۲-۱۸). یک قطار ممکن است پس از رؤیت یک چراغ مجوز عبور با نمای توقف، ابتدا متوقف و سپس بااحتیاط عبور نماید و راننده چراغ را به‌عنوان چراغ مجاز شناسایی کند (توقف با مجوز = ایست و ادامه سیر). در این حالت، چراغ‌های مجوز عبور با یک تابلو نشانگر خاص یا با استفاده از نوع خاصی از نمای توقف مشخص می‌شوند. اگر قطاری از چراغ با مجوز عبور کرده باشد که دارای نمای توقف است، قطار باید بااحتیاط و رؤیت از کل بلاک عبور کند.



شکل ۲-۱۸. چراغ‌های مطلق و با مجوز عبور در مسیرهای با بلاک خودکار

در خطوط با علائم با مجوز عبور، برگرداندن چراغ به حالت توقف باقابلیت اطمینان بسیار بالا از اهمیت بالایی برخوردار است. اگر چراغی نتواند از قطاری که چراغ را رد کرده است محافظت کند، چراغ ورودی بلاک توسط سیستم بلاک در حالت توقف قفل می‌شود. اگر قطار بعدی از چراغ توقف با مجوز عبور کند، آن قطار در چراغ بعدی که به بلاک اشغال‌شده منتهی می‌شود، با نمای ادامه سیر روبرو می‌شود. در سیستم‌های بلاکی که قابلیت اطمینان بالای موردنیاز در بازگرداندن به حالت توقف چراغ‌ها تضمین نمی‌شود، قطارها باید بر اساس این قانون حرکت کنند که: قطاری که در حالت با مجوز عبور حرکت می‌کند باید نمای ادامه سیر در

۱۰۴- permissive working عملیات با مجوز به این معنی است که بیش از یک قطار را می‌توان در یک بخش علائمی در یک‌زمان چراغ داد. معمولاً این کار در یک سکوی ایستگاه یا در یک خط جانبی کالا صورت می‌گیرد.

چراغ بعدی را نادیده بگیرد و باید به‌صورت با مجوز عبور در بلاک بعدی ادامه سیر دهد. تنها زمانی که قطار از چراغ دوم با نمای ادامه سیر عبور کند، راننده می‌تواند حالت با مجوز عبور را پایان دهد و با سرعت عادی حرکت کند.

۲-۳-۳: کنترل بلاک در بلاک متحرک

سیستم‌های بلاک متحرک به یک سیستم مکان‌یابی دقیق قطار در کابین نیاز دارند تا مکان فعلی را در فواصل زمانی بسیار کوتاه به یک مرکز بلاک رادیویی منتقل کند. با هر گزارش موقعیت مکانی، قطار باید کامل بودن قطار را نیز تائید کند. با این داده‌ها، مرکز بلاک رادیویی نقطه خطر را برای محافظت از انتهای عقب قطار محاسبه می‌کند.

بین نقطه خطر محاسبه‌شده و حد فاصله مجوز قطار بعدی، یک‌فاصله ایمنی تکمیلی نیز وجود دارد که معادل فاصله همپوشانی بلاک در یک سیستم بلاک ثابت سنتی است. اگر قطار دوم پشت قطار اول توقف کند، این فاصله حداقل فاصله ایمنی بین دو قطار است. اگر قرار است سوزن‌ها بین فاصله عبور دو قطار پشت سر هم در بلاک متحرک جابجا شوند، یک بازه زمانی اضافی برای جابجایی سوزن‌ها باید در نظر گرفته شود. این بازه‌های زمانی باید توسط مرکز بلاک رادیویی در هنگام به‌روزرسانی مجوز سیر برای قطار دوم محاسبه شود.

مرکز بلاک رادیویی همیشه با قفل‌کردن مجوزهای سیر در جهت مخالف، از تصادفات از روبرو جلوگیری می‌کند. در بخش‌هایی از مسیر که خارج از مناطق ایستگاه بوده و قطارها نمی‌توانند معکوس شوند، یک کنترلِ جهت اضافی موردنیاز است که شبیه قفلِ جهت در یک سیستم بلاک ثابت عمل می‌کند. قطار تا زمانی که قطار دیگری در جهت مخالف از آن بخش در حال عبور است یا این‌که مجوز ورود به آن بخش را از مکان بعدی که ممکن است ترتیب قطار در آن تغییر کند دارد، نباید وارد چنین بخشی شود.

فصل ۳

اصول اینترلاکینگ

فصل ۳

اصول اینترلاکینگ

هنگام عبور از یک منطقه سوزن بندی شده، علاوه بر جداسازی ایمن قطارها، عناصر متحرک ریل باید در موقعیت مناسبی قفل شوند و قطار باید در برابر حرکات متناقضی که در مسیر آن اختلال ایجاد می‌کند محافظت شود. تمام این محافظت‌ها توسط اینترلاکینگ انجام می‌شود. اصطلاح اینترلاکینگ از این واقعیت ناشی می‌شود که چراغ‌هایی که حرکت قطارها را مدیریت می‌کنند با عناصر متحرک مسیر و چراغ‌هایی که مسیرهای متضاد را مدیریت می‌کنند در هم قفل می‌شوند.

۳-۱: مسیرهای اینترلاکینگ

نحوه عملکرد اینترلاکینگ بر این اصل استوار است که قبل از اینکه قطاری بتواند با سبز شدن چراغ کنار خط یا صدور مجوز توسط علائم داخل کابین، اجازه عبور از یک محدوده سوزن را بگیرد، یک مسیر ایمن تا انتهای محدوده مجوز ایجاد می‌کند. مسیر ایجادشده باید دارای شرایط زیر باشد:

- تمام سوزن‌ها باید به‌درستی تنظیم و قفل شوند.
- تا زمانی که قطار مجوز سیر روی سوزن‌ها را داشته باشد، همه سوزن‌ها باید قفل نگه‌داشته شوند.
- حرکات متناقض باید قفل شوند.

- مسیر باید در برابر حرکات ناخواسته در مسیرهای همگرا محافظت شود (حفاظت جانبی).
- تمام بخش‌های خط که قطار دارای مجوز عبور از آن است، باید آزاد باشد.

۳-۱-۱: طبقه‌بندی مسیر

در سیستم‌های اینترلاکینگ پیشرفته، برای عملیات مانور نیز مسیرهای اینترلاکینگ در نظر گرفته می‌شود. به همین دلیل است که بین مسیرهای اصلی و مسیرهای مانور تفاوت وجود دارد. مسیرهای اصلی مسیرهایی برای حرکت منظم قطارها هستند که توسط چراغ اصلی یا علائم داخل کابین کنترل می‌شوند. مسیرهای مانوری برای عملیات مانور با مجوز نمای چراغ مانور یا مجوز کلامی استفاده می‌شوند. برخی از الزامات مسیرهای اصلی برای مسیرهای مانوری اعمال نمی‌شود؛ بنابراین، یک مسیرگیری در عملیات مانور ممکن است منجر به هدایت قطار به یک خط اشغال‌شده نیز گردد. حفاظت جانبی برای مسیرهای مانور معمولاً یا ساده‌شده یا اصلاً موردنیاز نیست.

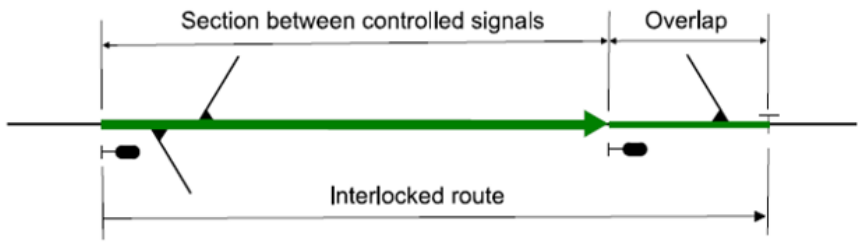
در آمریکای شمالی که حرکت قطار از عملیات مانور چندان جدا نیست، ممکن است از مسیرهای اینترلاکینگ، هم برای حرکت قطار و هم برای عملیات مانور استفاده شود. این روش در برخی از راه‌آهن‌های دیگر ازجمله هلند نیز استفاده می‌شود.

یک مسیر اصلی همیشه با یک چراغ کنترلی (چراغ ورودی به مسیر) شروع می‌شود. خروجی یک مسیر می‌تواند یکی از حالات زیر باشد:

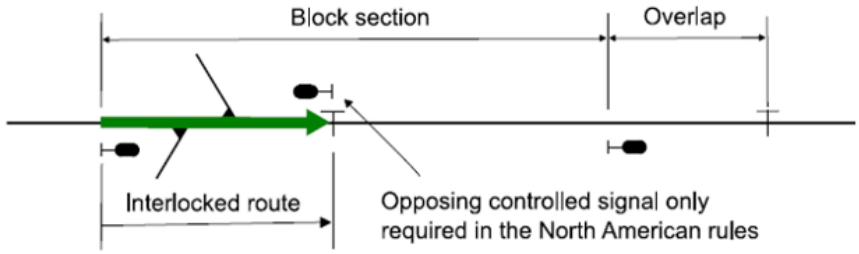
- چراغ کنترلی بعدی (چراغ خروجی یا چراغ انتهای مسیر)
- انتهای محدوده تحت کنترل اینترلاکینگ

مسیرهایی که دارای چراغ ورودی و چراغ خروجی هستند، مسیرهایی بین چراغ‌های متوالی در محدوده همان اینترلاکینگ هستند. در راه‌آهن‌هایی که همپوشانی لازم است، سوزن‌های داخل منطقه همپوشانی که بعد از چراغ خروجی قرارگرفته‌اند با چراغ ورودی در هم قفل می‌شوند (شکل ۳-۱ الف). ازآنجایی‌که آزادی کل مسیر بین چراغ ورودی و چراغ خروجی توسط سیستم اینترلاکینگ بررسی می‌شود، این نوع مسیر قفل‌شده مستقیماً فاصله ایمن بین قطارها را تضمین می‌کند.

الف- مسیر بین چراغ های متوالی کنترلی در منطقه تحت کنترل اینترلاکینگ



ب- مسیر ترک منطقه تحت کنترل اینترلاکینگ



شکل ۳-۱. مسیرهای اینترلاکینگ

مسیرهای دارای خروجی در انتهای منطقه اینترلاکینگ، حرکت قطار را برای ترک آن منطقه کنترل می‌کنند. چنین مسیری نمی‌تواند فاصله ایمن بین قطارها را تضمین کند. چنین مسیری به بخشی از خط منتهی می‌شود که توسط یک سیستم بلاک محافظت می‌شود. در سیستم‌های اینترلاکینگ آمریکای شمالی، مسیر همیشه به چراغ کنترلی ختم می‌شود که در جهت مخالف قرار دارد و اینترلاکینگ را محدود می‌کند (شکل ۳-۱ ب). در آمریکای شمالی، این چراغ «چراغ خروج»[۱۰۵] نامیده می‌شود. این اصطلاح را نباید با عبارت «چراغ خروج» برای مسیرهای بین چراغ‌های کنترلی متوالی در همان جهت که در بالا توضیح داده شد، اشتباه گرفت. در راه‌آهن اروپا، خروجی چنین مسیری بخشی از مسیر بعد از آخرین سوزن است. برخلاف رویه آمریکای شمالی، این خروجی مسیر لزوماً با چراغ کنترلی در جهت مخالف همراه نیست. در راه‌آهن بریتانیا، خروج از یک مسیر همیشه با یک چراغ همراه است. در

۱۰۵- Exit signal

آنجا، مسیر برای خروج از یک منطقه اینترلاکینگ و ورود به خط بلاک خودکار به اولین چراغ بلاک خودکار منتهی می‌شود.

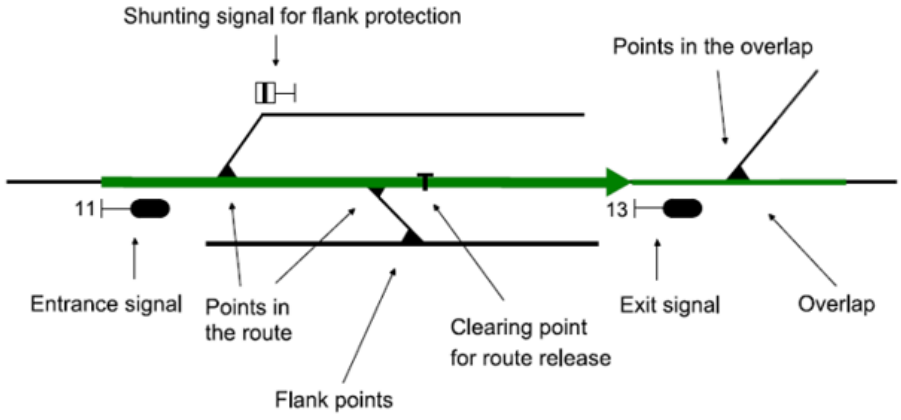
شکل (۳-۲) نمای دقیق‌تری از عناصر یک مسیر بین دو چراغ متوالی در منطقه اینترلاکینگ را نشان می‌دهد. جزئیات در قسمت‌های بعدی توضیح داده خواهد شد.

۳-۱-۲: قفل سوزن

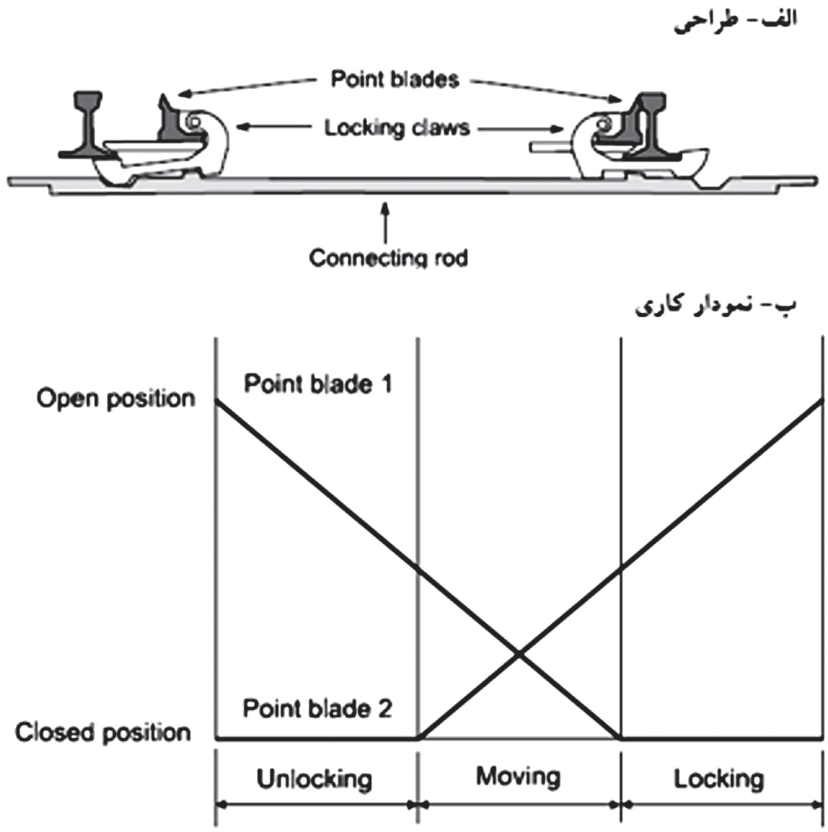
قبل از اینکه چراغی بتواند سبز شود، تمام سوزن‌ها و خارج کننده از ریل‌ها باید در موقعیت مناسب قفل شوند. قفل شدن سوزن‌ها دو جنبه دارد:

- برای جلوگیری از تغییر سوزن‌ها
- برای جلوگیری از حرکات ناخواسته تیغه‌های سوزن زیر قطار در حال عبور

شرط اول توسط منطق داخلی سیستم اینترلاکینگ تضمین‌شده است. برای برآوردن شرط دوم، تمام سوزن‌ها مجهز به دستگاه قفل سوزن هستند که تیغه‌های سوزن را به‌صورت مکانیکی در موقعیت مناسب قفل می‌کند. برخی از راه‌آهن‌ها از قفل سوزن مستقل استفاده می‌کنند که از طریق دستگاه کنترل جداگانه‌ای که سوزن‌ها را هدایت می‌کند، فعال می‌شوند؛ اما روش رایج‌تر، قفل سوزن‌های وابسته هستند که توسط همان دستگاه کنترلی که تیغه‌های سوزن را به حرکت درمی‌آورد، فعال می‌شوند.



شکل ۳-۲. اجزای یک مسیر



شکل ۳-۳. طراحی و نمودار کاری مکانیزم قفل پنجه‌ای

یک نمونه معمول از قفل سوزن، قفل پنجه‌ای[۱۰۶] است که چندین نوع از آن وجود دارد. شکل (۳-۳) یک نوع پیشرفته آن را نشان می‌دهد که در اروپا بسیار رایج است. برای تمام قفل‌های سوزن از این نوع، معمولاً تیغه‌های سوزن به‌طور دائم به هم متصل نیستند و می‌توان آن‌ها را جداگانه جابجا کرد. هنگامی‌که سوزن‌ها کار می‌کنند، تیغه باز در ابتدا حرکت می‌کند درحالی‌که تیغه بسته در حال باز شدن است. سپس، هر دوتیغه به‌طور هم‌زمان حرکت می‌کنند تا زمانی که تیغه باز سابق به حالت بسته برسد. اکنون، تیغه باز جدید در سمت مقابل از ریل پهلویی[۱۰۷] دورتر می‌شود تا زمانی که تیغه بسته جدید به‌طور ایمن قفل شود.

۱۰۶- claw lock
۱۰۷- stock rail

سوزن‌های بزرگ با تیغه‌های انعطاف‌پذیر بلند ممکن است یک یا چند قفل سوزن اضافی در امتداد تیغه‌ها داشته باشند تا آن‌ها را به‌صورت ایمن در جای خود نگه‌دارند. این قفل‌های میانیِ سوزن توسط یک محرک از پشت کار می‌کنند که از یک مکانیسم میله‌ای که توسط ماشین سوزن هدایت می‌شود تشکیل‌شده است.

علاوه بر قفل سوزنی که در بالا توضیح داده شد، برخی از راه‌آهن‌ها از نوع کاملاً متفاوتی از قفل‌های سوزن استفاده می‌کنند که به آن‌ها قفل داخلی سوزن[۱۰۸] می‌گویند. با این روش، سوزن مستقیماً بین تیغه‌های سوزن و ریل‌های کناری قفل نمی‌شود، بلکه در داخل ماشین سوزن قفل می‌شود. در این حالت، تیغه‌های سوزن به‌طور دائم به هم متصل می‌شوند، بنابراین قفل‌کردن میله محرک[۱۰۹] در ماشین سوزن، آن‌ها را در جای خود نگه می‌دارد. برای اطمینان از اینکه تیغه بسته محکم روی ریل کناری فشار داده می‌شود، هر دوتیغه باید در یک فاصله ثابت نگه‌داشته شوند که این کار توسط میله‌های برانکارد[۱۱۰] (هادی) اعمال می‌شود.

۳-۱-۳: قفل‌کردن و آزادکردن مسیرها

بعدازاینکه قطار از چراغ عبور کرد، تمام بخش‌های مسیر تا زمانی که قطار آن‌ها را آزاد کند یا به محل توقف ایمن برسد باید قفل شوند.

در بسیاری از راه‌آهن‌ها، قفل‌کردن مسیر بر اساس روش قفل ورودی[۱۱۱] است. تا زمانی که قطاری نزدیک نمی‌شود، مسیر فقط با سبز شدن چراغ قفل می‌شود. در صورت روشن شدن چراغ توقف، مسیر بلافاصله آزاد می‌شود. هنگامی‌که قطار به موقعیتی نزدیک می‌شود که در صورت لغو مسیر، نمای چراغ در جلوی قطار تغییر خواهدکرد، مسیر قفل ورودی خواهد شد. اکنون، پس از بازیابی چراغ، قفل ورودی مسیر را قفل نگه می‌دارد. پس از عبور از چراغ، قفل معمولی مسیر اعمال می‌شود و تمام عناصر را برای قطار در حال حرکت قفل نگه می‌دارد.

۱۰۸- Internal point lock
۱۰۹- driving rod
۱۱۰- Stretcher bars
۱۱۱- Approach locking قفلی که سبب می‌شود آزادسازی مسیر پس از ابطال آن با تأخیری خواسته صورت گیرد.

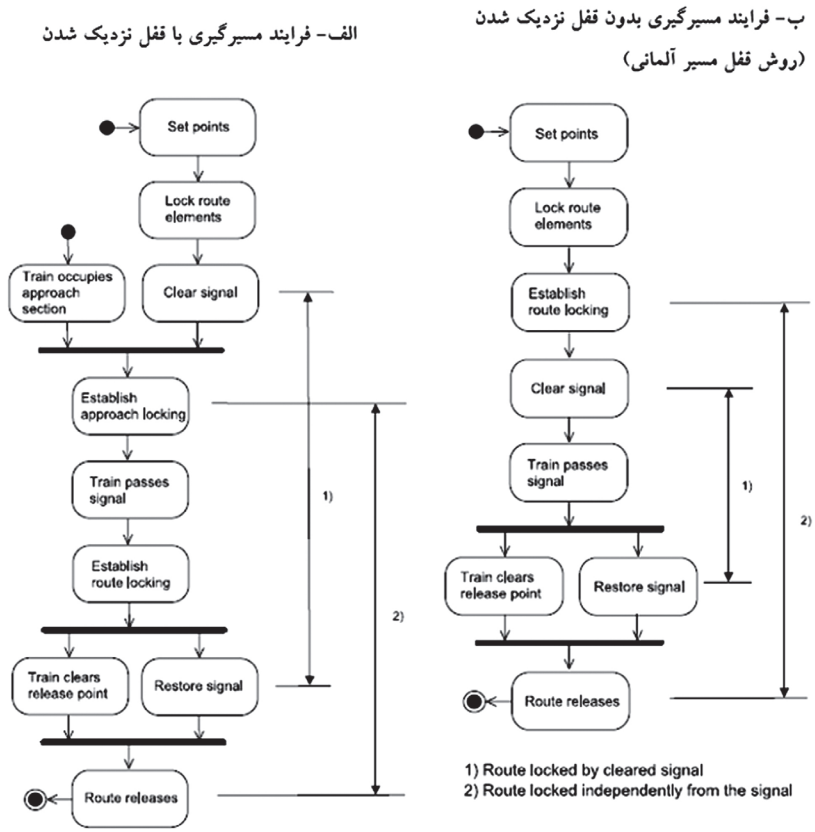
برخی از راه‌آهن‌ها، به‌ویژه راه‌آهن‌هایی که از اصول آلمانی پیروی می‌کنند، از قفل ورودی استفاده نمی‌کنند، اما هنگام سبز کردن چراغ به‌طور مستقل از قطار نزدیک شونده، بلافاصله قفل کامل مسیر را برقرار می‌کنند. در شکل (۳-۴)، هر دو اصل قفل مسیر مقایسه شده‌اند.

آزادسازی عادی قفل مسیر معمولاً به‌طور خودکار و پس از آزاد کردن سوزن توسط قطار انجام می‌شود. آزادسازی خودکار مسیر را می‌توان با آزادسازی کامل مسیر با یک سوزن پاک‌سازی منفرد یا با آزادسازی مقطعی مسیر انجام داد. برای آزادسازی کامل مسیر، قطار باید کل منطقه سوزن را آزاد کرده باشد و باید مسیر مقصد را اشغال کرده باشد. آزادسازی مقطعی مسیر به عناصری از خط نیاز دارد که ممکن است به‌طور جداگانه آزاد شوند و دارای بخش‌های جداگانه برای تشخیص آزادی خط باشند. برای جلوگیری از آزاد شدن جداگانه بخش‌های مسیر که قبل از عبور قطار از آن آزاد می‌شوند، آن‌ها باید دارای حداقل طولی باشند که از حداکثر فاصله ممکن بین دو محور در قطار بیشتر باشد. به دلایل ایمنی، عناصر مسیر که به‌صورت جداگانه آزاد می‌شوند توسط یک قفل به‌اصطلاح قفل متوالی[۱۱۲] به هم متصل می‌شوند. تا زمانی که بخش قبلی آزاد نشود، از آزادسازی عنصر فعلی جلوگیری می‌کند.

درجاهایی که همپوشانی وجود دارد، سوزن‌های داخل همپوشانی به آزادسازی زمانی مجهز می‌شوند. پس‌ازاینکه قطار در حال نزدیک شدن به چراغ خروجی مسیر آخرین بخش خط را اشغال کرد، سوزن‌ها به‌طور خودکار با تأخیر زمانی معینی آزاد می‌شوند.

اگر مسیر بدون عبور قطار لغو شود یا آزادسازی عادی مسیر پس از عبور قطار امکان‌پذیر نباشد ممکن است که لازم شود مسیر قفل‌شده به‌صورت دستی و با مسئولیت کارکنان آزاد شود. برای حالت دوم، بیشتر راه‌آهن‌ها از یک آزادسازی اضطراری مسیر[۱۱۳] استفاده می‌کنند. لغو مسیر و آزادسازی اضطراری مسیر یا توسط قفل زمانی یا با یک روال دستوری خاص و ثبت خودکار محافظت می‌شوند.

۱۱۲- Sequence locking
۱۱۳- Emergency route release

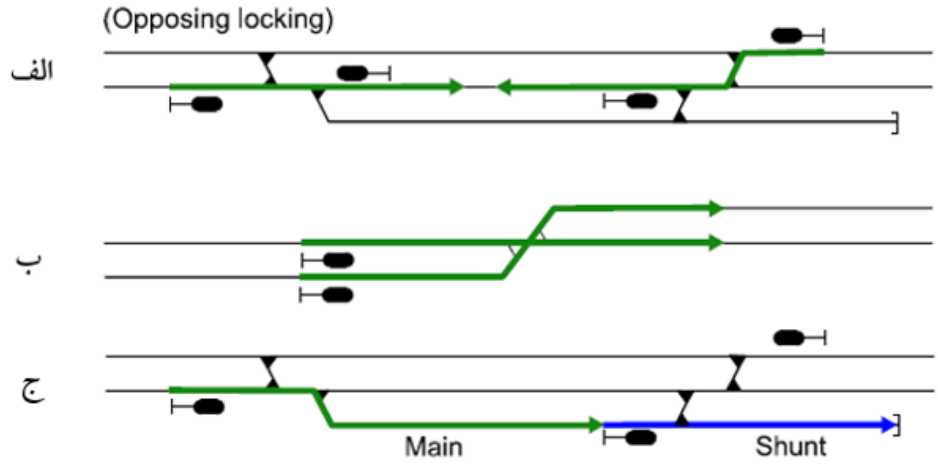


شکل ۳-۴. روش‌های مسیرگیری

۳-۱-۴: تداخل مسیرها

مسیرهایی که نیاز به قفل شدن سوزن‌ها در موقعیت‌های مخالف دارند، به‌طور خودکار توسط سوزن‌های قفل‌شده یکدیگر را قفل می‌کنند. این عمل به‌عنوان «قفل تداخل یا متضاد[۱۱۴]» شناخته می‌شود. اگر تفاوتی در موقعیت سوزن‌های دو مسیر متضاد وجود نداشته باشد، قفل‌شدگی بین سوزن‌ها و چراغ‌ها مانع از حرکات متضاد نخواهد شد. در چنین مواردی، باید عملکرد ویژه‌ای از اینترلاکینگ برای قفل‌کردن مسیرهای متضاد ارائه شود. به‌عنوان‌مثال، مسیرهای مخالف منتهی به یک مسیر (همچنین به‌عنوان «قفل مخالف» شناخته می‌شود) و مسیرهای متقاطع بدون سوزن‌های متحرک (شکل ۳-۵ الف و ب).

۱۱۴- conflicting locking



شکل ۳-۵. مسیرهای متناقض با وضعیت سوزن‌های مشابه

هنگامی‌که قطاری به یک خط ایستگاه می‌رسد و قصد مانور در همان ایستگاه را دارد، طبق قوانین بسیاری از راه‌آهن‌ها قبل از توقف قطار نباید مجوز مانور صادر شود. برای این کار، مسیر اصلی منتهی به خط ایستگاه و مسیر مانور بعدی آن یکدیگر را قفل می‌کنند (شکل ۳-۵ ج).

۳-۱-۵: حفاظت جانبی

حفاظت جانبی[۱۱۵] باید از حرکت وسایل نقلیه در مسیرهای همگرا به مسیری که برای حرکت قطار آزاد است جلوگیری کند. این کار می‌تواند توسط موارد زیر محقق گردد:

- مقررات بهره‌برداری
- تجهیزات حفاظت جانبی

حفاظت جانبی توسط مقررات سیر و حرکت به این معنی است که برای محافظت از مسیر اصلی در برابر حرکات ناخواسته در مسیرهایی که به مسیر اصلی منتهی می‌شوند، تا زمانی که مسیر تعیین‌شده است، از مسیرهای ایستگاهی خاص نباید برای مانور یا نگهداری وسایل نقلیه ریلی استفاده شود. ازآنجایی‌که این روش حفاظت خیلی کارآمد نیست، لذا باید فقط زمانی از این روش استفاده شود که سایر اشکال حفاظت جانبی در دسترس نباشد.

۱۱۵- Flank protection

تجهیزات حفاظت جانبی عبارت‌اند از عناصر کنترلی کنار خط. حفاظت جانبی ممکن است توسط سوزن‌های کناری، خارج‌کننده‌ها از ریل یا چراغ‌های توقف ارائه شود. چراغ‌های توقف فقط برای حفاظت جانبی در برابر حرکات کنترل‌شده توسط راننده کافی است. برای محافظت از قطار در برابر وسایل نقلیه‌ای که ممکن است به‌طور ناخواسته وارد مسیر حرکت شوند (مثلاً در مسیرهایی که واگن‌ها متوقف می‌شوند) یا در برابر خطرات جانبی ناشی مانورهای سنگین، حفاظت جانبی باید توسط سوزن‌های جانبی یا خارج‌کننده‌ها از ریل انجام شود. در بسیاری از راه‌آهن‌ها، خارج‌کننده‌ها از ریل نباید خارج از خطوط کناری (مانوری) نصب شوند. برای خطوط با سرعت‌بالا، محافظت جانبی در برابر حرکات مانور و واگن‌های متوقف پارک شده همیشه توسط سوزن‌های کناری انجام می‌شود.

حفاظت جانبی از راه دور

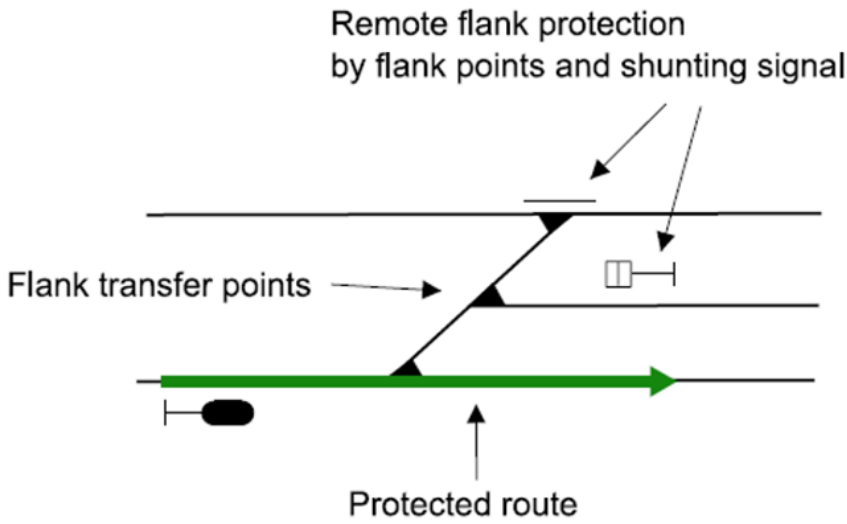
در صورت امکان، حفاظت جانبی باید توسط عناصری که مستقیماً بر روی مسیر مورد محافظت قرار دارند، تأمین شود. اگر عنصر مناسبی در دسترس نباشد، حفاظت جانبی می‌تواند توسط عناصری که دورتر از سوزنی که قرار است محافظت شود، ارائه شود. به این نوع حفاظت جانبی، حفاظت جانبی از راه دور[۱۱۶] گفته می‌شود (شکل ۳-۶).

سوزن‌های بین عناصر محافظ و سوزن‌هایی که قرار است محافظت شوند، سوزن‌های انتقال جانبی[۱۱۷] نامیده می‌شوند، زیرا آن سوزن‌ها عمل محافظت را انجام نمی‌دهند بلکه حفاظت جانبی را منتقل می‌کنند. در سوزن‌های انتقال جانبی، مسیرهای حفاظتی ممکن است تقسیم شوند، بنابراین یک عنصر مسیر توسط چندین عنصر حفاظتی محافظت می‌شود.

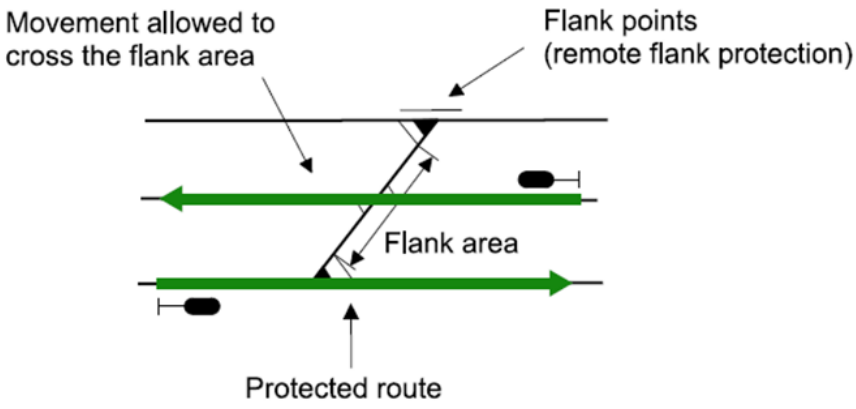
ناحیه جانبی که به‌عنوان حوزه جانبی[۱۱۸] (UIC، 2012) نیز شناخته می‌شود، بخشی از خط بین وسیله حفاظت جانبی و دگاژ مسیری است که باید محافظت شود. هنگامی‌که یک سوزن در ناحیه جانبی وجود دارد، همان‌طور که در مثال شکل (۳-۶) نشان داده‌شده است، ناحیه جانبی به چندین شاخه تقسیم می‌شود به‌طوری‌که دگاژ مسیری که باید محافظت

۱۱۶- remote flank protection
۱۱۷- flank transfer points
۱۱۸- flank zone

شود توسط چندین عنصر محافظتی محافظت می‌شود. درحالی‌که ناحیه کناری باید خالی از وسایل نقلیه باشد، ممکن است وسایل نقلیه‌ای از نواحی کناری بدون آسیب رساندن به مسیر محافظت‌شده عبور کند (شکل ۳-۷).



شکل ۳-۶. حفاظت جانبی از راه دور



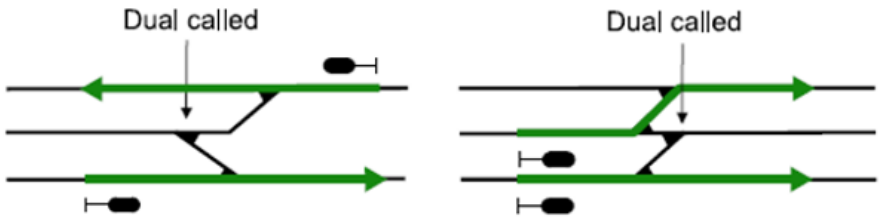
شکل ۳-۷. عبور از منطقه جانبی

سوزن‌های حفاظتی انتخابی

یک تنظیم خاص از حفاظت جانبی، سوزن‌های حفاظتی انتخابی[۱۱۹] هستند که به‌عنوان سوزن‌های جانبی با فراخوانی دوبل/ سوزن های پارالل[۱۲۰] نیز شناخته می‌شوند (شکل ۳-۸). این سوزن‌های جانبی ممکن است از مسیرهای مختلف فراخوانی‌های جانبی متعددی را دریافت کنند. برای جلوگیری از قفل شدن مسیرها توسط یکدیگر با موقعیت سوزن‌های حفاظتی انتخابی، معمولاً موقعیت حفاظتی این سوزن‌ها به یکی از دو مسیر اختصاص داده می‌شود. برای جبران فقدان حفاظت برای مسیر دیگر، برای آن مسیر از حفاظت جانبی از راه دور استفاده می‌شود؛ بنابراین، برای آن مسیر، سوزن‌های حفاظتی انتخابی به سوزن‌های انتقال جانبی تبدیل خواهند شد.

سه روش مختلف برای کنترل سوزن‌های حفاظتی انتخابی وجود دارد:

- موقعیت حفاظتی به‌طور دائم به یکی از دو مسیر اختصاص داده شود.
- موقعیت حفاظتی انعطاف‌پذیر بوده و توسط کنترل اولویت اختصاص داده شود.
- موقعیت حفاظتی انعطاف‌پذیر بوده و توسط اصل «اولین ورود -اولین خروج»[۱۲۱] اختصاص داده شود.



شکل ۳-۸. سوزن‌های با فراخوانی دوگانه

هنگامی‌که موقعیت حفاظتی به‌طور دائم به یک مسیر اختصاص داده شود، سوزن‌ها همیشه در آن مسیر در موقعیت حفاظتی قفل می‌شوند. درحالی‌که این روش در اکثر سیستم‌های اینترلاکینگ قدیمی استفاده می‌شود، برخی راه‌آهن‌ها از آن در فناوری جدید نیز استفاده

۱۱۹- selective protective points
۱۲۰- dual-called flank points
۱۲۱- First in-first out

می‌کنند. موقعیت حفاظتی سوزن‌های حفاظتی انتخابی معمولاً به مسیر با اولویت بالاتر اختصاص داده می‌شود. در سیستم‌های اینترلاکینگ قدیمی‌تر که توسط اینترلاکینگ های محلی کنترل می‌شدند، اغلب اپراتور موظف بود سوزن‌های حفاظتی انتخابی را در موقعیت حفاظتی برای مسیر فرعی قرار دهد تا زمانی که آن مسیر به‌تنهایی تنظیم‌شده باشد. اگرچه، این انتخاب توسط اینترلاکینگ انجام‌نشده است.

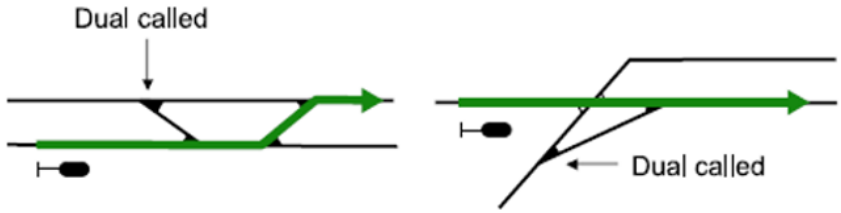
حفاظت جانبی با اولویت کنترل‌شده انعطاف‌پذیری بیشتری را در تخصیص حفاظت‌های جانبی فراهم می‌کند. اگر فقط یکی از دو مسیر تنظیم‌شده باشد، سوزن‌های حفاظتی انتخابی به موقعیت حفاظتی آن مسیر منتقل می‌شوند. اگر دو مسیر به‌طور هم‌زمان تنظیم شوند، سوزن‌های حفاظتی انتخابی به موقعیت حفاظتی مسیر با اولویت بالاتر منتقل می‌شوند. مسیر دارای اولویت بالاتر حتی حفاظت جانبی مسیر با اولویت پایین‌تر را از بین می‌برد. درصورتی‌که دو مسیر دارای اولویت یکسانی باشند، تخصیص حفاظت جانبی با استفاده از اصل «اولین ورود-اولین خروج» بهترین راه‌حل است. سوزن‌های حفاظتی انتخابی همیشه در موقعیت حفاظتی مسیری که ابتدا تعیین‌شده است قرار می‌گیرند.

در راه‌آهن‌هایی که از سوزن‌های حفاظتی انتخابی با حفاظت جانبی منعطف اختصاص داده‌شده استفاده می‌کنند تا زمانی که فراخوانی جانبی را دریافت کنند، معمول است که این سوزن‌ها باز نگه‌داشته شوند. سوزن‌های قفل‌شده حتی در صورت فراخوانی برای حفاظت جانبی توسط مسیر دیگری آزاد می‌شوند. این قابلیت به اپراتور اجازه می‌دهد تا به‌صورت دستی موقعیت حفاظتی را تغییر دهد. این عمل ایمن است، زیرا در چنین حالتی، همیشه حفاظت جانبی از راه دور وجود دارد.

به‌عنوان یک ویژگی اضافی، سوزن‌های حفاظتی انتخابی با حفاظت جانبی اختصاص داده شده انعطاف‌پذیر می‌تواند در حالت حفاظت «تکمیلی»[۱۲۲] کار کند. پس از آزاد شدن مسیری که برای آن حفاظت جانبی ارائه‌شده است، سوزن‌های حفاظتی انتخابی به‌طور خودکار به موقعیت حفاظتی مسیر دوم منتقل می‌شوند.

۱۲۲- supplementary

سوزن‌ها همچنین ممکن است فراخوانی جانبی رقابتی را فقط از یک مسیر یا از مسیرهای زنجیره‌ای متعلق به حرکت همان قطار دریافت کنند (شکل ۳-۹). سوزن‌های پارالل از این نوع نیز به‌عنوان سوزن‌های محافظ خودانتخابی[۱۲۳] شناخته می‌شوند. در چنین حالتی، موقعیت حفاظتی یا به‌طور دائم به یکی از دو سوزنی که قرار است محافظت شود اختصاص داده می‌شود یا سوزن‌های حفاظتی خودانتخابی باز می‌مانند. سپس، حفاظت توسط یک عنصر حفاظت جانبی مشترک از راه دور انجام می‌شود.



شکل ۳-۹. سوزن‌های حفاظتی انتخابی

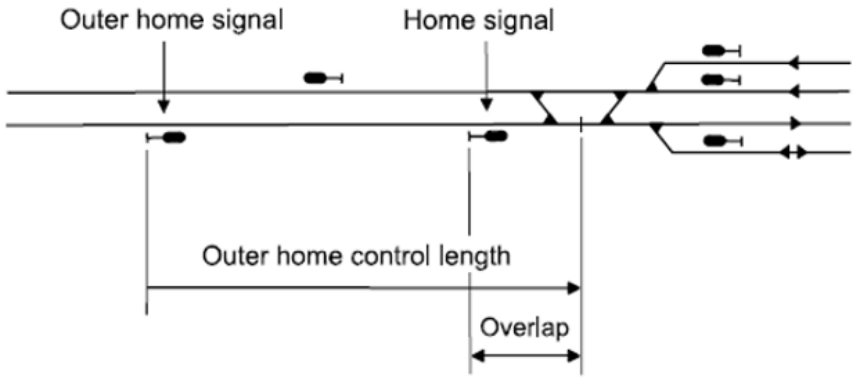
۳-۱-۶: همپوشانی‌ها

اگر همپوشانی اعمال شود، مسیر قفل‌شده از محدوده مجاز ارائه‌شده توسط چراغ اصلی یا علائم داخل کابین تا نقطه خطری که باید محافظت شود، ادامه پیدا می‌کند. در داخل همپوشانی، مسیرهای متضاد قفل می‌شوند تا از برخورد قطاری که به همپوشانی وارد می‌شود با وسایل نقلیه دیگر جلوگیری شود. بعد از چراغ‌های ورودی، همپوشانی معمولاً با قرار دادن چراغ در فاصله همپوشانی کامل قبل از محدوده سوزن‌ها ارائه می‌شود. سپس، کافی است قبل از آزاد شدن بخش بلاک در زمان نزدیک شدن به چراغ ورودی، بررسی شود که همپوشانی آزاد است.

در داخل محدوده ایستگاه، معمولاً فضای کافی برای قرار دادن چراغ‌های خروجی و چراغ‌های میانی تحت کنترل اینترلاکینگ در فاصله همپوشانی کامل قبل از منطقه سوزن وجود ندارد. بنابراین، سوزن‌های درون همپوشانی به‌عنوان بخشی از مسیری که به آن چراغ منتهی می‌شود، قفل می‌شوند. همچنین، حرکات متضاد عبور از سوزن‌ها یا گذرگاه‌های داخل همپوشانی باید قفل شوند.

۱۲۳- self-selective protective points

در برخی از راه‌آهن‌ها، ممکن است چراغ‌های ورودی مستقیماً در مقابل سوزن‌های ورودی با همپوشانی درون منطقه سوزن قرار گیرند. در این صورت، در فاصله خط ترمز از چراغ ورودی، یک «چراغ ورودی بیرونی»[۱۲۴] قرار می‌گیرد. قسمت چراغ ورودی بیرونی تا چراغ ورودی، بخشی از سیستم بلاک نیست، اما توسط اینترلاکینگ مسیر کنترل می‌شود. برای سبز کردن چراغ ورودی بیرونی، یک مسیر از چراغ ورودی بیرونی به چراغ ورودی تنظیم می‌شود تا همپوشانی بعد از چراغ ورودی را قفل می‌کند (شکل ۳-۱۰).



شکل ۳-۱۰. مثالی از چراغ ورودی بیرونی

این کار گاهی اوقات برای کوتاه کردن فاصله بین چراغ ورودی و چراغ‌های بعدی در داخل محدوده ایستگاه به دلیل افزایش ظرفیت انجام می‌شود. این روش یک نوع چیدمان متداول از چراغ‌ها در سیستم‌های حمل‌ونقل ریلی انبوه است. یک مثال از این نوع چیدمان متروی نیویورک است که در آن چراغ‌های ورودی بیرونی «چراغ‌های اخباری»[۱۲۵] نامیده می‌شوند (Dougherty، 2018). یکی دیگر از موارد استفاده از چراغ‌های ورودی بیرونی، رسیدن به یک تقاطع هم‌سطح در نزدیکی محدوده ایستگاه تحت حفاظت چراغ کنترل‌شده است. برخی راه‌آهن‌ها از اصطلاح «چراغ ورودی بیرونی» استفاده نمی‌کنند و آن را چراغ ورودی می‌نامند و چراغ جلوی سوزن‌های ورودی را چراغ اینترلاکینگ میانی می‌نامند.

۱۲۴- outer home signal
۱۲۵- approach signals

قوانین همپوشانی بین راه‌آهن‌ها کاملاً متفاوت است. بسته به قوانین هر یک از راه‌آهن‌ها، سوزن‌های خاصی در همپوشانی ممکن است باز بمانند تا قابلیت‌های ویژه‌ای برای همپوشانی مقدور سازند. این روش‌های خاص همپوشانی عبارت‌اند از:

- همپوشانی انتخابی[۱۲۶]
- همپوشانی نوسانی[۱۲۷]
- همپوشانی مشترک[۱۲۸]

در جاهایی که همپوشانی انتخابی ارائه می‌شود، هنگام تعیین مسیر، می‌توان بین همپوشانی‌های مختلف موجود یکی را انتخاب کرد. همپوشانی‌های جایگزین می‌توانند طول‌های متفاوتی داشته باشند یا می‌توانند به مسیرهای مختلف منتهی شوند. پس از سبز شدن چراغ، هیچ امکانی برای تغییر همپوشانی بدون لغو مسیر وجود ندارد. درصورتی‌که همپوشانی انتخاب‌شده کوتاه‌تر از همپوشانی معمول باشد، سیستم علائم قطار را وادار به کاهش سرعت می‌کند.

همپوشانی‌های نوسانی به این معنی است که می‌توان بدون لغو مسیر، همپوشانی را به خط دیگری تغییر داد. تا زمانی که هر دو همپوشانی در دسترس باشند، سوزن‌های روبرو در نقطه جدایش باز می‌باشند («قابلیت چرخش»[۱۲۹]). زمانی که قطار از چراغ عبور کند، تغییر همپوشانی دیگر امکان‌پذیر نیست. گاهی اوقات، زمانی که قطار ورودی در حال نزدیک شدن به چراغ به آخرین بخش سیستم تشخیص آزادی خط می‌رسد، همپوشانی از قبل قفل می‌شود. معمولاً این قانون در صورتی اعمال می‌شود که فاصله کافی بین چراغ و سوزن تقسیم همپوشانی‌ها وجود نداشته باشد.

به‌عنوان یک راه‌حل جایگزین برای همپوشانی‌های انتخابی و نوسانی، اگر چراغ خروجی مسیر از قبل سبز شده باشد، برخی راه‌آهن‌ها نیازی به همپوشانی ندارند. وقتی قطار در حال

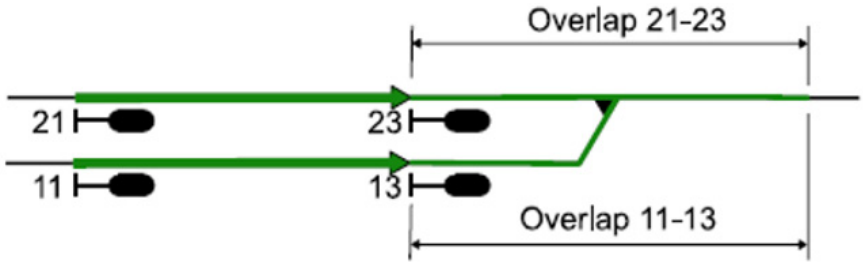
۱۲۶- Selective overlaps نوعی حفاظت همپوشانی که در آن اپراتور هنگام تنظیم یک مسیر، می‌تواند یکی از چندین همپوشانی احتمالی را انتخاب کند. در تفاوت با همپوشانی‌های نوسانی، پس از پاک شدن چراغ، همپوشانی را نمی‌توان بدون لغو مسیر تغییر داد.

۱۲۷- Swinging overlaps نوعی از حفاظت همپوشانی با استفاده از یک قفل متقاطع شرطی که امکان تغییر همپوشانی را به مسیر دیگری بدون لغو مسیر فراهم می‌کند.

۱۲۸- Shared overlaps دو یا چند همپوشانی به‌طور هم‌زمان به یک بخش مسیر بدون ایجاد تداخل مسیر اعمال می‌شوند.

۱۲۹- Able to swing

نزدیک شدن باید در چراغ خروجی به مسیری که با همپوشانی بعدازآن قفل‌شده ادامه سیر دهد، ابتدا مسیر در چراغ خروجی باید تنظیم شود. پس از سبزکردن چراغ خروجی، می‌توان مسیر نزدیک شدن به آن چراغ را تنظیم کرد. اگرچه نسبت به همپوشانی‌های انتخابی یا نوسانی انعطاف‌پذیری کمتری دارد اما در بسیاری از موارد کافی است.



شکل ۳-۱۱. همپوشانی مشترک

در همپوشانی‌های مشترک، همپوشانی مسیرهای مختلف ممکن است بدون قفل‌کردن مسیرهای مربوطه با یکدیگر همپوشانی داشته باشند (شکل ۳-۱۱). این کار ایمن است زیرا فرض می‌شود که دو قطار به‌طور هم‌زمان از همپوشانی‌های خود نمی‌خواهند عبور کنند. برای فعال کردن همپوشانی مشترک، سوزن‌های همگرا[۱۳۰] که در آن یک همپوشانی با همپوشانی دیگری به هم متصل می‌شوند بازمی‌مانند. این سوزن‌ها باید دارای قفل‌های سوزن انعطاف‌پذیر[۱۳۱] باشند.

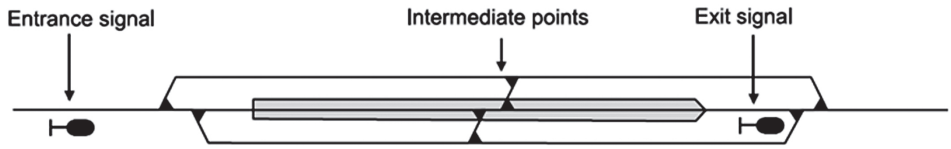
۳-۱-۷: سوزن‌های میانی

سوزن‌های میانی سوزن‌هایی هستند که در خطوط ایستگاه قرار دارند به‌نحوی‌که قطاری که در محل توقف معمول خود توقف می‌کند سوزن‌ها را آزاد نمی‌کند (شکل ۳-۱۲). درحالی‌که چراغ خروجی ایستگاه بعد از سوزن‌های میانی قرار دارد، این سوزن‌ها باید توسط مسیری که از آن چراغ شروع می‌شود قفل شوند؛ بنابراین، مسیر دارای بخشی قبل از چراغ خروجی است که

۱۳۰- trailing points

۱۳۱- Trailable Point سوزنی که در آن ماشین سوزن امکان حرکت قطار از پشت (پاشنه) سوزن را به نحوی فراهم می‌کند که علی‌رغم تنظیم سوزن در جهت مخالف، آسیبی متوجه دستگاه و تجهیزات نشود.

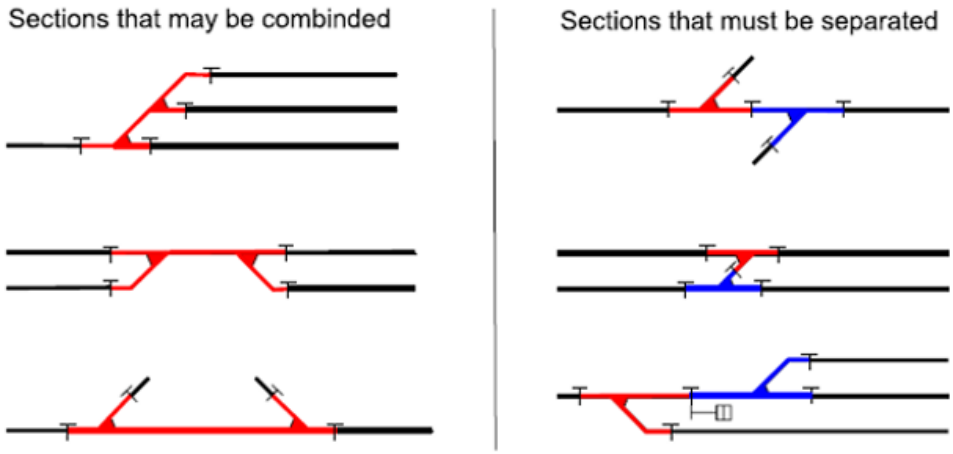
مسیر را مدیریت می‌کند. هنگامی‌که قطار به خط ایستگاه می‌رسد، سوزن میانی یا به همراه همپوشانی آزاد می‌شود، یا تا زمانی که اشغال است به‌صورت قفل‌شده نگه‌داشته می‌شود.



شکل ۳-۱۲. سوزن‌های میانی

۳-۱-۸: تشخیص آزادی خط

برای تشخیص آزادی خط یک سوزن یا گذرگاه به‌صورت ایمن، محدوده تشخیص باید از حد مجاز دگاژ تا حداکثر جلوآمدگی ممکن وسیله نقلیه ریلی جلوتر از محور اول بیشتر باشد. برای راه‌آهن‌های با عرض استاندارد، حد تشخیص آزادی خط شش متر بعد از نقطه دگاژ در نظر گرفته می‌شود. اگر فضای کافی بین سوزن‌ها یا گذرگاه‌های مجاور برای برآوردن شرایط فوق وجود نداشته باشد تا زمانی که عنصر مجاور اشغال‌شده است، سوزن‌ها نباید جابجا شوند.



شکل ۳-۱۳. ترکیب و جداسازی بخش‌های خط توسط سوزن‌های جداکننده

در صورت امکان، سوزن‌ها و گذرگاه‌های مجاور را می‌توان ترکیب کرد و به‌صورت یک خط مشترک در نظر گرفت تا در تعداد مدارخط‌ها یا محورشمارها صرفه‌جویی گردد. این کار تنها در صورتی انجام می‌شود که هیچ تداخلی بین مسیرهای مستقل ایجاد نشود. در شرایط زیر، عناصر کنار خط مجاور باید همیشه از هم جدا شوند (شکل ۳-۱۳):

- اگر مسیرهای موازی روی این عناصر امکان‌پذیر باشد.
- اگر چراغی بین این عناصر قرار گیرد.

همچنین برای جلوگیری از حرکت قطار در بخشی که توسط مناطق جانبی اشغال‌شده مسدود شده یا توسط سوزن‌های کناری اشغال‌شده و نمی‌توان آن‌ها را به موقعیت حفاظتی منتقل کرد، تشخیص آزادی خطوط در هر یک از سوزن‌های مجاور نیز موردنیاز است.

۳-۲: منطق داخلی سیستم‌های اینترلاکینگ

برای طراحی و نصب اینترلاکینگ، تمام عملکردهای محلی مرتبط با اینترلاکینگ که از اصول توضیح داده‌شده در پاراگراف‌های قبلی حاصل می‌شود باید در یک مدل منطقی قرار داده شوند. این مدل هم به‌عنوان سند برنامه‌ریزی برای طراحی اینترلاکینگ برای چیدمان داده‌شده و همچنین به‌عنوان منطق کنترل برای کنترل داخلی سیستم اینترلاکینگ برای آن طرح استفاده می‌شود. برای طراحی چنین مدلی، دو روش وجود دارد:

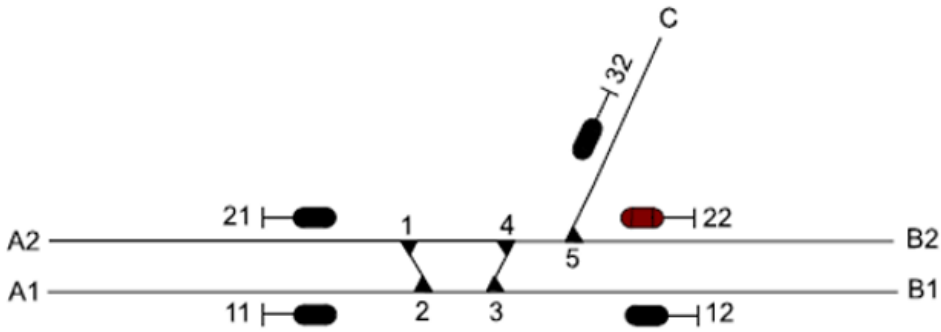
- اینترلاکینگ جدولی[۱۳۲]
- اینترلاکینگ جغرافیایی[۱۳۳]

۳-۲-۱: اینترلاکینگ جدولی

در اینترلاکینگ جدولی، شرایط در هم قفل شدن توسط یک جدول کنترل مسیر (همچنین به‌عنوان برگه قفل‌کردن[۱۳۴]، نمودار قفل‌کردن[۱۳۵] یا جدول اینترلاکینگ[۱۳۶] شناخته می‌شود)

۱۳۲- Tabular interlocking
۱۳۳- Geographical interlocking
۱۳۴- locking sheet
۱۳۵- locking chart
۱۳۶- interlocking table

توصیف می‌شود. در آن جدول، سطرها نشان‌دهنده مسیرها و ستون‌ها نشان‌دهنده شرایط اینترلاکینگ مربوط به این مسیرها هستند. شکل (۳-۱۴) و جدول ۲ اصول کار برای یک مسیر کوچک تک‌خطه منشعب از یک مسیر دوخطه را نشان می‌دهد.



شکل ۳-۱۴. نمونه‌ای از زیربنای ریلی

در این مثال، جدول ۲ فقط شامل تداخل مسیرها و موقعیت سوزن‌ها است. یک جدول کنترل کامل مسیر دارای ستون‌های بیشتری برای تشخیص آزادی مسیر، معیارهای قفل‌کردن و آزادسازی مسیر و توالی نماهای چراغ‌ها می‌باشد. بااین‌حال، برخی از راه‌آهن‌ها جداول جداگانه‌ای برای این مسائل ایجاد می‌کنند.

در اینترلاکینگ مکانیکی بر اساس سیستم سنتی بریتانیا از روش متفاوتی استفاده می‌شود که به قفل آبشاری[۱۳۷] معروف است. در یک سیستم اینترلاکینگ آبشاری، یک مسیر توسط آبشاری از قفل‌ها ایجاد می‌شود که با قفل دائمی و مشروط بین سوزن‌های مختلف و بین سوزن‌ها و چراغ‌ها انجام می‌شود. برای تنظیم یک مسیر، اپراتور باید با ترتیب خاصی اهرم‌ها[۱۳۸] را جابجا کند تا مسیر به‌درستی قفل شود. بااین‌حال، این روش برای سیستم‌های اینترلاکینگ جدید دیگر کاربردی نیست. برای دیدن نمادهای مختلف برگه‌های قفل‌کردن مرجع (پچل، ۲۰۱۸) را ببینید.

۱۳۷- cascade locking
۱۳۸- lever sequence

جدول ۲. جدول کنترل مسیر برای طرح شکل ۳-۱۴

ROUTE	ROUTES LOCKED OUT	POINTS	
		NORMAL	REVERSE
11-B1	11-B2, 11-C, 21-B1, 12-A1, 12-A2, 22-A1, 32-A1	1, 2, 3, 4	
11-B2	11-B1, 11-C, 21-B1, 21-B2, 21-C, 12-A1, 12-A2, 22-A1, 22-A2, 32-A1, 32-A2	1, 2, 5	3, 4
11-C	11-B1, 11-B2, 21-B1, 21-B2, 21-C, 12-A1, 12-A2,22-A1, 22-A2, 32-A1, 32-A2	1, 2	3, 4, 5
21-B1	11-B1, 11-B2, 21-B1, 21-B2, 21-C, 12-A1, 12-A2, 22-A1, 22-A2, 32-A1, 32-A2	3, 4	1, 2
21-B2	11-B2, 11-C, 21-B1, 21-C, 12-A2, 22-A1, 22-A2, 32-A1, 32-A2	1, 2, 3, 4, 5	
21-C	11-B2, 11-C, 21-B1, 21-B1, 12-A2, 22-A1, 22-A2, 32-A1, 32-A2	1, 2, 3, 4	5
12-A1	11-A1, 11-B2, 11-C, 21-B1, 12-A2, 22-A1, 32-A1	1, 2, 3, 4	
12-A2	11-B1, 11-B2, 11-C, 21-B1, 21-B2, 21-C, 12-A1, 22-A1, 22-A2, 32-A1, 32-A2	3, 4	1, 2
22-A1	11-B1, 11-B2, 11-C, 21-B1, 21-B2, 21-C, 12-A1, 12-A2, 22-A1, 22-A2, 32-A1, 32-A2	1, 2, 5	3, 4
22-A2	11-B2, 11-C, 21-B1, 21-B2, 21-C, 12-A2, 22-A1, 22-A2, 32-A2	1, 2, 3, 4, 5	
32-A1	11-B1, 11-B2, 11-C, 21-B1, 21-B2, 21-C, 12-A1, 12-A2, 22-A1, 22-A2, 32-A2	1, 2	3, 4, 5
32-A2	11-B2, 11-C, 21-B1, 21-B2, 21-C, 12-A2, 22-A1, 22-A2, 32-A1	1, 2, 3, 4	5

محتویات جدول کنترل مسیر ممکن است مستقیماً به نرم‌افزار یک اینترلاکینگ رایانه‌ای یا به نمودار سیم‌کشی یک اینترلاکینگ رله‌ای تبدیل شود. منطق داخلی اینترلاکینگ های رله‌ای که از این روش پیروی می‌کنند، منطق «سیم‌کشی مستقل»[۱۳۹] نیز نامیده می‌شود، زیرا طبق جدول کنترل، هر اینترلاکینگ سیم‌کشی خاص خود را دارد. نقص جدول اینترلاکینگ این است که جداول کنترل مسیر ممکن است برای طرح‌های بزرگ بسیار پیچیده شوند. در اینترلاکینگ رله‌ای، طراحی دستی مدار رله بر اساس جدول کنترل مسیر نیز ممکن است به

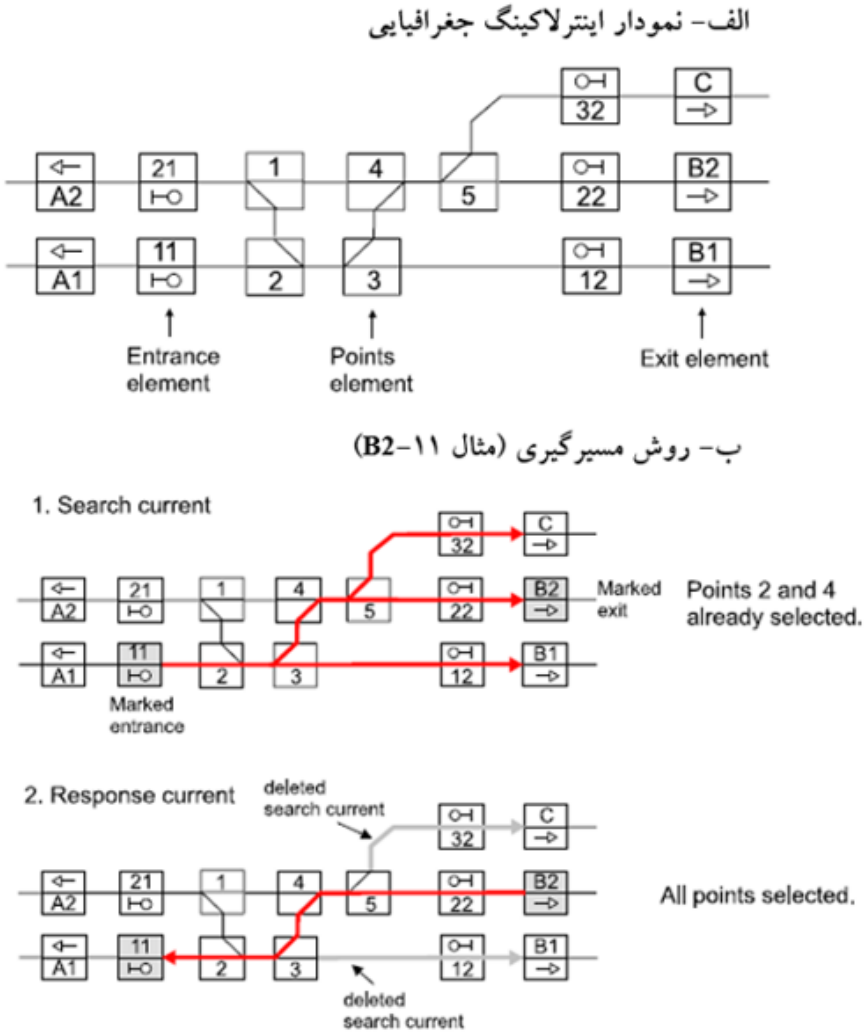
۱۳۹- free-wired

یک کار بسیار پیچیده تبدیل شود. بااین‌حال، جدول اینترلاکینگ هنوز یک روش مناسب برای طراحی سیستم‌های اینترلاکینگ برای چیدمان‌هایی با پیچیدگی متوسط است. این روش در چندین سیستم اینترلاکینگ رایانه‌ای استفاده می‌شود.

۳-۲-۲: اینترلاکینگ جغرافیایی

اینترلاکینگ جغرافیایی برای اولین بار برای سیستم‌های اینترلاکینگ رله‌ای ایجاد شد تا زحمات طراحی برای اینترلاکینگ با چیدمان‌های پیچیده در منطق با سیم‌کشی مستقل کاهش یابد. در اینترلاکینگ های رله‌ای جغرافیایی، هر یک از المان‌های خط دارای رله‌های گروهی از پیش‌ساخته شده می‌باشند، یعنی جعبه‌هایی که حاوی تمام رله‌ها و سیم‌کشی موردنیاز برای کنترل یک المان خاص هستند. رله‌های گروهی دارای سوکت‌هایی هستند که با کابل‌های چند سیمه مطابق با چیدمان مسیر به هم متصل می‌شوند. با اتصال رله‌های گروهی، مدار صحیح برای یک طرح مشخص به‌طور خودکار ظاهر می‌شود. برای عملکردهای خاص، فیش‌های ویژه‌ای را می‌توان به رله‌های گروهی وصل کرد تا سیم‌کشی داخلی را اصلاح کند. این کار طراحی اینترلاکینگ های رله‌ای پیچیده را به‌طور قابل‌توجهی ساده کرد و طراحان علائم دیگر نیازی به طراحی دستی مدار الکتریکی نداشتند. در عوض، آن‌ها نموداری را ایجاد کردند که در آن رله‌های گروهی با جعبه‌هایی نشان داده می‌شوند که با خطوطی که کابل‌های چند سیمی را نشان می‌دهند به هم متصل می‌شوند. برای اتصال فیش‌های مخصوص به رله‌های گروهی خاص، شناسه‌های فیش مربوطه در جعبه‌ها وارد می‌شود.

بعداً همین روش برای سیستم‌های اینترلاکینگ رایانه‌ای با استفاده از نوع مشابهی از نمودارها به کار گرفته شد. در آنجا، جعبه‌ها رله‌های گروهی طولانی‌تری هستند اما عناصر مسیر با المان‌های منطقی نشان‌دهنده می‌شوند. به‌جای شناسه فیش‌ها (ID)، اعدادی که موارد استفاده خاص را نشان می‌دهند در جعبه‌ها وارد می‌شوند.



شکل ۳-۱۵. اینترلاکینگ جغرافیایی

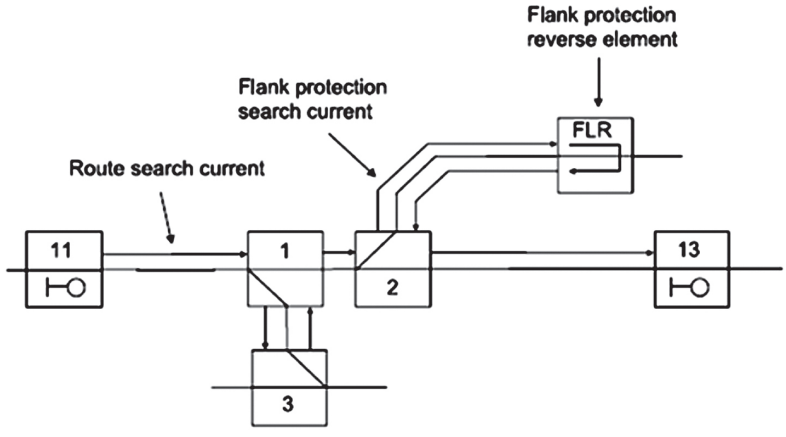
هنگامی‌که یک مسیر در یک سیستم اینترلاکینگ جغرافیایی تنظیم می‌شود، عناصر ورودی و خروجی علامت‌گذاری می‌شوند و یک جریان جستجو از عنصر ورودی مسیر شروع می‌شود. در سوزن‌های روبرو، جریان جستجو به دوشاخه تقسیم می‌شود (شکل ۳-۱۵). اصطلاح "جریان جستجو"[۱۴۰] از اینترلاکینگ رله‌ای گرفته‌شده است، اما به‌صورت مجازی در اینترلاکینگ‌های

۱۴۰- search current

مبتنی بر رایانه نیز استفاده می‌شود. نتیجه کار یک ساختار درختی از جریان‌های جستجو است. هنگامی‌که شاخه‌ای از جریان جستجو عنصر خروجی مسیر را پیدا کرد، یک جریان پاسخ به عنصر ورودی ارسال می‌شود. در این حالت در سوزن‌های روبرو، سایر شاخه‌های جریان جستجو حذف می‌شوند.

درنتیجه این فرآیند، مسیری از ورودی تا خروجی پیداشده است. از مسیرهای متناقض به‌طور خودکار توسط جریان‌های جستجوی همپوشانی اجتناب می‌شود. اگر از یک عنصر ورودی به یک عنصر خروجی مسیرهای مختلفی وجود داشته باشد، برای انتخاب مسیر مناسب از قوانین اضافی دیگری استفاده می‌شود تا یک مسیر مناسب انتخاب گردد.

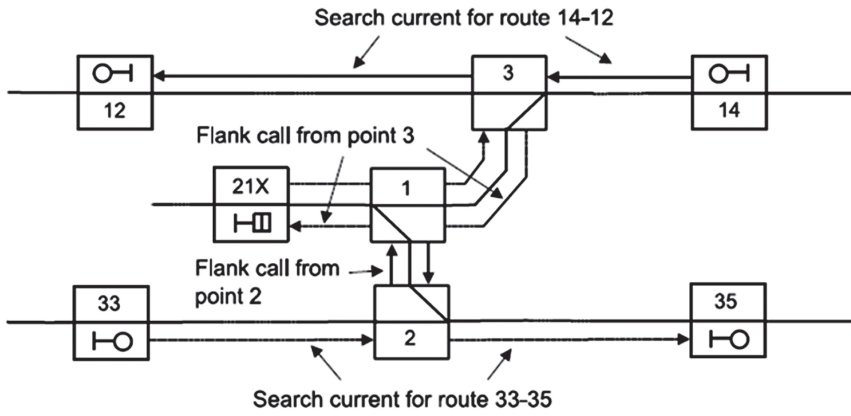
تمام سوزن‌های مسیر نیز یک جریان جستجو برای فراخوانی جانبی به مسیر واگرا ارسال می‌کنند. تنظیم مسیر تنها در صورتی تکمیل می‌شود که فراخوان جانبی از المان محافظ پاسخ مثبت دریافت کند. در مسیرهایی که عنصر محافظی وجود ندارد، جریان جستجو باید توسط یک عنصر معکوس حفاظت جانبی ویژه (مجازی) معکوس شود تا یک پاسخ مثبت ایجاد شود (شکل ۳-۱۶). در برخی از سیستم‌های اینترلاکینگ، المان‌های سوزن‌ها را می‌توان طوری برنامه‌ریزی کرد که فراخوانی جانبی را شروع نکنند، بنابراین دیگر به عناصر معکوس محافظت جانبی نیازی نخواهد بود.



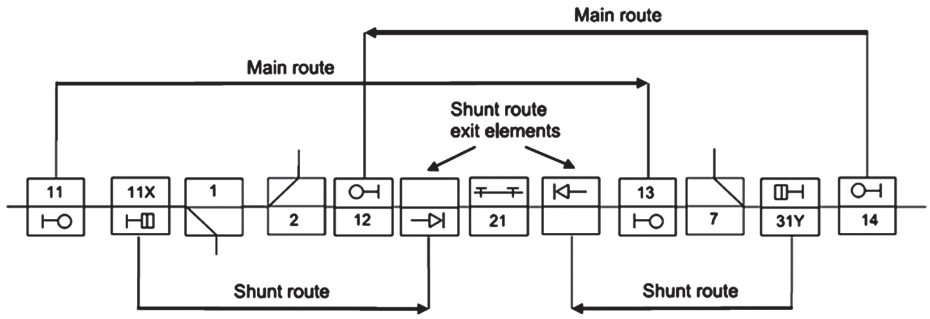
شکل ۳-۱۶. عنصر معکوس حفاظت جانبی

مشکل سوزن‌های حفاظتی انتخابی در هنگام فراخوانی دوگانه برای حفاظت جانبی، با مقررات از پیش تعریف‌شده حل می‌شود زیرا این مقررات نحوه واکنش سوزن‌ها را تعیین می‌کنند. سوزن‌های جانبی به موقعیت حفاظتی مسیر با اولویت بالاتر می‌روند درحالی‌که فراخوان جانبی مسیر با اولویت پایین‌تر، به دنبال جستجوی حفاظت از راه دور هدایت می‌شود. در مثال شکل (۳-۱۷)، سوزن ۱ توسط هر دو سوزن ۲ و ۳ برای حفاظت جانبی فراخوانی شده است. ازآنجایی‌که فراخوانی سوزن ۲ دارای اولویت بالاتر است، فراخوانی با اولویت پایین‌تر از سوزن ۳ به دنبال حفاظت دیگری می‌گردد. جستجوی جانبی درنهایت چراغ مانوری 21X را پیدا می‌کند که حفاظت جانبی از راه دور را برای آن فراهم می‌کند.

در اینترلاکینگ جغرافیایی، مسیرهای متضادی که موقعیت سوزن‌های آن‌ها تفاوتی ندارند، در صورت همپوشانی عناصر خروجی، به‌طور خودکار یکدیگر را قفل می‌کنند. برخی از راه‌آهن‌ها اجازه مسیرهای مانوری مخالفی که به‌طور هم‌زمان به یک مسیر منتهی می‌شوند را می‌دهند. اینکه آیا این کار مجاز است یا نه معمولاً به طول مسیر بستگی دارد. برای فعال کردن چنین مسیرهایی، عناصر خروجی باید به‌گونه‌ای چیده شوند که روی‌هم قرار نگیرند (شکل ۳-۱۷). اگر در خطوط کوتاه‌تر، مسیرهای مانور مخالف باید قفل شوند، عناصر خروجی باید طوری چیده شوند که برای یکدیگر همپوشانی ایجاد کنند.



شکل ۳-۱۷. سوزن‌های حفاظتی در اینترلاکینگ جغرافیایی



شکل ۳-۱۸. قفل مسیر مخالف با همپوشانی عناصر خروجی

۳-۳: نسل‌های سیستم‌های اینترلاکینگ

درحالی‌که اینترلاکینگ رایانه‌ای امروزه فناوری غالب است و تقریباً به‌طور انحصاری در تمام خطوط جدید استفاده می‌شود، اما نسل‌های قدیمی‌تر سیستم‌های اینترلاکینگ هنوز هم در حال استفاده هستند و در برخی کشورها هنوز سهم قابل‌توجهی دارند.

سیستم‌های اینترلاکینگ مکانیکی و الکترومکانیکی

سیستم‌های اینترلاکینگ مکانیکی و الکترومکانیکی توسط مجموعه‌ای از اهرم‌ها کنترل می‌شوند که در آن اهرم‌های سوزن‌ها و چراغ‌ها به‌صورت مکانیکی در هم قفل می‌شوند. توسعه سیستم‌های اینترلاکینگ مکانیکی به اواخر قرن نوزدهم بازمی‌گردد. در اینترلاکینگ مکانیکی، سوزن‌ها و چراغ‌ها توسط نیروی دست اپراتور محلی کار می‌کنند. اهرم‌ها باسیم مکانیکی یا میله انتقال به عناصر کنترلی مسیر متصل می‌شوند. برای جبران فقدان نظارت الکتریکی موقعیت سوزن‌ها، سوزن‌های روبرو اغلب به یک قفل نقطه‌ای مستقل مجهز می‌شوند که توسط یک اهرم جداگانه کار می‌کند. ازآنجایی‌که حداکثر فاصله کنترل سوزن‌ها به حدود ۴۰۰ متر محدود می‌شود (برای چراغ‌ها در حدود ۱۲۰۰ متر)، مسیرهای بزرگ اغلب به چند ایستگاه اینترلاکینگ باکارکنان محلی تقسیم می‌شوند. اولین سیستم‌های اینترلاکینگ الکترومکانیکی در آغاز قرن بیستم توسعه یافتند. در اینترلاکینگ الکترومکانیکی، سوزن‌ها و چراغ‌ها یا توسط موتورهای الکتریکی یا الکتروپنوماتیک کنترل می‌شوند. قاب اهرمی متشکل از اهرم‌های مینیاتوری است

که درواقع کلیدهای الکتریکی هستند اما همچنان به‌صورت مکانیکی در هم قفل می‌شوند. در این حالت موقعیت سوزن‌ها به‌صورت الکتریکی نظارت می‌شود.

درحالی‌که این سیستم‌ها بیش از ۱۰۰ سال پیش توسعه‌یافته‌اند، اما هنوز هم سیستم‌های اینترلاکینگ آن نسل، حتی در برخی از کشورهای توسعه‌یافته ولی خارج از شبکه اصلی، در حال استفاده هستند. بااین‌حال، انتظار می‌رود که آن‌ها در یک دهه آینده جمع‌آوری شوند.

سیستم‌های اینترلاکینگ رله‌ای

در سیستم‌های اینترلاکینگ رله‌ای، منطق کنترل توسط مدارات رله‌ای و بدون هیچ عنصر مکانیکی محقق می‌شود. مدار ممکن است بر اساس اینترلاکینگ جدولی با یک منطق سیم آزاد یا بر اساس اینترلاکینگ جغرافیایی باشد. سوزن‌ها و چراغ‌ها دیگر توسط اهرم‌ها کار نمی‌کنند، بلکه معمولاً توسط دکمه‌های فشاری ساده در پانل مسیر جغرافیایی چراغ‌دار قرار دارند. توسعه سیستم‌های اینترلاکینگ رله‌ای از دهه ۱۹۲۰ آغاز شد و در نیمه دوم قرن بیستم فن‌آوری غالب بودند. در بسیاری از کشورها، تعداد زیادی از این سیستم‌ها هنوز هم استفاده می‌شود. حتی در برخی از کشورها، این سیستم‌ها هنوز هم فناوری غالب هستند.

سیستم‌های اینترلاکینگ یارانه‌ای

در یک سیستم اینترلاکینگ مبتنی بر یارانه، منطق کنترل توسط نرم‌افزار پیاده‌سازی می‌شود. اولین سیستم‌های اینترلاکینگ یارانه‌ای در دهه ۱۹۸۰ توسعه یافتند. در دهه ۱۹۹۰، راه‌آهن‌های زیادی برای خطوط جدید به جای اینترلاکینگ رله‌ای از اینترلاکینگ رایانه‌ای استفاده کردند. در بسیاری از راه‌آهن‌ها، اینترلاکینگ رایانه‌ای قادر به کنترل تعداد المان‌های بیشتری از مسیر نسبت به نسل‌های قدیمی‌تر اینترلاکینگ می‌باشد.

قفل اینترلاکینگ سوزن‌های دستی[۱۴۱]

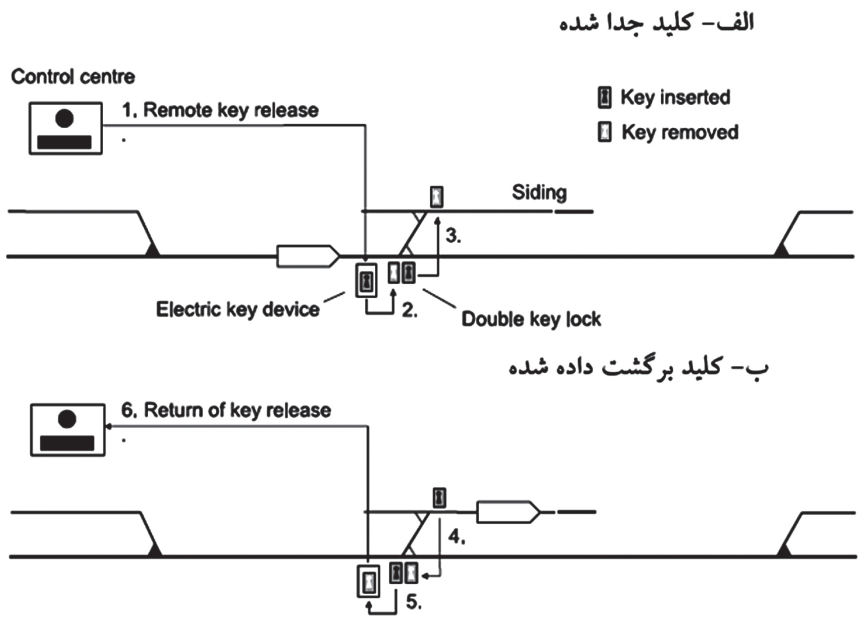
قفل اینترلاکینگ برای قفل‌کردن سوزن‌های دستی که در آن یک انشعاب به مسیر اصلی متصل است استفاده می‌شود. این ویژگی در تمام نسل‌های سیستم‌های اینترلاکینگ یافت می‌شود.

۱۴۱- Key Interlocking of Hand-throw Points

برای قفل اینترلاکینگ، سوزن‌های دستی مجهز به یک قفل سوزن برای هر موقعیتی هستند که می‌توان سوزن‌ها را در آن حالت قفل کرد. قفل اینترلاکینگ به‌گونه‌ای طراحی‌شده است که تنها زمانی می‌توان کلید را از قفل خارج کرد که سوزن‌ها به‌درستی قفل‌شده باشند. برخی از سوزن‌ها ممکن است مجهز به قفل‌های دوبل باشند به‌گونه‌ای که با باز کردن قفل سوزن‌ها، کلید دیگری برای باز کردن سایر سوزن‌ها آزاد شود.

معمولاً کلید در یک دستگاه کلید الکتریکی که توسط سیستم اینترلاکینگ کنترل می‌شود نگه‌داری می‌شود. هنگامی‌که یک مسیر از طریق سوزن‌ها تعیین می‌شود، کلید به‌صورت الکتریکی در آن دستگاه قفل می‌شود. دستگاه کلید الکتریکی توسط سیستم اینترلاکینگ مانند یک المان کنار خط کنترل می‌شود. موقعیت مناسب سوزن‌ها با حضور کلید مربوطه در دستگاه بررسی می‌شود. قفل‌کردن با قفل‌کردن کلید در دستگاه و جلوگیری از برداشتن آن برای باز کردن قفل سوزن‌ها انجام می‌شود.

برای مجوز دادن به یک حرکت مانور برای رفتن به خطوط مانوری، کلید الکتریکی توسط مرکز کنترل آزاد می‌شود (شکل ۳-۱۹ الف). هنگامی‌که کلید برداشته شد، یکی از مأمورین مانور قفل را باز می‌کند تا سوزن‌های خروجی مسیر اصلی را جابجا کند. این قفل اغلب به‌عنوان قفل دوکلیده طراحی می‌شود که کلید دیگری را برای باز کردن یک سوزن جانبی یا یک خارج کننده از ریل که از مسیر اصلی محافظت می‌کند آزاد می‌کند. پس از آزادی مسیر اصلی، یکی از مأمورین مانور سوزن‌ها را به موقعیت نرمال منتقل، همه‌چیز را قفل و کلید نهایی را به دستگاه کلید الکتریکی برمی‌گرداند (شکل ۳-۱۹ ب). اکنون مرکز کنترل می‌تواند مسیرها را برای قطارهایی که از مسیر اصلی عبور می‌کنند تنظیم کند.



شکل ۳-۱۹. نمونه‌ای از کلید اینترلاکینگ

۳-۴: رسیدگی به خرابی‌های اینترلاکینگ

اگر چراغ تحت کنترل اینترلاکینگ طبق انتظار سبز نشود، سه دلیل ممکن وجود دارد:

- مسیر توسط اینترلاکینگ پذیرفته‌نشده است (عدم قبول مسیر).
- مسیر توسط اینترلاکینگ رد نشده، اما تنظیم مسیر به‌درستی تکمیل‌نشده است.
- برای چراغ‌های اینترلاکینگ منتهی به یک بلاک: مسیرگیری رد نشده است اما چراغ اینترلاکینگ توسط سیستم بلاک قفل‌شده است.

قبل از هر اقدامی تحت مسئولیت کارکنان برای دور زدن حالت‌های فوق، اپراتور باید ابتدا تشخیص دهد که کدام‌یک از این سه وضعیت رخ‌داده است. اگر مسیر توسط سیستم اینترلاکینگ رد شود، اپراتور ابتدا باید بررسی کند که آیا مسیر هنوز با حرکات متناقض قفل‌شده است، به‌صورت دستی روی پانل و توسط عناصر کنار خط قفل‌شده است، یا توسط عناصر کنار خط و پس از عبور قطار یا عملیات مانور هنوز به‌درستی آزاد نشده‌اند، قفل است. اگر مسیر همچنان با یک حرکت متناقض مسدود شود، اپراتور باید منتظر بماند تا آن حرکت

عناصر خط مربوطه را آزاد کند. اگر مسیر توسط عناصر کنار خط و به‌صورت دستی روی پانل قفل‌شده‌اند، اپراتور باید بررسی کند که آیا برداشتن قفل‌ها ایمن است یا صبر کند تا انجام این کار ایمن گردد. اگر عناصر کنار خط پس از آخرین حرکت به‌درستی آزاد نشده باشند، اپراتور باید بررسی کند که آخرین حرکت به‌طور ایمن عناصر مربوطه را آزاد کرده باشد. در این صورت، آزادسازی اضطراری مسیر ایمن خواهد بود. روش ایمن برای آزادسازی اضطراری مسیر بستگی بسیاری به قوانین بهره‌برداری و اصول اینترلاکینگ راه‌آهن‌ها دارد. درحالی‌که برخی از راه‌آهن‌ها آزادسازی اضطراری مسیر را فقط با ثبت خودکار اعمال می‌کنند، اکثر راه‌آهن‌ها اجرای فرمان آزادسازی را با تأخیر زمانی انجام می‌دهند.

اگر تنظیم مسیر به‌درستی تکمیل‌نشده باشد، اپراتور باید عناصری از مسیر را که مانع از آزاد شدن چراغ می‌شوند را شناسایی کند. سپس، یک مسیرگیری ایمن باید تحت مسئولیت کارکنان انجام شود. در این صورت، سه حالت مختلف وجود دارد:

- مسیر قفل‌شده است و در رابط کاربری نمایش داده می‌شود.
- مسیر قفل نیست اما موقعیت همه عناصر متحرک مسیر در رابط کاربری به‌درستی نشان داده‌شده است.
- مسیر قفل نیست اما موقعیت عناصر متحرک مسیر را نمی‌توان در رابط کاربری چک کرد.

اگر مسیر قفل‌شده باشد و به‌درستی در رابط کاربری نمایش داده شود، اپراتور ممکن است اعتماد کند که تمام عناصر متحرک مسیر در موقعیت مناسب قفل‌شده‌اند. در این حالت نیازی به اعمال قفل دستی برای عناصر کنار خط در رابط کاربری نیست. قبل از اجازه دادن به‌قطار برای عبور از چراغ در موقعیت توقف، اپراتور فقط باید بررسی کند که مسیر آزاد است یا در صورت عدم امکان، به‌قطار دستور دهد که مسیر را بااحتیاط و رؤیت ادامه دهد. اگر مسیر قفل نباشد، اپراتور باید تمام عناصر متحرک مسیر را به‌صورت دستی در موقعیت مناسب قرار دهد و با اعمال قفل‌های دستی روی رابط کاربری، آن‌ها را ایمن کند. اگر قفل مسیر در کار نباشد و موقعیت عناصر متحرک مسیر را نتوان بر روی رابط کاربری بررسی کرد، عناصر مربوطه باید در محل با اعمال قفل کلید (کیلاک) مکانیکی ایمن شوند. در عملیات متمرکز، این کار معمولاً

توسط یک مأمور نگهداری انجام می‌شود که باید تأیید کند که عناصر در موقعیت مناسب ایمن شده‌اند. نیاز به اعمال قفل در محل ممکن است منجر به تأخیر زیادی شود. در تمام مواردی که قفل مسیر اجرا نمی‌شود، قبل از اجازه دادن به‌قطار برای عبور از چراغ‌قرمز باید تنظیم خودکار سوزن خاموش شود تا از جابجایی ناخواسته سوزن در مسیر جلوگیری شود.

در تمام مواردی که قطار مجاز است از چراغ قرمزی که به بلاک منتهی می‌شود، عبور کند، علاوه بر رویه‌هایی که در اینجا توضیح داده شد، اپراتور هم باید رویه‌های حالت حرکت با حکم احتیاط را برای سیستم بلاک اعمال کند که در بخش خرابی‌های روی سیستم بلاک توضیح داده‌شده است.

گاهی اوقات، ممکن است نیاز به لغو یک مسیر قفل‌شده بدون عبور قطار ایجاد شود. به‌عنوان‌مثال وضعیتی است که در آن چراغ برای خروج قطار از خط سکو سبز شده است اما قطار به دلیل مشکل موتوری نمی‌تواند حرکت کند. در چنین حالتی، اپراتور باید چراغ را قرمز و مسیر را لغو کند. مثال دیگر انتخاب یک مسیر اشتباه است.

این حالت ممکن است به علت اشتباه اپراتور یا نقص در سیستم تنظیم خودکار مسیر رخ دهد. تا زمانی که هیچ قطاری به چراغ هدایت مسیر نزدیک نمی‌شود، همیشه می‌توان مسیر را لغو کرد. با نزدیک شدن قطار، قبل از آزادکردن مسیر تحت مسئولیت کارکنان، اپراتور ابتدا باید چراغ را قرمز کند. در راه‌آهن‌هایی که لغو یک مسیر با نزدیک شدن قطار با قفل زمانی محافظت نمی‌شود، اپراتور باید قبل از آزاد کردن مسیر مطمئن شود که قطار به‌طور ایمن متوقف‌شده است.

فصل ۴

حفاظت خودکار قطار

فصل ۴

حفاظت خودکار قطار

سیستم‌های حفاظت خودکار قطار[۱۴۲] (ATP) اطلاعات مربوط به مجوزهای سیر و محدودیت‌های سرعت را از خط به قطار منتقل می‌کنند تا در صورت نقض موارد فوق توسط قطار، ترمز خودکار قطار را فعال کنند. در کنترل قطار با چراغ‌های کنار خط، سیستم ATP با چراغ‌های کنار خط هماهنگ می‌شود تا از توقف قطار قبل از چراغ‌قرمز مطمئن گردد. در خطوط با علائم داخل کابین، سیستم ATP اطلاعات مسیر را از سیستم علائم داخل کابین دریافت می‌کند.

۴-۱: طبقه‌بندی سیستم‌های ATP

در مورد نحوه انتقال داده بین خط و قطار، یک تمایز کلی بین سیستم‌های ATP ناپیوسته[۱۴۳] و پیوسته وجود دارد. در یک سیستم ATP ناپیوسته، داده‌ها در نقاط مجزا در طول خط به قطار منتقل می‌شوند. نقاط انتقال داده معمولاً در کنار چراغ‌ها و گاهی اوقات در مکان‌های خاص بین چراغ‌ها ارائه می‌شوند. درحالی‌که راه‌حل‌های مختلفی برای انتقال داده در سیستم‌های موجود وجود دارد، ولی رایج‌ترین راه‌حل استفاده از فرستنده‌های القایی[۱۴۴] است. سیستم‌های ATP ناپیوسته عمدتاً به چراغ‌های کنار خط اضافه می‌شوند و هدف اصلی آن‌ها جلوگیری از عبور قطارها از چراغ‌های توقف است.

هنگام نزدیک شدن به یک چراغ توقف، قطار اولین داده را در ابتدای خط ترمز دریافت می‌کند. با انتقال این داده، ATP نظارت بر منحنی ترمز را آغاز می‌کند و قطار را مجبور می‌کند

۱۴۲- Automatic Train Protection
۱۴۳- intermittent
۱۴۴- Inductive transponders

تا سرعت خود را کاهش دهد تا بتواند در فاصله همپوشانی متوقف شود. در صورت نقض سرعت مجاز در نزدیکی چراغ توقف، قطار قبل از نقطه خطر متوقف می‌شود. هنگام عبور قطار از چراغ سبز، نقطه ارسال داده در کنار چراغ سرعت مجاز جدید خط مقابل را در واحد روی لکوموتیو به‌روزرسانی می‌کند. برای جلوگیری از تأثیر منفی کاهش سرعت قطارها هنگام نزدیک شدن به چراغ بر ظرفیت خط برای دریافت سرعت جدید در کنار پایه چراغ، ممکن است نقاط انتقال داده اضافی‌ای قبل از نزدیک شدن به چراغ ارائه شود. پس از سبز شدن چراغ، هنگام عبور از محل ارسال داده تکمیلی، محدودیت سرعت فوراً به‌روزرسانی می‌شود.

سیستم‌های ATP پیوسته داده‌های کنترلی را به‌طور پیوسته از خط به قطار منتقل می‌کنند. این سیستم ATP را قادر می‌سازد نه‌تنها از قطار محافظت کند بلکه آن را هدایت نیز کند. داده‌های کنترلی ارسال‌شده به قطار بر روی نمایشگر علائم داخل کابین نشان داده می‌شود. در این حالت چراغ‌های کنار خط دیگر موردنیاز نمی‌باشند، اما برای عملیات با حکم احتیاط هنوز نیاز می‌باشند. برای انتقال داده از روش‌های زیر استفاده می‌شود:

- انتقال داده توسط مدارخط‌های کدگذاری شده (کد پالسی یا فرکانسی)
- انتقال داده با استفاده از آنتن کابلی حلقوی
- انتقال داده به صورت رادیویی و ترکیب آن با فرستنده‌ها به‌منظور تعیین مکان قطار

امروزه تعداد زیادی سیستم‌های ATP ملی مختلف وجود دارند. همچنین، هنوز هم راه‌آهن‌هایی وجود دارند که یا اصلاً سیستم ATP ندارند یا فقط سیستم‌های بسیار ساده‌شده‌ای از آن را دارند. در حال حاضر، سه پروژه بزرگ بین‌المللی ATP برای جایگزین کردن با سیستم‌های قدیمی و با قابلیت همکاری بهتر و استفاده در تمام خطوط جدید وجود دارد:

- سیستم کنترل قطار اروپایی[۱۴۵] (ETCS)
- سیستم کنترل قطار چینی[۱۴۶] (CTCS)
- سیستم کنترل قطار کامل آمریکای شمالی[۱۴۷] (PTC)

۱۴۵- The European Train Control System
۱۴۶- The Chinese Train Control System
۱۴۷- The North American Positive Train Control System

خطوط موجود دارای سیستم‌های قدیمی‌تر ATP به‌تدریج با سیستم‌های تحت پوشش این پروژه‌ها جایگزین می‌شوند. به همین دلیل پاراگراف‌های زیر بر اصول پشت این سه سیستم تمرکز دارند. برای شرح اصول مورداستفاده در سیستم‌های قدیمی‌تر ATP، نگاه کنید به (Th-eeg & Vlasenko، 2020).

۴-۲: سیستم کنترل قطار اروپایی (ETCS)

برای سیستم راه‌آهن اروپا، یکی از چالش‌های بزرگ بهبود قابلیت همکاری بین راه‌آهن‌ها است. یکی از نکات کلیدی که در عملیات برون‌مرزی باید حل شود، قابلیت همکاری سیستم‌های ATP است. درحالی‌که در خطوط اصلی اروپا، ATP یک ویژگی استاندارد است، ولی سیستم‌های ATP موجود دارای تنوع بسیار زیادی هستند (بیلی، ۱۹۹۵). به‌جز در موارد خاص، سیستم‌های ATP در مرز راه‌آهن‌های اروپایی متفاوت هستند. امروزه تنها راه‌حل برای عملیات برون‌مرزی تعویض لکوموتیو در مرز کشورها یا استفاده از لکوموتیوهای با تجهیزات چندگانه گران‌قیمت است. لذا پروژه ETCS برای غلبه بر این وضعیت راه‌اندازی شد.

۴-۲-۱: سیستم‌های ETCS و ERTMS

ETCS مخفف سیستم کنترل قطار اروپایی است و یکی از زیر پروژه‌های سیستم مدیریت ترافیک ریلی اروپا[۱۴۸] (ERTMS) است. درحالی‌که ETCS بخش کنترل قطار ERTMS را شامل می‌شود، سایر لایه‌های ERTMS عبارت‌اند از سیستم اطلاعاتی ردیابی قطارها در کریدورهای بین‌المللی، هماهنگ کردن سیستم‌های اینترلاکینگ (هنوز در مراحل اولیه) و ارتباطات صوتی و داده‌ای مبتنی بر ارتباط رادیویی (Winter, 2009). ایده پروژه ETCS این است که به‌تدریج سیستم‌های ATP موجود را با یک سیستم کنترل قطار پیشرفته مبتنی بر ارتباطات جایگزین کند. در سیستم ETCS، اطلاعات کنترل قطار را می‌توان توسط فرستنده (یوروبالیس[۱۴۹])، آنتن‌های حلقوی کوتاه (یوروولوپ[۱۵۰]) یا توسط رادیو دیجیتال منتقل کرد.

۱۴۸- European Rail Traffic Management System
۱۴۹- Eurobalises
۱۵۰- Euroloops

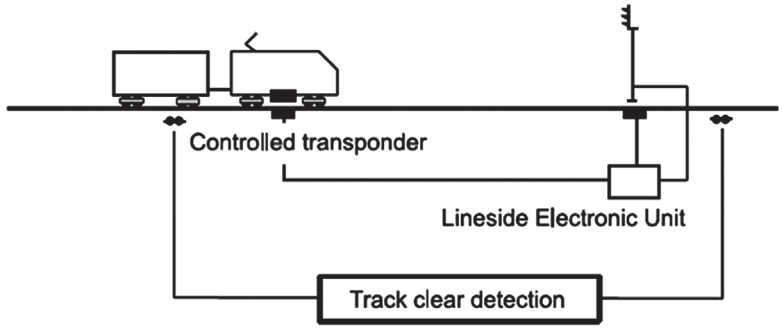
البته سیستم رادیو دیجیتال بخشی از پروژه کلان ERTMS و خارج از ETCS است، و قادر است ارتباط بی‌سیم موردنیاز در سطوح بالاتر ETCS را فراهم کند. امروزه ارتباطات رادیویی ERTMS هنوز بر اساس قابلیت‌های سیستم GSM-R استوار است که دارای برخی ویژگی‌های خاص علاوه بر استاندارد عمومی GSM است. ازآنجایی‌که GSM در حال حاضر یک استاندارد ارتباطات سیار در حال منسوخ‌شدن است، لذا در سال‌های آینده این سیستم با سیستم FRMCS (سیستم آینده ارتباطات سیار راه‌آهن[۱۵۱]) که مبتنی بر فناوری رادیویی نسل پنج ۵G است، جایگزین خواهد شد.

۴-۲-۲: سطوح ETCS

بر اساس فن‌آوری‌های ارتباطی مختلف، سطوح مختلفی برای تجهیزات کنار خط سیستم ETCS مشخص‌شده است (استنلی، ۲۰۱۱). سطوح مختلف ETCS را می‌توان با نیازهای عملیاتی مختلف تطبیق داد. البته در تمامی این سطوح از تجهیزات داخل کابین یکسانی استفاده می‌شود.

ETCS سطح ۱

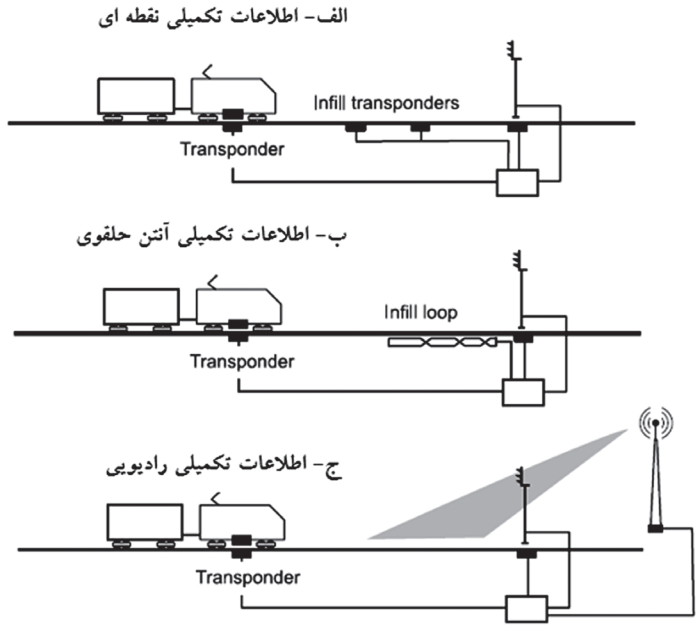
در سطح ۱، ETCS به‌عنوان یک سیستم ATP ناپیوسته پیشرفته کار می‌کند. اطلاعات کنترل قطار توسط فرستنده‌های کنترل‌شده که اطلاعات خود را از سیستم علائم سنتی از طریق یک واحد الکترونیکی کنار خط دریافت می‌کنند، به قطار منتقل می‌شود (شکل ۴-۱).



شکل ۴-۱. ETCS سطح ۱

هنگام نزدیک شدن قطار به چراغ توقف، یک فرستنده در ابتدای خط ترمز، منحنی نظارت بر ترمز را به قطار منتقل می‌کند. قطار باید از این منحنی تبعیت کند تا اینکه اطلاعات جدیدی مبنی بر سرعت آزاد دریافت کند. با تبعیت از این منحنی سرعت می‌توان از چراغ عبور کرد. اگر راننده از چراغ توقف با سرعت آزاد عبور کند، قطار یک فرمان ترمز اضطراری دریافت می‌کند تا در داخل ناحیه همپوشانی به‌طور ایمن توقف کند. این سیستم تضمین می‌کند که قطار هرگز نقطه خطر در انتهای ناحیه همپوشانی (به‌اصطلاح مکان نظارت‌شده) را رد نمی‌کند. اگر چراغ در این فاصله سبز شده باشد، فرستنده کنار چراغ، سرعت مجاز بخش بعدی را به واحد داخل کابین منتقل می‌کند تا قطار با سرعت مجاز به مسیر خود ادامه دهد.

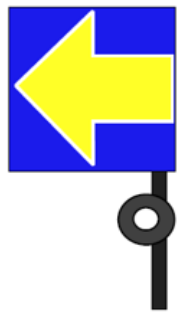
برای بهبود ظرفیت، قطاری که به چراغ توقف نزدیک می‌شود، ممکن است پس از سبز شدن چراغ با دریافت اطلاعات تکمیلی، منحنی نظارت ترمز را حذف نماید. همان‌طور که در شکل (۴-۲) نشان داده‌شده است، اطلاعات تکمیلی ممکن است توسط فرستنده‌های اضافی (تکمیلی نقطه‌ای)، یک آنتن حلقوی (تکمیلی حلقوی)، یا توسط رادیو دیجیتال (تکمیلی رادیویی) ارائه شود.



شکل ۴-۲. روش‌های تکمیلی ارسال اطلاعات برای ETCS سطح ۱

در ETCS سطح ۱، دو سطح فرعی به نام‌های «نظارت کامل»[۱۵۲] و «نظارت محدود»[۱۵۳] وجود دارد. در نظارت کامل، سرعت قطار به‌طور دائم توسط ETCS نظارت می‌شود. اگر اطلاعات تکمیلی حلقوی یا رادیویی در تمام نقاطی که ممکن است محدودیت سرعت وجود داشته باشد ارائه شود، قطارها می‌توانند بدون نیاز به چراغ‌های کنار خط توسط علائم داخل کابین مدیریت شوند. در صورت عدم وجود چنین اطلاعات تکمیلی، برخی چراغ‌های کنار خط هنوز هم موردنیاز خواهند بود. پس از توقف قطار در یک چراغ، مجوز ادامه حرکت توسط ETCS قابل‌انتقال نیست. ولی پس از سبز شدن چراغ، راننده می‌تواند با سرعت مجاز شروع به حرکت کند. هنگامی‌که قطار به فرستنده کنار چراغ رسید، سیستم لکوموتیو مجوز حرکت الکترونیکی را می‌خواند و نمایشگر داخل کابین آن را نمایش می‌دهد.

این فرایند نیازی به چراغ‌های کاملاً تحت کنترل اینترلاکینگ و بلاک ندارد. در عوض، تابلو نشانگر بلاک با یک نمای چراغ تکی که نشان می‌دهد فرستنده دارای یک مجوز معتبر است راه‌حلی کافی است (شکل ۴-۳). بااین‌حال، چراغ‌های مجهز کامل برای عملیات با حکم احتیاط ممکن است لازم باشد.



شکل ۴-۳. تابلوی نمایش بلاک ETCS با نمایشگر مجوز

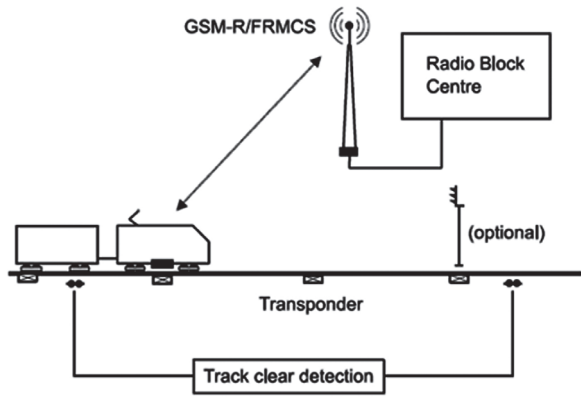
در حالت نظارت محدود، ETCS عملکرد یک سیستم ATP ناپیوسته سنتی را تقلید می‌کند. در این حالت، قطارها همیشه توسط چراغ‌های کنار خط کنترل می‌شوند درحالی‌که نظارت ETCS نیز در پس‌زمینه کار می‌کند.

۱۵۲- full supervision
۱۵۳- limited supervision

ETCS سطح ۲

در سطح ۲، ETCS به‌عنوان یک سیستم ATP پیوسته کار می‌کند که در آن داده‌های کنترل قطار توسط رادیو دیجیتال منتقل می‌شود (شکل ۴-۴). فرستنده‌های ثابت در طول خط به‌عنوان نقاط مرجع («کیلومتر شمار الکترونیکی»[۱۵۴]) برای سیستم مکان‌یابی قطار در داخل کابین استفاده می‌شوند.

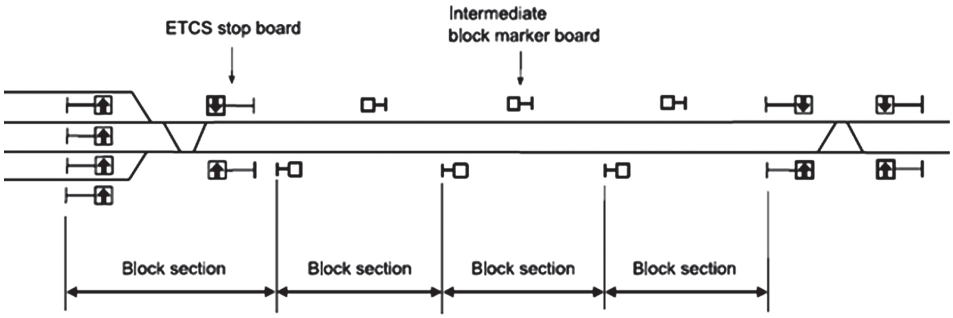
در بازه‌های زمانی مشخص، قطارها به‌طور خودکار داده‌های مکانی خود را به مرکز بلاک رادیویی[۱۵۵] (RBC) ارسال می‌کنند تا مجوزهای حرکت را به قطارها صادر کنند. بااین‌حال، جداسازی مناسب قطارها هنوز هم توسط بلاک‌های ثابت مجهز به فناوری تشخیص آزادی مسیر سنتی (مدارهای خط یا محورشمارها) انجام می‌شود. در این حالت چراغ‌های کنار خط موردنیاز نیستند، اما ممکن است برای عملیات در حالت با حکم احتیاط لازم باشند. بیشتر راه‌آهن‌ها ترجیح می‌دهند بجای چراغ‌های کنترلی از تابلوهای جایگزین بلاک ETCS استفاده کنند، در این صورت قطارها نباید بدون مجوز معتبر از آن‌ها عبور کنند (تابلو توقف ETCS). بسته به مقررات سیر و حرکت هر راه‌آهن، بلاک‌های میانی نیز ممکن است توسط تابلوهای نشانگر بلاک مشخص شوند. ازآنجایی‌که این تابلوهای بلاک علامت توقف مطلق را ارائه نمی‌دهند، طراحی آن‌ها با تابلوهای توقف متفاوت است (شکل ۴-۵).



شکل ۴-۴. ETCS سطح ۲

۱۵۴- electronic mileposts
۱۵۵- Radio Block Centre

برخی راه‌آهن‌ها از تابلوهای توقف با علامت P استفاده می‌کنند که به معنی قابل‌عبور است، درحالی‌که راه‌آهن‌های دیگر از طراحی کاملاً متفاوتی استفاده می‌کنند. با توجه به قوانین مختلف برای عملیات مانور، برخی راه‌آهن‌ها از تابلوهای ETCS خاصی برای وسایل نقلیه ریلی در حال عملیات مانور در حالت ETCS استفاده می‌کنند، درحالی‌که راه‌آهن‌های دیگر این کار را نمی‌کنند.

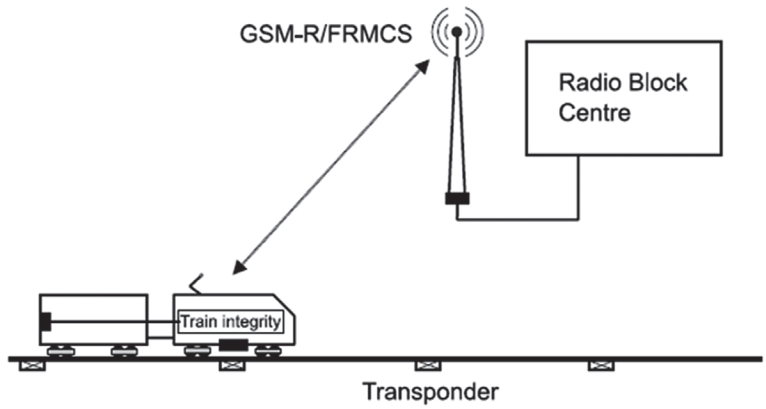


شکل ۴-۵. علامت‌گذاری ETCS سطح ۲ بر روی مسیر بدون چراغ‌های کنار خط

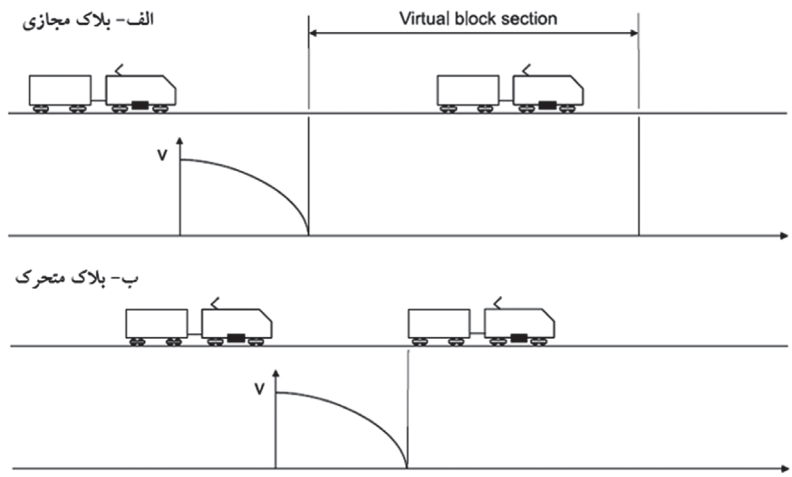
ETCS سطح ۳

در ETCS سطح ۳ ، سیستمِ بررسی یکپارچگی قطار (کامل بودن قطار) به سیستم اضافه می‌شود. این امر نیاز به بلاک‌های ثابت برای تشخیص آزادی مسیر را از بین می‌برد (شکل ۴-۶). برخلاف سطوح ۱ و ۲، ETCS سطح ۳ نه‌تنها دارای یک سیستم ATP و علائم داخل کابین است، بلکه دارای سیستم جداسازی قطارها مبتنی بر ارتباط رادیویی نیز می‌باشد که جایگزین سیستم بلاک سنتی می‌شود. بسته به نیازهای عملیاتی، جداسازی قطارها می‌تواند توسط بلاک مجازی یا متحرک انجام شود.

در حالت بلاک مجازی، بلاک‌های مجازی توسط رایانه کنترلی و بدون داشتن بلاک فیزیکی واقعی، در خط ایجاد می‌شوند. اطلاعات مکانی دریافت شده از قطارها توسط سیستم رادیویی به اطلاعاتی تبدیل می‌شود که بخش‌های بلاک مجازی اشغال‌شده و آزاد را نشان می‌دهد. مجوز سیر قطار با اختصاص تعدادی بلاک به قطار ارائه می‌شود. پایان مجوز سیر درهرصورت انتهای یک بلاک مجازی است (شکل ۴-۷الف).



شکل ۴-۶. ETCS سطح ۳



شکل ۴-۷. بلاک مجازی و بلاک متحرک

بسته به میزان ترافیک، نحوه بهره‌برداری می‌تواند با تغییر در بلاک‌های مجازی توسط رایانه، تغییر کند. در یک سیستم بلاک متحرک مبتنی بر رادیو، یک قطار مسیر پشت سرخود را مطابق با موقعیت مکانی قطار بعدی آزاد می‌کند (شکل ۴-۷ ب). بلاک متحرک فقط در خطوط با تراکم ترافیک بسیار بالای یک‌طرفه با پروفیل‌های سرعت هماهنگ مناسب است. در بسیاری از موارد، بلاک مجازی راه‌حل کارآمدتری می‌باشد.

به دلیل عدم وجود فناوری سنتی تشخیص آزادی خط، چراغ‌های کنار خط برای عملیات حالت با حکم احتیاط نمی‌توانند استفاده شوند. ازآنجایی‌که هنوز راه‌حل مناسبی برای بررسی یکپارچگی قطار توسط قطار پیدا نشده است، راه‌آهن‌ها در حال حاضر علاقه جدی به سطح ETCS 3 نشان نمی‌دهند.

ETCS سطح STM

ETCS سطح STM در اصل بخشی از مشخصات ETCS نبود اما بعداً اضافه شد. STM مخفف کلمات ماژول انتقال خاص[۱۵۶] است. این دستگاه خاصی روی قطار است که وسیله نقلیه ریلی دارای سیستم ETCS را قادر می‌سازد تا در خطوطی که هنوز به ETCS مجهز نشده‌اند اما با یک سیستم قدیمی‌تر ATP کار می‌کنند حرکت کند. برای این کار، وسایل نقلیه ریلی باید به آنتن‌های موردنیاز برای خواندن اطلاعات ارائه‌شده توسط سیستم قدیمی مجهز شوند. در STM، داده‌های دریافتی از سیستم‌های قدیمی به فرمت داده ETCS تبدیل می‌شود تا اطلاعات کنترلی را بتوان در رابط کاربری ETCS به لکوموتیوران نمایش داد. بااین‌حال، میزان کنترل و حفاظت بسیار به قابلیت‌های سیستم قدیمی بستگی دارد. درحالی‌که راننده یک رابط کاربری ETCS دارد، ولی باید قوانین سیستم موجود را اعمال کند.

سطح STM به‌عنوان راه‌حلی موقت برای انتقال از سیستم‌های قدیمی به ETCS توسعه‌یافته است. بااین‌حال، استدلال‌های مخالفی در مورد سودمندی این رویکرد وجود دارد. زیرا هدف اصلی ETCS قابلیت همکاری راه‌آهن‌ها بدون تجهیز لکوموتیوها به چندین سیستم است. رویکرد STM بر اساس تجهیز لکوموتیوها به تعدادی سیستم آنتن است، اما باعث کاهش نیاز به راه‌اندازی سریع تأسیسات ETCS کنار خط می‌شود. از این کار ممکن است درنهایت بهبودی حاصل نگردد ولی روند مهاجرت به ETCS را کند می‌کند.

۱۵۶- Specific Transmission Module

۴-۳: سیستم کنترل قطار چینی (CTCS)

سال‌های زیادی است که شبکه راه‌آهن چین به‌طور گسترده‌ای در حال رشد است. چین در حال حاضر بزرگ‌ترین شبکه ریلی پرسرعت جهان را دارد. تمام خطوط جدید و ارتقاءیافته مجهز به CTCS یا همان سیستم کنترل قطار چینی[۱۵۷] است. CTCS مبتنی بر فناوری ETCS ولی با برخی تغییرات برای برآوردن نیازهای عملیاتی خاص راه‌آهن چین است. برای انتقال پیوسته داده‌های کنترل قطار، از انتقال رادیویی توسط GSM-R یا مدارخط‌های کدگذاری شده استفاده می‌شود. برای استفاده از مدارخط‌های کدگذاری شده، سطح جداگانه‌ای تعریف‌شده که در مشخصات ETCS معادلی ندارد (جدول ۳).

در این سطح از مدارخط‌های با کد فرکانسی بدون اتصال استفاده می‌شود. موقعیت مکانی توسط فرستنده‌های اضافی از نوع یوروبالیس ارائه می‌شود. انتقال مداوم داده توسط مدارخط‌های کدگذاری شده می‌تواند با انتقال ناپیوسته توسط فرستنده‌های کنترل‌شده پشتیبانی شود. جدول (۳) شماره‌گذاری سطوح ETCS و CTCS را با هم مقایسه می‌کند.

جدول ۳. مقایسه سطوح ETCS و CTCS

Functionality	ETCS	CTCS
Intermittent ATP	Level 1	Level 1
Continuous ATP with coded track circuits	-	Level 2
Continuous ATP with data transmission by radio	Level 2	Level 3
Continuous ATP with data transmission by radio and radio-based train separation	Level 3	Level 4

CTCS سطح ۲ را می‌توان تا سرعت ۲۵۰ کیلومتر در ساعت استفاده کرد. خطوطی که با سرعت بیش از ۲۵۰ کیلومتر در ساعت کار می‌کنند باید مجهز به CTCS سطح ۳ باشند. CTCS سطح ۴ که معادل ETCS سطح ۳ است، هنوز در حال بهره‌برداری نیست. بااین‌حال، ازآنجایی‌که

۱۵۷- Chinese Train Control System

خطوط پرسرعت چینی از شبکه معمولی جداشده‌اند، این احتمال وجود دارد که اولین خطوط مجهز به سطح ۴ در آینده نزدیک مورد بهره‌برداری قرار گیرند.

۴-۴: کنترل قطار کامل (PTC)

کنترل قطار کامل[۱۵۸] (PTC) مفهومی از آمریکای شمالی است که از برخی جنبه‌ها شبیه به ETCS است، درحالی‌که جنبه‌های دیگر آن کاملاً متفاوت است. هدف PTC بهبود قابلیت همکاری بین راه‌آهن‌ها نیست بلکه افزایش ایمنی است. به‌جز چند استثناء، اکثر خطوط ریلی آمریکای شمالی مجهز به ATP نیستند. همان‌طور که قبلاً گفته شد، بخش قابل‌توجهی از خطوط حتی «مناطق غیر علائمی»[۱۵۹] هستند، یعنی خطوطی که تحت رویه‌های عملیاتی ساده‌سازی شده و بدون عملیات تحت کنترل چراغ کار می‌کنند. در سال ۲۰۰۸، درنتیجه چندین حادثه شدید ریلی، کنگره ایالات‌متحده قانون بهبود ایمنی راه‌آهن را صادر کرد (که اغلب به‌عنوان «حکم PTC» شناخته می‌شود) که منجر به معرفی PTC شد. طبق تعریف آن قانون، PTC یک سیستم ایمنی است که از موارد زیر جلوگیری می‌کند:

- برخورد قطار به قطار
- خروج از خط با سرعت زیاد
- ورود با سرعت زیاد به محدوده‌های منطقه کاری
- حرکات روی سوزن‌های با وضعیت خلاف

نصب PTC در خطوط اصلی مسافری، در خطوط با تراکم ترافیک بالا و در خطوط با حمل‌ونقل منظم مواد خطرناک اجباری است.

در خطوط کنترل‌شده با چراغ، مسیر آزاد و ایمن برای قطارها توسط سیستم علائم ارائه می‌شود. تنها عملکردی که باید توسط PTC اضافه شود، یک سیستم ATP پیوسته برای کنترل سرعت و لزوم رعایت محدودیت‌ها است. این منطق بسیار شبیه به ETCS سطح ۲ است. بااین‌حال، PTC همچنین می‌تواند حفاظت یکپارچه‌ای برای قطارهای پشت سر

۱۵۸- Positive Train Control
۱۵۹- dark territories

هم بر اساس روش بلاک متحرک ارائه دهد. این قابلیت کاملاً شبیه رویکرد ETCS سطح ۳ است.

یک تفاوت قابل‌توجه با ETCS، محافظت از سوزن‌های دستی در خطوط غیر علائمی است. برای این کار، موقعیت سوزن‌ها کنترل می‌شوند تا اگر سوزنی به‌درستی تنظیم‌نشده باشند، از عبور قطارها از آن‌ها جلوگیری شود. این عملکرد در ETCS وجود ندارد، زیرا حتی ساده‌ترین کارکردهای ETCS همیشه بر اساس سوزن‌های تحت کنترل اینترلاکینگ با کنترل متمرکز هستند.

برخلاف ETCS، PTC یک مشخصات فنی نیست بلکه مجموعه‌ای از عملکردهای ایمنی تعریف‌شده مستقل از فناوری است. در این سیستم قابلیت همکاری بین راه‌آهن‌ها اجباری نیست. میزان قابلیت همکاری به نیازهای شرکت‌های راه‌آهنی بستگی دارد. چهار راه‌آهن پیشرو کلاس یک (Union Pacific، BNSF، CSX، Norfolk Southern) قبلاً بر روی یک استاندارد مشترک برای اطمینان از طراحی سیستم‌های قابل همکاری توافق کرده‌اند. این فناوری مبتنی بر کنترل رادیویی قطار، مشابه سطوح ۲ و ۳ ETCS می‌باشد. متفاوت از این سطوح ETCS، PTC می‌تواند به‌عنوان سیستم کنترل مستقیم حرکت قطار یا به‌عنوان یک سیستم کمکی برای سیستم‌های کنترل قطار موجود استفاده شود. تفاوت دیگر با ETCS، استفاده از GPS به‌عنوان سیستم اولیه مکان‌یابی قطار است.

PTC می‌تواند در سه سطح مختلف به کار گرفته شود:

- پوشش غیر حیاتی
- پوشش حیاتی
- حیاتی مستقل

هنگامی‌که PTC به‌عنوان یک پوشش غیر حیاتی استفاده می‌شود، قطارها همچنان توسط سیستم‌های مرسوم (نماهای چراغ‌ها یا مجوزهای شفاهی) اداره می‌شوند. در این حالت PTC فقط به‌عنوان یک پوشش ایمنی در پس‌زمینه عمل می‌کند. در به‌کارگیری PTC به‌صورت پوشش حیاتی، قطارها توسط PTC اداره می‌شوند درحالی‌که عملکردهای بلاک و

اینترلاکینگ توسط CTC معمولی ارائه می‌شوند. به‌عنوان یک سیستم مستقل حیاتی، PTC جایگزین سیستم‌های CTC معمولی می‌شود و همه عملکردهای علائم و کنترل قطار را در یک سیستم یکپارچه می‌کند. همه پروژه‌های PTC برنامه‌ریزی‌شده در حال حاضر از رویکرد پوشش غیر حیاتی یا حیاتی پیروی می‌کنند. فناوری لازم برای سیستم‌های PTC مستقل حیاتی هنوز در دسترس نیست.

فصل ۵

گذرگاه هم‌سطح

فصل ۵

گذرگاه هم‌سطح

در گذرگاه‌های هم‌سطح، ترافیک ریلی اولویت مطلق دارد. درحالی‌که طراحی از کشوری به کشور دیگر کمی متفاوت است، اما در همه‌جا برای مشخص کردن گذرگاه هم‌سطح از علامت تقاطع ضربدری[۱۶۰] برای کاربران جاده استفاده می‌شود. بسته به حجم ترافیک جاده و ویژگی‌های خط راه‌آهن، اقدامات حفاظتی مختلفی در گذرگاه‌های هم‌سطح استفاده می‌شود.

۵-۱: حفاظت از گذرگاه هم‌سطح

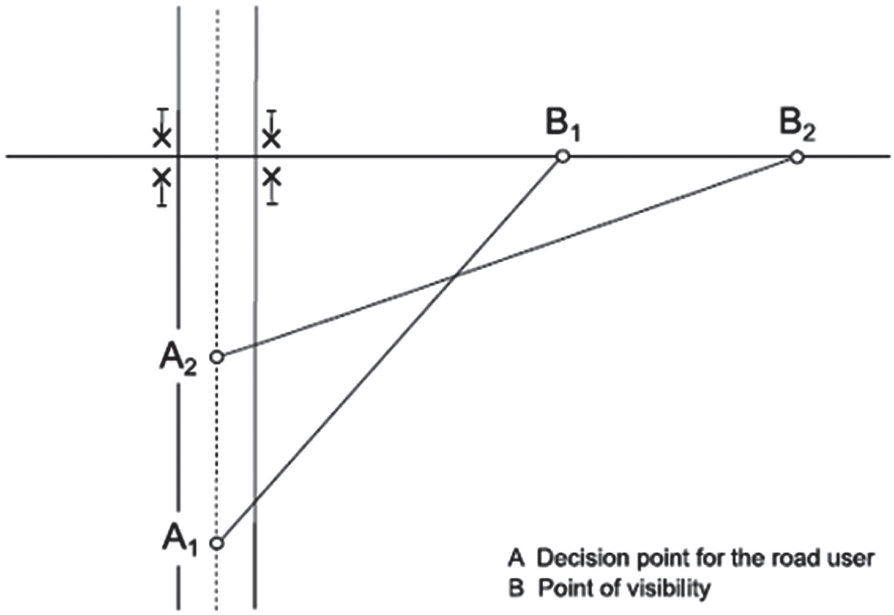
با در نظر گرفتن اقدامات حفاظتی، سه نوع گذرگاه هم‌سطح وجود دارد:

- گذرگاه‌های هم‌سطح بدون چراغ راهنمایی رانندگی
- گذرگاه‌های هم‌سطحی که توسط چراغ‌های راهنمایی رانندگی محافظت می‌شوند ولی راه‌بند ندارند.
- گذرگاه‌های هم‌سطحی که توسط چراغ‌های راهنمایی رانندگی محافظت می‌شوند و راه‌بند هم دارند.

گذرگاه‌های هم‌سطح بدون چراغ راهنمایی رانندگی فقط با تابلو تقاطع ضربدری مشخص می‌شوند. رانندگان وسایل نقلیه جاده‌ای باید دید کافی روی خط راه‌آهن داشته باشند تا بتوانند در هنگام نزدیک شدن قطار به گذرگاه با اطمینان توقف کنند. برای این منظور، قطاری که در حال نزدیک شدن به گذرگاه است باید از فاصله مناسبی به‌وضوح قابل‌مشاهده باشد تا

۱۶۰- St. Andrew's cross

در آن فاصله راننده‌ای که به گذرگاه هم‌سطح نزدیک می‌شود، بتواند تصمیم بگیرد که آیا عبور از گذرگاه هم‌سطح ایمن است یا خیر. این فاصله شامل خط ترمز خودرو و زمان واکنش کافی برای تصمیم‌گیری راننده است. فاصله از نقطه تصمیم در جاده و فاصله نزدیک شدن موردنیاز در خط راه‌آهن یک مثلث دید را تشکیل می‌دهد که باید از هرگونه آیتم مسدودکننده دید عاری باشد. مثلث مذکور هم برای یک راننده کُند و هم برای یک راننده سریع جاده محاسبه می‌شود. دو مثلث روی یکدیگر قرار می‌گیرند تا کل ناحیه‌ای را که باید بدون مانع دید باشد به دست آید (شکل ۵-۱). علاوه بر این، قطارهایی که به گذرگاه هم‌سطح نزدیک می‌شوند باید با سوت‌های ممتد به کاربران جاده هشدار دهند. این شکل بسیار ساده حفاظت تنها در خطوط راه‌آهن ثانویه که دارای سرعت و حجم ترافیک کم می‌باشند قابل‌قبول است.



شکل ۵-۱. مثلث دید راننده سریع (۱) و راننده کُند (۲)

در تقاطع‌های هم‌سطحی که مجهز به چراغ‌های راهنمایی رانندگی هستند، هنگام نزدیک شدن قطار، چراغ‌های توقف برای رانندگان جاده‌ای فعال می‌شوند. بسته به مقررات ملی ترافیک جاده‌ای، علامت توقف یا به‌صورت قرمز چشمک‌زن یا چراغ‌قرمز ثابت نشان داده

می‌شود. در برخی از کشورها، چراغ راهنمایی ابتدا نمای زرد را نشان می‌دهد و سپس به رنگ قرمز تغییر می‌کند. درحالی‌که در اکثر کشورها، تا زمانی که قطاری به تقاطع نزدیک نمی‌شود، چراغ‌های راهنمایی خاموش هستند، در برخی کشورها، نمای آزاد بودن تردد از گذرگاه نشان داده می‌شود (معمولاً یک چراغ سبز یا سفید).

چراغ‌های راهنمایی باید در زمان مناسبی قبل از نزدیک شدن قطار فعال شوند تا رانندگان جاده‌ای که از ابتدای فاصله توقف عبور کرده‌اند همچنان بتوانند با خیال راحت از تقاطع هم‌سطح عبور کنند. این زمان را زمان نزدیک شدن به گذرگاه هم‌سطح[۱۶۱] می‌نامند (بازمان نزدیک شدن در محاسبات زمان بلاک اشتباه نشود). زمان نزدیک شدن به گذرگاه هم‌سطح از روی حداکثر زمان موردنیاز برای راننده جاده‌ای از ابتدای فاصله توقف تا زمانی که گذرگاه هم‌سطح را با طول کامل وسیله نقلیه به‌اضافه یک حاشیه ایمنی چندثانیه‌ای آزاد می‌کند، محاسبه می‌شود.

در گذرگاه‌های هم‌سطح که توسط چراغ‌های راهنمایی رانندگی و راه‌بند محافظت می‌شوند، محدودیت دیگری وجود دارد. هنگامی‌که چراغ‌های راهنمایی فعال می‌شوند، راه‌بندها نباید بلافاصله بسته شوند. پس از فعال شدن چراغ‌های راهنمایی، کاربران جاده‌ای که از ابتدای فاصله توقف عبور کرده‌اند باید همچنان بتوانند از راه‌بندهای باز عبور کنند. زمان از پیش اعلام کردن[۱۶۲] عبارت است از زمان فعال شدن چراغ‌های راهنمایی تا زمان بسته شدن راه‌بندها و این زمان از روی حداکثر زمانی که راننده جاده‌ای از ابتدای فاصله توقف تا پاک کردن کامل گذرگاه با لحاظ کردن طول کامل وسیله نقلیه نیاز دارد محاسبه می‌شود. زمان نزدیک شدن به گذرگاه هم‌سطح، عبارت است از مجموع زمان از پیش اعلام کردن، زمان لازم برای بسته شدن راه‌بندها و یک حاشیه ایمنی. در گذرگاه‌های هم‌سطح که با راه‌بندهای کامل محافظت می‌شوند، یعنی موانعی که تمام خطوط جاده را مسدود می‌کنند، باید بررسی شود که هیچ راننده جاده‌ای به‌طور تصادفی بین موانع گیر نکرده باشد. این کار می‌تواند توسط اپراتورهایی (راهبان) که آزادی گذرگاه هم‌سطح را به‌صورت بصری بررسی می‌کنند (یا توسط

۱۶۱- level crossing approach time
۱۶۲- pre-signalling time

دوربین‌های راه دور در محل) یا به‌طور خودکار توسط اسکنرهای رادار انجام شود. در گذرگاه هم‌سطحی که با راه‌بند یک‌طرفه محافظت می‌شود، آزادی تقاطع هم‌سطح نظارت نمی‌شود زیرا مسیر خروج مسدود نشده است، بنابراین کاربران جاده نمی‌توانند در آن گیر کنند.

۲-۵: کنترل و نظارت بر گذرگاه‌های هم‌سطح

گذرگاه هم‌سطحی که توسط چراغ‌های راهنمایی رانندگی یا چراغ‌های راهنمایی و راه‌بند محافظت می‌شود به سه روش قابل‌کنترل است:

- گذرگاه‌های هم‌سطح با کنترل دستی
- گذرگاه‌های هم‌سطح خودکار
- گذرگاه‌های هم‌سطح که توسط سیستم اینترلاکینگ کنترل می‌شوند.

استفاده از اپراتورهای خاص (راهبان ها) برای گذرگاه هم‌سطح امروزه تقریباً حذف‌شده‌اند. البته هنوز در ایستگاه‌های تحت کنترل اینترلاکینگ محلی گذرگاه‌های هم‌سطحی که توسط اپراتور محلی کنترل می‌شوند یافت می‌شوند. در آنجا، گذرگاه هم‌سطح معمولاً با چراغ‌های کنترلی در هم قفل می‌شوند. عبور از گذرگاه هم‌سطح ممکن است توسط یک اپراتور در مرکز کنترل که گذرگاه هم‌سطح را با دوربین‌های از راه دور نظارت می‌کند، کنترل شود. گاهی اوقات، حفاظت از گذرگاه هم‌سطح به‌صورت دستی توسط اپراتور فعال می‌شود، اما به‌طور خودکار توسط دستگاه‌های کنار ریل پس از عبور قطار غیرفعال می‌شود.

در گذرگاه‌های هم‌سطح خودکار، چراغ‌های راهنمایی و راه‌بندها توسط تجهیزات کنار خط (کنتاکت‌های ریل، مدار خط‌ها) که در فاصله کافی در نزدیکی گذرگاه هم‌سطح قرار می‌گیرند، فعال می‌شوند. پس از عبور قطار، تجهیزات کنار خط بررسی می‌کنند که آیا قطار از گذرگاه هم‌سطح خارج‌شده است تا باز کردن خودکار راه‌بند و خاموش کردن چراغ‌های راهنمایی ایمن باشد.

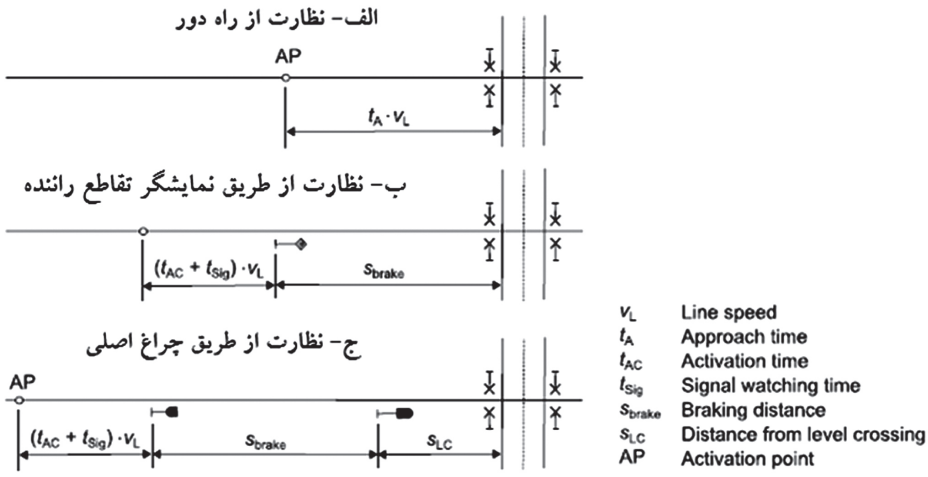
گذرگاه هم‌سطح خودکار ممکن است توسط یک دستگاه نظارتی از راه دور، توسط یک نشانگر عبور راننده یا یک چراغ اصلی نظارت شود. یک دستگاه نظارت از راه دور عملکرد

مناسب حفاظت از گذرگاه را برای هر قطاری که در حال عبور است بررسی می‌کند. همچنین تجهیزات کنار خط برای تشخیص نزدیک شدن قطارها، به‌صورت دائم نظارت می‌شوند. اگر نقصی تشخیص داده شود، به اپراتور مرکز کنترل هشدار داده می‌شود. سپس، باید به همه قطارها دستور داده شود تا بااحتیاط از آن گذرگاه عبور کنند تا زمانی که یک تعمیرکار علائم سیستم را به حالت عادی خود بازگرداند.

در گذرگاه هم‌سطحی که توسط تابلو عبور راننده[۱۶۳] نظارت می‌شود، یک نشانگر کنار خط در فاصله خط ترمز در نزدیکی گذرگاه هم‌سطح قرار می‌گیرد. هنگام نزدیک شدن قطار به گذرگاه هم‌سطح، لکوموتیوران باید عملکرد صحیح حفاظت از گذرگاه هم‌سطح را توسط آن نشانگر بررسی کند. اگر چراغ‌های راهنمایی توسط قطار در حال نزدیک شدن به‌درستی فعال‌شده باشند، راننده علامتی دریافت می‌کند که قطار می‌تواند بدون محدودیت سرعت از گذرگاه هم‌سطح عبور کند. اگر حفاظت به‌درستی فعال نشده باشد، راننده یک علامت هشدار برای کاهش سرعت قطار و عبور از گذرگاه هم‌سطح بااحتیاط دریافت می‌کند.

در گذرگاه‌های هم‌سطح خودکاری که توسط چراغ اصلی نظارت می‌شوند، چراغ اصلی که از گذرگاه هم‌سطح محافظت می‌کند تنها زمانی سبز می‌شود که حفاظت گذرگاه هم‌سطح به‌درستی توسط قطاری که در حال نزدیک شدن است فعال شود. در هنگام وجود نقص در عملکرد گذرگاه هم‌سطح، باید توسط اپراتور به قطار اجازه داده شود تا از چراغ اصلی در حالت توقف عبور نماید، و باید به راننده دستور داده شود که از گذرگاه هم‌سطح محافظت‌شده توسط آن چراغ بااحتیاط عبور کند. در خطوط با عملکرد دوطرفه، یک گذرگاه هم‌سطح ممکن است در یک جهت توسط چراغ اصلی و در جهت مخالف توسط یک تابلو عبور راننده نظارت شود.

۱۶۳- driver’s crossing indicator



شکل ۵-۲. محاسبه بخش راه‌اندازی

گذرگاه‌های هم‌سطحی که توسط سیستم اینترلاکینگ کنترل می‌شوند بخشی از یک مسیرگیری اینترلاکینگ هستند و بنابراین با چراغی که مسیر را مدیریت می‌کند در هم قفل می‌شوند. حفاظت از گذرگاه هم‌سطح با مسیرگیری فعال و با عبور قطار از گذرگاه هم‌سطح غیرفعال می‌شود. در صورت خرابی گذرگاه هم‌سطح، چراغ مدیریت مسیر سبز نمی‌شود. لازم به ذکر است ممکن است گذرگاه‌های خودکار در داخل مناطق اینترلاکینگ نیز وجود داشته باشد. این گذرگاه‌های هم‌سطح بخشی از مسیرگیری اینترلاکینگ نیستند، اما ممکن است توسط یک چراغ اینترلاکینگ نظارت شوند.

۵-۳: محاسبه بخش راه‌اندازی

بخش راه‌اندازی[۱۶۴]، فاصله‌ای است که قطار در حال نزدیک شدن به گذرگاه باید حفاظت گذرگاه هم‌سطح را فعال کند. این فاصله به روش نظارت بستگی دارد (شکل ۵-۲). در گذرگاه‌های هم‌سطحی که از راه دور نظارت می‌شوند، طول بخش راه‌اندازی از روی سرعت خط و زمان موردنیاز برای نزدیک شدن محاسبه می‌شود. در گذرگاه‌های هم‌سطح که توسط تابلو عبور راننده نظارت می‌شوند، محافظ گذرگاه هم‌سطح باید در زمان نزدیک شدن قطار به گذرگاه

۱۶۴- The initiation section

زمان کافی برای فعال شدن تابلو عبور فراهم کند تا لکوموتیوران بتواند نشانه آزاد بودن را رؤیت کند. زمان رؤیت چراغ همان زمان موردنیاز برای یک چراغ کنار خط است که یک نشانه نزدیک شدن به چراغ جلو را ارائه می‌دهد، همان‌طور که در فصل ۲ در پاراگراف مدل زمان مسدودی توضیح داده شد. بخش راه‌اندازی به‌طور قابل‌توجهی طولانی‌تر از یک گذرگاه هم‌سطح کنترل از راه دور است و زمان مسدود شدن گذرگاه هم‌سطح را برای کاربران جاده‌ای افزایش می‌دهد. در گذرگاه‌های هم‌سطح که توسط یک چراغ اصلی نظارت می‌شوند، بخش راه‌اندازی به‌اندازه فاصله بین چراغ اصلی و گذرگاه هم‌سطح افزایش می‌یابد. این عمل همچنین زمان مسدود شدن گذرگاه هم‌سطح را برای کاربران جاده افزایش می‌دهد.

مراجع

Armstrong, H.: The railroad, what it is, what it does, 5th Edition, Simmons-Boardman Books, Omaha 2008

Aubertin, F. J.: Your Guide to Railway Signals. Simmons-Boardman Books, Inc.. Omaha 2018

Bailey, C. (Editor): European Railway Signalling. Institution of Railway Signal Engineers. A & C Black, London 1995

Bisset, K.; Rowbotham, T.; Thurston, D.; Burkhardt, R.; Power, J.; Hoelscher, J.: Introduction to North American Railway Signaling. Institution of Railway Signal Engineers. Simmons- Boardman Books, Inc.. Omaha 2008

Chandra, S.; Agarwal, M.M.: Railway Engineering. Oxford University Press 2008

Dougherty, P.: Tracks of the New York City Subway. New York City 2018

Hansen, I.; Pachl, J. (editors): Railway Timetabling & Operations - Analysis, Modelling. Optimisation, Simulation, Performance Evaluation. Eurailpress, Hamburg 2014

Pachl, J.: Railway operation and control, 4th Edition, VTD Rail Publishing, Mountlake Terrace 2009

Stanley, P. (editor): ETCS for Engineers. Eurailpress, Hamburg 2011

Theeg, G.; Vlasenko, S. (editors): Railway Signalling and Interlocking - International Compendium. Eurailpress, 3rd Edition, Hamburg 2020

UIC: ERTMS Glossary. English - French - German. International Union of Railways (UIC). 1st Edition, Paris 2012

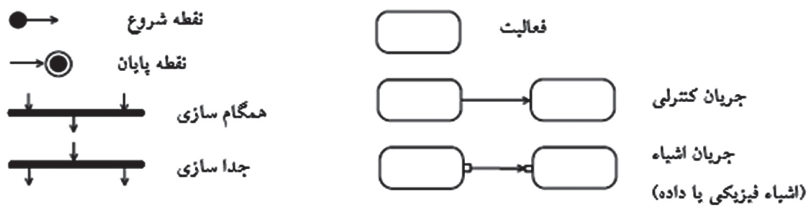
White, T.: Elements of Train Dispatching. Vol. 1. VTD Rail Publishing, Mountlake Terrace 2003

Winter, P. (editor): Compendium on ERTMS - European Rail Traffic Management System. Eurailpress, Hamburg 2009

نمادهای بکار رفته در نمودارها

نمادهای استفاده شده برای مسیرها و چراغ ها شبیه استاندارد آلمانی است، اما به روشی عمومی استفاده شده است و مخصوص راه آهن خاصی نمی باشد.

نمادهای مورد استفاده در نمودارهای فعالیت زیرمجموعه ای از نماد SysML/UML هستند.



واژه‌نامه

Absolute signal	A signal that must not be passed in stop position without permission from the operator.
چراغ مطلق	چراغی که نباید بدون اجازه اپراتور در موقعیت توقف از آن عبور شود.
Approach locking	Form of route locking that comes into force after the train has occupied the approach section.
قفل نزدیک شدن	شکلی از قفل‌کردن مسیر که پس از اشغال بخش نزدیک شدن توسط قطار به اجرا درمی‌آید.
Approach time	The running time between a signal that provides an approach indica- (1 tion and the following signal. 2) The time, level crossing protection must be activated ahead of an approaching train.
زمان نزدیک شدن	1- زمان سیر بین چراغ اخباری و چراغ بعدی 2- زمانی که حفاظت از گذرگاه هم‌سطح باید قبل از نزدیک شدن قطار فعال شود.
Automatic block system	A block system in which the signals work automatically. Lines with an automatic block system must be equipped with track clear detection.
سیستم بلاک خودکار	سیستم بلاکی که در آن چراغ‌ها به‌طور خودکار کار می‌کنند. خطوط با سیستم بلاک خودکار باید مجهز به سیستم تشخیص آزادی خط باشند.
Automatic signal	A signal that works automatically by the passage of the train through track sections.
چراغ خودکار	چراغی که با عبور قطار از بخش‌های ریلی به‌طور خودکار کار می‌کند.
Automatic Train (Protection (ATP	authorities and A system that transmits information about movement speed limits from the line to the train to cause automatic braking if the ignores the valid limits train.
حفاظت خودکار قطار	سیستمی که اطلاعات مربوط به مجوزهای حرکت و محدودیت‌های سرعت را از خط به قطار منتقل می‌کند تا در صورت نادیده گرفتن محدودیت‌های معتبر توسط قطار باعث ترمز خودکار شود.
Axle counter	A track clear detection system consisting of counting points at both ends section and a counter connected to the counting points. The occupan- of a by comparing the number of axles that enter cy of a section is detected leave the section the section with the number of axles that.
محورشمار	یک سیستم تشخیص آزادی خط متشکل از نقاط شمارش در هر دو انتهای یک بخش و یک شمارنده متصل به نقاط شمارش. اشغال یک بخش با مقایسه تعداد محورهایی که وارد بخش می‌شوند با تعداد محورهایی که از بخش خارج می‌شوند تشخیص داده می‌شود.
Block section	A section of track in a fixed block system, which a train may only enter if section is not occupied by other vehicles the.

بخش بلاک (بلاک)	بخشی از مسیر در یک سیستم بلاک ثابت، که قطار تنها در صورتی می‌تواند وارد آن شود که این بخش توسط وسایل نقلیه دیگر اشغال نشده باشد.
Block signal	.A main signal that governs train movements into a block section
چراغ بلاک	چراغ اصلی که ورود قطار به یک بلاک را کنترل می‌کند.
Block system	A signalling system that provides a safe spacing of trains. Block systems .may be divided into fixed block systems and moving block systems
سیستم بلاک	سیستم علائمی که فاصله ایمن بین قطارها را فراهم می‌کند. سیستم‌های بلاک را می‌توان به سیستم‌های بلاک ثابت و سیستم‌های بلاک متحرک تقسیم کرد.
Blocking time	The minimum time interval that must be kept clear for the non-delayed .of a train through a track section passage
زمان مسدودی	حداقل زمانی که باید برای عبور بدون تأخیر قطار از بخشی از ریل آزاد نگه‌داشته شود.
Cab signaling	A signalling system that displays the movement authorities on the driv- .desk er's
علائم داخل کابین	سیستم علائمی که مجوزهای حرکت را روی میز راننده نشان می‌دهد.
Clearing point	A point a train must have cleared completely before a signal in rear may .cleared or an interlocked route may be released be
نقطه آزادی مسیر	نقطه‌ای که قطار باید از آن به‌طور کامل عبور نماید، قبل از اینکه چراغ پشت سر آن سبز شود یا یک مسیر در هم قفل‌شده آزاد شود.
Controlled signal	.A signal that is controlled by an operator
چراغ کنترلی	چراغی که توسط یک اپراتور کنترل می‌شود.
Control length of a signal	before the The length of track beyond a signal that must be clear and safe .signal can be cleared for a train movement
طول تحت کنترل یک چراغ	طول مسیر جلوی یک چراغ که قبل از سبز شدن چراغ برای حرکت قطار باید آزاد و ایمن باشد.
Crossing	An intersection of two tracks at grade
گذرگاه	تلاقی دو مسیر در یک سطح
Derailer	A flank protection device that would derail an unsafe movement before it .could join the protected route
خارج کننده از ریل	یک وسیله حفاظت جانبی که باعث خروج از خط یک قطار ناایمن قبل از اینکه بتواند به مسیر حافظت شده وارد شود می‌شود.
Direction locking	A form of opposite locking in which a locked direction is established holds opposing signals in stop position. Direction locking may be in that .consists of several block sections effect on a block line that
قفل جهت	شکلی از قفل مخالف است که در آن یک جهت قفل‌شده‌ای ایجاد می‌شود که چراغ‌های جهت مخالف را در موقعیت توقف (قرمز) نگه می‌دارد. قفل جهت ممکن است در خط بلاکی که از چندین بلاک تشکیل‌شده است، اعمال شود.
Distant signal	A signal that provides an approach indication to a signal but that cannot .show a stop aspect. A distant signal does not limit a block section
چراغ فاصله (اخباری)	چراغی که نشان‌دهنده نزدیک شدن به یک چراغ می‌باشد اما نمی‌تواند نمای توقف را نشان دهد. چراغ اخباری نمی‌تواند محدوده یک بلاک را مشخص کند.

Double slip	A crossing combined with four pairs of points to provide slip onnections .both sides of the crossing at
لغزش دوگانه	گذرگاهی که با چهار جفت سوزن ترکیب‌شده است تا اتصالات لغزشی را در دو طرف گذرگاه فراهم کند.
Driver's crossing indicator	of a A lineside indicator placed at the braking distance on the approach level crossing, by which the driver can check the proper working of the .crossing protection level
نشانگر تقاطع برای راننده	یک نشانگر کنار خط که در فاصله خط ترمز در نزدیکی یک گذرگاه هم‌سطح قرار می‌گیرد، که توسط آن راننده می‌تواند عملکرد صحیح حفاظت از گذرگاه را بررسی کند.
Dual called points	.Another term for selective protective points
سوزن‌های با فراخوانی دوبل (سوزن های پارالل)	اصطلاح دیگری برای سوزن‌های حفاظتی انتخابی.
Dwarf signal	.A ground mounted signal
چراغ پایه کوتاه	چراغ نصب‌شده روی زمین
Emergengy route release	route A manually initiated release of a route or parts of a route if normal .release fails after the passage of a train
آزادسازی اضطراری مسیر	آزادسازی یک مسیر یا بخش‌هایی از مسیر به‌صورت دستی درصورتی‌که آزادسازی مسیر عادی پس از عبور قطار با شکست مواجه شود.
Entrance signal	.An interlocking signal at the entrance of an interlocked route
چراغ ورودی	یک چراغ تحت کنترل اینترلاکینگ در ورودی یک مسیر در هم قفل‌شده.
Exit signal	A controlled signal that governs train movements to leave a station (1 also called a station exit signal. 2) A controlled signal at the track. It is .also called a destination signal exit of an interlocked route. It is
چراغ خروجی	1- چراغ کنترل‌شده‌ای که حرکت قطار را برای خروج از مسیر ایستگاه کنترل می‌کند. به آن چراغ خروجی ایستگاه نیز می‌گویند. 2- یک چراغ کنترل‌شده در خروجی یک مسیر تحت کنترل اینترلاکینگ. به آن چراغ مقصد نیز می‌گویند.
Facing point movement	approach- A movement on a pair of points in which the point blades face .ing traffic
حرکت در جهت سوزن	حرکت روی یک جفت سوزن که در آن تیغه‌های سوزن در مقابل جهت حرکت می‌باشد.
Fixed block system	in A block system in which the track behind a train is sectionally cleared .accordance with fixed block sections
سیستم بلاک ثابت	سیستم بلاکی که در آن مسیر پشت قطار به‌صورت مقطعی مطابق با بخش‌های بلاک ثابت آزاد می‌شود.
Flank area	The section of track between a flank protection device and the fouling .point of the route to be protected
محدوده جانبی	قسمتی از مسیر بین یک وسیله حفاظت جانبی و نقطه دگاژ مسیر که باید محافظت شود.
Flank points	Points that are locked in a protective position to provide flank protection .route to a
سوزن‌های جانبی	سوزن‌هایی که در موقعیت حفاظتی قفل‌شده‌اند تا حفاظت جانبی یک مسیر را تأمین کنند.
Flank protection	A measure to prevent vehicles from running into a route, which is cleared .for a train movement

حفاظت جانبی	اقدام برای جلوگیری از ورود وسایل نقلیه به مسیری که برای حرکت قطار دیگری آزادشده است.
Flank protection device	.A trackside element that provides flank protection
دستگاه حفاظت جانبی	یک عنصر کنار خط که محافظت از پهلو را فراهم می‌کند.
Flank transfer points	provides Points that are located in the flank area between an element that .remote flank protection and the route to be protected
سوزن‌های انتقال جانبی	سوزن‌هایی که در ناحیه کناری بین عنصری که حفاظت جانبی از راه دور را فراهم می‌کند و مسیری که باید محافظت شود قرار دارند.
Fouling point	.The limit of occupation of converging tracks at turnouts and crossings
نقطه ایمن‌گاه (دگاژ)	حد اشغال مسیرهای همگرا در سوزن‌ها و تقاطع‌ها.
Geographical interlocking	by An interlocking system in which the track elements are represented .logical objects connected to each other in form of the track layout
اینترلاکینگ جغرافیایی	یک سیستم اینترلاکینگ که در آن عناصر مسیر توسط اشیاء منطقی متصل به یکدیگر در قالب طرح مسیر نمایش داده می‌شوند.
Headway	The time or distance interval calculated from ‘head to head’ between two .trains successive
سرفاصله	فاصله زمانی یا مسافتی که از «سربه‌سر» بین دو قطار متوالی محاسبه می‌شود.
Home signal	A signal governing entrance to an interlocking area. 2) A signal gov- (1 .entrance to a station area erning
چراغ ورودی	1- چراغی که ورود به یک منطقه اینترلاکینگ را مدیریت می‌کند. 2- چراغی که ورود به یک منطقه ایستگاه را مدیریت می‌کند..
Initiation section	cross- The distance at which an approaching train has to activate the level .ing protection
بخش راه‌اندازی	فاصله‌ای که قطار در حال نزدیک شدن باید حفاظت از گذرگاه هم‌سطح را فعال کند.
Insulated rail joint	A rail joint that ensures electrical insulation of adjacent rails to limit a .track circuit
اتصال عایقی ریل	اتصال ریلی که عایق الکتریکی ریل‌های مجاور را برای محدود کردن مدار خط تضمین می‌کند.
Interlocking	An arrangement of points and signals interconnected in a way that each .movement follows the other in a proper and safe sequence
اینترلاکینگ	ترتیبی از سوزن‌ها و چراغ‌ها که به نحوی به‌هم‌پیوسته‌اند که هر حرکت به ترتیبی مناسب و ایمن از حرکت دیگر پیروی کند.
Interlocking signal	.A controlled signal that governs a route within an interlocking
چراغ اینترلاکینگ	چراغ کنترلی که مسیری را در داخل یک محدوده اینترلاکینگ اداره می‌کند.
Interlocking station	A locally staffed control room from which an interlocking area is con- .trolled
مرکز اینترلاکینگ	یک اتاق کنترل با کارکنان محلی که از آن یک منطقه اینترلاکینگ کنترل می‌شود.
Intermediate interlocking signal	signal that gov- An interlocking signal that is neither a home signal nor a .erns a route to leave the interlocking area
چراغ اینترلاکینگ میانی	یک چراغ اینترلاکینگ که نه چراغ ورودی است و نه چراغی که مسیری را برای خروج از منطقه اینترلاکینگ کنترل می‌کند.

Intermediate points	at Points that are located in a station track in a way that a train stopping its regular stopping position would not clear the points.
سوزن‌های میانی	سوزن‌هایی که در یک خط ایستگاه قرار دارند به‌نحوی‌که قطاری که در موقعیت توقف معمول خود توقف می‌کند سوزن‌ها را آزاد نمی‌کند.
Intermittend ATP	An ATP system in which the data is transmitted to the train at discrete points along the track.
ATP منقطع (ناپیوسته)	یک سیستم ATP که در آن داده‌ها در نقاط مجزا در طول مسیر به قطار منتقل می‌شود.
Jointless track circuit	work- A track circuit that uses an AC audio frequency current, so that the ing length is limited by the capacitive and inductive track characteristics for insulated rail joints without a need.
مدار خط بدون اتصال	مدار خطی که از جریان AC فرکانس صوتی استفاده می‌کند، به‌طوری‌که طول کار توسط ویژگی‌های خازنی و القایی مسیر محدود می‌شود و نیاز به اتصالات ریلی عایق‌بندی شد ندارد.
Key interlocking	A method to achieve interlocking between signals and hand-throw points by mechanical key locks.
قفل شدن با کلید	روشی برای دستیابی به قفل‌شدگی بین چراغ‌ها و سوزن‌های دستی توسط قفل‌های با کلید مکانیکی.
Line headway	The headway that results from the blocking time stairways of two succes- trains sive.
سرفاصله خط	سرفاصله‌ای که از مسدود شدن زمان پله‌های دو قطار متوالی حاصل می‌شود.
Main route	An interlocked route governed by a main signal.
مسیر اصلی	یک مسیر تحت پوشش اینترلاکینگ که توسط چراغ اصلی مدیریت می‌شود.
Main signal	A signal that governs regular train movements. This term is used by many railways to distinguish these signals from shunting signals.
چراغ اصلی	چراغی که حرکات منظم قطار را کنترل می‌کند. این اصطلاح توسط بسیاری از راه‌آهن‌ها برای تشخیص این چراغ از چراغ‌های مانور استفاده می‌شود.
Main track	A track that may be used for regular train movements
خط اصلی	خطی که برای حرکت منظم قطار مورداستفاده قرار گیرد.
Manual block system	A block system in which the signals are controlled manually and the clearing of the block sections is checked by local operators watching the rear end markers.
سیستم بلاک دستی	یک سیستم بلاک که در آن چراغ‌ها به‌صورت دستی کنترل می‌شوند و آزادسازی بخش‌های بلاک توسط اپراتورهای محلی که نشانگرهای انتهای قطار را تماشا می‌کنند بررسی می‌شود.
Moving block system	A block system in which the track behind a train is cleared ontinuously.
سیستم بلاک متحرک	سیستم بلاکی که در آن مسیر پشت قطار به‌طور پیوسته آزاد می‌شود.
Open line	Main tracks outside of station areas.
خط آزاد	خطوط اصلی خارج از محدوده ایستگاه
Operator	An employee who is in charge to authorise train and shunting move- ments.
اپراتور	کارمندی که مسئول مجوز حرکت قطار و مانور است.

Outer home signal	A controlled signal in approach to a home signal that does not directly protect points but that may be interlocked with points within the overlap .signal beyond the home
چراغ ورودی بـیرونی	یک چراغ کنترل‌شده در نزدیک شدن به چراغ ورودی که مستقیماً از سوزن‌ها محافظت نمی‌کند، اما ممکن است با سوزن‌های درون همپوشانی بعد از چراغ ورودی در هم قفل شود.
Overlap	A certain length of track beyond a signal that must be kept clear as long a .movement is approaching that signal train
همپوشانی	طول مشخصی از مسیر بعد از یک چراغ که باید تا زمانی که حرکت قطار به آن چراغ نزدیک می‌شود، آزاد نگه‌داشته شود.
Permissive signal	A signal that may be cautiously passed in stop position after the train has stopped at the signal. After having passed a permissive signal in stop movement through the next block section must be made position, the .cautiously on sight
چراغ مجاز	چراغ توقفی که قطار پس از توقف در کنار آن ممکن است اجازه عبور بااحتیاط به آن داده شود. پس از عبور از یک چراغ مجاز در موقعیت توقف، حرکت در بلاک بعدی باید بااحتیاط و به‌شرط رؤیت انجام شود.
Point lock	A locking device that mechanically locks the points in a proper position to prevent unintended movements of the point blades and movable frogs .as long a train is running through the points
قفل سوزن	وسیله قفل کننده‌ای که به‌صورت مکانیکی سوزن‌ها را در موقعیت مناسب قفل می‌کند تا از حرکات ناخواسته تیغه‌ها و زبانه‌های متحرک سوزن تا زمانی که قطار از سوزن عبور می‌کند جلوگیری کند.
Point machine	.A machine that drives points, movable frogs, or derailers
ماشین سوزن	ماشینی که سوزن، زبانه‌های متحرک یا خارج کننده از خط را هدایت می‌کند.
Points	.The movable parts of a turnout that are moved to set different routes
سوزن‌ها	قسمت‌های متحرک یک سوزن که برای تعیین مسیرهای مختلف جابه‌جا می‌شوند.
Rear end marker	.A marker at the rear end of a train
علامت انتها	علامتی که نشان‌دهنده انتهای قطار است.
Relay interlocking	An interlocking system in which the interlocking is achieved by relay .circuits
اینترلاکینگ رله‌ای	یک سیستم اینترلاکینگ که در آن قفل شدن توسط مدارهای رله‌ای حاصل می‌شود.
Remote flank protection	adja- Flank protection that is provided by an element that is not directly .cent to the route to be protected
حفاظت جانبی از راه دور	حفاظت جانبی که توسط عنصری که مستقیماً در مجاورت مسیری که قرار است محافظت شود ارائه نمی‌شود.
Route cancellation	.A manually initiated release of a route after having restored the signal
ابطال مسیر	آزادسازی دستی مسیر پس از قرمز شدن چراغ.
Route control table	A tabular sheet that contains all interlocking conditions for a given .layout
جدول کنترل مسیر	جدولی که شامل تمام شرایط اینترلاکینگ برای یک طرح معین است.

Route locking	The locking of all points and flank protection devices as long as a route .set is
قفل‌کردن مسیر	قفل شدن تمام سوزن‌ها و وسایل حفاظت جانبی تا زمانی که یک مسیر تنظیم‌شده باشد.
Route release	The release of locked points after the train has cleared the clearing point .a route of
آزادسازی مسیر	آزادسازی سوزن‌های قفل‌شده پس‌ازاینکه قطار نقطه پاک‌سازی یک مسیر را آزاد کرد.
Running move-ment	.Another term for a train movement
حرکت در خط اصلی	اصطلاح دیگری برای حرکت قطار
Selective protec-tive points	.routes Flank points that may receive competing flank calls from different
سوزن‌های حفاظتی انتخابی	سوزن‌های جانبی که ممکن است فراخوانی‌های جانبی رقابتی را از مسیرهای مختلف دریافت کنند.
Self- selective protective points	Protective points that could receive conflicting flank calls from one train .movement
سوزن‌های حفاظتی خودانتخابی	سوزن‌های حفاظتی که می‌توانند فراخوانی‌های جانبی متضاد را از یک حرکت قطار دریافت کنند.
Semi-automatic block system	entered the A block system in which the block locking after a train has block section is effected automatically, but the section has to be released .manually
سیستم بلاک نیمه‌خودکار	یک سیستم بلاک که در آن قفل‌کردن بلاک پس از ورود قطار به بخش بلاک به‌طور خودکار انجام می‌شود، اما این بخش باید به‌صورت دستی آزاد شود.
Shared overlaps	A form of overlap protection in which two or more overlaps may share a .track section without causing a route conflict
همپوشانی مشترک	نوعی از حفاظت همپوشانی که در آن دو یا چند همپوشانی ممکن است یک بخش مسیر را بدون ایجاد تداخل مسیر به اشتراک بگذارند.
Shunt aspect	.A proceed aspect allowing a shunting move to pass a signal
نمای مانور	نمای ادامه حرکتی که به‌وسیله نقلیه مانوری اجازه می‌دهد از چراغ عبور نماید.
Shunting	.All movements other than train movements
مانور	تمام حرکات غیر از حرکت قطار
Shunting signal	.A signal that is used to authorise shunting movements
چراغ مانوری	چراغی که برای مجاز کردن حرکات مانور استفاده می‌شود.
Shunting limits	An area marked by shunting limit boards or signals, shunting ovements .must not leave
محدوده مانور	منطقه‌ای که با تابلوها یا چراغ‌های حد مجاز مانور مشخص‌شده است، و حرکات مانور نباید از آن محدوده خارج شود.
Shunt route	An interlocked route governed by a shunting signal or the shunt aspect of .main signal a

مسیر مانوری	یک مسیر تحت کنترل اینترلاکینگ که توسط یک چراغ مانوری یا نمای مانور چراغ اصلی مدیریت می‌شود.
Siding	.A track that may not be used for regular train movements
خطوط کناری	خطوطی که معمولاً برای حرکت منظم قطار مورداستفاده قرار نمی‌گیرد.
Signal aspect	The appearance of a lineside signal, as viewed from the direction of an .train, or the appearance of a cab signal approaching
نمای چراغ	رنگ چراغ کنار خط یا چراغ داخل کابین در جهت نزدیک شدن قطار.
Signal headway	The headway that results from the blocking times of two successive trains in a single block section
سرفاصله چراغ	سرفاصله‌ای که از زمان مسدود شدن یک بلاک تکی درنتیجه عبور دو قطار متوالی ناشی می‌شود.
Signal indication	.The information that is given by a signal aspect
نشانگر چراغ	اطلاعاتی که توسط یک نمای چراغ داده می‌شود.
Single slip	A crossing combined with two pairs of points to provide a slip onnection .side of the crossing at one
تک لغزش	گذرگاهی که با دو جفت سوزن ترکیب می‌شود تا یک اتصال لغزشی در یک‌طرف گذرگاه ایجاد کند.
Station area	.An arrangement of station tracks limited by opposing home signals
محدوده ایستگاه	چیدمانی از خطوط ایستگاه که با چراغ‌های ورودی دو طرف محدودشده است.
Station exit signal	.track A controlled signal that governs train movements to leave a station
چراغ خروج از ایستگاه	چراغ کنترلی که حرکت قطار را برای خروج از یک خط ایستگاه کنترل می‌کند.
Station track	A main track protected by controlled signals within an interlocking area .which trains may originate, terminate, pass, and turn on
خط ایستگاه	خط اصلی به‌عنوان مبدأ حرکت، مقصد حرکت، عبور یا چرخش وسیله نقلیه ریلی که توسط چراغ‌های تحت کنترل در یک منطقه تحت کنترل اینترلاکینگ محافظت می‌شود.
Swinging overlap	A form of overlap protection in which the overlap can be switched into .another track without cancelling the route
همپوشانی نوسانی	نوعی از حفاظت همپوشانی که در آن همپوشانی را می‌توان به مسیر دیگری بدون لغو مسیر تغییر داد.
Tabular interlock-ing	points An interlocking system in which the locking between signals and .is achieved in form of a route locking table
اینترلاکینگ جدولی	یک سیستم اینترلاکینگ که در آن قفل‌شدگی بین چراغ‌ها و سوزن‌ها به شکل جدول قفل مسیر به دست می‌آید.
Time locking	An application that will hold a route locked for a specified time after the .has been manually restored signal
زمان مسدودی	برنامه‌ای که پس از برگرداندن چراغ به‌صورت دستی، مسیری را برای مدت‌زمان مشخصی قفل نگه می‌دارد.
Token block	A block system for single track operation in which the movement author-depends on the possession of a token which is handed out to the train ity .driver

بلاک با توکن	یک سیستم بلاک برای عملیات در مسیر تک‌خطه که در آن مجوز حرکت به واگذاری یک توکن به راننده قطار منوط می‌باشد.
Track clear detection	.A device that detects the occupation and clearance of a track section
تشخیص آزادی خط	دستگاهی که اشغال و آزاد بودن مسیر را تشخیص می‌دهد.
Track cicuit	A track clear detection device consisting of an electrical circuit of which rails of a section form a part. The clearance of the section is detected the at one end of the section which receives a current by a detection device .from a source at the other end of the section
مدار خط	دستگاه تشخیص آزادی مسیر متشکل از یک مدار الکتریکی که ریل‌ها بخشی از آن را تشکیل می‌دهند. آزادی بخش توسط یک دستگاه تشخیص در یک انتهای بخش تشخیص داده می‌شود که جریانی را از منبعی در انتهای دیگر بخش دریافت می‌کند.
Traffic locking	A principle of protecting opposing movements on automatic block lines which automatic signals of both directions are cleared in normal on state but automatically restored to stop position (‘tumbled down’) by an .opposing move
قفل‌کردن تردد	یک اصل برای محافظت از حرکات مخالف در خطوط بلاک خودکار که در آن چراغ‌های خودکار هر دو جهت در حالت عادی سبز می‌باشند اما به‌طور خودکار با حرکت مخالف به حالت توقف («سقوط پایین») تبدیل می‌شوند.
Trailing point movement	.traffic A movement on a pair of points where the frog faces approaching
جابجایی سوزن همگرا	حرکتی روی یک جفت سوزن که تکه مرکزی در جهت نزدیک شدن وسیله می‌باشد.
Train movement	A locomotive or self-propelled vehicle, alone or coupled to one or more vehicles, with authority to occupy a main track in accordance to rules .movements specified for train
حرکت قطار	لکوموتیو یا وسیله نقلیه خود کششی، به‌تنهایی یا همراه با یک یا چند وسیله نقلیه دیگر، با مجوز اشغال یک مسیر اصلی طبق قوانین مشخص‌شده برای حرکت قطار.
Turnout	An assembly of rails, movable points and a frog, which effect the tangen- branching of tracks and allows trains or vehicles to run over one track tial .or another
سوزن	مجموعه‌ای از ریل‌ها، تیغه‌های متحرک و تکه مرکزی که بر انشعاب مماس ریل‌ها تأثیر می‌گذارد و به قطارها یا وسایل نقلیه اجازه می‌دهد از یک مسیر یا مسیر دیگر عبور کنند.

سیستم های علائم الکتریکی در راه آهن سیستم های کنترل پیچیده‌ای هستند. در تاریخ طولانی راه آهن، راه‌حل های خاص بسیاری برای تامین ایمنی راه‌آهن از طریق سیستم علائم الکتریکی و بر اساس فناوری های مختلف به وجود آمده‌اند.
نکته کلیدی برای یادگیری نحوه عملکرد سیستم‌های علائم الکتریکی، درک اصول کنترلی این سیستم ها است.
طبق تعریف، اصول علائم الکتریکی عبارت است از اصول سیستم ایمنی مبتنی برعلائم الکتریکی که بر اساس استانداردهای ملی می‌باشد و از الزامات یک شرکت راه‌آهن خاص و فناوری مورد استفاده، مستقل است.
این کتاب اصول اساسی مشترک همه سیستم‌های علائم الکتریکی راه‌آهن‌ها را توضیح می‌دهد.
روش مورد استفاده عمومی است و بر روش‌های ملی خاصی تمرکز نمی‌کند. هدف کتاب ارائه دانش پایه و بلند مدتی است که در آینده با تغییر فناوری منسوخ نخواهد شد.
محتوای این کتاب الکترونیکی برگرفته از تجربه دیرین آموزش بهره‌برداری راه‌آهن و علائم الکتریکی در دانشگاه‌ها و موسسات آموزش عالی حرفه‌ای در نقاط مختلف جهان است.