



منشورات جامعة دمشق
كلية الهندسة المدنية

السكك الحديدية

تأليف

الدكتور المهندس
محمد هاجم الوادي
الأستاذ في قسم النقل والمواصلات

الدكتور المهندس
جندب محمد زعرور
الأستاذ في قسم النقل والمواصلات

الدكتور المهندس
شفيق داود
المدرس في قسم النقل والمواصلات

الدكتور المهندس
إبراهيم عميرة
المدرس في قسم النقل والمواصلات

1432-1433هـ
2011-2012 م

جامعة دمشق



□

السكك الحديدية



السنة: الخامسة

القسم: هندسة النقل والمواصلات



منشورات جامعة دمشق
كلية الهندسة المدنية

السكك الحديدية

تأليف

الدكتور المهندس
محمد هاجم الوادي
الأستاذ في قسم النقل والمواصلات

الدكتور المهندس
جندب محمد زعرور
الأستاذ في قسم النقل والمواصلات

الدكتور المهندس
شفيق داود
المدرس في قسم النقل والمواصلات

الدكتور المهندس
إبراهيم عميرة
المدرس في قسم النقل والمواصلات

1432-1433هـ
2011-2012 م

جامعة دمشق

الفهرس

١٧	مقدمة
١٨	الفصل الأول: لمحة تاريخية
١٨	1-1- تمهيد
١٨	2-1- تاريخ السكك الحديدية
٢٥	3-1- مزايا الخطوط الحديدية
٢٥	1-3-1- توفير الطاقة
٢٦	2-3-1- توفير الأمان والسلامة
٢٧	3-3-1- النقل بالخطوط الحديدية صديق للبيئة
٢٨	4-1- مساوئ الخطوط الحديدية
٢٨	5-1- تصنيف الخطوط الحديدية
٣٠	6-1- الخطوط الحديدية في سورية
٣٠	1-6-1- المؤسسة العامة للخطوط الحديدية السورية (CFS)
٣١	2-6-1- الإدارة الثانية
٣٣	7-1- الأدوات المحركة والمتحركة
٣٤	1-7-1- القاطرات
٣٦	2-7-1- عربات الركاب
٣٧	3-7-1- الشاحنات
٣٨	8-1- شبكة الخطوط الحديدية العربية
٤٢	الفصل الثاني: الوسعة
٤٢	1-2- الوسعة النظامية للسكة الحديدية
٤٢	1-1-2- في المستقيمات
٤٤	2-1-2- في المنحنيات
٤٥	2-2- العجلات والأقطاب (المحاور)
٤٦	1-2-2- القطب (wheelset)
٤٦	2-2-2- وظائف ومهام الأقطاب

٤٧	3-2-2- الإجهادات التي تتعرض لها الأقطاب.....
٤٧	4-2-2- أنواع تصاميم الأقطاب.....
٥٠	3-2- أشكال التآكل على دواليب مركبات السكك الحديدية.....
٥٠	1-3-2- أسس عامة.....
٥٠	2-3-2- أشكال التآكل.....
٥١	3-3-2- الأضرار ذات الطابع الخاص.....
٥٥	4-2- ضمان عدم خروج العجلة عن القضيب.....
٥٦	5-2- وسعة الإنشاء.....
٦٠	الفصل الثالث: مكونات الخط الحديدي
٦٠	1-3- السكة الحديدية.....
٦٠	1-1-3- القسم العلوي ومهامه.....
٦٢	2-1-3- القسم السفلي.....
٦٣	3-1-3- البلاتفورم.....
٦٤	4-1-3- طبقة التشكل.....
٦٩	2-3- عناصر الخط الحديدي.....
٦٩	1-2-3- القضبان الفولاذية.....
٨٥	2-2-3- العوارض.....
١٠٨	3-2-3- أدوات الوصل والتثبيت.....
١٣٨	4-2-3- البلاست.....
١٥٠	3-3- منشآت السكة الحديدية.....
١٥٠	1-3-3- المحطات.....
١٥٠	2-3-3- خطوط حرة مستمرة.....
١٥٠	3-3-3- تباعد الخطوط الحديدية.....
١٥٥	الفصل الرابع: التخطيط الهندسي
١٥٥	1-4- مقدمة.....
١٥٥	2-4- تحديد المسار.....
١٥٦	1-2-4- الأسس والعوامل العامة لاختيار محور الخط الحديدي.....
١٥٦	2-2-4- القواعد والشروط الفنية التي يجب مراعاتها عند تصميم محور الخط الحديدي...

١٥٨	3-2-4 - كيفية انتقاء المسار بين نقطتين على المخطط الطبوغرافي
١٦٢	3-4 - تنظيم المقطع الطولي
١٦٣	1-3-4 - مراحل دراسة ورسم المقطع الطولي
١٦٤	2-3-4 - رسم المقطع الطولي
١٦٥	3-3-4 - المقاطع العرضية
١٦٦	4-4 - ميول الخط الحديدي
١٦٧	5-4 - مراحل إعداد الدراسة
١٧٣	6-4 - البرمجيات والنورمات المعتمدة
١٧٤	7-4 - دفاتر الشروط الفنية وجداول شمولية الأسعار
١٧٥	8-4 - إخراج الإضارة التنفيذية
١٧٦	9-4 - التمرين العملي
١٧٩	الفصل الخامس: المنحنيات والعلو الإضافي
١٧٩	1-5 - عناصر السكة في المنحنيات
١٨٠	1-1-5 - حساب عناصر المنحنيات الأفقية
١٨١	2-1-5 - حساب التعريض الإضافي لوسعة جسم الخط في المنحنيات
١٨١	3-1-5 - حساب التعريض الإضافي لوسعة الخط في المنحنيات
١٨٢	2-5 - العلو الإضافي
١٨٤	1-2-5 - العلو الإضافي النظري
١٨٤	2-2-5 - العلو الإضافي العملي
١٨٧	3-5 - المنحنيات الانتقالية
١٩٢	4-5 - مرتقى العلو الإضافي
١٩٣	5-5 - المنحنيات الرأسية (الشاقولية)
١٩٨	6-5 - تقصير القضبان
١٩٨	1-6-5 - تقصير القضبان في الجهة الداخلية للمنحني الدائري
٢٠٣	2-6-5 - تحديد مقدار التقصير التراكمي ضمن المنحني الانتقالي
٢٠٩	7-5 - تقوية الخط الحديدي في المنحنيات
٢١٠	8-5 - التمرين العملي

٢١١	الفصل السادس: القوى المؤثرة في الخط الحديدي
٢١١	1-6- تصنيف القوى المؤثرة في الخط الحديدي
٢١٢	2-6- القوى الشاقولية
٢١٢	1-2-6- قوى شاقولية ستاتيكية
٢١٣	2-2-6- قوى شاقولية ديناميكية
٢١٣	3-2-6- القوى الشاقولية بسبب التسارع الجانبي
٢١٤	4-2-6- القوى الشاقولية بسبب تسطح أو تقلطح دولا ب العربية
٢١٤	3-6- القوى الطولية
٢١٤	1-3-6- القوة الطولية الناتجة عن تغير درجة الحرارة
٢١٥	2-3-6- القوة الطولية بسبب التسارع
٢١٥	3-3-6- القوة الطولية بسبب الفرملة (الإلجام)
٢١٦	4-3-6- القوة الطولية بسبب الإجهادات الداخلية عند الصنع واللحام
٢١٦	4-6- القوى العرضية
٢١٨	5-6- المقاومات (القوى المقاومة)
٢١٩	1-5-6- مقاومة الجيبرات
٢١٩	2-5-6- مقاومة الاحتكاك الطولي بين العوارض والبلاست
٢٢٠	3-5-6- مقاومة الاحتكاك بين القضبان والعوارض
٢٢١	4-5-6- مقاومة التحنيب
٢٢١	5-5-6- مقاومة الدوران
٢٢٣	6-5-6- مقاومة الانزياح العرضي
٢٢٥	6-6- الإجهادات في القضبان
٢٢٥	1-6-6- الإجهادات الناتجة عن القوى الشاقولية
٢٢٧	2-6-6- طريقة الجائر الطولي
٢٣٩	3-6-6- الإجهادات الناتجة عن تغير درجة الحرارة
٢٥١	4-6-6- الإجهادات الناتجة عن القوى العرضية
٢٥٨	5-6-6- إجهادات التماس بين الدولا ب والقضيب

٢٦١	الفصل السابع: الأعمال الترابية والصناعية وتصريف المياه
٢٦١	1-7- تعريف الجسم الترابي
٢٦١	2-7- تحديد شكل الجسم الترابي
٢٦٥	3-7- المقاطع العرضية النموذجية
٢٦٥	4-7- مهمة ممر الخط
٢٦٦	5-7- المقاطع العرضية الخاصة
٢٦٦	6-7- الأعمال الصناعية
٢٦٧	1-6-7- تصنيف الأعمال الصناعية
٢٦٧	2-6-7- الجسور البيتونية
٢٦٨	3-6-7- الجسور المعدنية
٢٦٨	4-6-7- الجسور البيتونية المسلحة
٢٦٨	5-6-7- العبارات
٢٦٩	6-6-7- الأنفاق
٢٧١	7-6-7- السيفونات
٢٧١	7-7- مراحل إنشاء أساس السكة (القسم السفلي)
٢٧٢	8-7- خواص التربة المستخدمة في إنشاء أساس السكة (القسم السفلي)
٢٧٢	9-7- أهم العيوب التي قد تحدث في أساس السكة
٢٧٤	10-7- وسائل علاج أساس السكة
٢٧٤	1-10-7- صرف المياه بعيداً عن السكة
٢٧٦	2-10-7- الحقن بمونة الأسمنت
٢٧٧	3-10-7- دق الأعمدة
٢٧٨	4-10-7- عمل ثقوب بالأساس وملؤها بالرمل
٢٧٨	5-10-7- عمل جيوب وملؤها بالرمل
٢٧٨	6-10-7- الحصائر
٢٧٩	7-10-7- جدران جانبية
٢٧٩	8-10-7- مواد كيميائية
٢٧٩	9-10-7- رقائق النيوبرين
٢٧٩	10-10-7- الرش بالبيتومين

٢٨١	الفصل الثامن: الخطوط الحديدية الملحومة
٢٨١	1-8- مقدمة
٢٨٣	2-8- مدخل إلى نظرية الخطوط الملحومة
٢٨٥	3-8- ميكانيكية الخط الملحوم
٢٨٩	4-8- حساب القوة الحرجة في حالة الضغط
٢٨٩	1-4-8- طريقة عزم العطالة المكافئ
٢٩١	2-4-8- طريقة الحساب التحليلية (نيمسدي)
٢٩٧	3-4-8- طريقة الحساب الألمانية
٢٩٨	4-4-8- طريقة الحساب الفرنسية
٢٩٩	5-4-8- أمثلة على حساب القوة الحرجة
٣٠٢	5-8- استقرار الخط الملحوم في حالة الشد
٣٠٣	6-8- لحام الخطوط الطولية
٣٠٤	1-6-8- اللحام الكهربائي بالشرر (الوميضي)
٣٠٥	2-6-8- اللحام الألومني الحراري (الترميت)
٣٠٦	7-8- النتر في الخطوط الملحومة
٣٠٧	1-7-8- أسباب حدوث النتر
٣٠٨	2-7-8- الإجراءات بعد حدوث النتر
٣٠٩	8-8- الكسور في الخطوط الملحومة
٣١٠	9-8- إزالة الكسور
٣١٤	10-8- الانتقال من خط ملحوم إلى خط عادي
٣١٧	الفصل التاسع: مقاومات سير القطارات والحسابات الجرية
٣١٧	1-9- مقدمة
٣١٧	2-9- أنواع الجر
٣١٧	1-2-9- الجر البخاري
٣١٩	2-2-9- الجر بالديزل
٣٢٢	3-2-9- الجر الكهربائي
٣٢٣	4-2-9- قوة الجر
٣٢٤	3-9- المقاومات التي تعيق تقدم القطار
٣٢٦	1-3-9- قوى المقاومة الأساسية

٣٢٨	٩-٣-٢- قوى المقاومة الإضافية.....
٣٣٢	٩-٤- قوى الإلجام والكبح.....
٣٣٣	٩-٥- مسافة الإلجام.....
٣٣٥	٩-٦- حساب وزن القطار وسرعة سيره.....
٣٣٩	الفصل العاشر: المفاتيح
٣٣٩	١٠-١- تعريف المفتاح.....
٣٤٠	١٠-٢- عناصر المفتاح.....
٣٤١	١٠-٣- أنواع المفاتيح.....
٣٤٤	١٠-٤- تحديد العناصر الأساسية للمفتاح.....
٣٥٠	١٠-٥- ترميز المفاتيح.....
٣٥٢	١٠-٦- المفتاح البسيط.....
٣٥٢	١٠-٦-١- العناصر الهندسية للمفتاح البسيط.....
٣٥٣	١٠-٦-٢- الإبرة.....
٣٥٤	١٠-٦-٣- القضبان الوسطية.....
٣٥٤	١٠-٦-٤- قلب التصالب.....
٣٥٥	١٠-٦-٥- قضيب التوجيه.....
٣٥٦	١٠-٦-٥- نموذج مفتاح.....
٣٥٧	١٠-٧- المفتاح المنحني.....
٣٥٩	١٠-٧-١- نصف قطر المفتاح المنحني.....
٣٦١	١٠-٧-٢- الحساب التقريبي.....
٣٦٣	١٠-٧-٣- حالة خاصة.....
٣٦٣	١٠-٧-٤- حدود نصف قطر المفتاح المنحني.....
٣٦٦	١٠-٨- حالات وصل المفاتيح.....
٣٦٦	١٠-٨-١- وصل مفتاحين متوافقين في الانحناء للخطين الفرعين.....
٣٦٦	١٠-٨-٢- وصل مفتاحين عند وجود منحنيين متعاكسين متتابعين.....
٣٦٨	١٠-٩- وضعية المفاتيح في المنحنيات الشاقولية والمعايير والأعمال الصناعية.....
٣٦٨	١٠-١٠- وصلات الخطوط.....
٣٧٠	١٠-١١- تفريعات الخط.....
٣٧١	١٠-١٢- أعمدة الرأس.....
٣٧٢	١٠-١٣- ملخص عن المفاتيح المستخدمة في ألمانيا (أوروبا).....

٣٧٧	الفصل الحادي عشر: الإشارات ونظم الإشارات في الخطوط الحديدية
٣٧٧	1-11 مقدمة
٣٧٧	2-11 تطور استخدام الإشارات
٣٧٧	3-11 تصنيف الإشارات
٣٧٩	4-11 الإشارات الثابتة
٣٨٣	5-11 تصنيف السيمافورات (الشخصيات) الضوئية
٣٨٣	6-11 الإشارات الضوئية المستخدمة في ح س
٣٨٣	1-6-11 ألوان الإشارات الضوئية
٣٨٤	2-6-11 مصطلحات خاصة بالألوان
٣٨٤	3-6-11 مدلولات الإشارات
٣٨٦	4-6-11 إشارة الدعوة
٣٨٦	5-6-11 أماكن توضع الإشارات
٣٨٨	7-11 نظم الإشارات وتجهيزات توجيه الحركة المستخدمة في الخطوط الحديدية
٣٨٨	1-7-11 تطور نظم الإشارات
٣٨٩	2-7-11 نظام الإشارات الكهر - ميكانيكي
٣٩٠	3-7-11 نظام الإشارات النصف آلي
٣٩٣	4-7-11 نظام الإشارات الآلي: أو نظام الحجز الآلي
٣٩٥	5-7-11 نظام إشارات التحكم المركزي
٣٩٦	8-11 إشارات وأجهزة التقاطعات والحواجز الآلية
٣٩٧	9-11 أجهزة الإشارة الموجودة على متن القاطرة
٣٩٨	1-9-11 مكرر الإشارة
٣٩٨	2-9-11 ذراع اليقظة
٤٠١	الفصل الثاني عشر: المحطات
٤٠١	1-12 تعاريف
٤٠١	2-12 تصنيف المحطات
٤٠١	1-2-12 التصنيف حسب الوظيفة
٤٠٢	2-2-12 التصنيف حسب الشكل
٤٠٥	3-12 أنواع الخطوط في المحطات
٤٠٦	4-12 أسس تصميم الخطوط في المحطات

٤٠٦	1-4-12 الميول الطولية.....
٤٠٦	2-4-12 الخطوط الرئيسية.....
٤٠٧	3-4-12 خطوط التجاوز.....
٤٠٧	4-4-12 الخطوط الثانوية.....
٤٠٧	5-4-12 خطوط الربط.....
٤٠٧	6-4-12 التباعد بين محاور الخطوط الجرية.....
٤١١	7-4-12 التباعد بين محاور الخطوط في المحطات.....
٤١٢	8-4-12 مسار الدخول ومسار الخروج.....
٤١٣	9-4-12 أماكن إشارات الدخول.....
٤١٥	10-4-12 أماكن إشارات الخروج.....
٤١٦	11-4-12 مفاتيح الحماية.....
٤١٧	12-4-12 الأطوال المفيدة للخطوط.....
٤١٨	13-4-12 صالات البضائع.....
٤٢٠	14-4-12 طرق التحميل.....
٤٢٠	15-4-12 أنفاق المشاة.....
٤٢٢	5-12 مكونات المحطة.....
٤٢٢	1-5-12 مقدمة.....
٤٢٤	2-5-12 الأرصفة.....
٤٢٤	3-5-12 ترتيب الأرصفة مع الخطوط.....
٤٢٥	4-5-12 أنواع الأرصفة.....
٤٢٧	5-5-12 الأطوال المفيدة للأرصفة.....
٤٢٧	6-5-12 عرض الأرصفة.....
٤٢٨	7-5-12 ارتفاع الأرصفة.....
٤٢٩	8-5-12 حساب عرض الادراج الثابتة في الأرصفة.....
٤٣٠	9-5-12 المعابر العلوية.....
٤٣٠	10-5-12 الأدراج المتحركة.....
٤٣١	11-5-12 خطوط تغيير الاتجاه لقطارات الضواحي.....
٤٣٣	12-5-12 مبنى الركاب.....
٤٣٤	6-12 محطات الفرز.....

٤٣٤	1-6-12- تعريف ومهام محطات الفرز
٤٣٤	2-6-12- موقع محطة الفرز ضمن شبكة الخطوط الحديدية
٤٣٥	3-6-12- أشكال محطة الفرز
٤٣٨	4-6-12- مبادئ تصميم محطة الفرز
٤٤١	5-6-12- خطوط الاستقبال
٤٤٢	6-6-12- حلبة الفرز
٤٤٦	7-6-12- منطقة التوزيع
٤٤٩	8-6-12- حساب ارتفاع حلبة الفرز
٤٥٣	9-6-12- مثال على حساب ارتفاع حلبة الفرز
٤٥٨	10-6-12- خطوط الفرز
٤٥٩	11-6-12- خطوط الترحيل
٤٦٠	12-6-12- الخطوط الإضافية

٤٦١ الفصل الثالث عشر: مخطط سير القطارات

٤٦١	1-13- تعريف
٤٦١	2-13- محتويات مخطط سير القطارات
٤٦٢	3-13- الهدف من تنظيم مخططات سير القطارات
٤٦٢	4-13- تصنيف مخططات السير
٤٦٢	1-4-13- مخططات سير القطارات للاستخدام الداخلي
٤٦٣	2-4-13- مخططات سير القطارات للاستخدام العام
٤٦٣	5-13- تنظيم مخطط سير القطارات
٤٦٥	1-5-13- طرق ترقيم القطارات
٤٦٦	2-5-13- نظام الترقيم المتبع في خ ح س
٤٦٦	3-5-13- المعلومات اللازم توفرها لتنظيم مخطط سير القطارات
٤٦٧	6-13- الفواصل الزمنية
٤٦٧	1-6-13- زمن المسير
٤٦٧	2-6-13- فاصل الوصول غير المتزامن
٤٦٨	3-6-13- فاصل التلاقي
٤٧١	4-6-13- الزمن اللازم لإقلاع أو إجماع القطارات
٤٧٢	7-13- تصنيف خطوط السير

٤٧٢	1-7-13 مخطط سير القطارات على الخط المفرد.....
٤٧٤	2-7-13 مخططات السير للخط المزدوج.....
٤٧٦	3-7-13 مخططات السير للخطوط المتعددة المسارات.....
٤٧٦	8-13 أنواع مخططات سير القطارات.....
٤٧٩	9-13 الاستطاعة التمريرية.....
٤٧٩	1-9-13 الاستطاعة التمريرية للخط المفرد.....
٤٨١	2-9-13 الاستطاعة التمريرية للخط المزدوج.....
٤٨٣	3-9-13 السعة التمريرية للمحطات.....
٤٨٦	الفصل الرابع عشر: النقل السككي داخل المدن
٤٨٦	1-14 مقدمة.....
٤٨٦	2-14 تصنيف وسائل النقل السككي داخل المدن.....
٤٨٧	3-14 التزام ضمن الشوارع.....
٤٨٧	1-3-14 التزام العادي.....
٤٩٦	2-3-14 خطوط التزام المبنية ضمن الطريق بشكل منفصل.....
٤٩٧	4-14 التزام السريع.....
٤٩٩	5-14 المترو.....
٥٠٢	6-14 البريمترو.....
٥٠٦	الفصل الخامس عشر: تكنولوجيا إنشاء السكك الحديدية
٥٠٦	1-15 مقدمة.....
٥٠٦	2-15 تصنيف أعمال الخطوط الحديدية.....
٥٠٦	1-2-15 القسم الأول.....
٥٠٨	2-2-15 القسم الثاني.....
٥٠٨	3-15 تصنيف أعمال الخطوط الحديدية.....
٥٠٩	1-3-15 أعمال الإنشاء لخط جديد.....
٥١٠	2-3-15 أعمال التجديد.....
٥١٢	3-3-15 أعمال الصيانة والإصلاحات.....
٥١٢	4-15 تنظيم العمل في ورشة الخطوط الحديدية.....
٥١٢	5-15 وثائق تكنولوجيا تنظيم الأعمال.....

٥١٣	15-6- طرق تنفيذ أعمال إنشاء الخطوط الحديدية
٥١٥	15-7- أنواع المخططات المستخدمة لتنظيم أعمال ورشة الخطوط الحديدية.....
٥١٥	15-8- مخطط غانتا.....
٥١٨	15-9- المخطط الشبكي
٥١٩	15-10- طريقة مخطط السرعة (الطول - الزمن)
٥٢٠	15-10-1- وصف عام
٥٢٢	15-10-2- مخطط السرعة من أجل استخدام عدة آليات
٥٢٣	15-10-3- مخطط السرعة لاستخدام آليتين متشابهتين بتنفيذ عمل واحد
٥٢٤	15-10-4- العوامل الرئيسية المؤثرة على مخطط السرعة.....
٥٢٥	15-11- تسلسل تنفيذ الأعمال في الورشة
٥٢٧	15-12- دقة وجودة أعمال الخطوط الحديدية.....
٥٣٠	الفصل السادس عشر: حماية البيئة.....
٥٣٠	16-1- مقدمة
٥٣١	16-2- تأثير وسائل النقل المختلفة على البيئة.....
٥٣٣	16-3- السكك الحديدية هي الصديق الكبير للبيئة.....
٥٣٥	16-4- منشآت الحماية من الضجيج
٥٣٦	16-4-1- قياس قوة الصوت (الضجيج).....
٥٣٧	16-4-2- مصادر الأصوات في النقل السككي
٥٣٧	16-4-3- الوقاية من الضجيج
٥٣٨	16-4-4- طرق حساب الضجيج.....
٥٤٦	المصطلحات العلمية.....

مقدمة

قدم هذا الكتاب إلى أعزائنا الطلاب حسب الخطة الدراسية الجديدة لطلاب الهندسة المدنية بجامعة دمشق وإلى زملائنا المهندسين والمختصين في مجال هندسة السكك الحديدية، اعتمدنا في إعداد الكتاب على عدد وفير من المراجع العلمية الأجنبية والعربية آملين أن نقدم الفائدة المرجوة منه، حيث توالى فصوله وفق تسلسل يراعي مفردات المنهاج التدريسي ويشمل الأسس النظرية والأمثلة العملية، ويسعدنا أن نستقبل جميع الآراء والملاحظات على هذا العمل المتواضع كما نأمل أن يساهم هذا الكتاب في إغناء المكتبة العلمية العربية ، قام بإعداد هذا الكتاب السادة الدكاترة:

الأستاذ الدكتور المهندس جندب محمد زعرور، أعد الفصول التالية: الأول، الثاني، الثالث، الرابع، الخامس، السابع والسادس عشر.
الأستاذ الدكتور المهندس محمد هاجم الوادي، أعد الفصول التالية: السادس، الثامن، العاشر والثاني عشر.
الدكتور المهندس ابراهيم عميرة، أعد الفصول التالية: الحادي عشر، الثالث عشر، الرابع عشر والخامس عشر، كما أعد الدكتور المهندس شفيق داؤد الفصل التاسع.

والله ولي التوفيق

دمشق في 2011

المؤلفون

الفصل الأول لمحة تاريخية عن الخطوط الحديدية The History of Railway

1-1- تمهيد:

تميزت نهاية القرن العشرين بحدوث تغيرات وانقلابات سياسية واقتصادية سواء في أوروبا الوسطى أو في آسيا، مما أدى ببعض البلدان إلى الانتقال إلى اقتصاد السوق. وهذا أدى إلى تراجع ملحوظ للإنتاج ولاسيما في قطاع المستهلك الكبير للطاقة والمعدات وبالتالي انخفض شيئاً فشيئاً حجم البضائع المنقولة بالخط الحديدي، حيث امتصت النقلات الطرقية المتطورة حصة رئيسية من هذا النقل. إن إصلاح السكك الحديدية في بلدان أوروبا الشرقية بدأ بعد انهيار النظام الاشتراكي وتم بسرعة كبيرة وخاصة في البلدان التي دخلت أو ستحاول الدخول إلى الاتحاد الأوروبي.

كما أن البلدان التي تحاول عقد اتفاقيات الشراكة مع الاتحاد الأوروبي بدأت أيضاً بإصلاح البنية التحتية لخطوطها الحديدية. وفي سورية تبنت إدارات السكك الحديدية برنامجاً للإصلاح الإداري والاقتصادي لمهامها وأنشطتها في التحديث والتطوير بإمكاناتها البشرية والمادية وشبكاتها وتجهيزاتها بغية زيادة الطاقة النقلية وتحسين أسطول النقل وإجراء صيانة وإصلاح وتجديد وتطوير الخطوط القديمة وتنفيذ الخطوط الحديثة بالمواصفات المعتمدة في الاتحاد الدولي UIC تمكناً من تحقيق سرعة النقل وتحسين نوعية الخدمات لنقل الركاب والبضائع واستكمال وصل شبكات الخطوط الحديدية لتحقيق الربط الدولي السككي عبر محورين للنقل:

1- محور من دول أوروبا إلى المرافئ السورية وعبر سورية والعراق وإيران إلى وسط وشرق آسيا.

2- محور من أوروبا عبر تركيا وسورية إلى الأردن والدول العربية.

2-1- تاريخ السكك الحديدية في العالم وفي سورية:

- بدأت في القرن السادس عشر في انكلترا عملية النقل بعربات تجرها الخيول وتسير على قضبان خشبية.

- تم في عام 1769 صنع آلة بخارية من قبل (جيمس وات).

- بدأت في عام 1814 أول تجربة للنقل على الخطوط الحديدية في مقاطعة ويلز الجنوبية بانكلترا التي تعتبر أول دولة في العالم استخدمت القاطرة البخارية التي بناها جورج ستيفنسون (George Stephenson) لأول مرة في جر عربات مشحونة بسرعة خمسة أميال في الساعة (5 ميل/ ساعة).

- نجح جورج ستيفنسون في 27/5/1825 في استصدار مرسوم بإنشاء أول خط سكة حديد في العالم بين ستكستون ودار لنجتون بانكلترا لتسير عليه قاطرته البخارية الجديدة التي أطلق عليها اسم (Locomotiv).

وكان الخط آنذاك مفرداً بطول 38 ميلاً ووزن القطار 80 طناً، وبنجاح هذا الخط تم إنشاء خط آخر لنقل الركاب بين ليفر بول ومانشستر الذي افتتح في 15/9/1830 وسار عليه قطار تجره قاطرة ستيفنسون المتطورة وأطلق عليها اسم الصاروخ (Rocket).

- دخل أول قطار الخدمة في فرنسا عام 1832 وهو لم يتأخر طويلاً عن بريطانيا، إن نمو خطوط السكك الحديدية في فرنسا خلال السنوات العشر التالية سار بوتيرة أبطأ كثيراً منها في بريطانيا ودول أوروبية أخرى لتجد فرنسا نفسها متخلفة عن بريطانيا وألمانيا وبلجيكا وسويسرا من حيث طاقة النقل إلى عدد السكان.

وما أن ترك الفرنسيون القرن التاسع عشر بكل ما شهده من اضطرابات وانقلابات ودخلوا القرن العشرين حتى انطلقت شبكة السكك الحديدية لتتمو بمعدلات سريعة لتصبح في عام 1914 وقبل الحرب العالمية الأولى واحدة من أكثر أنظمة السكك الحديدية تطوراً في العالم ووصل طولها إلى أكثر من 60 ألف كيلومتر، وفي

السبعينيات من القرن العشرين دخل القطار فائق السرعة فرنسا وحقق نجاحاً كبيراً خاصة أن فرنسا تحولت إلى نقطة تجمع رئيسية لشبكة السكك الحديدية في أوروبا الغربية التي تربط بين دول الاتحاد الأوروبي.

- في عام 1833 وضع السيد فريد ريش ليست (Friedrich list) نظام سكي لمنطقة سكسونيا كأساس لنظام عام لسكك ألمانيا.

- أنشئ في عام 1835 أول خط حديدي ألماني بين نورن برك وفيورس (Nuernberg - Fuerh) بطول 6 كم/ وعرض وسعة 1435 مم مع قاطرة بخارية.

- صنعت أول قاطرة ألمانية (سكسونيا) في عام 1838.

- أنشئ في عام 1839 أول خط حديدي للنقل البعيد بين مدينتي لا بيزك ودريسدن بألمانيا.

- تعتبر المنطقة العربية من أوائل مناطق العالم التي عرفت السكك الحديدية والقطارات من خلال ثلاثة مشروعات عملاقة: الأول أقيم في مصر في النصف الثاني من القرن التاسع عشر، والثاني في الجزيرة العربية وعُرف باسم خط سكك حديد الحجاز - الشام، حيث كان يربط بين بلاد الشام التي تضم حالياً سوريا ولبنان وفلسطين بإقليم الحجاز في شبه الجزيرة العربية، حيث توجد الأماكن المقدسة، والثالث عرف باسم خط سكك حديد برلين - بغداد، وكان هدف الخط أن يربط بين العاصمة الألمانية برلين وساحل الخليج العربي مروراً بالعراق.

- كانت بداية إنشاء السكك الحديدية في الوطن العربي عام 1851 في مصر حيث افتتح أول جزء من الخط الحديدي بين الإسكندرية وكفر الزيات عام (1854) وهو الخط الأول في القارة الإفريقية والوطن العربي.

- يعود تأسيس الخطوط الحديدية السورية إلى الحكم العثماني في عهد السلطان عبد الحميد الثاني.

- حصلت في أواخر القرن التاسع عشر شركة فرنسية برئاسة الجنرال دوبتري على امتياز من الباب العالي في الآستانة لتصميم وإنشاء واستثمار خط حديدي ضيق بين بيروت وبصرى الشام عبر مدينة دمشق لتسويق حبوب حوران ، ووضع هذا الخط في الاستثمار عام 1896.

- أثار هذا الحدث حفيظة الإمبراطورية الألمانية لما يخفيه من أهداف استعمارية مستقبلية للحكومة الفرنسية فوضعت مشروع خط حديدي سمي (B.B.B) (برلين - بغداد - بومباي) عبر الآستانة، هدف هذا المشروع اقتسام تركة الرجل المريض والمضاربة على قناة السويس.

- بناءً على ذلك بدأ استثمار الخط الحديدي عام 1902 المنطلق محطة بغداد في حلب عبر محطة ميدان أكبس إلى تركيا ويعتبر أول خط حديدي نظامي في سورية والشكلين (1-1)، (1-2) يظهران هاتين المحطتين (محطة ميدان إكبس - محطة بغداد في حلب).



الشكل (1-1) محطة ميدان اكبس

- تم في عام 1906 وصل حلب مع ميناء بيروت عبر الخط العريض حماة - حمص - رياق وبالخط الحجازي الضيق الممتد من بيروت إلى دمشق وعمان والحجاز.



الشكل (1-2) محطة بغداد للقطارات - حلب

Bagdad-Bahnhof

- وكذلك تقرر الانطلاق من حمص نحو الشمال الإفريقي عبر بيروت فالساحلين اللبناني والفلسطيني بالوسعة النظامية، ووضع قسم حمص - طرابلس عام 1911 في الاستخدام ووصل عام 1944 إلى بيروت وتابع هذا الخط إلى صيدا - صور - رأس الناقورة - حيفا - رفح إلى بور سعيد مجتازاً قناة السويس في منطقة الفردان وهكذا تم الاتصال بالخط الحديدي حتى مرسى مطروح قرب الحدود الليبية والجدير بالذكر أن العدو الإسرائيلي دمر جسر الفردان في عدوان السويس عام 1956.



الشكل (1-3) محطة الحجاز بدمشق عام 2010

- من جهة ثانية تابع الخط الحديدي من حلب عبر الراعي ليصل إلى بغداد عام 1936 ماراً في سورية بين محطتي القامشلي - اليعربية عام 1906.
- أما بالنسبة للجنوب فكان العمل يجري بسرعة كبيرة ووضع الخط الحديدي الضيق المنطلق من محطة الحجاز في دمشق الشكل (1-3) باتجاه المدينة المنورة عام 1911 بالاستثمار لكن دمرت أجزاء كثيرة منه وتوقف استثماره عام 1914 بتخطيط من الضابط الانكليزي لورنس.
- في عهد الانتداب الفرنسي تم استثمار شبكة الخطوط الحديدية الجنوبية ضمن الأراضي السورية وفق المحاور التالية: (حلب - حماة - حمص - العكاري)، (حمص - القصير)، (سرغايا - دمشق - درعا).
- أحدثت مؤسسة سكك حديد الدولة السورية عند الاستقلال 1946 لتضم محوري (ميدان أكبس - حلب - الراعي) و(القامشلي - اليعربية - الحدود العراقية).

- في عهد الوحدة بين القطرين العربيين سورية ومصر بدأ العمل لإنشاء الخط الحديدي على محور حلب - الرقة - دير الزور - الحسكة.
 - تم في عام 1963 تأسيس المؤسسة العامة للخطوط الحديدية السورية ومقرها مدينة حلب (CFS) (Direction générale des Chemins de fer Syriens).
 - تم في عام 1964 تأسيس المؤسسة العامة للخط الحديدي الحجازي (CFH) ومقرها دمشق.
 - تم وصل مرفأ طرطوس بمحطة العكاري في عام 1967.
 - أحدثت الشركة العامة لإنشاء الخطوط الحديدية السورية في عام 1977 ومقرها حلب.
 - تم في عام 1979 تأسيس الاتحاد العربي للسكك الحديدية ومقره مدينة حلب.
 - تم استثمار الخط الحديدي بين اللاذقية - حلب - القامشلي في عام 1980 وبلغ طوله 740 كم.
 - بدأ في عام 1984 استثمار الخط الحديدي حمص - دمشق وبلغ طوله 210 كم.
 - تم في عام 1990 استثمار الخط الحديدي بين اللاذقية وطرطوس بطول 90 كم.
- وهكذا مرت الخطوط الحديدية السورية بمراحل تطور مختلفة، حيث تم ربط معظم محافظات القطر بشبكة من الخطوط الحديدية بتكنولوجيا ستينات القرن الماضي أو ما قبلها، وبسرعة أعظمية (120) كم/سا للركاب و(100) كم/سا للبضائع ووزن محوري (20) طن وكانت تخدم بقاطرات ديزل كهربائية حديثة وعربات ركاب حديثة مكيفة وشاحنات لنقل البضائع من مختلف الفئات، وتتم صيانة خطوط الشبكة بوسائل آلية ومعدات حديثة.
- في عام 1964 وصلت أعلى سرعة لنظام سككي في اليابان إلى (210) كم/سا.
 - في عام 1981 وصلت أعلى سرعة لنظام سككي في أوروبا إلى (270) كم/سا لدى (TGV) في فرنسا ثم ازدادت إلى (515) كم/سا في عام 1990.

- تعتبر ألمانيا واليابان متقدمتين في مجال القطارات ذات الوسادة المغناطيسية كما هو الحال في بعض الدول الأخرى.

- في عام 1983 بدأت أول تجربة للقطار المغناطيسي (ترانس رايبند) في ألمانيا.

3-1- مزايا الخطوط الحديدية:

1-3-1- توفير الطاقة:

ولبيان ذلك سنجري مقارنة بين النقل السككي والنقل الطرقي وفق المعطيات التالية:

- قاطرة استطاعتها 3200 حصان تجر حمولة وسطية صافية 2400 طن.

- حمولة الشاحنة 50 طن وسطيا وعدد الشاحنات السككية اللازمة لنقل هذه الحمولة 48 شاحنة سككية.

- حمولة الشاحنة السيارة 26 طن واستطاعتها 300 حصان والعدد اللازم لنقل الحمولة 92 سيارة.

وبإجراء مقارنة بين الحالتين نجد التالي في الجدول (1-1):

الجدول (1-1)

النقل بالسيارات	النقل بالقطار	التسمية
$27600 = 300 \times 92$	3200	الاستطاعة اللازمة (حصان)
$150/1288 = 14 \times 92$	$300/384 = 8 \times 48$	عدد الدواب/ قيمة الدولار (دولار)
90	600	مسير الاستخدام وسطياً (ألف كم)
92 مجموعة للسيارات	مجموعة للقاطرة	القطع التبديلية للرأس القاطر
92 مقطورة	48 شاحنة	القطع التبديلية للشاحنات والمقطورات
تكاليف إصلاح الخط الحديدي سنوياً متدنية قياساً مع تكاليف إصلاح الطرق البرية وتتراوح نسبتها بين 6 إلى 8 أمثال		صيانة الطريق أو الخط الحديدي

وإذا تساوى استهلاك الحصان الواحد في كل مرة من محرك القاطرة والسيارة في الوقود (رغم أن الاستهلاك في محرك القاطرة أقل) وبالحساب نجد أن نسبة استهلاك الوقود في الحالتين تساوي $92/3200 * 300 = 11.5\%$ أي حوالي 8.5 مثل. وإذا أخذنا وسائط النقل المختلفة في نقل الركاب والبضائع لوجدنا أن هذه النسبة تصل إلى أكثر من ذلك بكثير.

1-3-2- توفير الأمان والسلامة:

تبين من خلال الدراسات التي قام بها مستشارو البنى التحتية في الاتحاد الدولي للخطوط الحديدية على سبعة عشر بلداً أوروبياً أن السيارات الخاصة والنقل الطرقي وحدها مسؤولة عن أكثر من 93% من الحوادث وأضرار البنية والازدحام والاختناقات في حين لا تتجاوز مسؤولية الخطوط الحديدية 2% ولو أن نسب هذه الأضرار تختلف من قارة إلى قارة تبعاً لبنية سوق النقل فمِن النقلات فمن المسلم به أن الخطوط الحديدية تقدم جواباً فعالاً للتحديات في النقل والبيئة.

وتعود أسباب الحوادث في الخطوط الحديدية السورية إلى:

الصنف الأول - حوادث ناتجة عن مخالفة الغير لنظام الضابطة في الخطوط الحديدية السورية:

تبين الإحصائيات خلال أعوام 1994-2003 أن 43% من الحوادث ناتجة عن مخالفة الغير ولا علاقة لمؤسسة الخطوط الحديدية السورية بها وتعود بمجملها إلى جهل وعدم استيعاب البعض من المواطنين لنظام الضابطة في الخطوط الحديدية ونظام السير والاستهتار وعدم توخي الحذر أثناء عبور الخط الحديدي والاستخدام العشوائي لممرات غير نظامية وغير محروسة الجدول (1-2). علماً أن الخطوط الحديدية هي ظاهرة حضارية متطورة أتت لتخدم متطلبات المواطنين في نقل حاجاتهم وتقلعهم من مكان إلى آخر.

الصنف الثاني - حوادث ناتجة عن مخالفة العاملين في المؤسسة العامة للخطوط الحديدية السورية للأنظمة والتعليمات:

تبين الإحصائيات السابقة أن 57% من الحوادث يعود إلى أسباب مرتبطة بأداء العاملين والناجمة عن الإهمال والاستهتار وتقسم إلى نوعين:

- حوادث في المحطات وغالباً ما تكون نتائجها من حيث الأضرار خفيفة.
- حوادث على الخط الجاري والتي تعتبر خطيرة ونتائجها من حيث الضرر كبير.

الجدول (1-2) يبين عدد حوادث الشبكة على الخط الجاري خلال العشر سنوات الأخيرة

السنوات	حوادث على	الحوادث مع الغير على الخط الجاري	معدل حوادث الخط الجاري لكل 1000 قطار	معدل حوادث الخط الجاري لكل مليون كم	معدل الحوادث على الخط الخارجي لكل مليون قطار كم	معدل الحوادث على الخط
1994	59	57	1.33	9.58	1.28	9.25
1995	62	54	1.39	10.06	1.21	8.76
1996	77	57	1.73	12.34	1.28	9.13
1997	56	43	1.17	9.44	0.9	7.25
1998	52	40	1.18	9.98	0.91	7.67
1999	52	43	1.17	99	0.97	8.18
2000	64	47	1.28	12.41	0.94	9.12
2001	43	36	0.92	7.49	0.77	6.27

1-3-3- النقل بالخطوط الحديدية صديق للبيئة:

في مؤتمر كوبوتو ومن خلال الدراسات التي تمت تبين أن النقل يسبب 20% من التلوث البيئي وتشكل الخطوط الحديدية من هذه النسبة 0.4% كما ينبغي أن نعلم بأن انبعاث غازات (CO_2 - SO_2) وغازات أخرى في الجو من وسائل النقل المختلفة مرتبطة بكمية استهلاك الوقود بشكل رئيسي وبيننا في الفقرة أعلاه الكمية الكبيرة التي يحتاجها النقل الطرقي قياساً مع النقل بالخطوط الحديدية (انظر الفصل السادس عشر).

من ذلك نجد أن النقل بالخطوط الحديدية ملائم بشكل أفضل من أي نموذج نقل آخر في استيعابه للأحجام الكبيرة من الركاب والبضائع.

1-3-4- تقليل استهلاك الأراضي اللازمة لإنشاء الطرق البرية.

1-3-5- سرعة وانتظام عمليات النقل.

1-3-6- تقليل الخسائر الناتجة عن الحوادث المرورية.

1-4- مساوئ الخطوط الحديدية:

- تحتاج الخطوط الحديدية إلى مبالغ كبيرة لتغطية تكاليف البنية التحتية كخطوط وملحقات السكة من أدوات محركة ومتحركة ومنشآت وأبنية وصيانة ورواتب وهذه يجب أن تحسب من موازنة الدولة.

- مرونة النقل بالخطوط الحديدية قليلة من حيث التوصيل من المصدر إلى المقصد، وهذه المشكلة يمكن التغلب عليها من خلال تطبيق نظام النقل المتكامل بالتنسيق مع نماذج النقل الأخرى.

1-5- تصنيف الخطوط الحديدية:

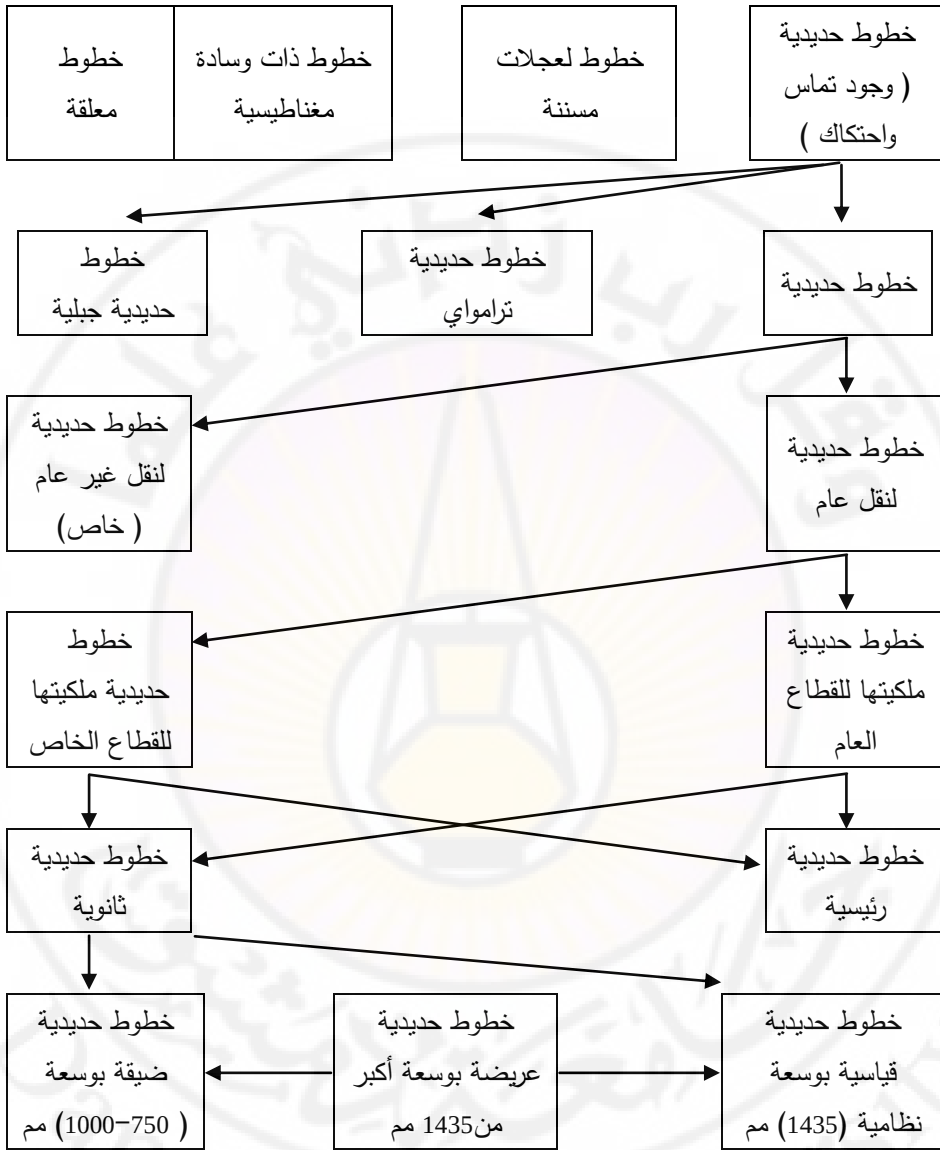
يعرف مسار الخط الحديدي بأنه المسار الذي تسير عليه واسطة النقل والتي تستطيع نقل كميات كبيرة من الركاب أو البضائع وغالبا ما يكون هذا المسار مصنوع من الفولاذ ويوجد تماس واحتكاك بينه وبين العجلات المتحركة عليه. ويمكن تمييز ما يلي:

- خطوط حديدية (ذات تماس واحتكاك مع العجلات) منها الخطوط الحديدية العادية والمكهربة وخطوط حافلات الترام (ترامواي) والخطوط الضيقة (في الجبال والمناجم).

- خطوط القطارات ذات الوسادة المغناطيسية.

- خطوط تسير عليها قطارات ذات عجلات مسننة.

- خطوط معلقة (نل فريك) أو الكرسي الطائر والشكل (1-4) يوضح تصنيف الخطوط الحديدية.



الشكل (1-4) تصنيف الخطوط الحديدية

6-1- الخطوط الحديدية في سورية:

توجد إدارتان للسكك الحديدية في سوريا تسمى الأولى:

1-6-1- المؤسسة العامة للخطوط الحديدية السورية (CFS):

أحدثت في عام 1963 وتتولى إدارة شبكة طولها حوالي 2454 km بوسعة نظامية 1435 mm من الخط الحديدي، تتصل هذه الشبكة شمالاً بالسكك الأوروبية عبر تركيا، وغرباً بالموانئ السورية واللبنانية، وشرقاً بالعراق في نقطة واحدة تقع في الشمال الشرقي والربط جارٍ لتحقيق ربط آخر مع العراق في منطقة القائم - البوكمال. وتتميز خطوط هذه الشبكة بأن مواصفاتها تتفق مع المواصفات الدولية وهي تشكل الشبكة الرئيسية في سوريا لأنها تغطي جميع محافظات القطر تقريباً (انظر الجدول 1-4).

الجدول (1-4) تمثيل الخطوط الحديدية السورية

المحور	طول الخط الرئيسي Km	طول خطوط المحطات	طول التفرعات K.m	الطول الإجمالي K.m	العمر سنة	المطلوب
حلب ميدان	117	8	-	125	105	إعادة دراسة
عكاري - الحدود اللبنانية	5	-	-	5	94	إعادة دراسة
القامشلي - البعربية	81	6	3	9	100	إعادة دراسة
حمص - القصير - الحدود اللبنانية	40	3	2	45		إعادة دراسة
حلب - اللاذقية	203	52	41	296	30	إعادة دراسة
حمص - عكاري	67	16	14	97	38	إعادة دراسة
حمص مهين الشرقية	111	25	18	154	22	إعادة تأهيل
عكاري - طرطوس	42	38	11	91	94	إعادة دراسة
حلب - دمشق	401	74	138	613	22	إعادة دراسة
حلب - القامشلي	559	133	53	745	99	إعادة تأهيل
طرطوس - اللاذقية	96	13	25	134	14	إعادة تأهيل
دمشق - سرغايا - الحدود اللبنانية	ضيق 65			65	103	إعادة دراسة

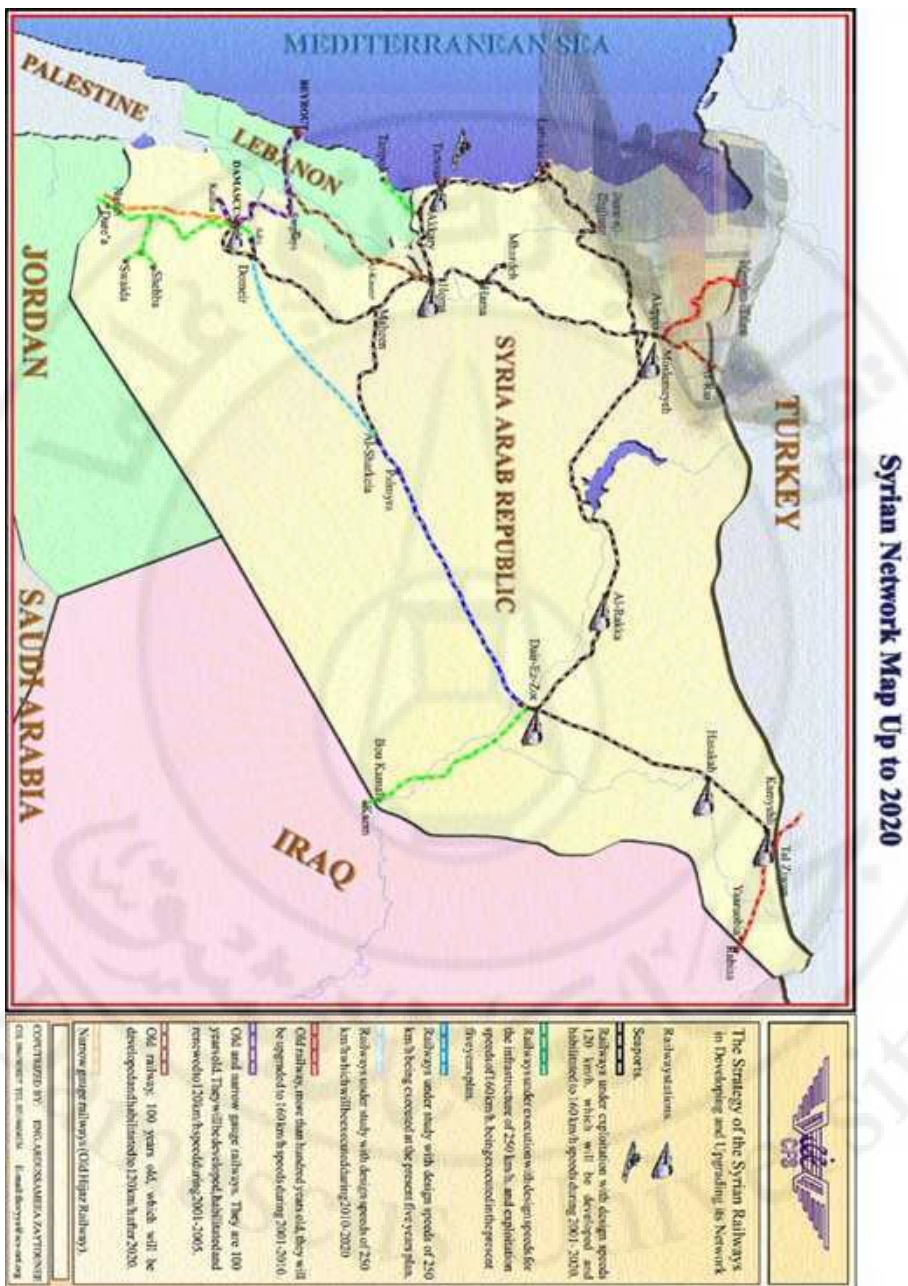
2-6-1- المؤسسة العامة للخط الحديدي الحجازي (CFH):

والتي تم إحداثها في عام 1964 وتتولى إدارة خطوط يصل طولها إلى 338 Km منها 120 Km يقع على محور الخط الحديدي الحجازي الذي يصل دمشق بالمدينة المنورة وهذا متوقف عن التشغيل منذ أمد بعيد بسبب ما لحق به من أضرار في مواقع مختلفة منه إلا في القسم الذي يربط دمشق بعمان والذي لا يزال يستثمر ولكن بحجم نقل متواضع، والخط الحديدي الحجازي متري ضيق بوسعه 1050 mm، الأمر الذي حال دون ارتباطه بشبكة الإدارة الأولى، أما الجزء الآخر من خطوط هذه الإدارة فهو الخط الضيق الذي يربط دمشق ببيروت وهو ربط آخر بين سورية ولبنان، انظر خارطة الخطوط الحديدية السورية شكل (1-5).

كما تم إحداث الشركة العامة لإنشاء الخطوط الحديدية في سورية بموجب المرسوم التشريعي رقم 1612/ تاريخ 4/8/1977 والغرض من إحداثها هو إنشاء وتنفيذ وتجهيز مشاريع الخطوط الحديدية في سوريا وفي المنطقة العربية، والقيام بإحداث وتجهيز ورشات متخصصة بأعمال إنشاء الخطوط الحديدية وتركيب تجهيزاتها الفنية وأبنيتها الخاصة وتطوير المعامل والمراكز والورشات القائمة بما يضمن تنفيذ الخطوط المدروسة، كما توجد خطوط حديدية جديدة قيد الدراسة والتنفيذ جدول (1-5).

الجدول رقم (1-5)

المحور	الطول الإجمالي (كم)	الفترة الزمنية
دير الزور - البوكمال	190	2005-2002
دمشق - سرغايا - الحدود اللبنانية	65	2010-2005
دمشق - درعا	201	2008-2002
الشرقية - تدمر - دير الزور	308	2010-2002
خط دمشق - مطار دمشق الدولي	28	كهربائي



الشكل (1-5) شبكة الخطوط الحديدية السورية

وتوجد مشاريع عديدة لدراسة خطوط حديدية جديدة رئيسة وثانوية في القطر كما يوجد برنامج لإعادة تأهيل الشبكة الحديدية القائمة. إضافة إلى مشاريع دراسة محطات جديدة للركاب والبضائع كمحطة ركاب اللاذقية الجديدة ومحطة نقل الحاويات في حمص أو ما يسمى (بالمرفأ الجاف) ومحطة الحجاز للركاب بدمشق. وذلك بالتعاون مع مؤسسات وشركات عالمية متخصصة.

7-1- الأدوات المحركة والمتحركة:

تسير على الخط الحديدي مركبات كالقاطرات والعربات الخاصة بالركاب والشاحنات والآليات الخاصة بإنشاء الخط وصيانته انظر الجدول (1-6).

الجدول (1-6) خصائص الخطوط الحديدية السورية

الخصائص	المؤسسة العامة للخطوط الحديدية السورية CFS	المؤسسة العامة للخط الحديدي الحجازي CFH
مكونات الخط	طول الشبكة	2454 كم
	نوع الشبكة	عادية
	تباعد القضبان	1435 مم
	نوع القضبان	R43 - R50 روسية
	نوع العوارض	بيتونية - خشبية - معدنية
معدات الخط	قاطرات ديزل	14 قاطرة
	استطاعتها	238159 كيلو واط
	قاطرات بخارية	-
	استطاعتها	-
	عربات متحركة ديزل	26 عربة
	استطاعتها	2514 كيلو واط

المؤسسة العامة للخط الحديدي الحجازي CFH	المؤسسة العامة للخطوط الحديدية السورية CFS	الخصائص	
35	479	عربة عادية	معدات نقل المسافرين
-	192	عربة دولية مكيفة	
-	19	عربة مطعم	
-	44	عربة نوم	
5	30	عربة أمتعة وبريد	
26	-	عربة متحركة	
311	479	شاحنات (مغطاة، مكشوفة، مسطحة، صهريج، خاصة)	معدات نقل البضائع
659 عامل	11182 عامل	عدد العاملين	

1-7-1- القاطرات:

تعد القاطرات من العربات ذات الحركة الذاتية وباستطاعتها التحرك بنفسها وجر الشاحنات أو العربات خلفها. كلما زادت استطاعة القاطرة أصبح من الممكن زيادة سرعتها أو جر حمولة أكبر بوساطتها إلا أن لاستطاعة القاطرة حدوداً بسبب ضرورة تقيد قياساتها مع وسعة تركيبات القطار والأوزان القطبية المسموح بها على الخط.

تصنف القاطرات التي تقوم بجر القاطرات إلى ما يلي:

1- قاطرات بخاري.

2- قاطرات ديزل.

3- قاطرات كهربائية.

إلا أن أكثر القاطرات انتشاراً في الوقت الحاضر هي القاطرات الكهربائية والديزل الكهربائية.

تتعلق الفعالية الاقتصادية لاستعمال مختلف أنواع القاطرات بعوامل كثيرة وعلى رأسها العامل المفيد للقاطرة (مردودها) واستطاعتها. شكل (1-6).



الشكل (1-6 a) قاطرة بخارية



الشكل (1-6 b) قاطرة ديزل روسية الصنع استطاعتها 2800 حصان بخاري



الشكل (c 1-6) قطار سريع

2-7-1- عربات الركاب:

يوجد منها أنواع عديدة: عربات درجة أولى، درجة ثانية وأحياناً درجة ثالثة، عربات نوم، عربات مقصف وعربات البريد والأمتعة. شكل (1-7).



عربة درجة أولى



عربة منامة



عربة أمام محطة القدم/ دمشق ٢٠١٠

داخل العربة

الشكل (1-7)

3-7-1- الشاحنات:

وتستخدم لنقل مختلف أنواع البضائع، ويوجد منها أنواع عديدة من حيث عدد الأقطاب فيها (ذات قطبين، ذات سرائر بواجي - كل سرير بقطبين أو بثلاثة أقطاب) شكل (1-8)، والجدول (1-6) يبين خصائص ومزايا شبكة الخطوط الحديدية السورية (الضيقة والنظامية) وأنشطتها وإحصائيات عامة عنها.



الشكل (1-8-a) صورة شاحنة لنقل سلاسل ومفاتيح سكك حديدية



الشكل (1-8-b) آلة لإنشاء الخط الحديدي وآلة تبديل القضبان

8-1- شبكة الخطوط الحديدية العربية:

تتواجد السكك الحديدية في أحد عشر قطراً عربياً هي: الأردن وتونس والجزائر والسعودية والسودان وسورية والعراق ولبنان ومصر والمغرب وموريتانيا، وقد باشرت الجماهيرية الليبية قبل فترة قريبة بإنشاء أول خط حديدي على أراضيها، لترتبط بكل من جمهورية مصر العربية شرقاً، والجمهورية التونسية غرباً، وعند انجاز هذا الخط يكون أهم المحاور السككية في الوطن العربي، الممتد على سواحل البحر الأبيض المتوسط، في الشمال الأفريقي قد استكمل، وأخذت حركة النقل السككي بين هذه الأقطار تتدفق لتسهم في تنمية التجارة البينية فيما بينها. من جهة أخرى تعتزم بلدية دبي إنشاء خط حديدي على أراضيها لخدمة النقل الحضري يصل طوله إلى 70 كم.

يبلغ طول شبكة الخطوط الحديدية العربية وفقاً للإحصائيات الصادرة عن الاتحاد العربي للسكك الحديدية عام 2001 حوالي /25690/ كيلو متراً منها /16483/ كيلو متراً بخطوط قياسية ذات عرض نظامي /1435/ مم، والباقي بخطوط ضيقة مترية بفتحات مختلفة. ومن الملاحظ أن معظم خطوط هذه الشبكة مفردة ويبلغ طولها حوالي /22928/ كيلو متراً، مما يشير إلى أن معظم خطوط الشبكة العربية غير مكهربة، انظر الجدول (1-7).

الجدول (1-7) أطوال شبكة الخط الحديدية العربية

وصف شبكة الخطوط الحديدية	إجمالي طول الشبكة
خطوط الشبكات الحديدية العربية	25690 كم
طول الشبكة ذات الوسعة القياسية ١٤٣٥ مم	16483 كم
طول الخطوط المفردة	22928 كم
طول الخطوط المزدوجة	2761 كم
طول الخطوط المكهربة	1413 كم

تكمن المشكلة الرئيسية التي تواجه شبكتنا الحديدية العربية في اختلاف فتحة الخطوط (عرض الخطوط) فهناك بالإضافة إلى العرض القياسي الأكثر انتشاراً في الأقطار العربية، تتواجد أربعة أنواع أخرى من الخطوط الضيقة، موزعة على النحو التالي انظر الجدول (1-8).

الجدول (1-8) وسعة الخطوط الحديدية العربية

وسعة الخط	البلدان العربية
1000 مم	تونس - الجزائر
1050 مم	سوريا - الأردن - لبنان
1055 مم	الجزائر
1067 مم	السودان

من جهة أخرى فأن تدني وتباين المواصفات الفنية للشبكة العربية يلعبان دوراً أساسياً في اختلاف إنتاجيتها، فالسرعة القصوى المسموح بها على السكك العربية تتراوح بين (60) كم/سا في السودان و (250) كم/سا في العراق، أما الحمولة الجزعية (المحورية) القصوى فتتراوح ما بين 12 طناً في عدد من الأقطار العربية على

خطوطها القديمة و 25 طناً على الخطوط الجديدة في الشبكة العربية، وتجدر الإشارة إلى أن معظم شبكاتنا تسعى حالياً لتقوية خطوطها من خلال رفع الحمولة المحورية، وزيادة السرعة القصوى للقطارات.

تعتمد السكك الحديدية العربية في تأمين طاقتها الجرية على قاطرات الديزل بشكل عام ويبلغ عدد هذه القاطرات حوالي /1885/ قاطرة باستطاعة قدرها /3.3/ مليون كيلو واط تقريباً باستثناء القاطرات الكهربائية التي لايتجاوز عددها /360/ قاطرة باستطاعة إجمالية تعادل /600/ ألف كيلو واط. أما القاطرات البخارية التي قل استخدامها فلم يبق منها ما هو صالح للعمل سوى /50/ قاطرة فقط باستطاعة إجمالية قدرها /14/ ألف كيلو واط.

كما وصل عدد العربات ذاتية الحركة إلى /1100/ عربة متحركة، وعدد عربات المسافرين التي تملكها الشبكات العربية /5830/ عربة، جهزت بـ /780/ ألف مقعد ووصل عدد شاحنات البضائع إلى حوالي /65/ ألف شاحنة من مختلف الأنواع، وباستيعاب إجمالي قدره /2.5/ مليون طن، انظر الجدول (9-1).

الجدول (9-1) أسطول الأدوات المحركة والمتحركة على الشبكة العربية

عدد قاطرات الديزل لدى الشبكات العربية	1908 قاطرة
استطاعة قاطرات الديزل الإجمالية	21.8*10 كيلو واط
عدد القاطرات الكهربائية لدى الشبكات العربية	95 قاطرة
استطاعة القاطرات الكهربائية الإجمالية	314*10 كيلو واط
عدد القاطرات البخارية لدى الشبكات العربية	67 قاطرة
استطاعة القاطرات البخارية الإجمالية	14*10 كيلو واط

عدد العربات المتحركة لدى الشبكات العربية	86 عربة متحركة
عدد عربات المسافرين لدى الشبكات العربية	5493 عربة متحركة
عدد مقاعد عربات المسافرين الإجمالي	94*10 مقعد
عدد شاحنات البضائع لدى الشبكات العربية	56*10 شاحنة
الاستيعاب الإجمالي لشاحنات البضائع	20752*10 طن

يلاحظ من الجدول أعلاه الحجم المتواضع لأسطول المعدات المحركة والمتحركة العامل على الشبكة العربية. وقد أدى هذا الوضع إلى تدني حصة النقل على السكك في أقطارنا العربية، مقارنة مع إجمالي النقل العام.

الفصل الثاني الوسعة

Principles of track guidance

1-2- الوسعة النظامية للسكة الحديدية:

1-1-2- في المستقيمات:

تبلغ قيمة اتساع السكة الحديدية حسب المواصفات الفنية العالمية الموحدة مقدار $S = 1435 \text{ mm}$ (البعد الداخلي لسكة نظامية مقاس على عمق من 0-14 mm من سطح القضيب الفولاذي)، ويؤخذ البعد بين محوري قضبي السكة الحديدية بمقدار $S = 1500 \text{ mm}$ ، كما أن لهامتي القضيبين الحديديين منسوباً واحداً.

يمكن لهذا العرض أن يتغير أثناء الاستثمار بسبب التشوه أو الإهتراء لذلك فقد حدد نظام الاستثمار الفني في الخطوط الحديدية السورية تسامحاً أصغرياً 4 mm، وأعظمية 8 mm، فيصبح العرض النظامي المسموح: $S = 1435 \text{ mm} - 4 \text{ mm} + 8 \text{ mm}$

كذلك حددت المواصفات الفنية الألمانية مقدار البعد بين الوجهين الخارجيين لحاجبي العجلتين بحدود:

$$S_m = 1410 \text{ mm} \text{ (حد أدنى حالة إطارات مهترئة)}$$

$$S_m = 1426 \text{ mm} \text{ (حد أعظمي حالة إطارات جديدة)}$$

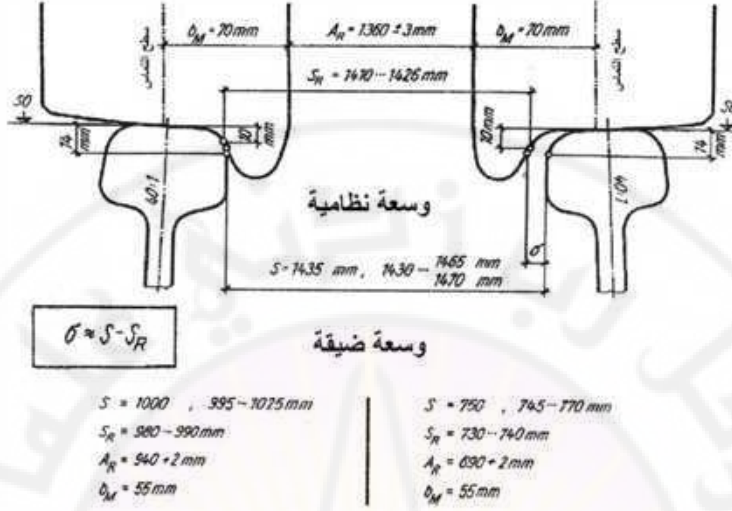
مقاس على عمق من 0-14 mm من سطح القضيب.

ونعرف الفراغ الإجمالي بين العجلات والقضبان بالعلاقة $(\sigma = S - S_m)$ انظر

الشكل (2-1)، ويبلغ هذا الفراغ ما يلي:

$$1431 - 1426 = 5 \text{ m} \text{ (حد أدنى)}$$

$$1443 - 1410 = 33 \text{ mm} \text{ (حد أعظمي)}$$



الشكل (2-1)

تنتشر السكك الحديدية ذات العرض $S = 1435$ mm والتي تعرف بالسكك الحديدية النظامية (العادية) بشكل واسع في البلدان التالية:

- أوروبا: في كل أوروبا ماعدا (أيرلندا، البرتغال، أسبانيا، الاتحاد السوفيتي، فنلندا).
- آسيا: سورية، تركيا، الصين، كوريا، العراق، إيران، اليابان.
- وأيضاً في قسم من جنوب أمريكا وشمال أفريقيا وأستراليا.

تعرف السكك الحديدية التي عرضها يزيد عن المقدار (1435 mm) بالسكك الحديدية العريضة، ويستطيع هذا النوع من السكك نقل حمولات كبيرة وذلك بزيادة أبعاد المقطع العرضي للعربات والشاحنات وتنتشر هذه السكك في البلدان التالية:

- ألمانيا: سكك حديدية عريضة لقطارات الترمواي في مدينتي درسن ولايبزغ 1458 mm و 1450 mm.
- روسيا، فنلندا، منغولية 1524 mm.
- أستراليا، البرازيل، أيرلندا 1600 mm.

- البرتغال 1665 mm.

- أسبانيا، الأرجنتين، شيلي، الهند 1674 mm.

أما السكك الحديدية التي قيمة عرضها أقل من المقدار 1435 mm فتعرف بالسكك الحديدية الضيقة والتي تستخدم لأحد غرضين:
الأول: كثافة النقل قليلة.

الثاني: لأغراض سياحية في مناطق ذات شروط طبوغرافية صعبة.

يتراوح اتساع هذا النوع من السكك بين (600-1100 mm).

ففي القطر العربي السوري يبلغ اتساع السكك الضيقة قيمة (1050 mm).

2-1-2- في المنحنيات:

تظهر في المنحنيات قوى شاقولية وعرضانية تختلف قيمتها باختلاف نصف قطر المنحني وطوله وسرعة سير القطارات وأوزانها لذلك تتخذ عدة إجراءات لتقوية السكة الحديدية والإقلال قدر الإمكان من قوى الاحتكاك أثناء سير القطارات في المنعطفات. من هذه الإجراءات تعريض جسم الخط الحديدي وتعريض اتساع الخط نفسه.

A- تعريض جسم الخط:

يتم تعريض جسم الخط في الجهة الخارجية من المنحنيات بمقدار Δ وفق الجدول (2-1) التالي المعتمد لدى الخطوط الحديدية السورية.

الجدول (2-1)

نصف قطر المنحني R[m]	3000-4000	1800-2500	700-1500	600 وأقل
مقدار التعريض Δ [cm]	10	20	40	50

إن الغاية من التعريض الإضافي هي تسهيل ارتسام عربات القطار وشاحناته في المنحنيات بحيث تستطيع أكبر الشاحنات بعداً بين قطبتيها أن تسير في المنحني بسهولة.

B- تعريض وسعة الخط:

يزيد عرض السكة في المنعطفات عن العرض النظامي من أجل تسهيل ارتسام عربات القطار وشاحناته في المنحنيات ويجب ألا تكون هذه الزيادة أكبر من 35 mm. ويتم زيادة قيمة وسعة السكة في المنعطفات التي نصف أقطارها أصغر من 175 m حسب الجدول (2-2).

الجدول (2-2)

اتساع السكة النظامية بعد التعريض mm	نصف قطر المنحني m
1440 mm	150 m - 175 m
1445 mm	125 m - 150 m
1450 mm	100 m - 125 m

يزداد عرض وسعة السكة بالتدرج على طول المنحني (المنعطف) المتدرج بخطوات مقدارها 5 mm لطول قسم يتضمن خمسة عوارض تقريباً، إلى أن يبلغ أقصاها عند نهايته ثم يثبت ويصبح أعظماً عندما يصل إلى المنحني الدائري.

في حال عدم وجود منحني متدرج فيزداد العرض بشكل أعظمي عند بداية المنحني، ويجب أن تكون الحدود العظمى والصغرى للزيادة مطابقة للقيم المعطاة بالجدول (2-2).

2-2- العجلات والأقطاب (المحاور):

تعتبر العجلات من أهم المكونات الأساسية لأجزاء مسير المركبات السككية وتشكل صلة الوصل بين المركبة والخط الحديدي. تتحدد المسافة الكيلومترية المقطوعة للمركبات السككية بين إصلاحين رئيسين بالدرجة الأولى بالحالة الفنية للأجزاء المتحاكة مع بعضها البعض ومع غيرها والمعرضة للاستهلاك والتآكل وبهذا يكون للاستهلاك أو تآكل دواليب الأقطاب دوراً حاسماً وفعالاً في تقدير الحالة الفنية للمركبة وصلاحياتها للبقاء بالاستثمار أو عدمه.

1-2-2- القطب (Wheelset):

القطب هو عبارة عن محور يركب عليه دولابين بإحدى الطريقتين التاليتين:

- يمكن تركيب الدولابين على المحور (والمسمى محور القطب) بواسطة تجهيزة أو آلية خاصة هيدروليكية ويكون التركيب على البارد وكذلك بعد أن يتم تنظيف سطوح التداخل والتعشيق للدولابين والمحور وإزالة الشحوم والزيوت وما شابه...
- يمكن تركيب الدولابين على المحور وذلك بعد أن يتم تسخين صرة أو قب (wheel seat) الدولابين حتى حوالي درجة /250 م/ مع بقاء المحور (axle) محافظاً على درجة حرارة الوسط المحيط. وكما يجب تنظيف سطوح التداخل والتعشيق لكل من الدولابين والمحور وإزالة الشحوم والزيوت عنها وذلك قبل البدء بعملية التركيب أو التعشيق.

كما يجدر بالذكر بأن الحالة الفنية للقطب تعتبر عاملاً حاسماً ومؤشراً فعالاً على أمان السير وراحة المسافرين وكذلك حماية البضائع المنقولة والمحافظة عليها.

2-2-2- وظائف ومهام الأقطاب:

- أ- نقل القوى الناجمة عن وزن المركبة مع حملتها إلى الخط الحديدي.
- ب- قيادة المركبة وتوجيهها على الخط الحديدي وبالتالي تلقي القوى الناجمة أثناء المسير ومن ضمنها القوى الديناميكية الناتجة عن التموجات الموجودة بالخط الحديدي.
- ج- نقل القوى العاملة والتي تجعل المركبة في وضعية المسير الدائم كما أن الأقطاب تتلقى أيضاً القوى الناجمة عن عزوم اللجم المطبق على الدواليب وخلال عملية اللجم.

3-2-2- الإجهادات التي تتعرض لها الأقطاب:

بسبب القوى المؤثرة على الأقطاب والتي تم شرحها في الفقرة السابقة يتعرض القطب للإجهادات التالية: ستاتيكية، ديناميكية وحرارية.

- الإجهادات الستاتيكية: وهي التي تنجم عن وزن المركبة (الوزن القطبي static load) وكذلك عن التوترات الذاتية التي تنشأ من جراء تداخل وتعشيق الدولابين على المحور عند تركيبها والتي تنشأ أيضاً من خلال تركيب (تلبيس) الدولابين لأطرها وذلك في حالة الأقطاب ذات الدواليب ثنائية الكتلة والتي سنتكلم عنها لاحقاً.

- أما بالنسبة للإجهادات الديناميكية (dynamic load) فهي التي تتجم من جراء القوى المؤثرة على حواجب الدواليب وعن القوى الطاردة المركزية وعن قوى التصادم التي تنشأ بدورها بسبب تموجات الخط الحديدي وفواصل التمدد وكذلك قوى اللجم.

- تتعرض الأقطاب أيضاً وكما ذكرنا سابقاً لإجهادات حرارية (termic load) عند عملية اللجم بواسطة قباقيب.

اللجام المستخدم والمطبق على الدواليب والتي تترافق مع انتشار حرارة عالية على الدواليب تتعلق بطبيعة اللجم المطبق عليها. إنه من الممكن ولتفادي تلك الإجهادات الحرارية التي تؤثر سلباً على الأقطاب من جراء الاحتكاك الشديد مع سطح دوران الدواليب وما يرافقه من الانتشار الكبير للحرارة العالية استخدام نظام اللجم المسمى باللجام القرصي والهيدروليكي (disk trake).

4-2-2- أنواع تصاميم الأقطاب:

بغض النظر عن أنواع تصاميم الأقطاب الموجودة بالاستثمار فإنها جميعها تشترك بما يلي:

- التعشيق أو التركيب التداخلي الصلب للدولابين على المحور (التثبيت الأصم للدولابين)، كي لا يخرج الدولاب خارج الخط، ويجب أن يكونا الدولابين متعامدين مع المحور.

- الشكل المخروطي لسطح دوران الدواليب مما يؤمن مركزية ذاتية للأقطاب أثناء المسير.
- الموازنة في محاور الأقطاب، توصل المحاور مع بعضها البعض وتسمى بالسريير بغية سير القطار بوسعة موحدة.
- الإزاحة الأفقية لمحاور الأقطاب، وهذه تسهل مرور سريير القطار ضمن وسعة الخط النظامية وخاصة في المنحنيات ذات أنصاف الأقطار الصغيرة.
- وجود الحاجب (البودان) في الدولاب، وله مهمتين الأولى بأنه لا يسمح للدولاب بالخروج من الخط، والثانية يؤمن للقضيب الحديدي القيام بدور المقود.
- ومما سبق نستنتج بأنه يمكن استخدام النموذجين التاليين من الأقطاب للمركبات السككية وهما:

- الأقطاب ذات الدواليب ثنائية الكتلة (tyred wheel).

- الأقطاب ذات الدواليب أحادية الكتلة (solid wheel).

2-4-1- الأقطاب ذات الدواليب ثنائية الكتلة (tyred wheel):

إن هذا النموذج من الأقطاب يعود للعام 1879 وهو يتألف من محور ودولابين. والدولاب الواحد يتكون من ثلاث قطع تدعى الأولى بالنواة والثانية تسمى إطار يتم تركيبه (تليبيه) على النواة أما القطعة الثالثة فتدعى بالحلقة الإيزيمية والتي تؤمن وثوقية تعشيق وتداخل الإطار مع النواة المركب عليها.

يتم تركيب الإطار على النواة وذلك بعد تسخينه بواسطة آلية خاصة حتى درجة حرارة (280-300 م) ويعتبر الإطار في هذا النموذج من الأقطاب الجزء الأكثر تعرضاً للاستهلاك والتآكل وذلك بسبب الاحتكاك الدائم بينه وبين الخط الحديدي.

يتم نزع الإطار المتآكل واستبداله بآخر جديد عند تجاوز الإطار التالف القياسات المحددة والمسموحة والمعتترف عليها عالمياً.

2-4-2-2- الأقطاب ذات الدواليب أحادية الكتلة (solid wheel):

يتألف هذا النموذج من الأقطاب من محور ودولابين يتم تركيبها على المحور بإحدى الطريقتين التي تم شرحهما مسبقاً في الفقرة (1-2)، إن هذا النموذج من الأقطاب وبالمقارنة مع النموذج الأول (1-4-2) يتطلب جهداً أقل بالتصنيع كذلك تكاليف أقل كون النواة مع الإطار تصنع ككتلة واحدة وإضافة إلى ذلك فإن هذا النموذج يعتبر أكثر بساطة من ثنائي الكتلة.

ويجب التنويه إلى أن الأقطاب ذات الدواليب أحادية الكتلة هي الأكثر رواجاً واستخداماً لأنها أكثر أماناً للسير بالمقارنة مع ثنائية الكتلة بسبب الانزلاقات التي قد تحدث أثناء عملية المسير وذلك بين النواة والإطار المركب عليها والتي قد تؤدي غالباً لحدوث الكوارث.

ومما تقدم وبناء على الإجهادات التي يتعرض لها القطب أثناء المسير يمكن استخلاص النتائج والمقترحات التالية:

- استخدام نظام اللجم القرصي (disk brake) بديلاً عن نظام اللجم بالقباقيب وذلك لتفادي الإجهادات الحرارية العالية التي تنشأ كما ذكرنا من جراء احتكاك قباقيب اللجام بسطح دوران الدواليب والذي يؤثر سلباً على الدواليب.

- السعي لاستخدام أقطاب خفيفة الوزن وهنا ينصح باستخدام الأقطاب أحادية الكتلة (solid wheel) لأنها بالمقارنة مع غيرها تتطلب تكاليف إنتاج قليلة وكذلك أيضاً تكون تكاليف صيانتها قليلة وتعتبر أكثر توفيراً عند معالجة بروفيل الدواليب، من أجل السيطرة والتحكم بالتوترات والإجهادات التي يمكن أن تنشأ في جسم الدولاب بسبب القوى المختلفة وخاصة القوى المؤثرة على الحواجب، يمكن السعي لتصميم دواليب تتمتع بخاصية مرونة مناسبة.

3-2- أشكال التآكل على دواليب مركبات السكك الحديدية:

1-3-2- أسس عامة:

خلال مسير أية مركبة سككية على الخط الحديدي فإن كل دولاب يقوم بتنفيذ حركتين: الأولى انسحابية انزلاقية وأخرى دورانية مع الخط الحديدي.

بسبب التداخل المعقد لذلك النوع من الحركتين بين الدواليب والخط الحديدي وبالإضافة للإجهادات الستاتيكية والديناميكية والحرارية المؤثرة على الدواليب تتعرض الدواليب لظاهرتين من التآكل وهما:

- ظاهرة تآكل سطح دوران الدواليب (wheel- tread wear).

- ظاهرة تآكل حواجب الدواليب (wheel- flange wear).

2-3-2- أشكال التآكل:

1-2-3-2- تآكل سطح دوران الدواليب: (wheel- tread wear)

تنشأ هذه الظاهرة من جراء الاحتكاك الإنسحابي الإنزلاقي وكذلك الدوراني للدواليب مع الخط الحديدي وكذلك أيضاً من ظاهرة الزحف بين الدواليب والخط الحديدي والتي تنجم بسبب الاختلاف بأطوال أقطار الدوابين المستخدمين والمركبين بصلابة على المحور الواحد والني تؤدي بدورها أيضاً إلى تراكم وتداخل نوعي التآكل الانزلاقي والاحتكاكي للدواب مع الخط الحديدي.

2-2-3-2- تآكل حواجب الدواليب: (wheel- flange wear)

تنشأ هذه الظاهرة عند انزلاق حاجب الدواب على حافة الخط الحديدي أثناء عبور المنحنيات وتنشأ أيضاً من جراء الحركة الدورية الجيبية التي تتفدها المركبة أثناء المسير.

2-3-3- الأضرار ذات الطابع الخاص:

بالإضافة لظاهرتي التآكل التي تتأثر بها دواليب الأقطاب والتي تحدثنا عنها في الفقرة 2-3 تتعرض أيضاً دواليب الأقطاب لأضرار خاصة وهي:

- التسطحات (wheel flat) وهي عبارة عن تجويز معدني على سطح دوران الدواليب.
- التراككات المعدنية أو ما يسمى باللغة الدارجة على شبكة الخطوط الحديدية السورية بالشبعة.

تحدث التسطحات بسبب عملية اللجم الزائد (over-braking) أو بسبب حماوة علب المدحرجات (hot box) وقد يؤدي ذلك إلى تماسك الأقطاب (blocked brake) أحياناً، أما بالنسبة للشبعة فإنه يحدث من جراء الاجهاد الحراري الزائد أثناء عملية اللجم.

يجدر بالذكر إلى أنه يجب إزالة تلك الأضرار ذات الطابع الخاص فور معاينتها وكشفها لما لها من تأثير سلبي على أمان السير ومرونته وبما يؤثره على نظام التعليق للمركبة بسبب الاهتزازات الميكانيكية غير المرغوبة التي تنشأ من خلال ذلك أن إزالة الأضرار المنوه عنها أعلاه يجب أن يتم وفق الأنظمة الدولية وعند تجاوز قياساتها المقاسات المسموحة والمحددة بالأنظمة الدولية المستخدمة والمتعارف عليها.

2-3-4- إجراءات وقائية:

بغية التخفيف والإقلال ما أمكن من التآكل الذي يحصل للدواليب أثناء المسير على الخط الحديدي وبغية زيادة المسافة الكيلومترية المقطوعة للأقطاب مع احتفاظها بحالتها الفنية المناسبة لابد من اعتماد المقترحات والاستنتاجات التالية:

- 1- بسبب الاحتكاك والتلاحم والتراص الدائم بين الدواليب والخط الحديدي فإنه يجب السعي لانقواء مواد (معادن) ذات مقاومة عالية للدواليب وذلك ضمن الحدود المسموحة.

- 2- بغية تفادي الشقوق أو الكسور الحرارية وكذلك ظواهر القساوة في الدواليب والتي تنشأ خلال اللجم بسبب كمية الحرارة الكبيرة الناتجة يفضل استخدام مواد تحتوي على نسب قليلة من الكربون لتصنيع الدواليب.
- 3- إيجاد توليفة مناسبة من المواد لتصنيع الدواليب والخط بحيث يكون التآكل أقل ما يمكن.
- 4- استخدام معادن مقاومة للتآكل في تصنيع الدواليب.
- 5- تقسية الحواجب وتنعيم وتمليس سطوح دوران الدواليب (ضمن الحدود المسموحة) وذلك من أجل إطالة الفترة الزمنية بين تصحيحين متتاليين لبروفيل الدواليب وبشكل ملحوظ.
- 6- تزييت حواجب الدواليب على الخطوط الحديدية الكثيرة المنعطفات وذلك بواسطة آلية تزييت خاصة يتم التحكم بها من قبل سائق القطار أو بواسطة تشحيم أو تزييت الخط الحديدي في المنعطفات.
- 7- استخدام بروفيل دولاب مناسب يحقق من خلال تماسه وتناغمه مع الخط الحديدي تآكل أقل ومسير كيلومتری أطول.
- 8- اللجوء إلى استخدام تقنية الليزر في معالجة مناطق التقسية أو التسطحات الناشئة على سطح الدوران قبل خضوع الأقطاب لعملية الخراطة اللازمة وذلك من أجل الإقلال من الزمن اللازم لعملية الخراطة وكذلك لتفادي الإجهادات الكبيرة التي يمكن أن تتعرض لها المخارط كونها خاصة بالأقطاب وباهظة التكاليف بسبب ضرورة استيرادها.
- إن شكل العجلة (الدولاب) يتطابق مع شكل القضيب الفولاذي بشكل تقريبي، إذ يكون ميلان سطح القضيب الفولاذي بالنسبة للشاقول متناسباً مع ميلان سطح إطار العجلة، بغية الإقلال من الاحتكاك بينهما وبالتالي ينخفض مقدار اهتراء معدن كليهما. وتتكون القطبة من عجلتين مثبتتين (بالكبس) على المحور، ويفترض في التصميم:

- أن يكون للعجلة (الدولاب) حاجب من الجهة الداخلية للخط، كي لا يسمح بخروج الدولاب خارج السكة وكي يستطيع القضيب الحديدي أن يقوم بدور المقود الموجه لحركة القطار.

- التثبيت الأصم للعجلات مع محاورها، يتم تثبيت الدولاب بشكل أصم مع محوره والهدف من ذلك لكي لا يخرج الدولاب خارج القضيب والذي يمكن أن يحدث عندما يكون التثبيت حراً ويجب أن يكون الدولاب متعامداً مع المحور.

- الموازنة بين المحاور، حيث توصل المحاور مع بعضها البعض بشكل متواز وتسمى بالسريـر ولا يسمح بوجود أي ميل في المحاور كي لا يؤدي ذلك إلى خروج المحور خارج السكة.

- الإزاحة الأفقية لبعض المحاور، تسهيل عملية ارتسام (مرور) السريـر البوجي ضمن وسعة السكة وخاصة في المنحنيات التي أنصاف أقطارها صغيرة حيث ينوّه عن مقادير هذه الإزاحات في مواصفات كل قاطرة أو كل عربة على حدة.

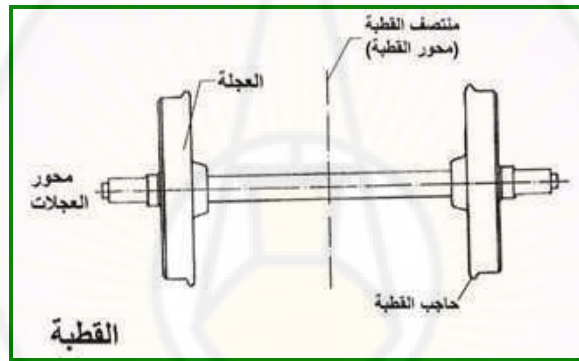
- الشكل المخروطي لسطح دوران الدولاب، الهدف من ذلك ارتكاز الدولاب بشكل عمودي على القضيب الحديدي الذي ميله 1:20، و يجب معالجة نقاط تماس العجلة مع القضيب حيث يمكن تمييز عدة حالات هي:

a- وجود نقطة تماس واحدة: ففي حالة الاستقامة لا يوجد احتكاك جانبي أما في حالة المنعطفات فيوجد احتكاك جانبي.

b - وجود نقطتي تماس في حالة كون العجلة والقضيب جديدين والشكل (2-2) يبين القطب.



-أ-



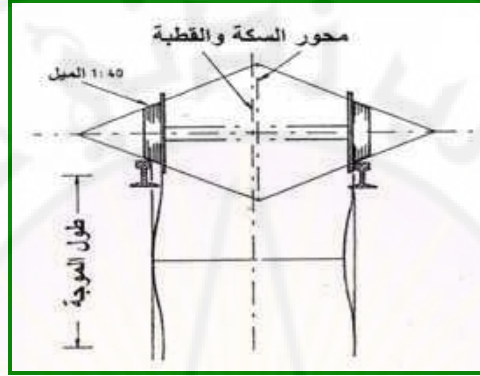
-ب-



-ج-

الشكل (2-2) القطب

تسير القطبة على الخط الحديدي بشكل منحنى جيبي، حيث أن محور القطبة لا يتطابق مع محور الخط، ويميل سطح السير المخروطي للعجلات بمقدار 1:40 في العادة كما في الشكل (2-3).



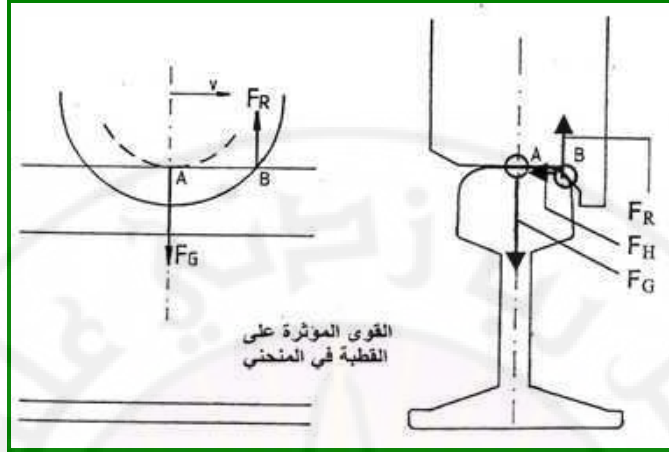
الشكل (2-3) سير القطبة على الخط الحديدي

4-2- ضمان عدم خروج العجلة عن القضيب:

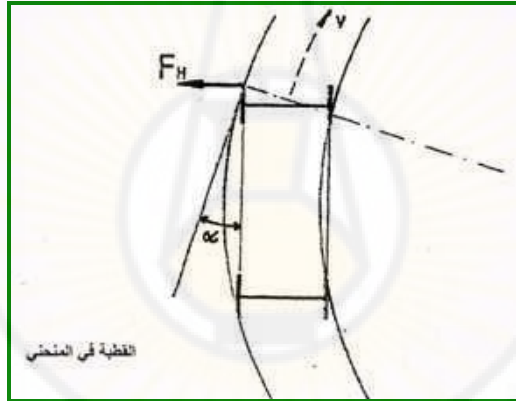
تستند عجلة القطبة على القضيب في النقطة A حسب الشكل (2-4)، وتؤثر في هذه النقطة القوة الشاقولية F_G ، وأثناء السير في المنحنى تؤثر القوة الأفقية F_H في النقطة B والتي تحاول إزاحة العجلة خارج القضيب الخارجي في المنحنى شكل (2-5) ونتيجة الاحتكاك بين العجلة و سطح رأس القضيب تنشأ قوة شاقولية F_R وقيمتها:

$$F_R = F_H * \mu \text{ (}\mu \text{ عامل الاحتكاك)}$$

عندما تكون $F_R > F_G$ تدور العجلة في النقطة B وبالتالي يدفع حاجب العجلة القضيب ويمكن أن يؤدي لخروج القطبة عن الخط، وتحدث هذه الحالة في المسارات الضيقة أو عند السير في المنحنيات بسرعات كبيرة غير مسموح بها.



الشكل (2-4) استناد القطبة على القضيب



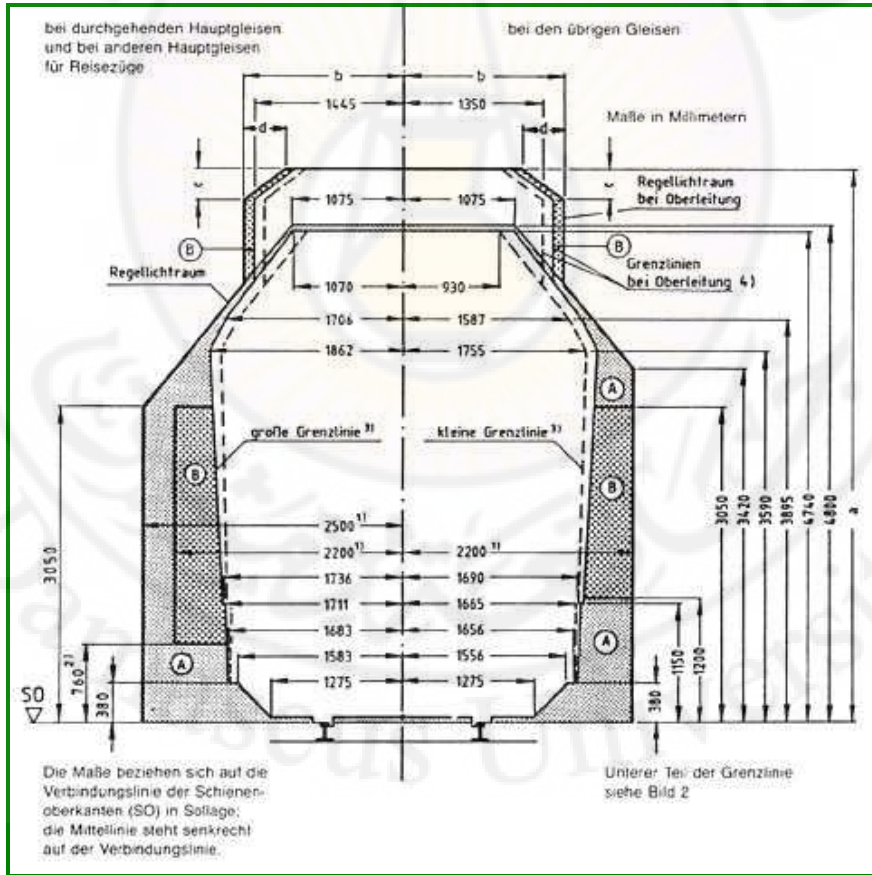
شكل (2-5) القوة المؤثرة على القطبة في المنحني

5-2- وسعة الإنشاء:

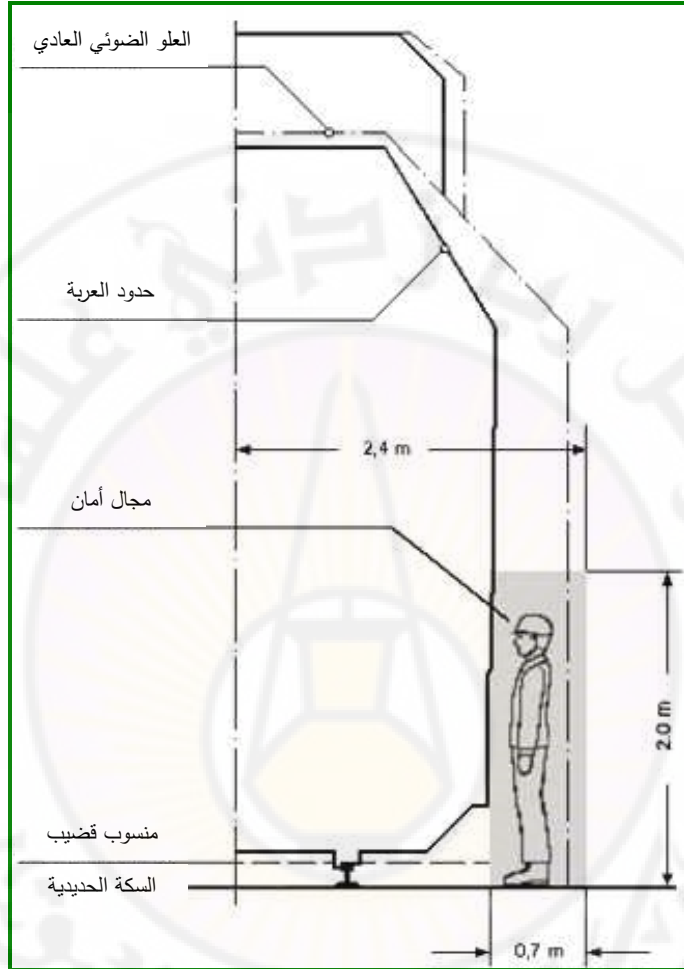
تعرف وسعة الإنشاء (اتساع الإنشاء) بأنها المساحة المحددة في المخطط الخاص بالوسعة والتي يجب ألا يدخل ضمنها أي عائق ما، حيث يتمكن القطار باختلاف عرباته ومركباته السير بحرية، يجب أن يراعي اتساع الإنشاء وجود الجسور والأنفاق، وأن يكون منسوب الرصيف قريب من منسوب العربة والتباعد بينهما صغيراً كي يتمكن الركاب من الصعود والنزول من القطارات بسهولة وخاصة بالنسبة للمعاقين والأطفال والمسنين) والشكل (2-6) يبين نموذج وسعة الإنشاء المعتمدة من

قبل الاتحاد الدولي للسكك الحديدية (UIC) للخطوط الجديدة وذات أنصاف أقطار أكبر أو تساوي 250 m، ويخص النصف اليساري الخطوط الرئيسية أما النصف اليميني فيعتمد في بقية الخطوط الأخرى.

أما وسعة (اتساع) الأدوات المحركة والأدوات المتحركة فتعرف بأنها المساحة المحددة في المخطط الخاص بها والتي يجب أن تتحصر ضمنها القياسات الجبهية والجانبية لتركيبات القطار فارغة أو محملة، وذلك لضمان سير هذه الأدوات بحرية وأمان وهذا ما يسمى باتساع الممر الحر والذي يجب أن لا تتجاوزه الحافلات المسموح لها بالسير على الخط الحديدي انظر الشكلين (2-6) و (2-7).



الشكل (2-6) وسعة الإنشاء والأدوات المحركة والمتحركة



الشكل (2-7) يبين حدود منطقة الأمان بين وسعتي الإنشاء والأدوات المحركة والمتحركة



الفصل الثالث

مكونات الخط الحديدي

Components of railway tracks

3-1- السكة الحديدية:

يطلق اسم الخط الحديدي (السكة الحديدية) على طريق المواصلات البري المغموس في الطابق البحصي (البلاست) والمؤلف من زوج متوازٍ من القضبان الفولاذية مثبتة على حواجز عرضانية تدعى بالعوارض. ويتكون جسم السكة من القسمين العلوي والسفلي.

يمكن تمييز نوعين من السكك الحديدية حسب بنية قسمها العلوي، النوع الأول: سكة عادية تحوي على عوارض مغموسة ضمن طبقة بلاست مرنة حاملة، والنوع الثاني سكة صلبة تكون عوارضها مغموسة ضمن بلاطة بيتونية صلبة حاملة بدون وجود بلاست.

3-1-1- القسم العلوي ومهامه:

القسم العلوي هو عبارة عن الطريق الثابت للسكة الحديدية الذي تسير عليه القطارات ويتألف من:

- القضبان.
- العوارض.
- أدوات الوصل والتثبيت.
- البلاست.

ويضاف إلى ذلك مجموعة من العناصر المتممة كالتفرعات والمفاتيح وتجهيزات الممرات السطحية وتجهيزات تغيير الحركة ومانعات الزحف وأجهزة مساعدة أخرى،

يتلقى القسم العلوي حمولات القطارات المختلفة ويقوم بنقلها وتوزيعها على القسم السفلي وتختلف السكة باختلاف نظام القسم العلوي الشكل (3-1).

ويصنف الخط الحديدي إلى درجات من حيث القسم العلوي له بحسب القضبان الفولاذية المستعملة فيه (أوزانها، أطوالها، مقاطعها، ونوع التثبيت فيها) ومن حيث أنواع العوارض المستخدمة وعددها في الكيلومتر الواحد وسماكة البلاست المستخدم ونوعيته.

القضبان الفولاذية:

وهي الأشرطة الفولاذية التي تتحمل قوى الضغط والصدمات من الدواليب مباشرة فهي تشكل عنصر الأمان الرئيسي لذلك تعطى أهمية كبيرة من حيث الدراسة والصنع والتركيب.

العوارض:

هي الجوائز العرضية التي تستند عليها القضبان الفولاذية وتقوم بنقل الحمولات من القضبان إلى البلاست ثم إلى القسم السفلي وتحافظ على البعد النظامي بين قضبيي السكة الحديدية والعوارض ويمكن أن تكون إما خشبية أو معدنية أو بيتونية.

أدوات الوصل والتثبيت:

وهي عبارة عن قطع معدنية صغيرة بالإضافة إلى عناصر أخرى عبارة عن قطع بلاستيكية أو خشبية، تستعمل لتثبيت القضبان على العوارض في مكانها المحدد وتستعمل عند نهايات القضبان أثناء وصلها ببعض.

البلاست:

هو طبقة من البحص أو الحجارة المكسرة أو أية مادة تعادله الرمل أو خبث المعادن وتوضع هذه الطبقة فوق القسم السفلي من السكة وبين العوارض وتقوم بنقل الحمولات من العوارض إلى القسم الترابي.

مهام القسم العلوي:

- تأمين خط مقاوم وصلب عرضياً وطولانياً بحيث يؤمن سيراً آميناً ومنتظماً للقطارات.
- تأمين توزيع منتظم للحمولات المختلفة التي يتلقاها الخط بحيث تصل الإجهادات الناتجة عنها إلى الأرض الطبيعية ضمن الحدود المسموحة.
- تأمين مقاومة جيدة للإجهادات وخصوصاً الديناميكية منها بحيث تتحملها عناصر جسم الخط بشكل آمن.
- تساهم طبقات الاستناد (طبقة البلاست وما تحت البلاست) في تأمين العمل الجيد للخط الحديدي من وجهات نظر الصلابة والحفاظ على سوية الخط والتصريف للمياه.

وتتعلق سماكة هذه الطبقات بما يلي:

- الخواص الأساسية لتربة البلاتفورم (طبيعتها، تحملها، حساسيتها للماء والصقيع).
- الشروط الهيدرولوجية والمناخية للموقع.
- ميزات النقل (حمولات، سرعات).
- ميزات الخط (القضبان، العوارض...).

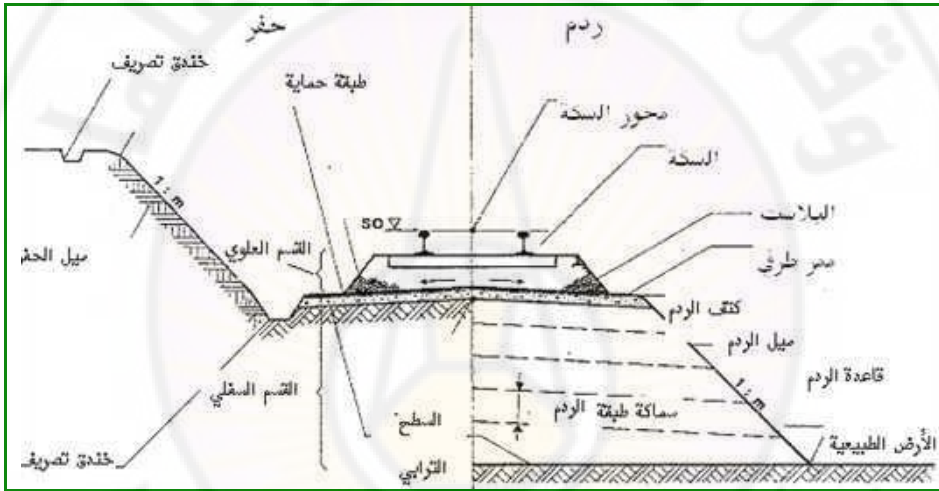
وتخضع عناصر القسم العلوي إلى الصيانة الدورية والاستبدال.

2-1-3- القسم السفلي:

يطلق عليه في بعض المراجع اسم البنية التحتية أو أساس السكة sub grade وهو الجسم الترابي للسكة والأعمال الصناعية مثل (العبارات والجسور والجدران الاستنادية وخنادق تصريف المياه والأنفاق...).

ويجب تحديد حرم السكة (Right of way) وهي الأرض التي ستنشأ عليها السكة وملحقاتها الضرورية ويتعلق عرضها بالعوامل التالية:

- عدد السكك (مفردة، مزدوجة، أو أكثر...).
 - ارتفاع مقطع الردم أو عمق مقطع الحفر والميول الجانبية.
 - متطلبات عمليات الصرف الصحي.
- يتلقى القسم السفلي الحمولات الموزعة بانتظام من القسم العلوي، كما إن عناصر هذا القسم لا تخضع إلى الصيانات الدورية للخط الحديدي. انظر الجدولين (1-3) و(2-3).



الشكل (1-3) عناصر السكة الحديدية في المقطع العرضي

3-1-3- البلاتفورم:

يمتد تأثير الحمولات الناتجة عن مرور القطار إلى عمق 2 m أسفل سطح البلاتفورم، ويتكون هذا القسم من تربة منقولة في حالة الردم ومن تربة في الموقع في حالة الحفر.

مهام البلاتفورم:

- تمكين قطارات الشحن والركاب من المسير بأمان بالسرعة التصميمية.
- تحمل الحمولات المحورية الثقيلة المفروضة من قبل قطارات الشحن.
- تخفيف كلفة الصيانات المستقبلية للخط الحديدي.

3-1-4- طبقة التشكل:

تستخدم عند ما تكون طبقة البلاتفورم ذات نوعية غير مناسبة، ويجهز القسم السفلي من طبقة ذات ميل عرضانية تتراوح بين (3-5%).

أ- في حالة الردم: تتكون طبقة التشكل من تربة لها نفس خواص التربة المستخدمة في جسم الردم أو من تربة ذات نوعية أفضل من تربة الردمية، وتتميز طبقة التشكل عن جسم الردمية بمعدل الرص العالي.

ب- في حالة الحفر: يتم الحصول على طبقة التشكل عموماً برص قعر الحفر ومع ذلك يمكن أن نستخدم تربة منقولة من نوعية أفضل إذا اقتضى الأمر.

يمكن معالجة طبقة التشكل باستخدام روابط.

إن المنحني الحبي للتراب المستخدمة في ردميات الخطوط الحديدية يجب أن يكون جيد التدرج وأن يحقق الشروط الفنية اللازمة، وتتراوح سماكة طبقة التشكل بين (30-60 cm) وذلك تبعاً لنوعية البلاتفورم أسفلها إن كان جيداً أو سيئاً. إن معدل رص الردميات عامل هام جداً إضافة إلى معامل التشوهات الأصغرية.

تنفيذ الردميات:

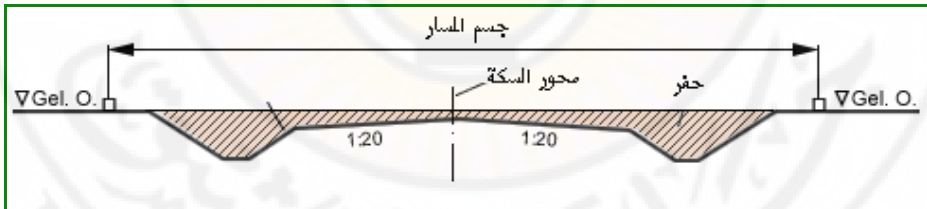
إن وجود محطة ركاب أو بضائع يتطلب مساحات أخرى إضافية من الأرض، علماً بأن حدود السكة للخط المزدوج يزيد بمقدار 50% عن الخط المفرد.

ويجب عند إنشاء خط مفرد والذي يتوقع زيادة أهميته بعد مدة معينة، الاحتفاظ بشريط الأرض الجانبي الإضافي اللازم لإنشاء الخط الثاني منذ البداية أما الأعمال الإنشائية الصناعية مثل الجسور والأنفاق فتبنى في هذه الحالة منذ البداية على أساس الخطين معاً.

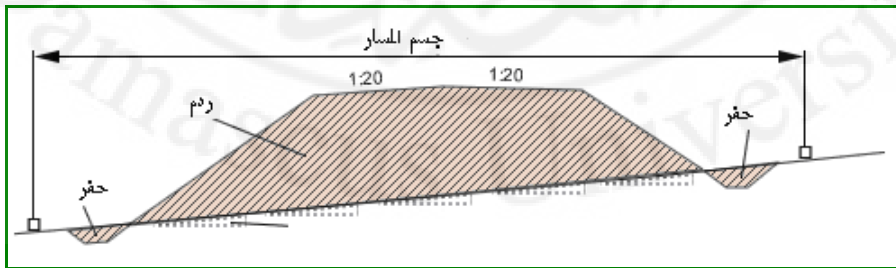
ويجب أن تزال الحشائش والنباتات الضارة بمهمات السكة وذلك عن طريق رشها بالمبيدات الكيماوية أو حرقها. إن عرض السطح العلوي لأساس السكة يتعلق بعرض

الطابق البحصي (البلاست) وسماكته، وبأطوال العوارض المستخدمة وبالحمولات المطبقة على القضبان وبسرعة وحجم الحركة. يجب أن يزيد عرض أساس السكة مسافة محدودة من كل جانب عن عرض الطابق البحصي وهذا يساعد في حفظ البلاست وكمر لعمال الصيانة.

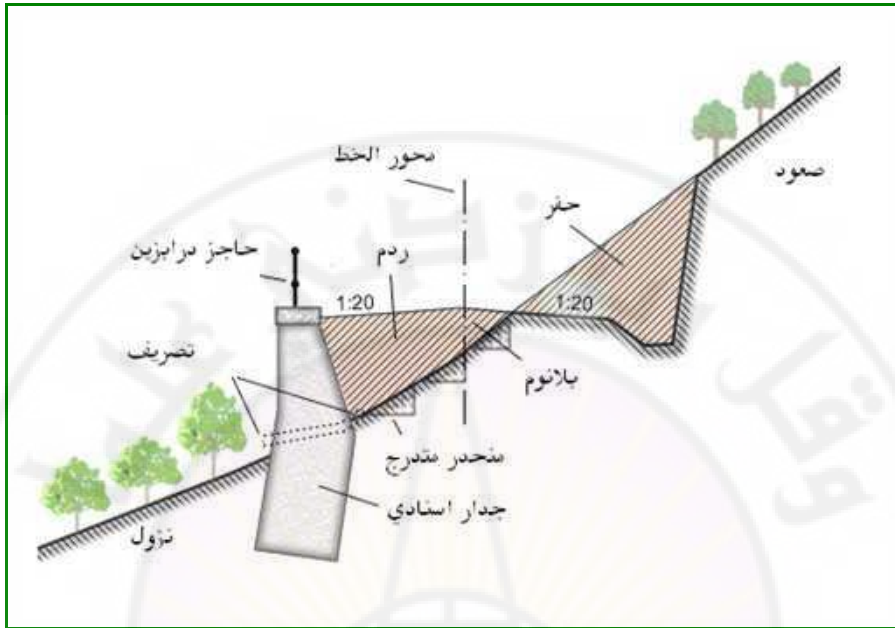
يتعلق عرض السطح العلوي للردمية أو الحفرية في حالة سكة مفردة أو مزدوجة بأتساع السكة (البعد بين القضيبين الداخليين) وبسماكة الطابق البحصي (البلاست) وتحدد الميول الجانبية للمنحدرات اعتماداً على زاوية ارتياح التربة (الميل الطبيعي للتربة) وعادة تستعمل القيمة التالية (2/3) أو (1/2) للترب العادية و (1/3) في حالة استعمال تربة طينية أو رملية، ولذلك يجب معرفة نوع التربة قبل تحديد هذا الميل وفي حالة التربة الصخرية تتراوح قيمة هذا الميل ما بين 5/1 وحتى 10/1. إن الشكل العام لمقطع الردميات في جسم السكة الحديدية هو شبه منحرف ويجب الانتباه إلى عمل مصارف (خنادق) جانبية في حالة وقوع المقطع في حفرية كما هو مبين في الشكل (2-3). انظر الجدولين (1-3) و (2-3).



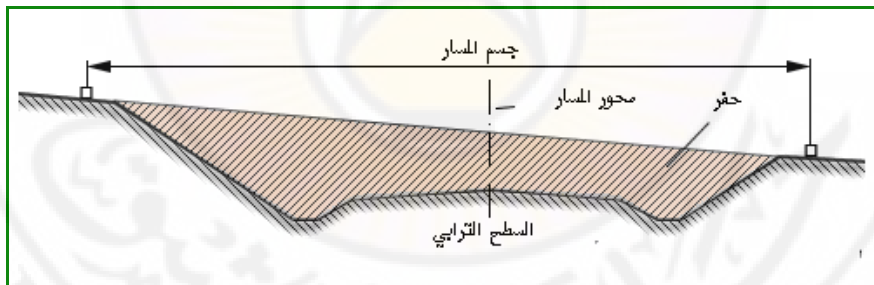
a- مقطع على سطح الأرض (سطحي)



b- مقطع ردم



c- مقطع حفر وردم (مختلط)



d- مقطع حفر

الشكل (2-3) يبين أنواع مقاطع الردم والحفر

الجدول (1-3) مكونات جسم السكة

جسم السكة				
القسم العلوي للسكة		القسم السفلي للسكة		
سكك ومفاتيح قضبان أدوات تثبيت عوارض أدوات ربط سرير السكة	منشآت ترابية	منشآت التصريف	منشآت صناعية	ممرات السكة
مرن بوجود بلاست صلب بدون بلاست	ردم حفر مقاطع طبقات حماية: طبقة التأسيس زيادتها تغيرها: (ضغطها) تكثيفها تحسينها	خنادق تصريف تصريف عميق	جسور أنفاق جدران استنادية عبارات	

الجدول (2-3) نظرية بنية الطبقات لقسم علوي مع بلاست

سماعة أو ارتفاع cm		قسم علوي مع بلاست		قسم علوي ثابت (صلب) بدون بلاست		سماعة أو ارتفاع cm
40		قضبان				40
		أدوات تثبيت				
		سرير بلاست بلاست سفلي	عوارض		بيتون كامل	
30 min		سرير بلاست (بلاست سفلي)		طبقة استناد بيتونية		20
				طبقة استناد بيتومينية		30
30-70	20 min	طبقة حماية سطح الاستناد السفلي		طبقة تصريف هيدروليكية		30
		طبقة ضد الصقع		طبقة حماية ضد الصقع		20-40
طبقة التأسيس (تحسين)						



2-3- عناصر الخط الحديدي:

1-2-3- القضبان الفولاذية:

1-1-2-3- التطور التاريخي للقضبان الفولاذية:

تعرف القضبان الفولاذية بأنها الأشرطة الفولاذية الطويلة المستوية التي تتلقى الحمولات مباشرة من عجلات القطارات وتحملها وتنقلها إلى الأسفل، كما تقوم بتوجيه حركة العجلات، فهي أهم عنصر من عناصر القسم العلوي بالنسبة لأمان الحركة.

وللخطوط الحديدية نوعين هما:

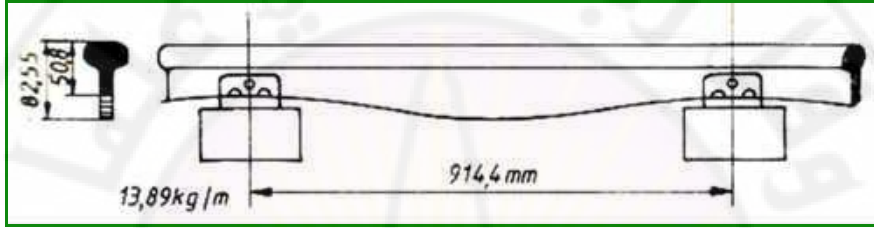
- الخطوط الحديدية العادية (القصيرة ذات الفواصل) حيث يتم وصل القضبان المتتالية بواسطة وصلات معينة.

- الخطوط الحديدية الطويلة (الملحومة بدون فواصل) يتم وصل القضبان المتتالية بواسطة اللحام.

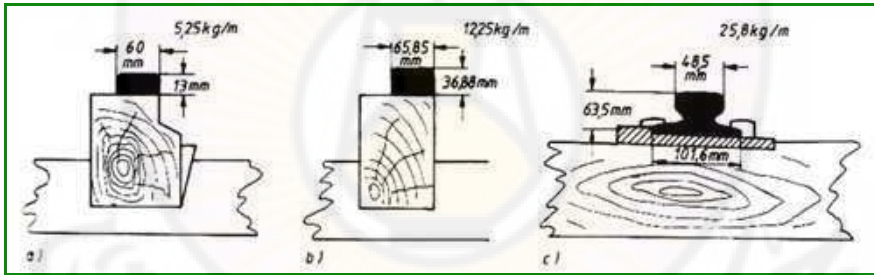
مرّ تطور القضبان من أقدم شكل حتى الوصول إلى شكلها الحالي بمراحل عديدة، حيث عرفت القضبان المعدنية المسطحة الممدودة فوق العوارض الطولية الخشبية لتقليل الاحتكاك عند السير، ولم يكن الغاية منها تحمل القوى وبالتالي فكانت مقاومتها ضعيفة ضد الانحناء. ثم استبدلت القضبان المسطحة بقضبان على شكل مجرّاة كحرف U وبعد ذلك استخدمت القضبان كزاوية على شكل حرف L، ونتيجة تطور صناعة التعدين تم إنتاج قضبان ذات صلابة عالية في عام 1789 حيث عرفت العجلات ذات الذقون.

ولزيادة صلابة القضبان تم إنتاج قضبان جديدة ذات انتفاخ في الوسط (على شكل بطن السمكة) والتي استخدمت في إنشاء أول خط حديدي عام 1825 في بريطانيا يربط بين مدينتي Stockton – Darlington وبلغ طول القضيب 4.52 m ووزنه في المتر الطولي 13.89 Kg/m والتباعد بين العوارض 91 Cm .

ومنذ ذلك الوقت وحتى نهاية القرن التاسع عشر مر تطور القضبان بمراحل كثيرة وأنتجت نماذج مختلفة منها (قضبان على شكل الفطر، قضبان ذات الرأس المضاعف، قضبان ذات القاعدة العريضة وقضبان ذات أشكال خاصة) وذلك حتى تم الوصول إلى الشكل الحالي والمعروف بقضيب فينول أو قضيب ذو القاعدة العريضة والذي يتمتع بصلابة عالية ومواصفات جيدة انظر الشكل (3-3).



آ- قضيب يشبه بطن السمكة (1825)



ب- قضبان مسطحة

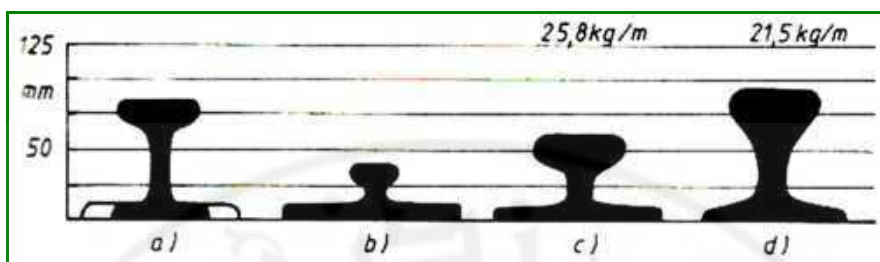
a- قضيب مسطح في امريكا الشمالية (1839).

b- قضيب مسطح في خط لايبزك - دريسدن (1836)، بألمانيا

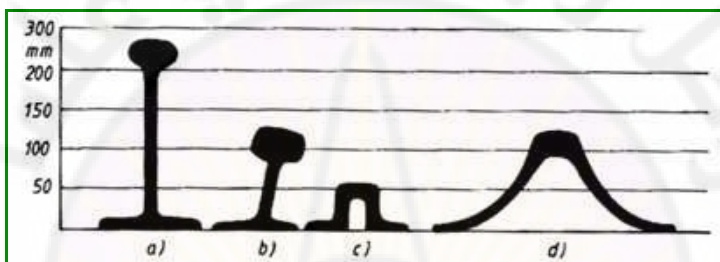
c- قضيب في خط لايبزك - دريسدن (1838)، بألمانيا



ج- تطور قضبان ذات الرأس المضاعف



د- تطور قضبان ذات القاعدة العريضة



ه- تطور قضبان ذات الجسد العالي

الشكل (3-3) المراحل التاريخية لتطور نماذج القضبان

ونتيجة زيادة حمولات القطارات وبالتالي حمولات المحاور (الأقطاب) من 15 KN إلى 250 KN في السنوات الأخيرة، هذا أدى لإنتاج نماذج جديدة من القضبان الثقيلة وعالية المقاومة.

2-1-2-3- متطلبات القضبان الفولاذية:

يجب على القضبان أن تتصف بما يلي:

- تلقي الحمولات مباشرة من القطارات عن طريق العجلات ونقل تأثيرها إلى العوارض.
- تأمين سطح سير مستو وضمان مقاومة احتكاك قليلة.
- قيادة أمينة وتوجيه سليم لذقون العجلات.
- ثبات ومتانة عالية ضد القوى الأفقية واستقرارها.
- تثبيت فعال مع العوارض وارتباط جيد عند الفواصل.

- صلابة عالية ضد الانحناء حول المحورين الرأسي والأفقي X، Y.

- قابلية جيدة للحام.

- سلوك مرن جيد ولدونة قليلة.

- مقاومة جيدة ضد التآكل والاهتراء.

- حساسية قليلة للصدم، ومقاومة ضد الشد والانكسار.

3-1-2-3- نماذج القضبان الفولاذية:

استخدمت أحدث تقنيات الدرفلة في إنتاج القضبان المعدنية ذات التراكيب الكيميائية المختلفة وبلغت مقاومة القضبان للشد 900 N/mm^2 ووصلت هذه المقاومة في القضبان ذات الرأس المقسى إلى 1200 N/mm^2 والتي يفضل استخدامها في المنحنيات ذات أنصاف الأقطار الصغيرة لمقاومتها العالية للتآكل التي تتعرض له القضبان من الحمولات المارة.

بلغت أطوال قضبان فينول الجديدة المنتجة 60 m، 30 m ويتم لحماها في المصنع بأطوال 120 m، 180 m ويعرف القضيب بوزنه في المتر الطولي.

قضيب فينول (ذو القاعدة العريضة):

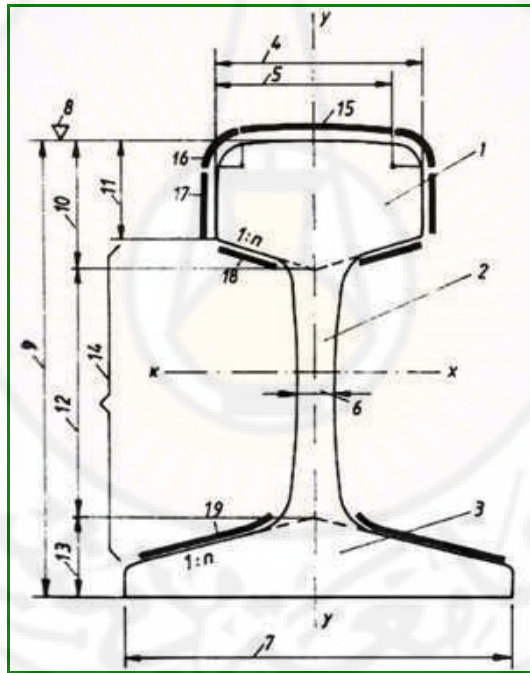
يعتبر هذا النموذج من أفضل القضبان وأكثرها استخداماً في العالم، ويتميز بمواصفات جيدة ويلبي كافة المتطلبات، ويتكون من ثلاثة أقسام رئيسية انظر الشكل (3-4):

- الرأس أو الهامة:

يتميز السطح العلوي للهامة بأنه محدّب قليلاً ويرتبط شكل الهامة بشكل العجلة لكي تسير العجلة فوق المنطقة المتوسطة منها، ويميل هذا السطح بمقدار $1/20$ وأحياناً بمقدار $1/40$ وذلك ليساعد على دفع العجلات نحو الداخل باتجاه محور الخط ويقلل الاحتكاك بين ذقون العجلات وسطح السير للهامة القضيب، أما السطح السفلي فيميل عن المحور الرأسي بمقدار $1/3$ ليناسب استناد الجبيرات وإمكان رصها لاحقاً،

كما يميل الوجه الداخلي لذقن العجلة بزاوية $60^\circ - 70^\circ$ لاستناد العجلة إلى الهامة في المنحنيات على هذا السطح المائل ثم تعود فتنزلق نحو الأسفل. ويحدّد ارتفاع الهامة وعرضها وفقاً لما يلي:

- إعطاء مجال اهتراء جانبي كاف.
- إعطاء مجال اهتراء شاقولي (رأسي) كاف.
- توزيع جيد للمعدن.
- تسهيل رسم منحنيات الارتباط بين هامة وجسد القضيب.



شكل (3-4) قضيب فينول (ذو القاعدة العريضة)

- 1- الرأس (الهامة)، 2- الجسد، 3- القاعدة (القدم)، 4- عرض الرأس، 5- عرض سطح السير، 6- سماكة الجسد، 7- عرض القاعدة، 8- منسوب الحافة العلوية، 9- الارتفاع الكلي، 10- ارتفاع الرأس، 11- ارتفاع الرأس الجانبي، 12- ارتفاع الجسد، 13- ارتفاع القاعدة، 14- مجال التجبير، 15- عرض سطح السير العلوي، 16- منحنى الرأس، 17- جناح السير، 18- مسافة التجبير الرأسية، 19- مسافة التجبير القاعدية

- الجسد:

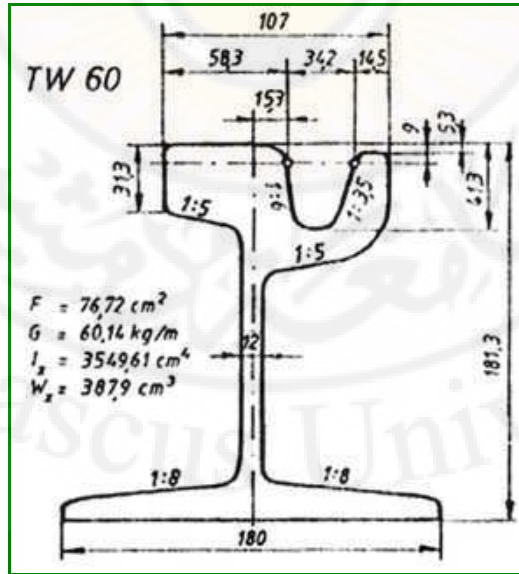
يصل الجسد بين هامة وقاعدة (قدم) القضيب، ويتحمل قوى القص والإجهادات المرتفعة الناتجة عن الحمولات الرأسية المطبقة وتبلغ سماكة الجسد الوسطية بحدود 15 mm وتزداد هذه السماكة في مناطق التآكل الشديد، كما توجد في الجسد ثقب للتجبير بأطراف القضيب.

- القاعدة (القدم):

تتكون من أجنحة عريضة وسميكة تؤمن استناد متوازن للقضيب ضد الفتل والانقلاب وترتكز على وسائد أو صفائح معدنية تزيد من سطح الاستناد على العوارض.

- القضيب ذو الأخدود:

يستخدم هذا النوع من القضبان في خطوط الترامواي في الشوارع داخل المدن وفي خطوط الضواحي وفي التقاطعات مع الممرات، وتمتاز هذه القضبان بقاعدة عريضة تمكنها من الاستناد بشكل متوازن لغياب العوارض في الشوارع، انظر الشكل (5-3).



الشكل (5-3) القضيب ذو الأخدود لخطوط الترام

- القضيب المضاعف ذو الرأسين (رأس الثور):

تم تصنيع هذا النوع من القضبان بغية زيادة كتلة المقطع وبالتالي زيادة مقاومته، ويتكون من كتلتين أو رأسين متناظرين يربط بينهما جسد، وكان الهدف من ذلك هو استخدام الرأس الثاني للقضيب بعد اهتراء رأسه الأول بقلب القضيب، ولكن لم تنجح هذه الفكرة بسبب عدم التمكن من تأمين استناد القضيب على الرأس المتآكل والمشوه، انظر الشكل (3-3).

يبين الجدول (3-3) مواصفات بعض نماذج القضبان المستخدمة عالمياً، حيث ترمز كل دولة صانعة أو مؤسسة بحرف يكتب على القضيب وبجانبه وزنه في المتر الطولي كما يلي على سبيل المثال: S49 هو قضيب ألماني وزنه 49.43 Kg/m، R 50 هو قضيب روسي وزنه 50.50 Kg/m، UIC 60 هو قضيب وزنه 60.34 Kg/m حسب مواصفات الاتحاد الدولي للسكك الحديدية وهكذا.

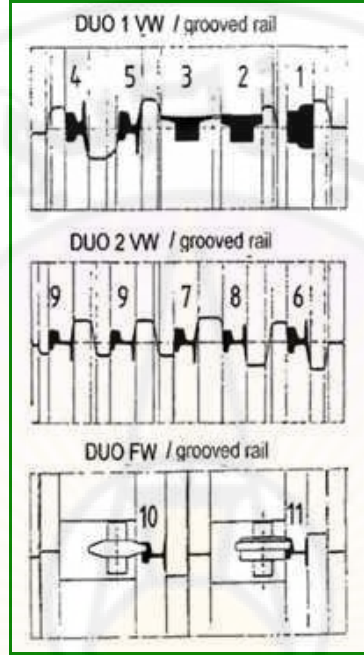
الجدول (3-3) مواصفات بعض نماذج القضبان المستخدمة عالمياً

نموذج القضيب	الارتفاع [mm]	عرض القاعدة [mm]	عرض الرأس [mm]	ارتفاع الرأس [cm]	سماعة الجسد [cm]	مساحة المقطع mm ²	العزم المقاوم قاعدة/رأس W _x [cm ³]	العزم المقاوم W _y [cm ³]	عزم العطالة I _x [cm ⁴]	عزم العطالة I _y [cm ⁴]	الكتلة Kg/m
S49	149	125	67	50.5	14	6248	248/240	51	1797	319	49.43
S54	154	125	67	55.0	16	6948	276/262	57	2073	359	
UIC60	172	150	72	51.0	16.5	7690	377/336	68.4	3055	513	60.34
R50	152	132	72	42.0	14.5	6450	284/	63	2016	416	50.5
R65	180	150	72.9	45.0	18	8256	359/k.a	76	3548	569	64.64

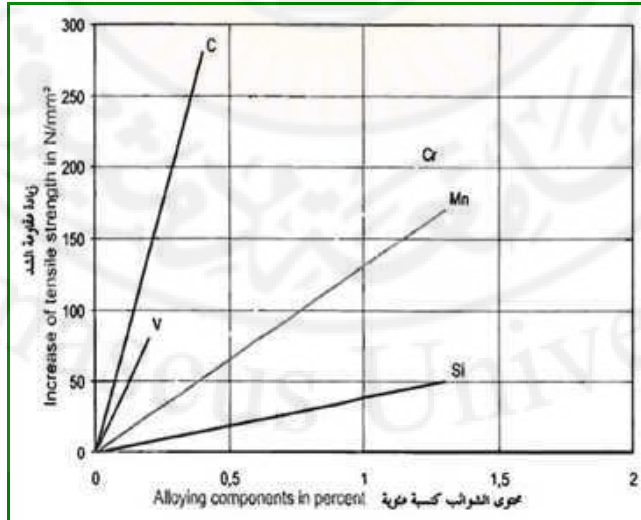
3-2-1-4 طرق صناعة القضبان الفولاذية:

تصنع القضبان من فولاذ منغنيز الكربون carbon-manganese steel وتدرقل في عملية متعددة المراحل (انظر الشكل 6-3)، ويمكن أن تضاف خلائط Alloys للحصول على خواص محدّدة، مثلاً: زيادة مقاومة الشد للقضبان انظر الشكل (7-3). ومع ذلك هناك حدود لهذه الإضافات باعتبار أنّها تؤثر بشكل سلبي على الخواص

الأخرى للفولاذ. مثلاً: المحتوى العالي للكربون يخفّض صلابة القضبان، وبالتالي فهو غير مناسب للاستخدام.



الشكل (6-3) تصنيع القضبان المخددة باستخدام عملية الدقلة الكربونية



الشكل (7-3) استخدام الخلطات لتقوية فولاد القضبان

وبشكل مماثل فإنَّ زيادة المقاومة النَّاتجة عن زيادة المنغنيز تخضع لحدود الاستخدام، لأنَّ تضمينه في الخواص بنسبة تزيد عن 1.3% تقريباً تخفّض قابليّة القضبان للحام بشكل واضح.

حيث تأخذ القساوة عند السّطح العامل كمرجع متغيّر بدلاً من مقاومة الشّد الدّنيا انظر الجدول (4-3) والذي يبيّن المعيار التّركيب الكيميائيّ لأنواع الفولاذ المختلفة.

الجدول (4-3) التّركيب الكيميائي لقضبان السكك الحديدية

أنواع الفولاذ	مجال التّقسية HBW	الوصف	علامات الدّرقة	الاسم القديم
R 200	200-240	كربون - منغنيز (C-Mn)	بدون علامات درقة	700
R 220	220-260	كربون - منغنيز (C-Mn)	-	800
R 220	260-300	كربون - منغنيز (C-Mn)	-	900 (فولاذ نوع A)
R 200 Mn	260-300	كربون - منغنيز (C-Mn)	-	800 (فولاذ نوع B)
R 320 Cr	320-360	شوائب (١% كربون)	-	1100 (صنف خاص)
R 350 HT	350-390	كربون - منغنيز (C-Mn) تقسية رأس القضيب	-	900 تقسية رأس القضيب
R 350 LHT	350-390	شوائب ضعيفة، تقسية رأس القضيب	-	-

تتطلّب التعليمات للقسم العلوي مقاومة شدّ دنيا على الأقلّ 685MPa (للفولاذ R 200). وتخضع للمتطلّبات التّشغيليّة (مثلاً: في المنحنيات ذات أنصاف الأقطار الصّغيرة أو مقاطع المنحدرات) القضبان ذات مقاومة الشّد العالية و/أو التي تمّت معالجتها بشكل خاص، مثلاً استخدام تقسية hardening رأس القضيب (خلال المعالجة الحراريّة).

يجب أن تكون المادّة المستخدمة في صناعة القضبان مناسبة للمعالجة الحراريّة بالألومنيوم aluminothermic، الوميض (أو flash-butt) أو قوس اللحام.

يستخدم الفولاذ ذو المحتوى العالي من الخلائط للقضبان التي تحتاج لفترة طويلة لكي تبرّد بعد اللحام، وذلك منعاً من أن تصبح هشّة brittle.

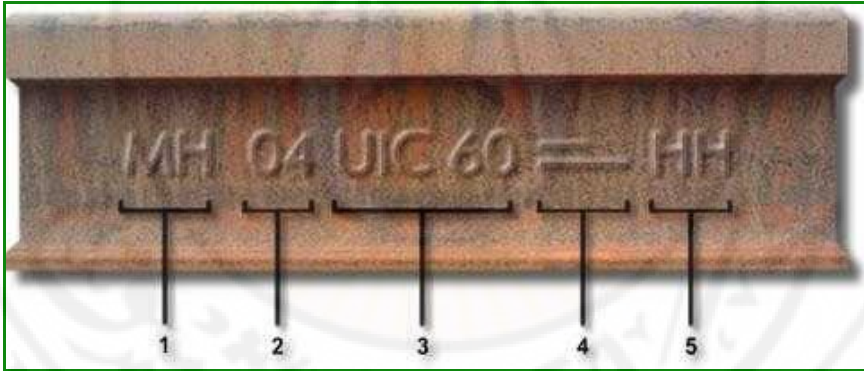
يجب أن يتحمّل جسد القضبان علامات الدّرفلة rolling marks على الأقل كل 4 m، حيث تؤمّن العلامات المعلومات التّالية انظر الشّكلين (8-3) و (9-3):

- المصنع الذي أنتجت فيه هذه القضبان.

- نوع الفولاذ المستخدم.

- خانتي الرّقمين الأخيرين لسنة الإنتاج.

- مقطع القضيب.



1- رمز الجهة المصنعة

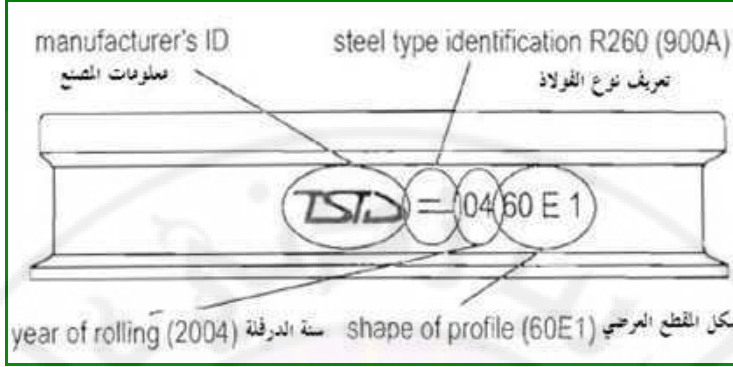
2- عام الإنتاج

3- نموذج القضيب

4- جودة الصناعة

5- رأس القضيب المقيس

الشكل (8-3) خصائص تصنيع القضبان



الشكل (9-3) علامات تصنيع القضبان

يجب أن تضمن القضبان أو المواد المختارة لتستعمل في صناعة القضبان قابلية النقل الكهربائي conductivity الدنيا حتى عندما تتآكل القضبان، باعتبار أن تدفق تيار الجر traction current flows يعود من خلال القضبان العاملة.

تعتمد قابلية النقل الكهربائي المحددة للقضبان الفولاذية على تركيب ومحتوى بعض عناصر الخلط. مثلاً: يحسن السيليكا silicium مقاومة القضبان.

تقدر قيم الناقلية الكهربائية العادية للقضبان $S - \frac{m}{mm}$ (S = Sieme) تكون 4.5 تقريباً للفولاذ R 260 وتقريباً 3.5 للفولاذ R 320 Cr.

أطوال القضبان الفولاذية:

لتخفيض عدد عمليات اللحام المطلوبة، تصنع اليوم قضبان بأطوال تزيد عن 120 m. ومع ذلك لتسهيل نقل هذه القضبان (مثلاً: إيصالها إلى الموقع عبر الطرق المدنية الضيقة أحياناً)، يحدّد سائقي القطارات المحليين أطوال القضبان بـ 15 m، 18m or 30 m.

تستخدم قضبان الإغلاق Closure للتعويض عن الاختلاف في الطول بين القضبان المستخدمة في خارج وداخل المسارات المنحنية، حيث يشار إلى موقع قضبان الإغلاق في مخطط الخط الحديد.

تستخدم قضبان الانتقال Transition للربط بين المسارات ذات المقاطع العرضية المختلفة، ويجب ألا تكون أقصر من 7.5 m ولا يتم استخدامها في المنحنيات.

القضبان المثنية مسبقاً:

إنَّ القضبان المثنية مسبقاً على كامل طولها قبل وضع المسار تحدّد اتجاه sense القضبان المخرّدة المستخدمة في المنحنيات بأنصاف أقطار أقل من 180 m ولقضبان Vignole في المنحنيات بأنصاف أقطار أقل من 150 m. اعتماداً على عزم عطالة moment of inertia مقطع القضيب، يمكن أن تحدّد القضبان المثنية مسبقاً على كامل طولها أيضاً اتجاه المسارات في المنحنيات ذات أنصاف الأقطار

5-1-2-3- لحام القضبان:

تكون القضبان العاملة المستخدمة في الخطوط الرئيسية والإقليمية والمحلية عادةً ملحومة بشكل مستمر. إنَّ الشروط المسبقة preconditions لهذه الخطوط أن يستخدم فيها مثبتات القضبان الصلبة وأن تكون مقاومة بشكل كافٍ للإزاحة الجانبية. إنَّ معظم القضبان العاملة المستخدمة في الخطوط الرئيسية تكون ملحومة بشكل مستمر، كما يجب أن تكون القضبان الواقعة في الأنفاق أو على الجسور ملحومة بشكل مستمر أيضاً.

يبين الجدول (5-3) الحالات التي تطبّق فيها إجراءات لحام القضبان المختلفة.

إنَّه من الضروري الانتباه إلى أن يتم تعريض اللحام إلى المعالجة الحرارية الصحيحة وذلك قبل وبعد عملية اللحام الفعلية، حيث يساعد ذلك في تجنب التغيرات الإنشائية المحلية والتي يكون لها تأثير سلبي على قساوة الفولاذ مثلاً.

الجدول (5-3) استخدام الإجراءات المختلفة للحام القضبان

عملية اللحام welding process				
اللحام التناكبي fusion welding			اللحام	
اللحام بالقوس Arc welding	اللحام بالغاز Gas welding	اللحام الألوميني Aluminothermic welding	بالوميض flash-butt welding	
الخط الحديدي	الخط الحديدي	الخط الحديدي	في الورشة	منطقة التطبيق
10 min	5 min	15 min	-	التقدم headway
885 MPa	885 MPa	1080 MPa	1080 MPa	أكثر من صنف الفولاذ (الاسم القديم لمقاومة الشد الدنيا)
R 260 Mn	R 260 Mn	R 320 Cr	R 320 Cr	الاسم الجديد للصنف (DIN EN 13674-1)
قضبان إلكترود electrode (DIN 1913 & DIN 8555)	قضبان لحام وفق (DIN 8554 & DIN 8555)	أجزاء من الـ thermite	لا يوجد	المواد الإضافية
يدوي	يدوي	نصف أوتوماتيكي	أوتوماتيكي	التنفيذ
عالية	عالية	قليلة	قليلة	الحساسية لأخطاء التنفيذ
معالجة حرارية مسبقة للقضبان 685 MPa >، معالجة حرارية مسبقة ولاحقة للحام > 885 MPa	معالجة حرارية مسبقة للقضبان > 685 MPa	معالجة حرارية مسبقة لكافة القضبان > 885 MPa	معالجة حرارية لاحقة للقضبان > 885 MPa	المعالجة الحرارية للحام

3-2-1-6- عيوب القضبان الفولاذية:

يتراوح عمر القضيب بين 20-40 سنة و تصنف العيوب في القضبان إلى:

عيوب ناجمة عن الصنع:

يتم تحديدها نتيجة التجارب والفحوصات التي تطبق على القضبان قبل استخدامها، وتتمثل بوجود:

- تموجات في قاعدة القضيب أو سطحه مثلاً نتيجة نقص في المعدن أو وجود فراغات وانفصام الذرات وتولد التشققات الأفقية والعمودية في الأطراف.
- الشرائق الغازية والنتوءات والالتواءات التي تحدث من وقت لآخر بسبب عمليات سحب المعدن.
- عدم التجانس في بعض النقاط الداخلية يؤدي إلى نشوء تشققات.

عيوب نتيجة الاستعمال:

- تنتج عن مرور الحمولات وتتمثل بما يلي:
- تشققات في هامة القضيب.
- كسور القضبان وخاصة في مناطق التجبير.
- التقشر والتحفر في سطح السير.
- نشوء تموجات مختلفة في القضبان بسبب مرور القطارات وآلات تنفيذ الخطوط الثقيلة، وهذه تؤدي إلى تزايد التشوهات والاجهادات وبالتالي خلل في البنية.
- وتؤدي هذه العيوب إلى تآكل القضبان رأسياً وجانبياً (تتعرض رؤوس القضبان للتآكل الشاقولي من عمليات التشغيل وللتآكل الجانبي من دوران حواف العجلات في الخطوط المنحنية).

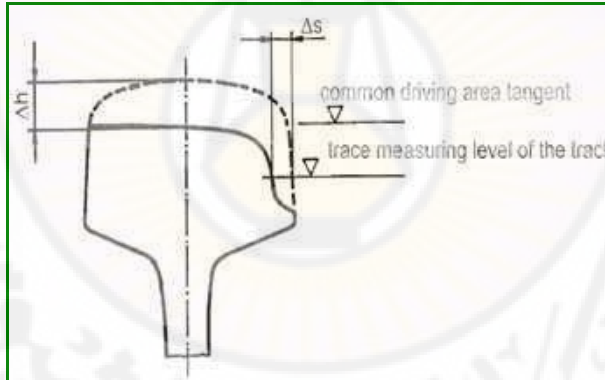
ولا يسمح بتجاوز القيم المسموح بها حسب المواصفات والشروط الفنية، وفي حال التجاوز لابد من تبديل القضبان، وأحياناً تستخدم القضبان القديمة المستبدلة من الخطوط الرئيسية إلى الخطوط الثانوية.

يشير الشَّكل (10-3) إلى حدود تآكل رأس القضيب في المسارات المستخدمة من قبل الخطوط.

الارتفاع الأصغر (mm)	التآكل الجانبي (ΔS) (mm)	التآكل الشاقولي (ΔH) (mm)	ارتفاع القضيب الجديد (mm)	نموذج القضيب الفولاذي
124*	20**	14*	138	S41
124*	20**	25*	149	S49 (R50)

* in analogy with AzObri NE

** if gauge is sufficient



الشَّكل (10-3) حدود التآكل في أجنحة القضبان للخطوط الحديدية

3-1-2-7- تجارب القضبان الفولاذية:

يجب التأكد من جودة صناعة القضبان ومدى المطابقة مع المواصفات الفنية ودفاتر الشروط الموضوعية، وذلك من خلال إجراء عدة تجارب منها:

- تجربة مقاومة الصدم: وهي عبارة عن إسقاط كتلة ذات وزن معين سقوطاً حراً على عينة من مقطع لقضيب فولاذي من ارتفاع محدد، ولكي تقبل العينة لا يسمح بحدوث شقوق أو كسور فيها نتيجة التجربة كما بالشكل (3-11).

- تجربة الشد والتطاوّل: توضع العينة في آلة شد وتقاس قيمة إجهادات الشد عند الانقطاع R كما يقاس التطاؤل النسبي A ولكي يكون فولاذ القضبان مقبولاً يجب أن لا تقل إجهادات الشد عند الانقطاع عن $R = 70 - 80 \text{ Kg/mm}^2$ والتطاؤل النسبي $A = 10 - 14\%$ كما بالشكل (3-12).

- تجربة الفحص الماكروغرافي: للتأكد من عدم وجود الشوائب وعيوب الانفصام وعدم انتظام حبيبات الفولاذ.

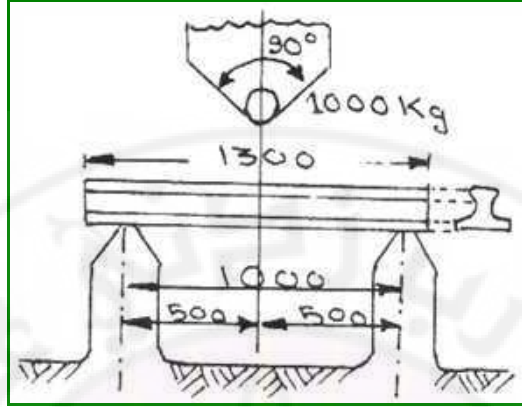
- تجربة الفحص الصوتي: يتم فحص المعدن عن طريق جهاز يرسل ذبذبات صوتية عالية وتستقبل هذه الذبذبات على الجهاز وتعطي معلومات عن درجة تجانس المعدن وتراكيب حبيباته وعدم وجود تشققات ميكروسكوبية فيه، ويمكن وضع هذه الأجهزة على عربات خاصة وإجراء فحص القضيب في الموقع.

- تجربة القساوة: تقاس درجة قساوة برينيل للفولاذ ومنها يتم استنتاج بصورة تقريبية مقاومة الفولاذ للانقطاع بالشد من العلاقة التالية:

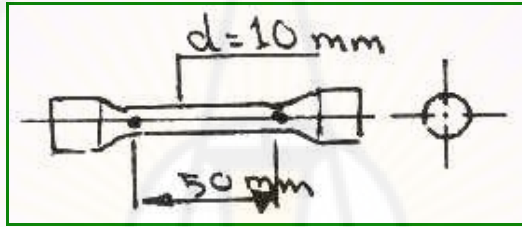
$$R = 0.35 * HB$$

R- إجهادات الانقطاع بالشد Kg/mm^2 .

HB- درجة قساوة برينيل.



الشكل (11-3) تجربة الصدم



الشكل (12-3) تجربة الشد والانقطاع

2-2-3- العوارض:

1-2-2-3- مهمات العوارض:

تعرف العوارض (الفلكات) بأنها العناصر العرضية التي تستند إليها قضبان السكة الحديدية والمغموسة في سرير (طبقة) البلاست، حيث تقوم بحمل ونقل وتوزيع تأثير القوى المطبقة عليها من قضبان السكة إلى سرير البلاست. تستخدم العوارض العرضية بكثرة في الخطوط الحديدية ذات البلاست، أما في الخطوط الحديدية الصلبة الخالية من البلاست فيمكن استخدام أحد أنواع العوارض العرضية أو الطولية.

لقد استخدمت العوارض الخشبية منذ بداية إنشاء الخطوط الحديدية، واستمر انتشارها في بقية أنحاء العالم ولمدة 50 عاماً بعد إنشاء أول خط حديدي، وبسبب عدم مقاومتها للظروف المناخية، وزيادة إنتاج المعادن في الربع الرابع من القرن التاسع عشر تم التحول لاستخدام العارضة المعدنية في مناطق عديدة من العالم وأوروبا

واستمر استخدامها لمدة 50 عاماً، وبسبب زيادة حمولة المحاور وارتفاع السرعات تطلب الأمر لاستخدام عوارض ثقيلة، فتم استعمال العوارض البيتونية في نهاية القرن التاسع عشر، والتي صممها العالم الفرنسي غ. مونير في نهاية القرن التاسع عشر . يبلغ عدد العوارض في العالم تقريباً 3 مليار ومنها 20 % عوارض بيتونية فقط، حيث يتم تجديد العوارض سنوياً بنسبة 5% تقريباً، ويصل الإنتاج السنوي من العوارض البيتونية بحدود 20 مليون.

يجب أن تحقق العوارض بأنواعها المختلفة المهمات والوظائف التالية:

- تحديد وسعة الخط الحديدي والحفاظ عليها.
- تحمل القوى المؤثرة عليها ونقل تأثيرها إلى طبقة البلاست، لذا يجب أن تكون سماكة العارضة كافية وطولها مناسباً.
- تأمين سطح استناد كاف لتثبيت القضبان الفولاذية عليها ومقاومة القوى المؤثرة عليها بالاتجاهات الثلاثة.
- تحقيق سير أمين.
- تخفيف اهتزازات القضبان.
- تخفيف الضجيج ومقاومة الظروف المناخية.
- يجب أن يسمح شكلها لإجراء أعمال الصيانة.

3-2-2-2- أنواع العوارض:

تصنع العوارض من الأخشاب، أو المعادن أو البيتون.

3-2-2-2-1- العوارض الخشبية:

تعتبر العوارض الخشبية الأكثر انتشاراً في العالم، وذلك نظراً للخصائص والميزات التي تتمتع بها:

1- مزايا العوارض الخشبية:

- سلوكها المرن وبساطة في الشكل ورخيصة التكاليف.
- وزنها خفيف وسهولة في التعامل، ويمكن إعادة استخدامها عدة مرّات بعد صيانتها.
- عازلة جيدة للكهرباء، وتماسكها جيد مع البلاست.
- تتعرض العوارض الخشبية لأضرار قليلة عند حصول حوادث بخروج القطار عن الخط.

- إعطاء القضبان ميلاً على الشاقول (العمود) مقداره 1:20.

2- مساوي العوارض الخشبية:

- تحتاج العارضة الخشبية لعملية الحقن بالمواد الكيميائية مما يزيد من كلفتها، وذلك لإطالة عمرها ومنعها من العفونة والتلف.
- ندرة مادة الخشب مما يجعل أسعارها في تزايد مستمر وقطعها من الغابات يؤثر سلباً على البيئة.
- عمرها قصير بدون معالجتها بالحقن الكيميائي.
- لتأمين سطح استناد كاف فهي تحتاج إلى أجذاع أشجار كبيرة.
- تبلغ أبعاد العارضة الخشبية بشكل عام كما يلي:

في أوربا: $16 * 26 * 260 \text{ cm}$

وفي أمريكا: $18 * 23 * 240 - 270 \text{ cm}$

ويبين الشكل (3-13) نموذج من العوارض الخشبية، كما يتراوح عمرها ما بين 25-45 سنة ولا ينصح باستخدام العوارض الخشبية في الخطوط المصممة على سرعات تزيد عن 160 Km/h .



الشكل (3-13) العارضة الخشبية

3- أنواع الأخشاب المستعملة في صناعة العوارض:

يجب أن تتمتع الأخشاب المعتمدة في صناعة العوارض بما يلي:

- مقاومة الخشب للتصدع الناجم عن مرور القطارات.
- مقاومة الخشب للتلف العضوي الناشئ عن الجفاف والرطوبة والحشرات.
- توفر الخشب ورخص تأمينه.

وتستعمل الأخشاب القاسية مثل (الزان، السنديان، الأكاسيا، الدردار) في صناعة العوارض للخطوط ذات الحمولة المحورية العالية وحجوم النقل السنوية الكبيرة، وبرغم ارتفاع أسعارها إلا أنها تتمتع بمواصفات فنية جيدة من حيث الصلابة وتماسك الألياف ومقاومتها للقوى العمودية والأفقية.

بينما تستعمل الأخشاب الطرية مثل (الصنوبر، السرو) في صناعة العوارض للخطوط ذات السرعات العادية والحمولات المحورية المتوسطة، وهي أقل كلفة وديمومة من الأخشاب القاسية.

4- مراحل تصنيع العوارض الخشبية:

وتمر عملية تصنيع العوارض بعدة مراحل كما يلي: القطع والتجفيف والتحضير ثم المعالجة.

آ - الإنتاج والتحضير:

تقطع الأشجار الملائمة بعد تحديدها في الحراج في فصل الشتاء إذ يكون النسغ شبه معدوم داخل أوعية الألياف الخشبية وذلك بغية سهولة إدخال السائل المعقم على داخل هذه الأوعية عند إجراء عملية حقن العوارض.

وبسبب تعرض العوارض الخشبية إلى العوامل الطبيعية في مختلف فصول السنة من حرارة ورطوبة وبرودة تساعد هذه العوامل على انتشار الفطور والحشرات على

جسم العارضة والتي تتغذى بمادتها الخشبية فتتخرها وتتلها، ولذا فيتم معالجة العوارض الخشبية وحققها بمواد سامة معينة لمنع الفطور من الانتشار وبالتالي الحفاظ على العارضة وإطالة عمرها قدر الإمكان.

ب- معالجة العوارض الخشبية:

أهم المواد المعقمة المستعملة في المعالجة هي:

- الكريوزوت: وهي زيوت ثقيلة تنتج عن تقطير قطران الفحم ضمن المجال الحراري $200^{\circ} - 350^{\circ}$ درجة مئوية.

- محلول كلور الزنك.

- كبريتات النحاس.

- ومحاليل خامس كلور الفينول.

يجب تجفيف العوارض بالهواء الطبيعي لمدة 1-2 سنة ومن ثم تخضع لعملية الحقن بالضغط، ويتطلب الحقن المشبع إلى 500 Kg /m^3 كغ لكل متر مكعب من الخشب بوجود ضغط بحدود 10 بار.

طريقة روبينغ تحتاج لكمية 150 Kg/m^3 كغ لكل متر مكعب من الخشب.

ج- استخدام العوارض الخشبية في الخطوط الحديدية السورية:

يقتصر استخدام العوارض الخشبية في الخطوط الحديدية السورية تحت مقصات (مفاتيح) الخطوط الحديدية وفوق بعض الجسور المعدنية، ويبلغ عددها في الكم الواحد كما يلي:

- 1440 عارضة في خطوط المحطات.

- 1600 عارضة في الخطوط الرئيسية.

- 1840 عارضة في المنحنيات التي لا يقل نصف قطرها عن 600 m.

أما في أوروبا فإن عددها يتراوح ما بين 1400-1720 عارضة في الكم الواحد في الخطوط المستقيمة، وفي الولايات المتحدة وكندا يتراوح العدد ما بين 1440-1800 عارضة في الكم الواحد.

ولمنع حدوث التشققات في العارضة فإنه يتم غرس قطع حديدية بأشكال مختلفة U، S أو بطوق حديدي أو تشد ببرغي متين.

2-2-2-2-3- العوارض المعدنية:

استعملت العارضة المعدنية أولاً في فرنسا ومنها انتقلت التجربة إلى ألمانيا والعديد من الدول، فكانت العارضة الأولية عبارة عن كتل وحيدة، ثم قام العالم Le Crenier في عام 1858 بتصميم العارضة المعدنية على شكل لوح (وعاء) مقلوب بسماكة 4mm وهذا الشكل تميز بسطح استناد عريض وانغراس جيد في البلاست شكل (3-14)، ثم أخذت العارضة المعدنية أشكالاً عديدة متقاربة من بعضها البعض.

حيث تصنع العارضة المعدنية من ألواح من الصاج أعدت بالمقاييس المطلوبة، وتضغط هذه الألواح وهي ساخنة على مكابس خاصة تعطيها وبعملية واحدة الشكل المطلوب والنقوب اللازمة لتركيب أدوات التثبيت عليها. كانت تكبس الألواح عند درجة حرارة واحدة لتحصل العوارض بعد تبريدها على وسعه واحدة للسلام، وأعطى سطح لارتكاز القضبان على العوارض ميل بمقدار 1:20 نحو الداخل لتثبيت قاعدة القضيب عليه.

بلغ وزن العارضة المعدنية بحدود (65-75 Kg) وقد استعملت سماكات مختلفة لألواح العارضة حتى وصل أخيراً إلى القيمة الوسطية المعتمدة مقدارها 13 mm.

2- مساوي العوارض المعدنية:

- يصعب رص البلاست تحت العارضة وتوجيهها وتمديدتها آلياً، ولذا تحتاج لآلات خاصة.
- أضرار كبيرة تنتج عن مشكلة الصدأ وخاصة في المناطق ذات الصناعات الكيميائية والرطوبة، مما يجعل تكاليف الصيانة عالية.
- غالية الثمن بالمقارنة مع العارضة البيتونية (العارضة Y يزيد سعرها بمقدار 70 يورو عن ثمن العارضة البيتونية 70 B في ألمانيا).
- كلفة العزل الكهربائي عالية جداً.
- ثقوب التثبيت تشكل نقاط ضعيفة.
- تسبب ضجيج عالي عند مرور القطارات ، وتعيق تصريف المياه.
- أضرار كبيرة عند حصول حوادث خروج القطار عن الخط.

3- نماذج مختلفة للعوارض المعدنية:

العارضة نوع SW 9: يبين الشكل (3-15) نموذج هذه العارضة.



الشكل (3-15) نموذج للعارضة المعدنية ذات الشكل SW 9

العارضة ذات الشكل Y: تم تصنيعها في عام 1984 وتتكون من S منحنية، ويمكن استخدام هذه العارضة في الخطوط الحديدية ذات البلاست أو بدونه. شكل (16-3).



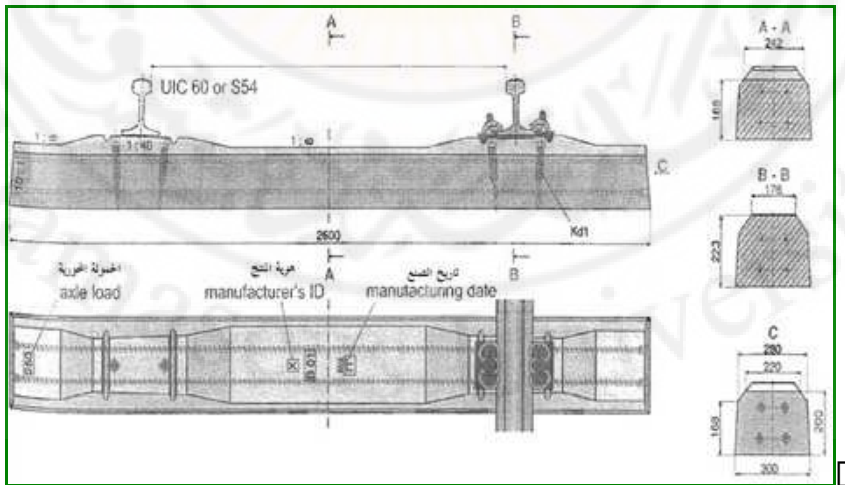
الشكل (16-3) العارضة المعدنية ذات الشكل Y

يتعلق التباعد بين العوارض (يؤخذ بين محاور العوارض) بحمولات السكة ومقدرة تحمل الطابق الترابي، ويبلغ التباعد بحدود 60 cm، وقد يصل إلى 1.0 m أثناء البناء. وتستخدم العوارض المعدنية في الخطوط الحديدية السورية في بعض الخطوط الضيقة والخطوط العريضة القديمة التي لم يتم تجديدها بعد.

3-2-2-2-3- العوارض البيتونية:

إن مساوي النوعين السابقين من العوارض (الخشبية والمعدنية) قاد العلماء إلى ضرورة إجراء الأبحاث والتجارب الكثيرة من أجل إيجاد مادة أخرى متوفرة محلياً ورخيصة وتصلح لتصنيع العوارض، حيث وقع الاختيار على مادة البيتون (الخرسانة)، فعناصر هذه المادة هي الأسمنت والماء والرمل والحصى متوفرة بكثرة في كل البلدان.

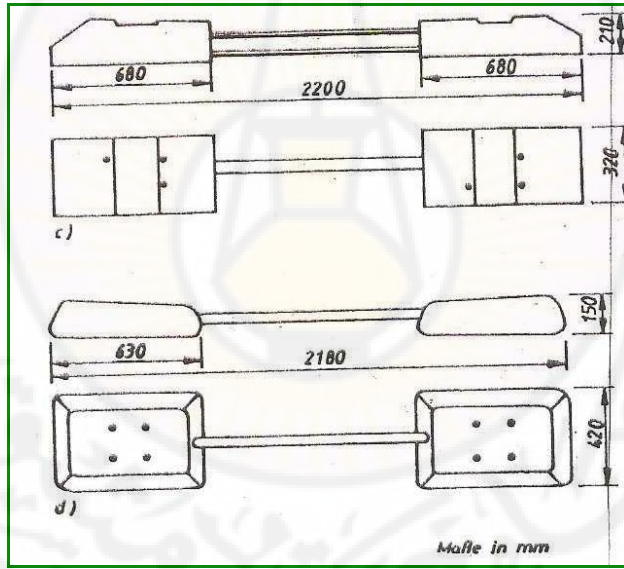
تشبه إلى حد ما في شكلها وأبعادها العارضة الخشبية وبلغ وزنها بحدود 220 Kg وطولها 240 cm، وكانت تثبت القضبان على هذه العارضة بواسطة براغي تشد في خوابير خشبية مصبوبة بجسم العارضة، ولم تلقى هذه العارضة انتشاراً واسعاً لشدة حساسيتها لعزوم الانحناء وظهور تشققات عليها، مما تطلب تفريغ قسم من البلاست تحت وسط العارضة خشية كسرها، وبعد ذلك تمّ تطوير تصاميم جديدة كتلك الواردة في الشكل (3-17) لتلبّي المتطلبات المتزايدة الناتجة عن الإجهادات الكبيرة المفروضة على القسم العلوي (السُرعة، الحمولة المحوريّة) ولتحسين الجودة والكفاءة الاقتصادية. كما استخدمت العوارض البيتونيّة مسبقة الإجهاد بشكل واسع في شبكات الخطوط الحديدية.



95

ب- العوارض البيتونية المسلحة ذات الرأسين:

تم التفكير بالعارضة البيتونية المسلحة ذات الرأسين للتخلص من خطر تكسير العوارض برغم كل الاحتياطات التي أخذت لمنع استناد العارضة على البلاست في وسطها وأيضاً من أجل تأمين المرونة في الاتجاه الطولاني للعارضة. ظهرت عارضة فانيو في فرنسا والتي تتكون من رأسين من البيتون المسلح تبلغ أبعاد كل رأس (30*70*25 cm)، ويرتبط الرأسان ببعضهما بمقطع فولاذي يمكن سحبه من القضبان الحديدية القديمة ذات الأوزان (30-38 Kg/m) وذلك عن طريق قص القضيب وسط رقبته طولانياً واستخدام مقاطع بأشكال مختلفة الشكل (18-3).



الشكل (18-3) العارضة ذات الرأسين

استخدمت العارضة ذات الرأسين في الخطوط الحديدية السورية الضيقة (خط دمشق - قطنا).

يبلغ وزن العارضة 185 Kg وطولها 220 cm (خطوط فرنسية) ويتم تثبيت القضبان على العوارض بواسطة براغي ومماسك تشد على العارضة بإحدى الطرق التالية:

- خابور خشبي مغموس بالعارضة.
- خابور بلاستيكي مغموس بالعارضة.
- حلزون معدني مغموس بالعارضة.
- برغي ربط يستند على رونديلة مغموسة بالعارضة.

إن المقاومة الحقيقية للقوى العرضانية المطبقة على القسم العلوي للخط الحديدي تقع على عاتق موشور البلاست الذي يحيط بالعارضة ويمنع الانزلاق الجانبي للخط ومن السهل ملاحظة كيف تتم هذه العملية في العوارض الوحيدة الكتلة خشبية أم كانت بيتونية، حيث تتركز بشكل رئيسي مقاومة الحركة العرضانية بواسطة أحد وجهي العارضة، بينما تتركز مقاومة الحركة العرضية في العوارض ذات الرأسين بواسطة وجهين من الأوجه الأربعة للعارضة، وهذه لا تتوفر إلا بالعارضة ذات الرأسين.

ج- العارضة البيتونية المسلحة مسبقاً بالإجهاد:

تعتبر هذه العارضة الأكثر انتشاراً في العالم، ومن المعروف أن البيتون لا يقاوم إجهادات الشد ويتشقق البيتون المسلح في مناطق الشد عندما تزيد الإجهادات في قضبان التسليح على حدود معينة، ولهذا تم سبق الإجهاد على البيتون بواسطة أسلاك فولاذية عالية المقاومة تفوق بكثير إجهادات الشد التي يخضع لها البيتون من جراء الحمولات المتأنتية من حركة القطارات والمسببة لعزم الانحناء في العارضة، وإن سبق الإجهاد هذا المطبق على البيتون يمنع حدوث التشققات فيه ، وحتى إذا حدثت هذه الشقوق الناعمة أثناء تأثير القوى الخارجية فسرعان ما تزول تماماً بزوال هذه القوى وتحت تأثير إجهادات الضغط المسبقة.

ويتم تحقيق الإجهاد المسبق على البيتون بإحدى الطريقتين التاليتين:

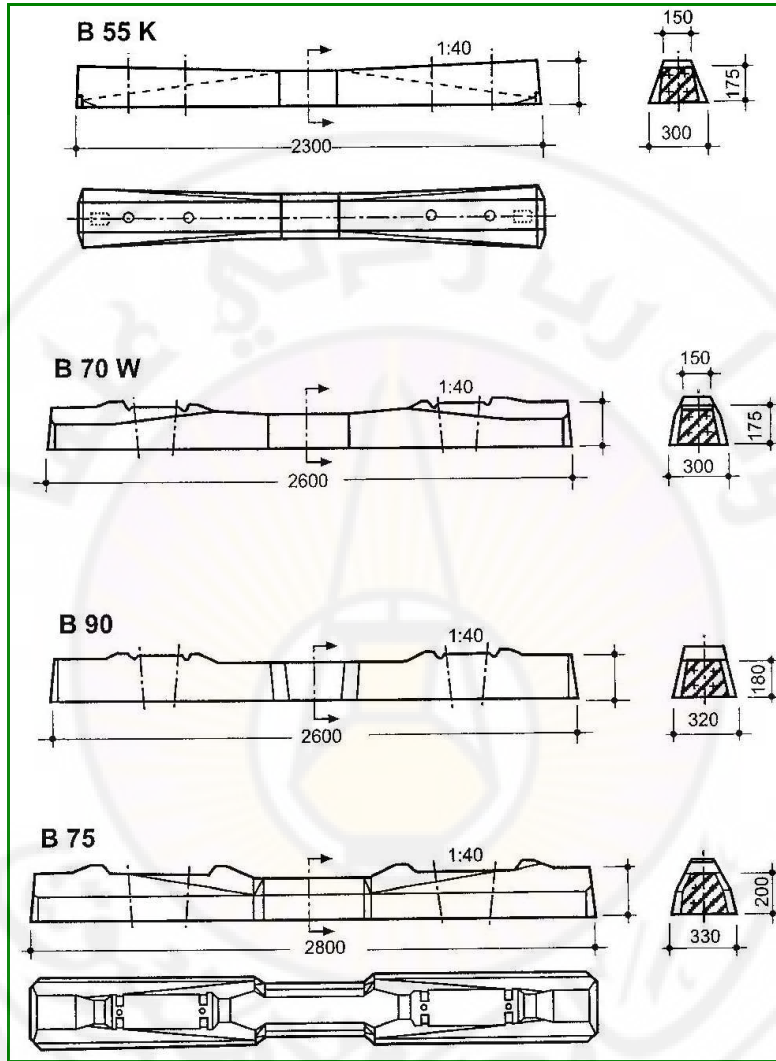
- شد سابق: تشد قضبان التسليح على مساند خاصة مثبتة عليها، ثم يصب البيتون ويترك حتى تصبح مقاومته كافية وعندها تحرر القضبان من المساند وتترك لتضغط على البيتون (وذلك لأنها تحاول أن تعود لطولها الأصلي بسبب مرونتها).

- شد لاحق: يصب البيتون أولاً بعد وضع مواسير (فجوات) داخله في مكان توضع القضبان، وبعد أن تصبح مقاومة البيتون كافية، يتم تمديد قضبان التسليح في المواسير وتشد على البيتون مباشرة وتثبت بوسائط خاصة، وتملاً نهايات المواسير بمواد حقن لمنع نهايات القضبان من الصدأ.

والشكلين (19-3) و(20-3)، يبين بعض النماذج من العوارض مسبقة الإجهاد المستخدمة في ألمانيا.



الشكل (19-3) عوارض بيتونية مسبقة الإجهاد



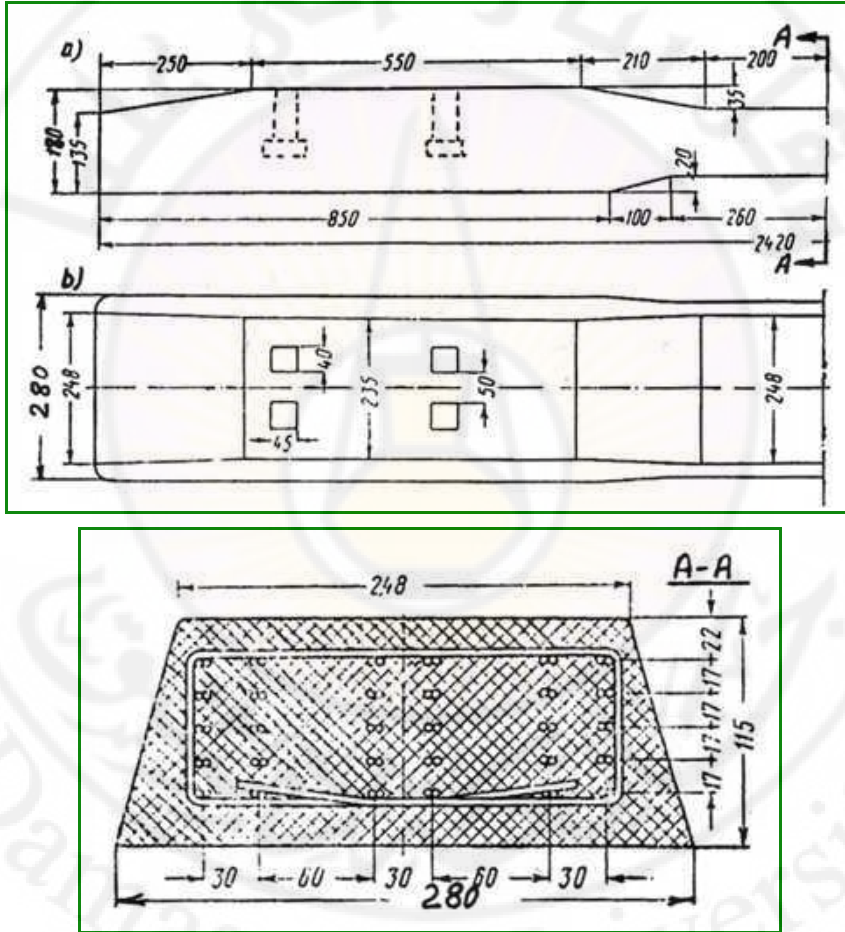
الشكل (20-3) بعض النماذج من العوارض مسبقة الإجهاد المستخدمة في ألمانيا

1-3-2-2-2-3- إنتاج العارضة البيتونية السورية:

تبنت الخطوط الحديدية السورية نموذج العارضة الهنغارية واستخدمتها على الشبكة الحديدية منذ عام 1966 حيث تم إقامة مصنع في مدينة حلب لإنتاج هذه العارضة.

تمتاز هذه العارضة بأن شكلها موشوري - سماكتها في الوسط أقل من الطرفين ومقطعها العرضي شبه منحرف قاعدته الكبرى في الأسفل ويتم سبق الإجهاد بواسطة أسلاك فولاذية عالية المقاومة بقطر 3 mm.

- يبلغ حد المرونة لها (150-170 Kg/ mm²) انظر الشكل (21-3).



الشكل (21-3) العارضة البيتونية السورية

تشد هذه الأسلاك وعددها 48 سلكاً حتى يبلغ الإجهاد فيها 115 Kg/mm² وهذا الإجهاد أقل من قيمة حد المرونة وتوزع الأسلاك على كامل المقطع بترتيب دقيق

ويتم نقل الضغط إلى البيتون بواسطة الالتصاق التام بين البيتون والفولاذ عن طريق إحداث بعض التموجات الخفيفة في الأسلاك، يبلغ طول العارضة 242 cm ووزنها 237 Kg ويمكن تعديل قالب العارضة لتتكيف مع طريقة التثبيت المستعملة ومع الشروط المطلوب توفرها بالعارضة. حيث يستخدم ثلاثة أنواع من التثبيت في الخطوط الحديدية السورية هي:

- التثبيت القاسي الروسي (خط اللاذقية - حلب - القامشلي...).
 - التثبيت المختلط الروسي (خط اللاذقية - طرطوس...).
 - التثبيت المرن الفرنسي (خط حلب - حمص - دمشق - حمص العكاري...).
- آ- المواد الداخلة في تصنيع العارضة البيتونية السورية:
- تتكون المواد الداخلة في تصنيع العوارض البيتونية مما يلي:
- الإسمنت، الماء، الرمل، الحصى.

يتم إجراء التجارب الخاصة بكل مادة على حدا، للتأكد من مطابقتها للمواصفات المطلوبة وتصمم الخلطة البيتونية بتحديد المقادير المناسبة من كل مادة. حيث تؤخذ ثلاث عينات مراقبة مكعبة الشكل بقياس (20*20*20 cm) لكل يوم وتكسر بعد سبعة أيام أو بعد 28 يوم لقياس مقاومة البيتون الداخل في تركيب العارضة ومقارنتها بقيمة المقاومة المسموح بها.

ب- مراحل وخطوات تصنيع العارضة البيتونية السورية:

- 1- تجهيز مواد البيتون من حصى ورمل وأسمنت وماء بالمقادير المثالية المحدد تماماً حسب التدرج الحبي المطلوب الذي يعطي أكبر كثافة ممكنة للبيتون.
- 2- تجهيز القوالب وتحريكها بشكل مستمر على سير ناقل أفقياً أو عمودياً.
- 3- تزييت القوالب الفارغة بواسطة آلة خاصة تتألف من عدة باخات أوتوماتيكية تشكل طبقة منتظمة من مادة تسهل عملية تفريغ المنتج من القوالب.

4- إدخال أسلاك التسليح (قضبان فولاذية محلزنة مثبتة على صفائح فولاذية مثقبة) إلى القوالب وتثبيتها عليها.

5- شد أسلاك التسليح على طول خمسة قوالب بفاصل 3-4 cm بين قالب وآخر بقوة فعلية قدرها 36 Ton وذلك بواسطة وحدة شد هيدروليكي، حيث يتم تطبيق الشد بشكل إلكتروني ومضبوط لضمان الوصول إلى قوة شد أعظميه ثابتة على قالب العارضة ويبقى الشد هكذا حتى بعد صب البيتون والتصاقه بها.

6- يصب البيتون في هذه القوالب بعد تجهيزها بالمواد لتأمين الفجوات اللازمة في جسم العارضة لوضع براغي التثبيت فيها لاحقاً، ثم تبقى القوالب على وحدتي رج قويتين أثناء القيام بالصب ليتمكن البيتون من التراص ولتخفيف الضجيج في منطقة الاهتزاز تتم عملية الرج في غرفة خاصة عازلة للصوت.

7- بعد امتلاء القوالب بالبيتون ترفع وتنقل بواسطة رافعة إلى حجرة المعالجة الفارغة حيث تبقى حتى وردية العمل التالية (7-8 h) ساعات وذلك للإسراع في تصلب البيتون بواسطة البخار الحار بدرجة تصل إلى 80° - 85° درجة، وتتسع الحجرة الواحدة لخمسين عارضة، ثم يتم إخراج القوالب بعد المعالجة وتوضع على الناقل ويجرى التأكد من سلامة العوارض، علماً بأن الصالة تعمل بورديتين ويبلغ مجموع الإنتاج اليومي من العوارض 800 عارضة.

8- تقوم آلة إزالة الشد في آن واحد وبشكل منتظم بتحرير الشد في قضبان الربط الذي يدعم إجهاد أسلاك التسليح خلال عملية المعالجة والآن يتحول الضغط الفعال من القوالب إلى العوارض.

9- يتم قص أسلاك التسليح في الفاصل الموجود بين قالب وآخر وتملاً نهائيتي العارضة بالمونة لتغطية أسلاك التسليح ومنعها من التأكسد.

10- يتم إخراج العوارض من القوالب وتوضع ضمن مجموعات وتنقل إلى ساحة التخزين وترش بالماء لمدة ثمانية أيام قبل شحنها ونقلها إلى مركز تجميع سلاسل الخطوط الحديدية، وتعاد القوالب مرة ثانية إلى مكانها الأصلي ليتم البدء بدورة جديدة.

ويوجد اقتراح لإنشاء صالة جديدة لإنتاج عوارض بيتونية متطورة وذلك لتغطية حاجة مشاريع السكك الحديدية الجديدة المقترح تنفيذها وفقاً للإستراتيجية الموضوعة من قبل للخطوط الحديدية السورية (مشاريع داخل القطر السوري، ومشاريع مرتبطة بالمحاور الدولية)، وصالة أخرى لإنتاج منتجات بيتونية مختلفة متطورة وحديثة في مصنع العوارض بحلب ذات تشغيل آلي، تغطي مشاريع القطاعين العام والخاص وأتمتته مراحل العمل بشكل آلي.

كما يجب استبدال القطع الخشبية المضافة إلى العارضة بقطع بلاستيكية ومطاطية قادرة على تحمل التأثيرات الجوية.

ج- تجارب واختبار العارضة البيتونية:

يجب اختبار العارضة البيتونية للتأكد من جودتها، وكل عارضة يجب أن يسجل عليها ما يلي: تاريخ الإنتاج، اسم المصنع المنتج، رقم التسليح.

يتم اختبار العارضة على الكسر والتشقق باستخدام جهاز مكبس استطاعته 300 ton.

a- العارضة البيتونية في الوضع الصحيح: يجب أن تتراوح قيمة القوة الأعظمية المطبقة على العارضة في هذا الوضع عند كسر البيتون بين (17.9-19.10 ton) بنشيت طرف واحد للعارضة، كما تتراوح قيمة القوة المطبقة عند حدوث التشقق بين (9.65-11.50 ton).

b- العارضة البيتونية في الوضع المقلوب لقياس ردود الأفعال: يجب أن تتراوح قيمة القوة المطبقة عند حدوث التشقق بين (11.14-12.8 ton) وقيمة القوة المطبقة عند حدوث كسر البيتون بين (18.75-19.8 ton) حتى تحقق المواصفات المطلوبة للعارضة.

c- القوة مطبقة في وسط العارضة في الوضع المقلوب.

ملاحظة: في تجربة قياس مقاومة العارضة على الضغط (القوة المطبقة)، إذا لم يحصل أي تشقق في العارضة، عند تجاوز قوة التشقق، فهذا يعني أن العارضة جيدة ولا داعي لمتابعة التجربة وإجراء الكسر.

مزايا ومساوئ العوارض البيتونية (الخرسانية):

تمتاز هذه العوارض بما يلي:

- كتلتها كبيرة تصل إلى 250 كغ/ عارضة مما يساعد في تثبيت السكة واستقرارها، وخاصة في الخطوط الحديدية الملحومة.
- لا تتأثر بالعوامل الجوية لذا فهي تخدم طويلاً وقد يصل عمرها إلى 100 سنة تقريباً.
- سهولة الإنتاج محلياً ورخيصة التكاليف.
- تحافظ على تباعد قضبان السكة الحديدية.
- سهولة العزل كهربائياً.

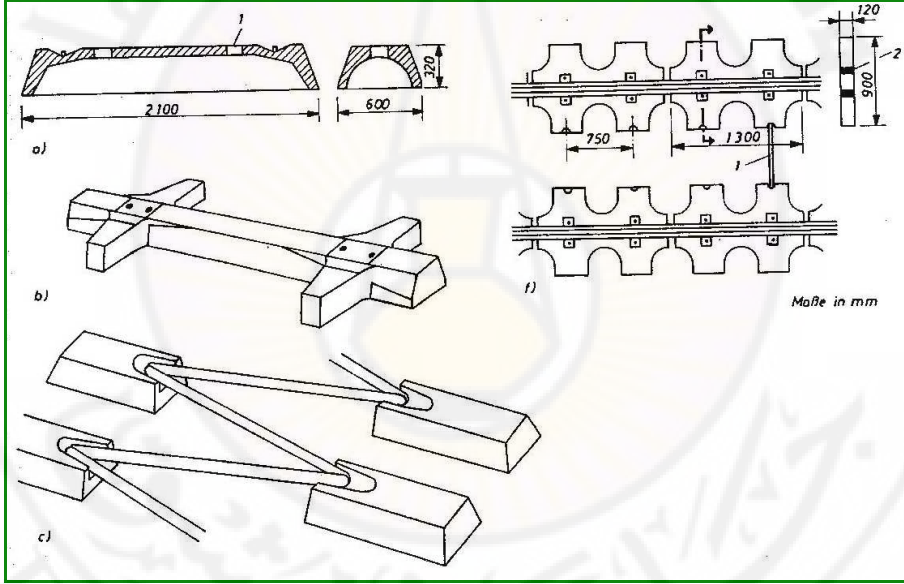
ولها بعض المساوئ منها:

- ذات مرونة قليلة.
- يصعب حملها لذا تحتاج إلى معدات خاصة لتركيبها في السكة.
- صعوبة إنتاج أنواع خاصة منها ذات طول كبير لاستخدامها تحت المفاتيح والمقصات.
- عند حدوث حادث ما بخروج القطار عن الخط فإن عدداً لا بأس به من العوارض يصيبها ضرر كبير ولا يمكن إصلاحها.
- تتأثر كثيراً بسوء الشحن والتفريغ وهذا يعرضها لتلف كبير.
- اهتراء الخوابير الخشبية أو البلاستيكية الموجودة داخل العارضة يقلل من عمرها الاستثماري.

2-3-2-2-3 نماذج مختلفة من العوارض البيتونية:

آ- العارضة ذات الأجنحة (على شكل الأذن):

صممت من قبل العالم Schubert في عام 1972، وأعطيت شكل الأذن (لها أربعة آذان) مما أدى ذلك إلى زيادة في وزنها بمقدار 35 Kg لكل عارضة، وزيادة في مقاومة قوى الانزياح العرضي، وأيضاً زيادة في سطح الاستناد بمقدار 20% وبالتالي تخفيض إجهادات الضغط المؤثرة على البلاست انظر الشكل (22-3). ويمكن استخدام هذا النوع من العوارض في المنحنيات ذات أنصاف الأقطار الصغيرة.



الشكل (22-3) يبين نماذج متنوعة من العوارض

a- عارضة بيتونية على شكل الوعاء المقلوب.

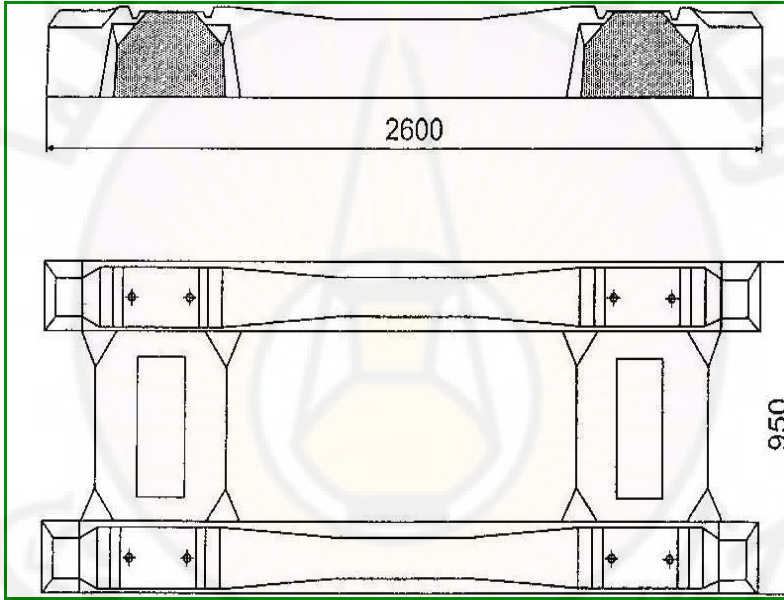
b- عارضة بيتونية تشبه الإذن.

c- عارضة بيتونية على شكل زكزاك.

f- عارضة لخط ترامواي.

ب- العارضة ذات الشكل الإطاري:

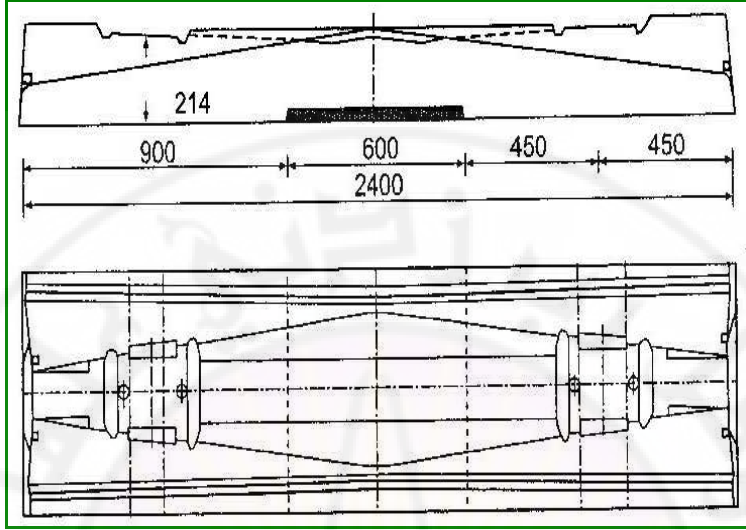
ترتبط العناصر الطولية والعرضية لهذا النوع من العوارض بشكل وثيق، وتستخدم في الخطوط ذات السرعات والحمولات العالية، كما يمكن استخدامها في المنحنيات ذات أنصاف الأقطار الصغيرة. وبسبب مقاومتها العالية لقوى الانزياح العرضي فهي تستخدم في إنشاء الخطوط الحديدية الملحومة شكل (23-3).



الشكل (23-3) نموذج للعارضة الإطارية

ج- العارضة العريضة:

هذا النوع من العوارض يشبه إلى حد ما العارضة B 70، مع زيادة في العرض بمقدار الضعف وتخفيض بالطول بمقدار 20 cm. أما أدوات التشبييت ونقاط الاستناد فتبقى نفسها. وتحتوي في الطرف الخارجي مجرى لتصريف المياه يميل بدأً من وسط العارضة باتجاه الخارج لسهولة تصريف المياه باتجاه الخارج، تمتد هذه العوارض بتباعد حوالي 60 cm فيما بينها، شكل (24-3).



الشكل (24-3) نموذج للعارضة العريضة مع أبعادها في المقطع الطولي والمسقط الأفقي

د- عوارض كصفائح أو بلاطات بيتونية مستمرة:

استخدمت منذ عام 1926 في الولايات المتحدة الأمريكية عوارض على شكل صفائح بيتونية حاملة (بلاطات بيتونية مستمرة) بأطوال تتراوح بين 6-12m، ويتم تثبيت القضبان عليها مباشرة فوق وسائد معدنية مغموسة في البيتون مع وضع رقائق مرنة تحت القضبان (رقائق مرنة مطاطية أو بلاستيكية أو من الفير أو الخشب).

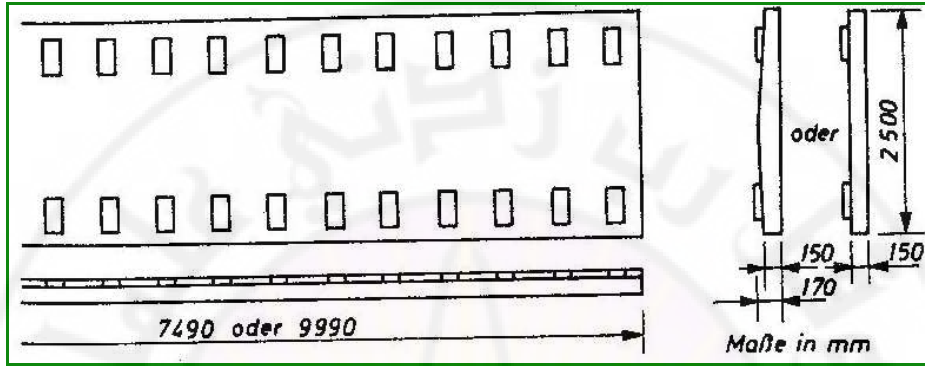
وتتميز هذه العوارض بأن:

- إنتاجها سهل ولها سطح استناد أعظمي.
- وتحمي البلاست والطبقات الحاملة من آثار المياه السطحية ومن التلوث.

ولها مساوئ منها:

- عدم الإمكانية لتصحيح موقعها.
- نشوء تشققات متكررة وعشوائية.
- استخدامها في المنحنيات محدود.
- تحتاج لمتطلبات دقيقة عند الاستناد.

وعلى الرغم من ذلك فقد أجريت تجارب عديدة على نماذج مختلفة من هذه العوارض في ألمانيا منذ عام 1963، انظر الشكل (25-3).



شكل (25-3) عارضة على شكل صفحة حاملة

ولقد طورت الخطوط الحديدية التشيكية هذه العارضة على شكل قوس محدب (صفحة كوعاء مقلوب ذو سماكة قليلة في الوسط).

بينت التجارب أن هذه الأنواع من العوارض (بلاطات أو صفائح بيتونية) مكلفة إلا أن البلاطات المصنوعة من البيتون العادي تتشقق وقد تمر الشقوق في أماكن تثبيت الوسائد المعدنية التي تربط القضبان بالعارضة مما يشكل خطراً كبيراً على سير القطارات، أما البلاطات المصنوعة من البيتون المسبق الإجهاد فإنها لا تتعرض للتشقق ولكن كلفتها عالية جداً، لذلك لم تتمكن البلاطات البيتونية المستمرة من أن تحل محل العوارض التقليدية واقتصر استخدامها على الخطوط السريعة جداً، وخاصة الخطوط الخالية من البلاست.

3-2-3- أدوات الوصل والتثبيت:

3-2-3-1- متطلبات ومواصفات أدوات التثبيت:

تعرف المثبتات بأنها عبارة عن عناصر إنشائية مصممة من المعدن ومن مواد صناعية أخرى مهمتها تثبيت القضبان على العوارض بشكل وثيق ومحكم.

إضافة إلى الواجبات الأساسية التي على المثبتات أن تحققها كتثبيت القضبان على العوارض والحفاظ على وسعة الخط الحديدي وبالتالي تحقيق أمان الحركة وأن تتصف بالديمومة والاقتصادية، فيجب أن تؤمن الشروط التالية:

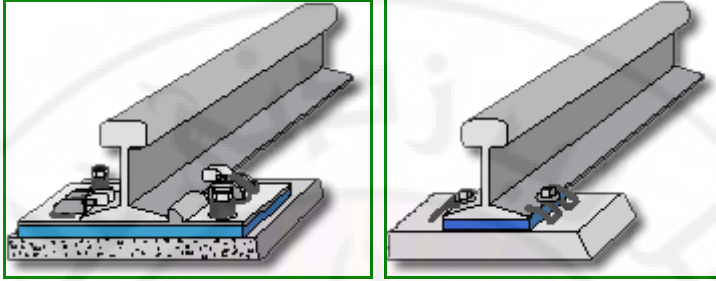
- 1- أن تحقق مقاومة عالية ضد الزحف الطولاني للقضبان.
- 2- أن تحقق مقاومة عالية ضد دوران وفتل القضبان.
- 3- أن تتصف بالبساطة أثناء التركيب وال فك وتوافق أعمال الممكنة.
- 4- أن تكون إمكانية مراقبتها سهلة.
- 5- أن لا تؤدي إلى إضعاف المقطع العرضي للقضيب.
- 6- أن تكون كلفتها قليلة وذات تصميم غير معقد وقليلة العدد وسهلة التصنيع.
- 7- أن تكون صالحة للاستخدام في الاستقامات والمنحنيات وأن تسمح بإجراء التصحيحات اللازمة وتبديل القطع المتآكلة.
- 8- أن تؤمن قوة ضغط كافية بين قاعدة القضيب والعارضة من أجل استقرار الخط عند مرور الحمولات الحية فوقه.
- 9- أن تتحمل تأثير القوى المنقولة إليها وتتصف بالتشوه المرن.
- 10- أن تكون ذات مواصفات ومقاسات عالمية.

2-3-2-3- صفائح الاستناد (الوسائد):

توضع صفائح الاستناد بين قاعدة القضيب الفولاذي و سطح العارضة وذلك لزيادة سطح استناد القضيب على العارضة والإقلال من تآكل العارضة، حيث تقوم الوسائد بتوزيع الحمولات على سطح أكبر من العارضة وأكثر انتظاماً وبالتالي يتم تخفيض قيمة الاجهادات المؤثرة.

تصنع الوسائد من الحديد المطاوع أو الفولاذ وتعطى ميل بمقدار 1/20 يناسب استناد قاعدة القضيب وهذا يختصر العمليات الإضافية في العوارض، وتثبت الوسائد على العوارض بواسطة البراشيم أو البراغي وتختلف أشكالها حسب البلدان والشبكات والشكل (26-3) يبين بعض النماذج الشائعة الاستعمال في شبكات السكك الحديدية العالمية.

توضع رقائق مرنة خشبية أو بلاستيكية مطاطية أو كاتشوك رقائق صناعية فوق الوسادة وتحتها لتأمين المرونة اللازمة وتقليل الضجيج الناتج أثناء الحركة.

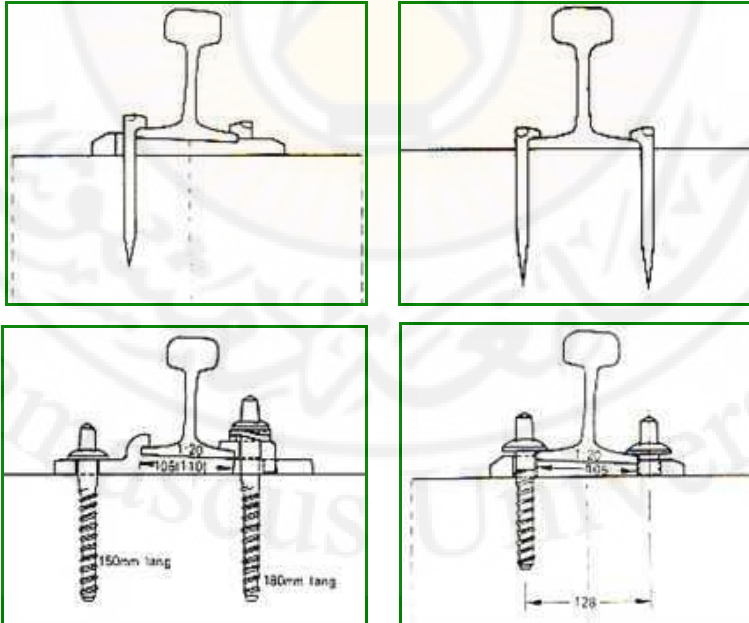


الشكل (26-3) يبين نماذج من صفائح الاستناد (الوسائد) المستخدمة

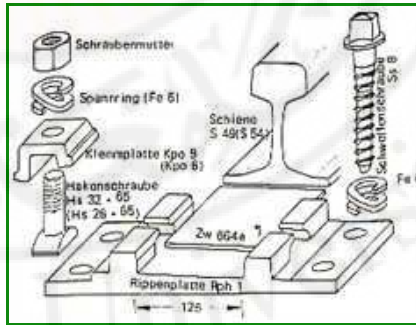
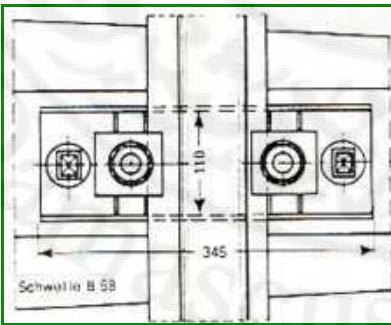
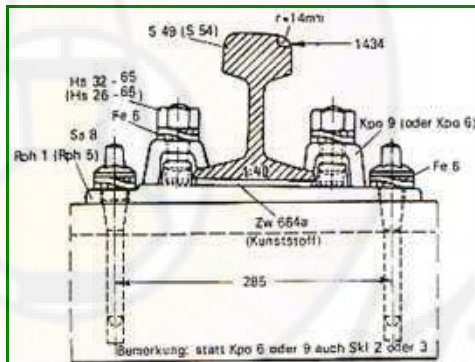
3-2-3- أنواع التثبيت:

يمكن تمييز عدة أنواع للتثبيت منها:

- التثبيت المباشر (المتصل): يتم تثبيت القضبان والوسائد مع العارضة بشكل مباشر باستخدام مخالب مرنة أو مسامير أو براغي تثبيت كما في الشكل (27-3).



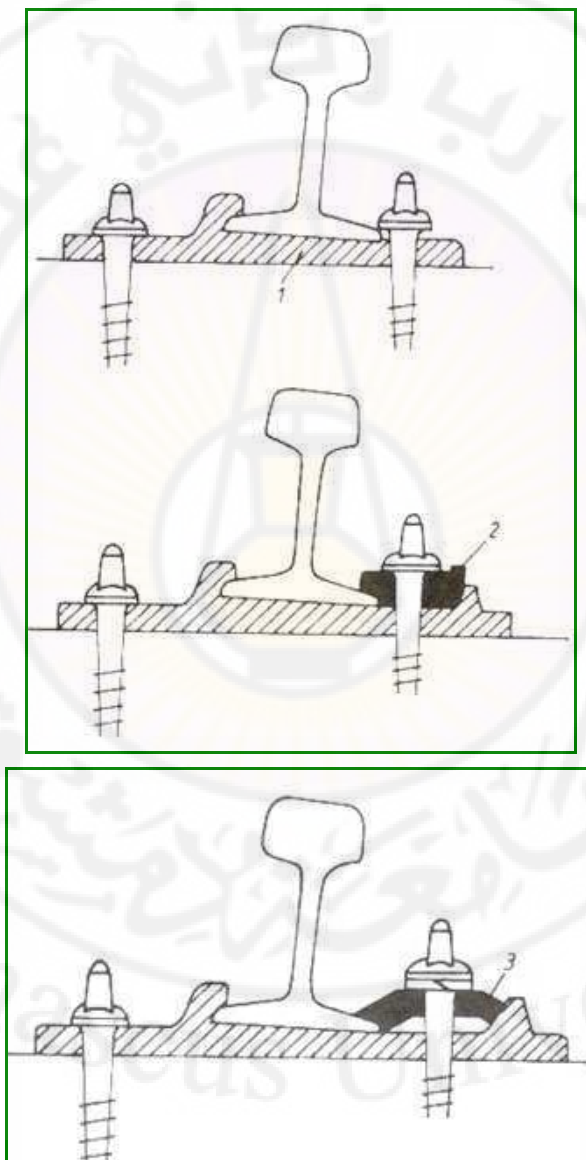
الشكل (27-3) التثبيت المباشر

[illegible]

عناصر التثبيت K: 1- العزقة، 2- الحلقة النابضة، 3- ممسك (سناد)، 4- برغي، 5- الوسادة المعدنية، 6- القضيب، 7- البرغي اللولبي (تيرفوند)، 8- الرفائق المرنة.

111

– التثبيت نصف المباشر (نصف المنفصل): عندما يتم تثبيت القضيب والوسادة بشكل مباشر من طرف ويتم التثبيت بشكل غير مباشر من الطرف الآخر كما في الشكل (30-3).



الشكل (30-3)



3-2-3-4- تصنيف أدوات التثبيت:

يتم تصنيف أدوات التثبيت حسب نوع العوارض المستخدمة، حيث توجد طرق كثيرة للتثبيت مستخدمة في الشبكات الحديدية العالمية ولكل طريقة ميزاتها وعيوبها، وما زال البحث مستمراً لإيجاد الطريقة الأكثر اقتصادية في تثبيت القضبان على العوارض بحيث تتوفر الشروط الفنية المطلوبة.

- طرق التثبيت على العوارض الخشبية:

تستخدم إحدى طرق التثبيت المذكورة في الفقرة السابقة.

- طرق التثبيت على العوارض المعدنية:

أصبح استخدام العارضة المعدنية في الوقت الحالي نادراً وبالتالي لم يحصل تطوراً ملحوظاً لطريقة التثبيت، حيث تستخدم المثبتات K بواسطة لحام الوسادة على العارضة المعدنية مباشرة بدون استعمال البراغي.

- طرق التثبيت على العارضة البيتونية:

نظراً لانتشار استخدام العوارض البيتونية (الخرسانية) بشكل واسع في الخطوط الحديدية، فإن الأبحاث والدراسات مازالت مستمرة بهدف الوصول إلى تركيبة إنشائية للمثبتات تحقق كافة المتطلبات والمواصفات الفنية المناسبة.

وسنتطرق إلى المثبتات نوع K الأكثر استعمالاً على العوارض البيتونية.

1- المثبتات K:

يتكون التثبيت K من عدة عناصر مبينة بالشكل (3-29) ويستخدم بشكل واسع مع العوارض الخشبية والمعدنية والبيتونية وهو تثبيت قاسي غير مباشر (منفصل).

اعتمدت طريقة التثبيت هذه في ستينات القرن الماضي وكانت حديثة الاستعمال في حينه، يثبت القضيب 6 على وسادة معدنية 5 بواسطة مماسك قاسية (مساند) 3 مع

براغيها 4 ويتم تثبيت الوسادة على العارضة البيتونية بواسطة براغي ربط تيرفوند (لولبي) 7 تغرس في خوابير خشبية معالجة مصبوبة بجسم العارضة وتم استبدالها لاحقاً بخوابير بلاستيكية، ويتم تأمين المرونة عن طريق:

- وضع رقائق من الخشب المعالج 8 بسماكة 6 mm بين قاعدة القضيب الفولاذي والوسادة المعدنية وتم استبدالها لاحقاً برقائق مطاطية بسماكة 9 mm.

- وضع رقائق خشبية معالجة بين الوسادة المعدنية والعارضة البيتونية بسماكة 9 mm أو رقائق مطاطية.

- استعمال حلقات نابضية (رونديل نابضي) 2 لشد براغي المماسك وبراغي الربط باستخدام العزقة 1.

1- رقائق مرنة بين قاعدة القضيب والوسادة المعدنية.

2- رقائق مرنة بين الوسادة المعدنية والعارضة.

وقد أظهرت حركة القطارات والتجارب والدراسات التي أجريت على طريقة التثبيت K هذه إلى ظهور بعض العيوب أدت إلى التوقف عن استخدامه في المشاريع اللاحقة وأهم هذه العيوب هي:

- وجود أربعة خوابير خشبية معالجة بالكربوزوت ومصبوبة بجسم العارضة البيتونية، وتعتبر هذه الخوابير هي نقاط الضعف الرئيسية في العارضة نظراً للاختلاف الكبير بين العمر الاستثماري للبيتون المسلح المكون لجسم العارضة والعمر الاستثماري للخابور الخشبي والذي يعمل بظروف قاسية جداً.

وبالتالي فإن الاهتراء المبكر لهذا الخابور (20-15) سنة، سيؤدي إلى ضرورة استبداله وتعتبر عملية استبدال الخابور الخشبي على خطوط مستثمرة من الأعمال الصعبة والباهظة التكاليف فضلاً عن عدم إمكانية تحقيق استقرارية لوسعة الخط الحديدي بعد عملية الاستبدال بشكل جيد شكل (3-31).



الشكل (3-31) الخوابير

- تأثير القوى العرضية مباشرة على براغي التيرفوند وعلى مستوى التماس مع الوسادة المعدنية، وإخضاع هذه البراغي لقوى قص مباشرة ، إذ لوحظ العديد من ظواهر تآكل عنق البرغي في منطقة التماس مع الوسادة وتوسع في ثقب الوسادة نتيجة التآكل المزدوج.

- عدم إمكانية تأمين المرونة الفراغية اللازمة للخط برغم كل الإجراءات المتخذة.

- التآكل المزدوج والسريع للقضبان الفولاذية والعجلات لقساوة الخط.

وقد تم تطوير هذا النوع من التثبيت في البلد الصانع للتخلص من السلبيات أعلاه.

2- التثبيت KB:

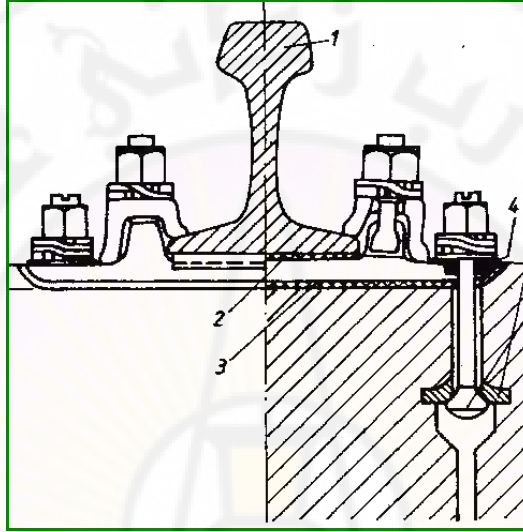
تم التخلص من السلبيات السابقة كما يلي:

- إلغاء الخوابير الخشبية من جسم العارضة واستبدال براغي الربط التيرفوند ببراغي ربط تستند على رونديلة معدنية محدبة مثقوبة على شكل مستطيل الشكل (3-32) ليسمح بدخول رأس برغي الربط ذي الشكل المستطيل وليثبت على طرفي الرونديلة بعد تدوير البرغي بزاوية 90°.

- زيادة المرونة الفراغية عن طريق:

- وضع رقائق مطاطية بين القضيب والوسادة المعدنية.
- وضع رقائق مطاطية بين الوسادة المعدنية والعارضة.
- استعمال أربع رونديلات نابضية مع براغي المماسك وبراغي الربط.

- نقل تأثير القوى العرضية إلى جسم العارضة، وذلك عن طريق تشكيل غاطس في جسم العارضة تتوضع فيه الوسادتين المطاطية والمعدنية، بحيث تستند الوسادة المعدنية من خلال الوسادة المطاطية على طرفي الغاطس البيتوني.



الشكل (32-3) التثبيت KB

3- التثبيت المباشر RN:

- اعتمد هذا التثبيت في العديد من دول العالم بما فيه سورية على الخطوط الجنوبية وقد أظهرت حركة القطارات والتجارب العيوب التالية:
- عدم إمكانية استخدام هذا التثبيت في المنحنيات الضيقة وينصح بعدم استعماله في المنحنيات ذات أنصاف الأقطار 600 m فما دون.
- الكلفة الباهظة في الصيانة والتي تقدر ب 2.5 مرة زيادة عن الأنواع الأخرى.
- المراقبة الدائمة لعرض الخط الحديدي والسعي المستمر لتغييره وفق حدود السماح.
- هروب الوسادة المطاطية بين القضيب والعارضة وخاصة في الميول الكبيرة نسبياً.
- هروب القضبان الفولاذية وزحفها طولانياً وذلك لضعف الممسك، وينصح بعدم استعمال طريقة التثبيت هذه في الخطوط ذات الميول الأعظمية 15% فما فوق.

- الحساسية المرفهة للممسك فزيادة شد برغي الربط يؤدي إلى التشوه الدائم في الممسك وبالتالي إلى ضرورة استبداله، وعدم كفاية الشد تضع الممسك بظروف عمل لا تتلاءم ومهمته شكل (33-3).



الشكل (33-3) التثبيت RN

4- التثبيت المباشر نوع نابلا:

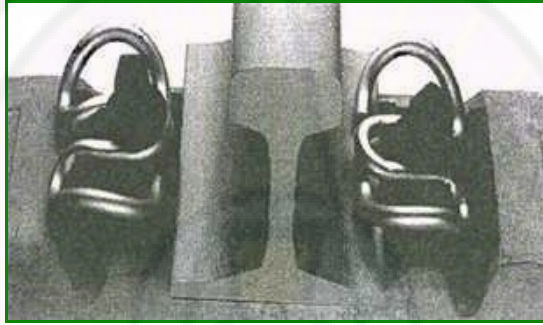
اعتمد هذا النوع في الخطوط الحديدية الفرنسية كبديل لسابقه RN واستطاعت طريقة التثبيت هذه التخلص من معظم العيوب السابقة من حيث قوة شد الممسك الواحد، والمحافظة على عرض الخط ومنع الانزياح الطولاني للخط، بما فيها الانخفاض الكبير لنفقات الصيانة والتي تكاد تكون شبه معدومة علماً بأن نوعية المعدن في الممسكين القديم والجديد واحدة وكذلك وزن الممسكين واحد إلا أن اختلاف التصميم سمح بتلافي العيوب ويتسيير قطارات بسرعة (300-350) Km/h تقريباً شكل (34-3).



الشكل (34-3) تثبيت نابلا

5- تثبيت فوسلو الألماني:

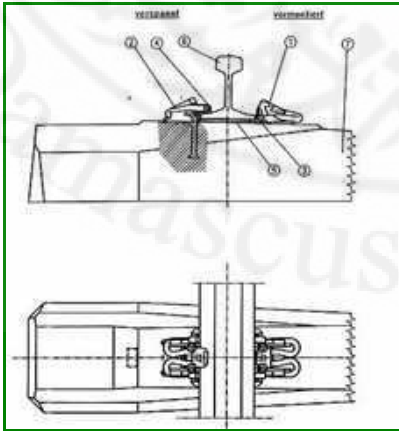
اعتمد هذا النوع من التثبيت في الخطوط الحديدية الألمانية وهو من الأنواع المتطورة جداً والتي عملت بظروف صعبة وتحمل سرعات كبيرة حتى 300 Km/h. هنا لابد من الإشارة إلى أن شكل العارضة البيتونية يرتبط بطريقة التثبيت في معظم الأحيان، وإن الانتقال من طريقة تثبيت لأخرى يتطلب إجراء التعديلات اللازمة على القالب شكل (35-3).

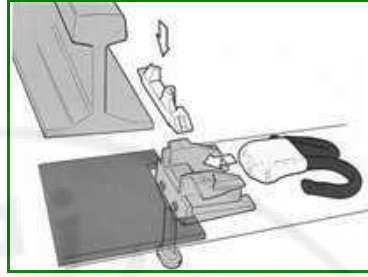


شكل (35-3) تثبيت فوسلو

6- تثبيت باندرول:

طبقت طريقة التثبيت هذه في الخطوط الحديدية الإنكليزية والعديد من الشبكات العالمية وهي من الطرق المتطورة شكل (36-3).

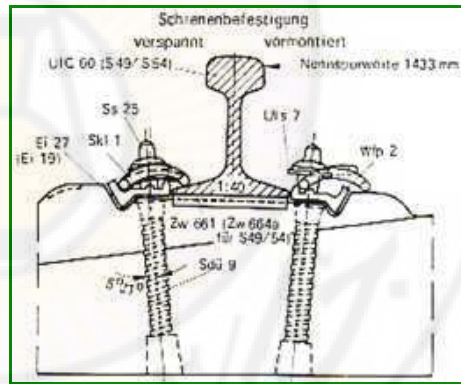
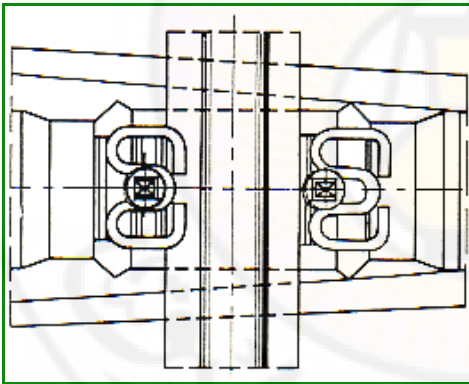




الشكل (36-3) تثبيت باندرول

7- تثبيت W الألماني:

يعتبر هذا التثبيت من الأنواع المتطورة جداً ولا يحتاج وسادة معدنية سوى رقائق مرنة بين القضيب والعارضة ويعتبر التثبيت القياسي لدى الخطوط الحديدية الألمانية شكل (37-3).



الشكل (37-3) تثبيت W الألماني

3-2-3-5- أدوات ربط ووصل القضبان الفولاذية:

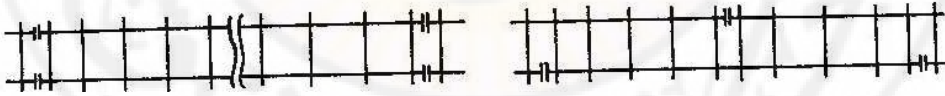
يتم وصل القضبان الفولاذية مع بعضها عن طريق ربط نهاياتها بواسطة الوصلات (الجوائز) وبراغيها أو باللحام أو باستعمال مواد لاصقة مع البراغي.

ويعرّف الفاصل بأنه الفراغ الذي يترك بين نهايتي القضيبين الفولاذيين المتتالين وتحدّد قيمته تبعاً لأطوال القضبان المستخدمة ودرجات الحرارة العظمى والصغرى التي يمكن أن تصل إليها هذه القضبان، إذ أن فواصل التمدد تعتبر نقاط ضعف في الخطوط الحديدية.

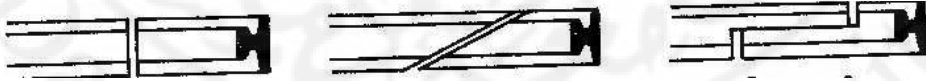
3-2-3-1- طرق وصل القضبان:

يمكن تمييز عدة طرق لربط القضبان كما يلي:

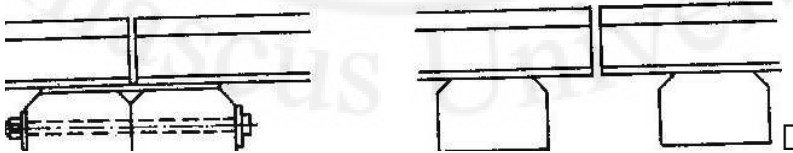
آ- حسب شكل طرفي القضيبين: أخذت رؤوس القضبان العديد من الأشكال وأجريت الكثير من التجارب لوصل القضبان الفولاذية والشكل (38-3) يبين بعض النماذج الرئيسية لأطراف القضبان بشكل (عمودي، مائل، متداخل أو متشابك) التي اعتمدت لفترات متفاوتة من التجربة في بعض الدول، ونتيجة التجارب تم اعتماد طريقة قص رؤوس القضبان بشكل عمودي على محورها وإجراء الوصل البسيط المستخدم حالياً.



آ- تصنيف الفواصل حسب موقعها في السكة (متقابلة أو متناوبة)



ب- حسب شكل نهاية القضبان (شاقولي، مائل، متداخل)



ج- حسب موقع الفاصل فوق العوارض (فوق عارضة أو فوق عارضتين أو معلق)

الشكل (38-3) نماذج أطراف القضبان

ب- حسب توضع العوارض تحت الوصلة:

- وصلة فوق العارضة.

- وصلة بين عارضتين (فاصل معلق):

وتمتاز هذه الوصلة أو الفاصل بمزايا كثيرة منها (التعامل المرن مع القوى الديناميكية المؤثرة، ثبات الخط الحديدي واستخدامها في العوارض البيتونية، إمكانية رص البلاست بشكل عادي، ولا تسبب أي أثر سلبي في الأعمال التكنولوجية) ونتيجة التجربة الطويلة لاستثمار الخطوط الحديدية تبين أن هذه الوصلة هي أفضل الأنواع المستخدمة وبالتالي تم اعتمادها في معظم الشبكات الحديدية العالمية.

- وصلة فوق عارضتين معاً (فاصل ثابت):

تمتاز هذه الوصلة بأنها قوية وثابتة لزيادة سطح الاستناد فوق العارضتين، ولكنه يصعب رص البلاست تحت العارضة المزدوجة ويجب تبديل نوع العوارض عند تنفيذها في خط ذي عوارض بيتونية كما أنها تخفض سرعة العمل أثناء تنفيذ الأعمال التكنولوجية.

ج- حسب موقع الوصلة في الخط الحديدي: يمكن تمييز عدة حالات حسب الشكل (38-3) منها:

- وصلات (فواصل) متقابلة.

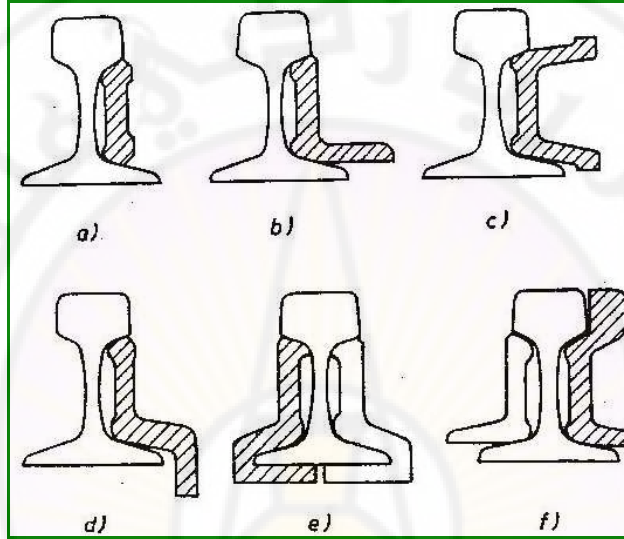
- وصلات (فواصل) متتالية.

3-2-5-2- الوصلات (الجوائز):

تعتبر الوصلات أو الجوائز العناصر الأساسية في الوصل الميكانيكي، وهي عبارة عن قطعة معدنية مصممة بحيث تستند على السطح السفلي لرأس القضيب في الأعلى، وعلى السطح العلوي لقاعدة القضيب في الأسفل ويجب أن تؤمن استمرارية

القضيبين الفولاذيين وتحافظ على منسوب واحد لكلاهما في المستويين الرأسي والأفقي مع متانة ومقاومة عالية.

آ- أشكال الجبائر: الشكل (39-3) يبين بعض النماذج للمقاطع العرضية منها.



الشكل (39-3) نماذج من الجبائر المستخدمة عالمياً

a- عادية، b- بشكل زاوية، c- بشكل مجرّية، d- بشكل حرف Z،

e- على شكل قدم، f- على شكل قضيب

- جبائر الوصلة البسيطة (مسطحة): تنتشر هذه الوصلات بكثرة في الخطوط الحديدية وتصنع من الفولاذ عالي المقاومة وتبلغ مقاومتها 80 Kg/mm^2 وقساوتها بحدود 227-388 وحدة بمقياس برينيل.

- جبائر بشكل زاوية أو حرف L: زيادة كتلة الجبيرة يزيد من عزم عطالتها.

- جبائر بشكل مجرّية أو حرف U: من أجل زيادة عزم العطالة.

- جبائر بشكل حرف Z.

- جبائر بشكل قدم.

- جبائر بشكل القضيب الفولاذي.

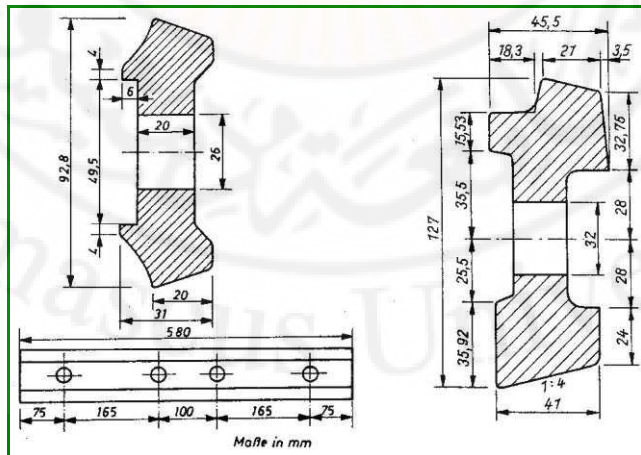
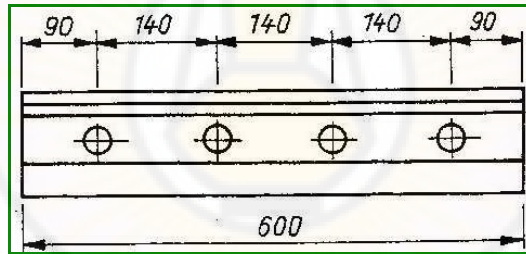
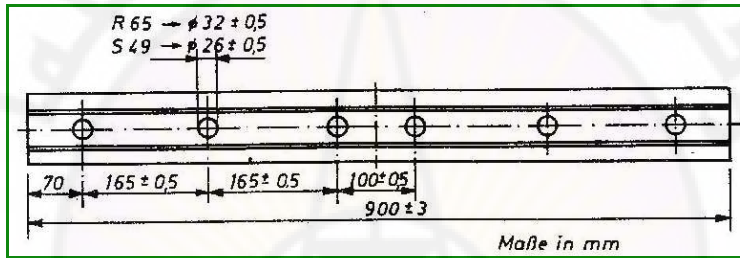
ب- أطوال الجبائر:

تختلف أطوال الجبائر ويمكن تمييزها ضمن نوعين: قصيرة بطول 600 mm وتحوي أربعة ثقوب أو طويلة طولها 900 mm وتحوي ستة ثقوب شكل (3-40)، ويتم ثقب الجبائر على الساخن بثقوب عمودية على سطحها الخارجي بحيث تتناوب الثقوب البيضاوية والدائرية ويختلف مقدرا الثقب في الجبيرة باختلاف نوع القضبان وبحيث يحقق فتحة الفاصل العظمى $e_{max} = 19mm$.

وقد صمم رأس البرغي بامتداد بيضوي بحيث يدخل هذا الامتداد بالثقوب البيضاوي في الجبيرة، وبهذا الشكل يتم شد الجبائر ذات الثقوب الأربعة أو الستة، بحيث تتناوب براغي الجبائر لتصبح اثنان أو ثلاثة رؤوس باتجاه داخل الخط ومثلها بالاتجاه المعاكس، وتم الوصول إلى هذا التصميم لتلافي ما أمكن فصل رؤوس القضبان عن بعضها عند الحوادث وبالتالي لتخفيف أضرارها ولارتخاء نصف عزقات البراغي بسبب الاهتزازات المختلفة وشد النصف الآخر منها بسبب هذه الاهتزازات بالذات. فلو فرضنا وقوع حادث جنوح لقاطرة أو لشاحنة واستمرت القاطرة أو الشاحنة الجانحة بالمسير، ومَرَّت القطبة الجانحة بمحاذاة الجبيرة (من الداخل أو من الخارج) فإن هذه القطبة ستعتمد إلى تقطيع الطرف الطويل من براغي الجبائر المقابلة.

والطرف الطويل من البراغي هو الذي يحوي الرونديلة مع العزقة أي سيتم تقطيع اثنان أو ثلاثة براغي متعاقبة وستبقى الجبائر مربوطة بإثنين أو ثلاثة براغي سليمة.



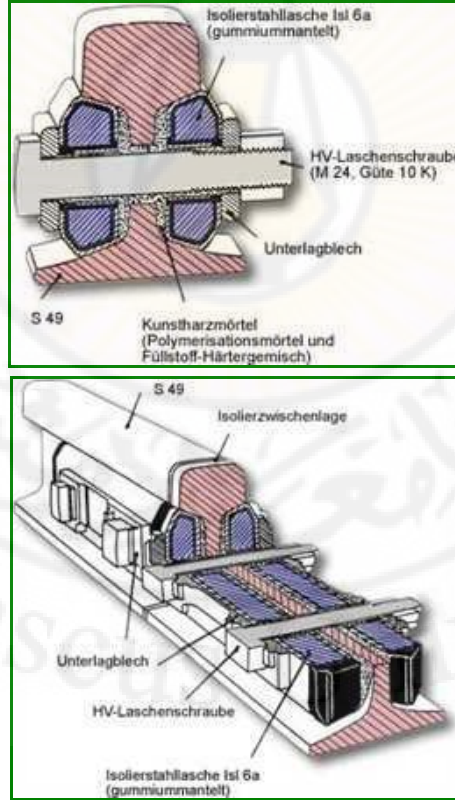


شكل (40-3) الجبائر الطويلة والقصيرة

ج- وصلة (فاصل) العزل الكهربائي:

تعتمد الخطوط الحديدية المزودة بإشارات كهربائية إلى عزل القضبان طولياً عن بعضها كهربائياً باستعمال الجبائر العازلة بطرائق مختلفة شكل (3-41) وذلك لمنع مرور التيار الكهربائي بينهما وتتألف عناصر العزل من:

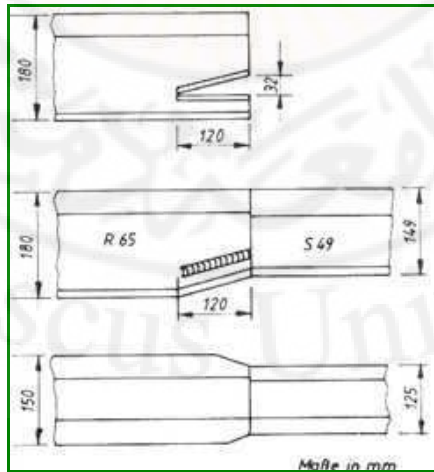
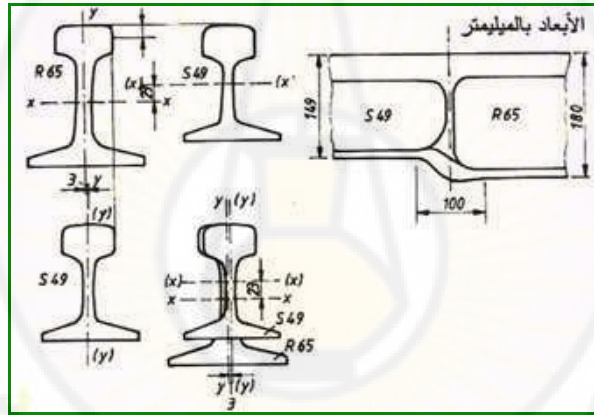
- قميص العزل للجبيرة التي تغطي كامل سطح استناد الجبيرة مع القضبان.
- أسطوانة لعزل البراغي عن جسد القضيب كهر بائياً وتصنع من مواد البولي اتيلين.
- حشوة عازلة من أجل عزل القضبان المتتالية عن بعضها وتصنع من الخشب أو المطاط أو من مواد أخرى كالميراميد أو البيكاليت ويجب الانتباه إلى الوسائد المعدنية التي تكون منفصلة.



الشكل (3-41) الوصلة (الفاصل) المعزولة

د- الوصلة (الفاصل) الانتقالية:

تدعو الضرورة إلى وصل قضيبين من نوعين مختلفين بالارتفاع وبعرض رأس القضيب وقاعدته، ولهذا تصنع جبائر مختلطة لهذه الغاية، وهنا لابد من التأكيد على ضرورة الاهتمام الزائد بدقة عملي الوصل في هذه النقاط لضمان استقامة القضيبين من الأعلى والطرف الداخلي لهما، ولكن مع تطور تقانة اللحام بجميع أنواعه فإن هذه الوصلة أصبحت ملحومة، فعند استخدام اللحام الألوميني الحراري يجب تجهيز قوالب خاصة، أما في اللحام الكهربائي فيمكن إجراء ذلك عن طريق اقتطاع جزء من جسد القضيب وضغطه قبل إجراء اللحام شكل (42-3).

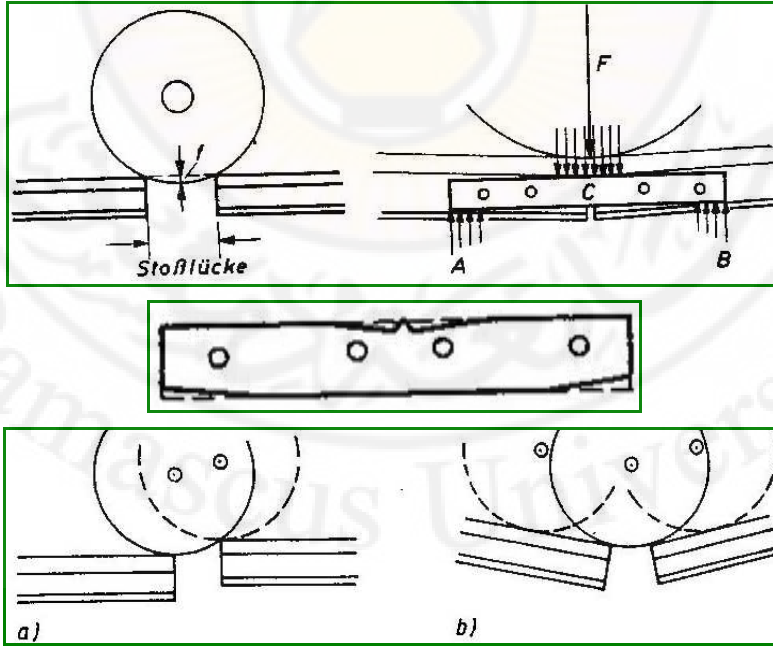


الشكل (42-3) الوصلة (الفاصل) الانتقالية

هـ- السلوك الإنشائي للجبيرة:

تستخدم الجبائر لوصل القضبان الفولاذية ذات الأطوال $m(60, 45, 30)$ المستخدمة في الخطوط الحديدية العادية (ذات الفواصل). كما يتم استخدامها أثناء حدوث انكسار أو أضرار في أحد القضبان الفولاذية بسبب مرور الحمولات أو جنوح في الحركة. إن التبرير الأساسي لحدوث الأضرار في منطقة الفاصل هو تشكل الخط المرن نتيجة مرور الحمولة الرأسية حيث تكون صلابة الخط ضعيفة نسبياً.

تتصرف نهايات القضبان إنشائياً على أنها أظفار بينما تتصرف الجبيرات على أنها جوائز باستناد بسيط على مسندين، وهذا يؤدي إلى ظهور مناطق اهتراء في الجبيرات تتمركز على الأطراف من جهة الأسفل وفي المنتصف من الجهة العلوية شكل (3-43)، إن القوة الطولية تعمل على قص براغي الجبيرات بينما تعتبر الثقوب في الجبيرات وفي جسد القضيب مناطق ضعيفة في المقطع العرضي وغالباً ما تكون هي المنطلق لتشكيل شقوق وكسور في القضبان.



الشكل (3-43) التشوه في وضعية الفاصل

3-5-3-2-3 وصل القضبان بالفولاذ:

يمكن وصل القضبان الفولاذية بعضها مع بعض دون جبائر بطريقة اللحام كما يلي:

آ- اللحام بواسطة الترميت (الألوميني الحراري): بعد معايرة رؤوس القضبان بالارتفاع والاستقامة، يتم تركيب القالب عند نقطة اللحام وتثبيت البوتقة أعلى القالب والتي تحوي على مزيج من أو أكسيد الحديد والألمنيوم، ينطلق التفاعل في البوتقة بواسطة منبع حراري مناسب ويتشكل أو أكسيد الألمنيوم والحديد الصافي مع إطلاق كمية من الحرارة:



هذه الحرارة تساعد إلى رفع درجة حرارة رؤوس القضبان وقد تصل إلى $(2400 - 2600^\circ)$ درجة مئوية وتجرى بعدها عملية وصل رؤوس القضبان بالحديد الناتج عن التفاعل ويطفو أو أكسيد الألمنيوم في البوتقة ويزال مع القالب، شكل (3-44). بعد إزالة القالب والزائد المعدني تجري عمليات جليخ وتهذيب نقطة الوصل ووضع العلامة اللازمة عندها (تدهن منطقة اللحام باللون الأحمر). يضاف الفحم والكبريت والفسفور ... الخ وذلك لتحسين الحديد الناتج عن التفاعل والوصول إلى فولاذ متجانس مع فولاذ القضبان الأصلية عند إجراء عملية اللحام بواسطة الترميت.



الشكل (3-44) اللحام بواسطة الترميت (الألوميني الحراري)

ب- اللحام بواسطة الغاز: يمكن استخدام الغاز لعملية اللحام بعد إحماء رأسي القضيبين بواسطة اللهب حتى درجة السيلان ثم يتم تقريب القضيبين مع الضغط، وبعد عملية اللحام يتم تهذيب منطقة الوصل ووضع العلامة اللازمة عند نقطة اللحام.

ج- اللحام الكهربائي: انتشرت عملية اللحام الكهربائي بشكل كبير لما تمتاز به من ميزات، فهي لا تحتاج لمواد إضافية وينتج عنها نوعية جيدة للحام وتوفير في الوقت، حيث ترفع درجة حرارة رؤوس القضبان بطريقة القوس الكهربائي وعند بلوغ درجة الحرارة المطلوبة يتم تقريب رؤوس القضبان من بعضها مع الضغط لإنهاء عملية اللحام وبعد ذلك يتم تهذيب منطقة اللحام ووضع العلامة اللازمة. ويمكن أن تنفذ هذه الطريقة في المعمل باستخدام معدات خاصة أو في الورشة باستخدام آلية متحركة على الخط تحمل رأسي لحام ومحركاً لإنتاج الطاقة اللازمة شكل (3-45).

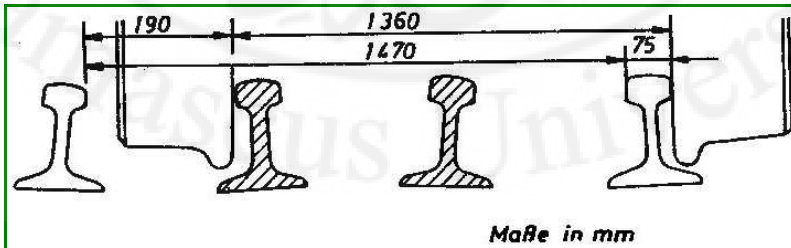


الشكل (3-45) اللحام الكهربائي

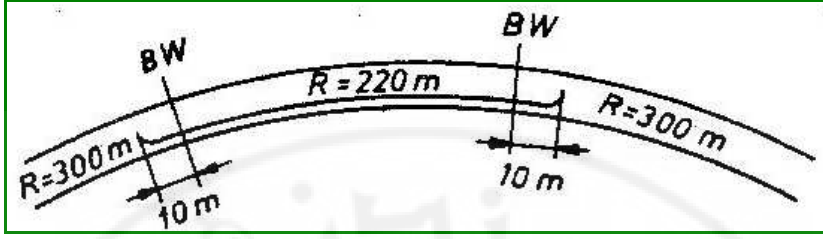
6-3-2-3- المثبتات الخاصة:

تستخدم في الخطوط الحديدية أدوات تثبيت (مثبتات) خاصة توافق الحالة المعنية.

أ- **مثبتات قضبان الحماية:** توضع قضبان الحماية داخل الخط الحديدي بجانب القضيب الداخلي في المنحنيات ذات أنصاف الأقطار الصغيرة أقل من 250 m شكل (3-46)، ويبلغ التباعد بين قضيب الحماية والقضيب الداخلي 80 mm ويستمر هذا التباعد على كامل المنحني الدائري والمنحني الانتقالي، ويستمر هذا التباعد حتى مسافة 10 m في حالة وجود منحنيين دائريين متتابعين بعد نقطة تغير نصف القطر ثم يتم ثني نهاية قضيب الحماية بطول 400 mm وبمسافة عمودية 50 mm شكل (3-47).



شكل (3-46) توضع قضبان الحماية



شكل (47-3) قضيب الحماية في المنحنيات

ب- مثبتات قضبان ممانعة جنوح القطارات (الكونتراري): توضع هذه القضبان بشكل ثنائي داخل الخط الحديدي، ويبلغ تباعدها عن قضبان الخط الحديدي 190 mm، تستخدم قضبان ممانعة جنوح القطارات في عدة حالات:

• على الأعمال الصناعية (الجسور، العبارات) وذلك لمنع القطار الجانح من الخروج عن الخط والتحطم.

• تحت الجسور عندما تقع ركائز الجسر على مسافة أقل من 3 m من محور الخط.

• عند وجود خط مجاور وبحيث يخشى أن يدخل القطار الجانح في مجال الوسعة للخط المجاور.

• توضع في المفاتيح مقابل قلب التصالب وهي جزء من المفتاح.

تستمر قضبان ممانعة الجنوح على كامل المنطقة الخطرة وعلى امتداد مسافة 10 m بعدها من الجهتين. وتكون نهايتها منحنية باتجاه داخل الخط وعلى مسافة 5 m.

- مثبتات في الخطوط بدون عوارض: تبذل الجهود الكثيرة لتطوير القسم العلوي للخط الحديد وذلك عن طريق الاستغناء عن العوارض والبلاست (خطوط تستند على بلاطة بيتونية) وذلك انطلاقاً من:

• الرغبة بزيادة السرعة.

• لتأمين ارتفاع أقل ولاسيما في الأنفاق وفي خطوط المترو.

• الاستغناء عن جسم البلاست وعن العوارض في الخطوط على الجسور.

• التوفير في أعمال الصيانة.

ويمكن في هذه المثبتات التحكم بالحركة الطولانية للقضبان، ففي الجزء اليساري من الشكل السابق تم الاستغناء عن الرقائق تحت القضيب ووضعت رقائق بين السناد (الممسك) والوسادة المعدنية وبذلك يمكن فصل الحركة الطولانية للقضبان عن الحركة الطولانية للجسور.

ويجب الأخذ بعين الاعتبار عند تطوير القسم العلوي الأسس التالية:

- المحافظة على أدوات التثبيت بحيث تؤدي وظيفتها المطلوبة.
- إمكانية إجراء التصحيحات على الخط.
- إمكانية التبادل بين أجزاء القسم العلوي الموجودة واللاحقة بعد التطوير.
- المحافظة على مرونة كافية للخط.
- تخفيض الضجيج.

يتم التوصل إلى المرونة المطلوبة للقسم العلوي بوساطة وضع رقائق مطاطية أو من الفلين بين الوسادة المعدنية والصفحة الأساسية للعمل الصناعي (الجسر)، ويجب أن تتوافق مرونة الرقائق المطاطية مع مرونة الحلقة النابضية (الرونديلة) بحيث لا يؤدي ذلك إلى تداخل الروابط فيما بعد.

- تجهيزات تمدد القضبان: تسمح الفواصل العادية بتمدد القضبان ضمن مجال محدود ($\pm 9.5\text{mm}$ تقريباً)، وفي حالة تطلب وجود حرية حركة أكبر فإنه يلجأ إلى استخدام تجهيزات تمدد القضبان، ويكون ذلك غالباً في الخطوط الحديدية فوق الجسور بالقرب من الركائز، حيث يجب تجنب الفواصل مما يؤدي إلى وجود قضبان بأطوال كبيرة. وتقوم بعض الشبكات الحديدية باستخدامها في الخطوط الملحومة أيضاً.

تتألف تجهيزات التمدد من قضيب تجعل نهايته بشكل مدبب، بحيث يسمح بالتمدد الطولي.

تبلغ مسافة التمدد الممكنة 200-400 mm، ويفضل عند استخدام تجهيزات التمدد في الخطوط المزدوجة أن توضع هذه التجهيزات بحيث تكون حركة القطارات من القضيب المدبب باتجاه القضيب الحاضن.

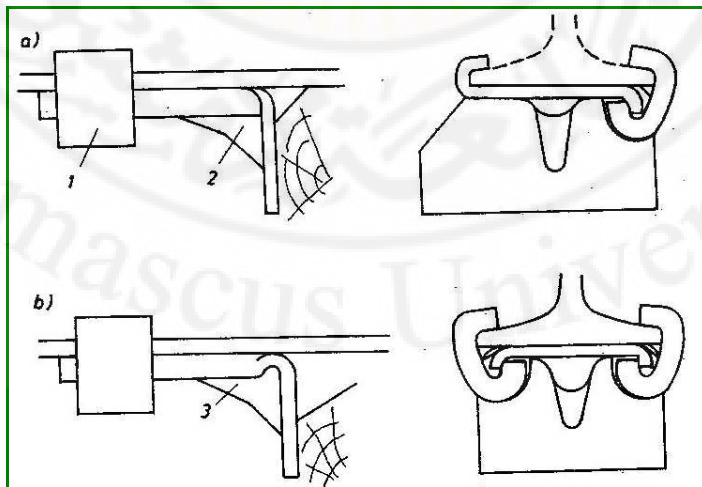
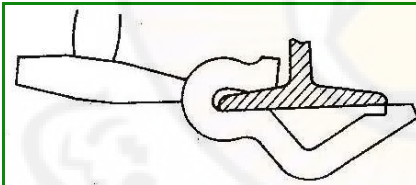
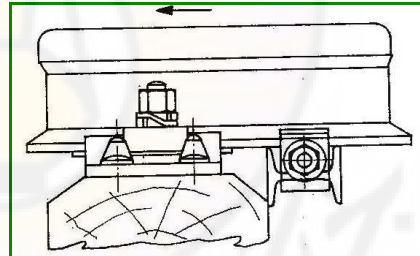
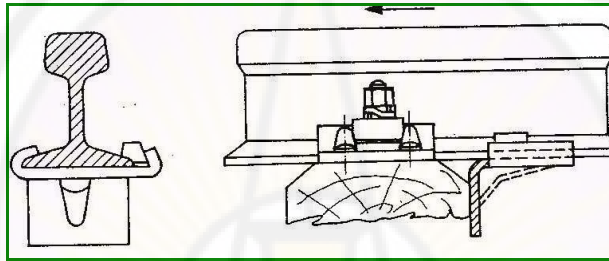
ج- ممانعات الزحف: يتعرض الخط الحديدي للزحف الطولي، حيث يتم التغلب على مقاومة الاحتكاك الطولي بين العوارض والبلاست فتتحرك العارضة ضمن البلاست، أو عند التغلب على مقاومة الاحتكاك الطولي بين القضبان والعوارض فتتزلق القضبان فوق العوارض. ولكن هذه المقاومة الأخيرة هي بشكل عام أكبر من المقاومة الأولى، لذلك فإن استخدام ممانعات الزحف يكاد ينحصر لزيادة مقاومة الاحتكاك الطولي بين العوارض والبلاست.

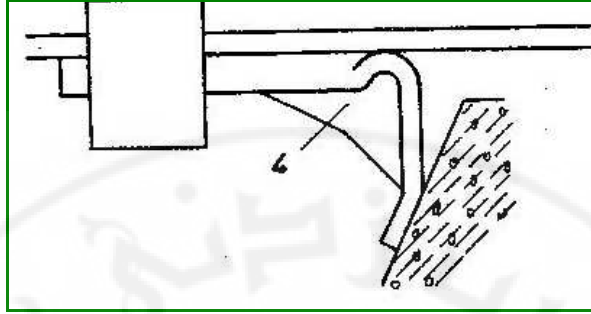
إن حدوث الزحف يؤدي إلى نشوء إجهادات إضافية على عناصر الربط في الفواصل للخطوط العادية، وإلى زيادة الإجهادات في الخطوط الملحومة. ويتأثر الزحف بنوع العوارض والتباعد بينها وبدرجة رص البلاست، وفي سورية يستخدم النموذج الموضح بالشكل (3-48)، وتستخدم شبكات الخطوط الحديدية أنواعاً كثيرة من ممانعات الزحف الشكل (3-49).





الشكل (48-3) مانعات الزحف المستخدمة في سورية





الشكل (49-3) نماذج لمانعات الزحف

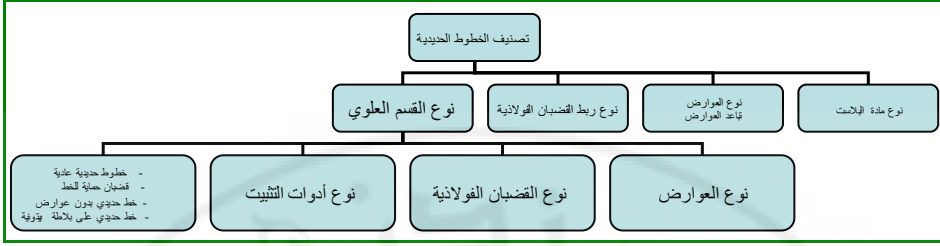
يحدّد عدد مانعات الزحف واتجاه تأثيرها تبعاً لكل حالة بشكل مستقل، توضع مثلاً 50 مانعة قبل بداية الجسر على طول يساوي تقريباً 50 m، يكون اتجاه تأثيرها بشكل متناوب الشكل (50-3).



الشكل (50-3) مانعات الزحف في الخطوط الملحومة

7-3-2-3- تصنيف الخطوط الحديدية حسب بنيتها:

يتم تصنيف الخطوط الحديدية حسب نوع العناصر المكونة لها وحسب نوع الربط المستخدم لربط القضبان وحسب عدد العوارض ونوع مادة البلاست كما في المخطط الهيكلي الشكل (51-3):



الشكل (3-51) المخطط الهيكلي لتصنيف الخطوط الحديدية

ويرمز لنوع الخط الحديدي كما يلي في الأمثلة التالية:

W 60 – 1667 B 70 – 60 Sch

الخط الحديدي الملحوم فيه:

-W نوع التثبيت ألماني.

-60 نوع القضبان UIC 60.

-1667 عدد العوارض في 1 Km طول.

-B 70 نوع العارضة البيتونية.

-60 طول القضبان بالمتر.

-Sch نوع البلاست.

$$K_{54} \frac{Br + 85St}{60} 70Sch$$

الخط الحديدي العادي فيه:

-K نوع التثبيت.

-54 نوع القضبان S 54.

-85 العارضة العريضة رقمها 85 تحت الفاصل.

-St نوع العارضة المعدنية.

-60 طول القضبان 60 m.

-70 تباعد العوارض 70 cm.

-Sch نوع البلاست.

3-2-4- البلاست:

3-2-4-1- واجبات ومتطلبات طبقة البلاست:

يجب على طبقة البلاست أن تحقق المتطلبات التالية:

- تحمل القوى الضاغطة من العوارض ونقل وتوزيع تأثيرها بشكل متساوي على أكبر مساحة ممكنة من الطابق الترابي.
 - تأمين مقاومة عالية ضد قوى الانزياح الطولي والعرضي للعوارض.
 - تأمين ثبات الخط الحديدي وفق مناسيب خط المشروع.
 - سهولة توجيه وتصحيح وتنفيذ أعمال الصيانة للخط الحديدي عند حدوث الهبوطات والانزياحات.
 - المساهمة في تأمين المرونة الفراغية اللازمة للخط الحديدي.
 - ضمان النفاذية اللازمة لتصريف المياه السطحية.
 - عدم السماح بنمو الأعشاب في طبقة البلاست.
- يتم تحقيق هذه المتطلبات من خلال:
- تأمين ارتفاع مناسب لطبقة البلاست.
 - تصميم مقطع عرضي مناسب لطبقة البلاست.
 - توفر جودة مناسبة لمادة البلاست.
 - تحشية ورص البلاست بشكل جيد.

3-2-4-2- صفات البلاست:

يجب أن تتمتع مادة البلاست بالخواص التالية:

- A- النفاذية: يجب أن تتمتع مادة البلاست بخاصية النفاذية لتسهيل تصريف المياه بأسرع ما يمكن من سرير البلاست.

B- المرونة: تنشأ مرونة البلاست عن طريق قابلية عناصره للحركة المرنة فيما بينها نتيجة تواتر الحملات عليه وعودة العناصر إلى وضعها الأصلي بعد زوال هذه الحملات. لذا يجب أن تكون أبعاد حبيبات البلاست متناسقة فيما بينها وضمن حدود أبعاد معينة وتفضل الأشكال القريبة من المكعبات.



شكل (3-52) يبين نموذج توضع البلاست

C- مقاومة الاهتراء: يجب أن يتمتع البلاست بالصلابة ومقاومة التآكل والصدم تحت تأثير مرور الحملات ، ومقاوم للتفاعلات الكيميائية، وعدم إصدار الغبار بعد مرور القطارات.

D- مقاومة العوامل الجوية من حرارة وبرودة.

E- عازل جيد للكهرباء.

F- عدم الانحلال بالماء وإنبات الأعشاب.

G- تأمين ديمومة كبيرة في الاستثمار وإمكانية تشغيل جيدة واقتصادية في التصنيع.

علماء بأن طبقة البلاست تتعرض لإجهادات كبيرة تؤدي إلى هروب بعض الحبيبات إلى الطابق الترابي، كما يحدث تلوث للبلاست من خلال تآكل وتفتت حبيباته حسب الشكل (3-52).

3-4-2-3- أنواع البلاست:

من أهم المواد المستعملة في صناعة البلاست هي:

1- الحجر المكسر:

ينتج عن تكسير الأحجار الطبيعية المستخدمة من المقالع ويتمتع البلاست الناتج بخصائص الصخور الأصلية المستخرج منها.

يزداد ثبات الخط الحديدي بمقدار (30-40%) في حالة استخدام بلاست من نواتج تكسير الصخور القاسية والمتجانسة.

يستعمل في الخطوط الحديدية السورية الرمل والبصص الناتجان عن تكسير الصخور القاسية المقاومة للاهتراء (البازلت، الأنديت، الدولوميت، البورفير، والغرانيت) وتصنف هذه المنتجات من مواد الدرجة الأولى، حيث يبلغ عامل الاهتراء بعد ألف دورة بجهاز لوس أنجلوس بحدود (16-20%) وزناً.

أجريت مئات التجارب على أنواع كثيرة من الصخور في الخطوط الحديدية السورية، وتبين ضرورة عدم خلط البحصص مختلف المنشأ، وكذلك عدم السماح بفرش طبقات من البحصص مختلفة المواصفات وذلك تجنباً من تسريع عملية الاهتراء واتساخ البلاست ذاتياً.

لقد تم خلط عينتين من البحصص متساويتين بالوزن ومختلفتين بالمنشأ وكان عامل إهتراء الأولى 15% وزناً وعامل إهتراء الثانية 20% وزناً، بينما بلغ عامل إهتراء الخلطة بحدود 19% وزناً وهذا يعود إلى أن الحجر الأكثر مقاومة عمل على تقطيت الحجر الأضعف وزاد اهترائه.

تجري عادة في معامل التكسير تجارب الاهتراء على البحصص الناتج وبشكل دوري لكل عشرة آلاف متر مكعب من الإنتاج، كما وتجري التجارب الاحتياطية عند الانتقال من مقلع لآخر أو عندما تدعو الضرورة إلى زيادة عدد التجارب بسبب ظهور عروق أو طبقات ضعيفة بالمقلع.

2- البحص الطبيعي:

عبارة عن حصى تستخرج من قاع الأنهار أو من مجاري السيول وقد تكون نظيفة أو مشوبة بنسبة من الغضار، وعلى كل حال يجب تنظيفها قبل استعمالها كمادة بلاست ويكون شكلها مدورة أو متطاولة.

3- الرمل:

يحتوي الرمل المكون بشكل رئيسي من المرو (الكوارتز) عادة على نسبة من الذرات الترابية تقلل من نفاذيته كما أن صغر ذراته يجعله سهل الانجراف بالمياه أو بالرياح القوية لذلك لا يستعمل في صنع البلاست إلا في الخطوط الثانوية جداً، ولكنه يستعمل في طبقة البلاست كوسادة رملية تتوضع مباشرة على الجسم الترابي وذلك لمنع انغراس البحص في الجسم الترابي وتستهلك هذه الوسادة بحدود 25% من حجم موشور البلاست لذا يتم تعيير عفاص الكسارة في مرحلة التكسير الأولى وكذلك الطاحون في مرحلة التكسير الثانية للحصول على نواتج تتلائم مع النسب المستعملة:

• 25 % لوسادة الرمل بتدرج (7-25 mm)

• 75 % لموشور البحص بتدرج (25-70 mm)

• تبلغ سماكة الوسادة الرملية (10-15 cm)

• وسماكة موشور البحص (25-30 cm)

حيث يستعمل الرقم الأعلى في الخطوط الرئيسية والأدنى على خطوط المحطات.

4- رماد الفحم الحجري:

يتم الحصول عليه من القاطرات البخارية ويعتبر ذو تصريف جيد للمياه ولكنه غير مقاوم لحركة المرور الثقيلة لأنه يتفتت ويتحول إلى مسحوق، فهو من أسوأ أنواع البلاست وأرخصها.

5- بلاست من الآجر:

يكسر الآجر المشوي إلى حجوم مناسبة لاستخدامه كمادة بلاست عندما لا يتوفر البحص أو الحجر المكسر، ولكن هذا النوع سهل التآكل تحت تأثير حركة المرور الثقيلة لذا لا ينصح باستخدامه.

6- البلاست الترابي:

توضع العوارض مباشرة على القسم الترابي عند تمديد الخطوط الحديدية وذلك لفترة من الزمن لأجل رص هذا القسم بشكل جيد وبعد ذلك يتم فرش طبقة البلاست الأساسية وهذا الإجراء يقلل الهدر الذي يحصل في ضياع البلاست الذي ينغمس في القسم الترابي الرخو.

7- الخبث:

نحصل عليه من نواتج الأفران العالية لمصانع المعادن الثقيلة ويعتبر الخبث من الأنواع الجيدة ويتمتع بخواص التصريف الجيد ويحافظ على ثبات الخط الحديدي وللخبث ثلاثة أنواع هي: الخبث المكسر (ذو مواصفات جيدة)، الخبث الحبيبي والخبث الناعم (لا ينصح باستخدامها).

وبشكل عام يجب أن لا تقل مقاومة البلاست عن 180N/mm^2 ، وأن تكون العلاقة بين بعدي حبة البلاست محققة لنسبة أكبر من 3/1، كما وتتراوح أبعاد حبيبات البلاست ما بين (22.4-60mm) بالنسبة للخطوط الرئيسية وما بين (15-30mm) بالنسبة للخطوط الثانوية.

3-2-4- اختبار البلاست:

تجرى عدة تجارب على مادة البلاست منها:

- 1- تجربة لوس أنجلس: يجب معرفة عامل الإهتراء (أو عامل لوس أنجلس LA%) بتطبيق تجربة لوس أنجلس على مادة البلاست بأخذ عينة مناسبة منها بحدود

M=10Kg وبعد التجربة نقيس الكمية الناعمة المفقودة m نتيجة الاهتراء وبالتالي يكون:

$$L_A = \frac{m}{M} * 100[\%]$$

m: كمية البلاست الناعم نتيجة الاهتراء.

M: كمية البلاست المجربة.

LA%: عامل لوس أنجلس.

يجب أن تكون قيمة هذا العامل أقل من 16% وزناً.

2- تجربة الامتصاص: يجب أن لا تتجاوز نسبة امتصاص الماء 15% وزناً عن الوزن الجاف للعينة (تجرى هذه التجربة للظروف الباردة والتي تتعرض فيه المياه للتجمد شتاءً).

3- تجربة التدرج الحبي: يجب تحديد مجال النسب المارة من المناخل.

4- تحديد نسبة الحبيبات الضعيفة حسب مواصفات (AASHTO) ويجب أن لا تزيد نسبتها عن 5% وزناً.

5- تحديد الوزن النوعي للبلاست بعد تنشيفه لمدة ثلاث ساعات بدرجة 50° مئوية.

6- تجربة مقاومة الصقيع: وذلك بإجراء تجربة تجميد البحص وإعادته إلى طبيعته 25 مرة متتالية بحيث لا تظهر على عناصره أية تشوهات مهما صغرت.

7- تجربة الصدم: وفحص التشكل الطبيعي لمعرفة أصل الصخور التي ينتمي إليها البلاست.

3-2-4-5- تلوث البلاست:

الأسباب الرئيسية لتلوث البلاست هي:

- تكسر البلاست عند البناء ونشوء جزء ناعم منه.
 - توضع بعض الترسبات على البلاست بفعل الرياح.
 - سقوط بعض المواد المنقولة بالقطارات على البلاست (فحم حجري، حبوب، مواد ملوثة أخرى).
 - ظهور مواد ناعمة من الجسم التراي.
 - تفتت حبيبات البلاست نتيجة مرور الحمولات الثقيلة ونشوء جزء ناعم.
 - تفتت حبيبات البلاست نتيجة أعمال التحشية والرص ونشوء جزء ناعم.
 - تتم عملية التحشية على الخطوط الرئيسية مرة واحد كل 4-5 سنوات.
- يحتاج البلاست للتنظيف عندما يكون الجزء المار من فتحة المنخل 22.4 mm لعينة تجريبية أكبر من 30 % من وزنها.

3-2-4-6- تحديد درجات تلوث البلاست:

- بواسطة فحص الأشعة مثل (أشعة غاما)، ترسل هذه الأشعة في طبقة البلاست والنتائج تكون متذبذبة بشكل كبير.
- بواسطة عربة القياس: عربة تسير على الخط الحديدي تقيس الهبوط الحاصل تحت تأثير مرور محور العربة وهذا القياس يعالج ببرنامج حاسوبي ويتم تقييم النتائج. ويتعلق مقدار الهبوط بالاحتكاك الحاصل في السرير البلاستي، ويزداد الهبوط في حالة قلة الاحتكاك وبالتالي زيادة تلوث البلاست.
- بواسطة الفحص العيني: يتم الكشف عن تلوث البلاست بالعين المجردة بعد إزالة البلاست عن طرف العارضة والنظر إلى البلاست الموجود تحت العارضة وفحص مدى تلوث البلاست.

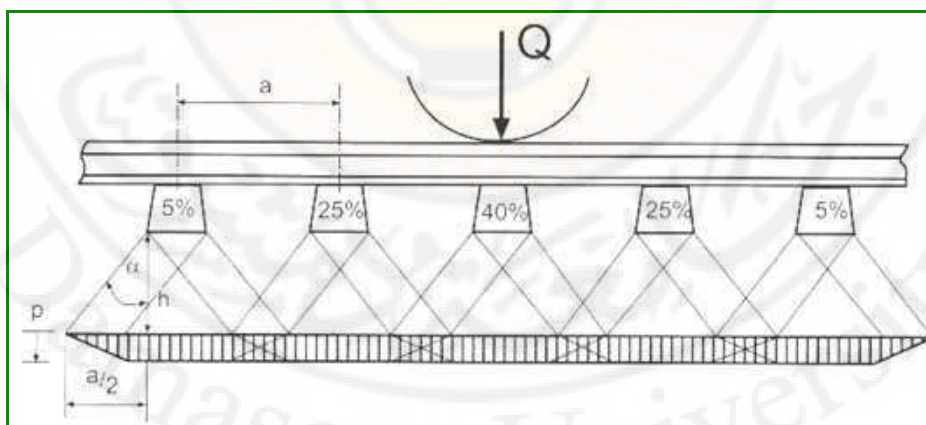
- فحص عينة من سرير البلاست: يتم أخذ عينة محددة من بلاست السرير وتميرها على منخل معين ومن ثم تحديد عامل التلوث.

3-2-4-7- حساب ارتفاع وحجم طبقة البلاست:

إن وظيفة طبقة البلاست هي تلقي الاجهادات المؤثرة من الأعلى ونقل وتوزيع تأثيرها على أكبر سطح ممكن من الطابق الترابي، بحيث تكون قيمة هذه الاجهادات الواصلة إلى الجسم الترابي أقل من مقدرة تحمل التربة المسموح بها. ويتم توزيع القوى الضاغطة من البلاست إلى الطابق الترابي وفق مخروط هرمي يميل بزاوية α . وتقدر هذه الزاوية حسب حالة البلاست: $\alpha = 42^\circ$ حالة بلاست جديد، $\alpha = 39^\circ$ حالة بلاست قديم وتؤخذ هذه القيمة عند الحساب ، و $\alpha = 30^\circ$ حالة بلاست ملوث. وتقل هذه الزاوية إلى مقدار $\alpha = 20^\circ$ في حالة فرش حصيرة تحت البلاست.

يتم حساب ارتفاع طبقة البلاست h من العلاقة التالية حسب الشكل (53-3):

$$h = \frac{a}{2 * \tan(\alpha)}$$



شكل (53-3) حساب ارتفاع طبقة البلاست

والجدول (6-3) يبين مقدار ارتفاع طبقة البلاست حسب زاوية توزيع القوى من البلاست على الطابق الترابي وأيضاً حسب التباعد ما بين العوارض.

جدول (6-3) مقدار ارتفاع طبقة البلاست

	مقدار ارتفاع طبقة البلاست (cm)		
A [m]	300°	39°	42°
0,6	52	37	33
0,63	55	39	36
0,65	56	40	56

يبلغ ارتفاع البلاست 40 cm بالحالة العادية تحت السطح السفلي للعارضة في حالة اعتبار أن زاوية توزيع القوى هي $\alpha = 39^\circ$ والتباعد بين العوارض هو 65 cm. أما توزيع حمولة العجلة المطبقة على القضيب الفولاذي إلى العوارض فيتم في الحالة العادية كما يلي: 40% للعارضة الواقعة تحت تأثير الحمولة مباشرة، و 50% للعارضتين المجاورتين، ومن ثم 10% للعارضتين المجاورتين الأخرتين كما في الشكل (3-53).

8-4-2-3- تنظيف البلاست وتجديده:

إن عملية التحشية والرص للبلاست الملوث غير مجدية لأنه سيحدث الهبوط لاحقاً وفي وقت قصير، لذا فإن تنظيفه ضروري واقتصادي.

يتم تنظيف كامل السرير البلاستي بجرف البلاست بشكل آلي من الخط الحديدي عبر سلسلة جرف ورفعته إلى آلة التنظيف المارة على الخط ومن ثم يمرر على مجموعة مناخل موجودة في الآلة، حيث يفرز الجزء الناعم (التلوث) ويتم إبعاده جانباً أو إلى عربة أخرى، بينما يتم إعادة البلاست النظيف إلى الخط الحديدي.

وتستطيع آلة التنظيف الجديدة إنجاز تنظيف 300-700 m/h والتي تعادل 500-1000 m³/h، وتقدر طاقة التنظيف السنوية بحدود 150 Km، علماً بأن آلة التنظيف تقوم بأعمال التوجيه والتسوية لمناسيب الخط الحديدي وتسير بسرعة 70 Km/h.

وعند توفر الماء اللازم يمكن غسيل البلاست بالماء والضغط العالي وهذا يحتاج إلى توقف الخط عن الحركة فترة طويلة، ويحتاج الغسيل إلى كمية كبيرة من المياه تقدر بحدود 3.6 m³ لكل ساعة عمل. ولكن عملية إزالة المياه الملوثة فهي مشكلة بحد ذاتها وتؤثر على الطابق الترابي، وبعد إنجاز عملية التنظيف أو الغسيل يفقد المقطع العرضي للخط جزءاً من البلاست، لذا لا بد من إضافة بلاست جديد بعد إنجاز عملية التنظيف أو الغسيل، وذلك بغية الحفاظ على المقطع العرضي لطبقة البلاست وتحشيته ورصه وتأمين استقرار الخط الحديدي وإعادة السكة إلى حالتها الطبيعية وبالتالي السير عليها بالسرعة النظامية. وتوجد عربات خاصة لتزويد الخط الحديدي بكمية البلاست اللازمة وتدعى (بقطار البلاست)، كما يتم إعادة توجيه الخط الحديدي للحفاظ على المناسيب التصميمية من خلال مرور آلات التوجيه والتحشية والرص الخاصة بخدمات السكة الحديدية وتشتهر النمسا بتصنيع آلات بناء وصيانة الخطوط الحديدية وخاصة شركة بلاسر وتويرر الشكل (3-54).



الشكل (3-54) آلة رص البلاست

9-4-2-3- المقطع العرضي لطبقة البلاست:

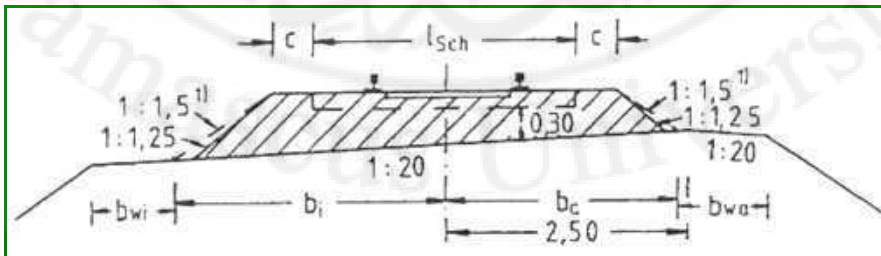
تتعلق قياسات موشور البلاست (طبقة أو سرير البلاست) بما يلي:

- طول العارضة.
 - السرعة.
 - تغطية أطراف العارضة بالبلاست.
 - عدد الخطوط الحديدية والتباعد فيما بينها.
- وبناءً على عرض السرير البلاستي يتم تصميم عرض الطابق الترابي المناسب، مع الأخذ بعين الاعتبار تصميم خنادق جانبية لتصريف المياه.
- يبلغ ميل سطح الطابق الترابي (5% = 1:20)، ويكون الميل باتجاه واحد إلى داخل المنحني في حالة خط حديدي مفرد، ويميل الكتف خارج المنحني باتجاه الخارج لمنع تسرب المياه إلى الطابق الترابي، كما يبلغ ميل جوانب طبقة البلاست ما بين 1:1.25-1:1.5، ويتم تغطية أطراف العوارض بكتف من البلاست حسب السرعة التصميمية كما يلي:

$C = 0.40 \text{ m}$ عرض كتف البلاست في حالة السرعة $V \leq 160 \text{ Km/h}$

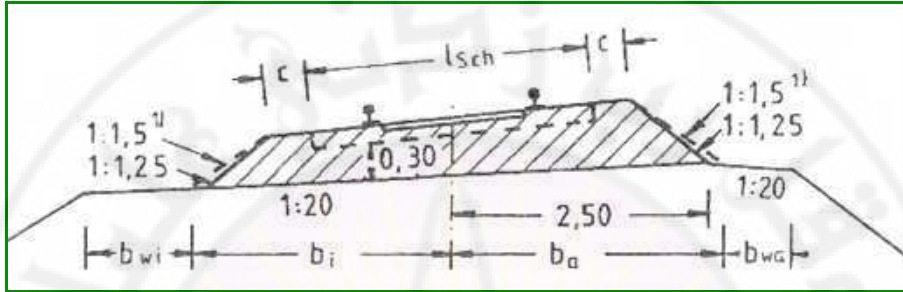
$C = 0.50 \text{ m}$ عرض كتف البلاست في حالة السرعة $160 < V \leq 200 \text{ Km/h}$

$C = 0.45 \text{ m}$ عرض كتف البلاست في حالة العارضة B75 ذات طول 2.8 m

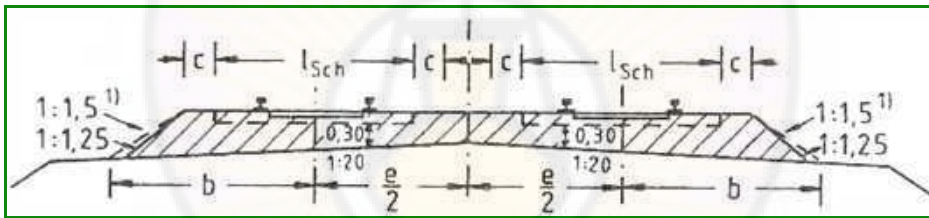


الشكل (3-55) مقطع عرضي لخط مفرد بدون علو إضافي في الاستقامة

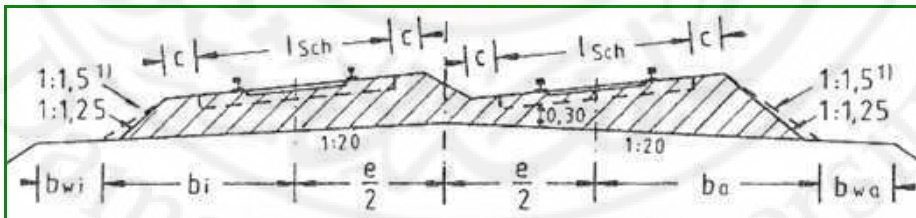
تبين المقاطع العرضية النموذجية لخطوط حديدية مفردة ومزدوجة في الاستقامات بدون علو إضافي وفي المنحنيات بوجود العلو الإضافي حسب الأشكال (55-3) (56-3) (57-3) (58-3).



الشكل (56-3) مقطع عرضي لخط مفرد مع علو إضافي



الشكل (57-3) مقطع عرضي لخط مزدوج بدون علو إضافي



الشكل (58-3) مقطع عرضي لخط مزدوج مع علو إضافي

3-3- منشآت السكة الحديدية:

تعرف منشآت السكة الحديدية بأنها كل المنشآت والمساحات الأرضية والأبنية والخطوط والتجهيزات من إشارات وغيرها اللازمة لضمان سير أمين لقطارات الركاب والبضائع ويتبع لذلك منشآت ثانوية كمنشآت التحميل والتفريغ والممرات، وتوجد منشآت للمحطات ومنشآت للمسارات الحرة المستمرة وأيضاً منشآت أخرى (سيتم شرحها لاحقاً).

3-3-1- المحطات:

تعرف المحطة بأنها خط حديدي يحتوي على مفتاح واحد على الأقل، يتمكن القطار عندها من بدء الحركة أو إنهاء الحركة أو تغيير الخط. والفرق بين خط المحطة والخط الحر المستمر هو أنه في الأول يوجد إشارة دخول أو مفتاح دخول.

3-3-2- خطوط حرة مستمرة:

يمكن تعريفها بما يلي:

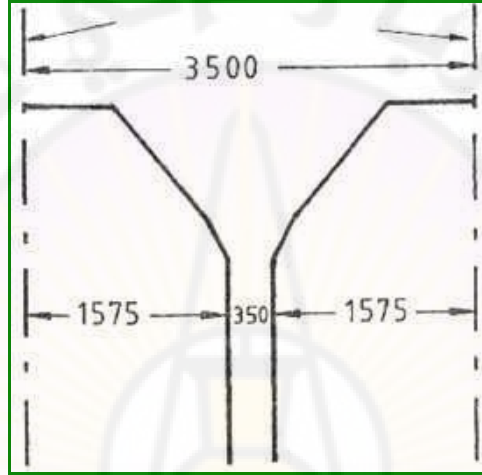
- **قسم محدد من خط:** هو خط يستطيع قطار وحيد من السير عليه في حالة خلوه من أية عربة أو عائق.
- **مواقف محددة:** هي منشآت محددة على الخط يمكن أن تكون بنفس الوقت محطات أو مواقف.
- **مواقع التفرع:** هي مواقع على الخط المستمر يستطيع القطار من خلالها تغيير الخط.

3-3-3- تباعد الخطوط الحديدية:

يعرف التباعد بين الخطوط الحديدية المتجاورة بأنه التباعد بين محوري الخطين.

1-3-3-3- التباع بين خطوط المسارات:

بلغ في الماضي مقدار التباع الأصغري بين محوري خطين متجاورين 3.5m الشكل (59-3)، حيث يبلغ عرض نصف العربة 1.575m، وبوجود عربتين واقفتين على خطين متجاورين يبقى مسافة احتياط بينهما مقدارها 350mm.



الشكل (59-3) التباع بين خطوط المسارات بـ mm

يعطى مقدار التباع بين الخطوط الحرة المستمرة ذات أنصاف أقطار أكبر من 250 m في الجدول (7-3)، ويوجد حالات استثنائية كثيرة.

الجدول (7-3) التباع بين مسارات الخطوط بـ m

التباع m	نوع الخطوط
3,5 m	خطوط قديمة
4,0 m	خطوط جديدة أو مجددة
3,80 m	خطوط ضواحي $V_e \leq 120 \text{ Km/h}$
3,80 m	مسافة أمان بجانب الخطوط تحت سطح الأرض
4,70 m	مسافة أمان بين الخطوط تحت سطح الأرض
4,0 m	خطوط مجددة $V_e \leq 230 \text{ Km/h}$

	خطوط جديدة: $V_e \leq 300 \text{ Km/h}$
4,5 m	مع بلاست
4,5 m	بدون بلاست
4,6 m	وجود إشارات ضوئية بين الخطوط

يجب زيادة مقدار التباعد بين الخطوط عندما يكون نصف القطر أصغر من 250 m حسب الجدول (8-3) التالي:

الجدول (8-3) مقدار زيادة التباعد بين خطوط المسارات حسب نصف القطر

نصف القطر	الزيادة	نصف القطر	الزيادة
m	mm	m	mm
250	0	170	215
225	55	150	305
200	120	120	700
180	180	100	1100

2-3-3-3- تباعد الخطوط في المحطات:

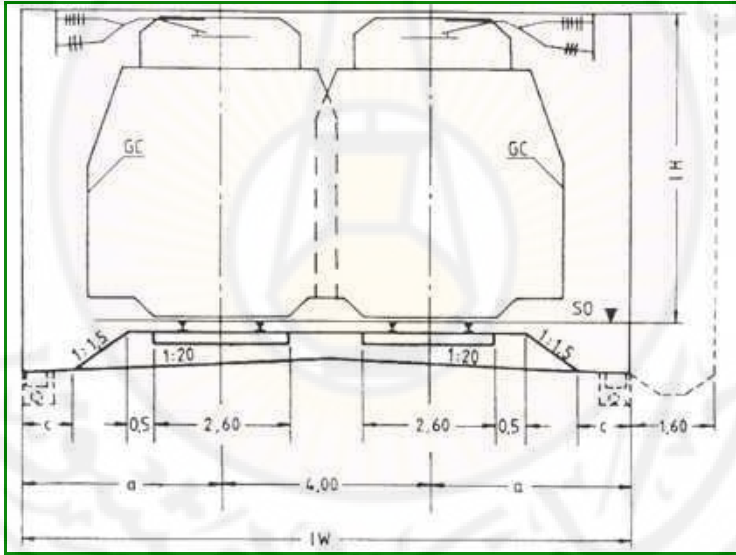
يبلغ التباعد بين الخطوط في المحطات 4,50m، ويعطى في الجدول (9-3) تباعدات أخرى بين خطوط المحطات.

الجدول (9-3) التباعد بين خطوط المسارات في المحطات

التباعد m	نوع الخطوط
4,00 m	التباعد الأصغري
4,50 m	التباعد الأصغري للخطوط الجديدة
4,75 m	وجود إشارات ضوئية بين الخطوط
5,80 m	وجود ممرات خدمة بين خطوط الشحن
4,75 m	- بين خطوط رئيسية $V \leq 160 \text{ Km/h}$ - بين خطوط ثانوية

3-3-3-3- تباعد الخطوط عن المنشآت الثابتة:

يجب تحديد البعد الأفقي بين محور الخط الحديدي وبين حدود المنشآت (جسور، جدران استنادية، جدران الحماية من الضجيج...)، مع ترك مسافة كممنطقة خطرة بعرض 2.50 m في حالة السرعة أقل من 160 Km/h، وتصل إلى 3.0 m عندما تكون السرعة $160 < V \leq 300$ Km/h. يفضل ترك مسافة أمان بعرض 0.80–2.20 m. يحدد المجال الحر للحركة بالمسافة بين حدي المنشأة (عرض المجال الحر) L_w وبالارتفاع بين مستوى السطح العلوي للقضبان الفولاذية وبين مستوى سقف المنشأة (الارتفاع الضوئي) L_H كما في الشكل (60-3).



الشكل (60-3) تباعد الخطوط عن المنشآت الثابتة

وبين الجدول (10-3) قيم أبعاد a ، c ، L_w بالعلاقة مع السرعة V .

الجدول (10-3) الأبعاد الخاصة بتحديد عرض المجال الحر للمسار

السرعة	a	c	L_w
$v \leq 160$ Km/h	3,30	0,80	10,60
$160 < v \leq 200$ Km/h	3,80	0,80	11,60
$200 < v \leq 500$ Km/h	4,30	0,80	12,50

يحدد الارتفاع L_H في حالة الخطوط الحديدية العادية (غير المكهربة) بمقدار 4.90 m لسرعات أقل من 200 Km/h ويبلغ في حالات أخرى حتى 5.10 m. أما في الخطوط المكهربة فيتعلق هذا الارتفاع بنوع بناء منشأة التغذية الكهربائية وبالسرعة، الجدول (11-3).

الجدول (11-3) الارتفاع الضوئي حسب السرعة ونوع الخطوط

الارتفاع الضوئي (L_H)		V_e (Km/h)
خطوط المسارات	خطوط المحطات	
6,15 m	5,70 m	$V \leq 160 \text{ Km/h}$
6,40 m	5,90 m	$160 < V \leq 200 \text{ Km/h}$
7,20 m	6,70 m	$200 < V \leq 300 \text{ Km/h}$
7,90 m	7,40 m	$200 < V \leq 300 \text{ Km/h}$

4-3-3-3- تصنيف الخطوط الحديدية:

قام الاتحاد الدولي للسكك الحديدية UIC بتصنيف الخطوط الحديدية في أربعة زمر رئيسية وأربعة فرعية تبعاً لخصائص هذه الخطوط (وزن القضيب، تباعد العوارض) وذلك حسب وزن القطبة المحوري والحمولة الموزعة على المتر الطولي من الخط وذلك حسب الجدول (12-3) التالي:

الجدول (12-3) تصنيف الخطوط الحديدية حسب UIC

التصنيف	الحمولة المحورية P			
	A	B	C	D
الحمولة الموزعة بانتظام على الخط	16 t	18 t	20 t	22.5 t
5 t/m	A	B ₁		
6.4 t/m		B ₂	C ₂	D ₂
7.2 t/m			C ₃	D ₃
8t/m			C ₄	D ₄

P: الحمولة المحورية.

Q: الحمولة بوحدة الطول، يعني مجموع وزن العربة ووزن الحمولة مقسوماً على طول العربة، ومعرفة قيمة هذه الحمولة مهم عند تصميم الأعمال الصناعية.

الفصل الرابع تخطيط الخط الحديدي Planning of Railway Track

4-1- مقدمة:

عندما يراد إنشاء خط حديدي بهدف تأمين خدمات النقل بين المدن أو بين المراكز الاقتصادية الصناعية والزراعية والسياحية أو بين الدول، فيجب الأخذ بعين الاعتبار أن يتم هذا الإنشاء بأنسب الشروط الفنية والتكاليف المعقولة وذلك بعد إجراء دراسة مستفيضة للمناطق التي سيمر منها هذا الخط الحديدي وتشمل هذه دراسة المجالات التالية:

(اقتصادية، جغرافية، اجتماعية، طبوغرافية، بيئية، جيولوجية التربة، هيدرولوجية،... الخ)

4-2- تحديد المسار:

يتم وضع عدة حلول واقتراحات للمسار بعد معرفة نقطتي بداية ونهاية المسار، آخذين بعين الاعتبار النقاط الرئيسية التي يجب أن يخدمها المسار (نقاط الجذب) وكذلك النقاط الصعبة التي لا يسمح بالمرور بها (مناطق المقدسات، مستنقعات المياه، المسيلات الكبيرة مناطق ذات تربة ضعيفة... الخ)، وذلك بعد القيام بمسح استطلاعي سريع لشريحة الأرض التي سيمر منها المسار المقترح، و يتم توقيع الحلول المقترحة للمسار على خرائط طبوغرافية بمقياس (1/25000 أو 1/50000) حسب المتوفر. ثم تجري مقارنتها فنياً واقتصادياً مع الأخذ بعين الاعتبار عوامل كثيرة مؤثرة في اختيار الحل الأمثل للمسار.

إن الدراسة الاستطلاعية وسيلة للوصول إلى اختيار المسار الأفضل ويجب الاهتمام بدراسة المنطقة المحيطة بالمسار المقترح حتى يمكن استطلاع البدائل.

أما الغاية من المسح التفصيلي فهي عمل خرائط طبوغرافية وافية للمسار الذي وقع عليه الاختيار من واقع المسح الاستطلاعي والدراسة الاقتصادية والهندسية والتي تشمل الميول وأطوالها وأنصاف أقطار المنحنيات ومقدار الحفر والردم وكذلك الأعمال الصناعية كالجسور والعبارات والأنفاق هذا بجانب طبيعة التربة المارة بها السكة إذ يتم إعداد خرائط مساحية بمقياس رسم $\frac{1}{1000}$ أو $\frac{1}{5000}$ مبيناً عليها جميع التفصيلات بالمنطقة.

4-2-1- الأسس والعوامل العامة لاختيار محور الخط الحديدي:

1- العامل الاقتصادي: من نواحي الكلفة الإنشائية والكلفة الاستثمارية وتحديد العوائق الطبيعية والصناعية وتقدير الحالة الهيدرولوجية وطبيعة التربة.

2- العامل الفني: من حيث مطابقة المواصفات الفنية التصميمية وفق دفتر الشروط الفنية الموضوع وحساب قيم الميول والأطوال وعدد المنحنيات الأفقية والعمودية وعدد الأعمال الصناعية من عبارات ومعايير وجسور وأنفاق وجدران استنادية وتقاطعات... الخ.

3- العامل الجمالي: من حيث وجهة النظر المعمارية للمسار ومعرفة مدى ملائمة المسار للطبيعة المار فيها.

4- العامل البيئي: يجب الأخذ بعين الاعتبار عند وضع المسار بعدم الإضرار بالطبيعة وتلويثها وذلك بوضع حواجز حماية عند اللزوم.

4-2-2- القواعد والشروط الفنية التي يجب مراعاتها عند تصميم محور الخط الحديدي:

عند تصميم الخط الحديدي ودراسة خط المشروع له يجب الأخذ بعين الاعتبار مجموعة من القواعد والشروط:

- طبوغرافية المنطقة.

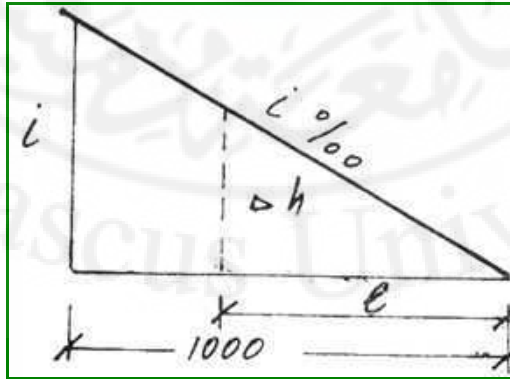
- في المناطق السهلية يجب أن يكون منسوب خط المشروع أعلى من منسوب الأرض الطبيعية بمقدار 0,5 m لتجنب غمر جسم الخط بالمياه في موسم الأمطار والسيول.

- الإقلال ما أمكن من كميات الأعمال الترابية وتجنب الردميات العالية أو الحفريات العميقة، وبأن تكون كمية (حجم) أعمال الردميات أكبر أو تساوي كمية أعمال الحفريات أو حجمها.
- عدم تجاوز ميل أي قسم من أقسام خط المشروع الميل الأعظمي المسموح به للخط الحديدي في تلك المنطقة.
- يجب لحظ منسوب مناسب لخط المشروع عند تقاطعه مع عوائق مائية أو طرق (بمستوى واحد أو بمستويين مختلفين) بحيث يحقق منسوب الخط إمكان إنشاء عبارة أو جسر فوق العائق المائي وتقاطع ملائم مع الطرق من الدرجات المختلفة.
- يجب ألا يقل طول الاستقامة ذات الميل الواحد عن نصف طول القطار (أو ثلثه في الحالات الصعبة)، يجب في الخ ح س ألا يقل هذا الطول عن 250-300 م.
- يجب ألا يزيد الفرق الجبري لميلين متجاورين على حد معين حسب درجة الخط الحديدي (6 أو 8 أو 12 بالآلف) واصطلاح أن يكون الميل الصاعد موجباً والميل الهابط سالباً لاتجاه السير المعتمد.
- يجري وصل أقسام المقطع الطولي المتجاورة بوساطة منحنيات شاقولية ذات أنصاف أقطار كبيرة /25000/ متر وبحد أدنى /5000/ متر في المناطق الجبلية الصعبة. هذا في حال كون الفرق الجبري بين هذين الميلين يزيد على 1‰ (واحد بالآلف) وفي بعض الحالات 3‰.
- إن خبرة المهندس تلعب دوراً كبيراً في اختيار المسار وتستخدم عدة طرق منها طريقة (خط الصفر) والتي تعطي خطأً أو مساراً ذو ميل محدد يلائم طبوغرافية المنطقة وكذلك الميل الأعظمي المسموح به لخط المشروع ويكون حجم الأعمال الترابية الناجمة وفق هذه الطريقة في حدها الأدنى ونقل أنها قريبة من الصفر.

ويمكن تعريف المصطلحات التالية:

- حرم الخط الحديدي: هو القسم من الأرض التي يمر بها مسار الخط وينشأ عليها منشآت الخط من محطات ومرافق وتجهيزات... الخ.
 - مسار الخط الحديدي: هو الخط الفراغي الانسيابي المستمر والمؤلف من استقامات ومنحنيات فراغية.
 - محور الخط الحديدي: هو المسقط الأفقي لمسار الخط والمؤلف من استقامات ومنحنيات.
 - خط المشروع: هو المسقط الجبهي لمسار الخط بعد نشر محوره.
- 3-2-4 - كيفية انتقاء المسار بين نقطتين على المخطط الطبوغرافي:

إن عملية انتقاء مسار بين نقطتين A، B على المخطط الطبوغرافي الذي يحوي خطوط مستوية ونقاط علام توضع بجانبها مناسيبها وأيضاً يحوي مختلف العوائق والقرى والمدن وحدودها... تعتمد على طريقة خط الصفر وبالتالي تحديد طول القطعة التي تعبر عن المسقط الأفقي لنقطتين الفرق بين راقيمهما (منسوبيهما) هو البعد الرأسي الثابت بين خطي تسوية متجاورين (5 أمتار أو متر واحد)، حسب المخطط الطبوغرافي.



الشكل (1-4) حساب الطول L

نلاحظ من الشكل (1-4) أن:

$$l = \frac{1000 \Delta h}{i} (m)$$

فإذا أردنا واحدة الطول L بالمم وكان البعد الرأسي الثابت خمسة أمتار ومقياس المخطط الطبوغرافي $\frac{1}{S} = (1:25000)$ مثلاً لحصلنا على المعادلة التالية:

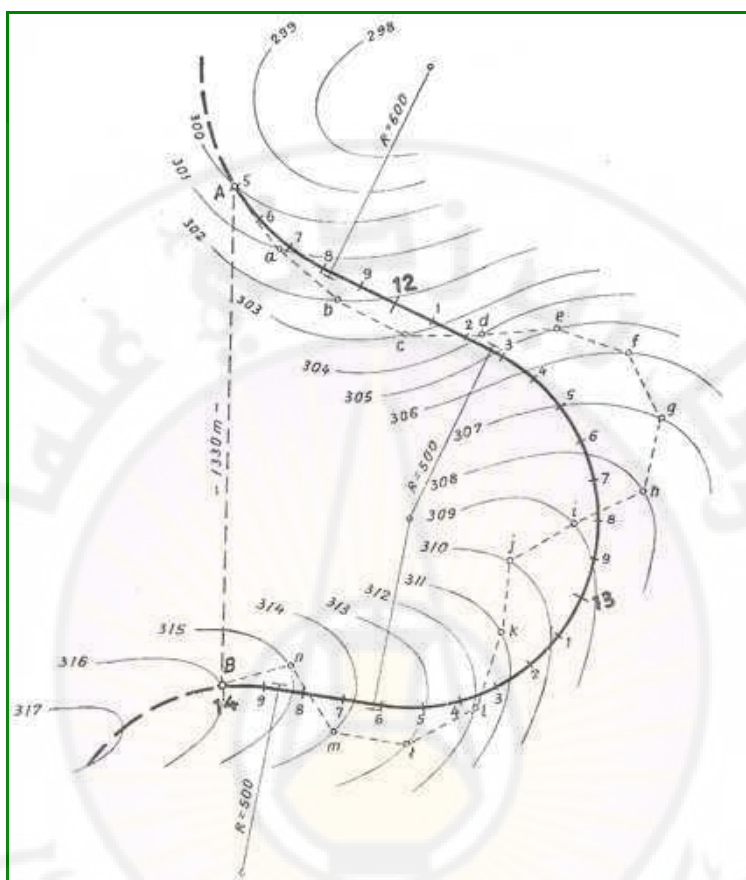
$$L = \frac{\Delta h * 10^6}{i_{\max} S} = \frac{5 * 10^6}{i * 25000} = \frac{200}{i_{\max}} mm$$

حيث $i_{\max}$: قيمة الميل الأعظمي للخط الحديدي بالآلف (في المؤسسة العامة للخطوط الحديدية السورية «خ ح س» i يساوي 8 أو 12 أو 20 ‰) ولكننا غالباً ما نعلم إلى تخفيض $i_{\max}$ بالمقدار $i_r = \frac{700}{R}$ وهو قيمة الميل المعادل لمقاومة حركة القطار في المنحنيات.

$i_r = 0.5 - 1.3\%$ ويمكن اعتبار القيمة $i_r \cong 1$ لهدف تبسيطي، وبهذا تأخذ المعادلة شكلها النهائي على نحو:

$$L = \frac{200}{(i_{\max} - 1)} (mm)$$

يوضح الشكل (2-4) طريقة اختيار محور الطريق استناداً إلى طريقة (خط الصفر) التي تتم كما يلي:



الشكل (2-4) طريقة اختيار محور الخط الحديدي استناداً إلى طريقة (خط الصفر)

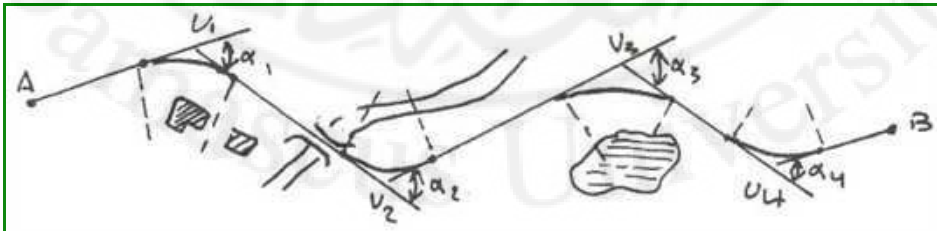
تفتح الفرجار بفتحة قدرها L ، نركز الإبرة في نقطة بداية محور الخط A على خط تسوية معين ونرسم قوساً من دائرة بحيث يقطع خط التسوية التالي في النقطة I ، ونرسم من النقطة I قوس دائرة نصف قطرها L السابقة فيقطع خط التسوية التالي بنقطتين 2، 2" وهكذا دواليك... فنحصل بالنتيجة على خطين منكسرين يمثل كل منهما المحور المقبول للخط المقترح بالحد الأدنى للأعمال الترابية من حفر وردم واستناداً إلى هذا الخط المنكسر (الذي يجري تقليص عدد خطوطه المنكسرة المتتالية بخطوط منكسرة مكافئة بطريقة فنية تكتسب بالخبرة).

نحدد الضلع الأفقي لمحور الخط الذي يتألف من تتابع استقامات تحصر بينها زوايا دوران صغيرة قدر الإمكان.

نغلف ذروات المضلع الأفقي في مناطق انكساره بمنحنيات ملائمة بوساطة مساطر خاصة بمقياس المخطط لاتقل أنصاف أقطارها عن R_{min} المحدد في الشروط التصميمية لهذا الخط، فتتحدد لدينا المنحنيات ونحصل بذلك على محور الخط المؤلف من استقامات ومنحنيات.

عند وصل أقسام الخط المنكسر مع بعضها يجب السعي بان تكون زوايا الدوران صغيرة بقدر الإمكان انظر الشكل (3-4).

كما أن الخطأ في انتقاء خط المحور يؤدي إلى زيادة غير مبررة في حجم الأعمال الترابية.



الشكل (3-4)

في حال وجود محطات على قسم الخط الحديدي فإنه يجب تحديد المسافات المثلى بين هذه المحطات من حيث قربها من التجمعات السكنية والاقتصادية من جهة ومن حيث تامين الحد الأقصى للإمكانات التمريرية للخط الحديدي (في حال الخط الحديدي المفرد) من جهة أخرى، كما يجب السعي لان تكون خطوط المحطة كافة بما في ذلك مفاتيح المدخل والمخرج لها واقعة على خط مستقيم وأفقي. إلا أنه يسمح في حالات الضرورة إنشاء خطوط المحطات على منح لا يقل نصف قطره عن 600 متر وبميل على الأفق لا يزيد على 1.5-2.5 بالآلف كحد أقصى.

في حال وجود منحنيين دائريين متتابعين (متعاكسين أو باتجاه واحد) فيجب ترك مسافة مستقيمة بينهما لا تقل عن 75 متراً.

نتيجة المقارنة بين المسارات الموضوعة وذلك بعد إجراء المسح الاستطلاعي لها على الطبيعة ووصفها بشكل تقريبي وبالنظر إلى العوامل المذكورة سابقاً يتم اختيار المسار الأفضل للخط الحديدي ومن ثم يجرى المسح التفصيلي له وينظم المسطح الأفقي والمقطع الطولي والمقاطع العرضية النموذجية والتفصيلية وتحدد أماكن التقاطعات وأماكن الأعمال الصناعية وذلك وفق مقاييس رسم مناسبة.

4-3- تنظيم المقطع الطولي:

يعد مخطط المقطع الطولي من أهم وثائق إنشاء الخط الحديدي واستثماره فتظهر في المقطع الطولي مثلاً: خط المشروع ومناسيبه، مواقع الحفريات والردميات وارتفاعها، أمكنة توضع الأعمال الصناعية ومواصفاتها الرئيسية (الجسور وأطوالها، العبارات وفتحاتها، الأنفاق وأطوالها، الجدران الاستنادية،... الخ)، ميول خط المشروع وأطوال أقسامه المختلفة والأوتاد الكيلومترية، جيولوجية المنطقة التي يمر بها الخط الحديدي وأهم المعالم الطبيعية على طرفي محور الخط ، كما يبين في أسفل مخطط المقطع الطولي الأقسام المستقيمة والأقسام المنحنية من محور الخط مع المعطيات اللازمة كافة لهذه المنحنيات. (انظر الشكل 4-4) الذي يبين مقطعاً طوالياً لقسم من الخط الحديدي.

4-3-1- مراحل دراسة ورسم المقطع الطولي:

- الحصول على المسطح الطبوغرافي الذي يحوي على خطوط التسوية.
- رسم مسار الخط على المخطط السابق دون رسم منحنيات الوصل المتدرجة.
- ويجب مراعاة الأمور التالية:
- عدم تجاوز الحد الأدنى لـ R للمنحنيات الأفقية.
- تحديد النقاط الرئيسية الهامة على المسقط الأفقي (نقطة مسيل، طريق، خط كهرباء، التقاطع مع خطوط التسوية).
- إملاء جدول المسافات والارتفاعات.
- اختيار مقياس الرسم المناسب.
- اختيار أبعاد ورق الرسم.
- رسم خط المشروع (الخط الأحمر) والانتباه إلى عدم تجاوز قيمة الميل الأعظمي وعدم وقوع العبارات في الحفر والتعاقد قدر الإمكان مع المسيلات والطرق الإسفلتية.
- تحديد مستوى المقارنة، وهو عبارة عن رقم ثابت ننسب له كافة النقاط ويختار مناسباً لمقياس المقطع.
- تحديد أرقام المقاطع العرضية في المسقط الأفقي وتذييلها على المقطع الطولي.
- تنزيل المسافات الجزئية بين المقاطع وتكتب أفقياً بجانب المقطع أما المسافات التراكمية فتكتب شاقولياً بجانب المقطع.
- يكتب منسوب الأرض الطبيعية بحقل خاص ويفيد مع منسوب خط المشروع في إيجاد ارتفاع المقاطع العرضية.
- تحديد منسوب خط المشروع، أي منسوب التأسيس على الجسم الترابي تحت طبقة البلاست ويعتمد منسوب محور الخط.

- تنزيل الميول ومسافاتهما برسم خط مائل يشير إلى اتجاه الميل وتحتته مسافة هذا الميل.

- تنزيل المنحنيات وعناصرها، وتحديد النقاط الحاكمة الإجبارية.

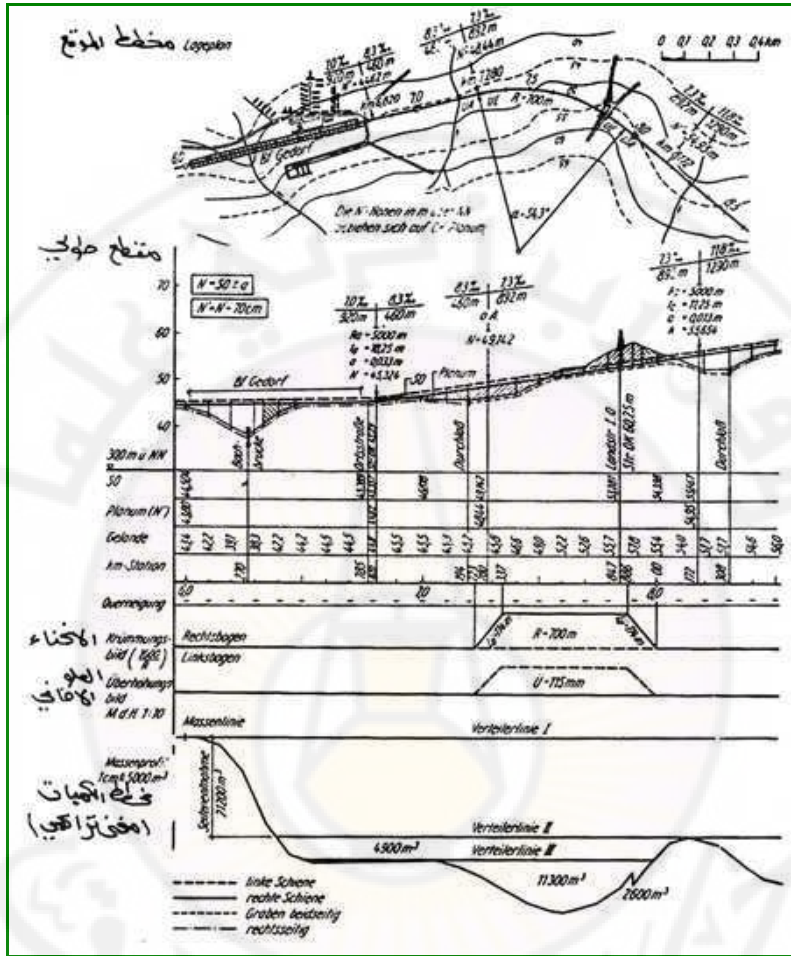
- تحديد موقع الأعمال الصناعية، ويجب أن لا تقل سماكة التربة فوق العبارة عن 80 cm لحمايتها من الانكسار.

- تنزيل النقاط الهيكترية وتدل على المسافات الأفقية لكل 1 هيكتر (100 m).

- تنزيل النقاط الكيلومترية وتدل على المسافات الأفقية لكل 1 km (1000 m).

2-3-4- رسم المقطع الطولي:

يتم رسم المقطع الطولي بحيث يكون مقياسه الأفقي كمقياس رسم الخريطة المساحية $\frac{1}{1000}$ أو $\frac{1}{5000}$ ومقياسه الشاقولي $\frac{1}{100}$ أو $\frac{1}{500}$ وترسم المقاطع العرضية بمقياس $\frac{1}{1000}$. ويجب ألا يزيد الميل الأعظمي عن 20 % للخط، أما في المحطة يجب ألا يتجاوز الميل القيمة 2% وعلى كامل طولها، حيث نعبر عن ميل السكة الحديدية بالآلف (mm/m) ونكتفي برقم واحد فقط بعد الفاصلة.



الشكل (4-4) تنظيم المقطع الطولي

4-3-3- المقاطع العرضية:

يعرف المقطع العرضي بأنه المقطع الشاقولي المتعامد مع المقطع الطولي ويظهر عليه منسوب الأرض الطبيعية في هذا المقطع تبعاً لخطوط التسوية ومنسوب خط المشروع والفرق بينهما، ويحدد عليه أيضاً عرض المقطع العرضي النموذجي من الأعلى والميول الجانبية وبالتالي عرض القاعدة من الأسفل، ويتألف مقطع الردم من عدة طبقات ترابية لاتزيد سماكة إحداها عن 20 cm ويتم رص هذه الطبقات.

4-4- ميول الخط الحديدي:

نعبر عن ميل الخط الحديدي بالألف (مم شاقولياً/ م أفقياً) وبرقم واحد فقط بعد الفاصلة نميز في المقطع الطولي الأنواع التالية من الميول:

1- الميل الاعظمي:

هو أكبر ميل يمكن استخدامه الخط الحديدي على قسم معين منه (قسم حمص، دمشق أو القامشلي، حلب أو جسر الشغور، اللاذقية...) إن لتحديد قيمة الميل الأعظمي انعكاسات اقتصادية وهندسية بالغة الأهمية، ولذلك تجري دراسات اقتصادية شاملة للوصول إلى القيمة المثلى للميل الأعظمي لخط والذي يتبع أيضاً درجة تصنيف الخط الحديدي تضاريس المناطق التي يمر منها.

نورد في الجدول أدناه قيم الميول الأعظمية المستخدمة في مختلف أقسام الخطوط الحديدية السورية الحديثة الجدول (1-4).

الجدول (1-4) قيم الميول الأعظمية في الخطوط الحديدية السورية

الميل بالألف	القسم	الميل بالألف	القسم
6	القامشلي - حلب - جسر الشغور	12	دمشق - حمص - حلب - وبالعكس
8	جسر الشغور - حلب - القامشلي		
12	جسر الشغور - اللاذقية - وبالعكس	20	حمص - العكاري - طرطوس - وبالعكس
12	اللاذقية - طرطوس - وبالعكس	12	دمشق - درعا - الحدود الأردنية - وبالعكس

2- الميل الحسابي:

وهو ارتفاع يميل بميل يساوي الميل الأعظمي أو قريب منه، تستنفذ القاطرة عند جر القطار الثقيل عليه القدرة الحركية الكامنة للقطار وتتابع جره باستخدام القوة الجرية العظمى لها ولمدة لا تتجاوز نصف ساعة.

تستخدم قيمة الميل الحسابي لتحديد الوزن الأعظمي للقطار الذي تستطيع قاطرة من طراز ما جره على كامل قسم الخط كما سنرى لاحقاً.

3- الميل الضار:

وهو منحدر طويل بميل كبير نسبياً يضطر سائق القطار أثناء السير عليه إلى استخدام الألجمة لمنع الحركة التسارعية للقطار حتى لا يتجاوز حدود السرعة العظمى المسموحة له، نلاحظ أن الميل الحسابي غالباً ما يصبح ميلاً ضاراً في الاتجاه المعاكس لحركة القطار.

4- الميل المكافئ:

وهو يكافئ عدة ميول متجاورة من النوع نفسه (صعوداً أو هبوطاً). تحدد قيمة الميل المكافئ على أساس القيمة الوسطية المثقلة (الموزونة) لهذه الميول المتجاورة أي:

$$i_{eq} = \frac{i_1 \cdot l_1 + i_2 \cdot l_2 + i_3 \cdot l_3 + \dots + i_n \cdot l_n}{l_1 + l_2 + l_3 + \dots + l_n} \%$$

يستخدم الميل المكافئ عند تنظيم المقطع الطولي المبسط وكذلك حين إجراء الحسابات الجبرية.

نصادف أيضاً ما يسمى الميل المكافئ للمنحنيات الأفقية i_r الذي ورد في البند السابق نظراً لظهور مقاومة إضافية لسير القطار في المنحنيات، فإننا نعاذل هذه المقاومة بمقاومة سيره على استقامة بارتفاع i ، تحسب القيمة i_r تجريبياً وسنعتدها مساوية لـ:

$$i_r = \frac{700}{R} \%$$

حيث R نصف قطر المنحني بالأمتار.

4-5- مراحل إعداد الدراسة:

بعد زيارة الموقع واستيعاب المسألة المطلوبة وتحديد حجمها وعدد العناصر اللازمة لإنجاز العمل والمدة الزمنية المطلوبة يتم إنجاز المراحل التالية:

- مرحلة أولى يتم في نهايتها تقديم الحلول المقترحة والمقارنة بينها.

- مرحلة ثانية تبدأ بعد اعتماد المرحلة الأولى ويتم في نهايتها تقديم الدراسة التنفيذية للمشروع.

- المرحلة الثالثة تقدم في نهايتها الإضبارة التنفيذية للحل المعتمد ويكون سير العمل بالتشاور مع المدقق والجهة صاحبة المشروع.

1- المرحلة الأولى من إنجاز العمل:

- يتم وضع المسارات السككية (مسارين أو أكثر) على مخططات من مقياس $\frac{1}{25000}$ أو $\frac{1}{50000}$ حسب المتوفر وتحديد التقاطعات.

- يتم استقراء نقاط المسار من التربيع الموجود على المخططات السابقة (تربيع لامبير في مخططات $\frac{1}{25000}$ أو تربيع ميركاتور في مخططات $\frac{1}{50000}$) ومن ثم يتم تحويل هذه النقاط إلى الجملة العامة الستيريوغرافية (إما داخلياً بالنسبة لتحويل نقاط تربيع لامبير أو ضمن المؤسسة العامة للمساحة عند تحويل نقاط تربيع ميركاتور). ومن ثم يتم إنجاز هذه المرحلة وفق ما يلي:

- زيارة الموقع وتوضيع المسارات المقترحة وفق النقاط الستيريوغرافية المحددة سابقاً.
- تحديد العوائق الواقعة على هذه المسارات (خطوط كهرباء أو أبراج، خطوط مياه أو نقط أو غير ذلك من العقبات) ومحاولة تعديل المسار عند ضرورة ذلك.
- تقدير الحالة الهيدرولوجية للموقع والمسيلات المائية الموجودة وتحديد سرعة الجريان فيها بشكل أولي.
- دراسة جيوتكنيكية أولية وذلك لتقييم نوعية التربة السطحية للموقع وتربة قاع الأنهار إن وجدت.
- ربط الدراسة بدراسات التخطيط الإقليمي.

- القيام بالدراسة المرورية إذا لزم الأمر والتي تعتبر أساساً في الدراسة الطرقية والسككية وتشتمل على:
 - قياس الغزارات وتحديد الغزارات المتوقعة على السكة.
 - تحديد عدد مسارات السكك والمقطع العرضي للسكة.
 - تحديد العناصر الأولية في التصميم الهندسي للسكة: (السرعة التصميمية أنصاف الأقطار، الحمولات التصميمية، الميول) مع التنويه للنورم المستخدم.
 - القيام بدراسة الجدوى الاقتصادية إذا لزم الأمر ودراسة المقارنة الفنية الاقتصادية بين الحلول المقدمة واختيار الحل الأمثل.
 - الدراسة البيئية إذا لزم الأمر.
 - يتم رسم مخططات بشكل مناسب تتوضع عليها المسارات والنقاطات المقترحة وتوصيفها مع العوائق المرفوعة.
 - يتم إرسال المخططات المقترحة للجهة صاحبة المشروع والمدقق وذلك لاعتماد أحد المسارات بشكل رسمي.
 - يتم مراسلة الجهات الرسمية التي يتوفر لديها خدمات في الموقع ليتم تحديد هذه الخدمات بدقة وتحديد كيفية التعامل معها.
 - يتم تنظيم زيارة مشتركة مع المدقق والجهة صاحبة المشروع للموقع للاطلاع والموافقة على المسار.
- 2- المرحلة الثانية من إنجاز العمل:

أ- بعد أن يتم اعتماد أحد الحلول المقترحة والموافقة عليه رسمياً يتم ما يلي:

- الرفع الطبوغرافي تقوم الفرق الطبوغرافية باستطلاع نقاط المثلثات وعلامات التسوية الموجودة على المسار وفي الموقع ويتم مراسلة الجهات المختصة (المؤسسة العامة

للمساحة، مصالح عقارية، خدمات فنية...) للحصول على وثائق لنقاط المتثلثات وعلامات التسوية.

- يتم زراعة مرصد المضلعات والحصول على الإحداثيات الثلاثية للمرصد.
- يتم إجراء مسح شريطي للمسار المعتمد وذلك وفق شروط العقد وكذلك مواقع التقاطعات.

- تحول هذه البيانات إلى مخططات طبوغرافية للموقع بمقياس $\frac{1}{1000}$ أو $\frac{1}{500}$.

ب- التحريات والدراسات الهيدرولوجية:

يتم إرسال نسخة عن المسار على المخططات الطبوغرافية ($\frac{1}{1000}$ أو $\frac{1}{500}$) ومخططات ($\frac{1}{25000}$ أو $\frac{1}{50000}$) لمكتب الدراسات الهيدرولوجية وذلك لإجراء الدراسات الهيدرولوجية المطلوبة للموقع وتحديد الأحواض الصبابة والغزارات المائية وأماكن وأبعاد العبارات، وعند وجود انهار يتم تحديد الغزارة المائية للنهر ومنسوب الماء الأعظمي والأصغري.

ج - الدراسة الجيوتكنيكية ودراسة خواص التربة واستقرار المنطقة جيولوجياً:

- فحص التربة على طول المسار لمعرفة نوعية الترب وتغيراتها وأخذ عينات بواقع ثلاث عينات كل (1000 m) وفي الأماكن التي يراها المكتب ضرورية.
 - إجراء السبور تحت الركائز بمعدل سبرين تحت كل ركيزة أو أكثر.
 - التحري عن مستوى الصخر القاعدي عند المنشآت الرئيسية.
- تتضمن الفقرات السابقة إجراء اختبارات للرطوبة، الكثافة، CBR، الكثافة الجافة العظمى، قيمة الاهتراء خصائص اللدونة والاختبارات الأخرى الضرورية.

د- اختيار مواقع مواد الإنشاء الترابية:

دراسة مواد الإنشاء اللازمة لإنجاز المشروع والقريبة من موقع العمل والاتصال من أجل ذلك بالجهات المسؤولة مثل مديريات الخدمات أو البلديات أو غير ذلك.

هـ- الدراسة السككية:

- دراسة الموقع العام والمساحات بمقياس 1/1000 والعناصر الأفقية التصميمية.
- دراسة المقاطع الطولية بمقياس 1/100-1/1000 تبين مناسيب الأرض الطبيعية والمناسيب التصميمية وتفاصيل المنحنيات الأفقية والشاقولية ومواقع أقنية التصريف والتجهيزات السككية.
- دراسة تصميم عناصر السكة ودراسة المقطع العرضي النموذجي.
- دراسة المقاطع العرضية التنفيذية كل /25 m/ وعند كل تغير في الأرض الطبيعية والميول الطولية.
- استناداً إلى نتائج اختبارات التربة ومواد الإنشاء تحدد ميول المنحدرات، متطلبات الرص، تصميم طبقات الردم والمعالجات الهندسية الأخرى التي تملئها المواد الطبيعية المتوفرة مع الأخذ بعين الاعتبار الحمولات المحورية والمستقبلية وتحديد أماكن توفر مواد الإنشاء.
- و- دراسة التقاطعات والممرات السطحية:
- دراسة واختيار موقع وشكل العقد التبادلية بما يخدم ربط المدن والبلدان القائمة على السكة الحالية.
- دراسة المحاور وحساب الإحداثيات العامة للمحولات والمبدلات وحساب عناصر المنحنيات الأفقية.
- دراسة المسطح وإشارات المرور.

- دراسة المقاطع الطولية.
- دراسة المقاطع العرضية النموذجية.
- دراسة المقاطع العرضية التنفيذية.
- ز- دراسة الأعمال الصناعية:
- بعد تحريات التربة والهيدرولوجيا وإجراء الدراسة الجيوتكنيكية الواردة في الفقرات السابقة (ب، ج) والتدقيق على الهزات الأرضية والزلازل.
- الدراسة الإنشائية للعبارات اللازمة لتصريف مياه الأمطار.
- تنفذ الدراسة الإنشائية للجسور والمعابر على التقاطعات والمسيلات (أساسات، ركائز، بلاطات، أرصفة، درايزين...).
- ح- إعداد جداول الكميات ودفاتر الشروط الفنية الخاصة بالتنفيذ وجداول تحليل الأسعار والكشف التقديري للمشروع.
- ط- في نهاية هذه المرحلة يتم تقديم نتائج الدراسات المنجزة إلى الجهة المدققة والجهة صاحبة العمل ليتم الموافقة عليها.
- ي- تقديم مخططات شرائح الاستملاك.
- 3- المرحلة الثالثة:
- بعد الحصول على الموافقة الرسمية على الدراسات المنجزة سابقاً من قبل الجهتين المدققة وصاحبة العمل يتم في هذه المرحلة إعداد الإضبارة التنفيذية للمشروع وفق شروط العقد وعادة تشمل المخططات التنفيذية:
- 1- مخططات تنفيذية للخطوط (مسطحات أفقية، مقاطع طولية، مقاطع عرضية ونموذجية... الخ).
- 2- مخططات الأعمال الصناعية (الجسور والأنفاق والعبارات والجدران الاستنادية... الخ).

- 3- مخططات الشبكات للتغذية (بالماء والكهرباء والتدفئة والصرف الصحي).
 - 4- المخططات المتعلقة بحماية البيئة وحماية الأراضي المتضررة من إنشاء الخط الحديدي.
 - 5- مخططات المنشآت المعقدة وطريقة تركيبها.
 - 6- مخططات تفصيلية للمنشآت المعدنية وشبكات الأنابيب للتغذية بالهواء المضغوط.
 - 7- جدول بحجم الأعمال الإنشائية وحجم أعمال التركيبات.
 - 8- جدول بحجم المواد والتجهيزات.
 - 9- جدول تفصيلي بمواصفات المواد والتجهيزات اللازمة للإنشاء وتوضع المخططات التنفيذية من قبل الجهة الدارسة وفق المواصفات والشروط الفنية المصدقة.
- 4-6- البرمجيات والنورمات المعتمدة:
- يتم إنجاز الحسابات الطبوغرافية والسككية بالاستعانة ببرنامج Eagle Point وبرنامج Land Development ومجموعة برامج موضوعة محلياً.
 - فيما يتعلق بالحسابات الإنشائية فيتم الاعتماد على برنامج SAP2000 ونسبة أقل على برنامج Robot بالإضافة لمجموعة برامج موضوعة محلياً.
 - أما رسم المخططات فيتم إنجازه باستخدام برنامج AutoCAD.
 - يتم التصميم باعتماد توصيات النورم الروسي للجسور والأنفاق CHNII وتوصيات AASHTO وبعض النورمات العالمية UIC الاتحاد الدولي للسكك الحديدية أيضاً.
 - اعتماد الدراسة السككية حسب مواصفات UIC وأحياناً على النورم الألماني.

4-7- دفاتر الشروط الفنية وجداول شمولية الأسعار.

1- المرجعية:

المواصفات والشروط الفنية الصادرة عن الاتحاد الدولي للسكك الحديدية UIC والتعليمات الصادرة عن المؤسسة العامة للخطوط الحديدية السورية.

المواصفات والشروط الفنية لأعمال الطرق والجسور الصادرة عن وزارة المواصلات لعام 2002، إلا في بعض الحالات الخاصة غير المتضمنة في هذه المرجعية فنلجأ لبعض المصادر الأخرى الألمانية أو الروسية أو الأوربية...

2- يجب إعداد دفتر شروط فنية خاصة لكل دراسة تنفيذية على حدا وفق البنود المدرجة للأعمال دون إغفال أي بند وارد في الدراسة التنفيذية.

3- دفتر شمولية السعر: يجب أن يشمل كامل الأعمال ويذكر بالتفصيل مشتملات السعر كي لا يحصل التباس أثناء التنفيذ ويعتمد دليل تحليل الأسعار الصادر عن وزارة الإسكان والتعمير.

4- يجب الموافقة بين مشتملات السعر وبنود وجدول الكميات.

مثال (البند الأول مشتملات السعر يقابله نفس البند في جدول الكميات وهكذا...).

5- فيما يتعلق بجداول الكميات يفضل دمج بنود الأعمال الصناعية المشتركة في بند واحد مثلاً:

- بيتون مسلح مسبق الإجهاد ماركة...

- بيتون مسلح مسبق الصنع ماركة...

- بيتون مسلح مصبوب بالمكان ماركة...

8-4- إخراج الإضبارة التنفيذية:

1- فيما يتعلق بالمذكرات ودفاتر الشروط يتم طباعة هذه الوثائق على ورق قياس A4 وهي عبارة عن مذكرات حسابية ومذكرة تفسيرية ودفاتر شروط فنية وذلك وفق ما يلي:

أ- المذكرة التفسيرية: تتضمن وصف عام للمشروع والعناصر الأساسية في التصميم والأسس المعتمدة في اختيار الحل المدروس.

ب- المذكرات الحسابية: تتضمن الأسس الحسابية والنورمات المعتمدة في التصميم بالإضافة للحسابات والتحقيقات اللازمة للعناصر المختلفة.

ج- دفاتر الشروط: يتم وضع دفاتر الشروط الفنية الخاصة وجداول تحليل الأسعار وجداول الكميات ضمن وثيقة واحدة ويوضع الكشف التقديري منفرداً ضمن مغلف خاص.

2- فيما يتعلق بالمخططات تؤخذ كافة المخططات بأبعاد موحدة (متفق عليها) توضع عليها كlišة موحدة وتتضمن المخططات التنفيذية ما يلي:

أ- المخططات السككية: تتضمن لوحات للمساحات السككية مع المعطيات الطبوغرافية، لوحات المحاور السككية والإحداثيات والمنحنيات الأفقية، المقاطع الطولية والمقاطع العرضية النموذجية والتنفيذية.

يتم إخراج اللوحات بحيث تتوضع المساحات مع المعطيات الطبوغرافية والمقاطع الطولية الموافقة على لوحات مشتركة والمقاطع العرضية النموذجية والتنفيذية.

ب- المخططات الإنشائية: تتضمن مناظر عامة للأعمال الصناعية ولوحات كوفراج ولوحات تسليح للعناصر الإنشائية المختلفة من بلاطات وجوائز وركائز وجدران استنادية وبلاطات اقتراب وغير ذلك. وكذلك لوحات للتفاصيل الإنشائية اللازمة مثل الدرابزينات والأطاريق والمساند والمقاطع العرضية

وفواصل التمدد وتفاصيل العزل وتفاصيل التصريف المطري وتفاصيل الإنارة وغير ذلك.

9-4- التمرين العملي:

- الموضوع:

انتقاء أفضل مسار للخط الحديدي المفرد الواصل بين المحطتين A و B ثم رسم المقطع الطولي المفصل لهذا المسار ومقطع عرضي لأحدى نقاط الخط الحديدي.
المعطيات وشروط التصميم:

- مخطط طبوغرافي للموقع بمقياس: 1/25000 والبعد الرأسي الثابت ما بين خطوط التسوية الواردة في المخطط (3-5) أمتار.

- مخطط مقطع طولي نموذجي للاستئناس به ومخطط المصطلحات.

- نصف القطر الأصغري للمنحنيات الدائرية $R_{\min} = 400$ أو 500 أو 600 م حسب توجيهات أستاذ المقرر، ولا تستخدم المنحنيات الانتقالية في هذا التمرين.

- الميل الأعظمي المسموح به $i_{\max} = 8$ أو 12 أو 20 ‰ حسب توجيهات أستاذ المقرر.

- يجب أن تكون المسافة المستقيمة الدنيا الفاصلة بين منحنيين دائريين 75 m.

- يجب ألا يتجاوز ميل المحطتين A و B عن 2‰ وعلى كامل طول المحطة البالغ 400 م من طرفي محورها (يعد مكان النقطة A المعطى من قبل أستاذ المقرر هو مكان محور المحطة المار من مبنى الركاب وبذلك يكون طول المحطة A ومثلها B = 800 م).

- يجب ألا يقل طول القسم الواحد من المقطع الطولي ذي الميل الواحد عن 250 m كما يجب ألا يتجاوز الفرق الجبري بين ميلين متجاورين 10‰ (يجري وصل

أقسام الميول المتجاوزة بوساطة المنحنيات الشاقولية ولكن هذا العمل غير مطلوب في هذا التمرين) ويكتفى برقم واحد فقط بعد الفاصلة لقيمة الميول.

- يجرى تحديد قيمة فتحة الفرجار (L) للحصول على خط الصفر وذلك لأقسام الخط المار في منطقة صعبة التضاريس (هضبية أو جبلية) بالعلاقة الواردة في الفقرة (4-2-3):

$$L = \frac{200}{(i_{\max} - 1)} (\text{mm})$$

المطلوب:

1- رسم ثلاثة مسارات ممكنة وجيدة هندسياً للخط الحديدي الواصل بين المحطتين A و B ومقارنة هذه المسارات الثلاثة من حيث:

- نسبة طول كل مسار إلى الطول الجيوديزي بين النقطتين A و B (طول الخط المستقيم بين A و B).

- عدد تقاطعات المسار مع الممرات المائية (أنهار، مجاري سيول أو قنوات أو ترع) والممرات الطرقية (مع الطرق المزدقة والمعبدة فقط).

- مرور المسار بمناطق ذات تضاريس صعبة أو غير مرغوب فيها (مناطق جبلية، مستنقعات، حقول مزروعة أو غابات حراجية).

- فكرة عن بعد المسارات عن المناطق المؤهلة أو قريبها منها.

- مجموع زوايا المنحنيات، وتوضع هذه المعلومات كافة في جدول مقارنة صغير. وفي ضوء هذه المقارنة ينتقى المسار الأفضل ويبين المخطط الطبوغرافي بخط سميك (0.8 mm) وبلون احمر أما المساران الآخران فيرسمان على المخطط بخط أسود واضح منقطع بسماكة 0.4 مم مع بيان المسافات الكيلو مترية.

2- رسم المقطع الطولي للمسار الأفضل بمقياس $\frac{1}{10000}$ للمسافات الأفقية و $\frac{1}{1000}$ أو

$\frac{1}{500}$ للمسافات الشاقولية، يجري تنظيم المقطع الطولي وفق التفاصيل والمصطلحات

المرفقة الواردة في مخطط المقطع الطولي النموذجي ومخطط المصطلحات وتستنثى من ذلك: تفاصيل التربة، وصف المنطقة، نماذج المقاطع العرضية، حيث تبقى أسطرها الثلاثة المخصصة لها فارغة من المعلومات. يظهر خط المشروع على المقطع الطولي بخط سميك 0.8 مم أما الأرض الطبيعية فبخط رفيع 0.4 مم والخطوط الشاقولية بخط 0.2 مم يجب التأكيد على إيراد المعلومات الكافية عن المنحنيات الدائرية: (نصف القطر R، زاوية الدوران α° ، طول المماس T، طول المنحني الدائري K) وكذلك تحديد أماكن وضع العبارات والجسور والتقاطعات مع الطرق المزفتة أو المعبدة. وقيم فرق منسوب الأرض الطبيعية والخط الحديدي بحيث توضع قيم الردم فوق الخط وقيم الحفر تحت الخط.

3- رسم مقطع عرضي على الورق الملمتري لإحدى نقاط الخط الحديدي (حسب اختيار أستاذ المقرر) الواقعة في حفرة أو ردمية على عمق (أو ارتفاع) 2-3 أمتار وذلك بمقياس $\frac{1}{50}$ موضحاً فيه المسافات الأفقية والشاقولية وخنادق تصريف المياه، وتفاصيل القسم العلوي من الخط (القضبان الحديدية، العوارض والبصص).

4- مذكرة حسابية لا تتجاوز الصفحتين مبيناً فيها المعطيات المخصصة للطالب وجدول مقارنة المسافات وشرح الأسباب التي دعت الطالب إلى انتقاء المسار الأفضل.

5- يدون الطالب (أو أكثر من طالب) الاسم والزمرة واسم الأستاذ المشرف على سائر المخططات والمذكرة الحسابية المقدمة من قبل الطلاب ويجب تسليم هذا التمرين خلال ثلاثة أسابيع من تاريخ شرحه لهم من قبل الأستاذ.

الفصل الخامس

تصميم المنحنيات والعلو الإضافي

Design of Curves and the Extra Height

5-1- عناصر السكة في المنحنيات:

يتكون مسار الخط الحديدي من تتابع الاستقامات والمنحنيات، ومن المعروف أنه إذا تحرك جسم في مسار منحن فإنه يندفع إلى خارج المنحني تحت تأثير قوة الطرد المركزية (القوة النابذة) والتي تعمل على دفع الجسم بعيداً عن مركز ذلك المنحني. وهذه القوة تتناسب طرماً مع مربع السرعة وعكساً مع نصف قطر المنحني. وعند تخطيط الخطوط الحديدية فإنه يجب الأخذ في الاعتبار تأثير تلك القوى على حركة القطارات أثناء سيرها على الأجزاء المنحنية من الخط. وتصمم السكة عند هذه المواقع المنحنية بحيث يتلاشى تأثير قوى الطرد المركزية أو على الأقل ليصل مقدار هذا التأثير إلى حده الأدنى.

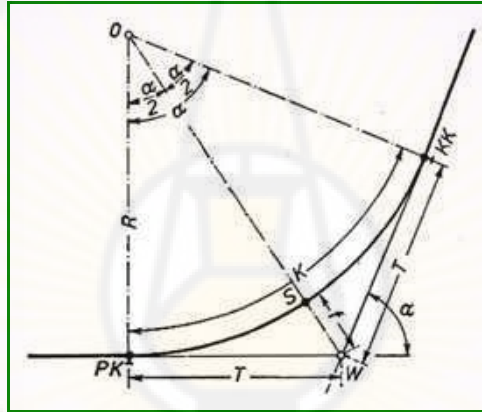
وإذا لم يراعى ذلك التأثير فإن فعل قوة الطرد المركزية يؤدي إلى:

- نشوء إجهادات عرضية إضافية في القضيب.
- زيادة معدل التآكل في حافة سير القضيب مما يستلزم تغييره على فترات متقاربة.
- إجهادات إضافية في مسامير أدوات التثبيت والربط مما يسبب خلخلتها.
- زيادة المقاومات لحركة القطار خلال سيره على المنحنيات.
- تصبح السكة في المنحنيات عرضة للزحزحة وتغيير موضعها.
- في حالة السرعات العالية وأنصاف الأقطار الصغيرة قد تندفع العربات إلى خارج الخط مسببة حوادث جسيمة.

وللتغلب على تلك العيوب المذكورة فإن السكة تعطى ميلاً عرضياً وذلك برفع منسوب القضيب الخارجي وهو ما اصطلح على تسميته (بالعلو الإضافي أو الرفع العرضاني).

1-1-5- حساب عناصر المنحنيات الأفقية:

يتم حساب عناصر المنحنيات الأفقية الدائرية بعلاقات رياضية بسيطة يمكن استنتاجها من الشكل (1-5)، وذلك بعد معرفة العنصرين الرئيسيين وهما: نصف القطر R [m] وزاوية الدوران α° ، أما باقي العناصر فتحسب كما يلي:



الشكل (1-5) عناصر المنحني الدائري

- من الشكل (1-5) نجد:

$$\operatorname{tg} \alpha / 2 = T / R$$

طول المماس T [m]: $T = R * \operatorname{tg} \alpha / 2$

- طول القوس الدائري K [m]:

$$K = \alpha^\circ * R$$

$$K = \alpha^\circ * R * \frac{\pi}{180}$$

α : مقدرة بالدرجات.

- مقدار السهم f [m]: وهو عبارة عن طول القطعة المستقيمة الواصلة بين ذروة المنحني ورأس الدوران لهذا المنحني ومن الشكل (5-1) يحسب كما يلي:

$$f = R * \left(\frac{1}{\cos \alpha/2} - 1 \right)$$

- مقدار التصحيح D [m]: وهو الفرق بين مجموع طول المماسين وطول المنحني الدائري ويعطى بالعلاقة:

$$D = 2T - K [m]$$

2-1-5- حساب التعريض الإضافي لجسم الخط في المنحنيات:

يتم تعريض جسم الخط في الجهة الخارجية من المنحنيات بمقدار Δ وفق الجدول (1-5) التالي المعتمد لدى الخطوط الحديدية السورية، وذلك بغية تدعيمه في مناطق المنحنيات الأفقية.

الجدول (1-5) مقدار تعريض جسم الخط

نصف قطر المنحني $R[m]$	3000-4000	1800-2500	700-1500	600 وأقل
مقدار التعريض Δ [cm]	10	20	40	50

3-1-5- حساب التعريض الإضافي لوسعة الخط في المنحنيات:

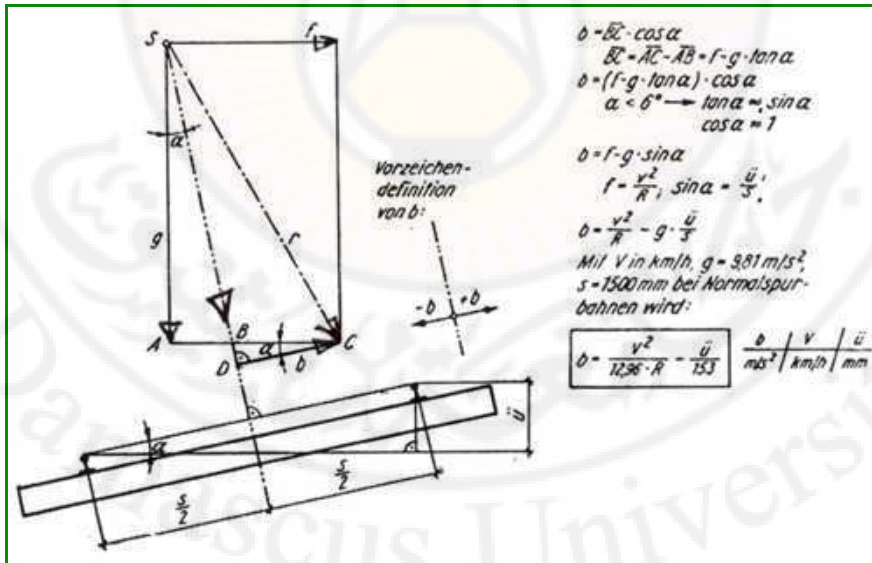
إن الغاية من التعريض الإضافي هي تسهيل ارتسام عربات القطار وشاحناته في المنحنيات بحيث تستطيع أكبر الشاحنات للوسعة بعداً بين قطبتيها أن تسير في المنحني بسهولة. حيث أن كل دولابين متقابلين يتصلان بمحور صلب متين لا يسمح بدوران دولاب أكثر من الآخر، كما أن الدولابين يشكلن قطعة واحدة لا يمكن ميلان أحدهما أو انحرافه فكيف يمكن للمستطيل الذي تشكله العجلات الأربعة (محورين) أن يمر على المنحني وهذا ما يظهر بالشكل. ولذا يجب تعريض وسعة الخط الحديدي حسب الجدول (2-5).

الجدول (2-5) مقدار تعريض وسعة الخط

الامتداد (الوسعة) mm	R m
1435	600 فما فوق
1445	من 600-400
1455	من 400-200
1465	أقل من 200

2-5- العلو الإضافي:

أثناء سير القطار في المنحنيات فإن القوة المؤثرة عليه هي قوة الطرد المركزية (القوة النابذة) إضافة إلى قوة وزن القطار، ولتفادي مخاطر جنوح القطار، يتطلب تعديل مستوى الخط بحيث تبقى محصلة القوى المؤثرة عليه عمودية على هذا المستوى الشكل (2-5).



الشكل (2-5)

$$b = BC * \cos \alpha$$

$$BC = AC - AB = f - g * \tan \alpha$$

$$b = (f - g * \tan \alpha) * \cos \alpha$$

$$\alpha < 6^\circ$$

$$\tan \alpha = \sin \alpha$$

$$; \cos \alpha = 1 ; \sin \alpha = \frac{U''}{S} \quad f = \frac{V^2}{R}$$

$$b = f - g * \sin \alpha$$

$$b = \frac{V^2}{R} - g * \frac{U''}{S}$$

باعتبار أن السرعة $V[\text{km/h}]$ و $g = 9.81 \text{ m/s}^2$ و $s = 1500 \text{ mm}$

فإن:

$$b = \frac{V^2}{12.96 * R} - \frac{U''}{153}$$

$R [\text{m}]$: نصف قطر المنحني.

$V [\text{km/h}]$: سرعة القطار في المنحني.

$f [\text{m/s}^2]$: التسارع النابضي.

$g [\text{m/s}^2]$: تسارع الثقالة الأرضية.

$b [\text{m/s}^2]$: التسارع الجانبي الخارجي.

$S [\text{m}]$: اتساع السكة.

α : زاوية ميلان الخط.

$U'' [\text{mm}]$: العلو الإضافي.

5-2-1- العلو الإضافي النظري:

عندما تبقى محصلة القوى المطبقة على القطار عمودية على مستوى الخط من أجل سرعة معينة أي أن التسارع الجانبي معدوم $b = 0$ ، نحصل عندئذ على علاقة العلو الإضافي النظري:

$$0 = \frac{V^2}{12.96 * R} - \frac{U_t''}{153}$$

$$U_t = \frac{11.8 * V^2}{R}$$

U_t [mm]: العلو الإضافي النظري.

V [km/h]: السرعة.

R [m]: نصف قطر المنحني.

5-2-2- العلو الإضافي العملي:

تسير القطارات على المنحني نفسه بسرعات مختلفة (قطارات ركاب سريعة، ركاب عادية، شحن سريعة، شحن بطيئة وأوزانها كبيرة جداً...) وحتى أن هذه القطارات نفسها قد تكون سرعات سيرها على هذا المنحني بالذات مختلفة باختلاف جهة سيرها، هذا بالإضافة إلى أنه قد يضطر القطار للتوقف اضطرارياً فوق هذا المنحني وعند إقلاعه تتولد مقاومة كبيرة لسييره بسبب الاحتكاك الكبير للشاحنات التي ترمي بثقلها كله تقريباً على القضيب الداخلي، كما أن توقف قطارات الركاب على مثل هذه المنحنيات قد يؤدي إلى إزعاج راحة الركاب وسقوط أمتعتهم وأخيراً فإن القيمة النظرية للعلو الإضافي قد تبلغ في بعض الأحيان درجة تؤدي إلى إعطاء الخط ميلاً عرضياً يفوق ميل القضيب الداخلي (1:20) بالنسبة للشاقول بحيث يصبح هذا القضيب مائلاً إلى الجهة الخارجية من الخط وبالتالي يقع تحت خطر الانهيار عند تطبيق القوى عليه الشكل (5-3). وقد تبين من التجربة أنه من الممكن تخفيض القيمة

النظرية للعلو الإضافي ضمن حدود معينة دون أن نغير بشكل ملحوظ شروط الأمان والراحة في القطار ونتيجة التجارب الكثيرة التي أجراها الألمان والخبرات العديدة تم اعتبار قيمة العلو الإضافي العملي المخفض:

$$U_r = 2/3 * U_t$$

$$U_r = \frac{8 * V^2}{R}$$

U_r [mm]: العلو الإضافي العملي.

V [km/h]: السرعة.

R [m]: نصف قطر المنحني.



الشكل (3-5) يبين سكة حديدية مع علو إضافي

ينبغي أن نضع نصب أعيننا أن مقدار العلو الإضافي يجب أن يكون بقيمته المثالية بحيث يحقق ثلاثة شروط هي:

- شروط أمان سير القطارات المختلفة على المنحني.

- شروط راحة الركاب.

- شرط الحد الأدنى لاهتراء القضبان.

يتحقق الشرط الأول بتخفيض قيمة العلو الإضافي النظري، أما الشرط الثاني فيتحقق إذا لم تتجاوز قيمة التسارع النابذي على الإنسان $0.8-1.0 \text{ m/s}^2$ وهذا يؤدي إلى تخفيض لقيمة العلو النظري. ويتحقق الشرط الثالث باعتماد قيمة السرعة الوسطية المثقلة لسرعات مختلف القطارات وأوزانها والتي تسير فوق هذا المنحني وفق العلاقة التالية:

$$V_{med} = \sqrt{\frac{n_1 * Q_1 * V_1^2 + n_2 * Q_2 * V_2^2 + \dots + n_n * Q_n * V_n^2}{n_1 * Q_1 + n_2 * Q_2 + \dots + n_n * Q_n}} \text{ Km/h}$$

حيث:

$n_1, n_2, n_3, \dots, n_n$: عدد مختلف فئات القطارات التي تسير على قسم الخط الواقع فيه المنحني المعني خلال فترة محددة.

$Q_1, Q_2, Q_3, \dots, Q_n$: الوزن القائم لهذه القطارات بالأطنان.

$V_1, V_2, V_3, \dots, V_n$: سرعة سير هذه القطارات على هذا المنحني km/h .

ونطبق هذه السرعة في حساب قيمة العلو الإضافي النظري في الخطوط الحديدية

السورية:

$$U = 11.83 \frac{V_{med}^2}{R} \text{ mm}$$

ونقارنها مع القيمة العظمى المعتمدة وهي $U_{max} = 150 \text{ mm}$ كما نقارنها مع

القيمة الدنيا U_{min} :

$$U_{min} = 11.83 \frac{V_{max}^2}{R} - 107 \text{ mm}$$

حيث V_{max} السرعة العظمى المسموح للقطارات بالسير وفقها فوق هذا المنحني.

وتحسب بعلاقات تجريبية (أمبيرية) تختلف باختلاف شبكات الخطوط الحديدية ويمكن

اعتمادها لدى الخطوط الحديدية السورية على النحو التالي:

$$V_{\max} = 4.6\sqrt{R} - 10 \text{ Km/h}$$

نقارن قيمة U مع قيمة $U_{\max}$ وقيمة $U_{\min}$ ونعتمد قيمة U :

$$U_{\min} < U < U_{\max}$$

وذلك بعد تدوير القيمة الفعلية لـ U لأقرب مضاعفات 5 mm.

وقد وضعت الخطوط الحديدية السورية حدوداً للسرعة الأعظمية المسموحة $V_{\max}$ [km/h] في المنحنيات بدلالة نصف قطر المنحني R [m] والعلو الإضافي U [mm].

يمكن تحقيق العلو الإضافي بثلاثة طرق:

- رفع منسوب القضيب الخارجي بمقدار العلو الإضافي.
 - خفض منسوب القضيب الداخلي بمقدار العلو الإضافي.
 - رفع منسوب القضيب الخارجي وخفض منسوب القضيب الداخلي بمقدار نصف العلو الإضافي لكل منهما.
- وتعتمد الطريقة الأولى لسهولة التنفيذ، برفع منسوب القضيب الخارجي عن طريق تغيير سماكة البلاست.

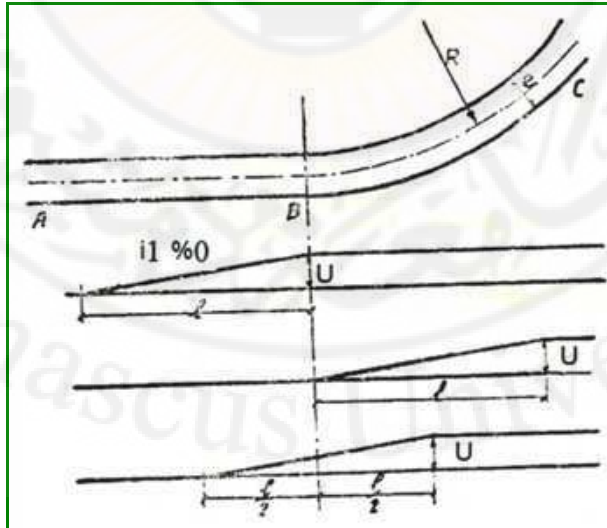
3-5- المنحنيات الانتقالية:

توضع منحنيات انتقالية بين المستقيمت والمنحنيات الدائرية في الخطوط الحديدية لتأمين انتقال تركيبات القطار (العربات والشاحنات) من الخط المستقيم إلى الخط المنحني انتقالاً تدريجياً بشكل انسيابي وبدون صدمات.

ويعرّف المنحني الانتقالي بأنه المنحني الذي يصل بين منحنيين دائريين أو مماس ومنحني دائري بحيث يتناسب انحناءه عند أي نقطة عليه مع الارتفاع النسبي لنفس النقطة.

يعتبر المنحني الانتقالي مرحلة انتقالية للعلو الإضافي من القيمة (0 mm) إلى القيمة (U mm) في المنحني حيث لا يمكن رفع منسوب القضيب الخارجي بشكل مفاجئ ولا بد من وجود منطقة انتقالية أو (مرتقى انتقالي). ويتم رفع منسوب القضيب الخارجي من الخط بتزايد تدريجي بمعدل (1-4mm/m) لكل متر من المنحني الانتقالي وتعتمد القيمة 1mm/m في الخطوط الحديدية السورية. وتوجد ثلاث طرق لتوقيع المنحني الانتقالي الشكل (4-5):

- يقع المنحني الانتقالي كله ضمن الجزء المستقيم، وهذا يسبب انزلاق الشاحنات نحو القضيب الداخلي للخط يؤدي إلى نشوء احتكاك شديد واهتزاز سريع في القضيب.
- يقع المنحني الانتقالي ضمن الجزء الدائري وهذه الطريقة لها نفس محاذير الطريق السابقة ولكن التآكل يتركز على القضيب الخارجي هذه المرة.
- يقع نصف المنحني الانتقالي على الجزء المستقيم والنصف الآخر على الجزء الدائري وفي هذه الحالة نقل من المساوي المذكورة في الطريقتين السابقتين، وهي الطريقة المتبعة في تنفيذ منحنيات الانتقال.



الشكل (4-5)

بناءً على ذلك لابد من تصميم منحنى انتقالي ذو نصف قطر متغير يبدأ من $(R_1 = \infty)$ عند نقطة الوصل مع المستقيم وحتى $(R_n = R)$ عند المنحنى الدائري. ويحتوي على مرتقى تدريجي بحيث ينقل القضيب الخارجي بصورة تدريجية من منسوبه في الخط المستقيم (k) إلى منسوبه النهائي في المنحنى $(k+U)$. فإذا فرضنا أن طول المنحنى الانتقالي (L) فيكون الشرط الأول:

$$L \geq U / I_1$$

حيث:

I_1 [%]: الارتفاع في المنحنى الانتقالي بالآلف.

U [mm]: العلو الإضافي الأعظمي الواجب بلوغه.

تستخدم في الخطوط الحديدية المنحنيات الانتقالية التالية:

- الكلوتويد.
- ليمنسكات برنوي.
- المنحنى المكافئ المكعبي وهو أفضلها ومعادلته الديكارتية هي الأبسط وتعطى كما يلي:

$$Y = \frac{X^3}{6 * L * R}$$

حيث:

L [m]: طول المنحنى الانتقالي وتؤخذ قيمته الأولية مساوية:

$$L = \frac{U}{I_1 \%} [m]$$

ومنه يكون طول المنحني الانتقالي مساوياً لمقدار العلو الإضافي (ولكن بوحدة الأمتار) بعد تقريب هذا الأخير إلى أكبر مضاعفات العشرين (كما هو معتمد لدى الخطوط الحديدية السورية) أو مضاعفات عشرة الأمتار كما هو متبع حديثاً في كثير من الدول. تتراوح أطوال المنحنيات الانتقالية المستخدمة في خ. ح. س من [m] 20 وحتى [m] 200 بفاصل [m] 20.

إن منحنى الوصل النظري ينقسم إلى قسمين متساوين: القسم الأول منه يقع في الاستقامة والقسم الثاني يقع في المنعطف، بحيث تقع نقطة المنتصف على شاقول نقطة التماس الأصلية بين الدائرة والمستقيم (T).

إن إدخال منحنى انتقالي بين المستقيم والمنحني الدائري يؤدي إلى زلق الدائرة نحو مركزها بالمقدار P:

$$P = \frac{L^2}{24 * R} \text{ للمنحنيات المكعبية}$$

$$P = \left(1 - \frac{L^2}{24 * R} + \frac{L^2}{112 * R} + \frac{L^4}{21120 * R_4} \right) \text{ وللمنحنيات الكلوتويدية}$$

مع ملاحظة أنه إذا كان $P \leq 0.02 \text{ m}$ فلا يعتبر المنحني الناتج سليماً، لذا يجب تغيير الفرضيات للوصول إلى منحنى نموذجي. وبمعرفة القيمة P نستطيع تحديد خمس نقاط من المنحني الانتقالي للمنحنيات المكعبية الشكل (5-5):

بعد حساب R من العلاقة:

$$V_{\max} = 4.6 \sqrt{R} - 10$$

وطول المنحني الانتقالي:

$$L = \frac{U}{I_1 \%} [\text{m}]$$

$$X_0 = 0, Y = 0$$

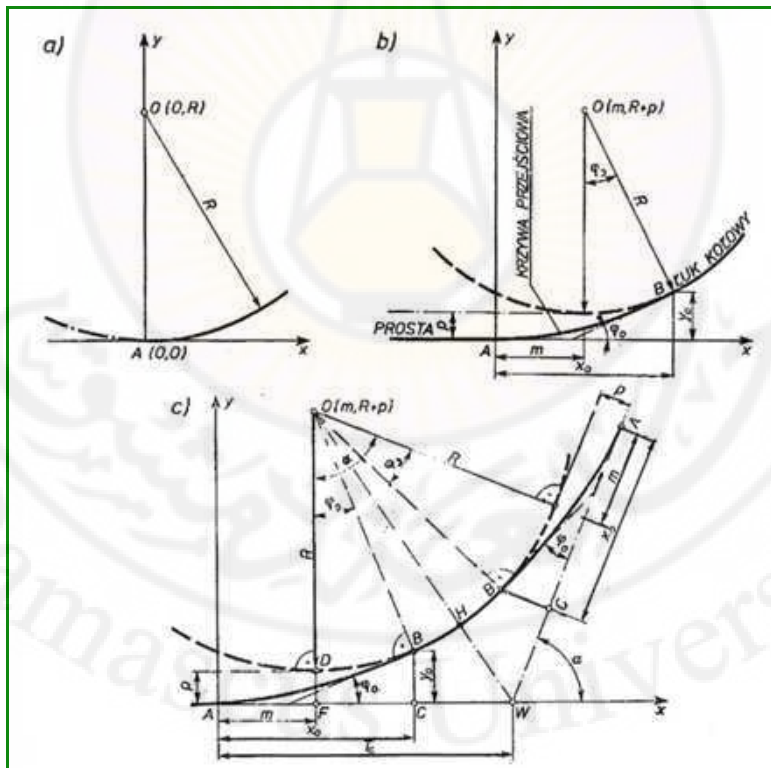
$$X_1 = \frac{L}{4}$$

$$Y_1 = \frac{(L/4)^3}{6 * R * L} = \frac{L^2}{16 * 24 R} = \frac{P}{16}$$

$$X_2 = \frac{L}{2}, Y_2 = \frac{P}{2}$$

$$X_3 = \frac{3L}{4}, Y_3 = \frac{27P}{16}$$

$$X_4 = L, Y_4 = 4 * P$$



الشكل (5-5) المنحني الانتقالي المكعبي

أما إحداثيات النقاط ضمن المنحني الدائري الواقعة بعد المنحني الانتقالي فيجري حسابها بالعلاقتين:

$$X_n = R * \sin \theta_0 + m$$

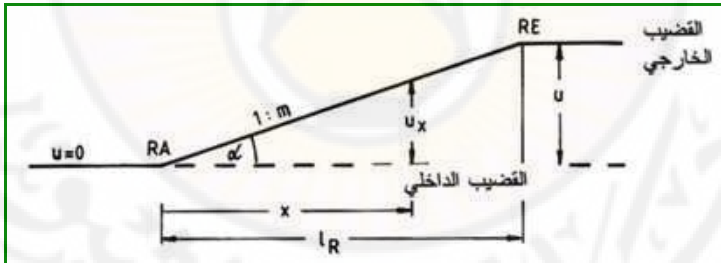
$$Y_n = R * (1 - \cos \theta_0) + P$$

حيث θ_0 الزاوية المحصورة بين نصف قطر المنحني العمودي على مماسه ونصف القطر المار من النقطة المطلوب حساب الإحداثيات لها.

m: المسافة بين بداية المنحني الانتقالي ونصف القطر العمودي على مماس المنحني.

4-5- مرتقى العلو الإضافي:

يتم تنفيذ العلو الإضافي بشكل مرتقى (خطي مائل أو منحني شكل S)، حيث ينتقل من العلو الإضافي $U = 0$ عند بداية المرتقى وحتى U عند نهايته الشكل (5-6).



الشكل (5-6)

من الشكل (5-6) يمكن كتابة:

$$\frac{u}{l_R} = \frac{u_x}{x} = \frac{1}{m} = \tan \alpha$$

حيث:

L (m) و U (mm)

$$m = \frac{1000 * l_R}{u}$$

حساب العلو الإضافي عند الفاصلة x:

$$u_x = \frac{u * x}{l_R} (\text{mm})$$

وتعتمد القيم العملية:

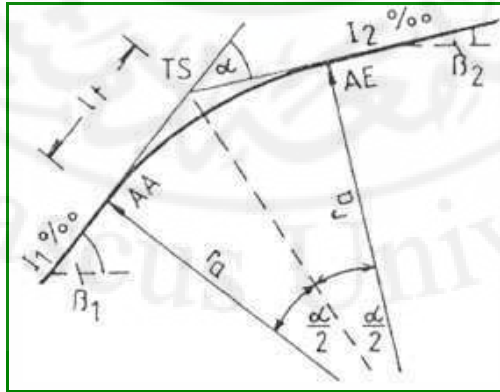
$$l_R = 10 * v_e * \frac{\Delta u}{1000}$$

$$1/m \leq \frac{1}{600}$$

5-5- المنحنيات الرأسية (الشاقولية):

بما أن المقطع الطولي لمسار الخط الحديدي هو عبارة عن مضلع منكسر فلا بد من تصميم منحنيات شاقولية (رأسية) دائرية بأنصاف أقطار كبيرة جداً لتخفيف حدة هذه الانكسارات وتسهيل مرور القطارات.

وتصمم المنحنيات الرأسية الدائرية عند تغير ميل مسار الخط الحديدي وبشرط أن يكون فرق الميلين أكبر أو يساوي واحد بالألف $\Delta I \geq 1\%$. ويجب أن يكون طول المنحني أكبر أو يساوي $La \geq 20 \text{ m}$ ، والشكل (7-5) يظهر عناصر المنحني.



الشكل (7-5)

وبسبب صغر قيمة الزاوية α فيمكن كتاب $\tan \alpha / 2 = 1/2 \tan \alpha$

$$\alpha = \beta_1 - \beta_2$$

$$L_t = r_a * 1/2(\tan \beta_1 - \tan \beta_2)$$

مع:

$$\beta_1 = I_1/1000$$

$$\beta_2 = I_2/1000$$

ويرمز للميل الصاعد بالموجب (+) وللميل النازل بالسالب (-) وتعطى العلاقات

كما يلي:

$$l_t = \left| \frac{r_a * I_1 - I_2}{2 \cdot 1000} \right| \quad \text{طول المماس:}$$

$$r_a = \left| \frac{2000 * l_t}{I_1 - I_2} \right| \quad \text{نصف القطر:}$$

$$r_a = 0,4 * v^2 \quad \text{نصف القطر (القيمة العملية):}$$

$$a = \frac{l_t^2}{2 * r_a} \quad \text{طول السهم:}$$

ويمكن حساب بقية إحداثيات النقاط من العلاقة:

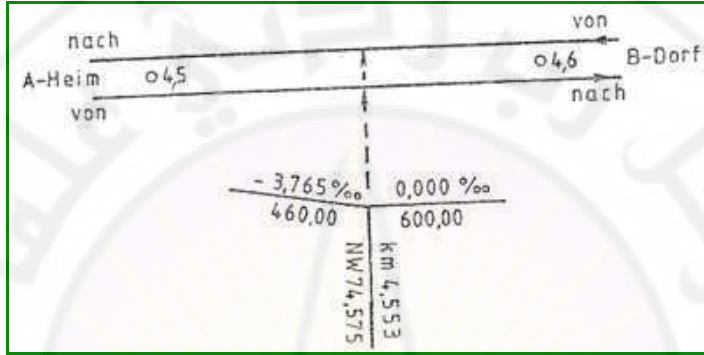
$$y_a = \frac{x^2}{2 * r_a}$$

$$l_h = \frac{1000 * \Delta h}{I_{\%}} \quad \text{الطول الأفقي:}$$

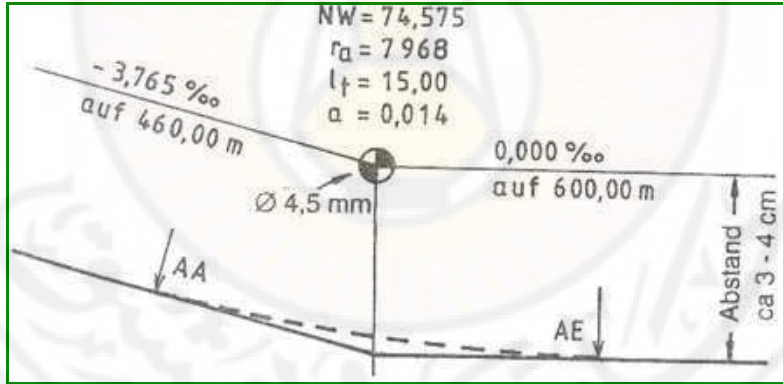
$$\Delta h = \frac{l_h * I_{\%}}{1000} \quad \text{فرق الارتفاع:}$$

مثال (1):

صمم واحسب عناصر المنحني الشاقولي لجزء من مسار الخط الحديدي المبين بالشكل (8-5)، علماً بأن السرعة التصميمية $V = 140 \text{ Km/h}$.



أ- في المسقط الأفقي



ب- في المقطع الطولي

الشكل (8-5)

الحل:

- حساب نصف القطر (القيمة العملية):

$$r_a = 0.4 \cdot v^2 = 0.4 \cdot 140^2 = 7840 \text{ m}$$

- حساب طول المماس:

$$l_t = \left| \frac{r_a * I_1 - I_2}{2} \right| = \left| \frac{7840 * -3,765 - 0}{2} \right| = 14,76m \cong 15m$$

- حساب نصف القطر المقابل للقيمة التقريبية لطول المماس:

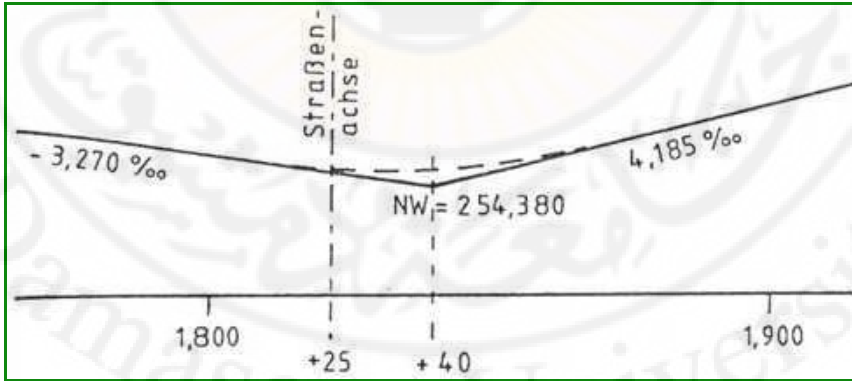
$$r_a = \left| \frac{2000 * l_t}{I_1 - I_2} \right| = \left| \frac{2000 * 15.00}{-3.765 - 0} \right| = 7968m$$

$$a = \frac{l_t^2}{2 * r_a} = \frac{15^2}{2 * 7968} = 0.014m$$

مثال (2):

جزء من خط حديدي مفرد، والسرعة المسموحة $V = 120 \text{ Km/h}$

ويتغير الميل الطولي عند النقطة الكيلومترية 1.840 Km حسب الشكل (9-5)،
يطلب تصميم منحنى رأسي عند هذه النقطة، ويتقاطع طريق مع الخط عند النقطة
 1.825 Km ، يطلب حساب منسوب نقطة التقاطع.



الشكل (9-5)

الحل:

- حساب نصف قطر المنحني الرأسي:

$$r_a = 0.4 * v^2 = 0.4 * 120^2 = 5760 \text{ m}$$

- حساب طول المماس الدقيق:

$$l_t = \left| \frac{r_a * I_1 - I_2}{2 * 1000} \right| = \left| \frac{5760 * -3.270 - 4.185}{2 * 1000} \right| = 21.47 \text{ m} \cong 25 \text{ m}$$

- تحديد قيمة نصف القطر المقابلة لطول المماس التقريبي:

$$r_a = \left| \frac{2000 * l_t}{I_1 - I_2} \right| = \left| \frac{2000 * 25.00}{-3.270 - 4.185} \right| = 6707 \text{ m}$$

- تحديد بداية ونهاية المنحني:

$$A = 1.840 - 0.025 = 1.815 \text{ Km} \text{ البداية}$$

$$AE = 1.840 + 0.025 = 1.865 \text{ Km} \text{ النهاية}$$

يبعد موقع تقاطع الطريق مع الخط الحديدي عن بداية المنحني AA بمقدار 10 m.

- حساب منسوب التقاطع:

نحسب فرق الارتفاع بين موقع تغير الميل وبين موقع تقاطع الطريق مع الخط الحديدي:

$$\Delta h = \frac{l_h * I\%_o}{1000} = 15.00 * \frac{3.270}{1000} = 0.049 \text{ m}$$

وبما أن الميل I_1 سالب يعني أن منسوب التقاطع أعلى من منسوب الاحداثية

على المنحني:

$$y_a = \frac{x^2}{2 * r_a} = \frac{10^2}{2 * 6707} = 0.007 \text{ m}$$

وبالتالي يكون منسوب نقطة التقاطع أعلى من منسوب نقطة تغير الميل بمقدار:

$$0.049 + 0.007 = 0.056 \text{ m}$$

ويكون منسوب نقطة تقاطع الطريق مع الخط الحديدي:

$$0.056 \text{ m} + 254.380 \text{ m} = 254.436 \text{ m}$$

5-6- تقصير القضبان:

5-6-1- تقصير القضبان في الجهة الداخلية للمنحني الدائري:

من المعلوم أن طول القضيب في الجهة الداخلية للمنحني الدائري أصغر من طول القضيب الواقع في الجهة الخارجية منه بالمقدار ΔL الذي يحسب بالعلاقة:

$$\Delta L = L - L_1 = \frac{\pi}{180} \alpha^\circ (R_0 - R_{in})$$

حيث:

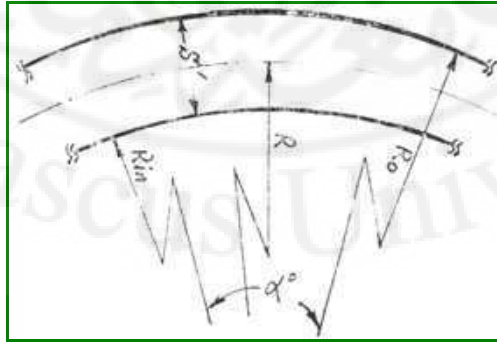
L, L_1 : طول القضيب الداخلي والخارجي في المنحني الشكل (5-10).

α° : الزاوية المركزية للمنحني بالدرجات.

$R_0 - R_{in}$: الفرق بين نصفي قطر القضيب الخارجي والداخلي، ويساوي هذا الفرق

عرض الخط النظامي S مضافاً إليه قيمة عرض هامة القضيب الحديدي (عرض

الهامة لقضيب $R 50$ يساوي 71.9 mm في الخطوط الحديدية السورية).



الشكل (5-10)

أي أن:

$$S = R_0 - R_{in} = 1435 + 71.9 = 1507 \text{ mm}$$

وبتعويض القيم الثابتة في العلاقة الواردة أعلاه نحصل على:

$$\Delta L = \frac{3.1416}{180} \alpha^\circ (1507) = 26.3 * \alpha^\circ$$

مثال (3):

احسب الفرق بين طولي القضيبين الحديديين الخارجي والداخلي لمنحني دائري زاويته المركزية.

$$\alpha^\circ = 41^\circ 34'$$

الحل:

$$\Delta L = 26.3 * \alpha^\circ = 26.3 * 41^\circ.5666 = 1093.2 \text{ mm}$$

أي أن طول القضيب الخارجي يزيد على طول القضيب الداخلي بأكثر من واحد متر تقريباً.

تعتمد الكثير من الخطوط الحديدية مبدأ فواصل التمدد التوافقية حيث تقع الفواصل في قضبي الخط على استقامة واحدة عمودية على محور الخط .

وهذا مطبق لدى الخطوط الحديدية السورية، يتم استخدام قضبان بطول 12.5 M, 25 M، في الجهة الخارجية من المنحني، ولابد من وضع قضبان مقصرة في الجهة الداخلية للمنحني. في حين تعتمد عدد من الشبكات مبدأ الفواصل المتناوبة وفي هذه الحالة يقع كل فاصل في أحد قضبي الخط مقابل منتصف القضيب في الفرع الآخر، انظر الشكل (38-3).

يجري وضع قضبان مقصرة تقصيراً معيارياً مقداره k، في الشبكة السورية:

يعتمد 80 mm أو 160 mm لقضبان ذات طول 25 m أو 40 m.

يعتمد 80 mm أو 120 mm لقضبان ذات طول 12.5 m.

وذلك بتتابع معين مع قضبان ذات أطوال عادية (غير مقصورة) في الجهة الداخلية للمنحني بشكل نحافظ فيه بقدر الإمكان على مبدأ الفواصل التوافقية. وبما أنه لا يمكن تحقيق شرط هذا المبدأ بحذافيره عملياً، لذلك سمح بتجاوز فاصل أحد القضيبين الفاصل الآخر بمقدار لا يزيد على نصف التقصير المعياري للقضيب المستخدم (أي أن قيمة التجاوز $k/3\text{mm} \geq$).

يحدد مقدار التقصير لكل 25 m (طول القضيب النظامي) من المنحني الدائري بالعلاقة:

$$\Delta L = \frac{25 * S'}{R} = \frac{25 * 1507}{R} = \frac{37675}{R} \text{mm}$$

كما يحدد عدد القضبان المقصورة N اللازم وضعها في الجهة الداخلية من المنحني حسب التقصير المعياري الواجب استخدامه في هذا المنحني بالعلاقة:

$$N = \frac{\Delta L}{K}$$

ويقرب N لأقرب عدد صحيح.

مثال (4):

بيّن كيفية توضع القضبان المقصورة والنظامية في الجهة الداخلية من منحني دائري فيه:

$$R = 600\text{m} \quad \alpha = 24^\circ 43'$$

الحل:

1- نحسب قيمة التقصير الكلي:

$$\Delta L = 26.3 * 24.717 = 650.06\text{mm}$$

2- نحدد مقدار التقصير لكل 25 m:

$$\Delta L = \frac{37675}{R} = \frac{37675}{600} = 62.79\text{mm}$$

3- نختار التقصير المعياري $k = 80 \text{ mm}$ أقرب قيمة لـ ΔL باعتبار أن طول القضيب النظامي 25 m، ونحدد عدد القضبان المقصرة اللازمة لهذا المنحني:

$$N = \frac{\Delta L}{K} = \frac{650.06}{80} = 8.125 = 8.0$$

ننظم الآن جدولاً نبين فيه تتابع وضع القضبان النظامية والمقصرة ومقدار سبق (الإشارة +) أو تأخر (الإشارة -) فاصل القضيب الداخلي عن فاصل القضيب الخارجي، حيث نرسم للقضيب المقصر بالحرف (X) وللقضيب النظامي (I)، انظر الجدول (3-5).

ملاحظات:

- لقد تم حساب التقصير اللازم للقضيب الحادي عشر على أساس أن مسافة 8.83 m منه فقط تقع في المنحني (طول المنحني الدائري: $R * \alpha * \frac{\pi}{180} = 258.83 \text{ m}$) وقد حسب مقدار التقصير اللازم لهذه المسافة بالعلاقة:

$$\Delta l_1'' = \frac{8.83 * 1507}{600} = 22.19 \text{ mm}$$

- القضبان: الثامن والتاسع والعاشر (غير مبينة بالجدول) مقصرة أيضاً إضافة للقضبان المقصرة المبينة في الجدول، وبهذا نجد أن عدد القضبان هو 8 قضبان فعلاً.

- لم تتجاوز قيمة السبق أو التأخير 39.53mm وهي أقل من القيمة المسموح بها وهي $k / 2 = 40 \text{ mm}$.

- لم نستخدم في هذا المثال المنحني الانتقالي وهذا تبسيط للحل في مثالنا هذا.

الجدول (3-5) تسلسل وضع القضبان النظامية والمقصرة

تسلسل وضع القضبان نوع القضبان ومقدار السبق أو التأخير	نظامي (1)	مقصر (X)	مقدار السبق (+) أو التأخير في نهاية القضيب الداخلي (mm)	الطول المتراكم للقضيب الخارجي (m)
الأول	(X)		$62.79-80 = (-17.21)$	25
الثاني	(X)		$62.79-17.2-80 = (-34.42)$	50
الثالث	(1)		$62.79-34.42 = (+28.37)$	75
الرابع	(X)		$62.79+28.37-80 = (+11.16)$	100
الخامس	(X)		$62.79+11.16-80 = (-6.05)$	125
السادس	(X)		$62.79-6.05-80 = (-23.26)$	150
السابع	(1)		$62.79-23.26 = (+39.53)$	175
...				
الحادي عشر	عادي		$22.19-12.18 = (+10)$	258.83
الثاني عشر	استقامة			

5-6-2- تحديد مقدار التقصير التراكمي ضمن المنحني الانتقالي:

يحدد ذلك بالعلاقة التالية:

$$\Delta l'' = \frac{S' * l_1^2}{2LR} (\text{mm})$$

حيث:

l_1 : المسافة بين بداية المنحني الانتقالي وحتى نهاية القضيب المطلوب تعيين مقدار التقصير التراكمي عنده.

L : طول المنحني الانتقالي.

مثال (5):

احسب التقصير الكلي وكيفية توضع القضبان المقصرة والنظامية في الجهة الداخلية من المنحني (الدائري والانتقالي) للمعطيات التالية:

$$\alpha = 36^\circ 51', L = 100 \text{ m}, R = 450 \text{ m}$$

الحل:

أولاً: حساب عناصر المنحنيين الانتقاليين وعناصر المنحني الدائري بينهما:

- حساب زاوية الكلوتويد β :

$$\beta = \frac{L}{2R} \text{ rad} = \frac{L * 180}{2 * R * \pi} = \frac{100 * 180}{2 * 450 * \pi} = 6^\circ.3663$$

حساب زاوية المنحني الدائري γ المحصورة بين المنحنيين الانتقاليين من العلاقة

التالية:

$$2 * \beta^\circ + \gamma^\circ = \alpha^\circ$$

حيث:

α : هي زاوية المنحني الأساسي.

$$\gamma = 36^\circ 51' - 2(6^\circ.3663) = 24^\circ.1176$$

- حساب طول المنحني الدائري المحصور بالزاوية γ :

$$L_0 = \frac{\pi * \gamma}{180} * R = \frac{\pi}{180} * 24.1176^\circ * 450 = 189.41 \text{ m}$$

ثانياً: تحديد قيمة التقصير وانتقاء التقصير المعياري وبيان كيفية تسلسل وضع القضبان في الجهة الداخلية من المنحني:

- حساب مقدار التقصير الكلي:

$$\Delta L = 26.3 * \alpha = 26.3 * 36.85^\circ = 969.15 \text{ mm}$$

(للمنحني الأساسي وهو نفسه للمنحنيين الانتقاليين والمنحني الدائري المحصور بينهما).

- حساب مقدار التقصير للقضيب الواحد:

$$\Delta L' = \frac{37675}{450} = 83.72 \text{ mm}$$

- هذه القيمة أقرب إلى التقصير المعياري $k = 80 \text{ mm}$

حساب عدد القضبان المقصورة اللازمة:

$$N = \frac{\Delta l}{k} = \frac{869.15}{80} = 12.11 \cong 12 \text{ قضيباً}$$

- حساب التقصير الكلي ضمن المنحني الانتقالي (المسافة 100 m):

$$\Delta l'' = \frac{S' * l_1^2}{2LR} = \frac{1507 * 100^2}{2 * 100 * 450} = 167.44 \text{ mm}$$

لحساب التقصير الذاتي لكل قضيب من المنحني الانتقالي الأول نحسب التقصير للقضيب الأول بوضع قيمة L_1 في العلاقة السابقة مساوية 25 m، ثم نحسب التقصير التراكمي للقضيبين الأول والثاني ($L_1 = 50\text{ m}$) ونطرح من التقصير التراكمي هذا مقدار التقصير الذاتي للقضيب الأول. وهكذا لحساب التقصير الذاتي للقضيب الثالث نحسب التقصير التراكمي لثلاثة قضبان ($L_1 = 75\text{ m}$) ونطرح من الجواب تقصير القضيبين الأولين ... وهكذا.

نلاحظ وجود ثوابت في المعادلة $\Delta l''$ للمنحني الواحد وهي R, L, S' أي يمكننا كتابة هذه المعادلة لمثالنا هذا على النحو التالي:

$$\Delta l'' = \frac{1507}{2 * 100 * 450} l_1^2 = 0.016744 * l_1^2 = \text{const} * l_1^2 \text{ (mm)}$$

وهكذا نجد:

$$\Delta l_1'' = \text{const} * 25^2 = 10.465 \text{ mm}$$

$$\Delta l_2'' = \text{const} * (50^2 - 25^2) = 41.861 - 10.465 = 31.396 \text{ mm}$$

$$\Delta l_3'' = \text{const} * (75^2 - 50^2) = 94.187 - 41.861 = 52.329 \text{ mm}$$

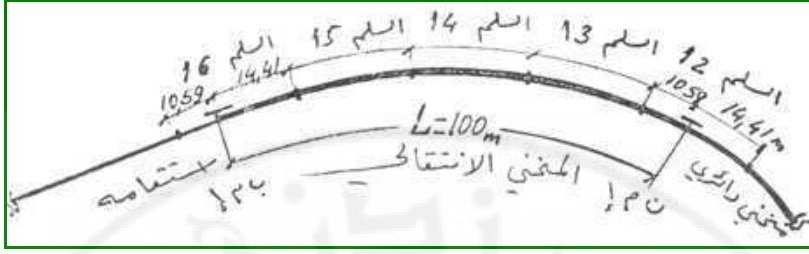
وأخيراً للقضيب الرابع والأخير ضمن المنحني الانتقالي:

$$\Delta l_4'' = \text{const} * (100^2 - 75^2) = 167.44 - 94.187 = 73.257 \text{ mm}$$

يلي ذلك المنحني الدائري ذو الطول $L_0 = 189.41\text{ m}$ حيث تقصير كل قضيب بطول نظامي 25 m من الجهة الداخلية فيه يساوي: 83.72 mm كما هو مبين أعلاه. ولكننا نلاحظ أن جزءاً من القضيب الثاني عشر وهو بطول ($189.41 - 7 * 25 = 14.41\text{ m}$) يقع ضمن المنحني الدائري والجزء المتبقي منه وهو بطول ($25 - 14.41 = 10.59\text{ m}$) يقع في المنحني الانتقالي الثاني.

لحساب التقصير الذاتي لكل قضيب من هذه القضبان نجري العمليات التالية:

1- تقصير القضيب رقم 12 (انظر الشكل 5-12).



الشكل (12-5) توضع السلاالم في المنحني الانتقالي

أ- تقصير القطعة بطول 14,41 m ضمن المنحني الدائري:

$$\Delta l_{12}'' = \frac{14.41 \times 1507}{450} = 48.257 \text{ mm}$$

ب- تقصير القطعة بطول 10,59 m ضمن المنحني الانتقالي (تقع هذه القطعة في نهاية المنحني وليس في بدايته)، ولهذا يتم حساب التقصير الذاتي لهذه القطعة كما يلي: نطرح من التقصير الكلي للمسافة $L = 100 \text{ m}$ وهو: 167.44 mm (كما حسبناه أعلاه) التقصير المتراكم للمسافة $100 - 10.59 = 89.41 \text{ m}$ ونطرح الناتج من 167.44 m فنحصل على المطلوب أي:

$$\Delta l_{12}'' = \text{const} * (100^2 - 89.41^2) = 167.44 - 133.857 = 33.586 \text{ mm}$$

فيكون التقصير الكلي الذاتي للقضيبي 12 هو:

$$42.257 + 33.586 = 81.84 \text{ mm}$$

$$\Delta l_{12}'' = 81.84 \text{ mm}$$

2- تقصير القضيبي رقم 13:

$$\Delta l_{13}'' = \text{const} * (89.41^2 - (89.41 - 25)^2) = 133.857 - 69.466 = 64.39 \text{ mm}$$

$$\Delta l_{13}'' = 64.39 \text{ mm}$$

3- تقصير القضيبي رقم 14:

$$\Delta l_{14}'' = [64.41^2 - (64.41 - 25)^2] = 69.466 - 26.006 = 43.46 \text{ mm}$$

$$\Delta l_{14}'' = 43.46 \text{ mm}$$

4- تقصير القضيب رقم 15

$$\Delta l''_{15} = \text{const}[39.41 - (39.41 - 25)^2] = 26.006 - 3.477 = 22.53 \text{ mm}$$

$$\Delta l''_{15} = 22.53 \text{ mm}$$

5- وأخيراً نلاحظ أن جزءاً من القضيب 16 يقع في المنحني الانتقالي وبطول:

$$39.41 - 25 = 14.41 \text{ m}$$

وتقصيره هو:

$$\Delta l''_{16} = \text{const} * 14.41^2 = 3.477 \text{ mm}$$

أما الجزء الآخر والواقع في الاستقامة فتقصيره صفر.

ملاحظة:

قبل تنظيم جدول تسلسل توضع القضبان المقصرة وغير المقصرة يجب التأكد من:

- مجموع التقصيرات ضمن المنحني الانتقالي الأخير 167.44 mm

- المجموع الكلي للتقصيرات الذاتية $\Delta l = 969.15 \text{ mm}$

التدقيق:

- مجموع التقصيرات ضمن المنحني الانتقالي الأخير:

$$\sum_{12}^{16} \Delta l'' = (33.586 + 64.39 + 43.46 + 22.53 + 3.477) = 167.443 \text{ mm}$$

- المجموع الكلي للتقصيرات الذاتية:

$$\sum \Delta l = (2 * 167.44 + 7 * 83.72 + 48.257) = 96.177 \text{ mm}$$

وأخيراً يجري تنظيم الجدول على غرار الجدول المبين في المثال الأول كما هو

مبين في الجدول (4-5).

الجدول (4-5) تسلسل وضع القضبان النظامية والمقصرة

ترقيم سلالم المنحني نوع القضيب الداخلي ومقدار السبق أو التأخر	نظامي (1)	مقصر (X)	حساب مقدار السبق (+) أو التأخر (-) في نهاية السلم (mm)	الطول التراكمي للقضبان الخارجية في المنحني (m)
الأول	(1)	□	10.46	25
الثاني	(X)	□	$10.46+31.40-80.00=38.14$ □	50 □
الثالث	(1)	□	$-38.14+52.32=14.18$ □	75
الرابع	(X)	□	$14.18+73.26-80.00=7.44$	100
الخامس	(X)	□	$7.44+83.72-80.00=11.16$	125
السادس	(X)	□	$11.16+83.72-80.00=14.88$	150
السابع	(1)	□	$14.88+83.72-80.00=18.60$ □	175
الثامن	(X)	□	$18.60+83.72-80.00=22.32$	200
التاسع	(X)	□	$22.32+83.72-80.00=26.04$	225
العاشر	(X)	□	$26.04+83.72-80.00=29.76$	250
الحادي عشر	(X)	□	$29.76-83.72-80.00=33.48$	275 □
الثاني عشر	دائري	□	$33.48+83.72-80.00=35.32$	289.41
	انتقالي	□		300 □
الثالث عشر	(X)	□	$35.32+83.72-80.00=19.71$	325 □
الرابع عشر	(X)	□	$19.71+83.72-80.00=16.83$	350 □
الخامس عشر	1 □	□	$16.83+83.72-80.00=5.7$	375 □
السادس عشر	انتقالي	□	$3.48+5.70=9.18$	389.41
	استقامة	□	□	400

5-7- تقوية الخط الحديدي في المنحنيات:

إن القوى الأفقية العرضانية التي تظهر عند سير القطارات في المنحنيات يمكن أن تؤدي إلى (فتح) الخط أو إلى انزياح الخط عرضانياً نحو الجهة الخارجية للمنحني مما يؤدي إلى تشويه سطح الخط أو إلى جنوح القطار، هذا بالإضافة إلى حدوث تآكل القضبان بشكل ملحوظ، وللتغلب على هذه المصاعب يتم تقوية مكونات الخط الحديدي في المنحنيات ذات أنصاف الأقطار الصغيرة وذلك كما يلي:

- زيادة عرض كتف البلاست للمقطع العرضي في الجهة الخارجية من المنحني بمقدار 10-20 cm.

- زيادة عدد العوارض (حتى 1840 عارضة في الكم لحالات $R \leq 600m$ في خ ح س).

- بوضع قضيب ثالث ملاصق تقريباً للقضيب الداخلي من المنحني يدعى بالقضيب المعاكس (كونتراري) وذلك للإقلال ما أمكن من ضغط العجلات على القضيب الخارجي، إذ يساهم القضيب المعاكس بتحمل جزء كبير من هذا الضغط واستبدال هذا القضيب عند اهترائه يكون أسهل من استبدال القضيب الخارجي للمنحني.

8-5- التمرين العملي:

الموضوع: الشروط الخاصة لتصميم الخط الحديدي في المنحنيات:

المعطيات: مواصفات المنحني (نصف قطره R وزاويته المركزية α° والسرعة V_{med}).

المطلوب ماييلي:

- 1- تحديد مقدار تعريض الخط (mm) وجسم الخط (cm).
- 2- تحديد مقدار العلو الإضافي المناسب (mm).
- 3- تحديد طول المنحني الانتقالي المناسب (m).
- 4- تحديد عناصر المنحنيين الدائري والانتقالي.
- 5- رسم المنحني على ورق مليمتري.
- 6- تحديد قيمة تقصير الجهة الداخلية من المنحنيين (الانتقالي والدائري) وانتقاء القضبان المقصرة المناسبة وعددها.
- 7- تنظيم جدول مبين فيه تتابع وضع القضبان النظامية والمقصرة ومقدار السبق أو التأخير الحاصل للقضيب الداخلي في نهاية كل سلم وذلك على طول المنحني.
- 8- رسم المقطع العرضي للقسم العلوي من الخط في منتصف المنحني الدائري بمقياس رسم على ورق مليمتري.

الفصل السادس

القوى المؤثرة في الخط الحديدي

Forces in Railway

1-6- تصنيف القوى المؤثرة في الخط الحديدي:

تصنّف القوى المؤثرة في الخط الحديدي تبعاً لاتجاه تأثيرها الى:

- قوى شاقولية.

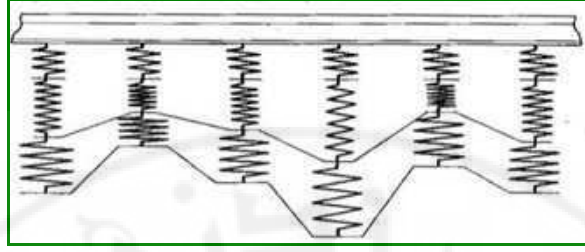
- قوى طولية.

- قوى عرضية.

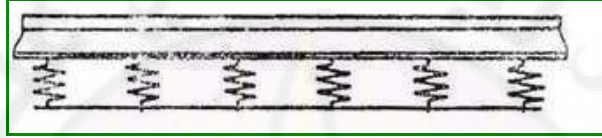
يتميز الخط الحديدي بالصلات المعقدة بين أجزائه والنااتجة عن التوضع المرن للقضبان ولطبيعة العناصر غير المتجانسة فيه حيث تتفاوت عوامل المرونة بين العناصر، لذلك فمن الصعب الأخذ بعين الاعتبار جميع تلك العوامل ويستعاض عنها بجملة حسابية مكافئة عند دراسة تأثيرات القوى وآلية عمل الخط.



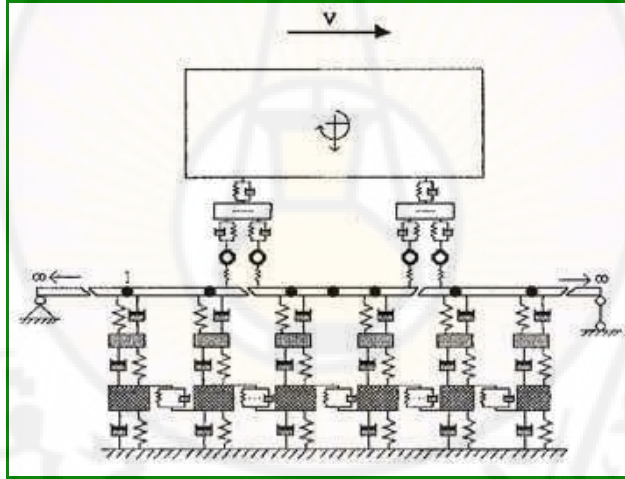
الشكل 1-6: القوى في الخط الحديدي



أ- عوامل مرونة مختلفة



ب- حالة حسابية عامل مرونة مكافئ



ج- حالة حسابية عامل مرونة مكافئ

الشكل 2-6: النموذج الذي يوضح التوضع المرن للخط الحديدي

2-6- القوى الشاقولية:

وهي القوى المنقولة عبر دواليب القطارات الى القضبان ويمكن تحديدها بدقة مقبولة. ونستطيع تمييز أربعة أنواع من القوى الشاقولية وهي:

1-2-6- قوى شاقولية ستاتيكية:

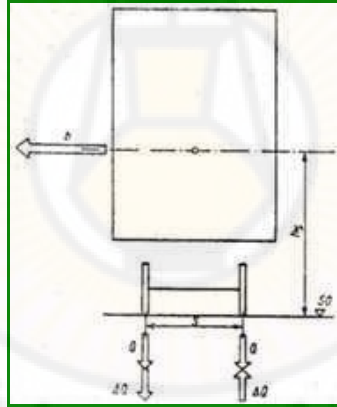
هي الحمولات المحورية. تبلغ الحمولة المحورية الأعظمية في سورية ٢٥ طنًا.

2-2-6- قوى شاقولية ديناميكية:

تنشأ القوى الديناميكية نتيجة وجود بعض التعرجات في الخط الحديدي التي لا يمكن تفاديها. وتحدد قيمتها انطلاقاً من الحمولة الستاتيكية بعد ادخال عامل التأثير الديناميكي المتعلق بسرعة القطار وقد تبلغ قيمته 1.6، أي أن الحمولة الديناميكية تزيد على الستاتيكية بـ 60%. وتظهر القياسات أن القوة الديناميكية للعربات الثقيلة وذات السرعة العالية (200 كم/سا) تبلغ 1.75 ضعفاً مقابل السرعة البطيئة.

3-2-6- القوى الشاقولية بسبب التسارع الجانبي:

تلاحظ هذه القوى في المنحنيات حيث تزداد الحمولة الشاقولية على القضبان الخارجية وذلك لأن العلو الإضافي في المنحنيات ينحرف غالباً عن قيمته النظرية (الشكل 3-6).



الشكل 3-6: القوى الشاقولية بسبب التسارع الجانبي

يحسب مقدار الزيادة في القوى الشاقولية بالعلاقة:

$$\Delta Q = \frac{2Q.b.hs}{s.g}$$

يعطى التسارع الجانبي بالعلاقة (1-6) انطلاقاً من علاقة حساب العلو الإضافي

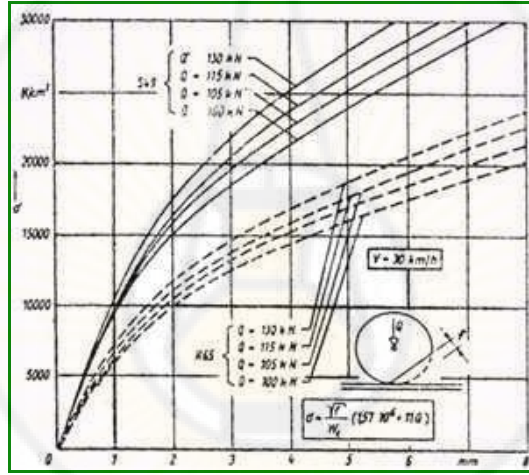
النظري.

$$b = \frac{V^2}{12.96 * R} - \frac{U}{153} \quad \text{العلاقة (1-6)}$$

4-2-6- القوى الشاقولية بسبب تسطح أو تقطح دولاب العربة:

ينشأ التسطح من جراء تزلزل الدولاب على القضيب بسبب سوء الاجام ولمسافات طويلة أثناء سير القطار وهذه ظاهرة شائعة عندنا. أو قد يصادف في بعض العربات التي بقيت واقفة لمدة طويلة وهي محملة أن يتعرض دولاب أو أكثر للتقسطح. وعند إعادة استعمالها فان عدم دائرية دواليبها تؤدي إلى نشوء قوة شاقولية. لذلك فمن الضروري صيانة العربات ومراقبتها دورياً.

يمكن حساب الاجهاد الناتج عن تسطح الدولاب تجريبياً من الشكل (4-6)



الشكل 4-6: حساب الاجهاد الناتج عن تسطح الدولاب تجريبياً

3-6- القوى الطولية:

تتألف القوى الطولية المؤثرة في الخط الحديدي من قوة أو أكثر من القوى التالية:

1-3-6- القوة الطولية الناتجة عن تغير درجة الحرارة:

يؤدي تغير درجة الحرارة إلى تغير في أطوال القضبان وفق القانون الفيزيائي للتمدد الحر للمعادن.

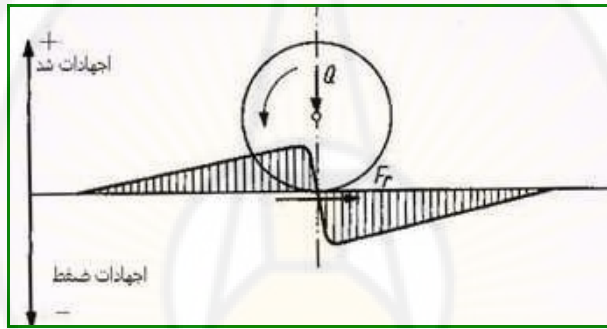
إن هذا القانون صحيح من أجل شروط توضع للقضبان تكون فيها قوى الاحتكاك غير موجودة. وتكون عندها الإجهادات بسبب تغير درجة الحرارة معدومة أيضاً. ولكن

التركيبية الإنشائية للخط الحديدي تفترض وجود مقاومات تمنع في حدوث التغير في الطول وبالتالي فإن الإجهادات الناتجة عن تغير درجة الحرارة تبلغ قيمة تختلف باختلاف المقاومات.

تحسب هذه الاجهادات بمعرفة قوانين مقاومة المواد (قانون هوك).

2-3-6- القوة الطولية بسبب التسارع:

تلاحظ هذه القوة عند إقلاع القطار حيث تقوم الدواليب المحركة في القاطرات بتوليد قوة معاكسة لاتجاه السير (الشكل 5-6).



الشكل 5-6: القوة الطولية بسبب التسارع

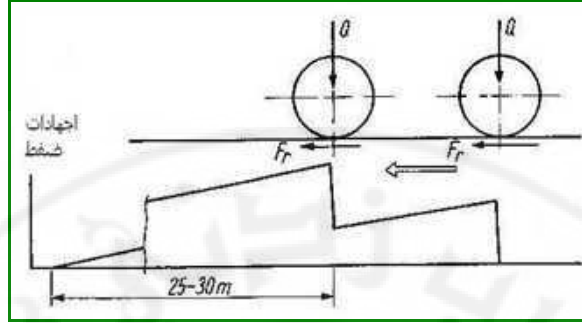
وتظهر في القضيب منطقتا شد وضغط. الأولى تقع أمام الدواليب المحركة والثانية خلفها. تحسب قوة الاحتكاك بالعلاقة (2-6):

$$F_r = Q * \mu_0 \quad (2-6)$$

يمتد تأثير قوة الاحتكاك إلى مسافة قصيرة نحو 3 أمتار أمام الدواليب ومثلها خلفه.

2-3-3- القوة الطولية بسبب الفرملة (الإلجام):

تؤثر هذه القوة باتجاه الفرملة نفسه ويمتد تأثيرها إلى مسافة كبيرة تصل إلى نحو 30 متراً أمام أول محور.



الشكل 6-6: القوة الطولية بسبب الفرملة

وتختلف عن القوة الطولية بسبب التسارع بأنها قوة ضاغطة أمام المحاور المفرملة. كما أن جميع المحاور تساهم في تحريض هذه القوة. ويعود السبب في طول مسافة تأثيرها الى أن الاهتزازات المتولدة في القسم العلوي للخط تخفض من قيمة المقاومة الطولية بين البلاست والعوارض. وقد تبلغ القوة نحو 15% من قيمة القوة الطولية العظمى بسبب تغير درجة الحرارة.

4-3-6- القوة الطولية بسبب الإجهادات الداخلية عند الصنع واللحام:

تخضع عملية الإنتاج القضبان في المعامل لعدد من العمليات مثل السحب والإسقاء والتبريد والتسوية وغيرها. مما يشكل مناطق إجهادية داخلية تبلغ قيمتها بين 50-100 نيوتن/ ملم². كذلك تنشأ قوة طولية عند لحام القضبان مع بعضها باللحام الألوميني الحراري حيث يؤدي تنفيذ هذا اللحام إلى نقص في الطول يساوي 2 ملم وهذا النقص يحرض إجهادات شد ضمن القضبان.

تتوزع الإجهادات الداخلية بسبب الصنع ضمن المقطع العرضي وفي الاتجاه الطولي حيث لا تشكل أي تأثير يذكر في القضبان.

4-6- القوى العرضية:

تتولد القوى العرضية بسبب الآليات المتحركة على الخط وتتكون من القوى التالية:

قوى التوجيه - القوة النابذة - قوة الريح - قوى الربط بين العربات

تعد القوة العرضية الناتجة عن الحركة الجيبية للقطارات سواءً في الاستقامات أو المنحنيات القوة العرضية الأساسية التي تسبب اجهادات في القضبان وذلك اذا استثنينا تلك القوى العرضية الناتجة عن أعمال الصيانة.

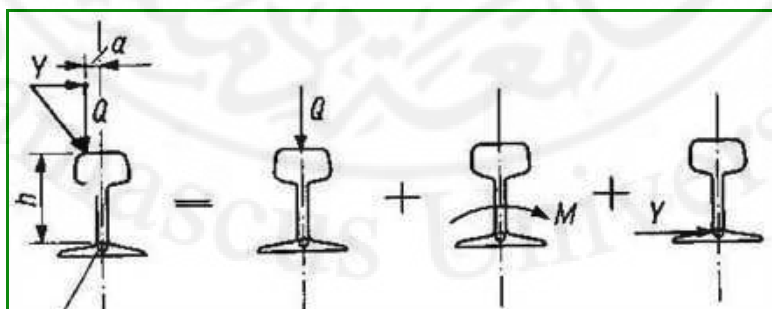
ويمكن لهذه الاجهادات أن تبلغ أكثر من مرة ونصف المرة من قيمة الاجهادات الناتجة عن الحمولات الشاقولية في بعض المناطق في القضبان مثل الحافة السفلية للهامة أو الحافة الخارجية للقاعدة.

تحدد قيمة التوجيه تبعاً لمجموعة من المتغيرات نذكر أهمها:

- الوضع الجيومتري للخط.
- السرعة.
- حالة العربات والقاطرات.
- حالة الخط الحديدي.

لقد دلت القياسات والتجارب التي أجريت لتحديد أثر العوامل السابقة في قوة التوجيه أن هذه القوة تكون تحت القاطرات أكبر بنحو الضعفين منها تحت العربات وأنها أقل تأثراً بالسرعة بينما بشكل ملحوظ من أجل أنصاف الأقطار الصغيرة.

ويمكن تحليل القوة المائلة المطبقة على القضيب الى قوة شاقولية وقوة افقية وعزم فتل.



الشكل 6-7: تحليل القوة المائلة

5-6- المقاومات (القوى المقاومة):

تلاحظ في الخط الحديدي مجموعة من القوى المقاومة أو ما يعرف بالمقاومات التي تعاكس القوى المؤثرة وتعمل على المحافظة على استقرار الخط الحديدي.

تتوزع المقاومات في فئتين أساسيتين:

أ- مقاومات الاحتكاك:

وهي موجودة في الخطوط العادية والخطوط الملحومة وتضم:

- مقاومة الجبيرات.

- مقاومة الاحتكاك الطولي بين العوارض والبلاست.

- مقاومة الاحتكاك بين القضبان والعوارض.

ب- مقاومات تغيير وضعية الخط:

وهي موجودة بشكل رئيس في الخطوط الملحومة وتعمل على ممانعة تحنيب

الخط وتضم:

- مقاومة التحنيب.

- مقاومة الدوران.

- مقاومة الانزياح العرضي.

6-5-1- مقاومة الجببرات:

وهي مقاومة الاحتكاك بين نهايات القضبان والجببرات والتي يجب التغلب عليها في حدوث التمدد الطولي للقضبان. وتتأثر بمجموعة من العوامل مثل:

- عزم شد براغي الجبيرة.

- تآكل الروابط عند الفاصل بسبب الحركة أو الظروف المناخية.

- شكل الجبيرة و سطح التماس بين الجبيرة والقضبان.

وتتأرجح قيمة هذه المقاومة بين 50-2000 كيلو نيوتن. من أجل قيمة دنيا للمقاومة فان الفاصل سرعان ما يغلق أو يفتح مع تغير قليل في درجة الحرارة بحيث يؤدي هبوط درجة الحرارة الى ظهور قوة شد. وتحمل البراغي في هذه الحالة القسم الأكبر منها مما يؤدي الى تشوه أو قص البراغي وذلك لأن البراغي لا تتحمل عادة أكثر من 90 كيلو نيوتن.

ومن أجل الجببرات ذات المقاومة العالية أكبر من 250 كيلو نيوتناً فانه مع ارتفاع درجة الحرارة لا تستطيع القضبان أن تتمدد فيؤدي ذلك الى نشوء قوى ضغط عالية في منطقة الفاصل وهذا غير مرغوب فيه لأن الفاصل كما هو معروف نقطة ضعف في الخط الحديدي.

6-5-2- مقاومة الاحتكاك الطولي بين العوارض والبلاست:

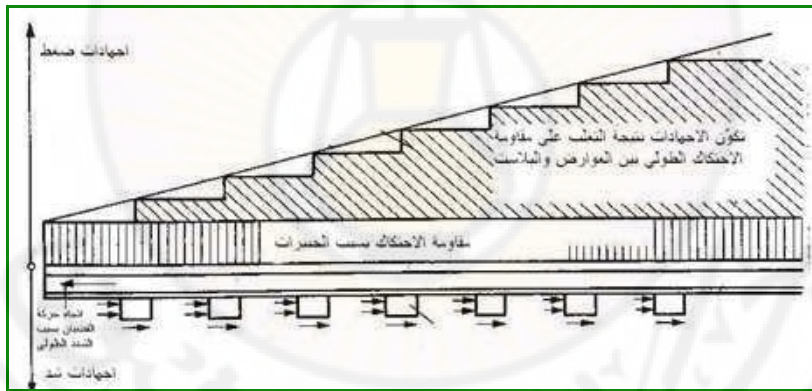
هي مقاومة الانزياح الطولي للعوارض في البلاست. وتبدأ هذه المقاومة بالعمل في ممانعة الانزياح الطولي بعد التغلب على مقاومة الجببرات حيث تبدأ العوارض بالانزياح مع استمرار درجة الحرارة بالارتفاع أو الهبوط ويرافق ذلك نشوء قوة طولية في القضبان. وبذلك تزداد الإجهادات مع زيادة عدد العوارض الخاضعة للانزياح بشكل متدرج حتى منتصف القضيب.

وعادة تؤخذ هذه المقاومة في واحدة الطول وليس من أجل كل عارضة ويعبر عن ذلك

بخط مستقيم يميل بمقدار قيمة هذه المقاومة التي تتأرجح في مجال كبير. ويتعلق هذا بدرجة نظافة البلاست وبنوع العوارض ودرجة الرص للبلاست وبكمية الحمولات فوق القضبان. فمثلاً من أجل طبقة بلاست نظيفة وغير مرصوفة تكون قيمة المقاومة:

- باستخدام عوارض بيتونية نحو 50 نيوتن/سم.
- باستخدام عوارض خشبية نحو 40 نيوتن/سم.
- باستخدام عوارض معدنية نحو 70 نيوتن/سم.

وتزداد هذه القيم عند رص البلاست بمقدار 15-20% كما تزداد بسبب مرور الحمولات بمقدار 100% بينما تؤثر الاهتزازات الناتجة عن حركة القطارات في تخفيض قيمة المقاومة بمقدار 50%.



الشكل 6-8: مقاومة الاحتكاك الطولي بين العوارض والبلاست

6-5-3- مقاومة الاحتكاك بين القضبان والعوارض:

هي مقاومة الاحتكاك التي تنشأ نتيجة قوة الرص للمثبتات (أدوات التثبيت) وتتعلق بشكل رئيس بنوع المثبتات ومقدار قوة الرص المطبقة على قاعدة القضيب التي بدورها تتعلق بعزم الشد المطبق على براغي التثبيت. كما تتعلق بنوع الوسائد المستخدمة ويمكن زيادة هذه المقاومة باستعمال صفائح مطاطية. وتتنخفض قيمتها عند ارتخاء البراغي أو عند تآكل القضبان واهتراء الوسائد.

وفي جميع الأحوال فيجب أن تكون قيمة هذه المقاومة أكبر من مقاومة الاحتكاك بين العوارض والبلاست وفي حال حصول العكس فإن القضبان سوف تتمدد أو تنقلص عندما يتم التغلب على المقاومة فقط وهذا يحدث عندما يكون البلاست متسخاً وفي درجات الحرارة المنخفضة.

تتراوح قيمة هذه المقاومة بين 20-25 كيلو نيوتناً لكل عارضة وذلك عند تطبيق عزم شد على براغي التثبيت مقداره 250 نيوتن.م عند استخدام المثبتات القاسية نوع k. وعند اعتماد قيمة هذه المقاومة في واحدة الطول فإنها من أجل تباعد بين العوارض مقداره 60 سم تكون بين 330-420 نيوتن/سم. أما قوة الضغط التي تنتقل عن طريق براغي التثبيت فتبلغ نحو 30 كيلو نيوتن ولأسباب مختلفة قد تحدث خللة تؤدي إلى تمدد الحلقة النابضية ويؤدي ذلك إلى نقصان قوة الضغط فمن أجل تمدد مقداره 1 ملم فإن قوة الضغط تنخفض إلى 16 كيلو نيوتن من أجل حلقة نابضية ثلاثية أو إلى 10 كيلو نيوتن في حالة حلقة نابضية ثنائية.

وتتأثر هذه المقاومة بالتأثيرات الديناميكية التي تخفض من قيمتها نحو 15%.

4-5-6- مقاومة التثبيت:

وهي صلابة الخط وتعرف بأنها جداء معامل المرونة لفولاذ القضبان في عزم العطالة للخط. وتساهم في ثبات الخط عند ارتفاع درجة الحرارة ضد التجنيب الأفقي أو الشاقولي. وتعد مقاومة التجنيب الأفقي هي الأكثر أهمية عند حساب الخطوط الملحومة.

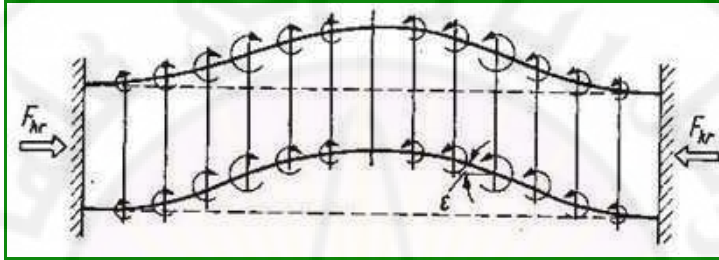
5-5-6- مقاومة الدوران:

عند تعرض الخط الحديدي لقوة ضغط أفقية فإنه تحدث فيه انزياحات أفقية التي هي دوران بين محور القضيب ومحور العارضة.

يحدث الدوران عند التغلب على مقاومة القضبان ضد الدوران أو ما يعرف

بمقاومة الدوران. وتتأثر هذه المقاومة بشكل رئيس بنوع المثبتات. ويبين الشكل (9-6) رسماً تخطيطياً لدوران القضيب حول العارضة.

يمكن تحديد قيمة مقاومة الدوران تجريبياً. تتعلق زاوية الدوران بين القضيب والعارضة بقيمة مقاومة الدوران.



الشكل 9-6: مقاومة الدوران

يمكن تمييز المجالات الثلاثة التالية في الشكل (10-6):

1- المجال الأول:

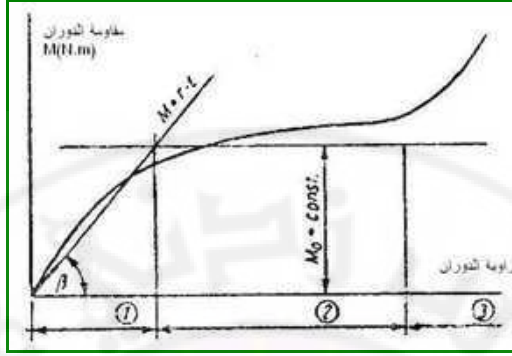
تكون زاوية الدوران صغيرة وتزداد مقاومة الدوران بشكل خطي مع زيادة زاوية الدوران.

2- المجال الثاني:

تزداد زاوية الدوران مع بقاء مقاومة الدوران ثابتة تقريباً.

3- المجال الثالث:

تزداد مقاومة الدوران بشكل مفاجئ وذلك بسبب توضع قاعدة القضيب على الوسادة المعدنية بشكل مائل.



الشكل 10-6: العلاقة بين زاوية الدوران ومقاومة الدوران

إن متابعة دوران القضيب حول العارضة بعد بلوغ المجال الثالث يعني تحطم المثبتات. تتعلق مقاومة الدوران بشكل رئيس بالعوامل التالية:

- نوع المثبتات.
- درجة صيانة الخط.
- ثبات التباعد بين عناصر القسم العلوي من الخط.
- أسلوب عمل المثبتات.

6-5-6- مقاومة الانزياح العرضي:

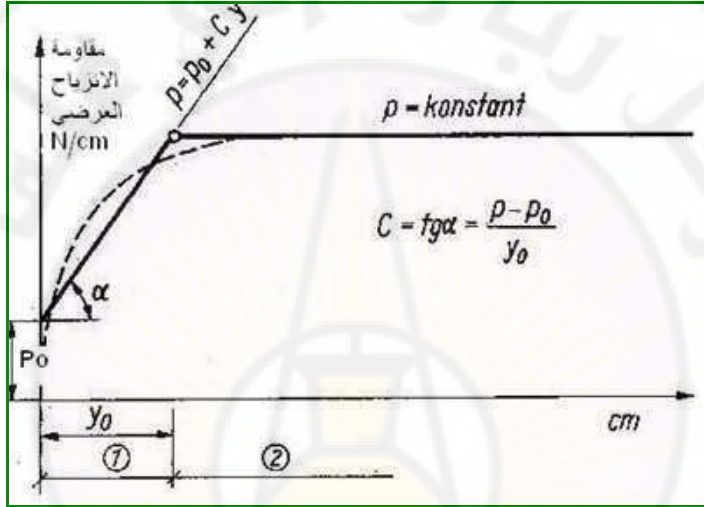
هي مقاومة العوارض المغموسة في البلاست ضد الانزياح العرضي في المستوى الأفقي. وتعد العامل الرئيس في ثبات الخطوط ولاسيما الخطوط الملحومة حيث تبلغ نسبة مساهمتها 55-70% من المقاومة الكلية للخط تأتي بعدها مقاومة الدوران بنسبة 15-30% ثم مقاومة التجنيب بنسبة 12-15%.

تتأثر هذه المقاومة بالعوامل التالية:

- نوع العوارض ووزنها والمسافة بينها.
- نوع البلاست المستخدم وتدرجه الحبي.
- توزيع البلاست في كتف الخط.

- درجة تراص البلاست.

لقد دلت نتائج التجارب على مقاومة الانزياح العرضي تزداد بشكل واضح حتى يبلغ الانزياح العرضي للعارضة 3-10 ملم. بعدها تبدأ العارضة في الانزلاق ضمن البلاست مقابل زيادة لا تذكر في قيمة المقاومة.



الشكل 6-11: مقاومة الانزياح العرضي

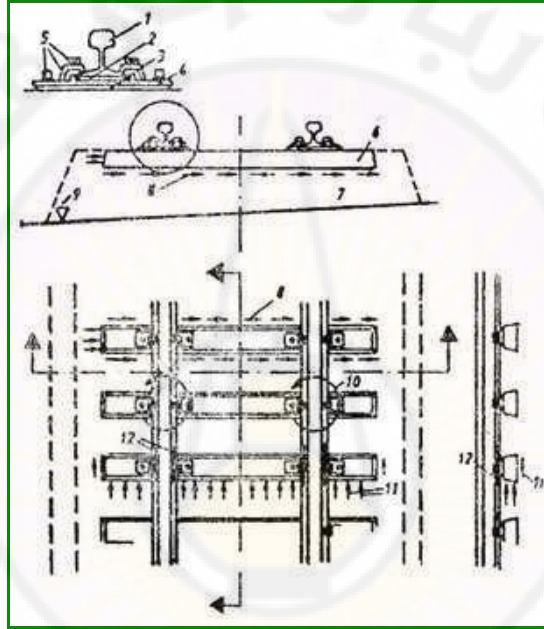
تفسر هذه الظاهرة بأنه يجب التغلب على الاحتكاك بين سطح أسفل العارضة وجبهتها وجوانبها وبين البلاست قبل البدء بالحركة. لذلك يفضل زيادة عرض الكتف لجسم البلاست مما يزيد في مقاومة الانزياح العرضي. يظهر تأثير نوع العوارض في مقاومة الانزياح العرضي في السنة الأولى لإنشاء الخط (الشكل 6-19).

تتميز العوارض البيتونية بدورها الايجابي في استقرار الخط وذلك لوزنها الكبير. أما العوارض الخشبية فانها تعوض عن وزنها بالتماسك مع البلاست حيث تنغرس الحصى بالعوارض الخشبية فيما يعرف بظاهرة التسنن.

تؤثر حركة القطارات في قيمة هذه المقاومة نحو 10-15%. وكذلك فان أعمال

الصيانة تخفض من قيمتها لذلك لا ينصح بالقيام بهذه الأعمال ولا سيما أعمال صيانة الخطوط الملحومة في درجات الحرارة المرتفعة.

وأخيراً يظهر الشكل (6-12) المقاومات الرئيسة في خط حديدي الانشائية له.



الشكل 6-12: المقاومات الرئيسة في خط حديدي

- 1- القضيب، 2- حشوة مطاطية بين القضيب والوسادة، 3- حشوة بين الوسادة والعارضة، 4- الوسادة، 5- المثبتات، 6- العارضة، 7- جسم البلاست، 8- مقاومة الانزياح العرضي، 9- البلاتفورم (القسم السفلي) 10- مقاومة الدوران، 11- مقاومة الاحتكاك الطولي بين العوارض والبلاست، 12- مقاومة الاحتكاك الطولي بين القضيب والعوارض.

6-6- الإجهادات في القضبان:

6-6-1- الإجهادات الناتجة عن القوى الشاقولية:

لا بد في البداية من التعرف على بعض المصطلحات الاختصاصية وذلك قبل التطرق إلى طرق حساب الإجهادات:

- عامل السرعة K_v أو عامل التأثير الديناميكي ويستخدم في حساب التأثيرات الديناميكية للحمولات الشاقولية، انطلاقاً من الحمولات الستاتيكية. ويعطى بشكل تقريبي بالعلاقات التجريبية التالية:

$$0 \leq V \leq 100 \text{ km/h} \quad K_v = 1 + \frac{V^2}{30000} \quad (\text{a3-6})$$

$$100 \leq V \leq 180 \text{ Km/h}$$

$$K_v = 0.2382 + 1.53 * 10^{-2} V - 0.44 * 10^{-4} V^2 + 0.0051 * 10^{-6} * V^3 \quad (\text{b3-6})$$

$$180 \leq V, K_v = 1.6 \quad (\text{c3-6})$$

- عامل البلاست c وهو مقدار الضغط بين العارضة والبلاست واللازم لهبوط العارضة مقدار c سم ضمن البلاست. و يعطى بالعلاقة:

$$c = \frac{P}{y} \quad (4-6)$$

يفيد عامل البلاست في حساب الإجهادات والهبوط للخط الحديدي، أما واحدة القياس فهي (N/cm^3) .

تدل التجارب التي أجريت في الكثير من مؤسسات الخطوط الحديدية أن قيمة C تتراوح بين 400-50 نيوتن/سم³. ويمكن تحديدها بدقة مقبولة إذا توافرت المعطيات عن المواد المكونة للبلاست ونسبة ارتصاصها. وتتراوح قيمته في منطقة وسط أوروبا بين 70 نيوتن/سم³ في الصيف و 200 نيوتن/سم³ في الشتاء. وإن اعتماد قيمة $c = 100 \text{ N/cm}^3$ مقبول من أجل الظروف الطبيعية. أما في سوريا فلا توجد معطيات تحدد لنا قيمة هذا العامل. والجدول التالي يبين قيم عامل البلاست تبعاً للطابق الترابي.

الجدول (1-6)

عامل البلاست C (N/cm ³)		الطابق الترابي
بحص	حجر مكسر	
50	50	طبقة غضارية أو طينية
100-150	150-200	طبقة ذات تأثير متوسط
150-200	250-300	طبقة بحصية أو صخرية

كما تتغير قيمة عامل البلاست بتغير نوع العوارض المستخدمة كما يبين الجدول (2-6).

الجدول (2-6)

عوارض خشبية	عوارض بيتونية	عامل البلاست	
110	360	صيفاً	وقت القياس
260	1160	شتاءً	

- عامل هبوط العارضة D: وهو القوة الواجب تطبيقها على العارضة للحصول على هبوط مقداره 1 سم ويعطى بالعلاقة:

$$D = C * A_p \quad (5-6)$$

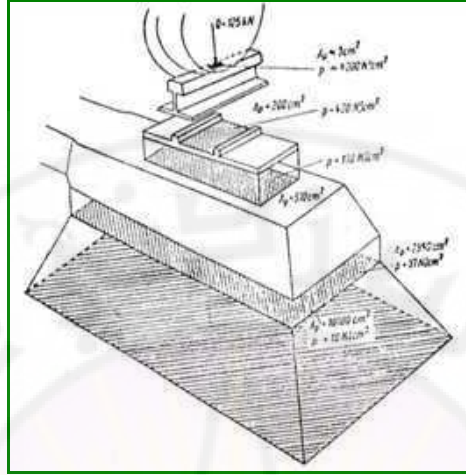
حيث:

C: عامل البلاست (N/cm²).

A_p: السطح المعرض للضغط بين العارضة والبلاست (cm²) أما واحدة قياس عامل هبوط العارضة فهي نيوتن/سم (N/cm).

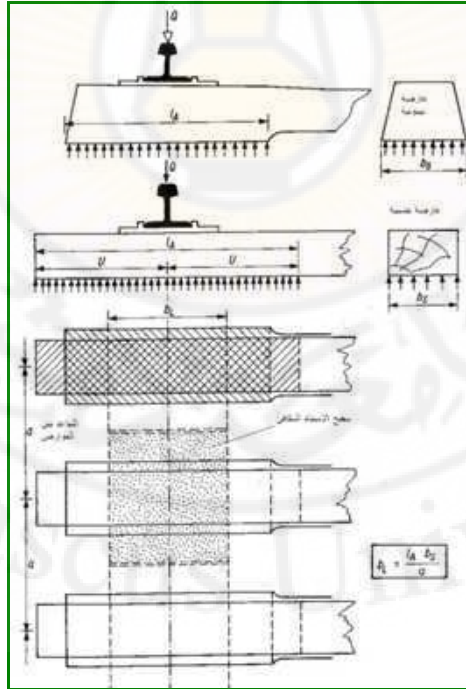
2-6-6 طريقة الجائر الطولي:

تنقل الحمولات الشاقولية عبر سلسلة من العناصر تبدأ بالقضبان مروراً بالوسائد المعدنية والعوارض والبلاست وصولاً إلى الطابق الترابي. ويرافق ذلك زيادة في السطح المعرض للضغط ونقصاناً في قيمة الإجهادات. (الشكل 6-13).



الشكل 6-13: انتقال الحمولات الشاقولية

تعتمد طريقة الجائز الطولي على افتراض أن الجملة (قضبان+أدوات تثبيت+عوارض) تشكل جائزاً حسابياً يستند إلى وسط مرن (البلاست).



الشكل 6-14: طريقة الجائز الطولي

يحسب عرض الجائز الحسابي b_L كناتج قسمة السطح المعرض للضغط على التباعد بين العوارض كما يلي:

$$b_L = \frac{L_A * b_s}{\alpha} \quad (6-6)$$

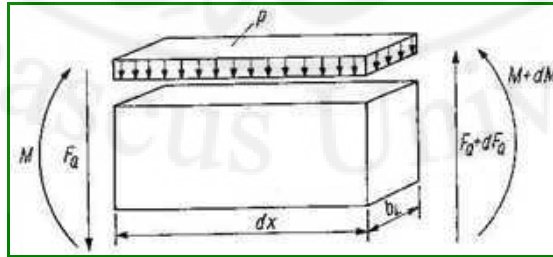
L_A : طول الجزء من العارضة المعرض للضغط (يؤخذ بالنسبة للعارضة الخشبية بمقدار نصف طول العارضة).
 b_s : عرض العارضة.
 α : التباعد بين العوارض.

إن أهم اعتراض على طريقة الجائز الطولي تكمن في أنه توجد هبوط مرن في القضبان وذلك عند تطبيق الحمولة الشاقولي بين عارضتين متجاورتين. وإن الإجابة على هذا القول أنه يمكن إهمال هذا الهبوط نظراً لصغر قيمته. فإذا افترضنا أن الجزء من القضيب بين عارضتين هو جائز موثوق من الجهتين فإن الهبوط يحسب عندئذ بالعلاقة التالية:

$$y = \frac{Q * \alpha^3}{48EI} \quad (7-6)$$

ومن أجل القيم المعتمدة لدى معظم الخطوط الحديدية فإن قيمة هذا الهبوط لا تتجاوز 5% من الهبوط الحقيقي للخط الحديدي.

ننطلق في حساباتنا وفق هذه الطريقة بأخذ عنصر من الجائز الحسابي ودراسته.



الشكل 6-15: عنصر تفاضلي من الجائز الحسابي

يخضع هذا العنصر المدروس لتأثير قوة قص F_Q وإلى عزم M ناتجين عن حمولة موزعة بانتظام ومساوية الضغط بين الجائز الحسابي والبلاست:

$$dF_Q = b_L * p * dx \quad (8-6)$$

$$dM = F_Q * dx \quad (9-6)$$

$$\frac{dF_Q}{dx^2} = b_L * p = \frac{d^2 M}{dx^2} \quad (10-6)$$

ومن نظرية مقاومة المواد لدينا العلاقة:

$$\frac{d^2 y}{dx^2} = \frac{-M}{EI} = \frac{-F_Q * x}{EI} \quad (11-6)$$

y : الهبوط المرن للجائز الحسابي.

EI : صلابة الجائز الحسابي (تؤخذ صلابة القضبان فقط).

وللحصول على المعادلة التفاضلية للخط المرن نشق العلاقة (11-7) مرتين.

$$\frac{d^3 y}{dx^3} = \frac{-F_Q}{EI} = \frac{-p_L * p * x}{EI} \quad (12-6)$$

$$\frac{d^4 y}{dx^4} = -\frac{b_L * p}{EI} \quad (13-6)$$

ومن هذه العلاقة يكون:

$$\frac{d^4 y}{dx^4} = \frac{-b_L * c * y}{EI} \quad (14-6)$$

وبإدخال المتحول الوسيط ζ نحصل على المعادلة التفاضلية للخط المرن:

$$\frac{d^4 y}{d\zeta^4} = 4y \quad (15-6)$$

حيث:

$$L = \sqrt{\frac{4EI}{cb_L}} \quad (16-6)$$

$$\zeta = \frac{X}{L} \quad (17-6)$$

ويكون الحل العام لهذه المعادلة الأساسية هو:

$$y = \frac{1}{2} e^{\zeta} \cos \zeta A_1 + \frac{1}{2} e^{-\zeta} \cos \zeta A_2 + \frac{1}{2} e^{\zeta} \sin \zeta A_3 + \frac{1}{2} e^{-\zeta} \sin \zeta A_4 \quad (18-6)$$

تمثل الرموز A_4, A_3, A_2, A_1 ثوابت يجب تحديدها رياضياً. ونوجز فيما يلي هذه

الثوابت:

$$A_1 = \frac{Q}{2cb_L L} \frac{2 + \cos 2\zeta - \sin 2\zeta + e^{-2\zeta}}{\operatorname{ch} 2\zeta - \operatorname{sh} 2\zeta} \quad (19-6)$$

$$A_2 = A_1 + \frac{Q}{cb_L L} \quad (20-6)$$

$$A_3 = \frac{Q}{2cb_L L} \frac{\cos 2\zeta + \sin 2\zeta - e^{-2\zeta}}{\operatorname{ch} 2\zeta + \operatorname{sh} 2\zeta} \quad (21-6)$$

$$A_4 = -A_3 + \frac{Q}{cb_L L} \quad (22-6)$$

وبإدخال التعبيرين الرياضيين التاليين:

$$\eta = e^{-\zeta} (\cos \zeta + \sin \zeta) \quad (23-6)$$

$$\mu = e^{-\zeta} (\cos \zeta - \sin \zeta) \quad (24-6)$$

فإننا نحصل على معادلة الخط المرن:

$$y = \frac{Q}{2cb_L L} * \eta \quad (25-6)$$

وعلى معادلة العزم:

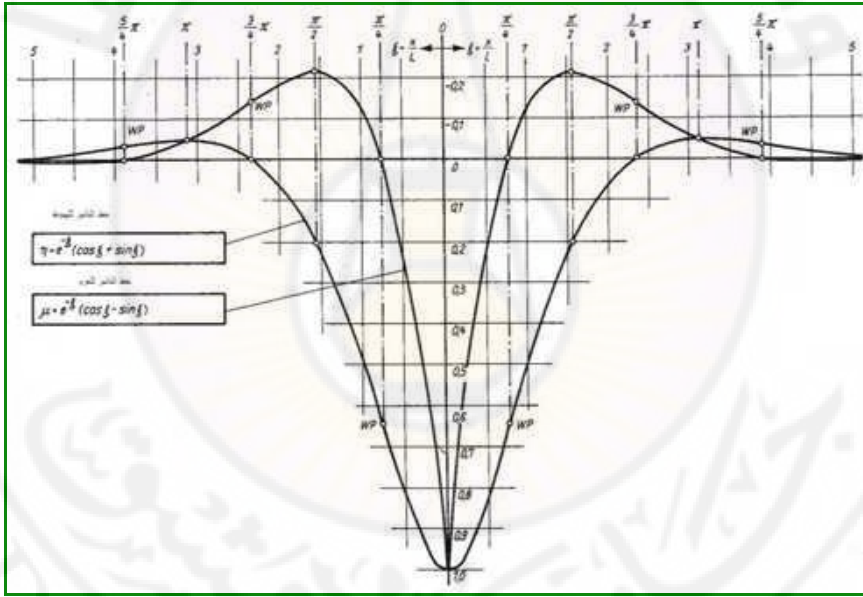
$$M = \frac{QL}{4} \eta \quad (26-6)$$

وعلى معادلة الضغط بين سطح العارضة والبلاست:

$$p = \frac{Q}{2b_L L} * \eta \quad (27-6)$$

تعتبر المعادلات الثلاثية الأخيرة عن تأثير قوة مفردة في مقطع يبعد بمقدار $X = \zeta * L$ عن نقطة تطبيق القوة.

ويمكن تبسيط عملية حساب الإجهادات والهبوطات برسم خطوط التأثير μ, η بدلالة المتحول $\zeta = \frac{X}{L}$ كما في الشكل.



الشكل 6-16: خطوط التأثير μ, η

يعتمد من أجل حساب الإجهادات الشاقولية والهبوطات الناتجة عن تأثير عدة قوى إلى حساب بشكل منفرد ثم تجمع تأثيرات هذه القوى بالعلاقات التالية:

$$y = \frac{k v}{2 c b_L L} (Q_1 \eta_1 + Q_2 \eta_2 + \dots) \quad (28-6)$$

$$M = \frac{L}{4} (Q_1 \mu_1 + Q_2 \mu_2 + \dots) \quad (29-6)$$

$$p = c * y \quad (4-6)$$

$$\sigma = \frac{M}{W_x} kv \quad (30-6)$$

σ : الإجهاد في القضيب الحديدي الناتج عن العزم M .
 W_x : العزم المقاوم.

1-2-6-6- مناقشة:

يؤدي تغيير العناصر الرئيسية في حساب الإجهادات والهبوطات إلى تغيير في النتائج. وفيما يلي جدول يلخص تأثير هذه العناصر وهي عامل بلاست، نوع القضبان، التباعد بين العوارض، نوع العوارض.

الجدول (3-6)

العنصر المتغير	k_σ	k_y	k_p
c	$\sqrt[4]{\frac{c}{c^*}}$	$\sqrt[4]{\left(\frac{c}{c^*}\right)^3}$	$\sqrt[4]{\frac{c^*}{c}}$
I	$\sqrt[4]{\frac{I^*}{I} * \frac{w}{w^*}}$	$\sqrt[4]{\frac{I}{I^*}}$	$\sqrt[4]{\frac{I}{I^*}}$
a	$\sqrt[4]{\frac{a^*}{a}}$	$\sqrt[4]{\left(\frac{a^*}{a}\right)^3}$	$\sqrt[4]{\left(\frac{a^*}{a}\right)^3}$
A_p	$\sqrt[4]{\frac{A_p}{A_p^*}}$	$\sqrt[4]{\left(\frac{A_p}{A_p^*}\right)^3}$	$\sqrt[4]{\left(\frac{A_p}{A_p^*}\right)^3}$
$\sigma^* = k \sigma * \sigma$	$y^* = ky * y$	$p^* = kp * p$	

إن مضاعفة عامل البلاست يؤدي إلى تخفيض الإجهادات في أسفل قاعدة القضيب بمقدار 16%. بينما ينخفض الضغط بين العارضة والبلاست بمقدار 12%.
كما أن تكبير سطح استناد العارضة بمقدار 20% يؤدي إلى تخفيض الإجهادات في أسفل القاعدة بمقدار 4% وتخفيض بين العارضة والبلاست بمقدار 13%.

ومن أجل تغير أكثر من عنصر فإنه يمكن معرفة أثر ذلك من خلال جداء نسب التغير الموافقة.

يبلغ مقدار العزم السالب الأعظمي المؤثر في القضيب الحديدي 21% من قيمة العزم الموجب الأعظمي.

بينما يخضع القضيب الحديدي تحت تأثير حمولة مفردة إلى هبوط أعظمي تحتها مباشرة، يلاحظ أنه على مسافة 3.1L يوجد رفع للخط بمقدار 4.3% من قيمة الهبوط الأعظمي. فإذا تصادف مرور قاطرة ذات تباعد بين محورها يساوي 6.2L فإن مقدار رفع الخط سوف يتضاعف نتيجة جمع تأثير الحملتين. لذلك لا بد من مراقبة مثل هذا الوضع حيث يؤثر ذلك في استقرار الخط.

إن رفع الخط الحديدي ثم عودته ثانيةً إلى الوضع السابق وفي حال وجود سرعات كبيرة فإن طبقة البلاست تخضع لعملية دق (طرق). ولتقويم هذه الظاهرة فإنه يدرس ما يسمى بسرعة الجلوس للخط. وتبلغ هذه السرعة من أجل قطار ذي حمولة محورية 20 طنًا و 200 كم/سا نحو 1 سم/ثا. وقد تبلغ في بعض الحالات 2-5 سم/ثانية.

6-2-2-6- مثال:

يطلب حساب الإجهاد الأعظمي والهبوط الأعظمي لخط حديدي له المواصفات التالية:

$$c = 100 \text{ N/cm}^3 \text{ عامل البلاست}$$

$$a = 60 \text{ cm} \text{ التباعد بين العوارض}$$

قضبان نوع ($W_x = 239 \text{ cm}^3, I_x = 1795 \text{ cm}^4, 62.5 \text{ cm}^2$) عوارض بيتونية لها

سطح استناد إلى البلاست $A_p = 26.5 * 90 \text{ cm}$ وذلك نتيجة حمولة محورية مقدارها

$$Q = 100 \text{ Km} \text{ يؤخذ عامل التأثير الديناميكي } K_v = 1.33.$$

الحل:

1- حساب عرض الجائز الحسابي b_L :

$$b_L = \frac{L_A * b_s}{a} = \frac{90 * 62.5}{60} = 40 \text{ cm}$$

2- حساب ثابت الجائز الحسابي L :

$$L = \sqrt[4]{\frac{4EI}{C * b_L}} = 80 \text{ cm}$$

3- قراءة قيم خطوط التأثير μ, η :

$$\zeta = 0, \mu = 1.0, \eta = 1.0$$

3- حساب الإجهاد:

$$M = \frac{L}{4} Q_\mu = 2000 \text{ Km.cm}$$

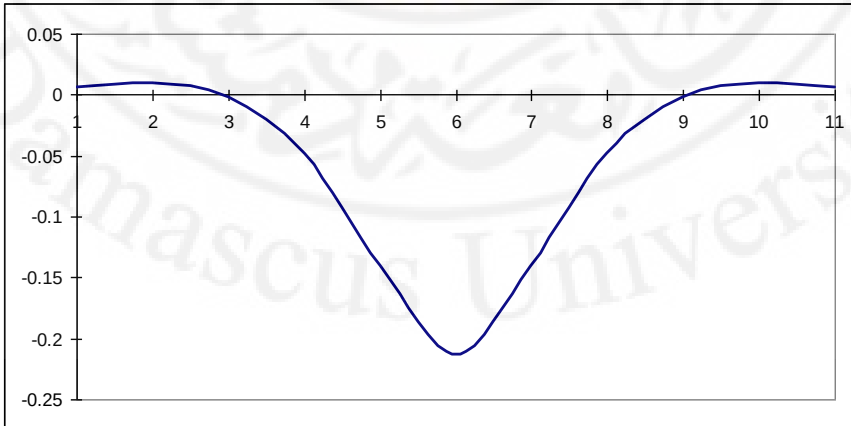
$$\sigma = \frac{M}{W_x} K_v = 11000 \text{ N/cm}^2$$

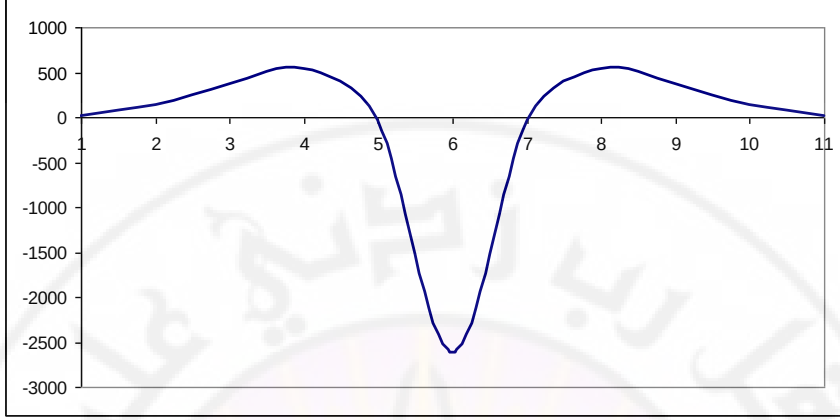
4- حساب الهبوط الأعظمي:

$$y = \frac{Q\eta}{2cb_L L} K_v = 0.207 \text{ cm}$$

1- حساب الضغط الأعظمي بين العارضة والبلاست:

$$p = c * y = 20.7 \text{ N/cm}^2$$





الشكل 6-17: الخط المرن ومخطط العزم

3-2-6-6- مثال:

تتحرك قاطرة نوع على خط حديدي. والمطلوب حساب الإجهاد الأعظمي في

قاعدة القضيب وكذلك حساب الهبوط الأعظمي للخط. مع العلم أن:

- التباعد بين محوري الدواليب في القطبة الواحدة هو 340 سم.

- حمولة الدواليب الأعظمية $Q = 100 \text{ KN}$.

- السرعة $V = 100 \text{ Km/h}$.

- التباعد بين العوارض $a = 60 \text{ cm}$.

- قضبان نوع S49 ($I_x = 1795 \text{ cm}^4$, $W_x = 239 \text{ cm}^3$).

- عوارض نوع BS 65 ($A_p = 2385 \text{ cm}^2$).

- عامل البلاست $c = 100 \text{ N/cm}$.

الحل:

يحسب عرض الجائز الحسابي وكذلك عامل الجائز الحسابي:

$$bL = \frac{90 * 62.5}{60} = 40 \text{ cm}$$

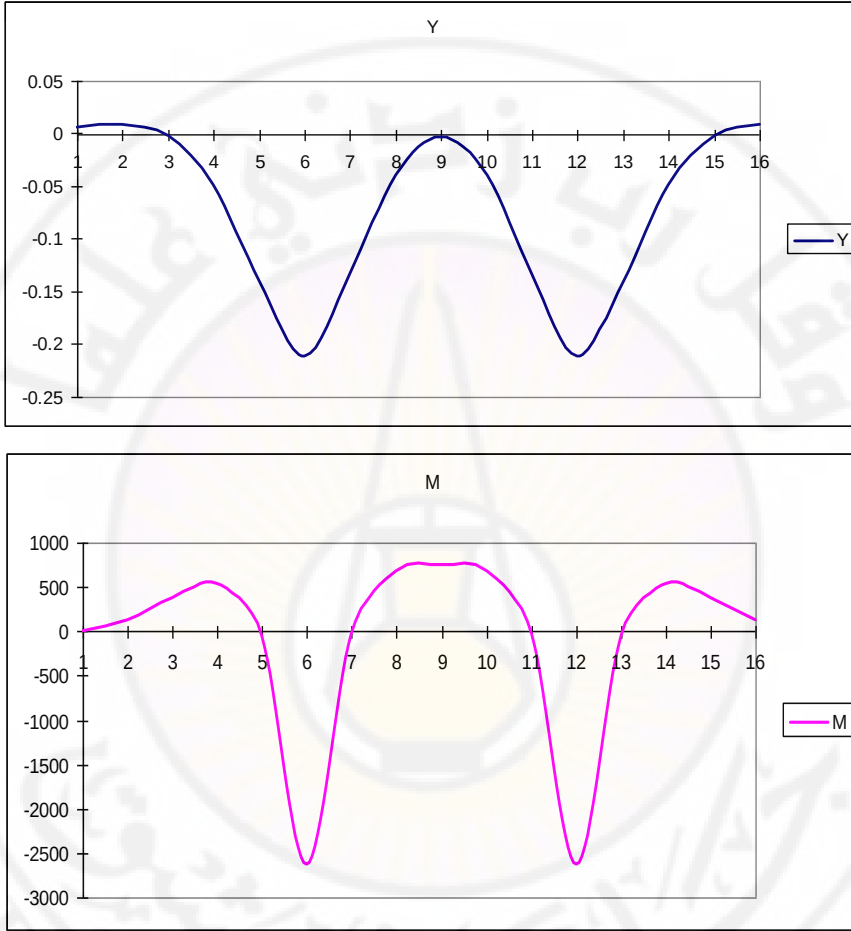
$$L = \sqrt[4]{\frac{4 * 21 * 10^6}{100 * 40}} = 80 \text{ cm}$$

ثم ننظم الحسابات في جدول كما يلي:

الجدول (4-6)

sleeper no	5	4	3	2	1	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
X_1	300	240	180	120	60	0	60	120	180	240	300	360	420	480	540	600
X_{i1}	3.82	3.06	2.29	1.53	0.76	0.00	0.76	1.53	2.29	3.06	3.82	4.59	5.35	6.12	6.88	7.65
Eta_1	-0.031	-0.043	0.009	0.226	0.658	1.000	0.658	0.226	0.009	-0.043	-0.031	-0.011	-0.001	0.002	0.001	0.001
meu_1	-0.003	-0.051	-0.142	-0.208	0.014	1.000	0.014	-0.208	-0.142	-0.051	-0.003	0.009	0.007	0.003	0.000	0.000
y_1	-0.01	-0.01	0.00	0.05	0.14	0.21	0.14	0.05	0.00	-0.01	-0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
M_1	-8	-132	-372	-541	36	2609	36	-541	-372	-132	-8	23	17	7	1	-1
x_2	1260	960	720	540	420	360	300	240	180	120	60	0	60	120	180	240
x_{i2}	16.06	12.23	9.17	6.88	5.35	4.59	3.82	3.06	2.29	1.53	0.76	0.00	0.76	1.53	2.29	3.06
ete_2	0.000	0.000	0.000	0.001	-0.001	-0.011	-0.031	-0.043	0.009	0.226	0.658	1.000	0.658	0.226	0.009	-0.043
meu_2	0.000	0.000	0.000	0.000	0.007	0.009	-0.003	-0.051	-0.142	-0.208	0.014	1.000	0.014	-0.208	-0.142	-0.051
y_2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.01	-0.01	0.00	0.05	0.14	0.21	0.14	0.05	0.00	-0.01
m_2	0	0	0	1	17	23	-8	-132	-372	-541	36	2609	36	-541	-372	-132
y_1+y_2	-0.01	-0.01	0.00	0.05	0.14	0.21	0.13	0.04	0.00	0.04	0.13	0.21	0.14	0.05	0.00	-0.01
M_1+M_2	-8	-132	-372	-541	53	2632	27	-674	-743	-674	27	2632	53	-535	-371	-133

وفي الشكل (18-6) رسم تخطيطي للخط المرن.



الشكل 18-6: الخط المرن ومخطط العزم

حساب الإجهاد الأعظمي في قاعدة القضيب الحديدي:

$$M = \frac{L}{4} \sum Q\mu = 20(1000 * 1.0 + 1000 * 0.01) = 2020 \text{ kN.cm}$$

$$\sigma = \frac{M}{W_x} K_v = \frac{2020 * 10^3}{239} * 1.33 = 11220 \text{ N/cm}^2$$

3-6-6- الإجهادات الناتجة عن تغير درجة الحرارة:

3-6-6-1- ظروف الطقس:

يؤدي تغير الظروف الطقسية إلى حدوث تغير في وضعية القضبان فيمكن أن يحدث تغير في الطول أو تغير في الوضعية الإجهادية فتتسأ قوة طولية ضاغطة أو شادة.

وتعد القوة الطولية الناتجة عن تغير درجة الحرارة هي الأكثر حسماً في الخطوط الحديدية وتظهر هذه القوة نتيجة لميكانيكية الخط الحديدي حيث يتوضع ضمن ظروف ينتج عنها وجود احتكاك سواء بين العوارض والبلاست أو بين القضبان والعوارض وذلك في المستويات الأفقية والجانبية. وتقوم القوى الناشئة عن هذا التوضع في تقييد الخط الحديدي ومنعه من الحركة بحرية تامة.

تحسب القوة الطولية الناتجة عن تغير درجة الحرارة بالعلاقة التالية:

$$\sigma = E * \varepsilon$$

$$\sigma = E * \frac{\Delta L}{L}$$

$$\sigma = E * \frac{\alpha * L * \Delta T}{L} \quad (31-6)$$

$$\sigma = E * \alpha * \Delta T$$

$$F = E * \alpha * A * \Delta T$$

ومن أجل الفولاذ المستخدم في القضبان يكون:

$$E * \alpha = 240$$

$$F = 240 * A * \Delta T \quad (32-6)$$

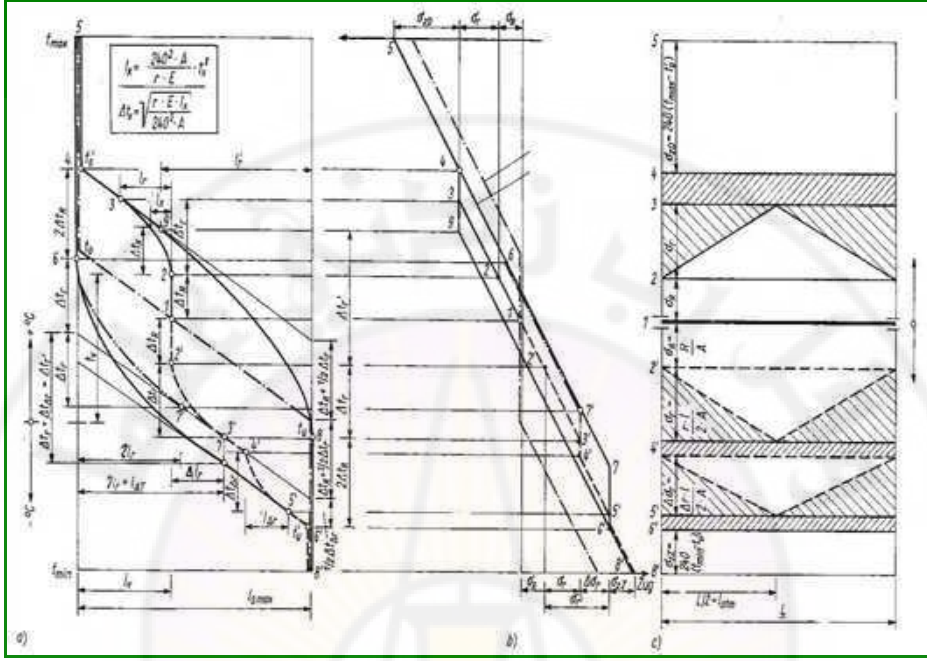
في الخطوط العادية ذات الفواصل يجب التقيد التام بمقدار الفاصل عند التمديد، بحيث لا تتجاوز الإجهادات الإضافية الناشئة عند إغلاق الفاصل تماماً أو فتحه بشكل كامل القيم الحدية التي قد تؤدي إلى تشوه الخط الحديدي وبالتالي خروجه من عملية الاستثمار.

أما في الخطوط الملحومة فإنه من الضروري التحديد الدقيق لدرجة الحرارة عند تمديد الخط، بحيث لا يتجاوز فرق درجة الحرارة الأعظمية سواءً عند ارتفاع درجة الحرارة إلى قيمتها العظمى أو انخفاضها إلى الحد الأدنى عن القيم المسموحة والتي قد تؤدي إلى حدوث التحنيب أو الكسر.

تعرف درجة حرارة التمديد T_v على أنها درجة الحرارة التي يتم عندها تنزيل القضبان أو القطع الجاهزة (السلام) أثناء إنشاء الخطوط الحديدية. أما فتحة الفاصل الموافقة لدرجة الحرارة هذه فهي فتحة الفاصل عند التمديد ويرمز لها بـ e_v .

يجب التنويه إلى أن المقصود بدرجة الحرارة حيثما وردت هو درجة حرارة القضبان وليس درجة الهواء. ويمكن أن يصل الفرق بينهما من 5 إلى 12 درجات في النهار تبعاً للساعة وللإشعاع الشمسي ونقل درجة حرارة القضبان عن الهواء إلى 3-5 درجات في الليل.

إذا افترضنا أن الخط الحديدي لا يخضع إلى مقاومة احتكاك أي القضبان حرة تماماً (غير مقيدة) فإنه عند ارتفاع درجة الحرارة سوف تتمدد القضبان بشكل حر ولا تنشأ قوة داخلية ضمنها (الشكل 6-19) ويستمر ذلك حتى إغلاق الفاصل بشكل كامل حيث تبلغ درجة الحرارة القيمة T_0 .



الشكل 6-19: الإجهادات الناتجة عن تغير درجة الحرارة

بعد إغلاق الفاصل تبدأ قوة طولية ضاغطة بالتشكل حتى تبلغ درجة الحرارة القيمة العظمى المتوقعة T_{max} . وتكون عندها الإجهادات والقوة:

$$\sigma_D = 240 (T_{max} - T_0) \quad (33-6)$$

$$F_D = \sigma_D * A \quad (34-6)$$

وبشكل مماثل يمكن حساب الإجهادات والقوة عند هبوط درجة الحرارة إلى أدنى قيمة ممكنة T_{min} :

$$\sigma_z = 240 (T_u - T_{min}) \quad (35-6)$$

$$F_z = \sigma_z * A \quad (36-6)$$

حيث:

T_u : درجة الحرارة التي يفتح عندها الفاصل بشكل كامل.

تحسب درجة الحرارة T_0 و T_u انطلاقاً من قانون التمدد الطولي المعطى بالعلاقة (4-6).

إن الحالة الواقعية هي وجود مقاومات تمنع حدوث التغير الطولي بشكل طليق. وهذه المقاومات كما وردت في الفصل السادس هي مقاومة الجببرات R ومقاومة الاحتكاك الطولي بين العوارض والبلاست r ومقاومة الاحتكاك الطولي بين القضبان المثبتة والعوارض d .

فما هو سلوك القضبان مع وجود هذه المقاومات؟
بفرض أن القضبان قد مددت بدرجة حرارة T_v فعند ارتفاع درجة الحرارة فإن الجببرات تمنع في البداية تمدد القضبان ويؤدي ذلك إلى نشوء إجهادات ضغط. وتستمر هذه الحالة حتى التغلب على المقاومة والجببرات (النقطتان 1-2).

يعطى فرق درجة الحرارة والإجهادات والتمدد الطولي كما يلي:

$$\Delta T_R = \frac{R}{240 * A} \quad (37-6)$$

$$\sigma_R = \frac{R}{A} \quad (38-6)$$

$$\Delta L_R = 0 \quad (39-6)$$

عندما تتابع درجة الحرارة ارتفاعها تبدأ مقاومة الاحتكاك الطولي بين العوارض والبلاست r بالمساهمة في المقاومة والتمدد للقضبان. ويكون فرق في درجة الحرارة اللازم للتغلب على هذه المقاومة:

$$\Delta T_r = \frac{r * L}{2 * 240 * A} \quad (40-6)$$

أما الإجهادات الناشئة والتمدد الطولي فهي:

$$\sigma_r = \frac{r * L}{2 A} \quad (41-6)$$

$$\Delta L_r = \frac{r * L^2}{4 E A} \quad (42-6)$$

(النقطتان 2-3).

مع مواصلة درجة الحرارة وارتفاعها وبعد التغلب على مقاومتها الاحتكاك R و r تتمدد القضبان بشكل حر حتى يتم إغلاق الفاصل (النقطتان 3-4) وتكون درجة الحرارة عندها قد بلغت القيمة T_0 . ولا يرافق هذا التمدد نشوء إجهادات إضافية.

بعد إغلاق الفاصل يؤدي ارتفاع درجة الحرارة المستمر إلى نشوء إجهادات ضغط إضافية وذلك حتى الوصول إلى درجة الحرارة العظمى T_{max} (النقطتان 4-5). وتكون إجهادات الضغط الإضافي هي:

$$\sigma_D = 240(T_{max} - T_0) \quad (43-6)$$

لكن ما هو سلوك القضبان مع هبوط درجة الحرارة انطلاقاً من درجة حرارة التمدد T_v ؟

نعود إلى النقطة 1 على المخطط (الشكل 6-19). إن هبوط درجة الحرارة يؤدي إلى نشوء إجهادات شد في البداية حتى التغلب على مقاومة الجبيرات R. وإلى نشوء إجهادات شد وتقلص في أطوال القضبان حتى التغلب على مقاومة الاحتكاك الطولي بين العوارض والبلاست r. وذلك بشكل مشابه لما هو موضح عند ارتفاع درجة الحرارة. (النقطتان 1-2 والنقطتان 2-3). مع استمرار درجة الحرارة في انخفاضها تواصل القضبان تقلصها دون نشوء إجهادات شد مرافق (النقطتان 3-4) حتى تبلغ درجة الحرارة تلك الدرجة التي يفقد بها البلاست خواصه المرنة بسبب البرودة الشديدة، والتي تعد مساوية لدرجة الحرارة $(-5^\circ C)$. وقد حددت هذه الدرجة بناءً على قياسات ومراقبات طولية للخطوط الحديدية. يؤدي انخفاض درجة الحرارة على مادون درجة تجمد البلاست $(-5^\circ C)$ إلى دخول مقاومة الاحتكاك الطولي بين القضبان المثبتة والعوارض d في ممانعة التقلص الحر للقضبان (النقطتان 4-5).

يحسب فرق درجة الحرارة اللازم للتغلب على المقاومة (d) كما هو الحال بالنسبة للمقاومة (r) وكذلك الاجهادات الإضافية والتمدد الطولي.

بعد التغلب على جميع المقاومات تواصل القضبان تقلصها مع انخفاض درجة الحرارة دون نشوء اجهادات شد اضافية (حركة طليقة) حتى يفتح الفاصل بشكل كامل حيث تكون درجة الحرارة هي T_0 (النقطتان 5-6).

إن انخفاض درجة الحرارة إلى ما دون T_0 يولد اجهادات شد اضافية والتي تعمل كقوة قص على براغي تثبيت الجبيرات.

للتعرف على حركة الفاصل بشكل كامل نعود إلى النقطة 5 الموافقة لدرجة الحرارة العظمى T_{max} . عند هبوط درجة الحرارة فإن اجهادات الضغط الإضافية σ_D ستبدأ بالتفكك حتى وصوله درجة الحرارة إلى T_0 . بعدها لا بد من التغلب على مقاومة الجبيرات المضغوط وهذا يتطلب فرق درجة حرارة يساوي ضعفي ΔT_R (النقطتان 4-6).

وللتغلب على مقاومة الاحتكاك الطولي بين العوارض والبلاست يلزم هبوط درجة الحرارة بمقدار $2\Delta T_r$ (النقطتان 6-7) ويرافق هذا تقلص في الطول مقداره $2\Delta T_r$.

وبدءاً من النقطة 7 تتابع القضبان حركتها بشكل حر حتى بلوغ النقطة 3 حيث تنطبق حركة القضبان على المخطط حتى الوصول إلى النقطة 8.

وبالنسبة إلى المسار الذي تسلكه القضبان عند ارتفاع درجة الحرارة انطلاقاً من درجة الحرارة الدنيا T_{min} ، فإنه شبيه بسلوك القضبان عند انخفاض درجة الحرارة العظمى. حيث يبدأ تفكك اجهادات الشد الإضافية σ_z حتى الوصول إلى النقطة 6. وبعدها يتم التغلب على مقاومة الجبيرات التي تكون في حالة شد (النقطتان 6-8) ثم التغلب على المقاومة r (النقطتان 8-9) وبعد ذلك المقاومة d (النقطتان 9-10) بعد التغلب على مقاومة الاحتكاك تواصل القضبان حركتها بشكل طليق حتى الوصول إلى النقطة 3 حيث تسلك القضبان المسار نفسه.

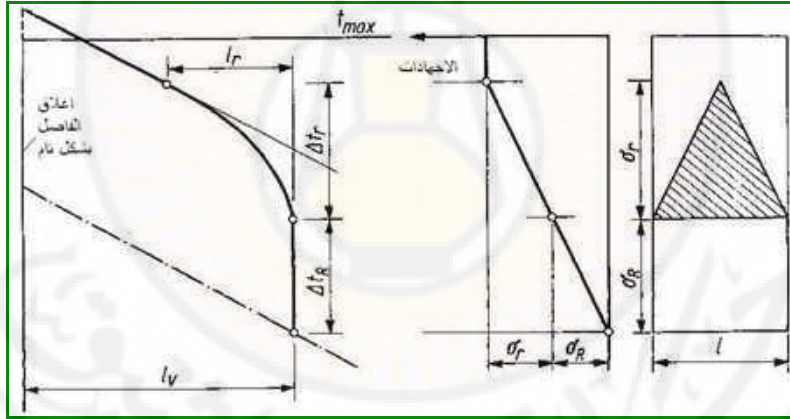
إن المغلف الناتج لدينا يعطي فكرة عن حركة القضبان حيث يلاحظ الفاصل بينهما بالإضافة إلى الاجهادات في كل نقطة.

2-3-6-6- تحليل ومناقشة:

أ- تبعاً لسلوك القضبان نتيجة تغير درجة الحرارة فإنه يمكن التمييز بين أنواع ثلاثة من القضبان:

1- القضبان القصيرة:

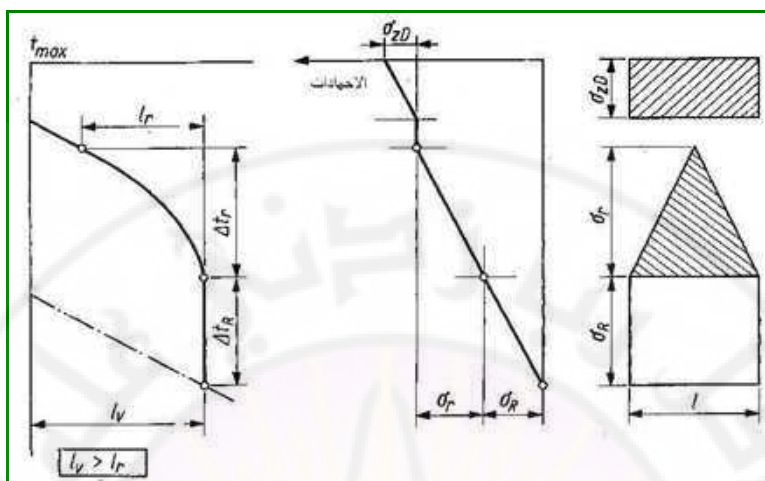
تعد القضبان قصيرة عندما تبلغ درجة الحرارة قيمتها العظمى دون أن يغلق الفاصل إغلاقاً كاملاً أو عند وصول درجة الحرارة إلى قيمتها الدنيا دون أن يفتح الفاصل فتحاً كاملاً.



الشكل 20-6: القضبان القصيرة

2- القضبان الطويلة:

تكون القضبان طويلة عندما يغلق الفاصل إغلاقاً كاملاً دون أن تصل درجة الحرارة إلى الدرجة العظمى. أو عندما يفتح الفاصل بشكل كامل دون أن تصل درجة الحرارة إلى الدرجة الدنيا.



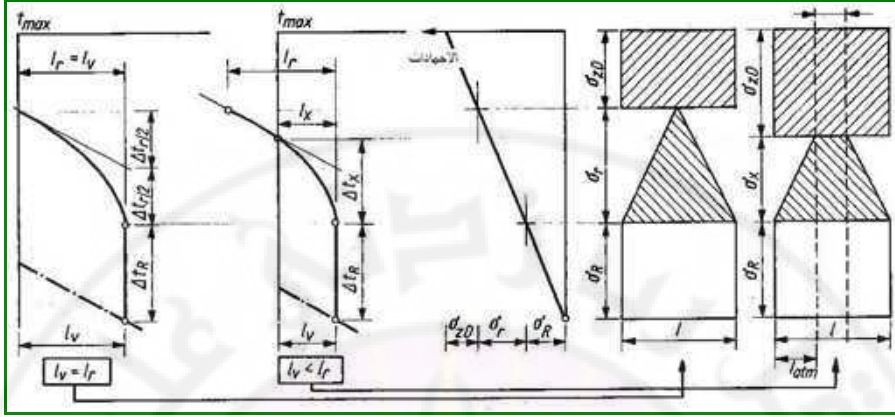
الشكل 21-6: القضبان الطويلة

3- القضبان اللانهائية في الطول (القضبان الملحومة):

تعد القضبان لا نهائية في الطول عندما يغلق الفاصل دون التغلب على مقاومة الاحتكاك الطولي بين العوارض والبلاست أو عندما يفتح الفاصل تماماً دون التغلب على هذه المقاومة r بالإضافة إلى خواص القضبان الطويلة.

يسمى الجزء من القضبان اللانهائية في الطول والذي يساهم في التغير الطولي منطقة التنفس حيث يتمدد هذا الجزء ويتقلص مع تغير درجة الحرارة.

وتعرف القضبان الملحومة بأنها قضبان لا نهائية في الطولي وتحتوي على منطقتي تنفس في كلا الطرفين ومنطقة وسطية في الداخل. وتلاحظ تأثيرات درجة الحرارة في منطقتي التنفس على شكل تغير طولي مع نشوء قوة طولية، بينما تكون في المنطقة الوسطية على شكل قوة طولية فقط.



الشكل 22-6: القضبان الملحومة

ب- يتحول فرق درجة الحرارة في القضبان بشكل عام إلى أحد الأشكال التالية:

1- تغير في الطول:

ويلاحظ عند عدم وجود مقاومات الاحتكاك أو بعد التغلب عليها (المجال 3-4، 4-3).

2- إجهادات داخلية:

ويتصادف هذا عند وجود مقاومات عالية كما هو الحال عند التغلب على مقاومة الجببرات (المجال 1-2، 2-1) أو عند عدم إمكان الحركة (المجال 4-5، 5-4، 8-6) أو في المنطقة الوسطية في الخطوط الملحومة.

3- تغير في الطول وإجهادات داخلية:

توافق هذه الحالة المرحلة التي تكون فيها مقاومات الاحتكاك الطولي r و R و d تمنع حركة القضبان وتكون العلاقة بين التمدد الطولي ودرجة الحرارة علاقة غير خطية (المجال 2-3، 3-2، 5-4). أما في القضبان الملحومة فتظهر هذه الحالة في منطقتي التنفس.

ج- يمكن حساب التغير الطولي بيانياً من مخطط الطول - الإجهاد حيث تمثل المساحات المشهورة التغير الطولي.

6-3-3-6- مثال:

يعطى خط حديدي ذو فواصل له المواصفات التالية وهي:

- قضبان نوع 549 ($A = 62.5 \text{ cm}^2$) وبطول ٥٠ متراً.

- مقدار الفاصل عند تمديد الخط $e_v = 6 \text{ mm}$.

- درجة حرارة التمديد $T_v = 22^\circ \text{ C}$.

المقاومات في الخط هي:

- مقاومات الجبيرات $R = 100 \text{ kN}$.

- مقاومة الاحتكاك الطولي بين العوارض والبلاست $r = 60 \text{ N/cm}$.

- مقاومة الاحتكاك الطولي بين القضبان المثبتة والعوارض $d = 150 \text{ N/cm}$.

- درجة الحرارة العظمى والدنيا المتوقعتان:

$$T_{\max} = +75^\circ \text{ C}$$

$$T_{\min} = -15^\circ \text{ C}$$

والمطلوب حساب الإجهادات والتمدد الطولي ورسم المخططات الحسابية.

الحل:

- مقاومة الجبيرات (R):

$$\Delta T_R = \frac{100 \text{ kN}}{240.62.5} = 6.7^\circ$$

$$\sigma_R = \frac{100 \text{ kN}}{62.5} = 1600 \text{ N/cm}^2$$

- مقاومة الاحتكاك (r):

$$\Delta T_r = \frac{50}{2 * 240 * 62.5} = 10^\circ$$

$$\sigma_r = \frac{60 * 50}{2 * 62.5} = 2400 \text{ N/cm}^2$$

$$\Delta L_r = \frac{60 * 5000^2}{4 * 21 * 10^6 * 62.5} = 0.29 \text{ cm}$$

لكن هذا التمدد هو أصغر من الفاصل البدائي لذلك يستمر التمدد الطولي مع ارتفاع درجة الحرارة بشكل طليق.

$$\Delta L = e_v - \Delta L_r = 3.1 \text{ mm}$$

$$\Delta T = \frac{3.1 \text{ mm}}{11.50 * 10^{-6} * 50000}$$

تكون درجة الحرارة التي يغلق عندها الفاصل:

$$T_0 = 22 + 6.7 + 10 + 5.4 = 44.1^\circ \text{ C}$$

وتحسب بالطريقة نفسها درجة الحرارة التي يتم عندها فتح الفاصل بشكل تام.

أي أن درجة الحرارة التي يتم عندها التغلب على المقاومتين r, R هي:

$$T = 22 - 6.7 - 10 = 5.3^\circ \text{ C}$$

تتابع القضبان تقلصها بشكل حر حتى درجة حرارة تجمد جسم البلاست (-5° C) . ويكون مقدار الفاصل هو:

$$e = e_v + \Delta L_r + \Delta L$$

$$\Delta L = \alpha.L(5.3 - (-5)) = 6 \text{ mm}$$

$$e = 6 + 2.9 + 6 = 14.9 \text{ mm}$$

أي أن الفاصل لم يفتح تماماً. تدخل الآن مقاومة الاحتكاك الطولي (d) في العمل:

$$\Delta L_d = \frac{150 * 5000}{240 * 62.5} = 25^\circ \text{ C}$$

إن درجة الحرارة الدنيا هي حسب الفرض $T_{\min} = -15^\circ \text{ C}$. بينما يجب أن تنخفض درجة الحرارة حتى القيمة -30° C .

للوصول إلى درجة الحرارة T_u . أي انه مع وصول درجة الحرارة إلى قيمتها الدنيا فإن مقاومة الاحتكاك الطولي للقضبان المثبتة (d) لا تستهلك تماماً.

يحسب طول الجزء X الذي يساهم في مقاومة الاحتكاك (d):

$$X = \frac{240 \Delta T A}{d}$$

$$X = 1000 \text{ cm} = 10 \text{ m}$$

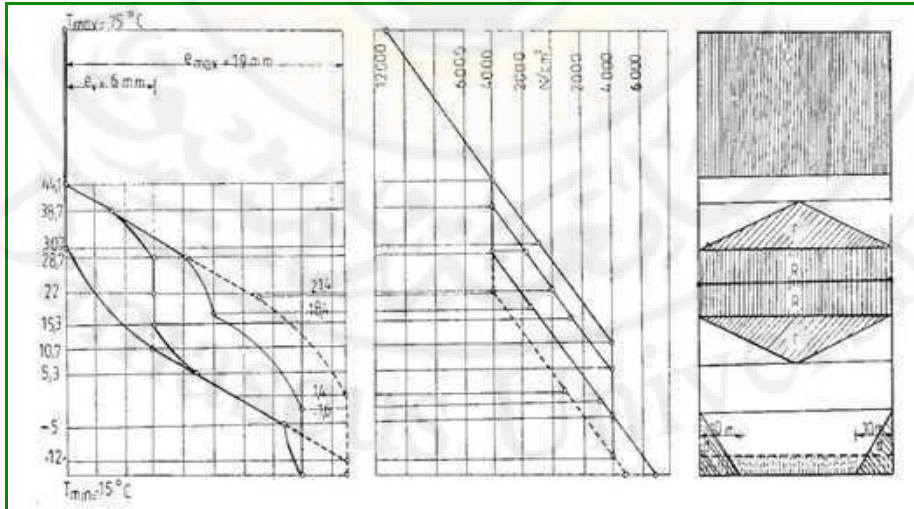
أما مقدار التمدد الطولي فيكافئ مساحة المثلث الذي قاعدته تساوي X أي:

$$\Delta L_d = \frac{2 * 240 * 10 * 62.5 * 1000}{2 * 21 * 10^6 * 62.5} = 0.11 \text{ cm}$$

أي أن الفاصل لا يفتح تماماً على الرغم من وصول درجة الحرارة إلى أدنى قيمة متوقعة لها. ويكون مقدار الفاصل:

$$e = 14.9 + 1.1 = 16 \text{ mm}$$

إذا أهملت مقاومة الاحتكاك الطولي للقضبان المثبتة (d) فإن المخططات الحسابية للقضبان سوف تتغير بشكل غير كبير. ويدل الخط المنقط على التغير الحاصل.



الشكل 23-6: مخططات حركة الفاصل والإجهادات

4-6-6- الإجهادات الناتجة عن القوى العرضية:

تعد القوى العرضية الناتجة عن حركة القطارات الحبيبية في الاستقامات أو في المنحنيات هي القوى العرضية الأساسية التي تسبب إجهادات في القضبان وذلك إذا استثنيت تلك القوى العرضية الناتجة عن أعمال الصيانة. ويمكن لهذه الإجهادات أن تبلغ أكثر من مرة ونصف المرة من قيمة الإجهادات الناتجة عن الحمولات الشاقولية في بعض النقاط من المقطع العرضي للقضيب الحديدي، مثل الحافة السفلية للهامة (النقطة K) أو الحافة الخارجية للقاعدة (النقطة F).

لذلك سوف يتم حساب الإجهادات هذه فقط في هاتين النقطتين.

تحدد قيمة القوة العرضية الأساسية وهي قوة التوجيه تبعاً لمجموعة من العوامل مثل:

- الوضع الجيومترى للخط.
- السرعة.
- حالة العربات والقاطرات.
- حالة الخط الحديدي.

لقد دلت القياسات والتجارب التيس أجريت لتحديد دور العوامل السابقة على القوة العرضية أن هذه القوة تكون تحت القاطرات أكبر نحو الضعفين منها تحت العربات، وأنها أقل تأثراً بالسرعة بينما تزداد بشكل ملحوظ من أجل أنصاف الأقطار الصغيرة.

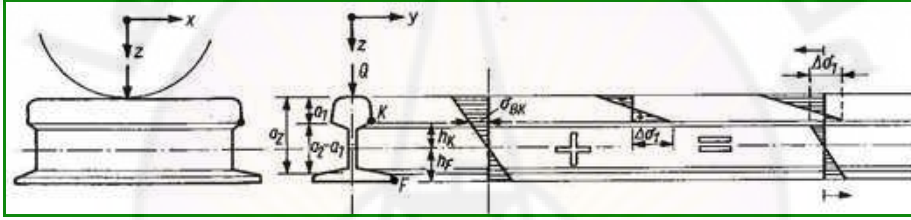
عند حساب الإجهادات الناتجة عن القوى العرضية فإنه من الضروري معرفة الإجهادات الناشئة عن الحمولات الشاقولية وتوزيعها في الاتجاه الطولي لمحور الخط وفي المقطع العرضي للقضبان حيث يتعرض توزع الإجهادات لعدم الاستمرارية وذلك بسبب التغير المفاجئ للمقطع العرضي عند الانتقال من الهامة إلى الجسد. ونتيجة لذلك تنشأ إجهادات اضافية في الهامة حيث تكون إجهادات الضغط في أعلى الهامة وتؤثر في أسفل الهامة على شكل إجهادات شد. وتلاحظ هذه الإجهادات التي سنرمز لها بـ $\Delta\sigma_1$ فقط في منطقة تطبيق الحمولة الشاقولية.

تحسب الإجهادات $\Delta\sigma_1$ وفق نظرية نصف الفراغ. وتعطى في النقطة k بالعلاقة:

$$\Delta\sigma_{1k} = 13.5Q \sqrt[4]{\frac{2.3 * ig \frac{a_2}{a_1}}{3 * b^3 * a_1^4 d}} \quad (44-6)$$

حيث q: الحمولة الشاقولية.

d, b, a_1 , a_2 فهي موضحة بالشكل (24-6).



الشكل 24-6: الإجهادات الناتجة عن القوى العرضية

يمكن اختصار العلاقة السابقة كما يلي:

$$\Delta\sigma_{1k} = \lambda_{1k} Q \quad (45-6)$$

حيث λ_1 ثابت يحدد من أجل كل نوع من القضبان.

وتضاف هذه الاجراءات إلى الإجهادات الناتجة عن الحمولة الشاقولية والتي تحسب كما هو معروف بالعلاقة:

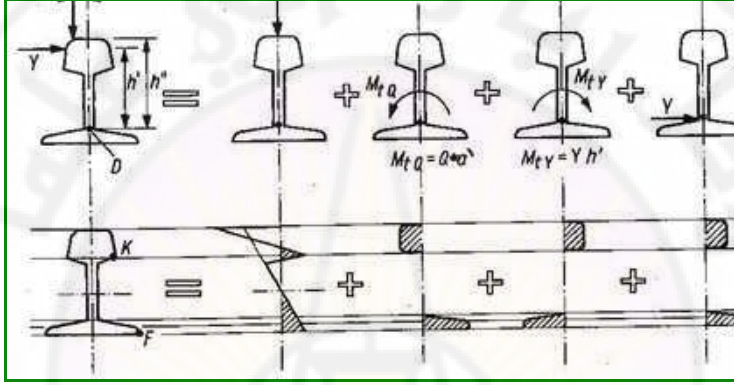
$$\sigma_0 = \frac{-M}{I} h_k \quad (46-6)$$

h_k : بعد النقطة k عن المحور السليم.

أما قيمة الاجهادات عند النقطة F فهي مساوية للصفر.

$$\Delta\sigma_{1F} = 0 \quad (47-6)$$

عند سير القاطرات فإن نقطة تطبيق الحمولة الشاقولية لا تقع في الغالب على المحور الشاقولي للقضيب، بل تكون منحرفة عنه مشكلة لا مركزية. يمكن تحليل هذه القوة إلى قوتين إحداها شاقولية مركزية والثانية أفقية مؤثرة في نقطة الدوران التي يمكن أن يحدث عندها انكسار القضيب الحديدي بالإضافة إلى عزم فتل M_t .



الشكل 25-6

نتيجة وجود عزم الفتل فإنه تظهر اجهادات إضافية في المقطع العرضي هي $\Delta\sigma_2$. تحسب هذه الاجهادات انطلاقاً من المعادلة التفاضلية للفتل وللتنشوء الأفقي للهامية وللقاعدة.

$$M_t = y.h' - Q * a' \quad (48-6)$$

y: القوة الأفقية.

Q: القوة الشاقولية.

h': ذراع القوة الأفقية.

a': لا مركزية القوة الشاقولية.

كما تحسب المقادير التالية كمقدمة لحساب الإجهادات الإضافية $\Delta\sigma_2$.

$$h_0 = h_t \frac{I_u}{I_0 + I_u} \quad (49-6)$$

$$h_0 = h_t \frac{I_u}{I_0 + I_u} \quad (50-6)$$

$$h_t = h_0 + h_u \quad (51-6)$$

I_0 : عزم عطالة الهامة حول المحور الشاقولي.

I_u : عزم عطالة القاعدة حول المحور الشاقولي.

h_0 : المسافة بين مركز ثقل الهامة ونقطة الدوران.

h_u : المسافة بين مركز ثقل القاعدة ونقطة الدوران.

$$I_t = I_{tk} + I_{ts} + I_{tf} \quad (52-6)$$

I_t : عزم عطالة القضيب ضد الفتل ويساوي مجموع عزوم العطالة ضد الفتل لكل

من القاعدة (I_{tf}) والجسد (I_{ts}) والهامة (I_{tk}).

كذلك يحسب العاملان α_k, α_f بالعلاقتين:

$$\alpha_k = \sqrt{\frac{G * I_t}{E * I_0 * h_t * h_0}} \quad (53-6)$$

$$\alpha_f = \sqrt{\frac{G * I_t}{E * I_u * h_u * h_t}} \quad (54-6)$$

G : عامل القص للفلاد وتؤخذ قيمته $8.5 * 10^6 \text{ N/cm}^2$.

تحسب الإجهادات الإضافية $\Delta \sigma_2$ كما يلي:

$$\Delta \sigma_{2k} = \pm 0.45 E h_0 \frac{M_t}{2 G I_t} \frac{\alpha_k' (1 - e \alpha_{k\alpha}')}{(1 + e \alpha_{k\alpha}')} * b \quad (55-6)$$

$$\Delta \sigma_{2f} = \pm 0.45 E h_u \frac{M_t}{2 G I_t} \frac{\alpha'_f (1 - e_{f\alpha})}{(1 + e \alpha'_{f\alpha})} * c \quad (56-6)$$

نظراً لصعوبة تطبيق العلاقتين السابقتين فإنه يمكن تبسيطهما بعلاقات ذات صبغة عملية كما يلي:

$$\Delta \sigma_{2k} = \lambda_{2k} * M_t \quad (57-6)$$

$$\Delta \sigma_{2f} = \lambda_{2f} * M_t \quad (58-6)$$

يجري تحديد الثوابت $\lambda_{2f}, \lambda_{2k}$ لكل نوع من القضبان.

لتحديد قيمة الإجهادات الإضافية بسبب وجود القوة الأفقية y فإنه يتم الحساب على أن القضبان تمثل بين العوارض جائزاً ذا فتحة واحدة خاضعة لتأثير القوة الأفقية y . وتحسب الإجهادات الإضافية الناتجة $\Delta \sigma_{\alpha 3}$ بالعلاقتين:

$$\Delta \sigma_{3k} = \frac{I_0 * a * 0.225}{(I_0 + I_u) W_0} * y \quad (59-6)$$

$$\Delta \sigma_{3f} = \frac{I_0 * a * 0.225}{(I_0 + I_u) W_0} * y \quad (60-6)$$

W_0 : العزم المقاوم للهامة حول المحور الشاقولي.

W_u : العزم المقاوم للقاعدة حول المحور الشاقولي.

وكما هو الحال بالنسبة للإجهادات الإضافية السابقة فإنه يمكن تبسيط العلاقتين السابقتين أيضاً:

$$\Delta \sigma_{3k} = \lambda_{3k} * y \quad (60-6)$$

$$\Delta \sigma_{3f} = \lambda_{3f} * y \quad (61-6)$$

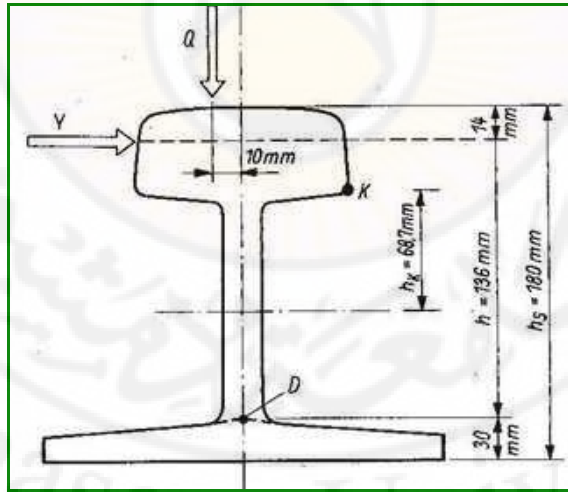
وفي الجدول (8-7) قيم الثوابت $\lambda_3, \lambda_2, \lambda_1$ من أجل عدة أنواع من القضبان المستخدمة عالمياً.

الجدول (8-7)

نوع القضبان	A (cm ²)	I (cm ⁴)	$\lambda_{1k} (cm^{-2})$	λ_{1f}	$\lambda_{2k} (cm^{-3})$	λ_{2f}	$\lambda_{3k} (cm^{-2})$	λ_{3f}
S49	62.5	1819	0.0529	0	0.0155	0.0148	0.156	0.290
R65	82.56	3548	0.0524	0	0.0130	0.009	0.096	0.200
S54		2073	0.049	0	0.014	0.0131	0.140	0.261
S64		3252	0.048	0	0.015	0.0095	0.100	0.203
UIC54	63.30	2346	0.058	0	0.019	0.0124	0.120	0.240
UIC60		3055	0.050	0	0.017	0.0126	0.110	0.229

مثال:

يتعرض خط حديدي إلى قوة أفقية مقدارها $Y = 30 \text{ kN}$ مطبقة في نقطة تقع أسفل سطح السير العلوي بمسافة 40 ملم ولا مركزية مقدارها 10 ملم. والمطلوب حساب الإجهادات الناتجة عن هذه القوة. تؤخذ المعطيات اللازمة من المثال رقم 1.



الشكل 26-6

الحل:

1- حساب الإجهادات الناتجة عن الحمولة الشاقولية σ_0 .

يعطى العزم الأعظمي من المثال رقم 1 ومقداره:

$$m = 2000 \text{ kN.cm}$$

$$\sigma_{0K} = \frac{-2000}{1795} * 3.6 = -4.01 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_{0f} = \frac{-2000}{1795} * 7.3 = -8.13 \text{ kN/cm}^2$$

2- حساب الإجهادات الإضافية $\Delta\sigma_1$:

$$\Delta\sigma_{1K} = \lambda_{1K} * Q = 0.0529 * 100 = 5.29 \text{ kN/cm}^2$$

$$\Delta\sigma_{1f} = 0$$

3- حساب الإجهادات الإضافية $\Delta\sigma_2$:

$$M_t = 30 * 10.75 - 100 * 1.0 = 222.5 \text{ kN.cm}$$

$$\Delta\sigma_{2K} = \lambda_{2K} * M_t = 0.0155 * 222.5 = 3.45 \text{ kN/cm}^2$$

$$\Delta\sigma_{2f} = \lambda_{2f} * M_t = 0.0148 * 222.5 = 3.29 \text{ kN/cm}$$

4- حساب الإجهادات الإضافية $\Delta\sigma_3$:

$$\Delta\sigma_{3K} = \lambda_{3K} * y = 0.0156 * 30 = 4.68 \text{ kN/cm}^2$$

$$\Delta\sigma_{3f} = \lambda_{3f} * y = 0.290 * 30 = 8.7 \text{ kN/cm}^2$$

5- حساب الإجهادات الكلية:

$$\sigma_K = -4.01 + 5.29 + 3.45 + 4.68 = 9.41 \text{ kN/cm}^2$$

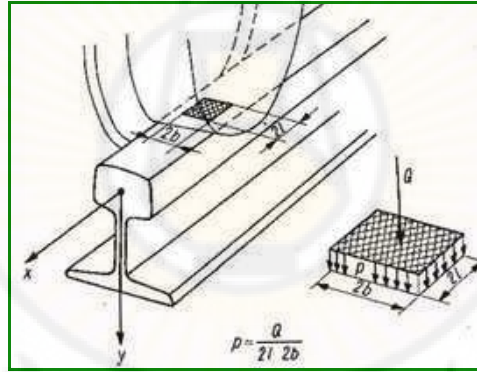
$$\sigma_f = -8.13 + 0 + 3.29 + 8.7 = 3.86 \text{ kN/cm}^2$$

6-6-5- إجهادات التماس بين الدولاب والقضيب:

تنتقل الحمولات المحورية من دواليب القطارات إلى القضبان عبر تماس صغيرة جداً، بحيث يؤدي ذلك إلى إجهادات إضافية في الاتجاهين الأفقي والشاقولي وإلى إجهادات قص في الهامة.

لقد وضع هرتز الأساس النظري لحساب هذه الإجهادات. وقد افترض أن منطقة التماس بين الدولاب والقضيب هي بشكل إهليلجي، وأن الإجهادات غير ثابتة ضمن هذه المنطقة حيث تبلغ قيمتها العظمى في مركز الإهليلج.

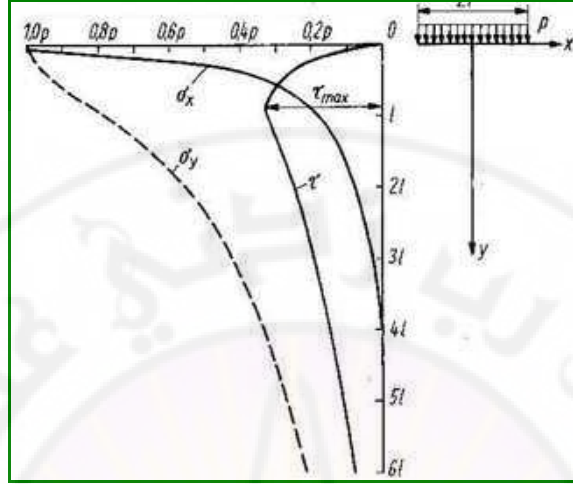
ولتبسيط هذه الدراسة فإنه يمكن عد منطقة التماس مستطيلاً أبعاده $(2b * 2L)$ وأن الضغط المطبق فيه ثابت p .



الشكل 6-27: إجهادات التماس بين الدولاب والقضيب

إن قيمة الضغط المطبق عند حساب وفق طريقة هرتز هي أكبر نحو 50-60% من الضغط عند حسابه بشكل مبسط. ولكن القياسات قد أثبتت أن هذا التبسيط لا يبتعد كثيراً عن الواقع.

تتناقص الإجهادات في الاتجاهين الشاقولي والعرضي ضمن القضيب الحديدي ويكون تناقصها في الاتجاه الشاقولي أيضاً منه في الاتجاه الطولي.



الشكل 6-28: تتناقص الإجهادات في الاتجاهين الشاقولي والعرضي

تبلغ إجهادات القص قيمتها العظمى عندما يكون الفرق بين الإجهادات σ_x و σ_y أعظمياً، ويكون ذلك داخل الهامة على عمق يساوي نصف طول مستطيل التماس (L) وهذا يساوي تقريباً 4-7 ملم وتكون الإجهادات عندها:

$$\sigma_x = 0.2 * p \quad (62-6)$$

$$\sigma_y = 0.8 * p \quad (63-6)$$

تعطى إجهادات القص الأعظمية بدقة مقبولة باستخدام العلاقة:

$$T_{max} = 0.3 * p \quad (64-6)$$

أما الضغط p فيحسب بالعلاقة:

$$p = \frac{Q}{2b *} \quad (65-6)$$

تتفاوت قيم b, L وفقاً لطبيعة الخط ولمقدار الاهتراء وتتراوح قيمة b بين 16-18

ملم بينما يمكن حساب L كما يلي:

$$L = 1.5 \sqrt{\frac{Q * r}{2 b E}} \quad (66-6)$$

r: نصف قطر الدولاب.

ونتيجة لذلك فإن إجهادات القص الأعظمية تصبح:

$$T_{\max} = 0.05 \sqrt{\frac{2 Q E}{b r}} \quad (67-6)$$

ويجب ألا تتجاوز هذه الإجهادات القيمة الحدية التالية:

$$T_{\max} = 0.29 \sigma_B \quad (68-6)$$

σ_B : إجهادات الانكسار لفولاذ القضبان ويساوي 900 نيوتن/ ملم².

وبذلك يمكن الحصول على العلاقة التي تعطي الصلة بين حمولة الدولاب Q

ونصف قطره r وهي:

$$Q_{\max} = 18 \frac{b * r * \sigma_B^2}{E} \quad (69-6)$$

$$r_{\min} = 18 * \frac{Q * E}{18 * b * \sigma_B^2} \quad (70-6)$$

أي أنه كلما ازدادت الحمولة المحورية فإنه يجب اختيار عربات لها دواليب ذات

أنصاف أقطار أكبر.

الفصل السابع

الأعمال الترابية والصناعية وتصريف المياه

The Design Work Earth, Industrial and Drainage

1-7- تعريف الجسم الترابي:

يعتبر الجسم الترابي من العناصر الأكثر أهمية في بنية الخط الحديدي وترتبط جودة هذا الجسم بنوعية المواد المستعملة في تشكيله وكذلك بطريقة التنفيذ ودقته، لذا فإن استقرار هذا الجسم وثباته يؤمنان سلامة عمل الخط بكامله.

2-7- تحديد شكل الجسم الترابي:

يتم تحديد شكل الجسم الترابي ومقطعه انطلاقاً من الأمور التالية:

- 1- إمكانية توضع القسم العلوي بشكل مريح.
 - 2- إمكانية تلقي الحمولات من القسم العلوي للخط المتأتية من جراء مرور القطارات.
 - 3- إمكانية التخلص من مياه الأمطار بأسرع ما يمكن.
 - 4- إمكانية تمرير عمال الصيانة على كتفي الخط.
- يسمى الجزء من الخط بالردمية عندما يكون منسوب سطح الجسم الترابي أعلى من منسوب الأرض الطبيعية، وفي حالة العكس فيسمى بالحفرية.
- يلبي سطح الجسم الترابي، الميول الجانبية للجسم الترابي وخنادق التصريف والحماية، ونورد فيما يلي الجدول (1-7) يبين عرض سطح الجسم الترابي وفق درجة الخط ونوعية المواد المستعملة:

الجدول (1-7) يبين عرض الجسم الترابي وفق درجة الخط

عرض الجسم الترابي في الإستقامات على الخط الرئيسي بالمتر وفق نوع التربة		درجة الخط
غضار ناعم	صخرية، حصويات خشنة نفوذية صخرية متفككة	
7.00	6.10	1
6.50	5.80	2
6.10	5.20	3
11.10	10.10	خطوط مزدوجة

يحسب عرض السطح الترابي في المحطات ومحطات التلاقي وفق عدد الخطوط والمسافة بين طرف الجسم الترابي ومحور الخط الأخير التي يجب ألا تقل عن مسافة نصف الجسم الترابي للخط الجاري.

يجب تعريض الجسم الترابي الملاصق للركائز الطرفية للجسور ومن الطرفين بحدود 50 cm ولمسافة 10 m كحد أدنى.

في المنحنيات يجب زيادة عرض الجسم الترابي ومن الطرف الخارجي للمنحني كما في الجدول (2-7).

الجدول (2-7) يبين زيادة عرض الجسم الترابي

نصف قطر المنحني بالمتر	زيادة عرض الجسم الترابي في المنحنيات
3001 m فما فوق	0.10 m
1510-3000 m	0.2 m
1500-601 m	0.4 m
600 m فما دون	0.5 m

يصمم الجسم الترابي للخط المنفرد والمشكل من أتربة غير نفوذية على شكل شبه منحرف، أما المقطع العرضي للجسم الترابي المزدوج فيصبح تصميمه بشكل مثلث.

أما المقطع العرضي لظهر الترابية والمشكل من صخور، صخور متفتتة ومن أتربة نفوذية فينصح بتصميمه بشكل أفقي.

يصمم ظهر الترابية في المحطات حسب عدد خطوط المحطات إما بميل باتجاه واحد أو باتجاهين وذلك لتصريف المياه من المحطة، وفي المحطات العريضة جداً تصمم خنادق تصريف بيتونية بين الخطوط لتصريف المياه بميل لا يقل عن 2%.

تصمم الميول الجانبية للردميات والحفريات حسب نوع التربة المستعملة، وارتفاع الحفرة أو الردمية مع الأخذ بعين الاعتبار (الجيولوجيا، الهيدرولوجيا، الأحوال الجوية...).

والجدول (3-7) يبين قيم الميول الجانبية حسب نوع التربة والارتفاع في الردمية.

الجدول (3-7) خاص بميول الردميات الترابية تبعاً لنوع التربة وارتفاع الردمية

ميل الجوانب حسب الارتفاع			نوع التربة المستعملة في الردمية
حتى 0.12 m		حتى 0.6 m	
القسم السفلي	القسم العلوي 0.6 m		
1 / 1.50	1 / 1.50	1 / 1.50	صخرية، صخرية متفككة، حصوية، رملية
1 / 1.75	1 / 1.50	1 / 1.50	غضارية، رملية ناعمة
1 / 2.00	1 / 2.00	1 / 2.00	رمال ناعمة جداً، رمال متحركة

إن تصميم الردميات لارتفاع يزيد عن 6 m يجب أن يحسب ويدقق وفق عوامل الهيدرولوجيا للمنطقة وعلى المخططات أن تلاحظ ميول جوانب الحفريات وفق نوع التربة وعمق الحفرة حسب الجدول (4-7).

جدول (7-4) خاص بميول الحفریات الترابية تبعاً لنوع التربة وارتفاع الحفرة

نوع التربة الطبيعية	عمق الحفرة بالمتر	ميل الجوانب
صخرية قاسية، صخرية غير متفككة	12 >	1 / 0.2
حوارية	12 >	1/0.5-1/1.0
صخرية متفككة جزئياً	12 >	1/0.5-1/1.5
متفككة ومقترية من مرحلة التفتت	6 >	1/1.0
متفككة ومقترية من مرحلة التفتت	6 ~ 12	1/1.5
تربة متفتتة، غضارية، بحصية، رملية	12 >	1/1.5
رملية ناعمة	12 >	1/1.75

يسمح بتصميم الميول الجانبية للحفریات بشكل شاقولي في الصخور القاسية المتماسكة والمتفككة جزئياً عند التأكد من دقة الدراسة الجيولوجية وإمكانية التنفيذ بالدقة المطلوبة.

أما سفوح الردميات وجوانب الحفریات والمنفذة في صخور أو أترية قابلة للتفكك السريع بسبب الأمطار والأحوال الجوية فيجب تثبيتها وتعلق طريقة التثبيت بنوعية المواد المستعملة.

إن تصريف المياه عن الخطوط يجب أن يتم بواسطة خنادق تصريف موازية للجسم الترابي في الردميات والحفریات، وتحسب مقاييس خنادق التصريف وتدون على المخططات وكذلك الميول الطولية لها علماً بأن الميل الطولي الأصغري المسموح به هو 2%.

7-3- المقاطع العرضية النموذجية:

إن المقاطع العرضية النموذجية هي تلك المقاطع المجربة لعدة سنوات والتي لا يتطلب اعتمادها دراسات أو تحريات إضافية.

يصمم الظهر الترابي في المقاطع النموذجية للخطوط المزدوجة على شكل مثلث بارتفاع وسط الجسم يساوي 20 cm وذلك لتصريف المياه إلى طرفي الجسم. أما في الخطوط المنفردة فيصمم الظهر الترابي على شكل شبه منحرف قاعدته الصغرى إلى الأعلى.

يجاور القاعدة الصغرى لشبه المنحرف الضلعان المائلان إلى الخارج بميل تقريبي 7.5% لإسالة المياه نحو الجوانب.

تتقاطع الأضلاع المائلة لشبه المنحرف مع الميول الجانبية للجسم الترابي بخط يسمى كتف الترابية.

يتعلق عرض السطح العلوي للجسم الترابي بأبعاد السطح السفلي لمنشور البحص وهذه الأبعاد ترتبط بسماكة طبقة البالاست وعرض ممر الخط (البانكيت).

7-4- مهمة ممر الخط:

1- إبعاد القوى المتأتية من حركة القطارات عن أطراف أو أكتاف الجسم الترابي.

2- منع البحص من الهروب إلى السفوح المائلة للجسم الترابي.

3- تأمين ممر لعمال الصيانة.

4- تأمين سطح لزراعة إرشادات الخطوط.

يتعلق عرض هذا الممر بعدة عوامل ويجب أن لا يقل عن 23cm، وقد شاع استعمال عرض الممر بحدود (50-60) cm إلا أن الفرنسيين قاموا بتعريض ممر دون الآخر ليصل إلى 100cm وذلك لتمرير عناصر الصيانة إلى الممر العريض بواسطة دراجة عادية أو نارية.

يلي الميول الجانبية للجسم الترابي خنادق لتصريف المياه ومصاطب الحماية ويجب أن تلحظ المخططات التنفيذية للمقاطع العرضية حماية كافة عناصر الخط الحديدي على طول مساره من العوامل الضارة.

5-7- المقاطع العرضية الخاصة:

هي المقاطع التي يتطلب تصميمها دراسات وتحريات حقلية خاصة وتتم للأعمال التالية:

- الردميات والحفريات العميقة 12 m فما فوق.
 - الردميات في المناطق الرخوة (المستنقعات).
 - الردميات المجاورة لمجاري السيول والمناطق التي تغمر بالماء بشكل مؤقت.
 - الردميات على السفوح المائلة للتلال والجبال وذلك عندما يكون ميل السفح مساوياً 1/5.
 - حفريات صخرية على سفوح الجبال، عندما يكون ميل السفح مساوياً أو أكبر من 1/5.
 - الجسم الترابي في المناطق المعرضة للانزلاقات، وانهيارات الصخور المتفككة الكبيرة والكهوف.
 - الجسم الترابي الذي يتطلب استخدام التفجير عند تنفيذه.
 - المناطق الزلزالية التي تصل فيها درجة الهزة الأرضية إلى 7 درجات فما فوق.
- 6-7- الأعمال الصناعية:

بتنفيذ الجسم الترابي للخط الحديدي، يتكون حاجز اصطناعي أمام المياه السطحية وحركتها، وأمام مجاري السيول والأنهار وجريانها. ولهذا تصمم الأعمال الصناعية المختلفة كالجسور والعبارات وخنادق التصريف والحماية لتمرير المياه من طرف لآخر ولتنظيم حركة جريانها.

كما وتصمم المعابر والأنفاق لتجاوز العوائق الطبيعية والاصطناعية، وتنفذ الجدران الاستنادية لتأمين ثبات الجسم الترابي.

7-6-1- تصنيف الأعمال الصناعية:

تصنف الاعمال الصناعية استناداً إلى اعتبارات كثيرة منها:

A- مادة الجائز: فتكون إما خشبية، حجرية، بيتونية، معدنية، بيتونية مسلحة ومختلطة من المعدن والبيتون المسلح.

B- طول العمل الصناعي: ويصنف إلى أربعة فئات هي:

- أعمال صناعية صغيرة: وتنتمي إليها العبارات والجسور حتى 20 m.
- أعمال صناعية متوسطة: عندما يتراوح طول الجسر (20-60) m.
- أعمال صناعية طويلة: عندما يتراوح طول الجسر (60-500) m.
- أعمال صناعية خارج التصنيف: عندما يصل طول الجسر أكثر من 500 m.

C- طريقة التحميل على الجائز:

تختلف طريقة التحميل وتكون: علوية، سفلية، وسطية، وتشاهد أحياناً بعض التصاميم لجسور مشتركة لتمرير السيارات والقطارات بمستويات مختلفة ويعتبر التصنيف الأهم للجسور والذي يرتبط بمادة الجائز إذ لكل مادة ميزات، فالجوائز الخشبية سريعة التصنيع رخيصة التكاليف إلا أن ديمومتها قصيرة (10-15) سنة وقابلة للاشتعال. وأما الجوائز الحجرية فعمرها أطول ولا تتطلب صيانات كبيرة ويمكن تنفيذها بمواد أولية محلية إلا أن حجوم الأعمال فيها كبيرة.

7-6-2- الجسور البيتونية:

تنفذ الجسور البيتونية من قطع مسبقة الصنع أو مصبوبة بالمكان.

3-6-7- الجسور المعدنية:

تعتبر الجسور المعدنية الأكثر شيوعاً في الخطوط الحديدية خلال الفترات السابقة نظراً لارتفاع مقاومتها وانخفاض وزنها وسرعة تجميعها وتركيبها، إلا أن نفقات صيانتها تبقى مرتفعة.

4-6-7- الجسور البيتونية المسلحة:

هي الأرخص في الإنشاء والاستثمار إلا أن وزنها كبير. وتستعمل في الخطوط الحديدية السورية جوائز نموذجية من البيتون المسلح بأطوال معيارية (6, 9.3, 13.5, 16.5)m وقد تكون هذه الجوائز مصبوبة في المكان أو مسبقة الصنع، وتستخدم جوائز بيتونية مسبقة الإجهاد بأطوال كبيرة.

كما تستخدم في الخطوط الحديدية جوائز مختلطة، يستعمل فيها المعدن والبيتون، بحيث يتم تشغيل البيتون المسلح على الضغط في القسم العلوي من الجائز، وتشغيل المعدن على الشد في القسم السفلي منه، ويعتبر هذا التصميم الأحدث في الخطوط الحديدية وخاصة للجوائز ذات الفتحات الكبيرة.

5-6-7- العبارات:

انتشر استعمال العبارات في الخطوط الحديدية كبديل عن الجسور الصغيرة بشكل واسع لميزاتها الكبيرة ورخص تكاليف الإنشاء والصيانة، وتنشأ العبارات من أجل تصريف المياه السطحية التي تتجمع على جانبي الخط الحديدي وذلك بهدف حماية الجسم الترابي للخط الحديدي من الأخطار التي يمكن أن تنتج بفعل المياه والتي قد تؤدي إلى إتلاف الجسم الترابي وتتألف العبارات من الأجزاء التالية:

- جسم العبارة.

- مدخل العبارة.

- مخرج العبارة.

- الأساس.

وتنفذ العبارات من مواد مختلفة فتكون إما حجرية أو بيتونية أو بيتونية مسلحة، بأشكال مختلفة كما انتشر استخدام الصفائح الفولاذية والفونط في إنشاء العبارات.

يمكن استعمال البحص والرمل كأساس سفلي للعبارة، أما في المناطق التي تحوي على مياه سطحية عالية فتصمم العبارة على أساس قواعد بيتونية كتلية.

تختلف العبارات حسب شكلها وتصميمها فهي إما مستطيلة أو دائرية أو قوسية، كما تختلف حسب طريقة تنفيذها فهي إما مصبوبة بالمكان بأبعاد تصل أطوالها إلى 60m أو تجمع من عناصر مسبقة الصنع مستطيلة أو دائرية بأقطار مختلفة 0.75, 1.0, 1.5, 2.0m. وتميز العبارات بعدد الفتحات فتحة واحدة أو فتحتين أو ثلاثة.

إن عملية الحساب والتصميم لأبعاد العبارة تعتمد على ما يلي:

- غزارة العاصفة المطرية.

- تواتر العاصفة المطرية.

- زمن هطول الأمطار.

تؤخذ قيم غزارة العاصفة المطرية وزمن هطولها بالحد الأقصى المتوقع حدوثه على فترة زمنية تصميمية تتناسب وأهمية المنشأ، وتلعب الأحواض الساكبة (الصبابة) دوراً كبيراً في تحديد أبعاد العبارات فكلما كبرت مساحة الحوض الصباب الساكب ازدادت كمية المياه المتجمعة فيه وهذا الأمر يتطلب أن تكون العبارة أكبر بصورة يضمن فيها تصريف كمية المياه الآتية من الحوض الساكب.

6-6-7- الأنفاق:

استخدمت الأنفاق في الخطوط الحديدية منذ بداياتها، وتعتبر الأنفاق من المنشآت الباهظة التكاليف، وذلك لارتفاع تكاليف الحفر، ترحيل الناتج وإكساء النفق، خاصة في المناطق المعرضة لرشوحات مائية. ويلجأ إلى استخدام الأنفاق عندما تشكل تضاريس المنطقة عائقاً حقيقياً بحيث يصعب تمرير الخط الحديدي من مناطق سهلة

ومنخفضة، وعندما يكون من الصعب بمكان إجراء التفافات طويلة ومتلاحقة في محور الخط الحديدي لاجتياز منطقة التضاريس المرتفعة لأن هذا الأمر يسبب زيادة غير اقتصادية إطلاقاً في طول الخط الحديدي بحيث يصبح معه إنشاء نفق ضمن الحاجز الطبيعي مجدياً واقتصادياً.

يجب أن يصمم المقطع الطولي للخط في النفق بكل عناية ودقة وذلك لإعطاء الميول القيم اللازمة للتخلص من المياه بأسرع مايمكن وتصريفها ومنع مياه السيول من الدخول إلى داخل النفق.

يسمح باستخدام الميول الأعظمية للخط في الأنفاق التي يبلغ طولها حتى 300m وعند تزايد طول النفق يجب تخفيض الميل الأعظمي وفق معايير محددة حسب الجدول (5-7).

الجدول (5-7) عامل تخفيض الميل الأعظمي تبعاً لطول النفق

طول النفق m	عامل تخفيض الميل الأعظمي %
300-1000 m	90%
1001-3000 m	85%
3000 فما فوق	75%

ينصح بتصميم النفق بميل واحد ويسمح باستخدام ميلين الفرق بينهما بحدود 3% وبشكل عام يجب أن تلاحظ المخططات التنفيذية للأنفاق الأمور التالية:

- خنادق تصريف المياه بحيث لا يقل الميل الطولي للخنادق ضمن النفق عن 3%.
- طريقة تهوية الأنفاق إما بصورة طبيعية أو قسرية.
- الإضاءة.
- الإشارات.
- الكابلات والأنابيب.

وتصمم غرف خدمات جانبية في الأنفاق الطويلة لتخزين العدة الخفيفة لأعمال الصيانة.

7-6-7- السيفونات:

يستخدم هذا النوع من الأعمال الصناعية من أجل تمرير المياه من مجرى مائي يقع على جانب الخط الحديدي إلى الجانب الآخر حيث يكون منسوب الخط الحديدي أخفض من منسوب المجرى المائي.

7-7- مراحل إنشاء أساس السكة (القسم السفلي):

1- إزالة جميع بقايا النباتات والأشجار وتجهيز سطح الأرض الطبيعية ودخله وتسويته.

2- فرش تربة أساس السكة على طبقات تتراوح سماكتها ما بين (15-30) سم.

3- دحل كل طبقة باستخدام المداخل المناسبة حسب نوع التربة وبعده كاف من الأشواط حتى تتحقق القيمة المثالية لكثافة التربة حسب تجربة بروكتور المعدلة.

4- فرش تربة أساس السكة في الردمية حسب خواصها أي أن التربة الجيدة تتوضع في الجزء العلوي من الردمية وعلى الجوانب والتربة الأقل جودة توضع في الوسط.

5- يجب الاهتمام برص الطبقة النهائية العلوية من سطح أساس السكة وتسويتها جيداً حسب المنسوب المطلوب، مع إعطاء ميل عرضي للسطح العلوي (2% أو 3%) للتخلص من مياه الأمطار.

وبهذا يمكن الحصول على أساس سكة مستقر وغير قابل للهبوط في المستقبل.

7-8- خواص التربة المستخدمة في إنشاء أساس السكة (القسم السفلي):

يجب أن تتوفر في الترب المستخدمة في إنشاء أساس السكة الخواص التالية:

1- قوة قص عالية ويعبر عنها بزاوية الاحتكاك الداخلي والتماسك.

2- ارتفاع خاصية نفاذية المياه.

3- قلة الانضغاط عند تحميل التربة القوى المؤثرة فيها.

4- قلة الخاصية الشعرية للتربة.

5- قلة التغير في الحجم مع زيادة كمية المياه (قلة خاصية الانتفاخ للتربة).

6- قلة المرونة وهي قابلية التربة لأن تعود إلى وضعها الأصلي بعد إزالة الحمل من عليها.

7-9- أهم العيوب التي قد تحدث في أساس السكة:

إن الردمات غير المستقرة تؤدي إلى زيادة مصاريف الصيانة (كلفة) وإلى تقليل سرعة القطارات فوقها وفي بعض الأحيان تؤدي إلى وقوع حوادث جسيمة.

وتتسبب أنواع الضعف الموجود بأساس السكة في وجود جيوب ضعيفة من التربة وهي بقع طرية (Soft Spots) مليئة بالماء مما يسبب الانزلاقات وأحياناً الانهيار الكامل للردمية، ويظهر الشكل (7-1) مقطعاً عرضياً لسكة مفردة مبين عليه مواقع الجيوب المائية والبقع الطرية.

وقد يكون العيب منصّباً أساساً على سطح الأرض الطبيعية التي قد تكون غير صالحة لوضع أي حمل عليها وفي هذه الحالة يجب استبدالها بنوع آخر من التربة الصالحة. يمكن التغلب على هذه الجيوب والبقع الطرية بالعناية في تكوين الأساس واستعمال مادة مناسبة للبلاست وبسماكة مناسبة مع الاهتمام بالتخلص من المياه أولاً بواسطة المصارف.

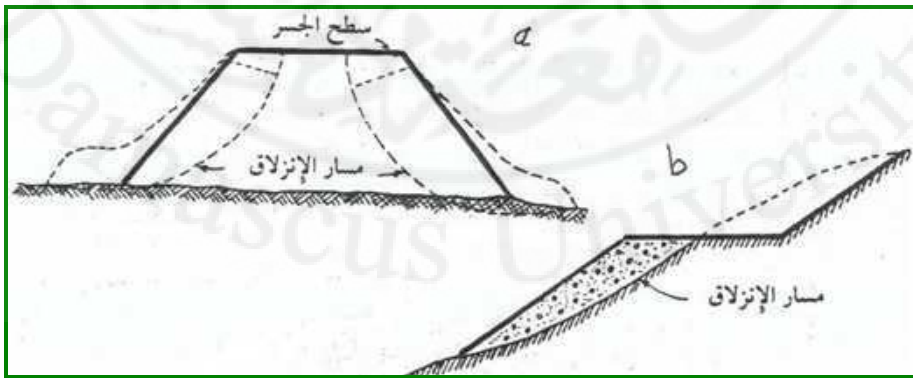
تحدث الانزلاقات إما نتيجة لانهيار التربة تحت قوى القص أو نتيجة لانهيار سطح التربة الأصلي الذي أنشأت عليه الردمية.

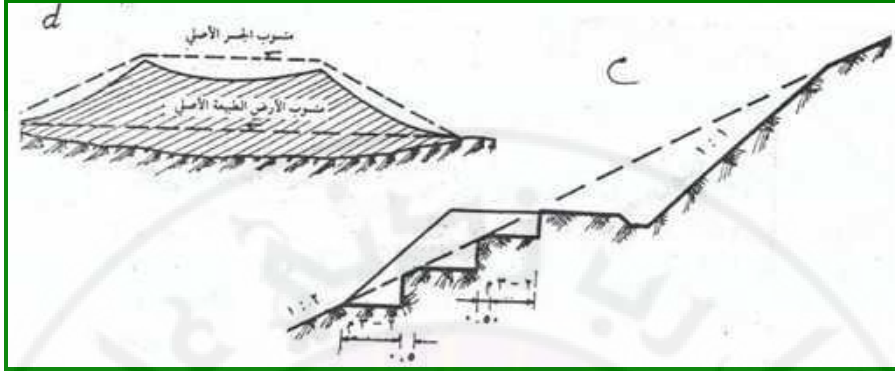
والانهيارات والانزلاقات من أخطر أنواع عدم الاستقرار نظراً لحدوثها المفاجئ الذي قد يحدث عند مرور القطار مثلاً والشكل (2-7) a يبين حالة الانزلاق نتيجة لضعف التربة الأصلية لسطح الأرض والشكل (2-7) b يبين حالة انزلاق الردمية على الميل الجانبي الأصلي لتربة الأساس والتي يمكن منعها بعمل مصاطب أفقية على الميل تقلل فرصة الانزلاق كما هو مبين في الشكل (2-7) c، أما الشكل (2-7) d فيبين حالة الهبوط نتيجة لانضغاط الردمية نفسها بالإضافة إلى هبوط التربة المقام عليها.

يمكن معالجة التربة التي ستقام عليها الردمية (إذا كانت قابلة للانضغاط) بالطريقة الموضحة بالشكل (2-7).



الشكل 1-7 مواقع الجيوب المائية





الشكل (7-2) حالات انزلاق التربة

7-10- وسائل علاج أساس السكة:

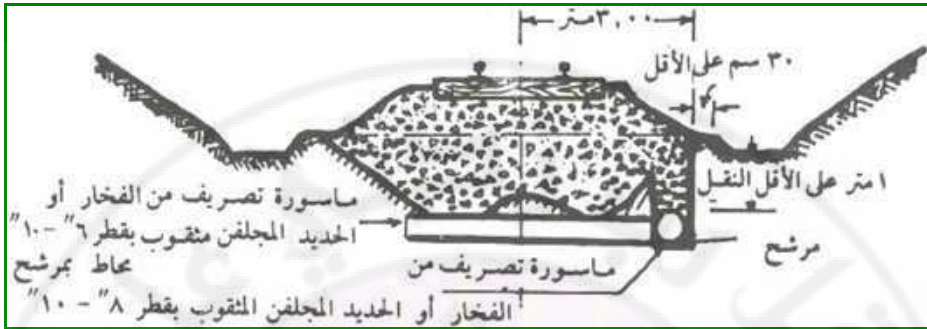
7-10-1- صرف المياه بعيداً عن السكة:

يجب وضع نظام للصرف السطحي أو عميق تحت التربة إذا شكل الماء جيوباً في الردمية، حيث تقوم المواسير العرضية والطولية أسفل الجيوب بسحب المياه وتصرفها بعيداً عن السكة ويبين الشكل (7-3) كيفية صرف المياه المتجمعة بالجيوب المائية في حالة سكة مفردة.

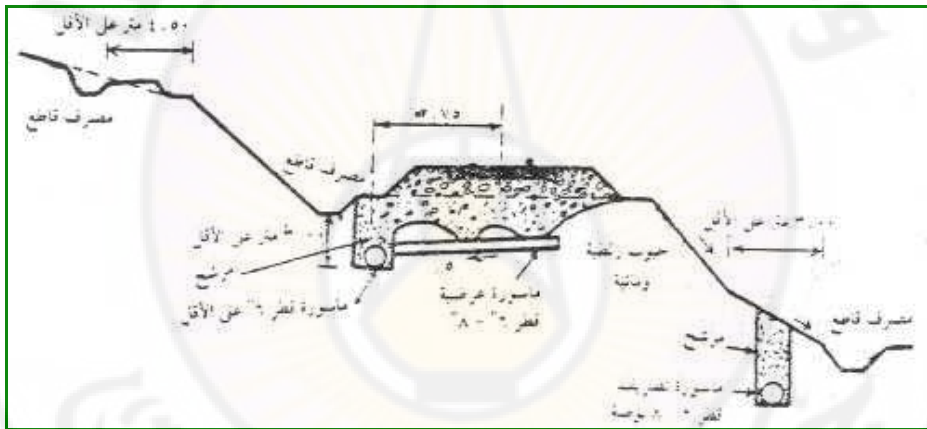
وعندما تكون تربة الأساس ضعيفة ولا يمكن صرف المياه عن طريق مصارف مكشوفة عميقة نلجأ إلى صنع أو إنشاء مصارف شاقولية مملوءة بتربة صالحة لمرور المياه على هيئة مرشح مع وضع مواسير صرف طولية وجانبية انظر الشكل رقم (7-4). وفي بعض الأحيان نلجأ إلى تصريف مياه الأمطار من سطح الردمية عن طريق المصارف الحقلية وهي عبارة عن مصارف عرضية تعمل على عرض الردمية بأكملها على مسافات كل 10 أو 20 م ويتراوح عرضها ما بين 30-50 سم ويبلغ عمقها حوالي 50 سم انظر الشكل (7-5).

أما داخل منطقة محطات الركاب فيتم صرف المياه من قطاع الطابق البحصي (البلاست) والمتجمعة من سقوط الأمطار أو أي مصدر آخر عن طريق مواسير ذات ثقب شكل (7-6)، وتمد طولياً بميول مناسبة لسريان الماء حيث يتم ربط هذه

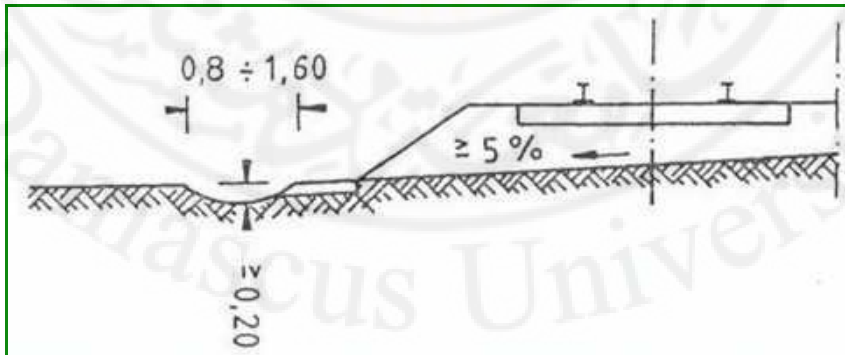
المواسير بنظام الصرف السطحي للمدينة أو لتصب في أي مجرى مائي قريب.

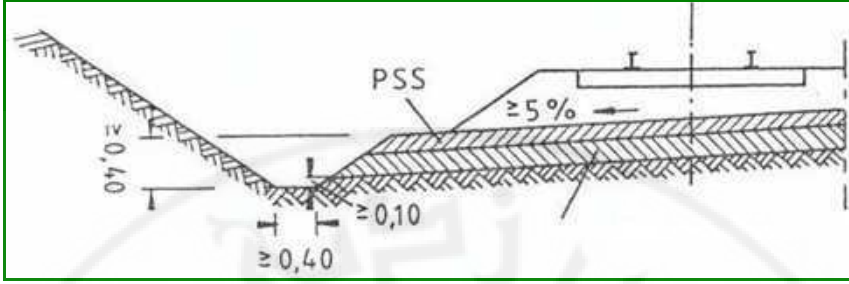


الشكل (3-7) تصريف المياه المجمعة بالجيوب المائية

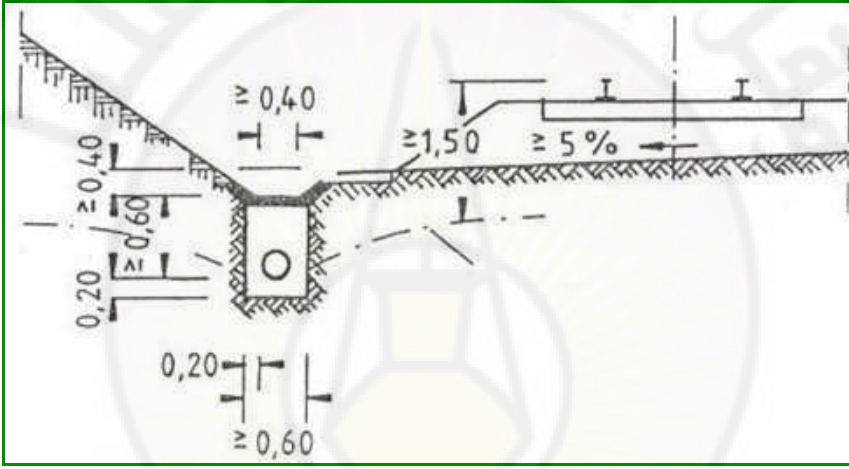


الشكل (4-7) مواسير صرف شاقولية وجانبية وطولية





الشكل (5-7) صرف المياه السطحية عبر خنادق جانبية



الشكل (6-7) صرف المياه المطرية والجوفية عبر قساطل مضمورة

2-10-7- الحقن بمونة الأسمنت:

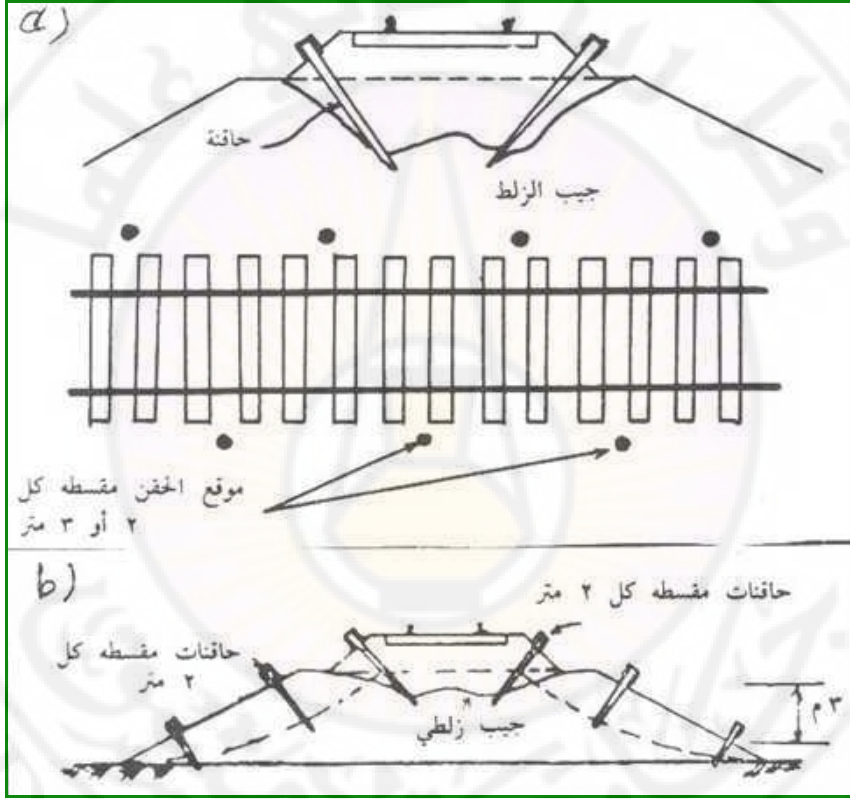
يعتبر الحقن من الطرق الجيدة لتنشيط كل من الطابق البحصي (البلاست) وأساس السكة (القسم السفلي)، ويتم الحقن عن طريق ضغط مادة لينة مكونة من الأسمنت والرمل والماء في الطابق البحصي أو أساس السكة وتوجد طريقتان هما:

- طريقة الهواء المضغوط.

- طريقة الضغط الهيدروليكي.

تستعمل الطريقة الأولى في الخلطة الفنية بالأسمنت، أما الطريقة الثانية فتستعمل في خلطة قليلة الأسمنت، والشكل (7-7) a يبين مواقع الحاقنات حيث توضع أفقياً أو

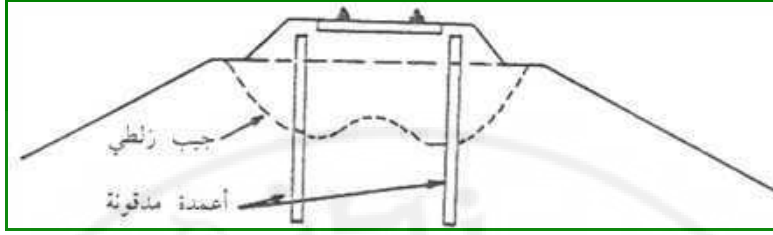
بميل خفيف، إذا كان ارتفاع الردمية يسمح بذلك. ولتثبيت الردمية يتم حقفها من الأسفل إلى الأعلى وغالباً ما نحتاج إلى حاقنات بطول 5 م، وعلى مسافات من 2-3 م في الاتجاهين الطولي والعرضي انظر الشكل (7-7) b والذي يبين مواضع الحاقنات في حالة الجيوب البحصية والميول الجانبية لتلافي انهياره تحت قوى القص.



الشكل (7-7) مواضع الحاقنات لتثبيت التربة

7-10-3- دق الأعمدة:

تدق الأعمدة أو العوارض في السطح على أبعاد متقاربة في الاتجاه الطولي حوالي 1 م، ويبلغ قطر العمود من 15-30 سم ويجب أن يكون من 50-60% من طول العمود مدقوق في تربة مستقرة أسفل الأساس انظر الشكل (8-7).



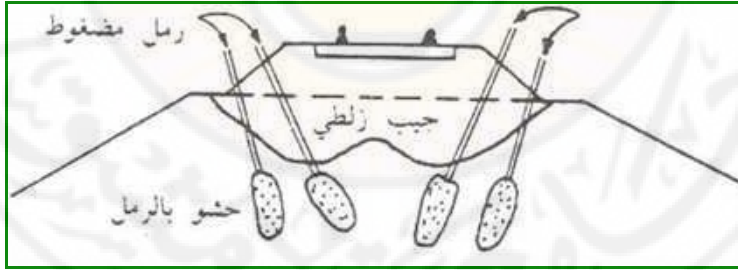
الشكل (7-8) تثبيت الردمية بدق الأعمدة

4-10-7- عمل ثقوب بالأساس وملؤها بالرمل:

تدق أوتاد spuds في أساس السكة بين القضيبين وبالقرب منها ثم تسحب هذه الأوتاد وتملأ الثقوب بالرمل وقد تتحسن خواص التربة لاختلاطها بالرمل كما يساعد الرمل على الصرف الشاقولي.

5-10-7- عمل جيوب وملؤها بالرمل:

يستعمل ثاقب بقطر 5-7 سم ثم يعمل فراغ بالنسف بالديناميت ويحشى بالرمل تحت ضغط الهواء ويجب أن يملأ الفراغ السابق قبل عمل الجيب الثاني، ويستعمل هذه الطريقة شكل (7-9) في معالجة الردميات بارتفاع 5 م على الأكثر.



الشكل (7-9) معالجة الردميات بجيوب مملوءة بالرمل

6-10-7- الحصائر Mats:

قد توضع الحصائر من البيتون فوق أساس السكة وأسفل الطابق البحصي ويتراوح سمك البلاطات البيتونية بين 15-25 سم. من عيوب هذه الطريقة أن حركة القطارات تتوقف تماماً عند أعمال الإنشاء أو الصيانة.

7-10-7- جدران جانبية Retaining Walls:

تقام جدران جانبية من القضبان والأعمدة والعوارض المستعملة للمحافظة على الميول الجانبية من الانهيار على أن يتم ذلك بأقل التكاليف شكل (7-10)، وأحياناً تبنى من الحجارة أو البيتون.



الشكل (7-10) التثبيت بجدران جانبية

7-10-8- مواد كيمياوية:

تضاف مواد كيمياوية وتخلط مع التربة لتحسين خواصها وقد يضاف 1% أسمنت إلى التربة لنفس الغرض.

7-10-9- رقائق النيوبرين:

لمنع هبوط السكة وتلوث مادة البلاست بالطين المتصاعد من مادة الردمية بعد سقوط الأمطار، يمكن فرش رقائق النيوبرين (قماش معالج بمادة النيوبرين) والتي عادة أبعادها 4*5 م بسمك حوالي 1 مم إذ يضاف مادة لاصقة، ثم تفرش طبقة أخرى من الرمل فوق الرقائق بسمكة 15 سم ثم يفرش فوقها الطابق البحصي (البلاست) والعوارض والقضبان.

7-10-10- الرش بالبيتومين:

يرش السطح الخارجي للردمية بالبيتومين للحد من تأكله بفعل العوامل الجوية.



الفصل الثامن

الخطوط الحديدية الملحومة

1-8- مقدمة:

منذ ظهور الخطوط الحديدية على الوجود والبحث جار في سبيل تطويرها. ولم يكن بالإمكان دوماً العثور على الحلول الناجزة لجميع عناصر الخط. وينطبق ذلك على الفواصل والتي تعد النقاط الأكثر ضعفاً. وهكذا تقود الفواصل إلى تكاليف الإنشاء والصيانة المرتفعة كما تؤدي إلى حدوث كسور مبكرة في نهاية القضبان. إضافة إلى دورها السلبي في راحة المسافرين وفي زيادة تكاليف الصيانة للأدوات المحركة والمتحركة. ومنذ وقت مبكر تسعى الجهود للحصول على أوفى عدد من الفواصل. وكانت القضبان الأولى ذات أطوال تقل عن المتر الواحد كما هو الحال في بريطانيا بالنسبة لقضبان بطن السمكة بطول 91 سم وفي ألمانيا استخدمت قضبان بطول 4.71 م في الخطوط الحديدية الأولى. ونتيجة لتطور التعدين فقد أصبح ممكناً إنتاج قضبان بأطوال 9 و 12 و 15 و 18 متراً. والآن أصبح ممكناً إنتاج قضبان بالأطوال المرغوبة لا سيما أنه تم إدخال تقانة اللحام سواءً في مكان الإنتاج أو في موقع العمل، وفي الخطوط الحديدية داخل المدينة (خط الترام) تلاحظ الخطوط الملحومة منذ عام 1898.

لقد تطورت تقانة اللحام في العقدين الأولين من هذا القرن بشكل متسارع حيث أنه يوجد منذ عام 1930 عدة طرق لحام القضبان الحديدية مثل اللحام الألوميني الحراري واللحام الكهربائي بالشرر واللحام بالقوس الكهربائي.

وإذا كانت ميزة اللحام الألوميني الحراري بأنه يستخدم في موقع العمل فإن اللحام الكهربائي قد تطور وأصبح تنفيذه ممكناً أيضاً في الموقع. أما اللحام بالغاز فقد استخدم في البداية في الولايات المتحدة ثم بعد الحرب العالمية الثانية في أوروبا وفي الصين.

وهكذا أصبح ممكناً منذ مطلع القرن العشرين إنتاج قضبان لانهائية في الطول. ولكن لم يكن بالإمكان استخدامها في الخطوط الحديدية نظراً لتأثير درجة الحرارة ولعدم تطور عناصر القسم العلوي ولاسيما المثبتات بشكل مواز. لذلك بقيت الفواصل ضرورية ضمن مسافات معينة.

وعلى الرغم من ذلك فقد نفذ خط ملحوم بطول 800 متر حيث تم تثبيت منتصفه وتركت نهايتاه قابلتين للتمدد أو النقل وساعد على ذلك طبيعة المثبتات ذات قوة الضغط القليلة وجهزت الفواصل بعناصر خاصة حتى لا تحدث فجوات كبيرة (500-1000 ملم).

لقد أدى التطور اللاحق لنوعية العوارض وطريقة توضعها ضمن البلاست إلى زيادة في مقاومة الاحتكاك الطولي والعرضي وإلى خلق الظروف المناسبة لظهور الدراسات حول الخطوط الملحومة. كما ساهم التطور الذي أصاب المثبتات والتي أصبحت تعطي قوة ضغط كافية لتثبيت القضبان مع العوارض مساهمة إيجابية.

ومنذ منتصف القرن العشرين أدخلت الخطوط الملحومة بشكل واسع في مؤسسات الخطوط الحديدية الدولية وأصبحت هي الحالة العامة والأكثر شيوعاً ولاسيما في أوروبا والولايات المتحدة. واستطاع الإنسان تجاوز القانون الفيزيائي الناظم لتمدد الفولاذ مع ارتفاع درجة الحرارة عن طريق اتخاذ إجراءات تقنية وتكنولوجية عند التنفيذ وفي أعمال الصيانة.

تتميز الخطوط الملحومة عن الخطوط العادية بالميزات التالية:

- زيادة في أمان سير القطارات.
- تخفيض في تكاليف صيانة الخطوط.
- توفير في صيانة الأدوات المحركة والمتحركة.
- زيادة مقدرة الخطوط الحديدية وكفاءتها.
- زيادة راحة المسافرين.
- مناسبة أكثر لحماية البيئة من الضجيج.

تبلغ الكسور في القضبان والنااتجة عن وجود الفواصل أكثر من نصف الكسور الإجمالي ويمكن تجنب هذه الكسور في الخطوط الملحومة وذلك لعدم وجود الفواصل. كما أن الكسور في محطات تفريغ البضائع وشحنها ومحطات الفرز والنااتجة عن تجهيز خطوط الفرملة والتي تؤدي إلى جنوح العربات وخروجها عن الخط هي أيضاً غير موجودة في الخطوط الملحومة. ويتجلى مقدار التوفير في الخطوط الملحومة من خلال توفير الكثير من القطع المعدنية مثل الجببرات والبراغي، فيبلغ التوفير مثلاً في خط حديدي ذي عوارض خشبية وروابط من نوع 2700 K كغ معدن للكيلومتر الواحد.

يؤدي غياب الفواصل إلى نقصان الإجهادات الناجمة عن القوى الديناميكية وبالتالي إلى زيادة عمر عناصر القسم العلوي نحو 10-25% وتخفيض أعمال الصيانة الدورية لمنطقة الفواصل 20% وإلى إطالة الفترة الفاصلة بين أعمال الصيانة.

وبالنسبة للقسم السفلي فإن وجود الخطوط الملحومة يعني غياب الإجهادات الديناميكية الإضافية وبالتالي ارتفاع كفاءة الخط الحديدي بشكل إجمالي.

2-8- مدخل إلى نظرية الخطوط الملحومة:

تعرف الخطوط الملحومة بأنها تحتوي على ثلاث مناطق، المنطقتان الطرفيتان وهما منطقتا التنفس حيث تتحول الفروق في درجات الحرارة إلى قوى طولية وتغير في الطول، والمنطقة المركزية حيث تتحول إلى قوى طولية فقط.

تقوم فكرة الخطوط الملحومة على أن مقدار القوة الطولية المؤثرة ضمن الخط يجب أن يكون دوماً ضمن مجال معين بحيث تستطيع المقاومات في الخط موازنة تلك القوة. وألا يؤدي ارتفاع درجة الحرارة إلى الدرجة العظمى T_{max} إلى نشوء قوة ضغط كبيرة تؤدي إلى التحنيب (النتر). كما لا يؤدي انخفاض درجة الحرارة إلى الدرجة الدنيا T_{min} إلى حدوث التشقق أو الانكسار في القضبان الناتج عن قوة الشد.

وهكذا فإن درجة الحرارة تتغير ضمن المجال $[T_{\max}, T_{\min}]$ وفي تغيرها هذا تتغير القوة الطولية وتنتقل من حالة الشد إلى حالة ضغط أو بالعكس. وهذا يعني أن القوة الطولية تكون في لحظة معينة مساوية الصفر، ويتوافق ذلك مع درجة حرارة معينة. تعرف هذه الدرجة بالدرجة المحايدة. ويعبر عن ذلك رياضياً:

درجة حرارة الخط = الدرجة المحايدة $\longleftrightarrow$ القوة الطولية = الصفر

$$0 = F \longleftrightarrow T_n = T_{\text{rail}}$$

بناءً على ذلك فإنه يجب تمديد القضبان الملحومة في درجة حرارة تساوي درجة الحرارة المحايدة. لكن اعتماد درجة الحرارة المحايدة لتنفيذ الخطوط الملحومة يعتبر غير اقتصادياً نظراً لتغير درجة الحرارة باستمرار ضمن الشهر الواحد وفي أشهر السنة المتعاقبة. ويختار عادة مجال حراري يشتمل على درجة الحرارة المحايدة، ويدعى بالمجال الحراري للتنشيط ΔT_n . تنفذ ضمنه عمليات لحام القضبان وتنشيط الخط.

يعتمد اختيار حدي المجال الحراري للتنشيط على درجتَي الحرارة العظمى والدنيا المتوقعين بحيث تتحقق العلاقة التالية:

$$\Delta T_D = \Delta T_Z \quad (1-8)$$

حيث:

ΔT_D : فرق درجة الحرارة بين الحد الأدنى للمجال الحراري للتنشيط ودرجة الحرارة

العظمى. حيث يتحول الفرق الحراري إلى قوة ضغط F_D .

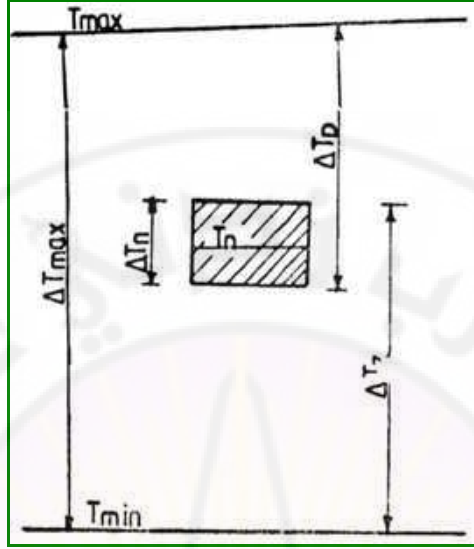
ΔT_Z : فرق درجة الحرارة بين الحد الأعلى للمجال الحراري للتنشيط ودرجة الحرارة

الدنيا. حيث يتحول الفرق الحراري إلى قوة شد F_Z .

ΔT_n : المجال الحراري للتنشيط.

T_n : درجة الحرارة المحايدة.

$\Delta T_{\max}$: الفرق بين درجتَي الحرارة العظمى والدنيا.



الشكل 1-8: المجال الحراري للتثبيت

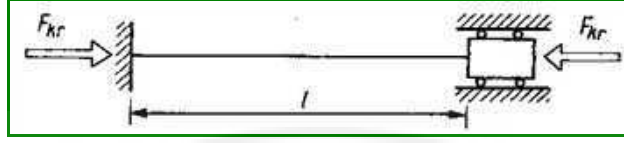
أما في سورية فقد أجريت تجربة للحام القضبان الحديدية بطول 650 م في محطة حلب الكبرى وأعطت نتائج جيدة ولا تتوافر معطيات حول المجال الحراري للتثبيت. تسمى درجة الحرارة التي تثبت الخط عندها درجة حرارة التثبيت T_s ويجب أن تكون ضمن المجال الحراري للتثبيت ولكن ليس بالضرورة أن تطابق درجة الحرارة المحايدة.

3-8- ميكانيكية الخط الملحوم:

تختلف طبيعة المسائل الفيزيائية والستاتيكية التي تظهر عند دراسة الخطوط الملحومة عنها في الخطوط العادية حيث تتقدم تلك المسائل إلى الصدارة بعد أن كانت في مواقع متأخرة.

من وجهة نظر الستاتييك فإن المنطقة المركزية من الخط الملحوم تعامل على أنها عنصر موثوق من الجانبين وخاضع لقوة ضغط محورية. وحسب نظرية اويلر في القضبان المعرضة للضغط فإن القوة الحرجة الكامنة في الخط لحظة حدوث التجنب (النتر) تعطى بالعلاقة التالية:

$$F_{cr} = \frac{4\pi^2 EI}{L^2} \quad (2-8)$$



الشكل 2-8: حالة قضيب معرض للضغط

لكن حساب القوة الحرجة في الخط الملحوم ليس بهذه البساطة نظراً لعدم تجانس المواد في المقطع العرضي للخط الحديدي ولوجود المقاومات. ويمكن تعداد أهم خصوصيات الخط الحديدي التي تميزه عن العناصر المضغوطة وفق أويلر كما يلي:

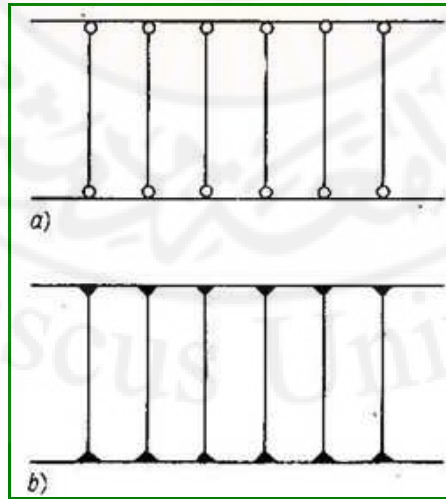
1- إن عزم عطالة الخط الحديدي ليس ثابتاً وذلك لأنه ينتج عن طبيعة تثبيت القضبان مع العوارض. وهو يقع بين الحالتين الحديتين التاليتين:

أ- ربط مفصلي ويكون عزم العطالة صغيراً ويبلغ مجموع عزمي عطالتي القضيبين أي $2I_y$ (الشكل 3-8).

حيث:

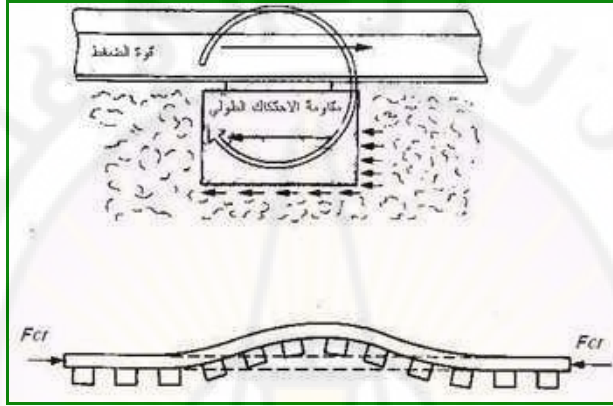
I_y : عزم عطالة القضيب حول المحور الأفقي (y-y).

ب- وثيقة تامة ويشكل عندها الخط جملة غير مقررة ذات عزم عطالة كبير.



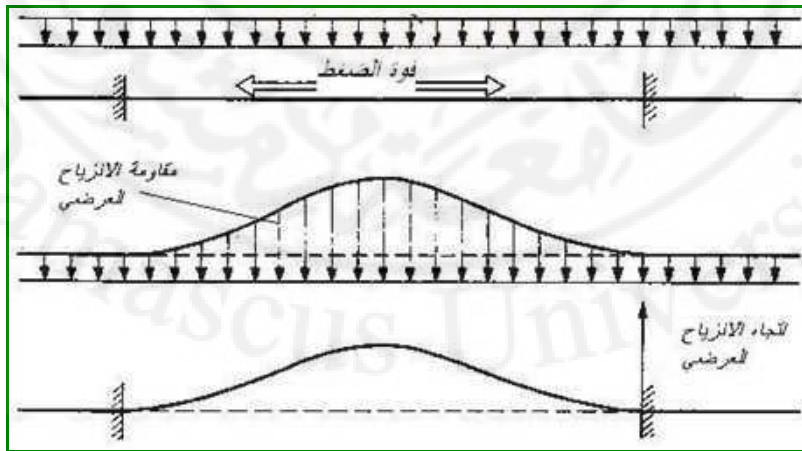
الشكل 3-8: حالتي عزم عطالة الخط الحديدي

2- إن عدم انطباق خط شعاع القوة الضاغطة مع محصلة القوى المقاومة (المقاومات) يسبب عزماً يعمل على رفع الخط الحديدي ويحصل التحنيب الشاقولي وتنخفض بشكل كبير مقاومة الاحتكاك الطولي بين العوارض والبلاست. يحدث بعدها وبشكل مفاجئ التحنيب الأفقي (النتر) (الشكل 4-8).



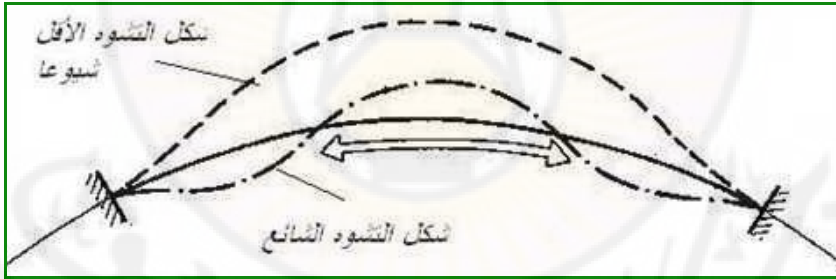
الشكل 4-8: عدم انطباق خط شعاع القوة الضاغطة مع محصلة القوى المقاومة

3- إن توضع الخط الحديدي في وسط مرن ومع وجود الاحتكاك الطولي مع العوارض يعد اختلافاً آخر عن الحالة النظرية. وتلعب مقاومة الانزياح العرضي q دوراً رئيسياً حيث تزداد هذه المقاومة بزيادة الانزياح العرضي (الشكل 5-8).



الشكل 5-8: مقاومة الانزياح العرضي

- 4- عند تعرض عنصر بسيط ذي مقطع عرضي متجانس للتحنيب فإنه توجد منطقتا شد وضغط في المقطع العرضي، حيث تخضع الألياف الداخلية للضغط والألياف الخارجية للشد. كما تتوضع المقاطع العرضية المتجاورة بشكل قطري باتجاه مركز الانحناء. أما في الخط الحديدي ونظراً لعدم تجانس المقطع العرضي (قضبان + عوارض + أدوات تثبيت) فإنه لا يمكن أن يقع القضيب الداخلي تحت تأثير قوة ضغط والقضيب الخارجي تحت تأثير قوة شد. ويعود السبب في ذلك إلى أن القوة الطولية المؤثرة في أحد القضيبين لا تنتقل إلى القضيب الآخر من خلال المثبتات.
- 5- إن شكل التشوه الذي يحدث في المنحنيات يجب أن يتطابق مع الحقيقة السابقة أي عدم انتقال القوة من قضيب لآخر. لذلك فإن مقدار التغير الطولي في القضيبين الداخلي والخارجي هو ثابت وهذا يستدعي بأن يكون شكل التشوه كما هو موضح في الشكل (6-8).



الشكل 6-8: شكل التشوه في المنحنيات

- 6- يفترض عند تطبيق نظرية أويلر أن العنصر الخاضع لقوة ضغط هو ذو استقامة مطلقة. لكن هذا الافتراض لا يتطابق مع طبيعة الخط الحديدي حيث لا يمكن أن يكون الخط بهذه المواصفات وتوجد عادة تشوهات بدائية.

4-8- حساب القوة الحرجة في حالة الضغط:

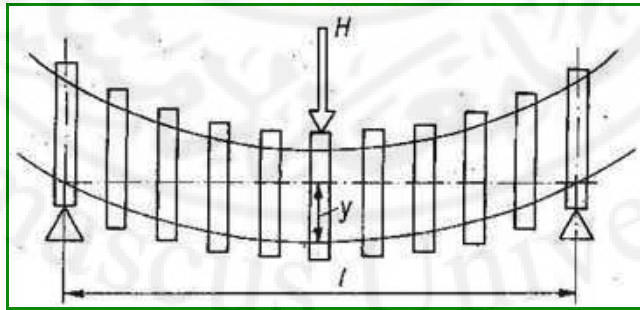
نظراً للاختلافات المذكورة سابقاً في عد الخط الحديدي عنصراً متجانساً معرضاً للضغط فإنه لا يمكن تطبيق نظرية أويلر وإنما يجب البحث عن طرائق حساب بديلة تأخذ خصوصيات الخط الحديدي بعين الاعتبار.

توجد طرائق كثيرة لحساب القوة الحرجة حيث تعتمد كل طريقة على مجموعة من الافتراضات التسهيلية. لذلك فإنه من الضروري الإلمام بأكثر من طريقة وتطبيق الطريقة التي تتناسب افتراضاتها مع طبيعة الخط الحديدي المطلوب إجراء الحسابات له.

إن معظم الطرائق تعتمد على نظرية الطاقة في حساب القوة الحرجة. ويمكن تقسيم هذه الطرق إلى مجموعتين رئيسيتين. المجموعة الأولى تعالج الخط لأن له صلابة واحدة بالصلابة المكافئة بينما تعد المجموعة الثانية أن صلابة الخط تتكون من صلابة ومن عزم الدوران. وفي جميع الأحوال فإن مقاومة الانزياح العرضي تدخل في الحساب كعنصر خاص ومستقل.

1-4-8- طريقة عزم العطالة المكافئ:

تعتمد هذه الطريقة على عد الخط الحديدي كجائز يستند إلى مستندين بسيطين وله عزم عطالة مكافئ وثابت.

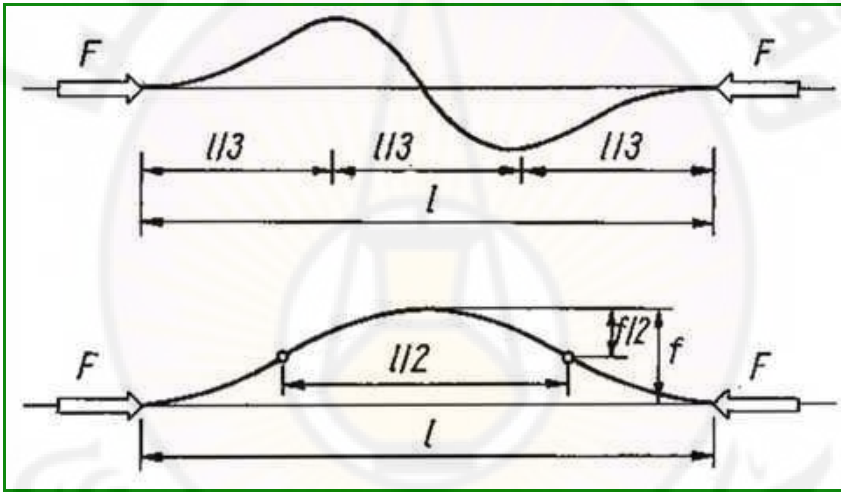


الشكل 7-8: طريقة عزم العطالة المكافئ

يحسب عزم العطالة المكافئ وفق قوانين مقاومة المواد ويعطى بالعلاقة:

$$I = \frac{HL^3}{48E * y} \quad (3-8)$$

تكون هذه العلاقة قابلة للتطبيق عندما تكون العلاقة بين E , y , H معروفة.
إن أشكال التشوه المعتمدة في هذه الطريقة هي أن الخط يتشوه بشكل منحني جيبى.



الشكل 8-8: أشكال التشوه المعتمدة في طريقة عزم العطالة المكافئ

تعد مقاومة الانزياح العرضي في الحساب على أنها ثابتة أي $q = \text{constant}$.

وبتطبيق نظرية الطاقة تكون معادلة الطاقة هي:

$$E = A_F - A_{EI} - A_q \quad (4-8)$$

حيث:

A_F : العمل الفيزيائي الناتج بسبب القوة F .

A_{EI} : العمل الفيزيائي الناتج بسبب صلابة الخط.

A_q : العمل الناتج بسبب مقاومة الانزياح العرضي.

E : مقدار الطاقة الداخلة في عملية التحنيب.

أما قيمة القوة الحرجة فتحسب باشتقاق معادلة الطاقة بالنسبة للانزياح العرضي وتكون:

$$F_{cr} = \frac{9\pi^2 EI}{L^2} + \frac{4L^2 q * 0.545}{9\pi^2 f} \quad (5-8)$$

يمثل الحد الأول مقدار مساهمة صلابة الخط بينما يمثل الحد الثاني مساهمة مقاومة الانزياح العرضي في القوة الحرجة.

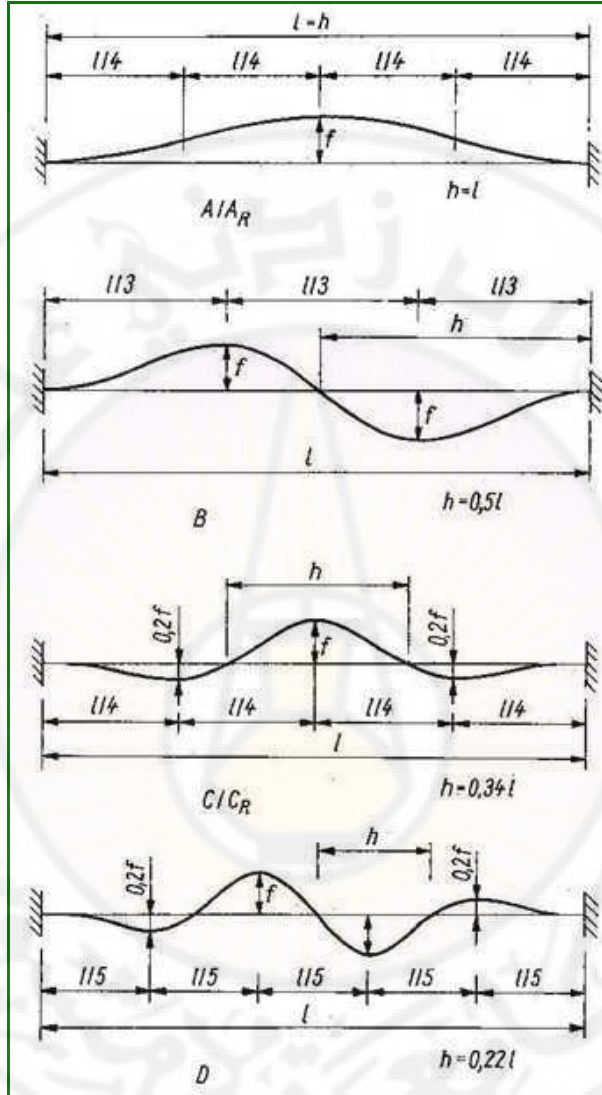
2-4-8- طريقة الحساب التحليلية (نيمسدي):

نشر البروفسور الهنغاري نيمسدي طريقته هذه في عام 1959 ودعمها بنتائج التجارب التي أجراها. إن الافتراضات التسهيلية للحساب في هذه الطريقة هي:

1- يمكن تصنيف أشكال التشوه الممكنة للخط الحديدي في أربعة أشكال يرمز لها بالأحرف الأبجدية A, B, C, D. إن شكلي التشوه A, C يحدثان في المنحنيات. ولكن الشكل C هو الأكثر حدوثاً أما الشكل A فله فائدة في الدراسة النظرية فقط.

2- تعد مقاومة الانزياح العرضي q متغيرة وتتعلق بمقدار الانزياح العرضي.

3- تدخل مقاومة الدوران M وصلابة القضبان EI في الحساب بشكل منفصل.



الشكل 8-9: أشكال التشوه الممكنة للخط الحديدي

ينطلق في حساب القوة الحرجة من علاقة الطاقة التي تعطى كما يلي:

$$E = A_{EI} + A_q + A_M - A_F \quad (6-8)$$

تعطى الأعمال الفيزيائية الواردة في معادلة الطاقة كما يلي:

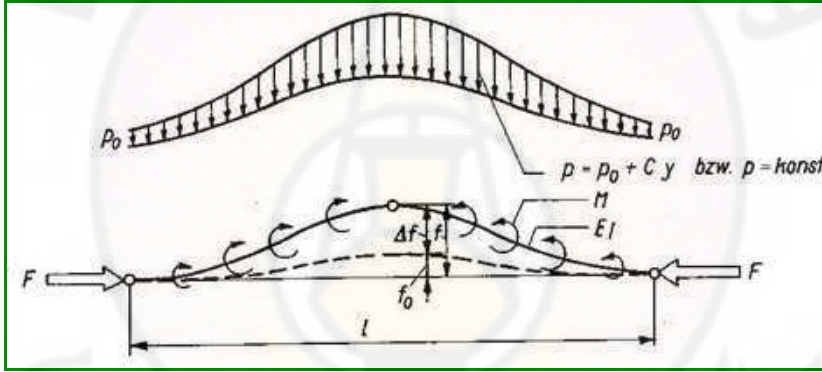
$$A_{EI} = \int_L \frac{EI}{2} * y''^2 * dx \quad (7-8)$$

حيث: A_{EI} : العمل الفيزيائي اللازم للتغلب على صلابة الخط.

$$A_q = \int_L q * y'^2 * dx \quad (8-8)$$

A_q : العمل الفيزيائي اللازم للتغلب على مقاومة الانزياح العرضي.

y : معادلة الخط المرن للخط الحديدي بعد التشوه.



الشكل 8-10: مقاومة الانزياح العرضي المتغيرة

أما العمل الفيزيائي اللازم للتغلب على مقاومة الدوران فهو:

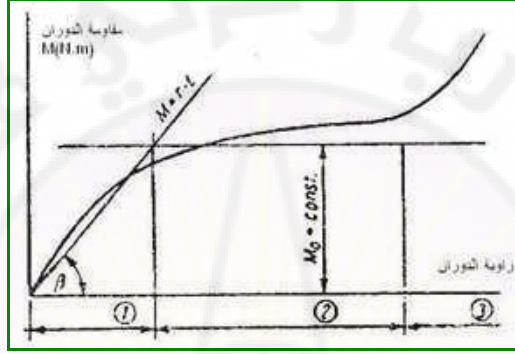
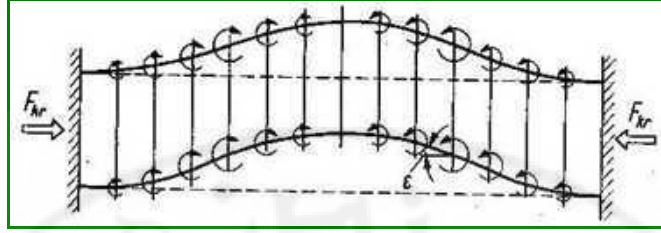
$$A_M = C_0 \frac{2M_0}{a} f \quad (9-8)$$

وذلك عندما تكون $M = M_0 = \text{constant}$.

أو يعطى بالعلاقة:

$$A_M = c \frac{f^2 * 2r}{L * a} \quad (10-8)$$

وذلك عندما تكون M غير ثابتة.



الشكل 11-8: مقاومة الدوران المتغيرة

أما بقية الرموز الواردة في المعادلتين السابقتين فلها الدلالات التالية:

C_1, C_0 : ثوابت.

a : التباعد بين العوارض.

f : مقدار السهم.

r : ميل زاوية المستقيم في المجال الأول.

يعطى العمل الفيزيائي الذي تنتجه القوة الطولية بالمعادلة:

$$A_F = F * \Delta L \quad (11-8)$$

وللحصول على القوة الحرجة يتم اشتقاق معادلة الطاقة بالنسبة لتغير تفاضلي في

قيمة السهم f حيث يحدث اختلال بحالة التوازن الحدي.

$$\frac{dE}{df} = 0 \quad (12-8)$$

وبالتعويض والاشتقاق تكون المعادلة التي تعطي القوة الحرجة هي:

- من أجل مقاومة دوران متغيرة ومقاومة انزياح عرضي متغيرة أي عندما:

$$M = r * \varepsilon$$

$$q = q_0 + c * y$$

$$F_{cr} = \frac{K_1 \frac{EI}{L^2} + K_2 q_0 \frac{L^2}{f - f_0} + K_3 c L^2 + \frac{2r}{a}}{1 + K_5 \frac{L^2}{f * R}} * \frac{f - f_0}{f} \quad (13-8)$$

- من أجل مقاومة دوران ومقاومة انزياح عرضي متغيرين أي عندما:

$$M = M_0 = ocns \tan t$$

$$q = ocns \tan t$$

$$F_{cr} = \frac{K_1 \frac{EI}{L^2} + K_2 q \frac{L^2}{f - f_0} + K_4 \frac{M_0 * L}{a(f - f_0)}}{1 + K_5 \frac{L^2}{f * R}} * \frac{f - f_0}{f} \quad (14-8)$$

تعطى قيمة الثوابت K_i الواردة في المعادلتين السابقتين حسب شكل التشوه في الجدول (1-8).

الجدول (1-8)

الثوابت	A	B	C	D
K_1	44.100	94.500	205.800	284.000
K_2	0.087	0.0222	0.0158	0.0074
K_3	0.064	0.0171	0.0091	0.0048
K_4	0.752	0.3400	0.3580	0.2220
K_5	0.086	0.000	0.0133	0.000

وفيما يلي تلخيص للمعادلتين (8-13) و (8-14):

E: معامل المرونة لفولاذ القضبان ($E = 21.10^6 \text{ N/cm}^2$).

I: عزم العطالة للقضيبين ($I = 2 I_y \text{ cm}$).

L: طول التحنيب (cm).

q_0 : مقاومة الانزياح العرضي البدائية (N/cm).

C: ميل المستقيم الذي يعطي مقاومة الانزياح العرضي في المجال الأول.

f: مقدار السهم الناتج بعد حصول التحنيب (cm).

f_0 : مقدار السهم البدائي (cm).

a: التباعد بين العوارض (cm).

R: نصف قطر المنحني (cm).

r: ميل المستقيم الذي يعطي قيمة العزم M في المجال الأول.

كما هو واضح من المعادلتين السابقتين فإنه يوجد ثلاثة حدود تمثل نسبة مساهمة كل من صلابة الخط ومقاومة الانزياح العرضي ومقاومة الدوران.

إن تطبيق هاتين المعادلتين يتطلب معرفة مسبقة لطبيعة عمل مقاومة الدوران ومقاومة الانزياح العرضي.

تعد مقاومة الانزياح العرضي ثابتة عندما يبلغ الانزياح العرضي أكبر من 1 سم.

$$(f - f_0) > 1 \text{ cm} \longrightarrow q = \text{const}$$

وتعد مقاومة الدوران ثابتة عندما تكون زاوية الدوران ε أكبر من القيمة $5 \cdot 10^{-3}$

وتحسب عادةً بالعلاقة:

- من أجل حالات التشوه A, C, D:

$$\varepsilon = 3 \frac{f - f_0}{h} \quad (15-8)$$

- من أجل حالة التشوه B:

$$\varepsilon = 5 \frac{f - f_0}{h} \quad (16-8)$$

حيث h: طول الوتر.

3-4-8- طريقة الحساب الألمانية:

لقد وضعت أسس الحساب وفق هذه الطريقة منذ أكثر من أربعة عقود. وطورت لتوافق معطيات القياسات التجريبية من قبل البروفسور أيزنمان من جامعة ميونج الألمانية.

تعطى قيمة القوة الحرجة حسب توضع الخط في الاستقامة أو في المنحني.

- في الاستقامات:

يحسب ارتفاع درجة الحرارة الذي يؤدي إلى حدوث التحنيب في الخط بالعلاقة:

$$\Delta T = \sqrt{\frac{8.7 I * q}{\alpha^2 A_2 E f}} (^{\circ} C) \quad (17-8)$$

حيث يقدر عامل المرونة للفولاذ E بـ كغ/سم².

وتقدر مقاومة الانزياح العرضي بـ كغ/سم.

أما عزم العطالة المكافئ I فهو $I = 2I_y$ ويقدر بـ سم².

- في المنحنيات:

يحسب ارتفاع درجة الحرارة الذي يؤدي إلى حدوث التحنيب:

$$\Delta T = \frac{-8I}{\alpha A R f} + \sqrt{\left(\frac{8I}{\alpha A_2 R f}\right)^2 + \frac{16Iq}{\alpha^2 A^2 E f}} (^{\circ}C) \quad (18-8)$$

وفي الحالتين تعطى القوة الحرجة بالعلاقة:

$$F_{cr} = \alpha * E * A * \Delta T \quad (19-8)$$

4-4-8- طريقة الحساب الفرنسية:

تعتمد هذه الطريقة على الافتراضات التالية:

- عزم العطالة المكافئ للخط هو مجموع عزمي العطالة للقضيبين.
- أشكال التشوه المحتملة هي نفسها في طريقة الحساب وفق نيمسدي.
- مقاومة الانزياح العرضي ثابتة.

تعطى القوة الحرجة بالعلاقة:

$$\rho = \sqrt{\frac{F_{cr}}{EI}} \quad (20-8)$$

أما العامل ρ فيعطى حسب شكل التشوه الحاصل في الخط كما يلي:

$$\rho * L_A = 2\sqrt{2} \pi \quad (A-21-8)$$

$$\rho * L_B = 3\sqrt{2} \pi \quad (B-21-8)$$

$$\rho * L_B = 4\sqrt{2} \pi \quad (C-21-8)$$

$$\rho * L_D = 5\sqrt{2} \pi \quad (D-21-8)$$

حيث L_D, L_C, L_B, L_A هي أطوال التحنيط الموافقة لأشكال التشوه A, B, C, D.

8-4-5- أمثلة على حساب القوة الحرجة:

مثال (١):

يطلب حساب القوة الحرجة في خط حديدي ملحوم له المواصفات التالية:

- خط مستقيم.

- التباعد بين العوارض 60 سم.

- شكل التشوه من النوع B.

- الطول الخاضع للتحنيب 12 متراً.

- السهم البدائي 0.4 سم.

- السهم النهائي 2.2 سم.

- القضبان نوع S49:

$$(I = 2 I_y = 638 \text{ cm}^4; A = 62.5 \text{ cm}^2)$$

- المقاومات في الخط هي مقاومات الانزياح العرضي 60 نيوتن/سم ومقاومة

الدوران 1000 نيوتن.م.

الحل:

1- طريقة عزم العطالة المكافئ (المعادلة 8-5):

$$F_{cr} = \frac{9\pi^2 * 21 * 10^6 * 638}{1200^2} + \frac{4 * 1200^2 * 60 * 0.545}{9\pi^2 * 2.2}$$

$$= 826456 + 963840 = 1790296 \text{ N} \approx 1790 \text{ kN}$$

2- طريقة الحساب بالطريقة التحليلية:

$$f - f_0 = 1.8 \text{ cm} > 1 \text{ cm} \longrightarrow q = \text{constant}$$

$$\varepsilon = 5 * \frac{1.8}{600} = 15 * 10^{-3} > 5 * 10^{-3} \longrightarrow M = \text{constant}$$

بتطبيق المعادلة (14-8) ومن أجل الثابت مأخوذة من الجدول:

$$K_1 = 94.5, K_2 = 0.0222, K_4 = 0.34$$

$$F_{cr} = \left(94.5 \frac{21 * 10^6 * 638}{1200^2} + 0.0222 * 60 * \frac{1200^2}{1.8} + 0.34 \frac{10^5 * 1200}{60 * 1.8} \right) \frac{1.8}{2.2}$$

$$= (879244 + 1065600 + 377777) \frac{1.8}{2.2} \approx 1900 \text{ kN}$$

أي أن نسبة مساهمة صلابة الخط نحو 40% بينما نسبة مساهمة مقاومة الاحتكاك العرضي نحو 45% ونسبة مساهمة مقاومة الدوران نحو 15% من القيمة الكلية للقوة الحرجة.

3- طريقة الحساب الألمانية المعدلة من قبل ايزنمان بتطبيق العلاقة (17-8) يكون:

$$\Delta T = \sqrt{\frac{8.7 * 638 * 6}{(11.5 * 10^{-6})^2 * 62.5^2 * 2.1 * 10^6 * 2.2}} = 118^\circ \text{C}$$

$$F_{cr} = 240 * 62.5 * 118 = 1770 \text{ kN}$$

4- طريقة الحساب الفرنسية بتطبيق العلاقة (21-8):

$$\rho = \frac{3\sqrt{2} \pi}{1200} = 0.0111$$

$$F_{cr} = \rho^2 * E I = 1650 \text{ kN}$$

مثال (2):

يطلب حساب القوة الحرجة في الخط الملحوم ذي المواصفات التالية:

- خط منحن، نصف قطر المنحني 800 م.
- نوع التشوه C.
- طول التحنيب 15 متراً.
- السهم البدائي 0.5 سم.
- السهم النهائي 2.4 سم.
- المقاومات في الخط هي مقاومة الانزياح العرضي 70 نيوتن/سم ومقاومة الدوران 1000 نيوتن.م.
- التباعد بين العوارض 60 سم.
- القضبان نوع S49:
($I = 2I_y = 638 \text{ cm}^4$, $A = 62.5 \text{ cm}^2$)

الحل:

1- طريقة عزم العطالة المكافئ (المعادلة 5-8):

$$F_{cr} = \frac{9\pi^2 * 21 * 10^6 * 638}{1500^2} + \frac{4 * 1500^2 * 70 * 0.545}{9\pi^2 * 2.4}$$
$$= 528932 + 1610585 = 2139517 \text{ N} \approx 2140 \text{ kN}$$

2- الطريقة التحليلية:

$$f - f_0 = 1.9 \text{ cm} > 1 \text{ cm} \longrightarrow q = \text{constant}$$

$$\varepsilon = 3 * \frac{1.9}{5.1 * 10^2} = 11 * 10^{-3} > 5 * 10^{-3} \longrightarrow M = \text{constant}$$

بتطبيق المعادلة (14-8) ومن أجل الثوابت المأخوذة من الجدول (1-8):

$$F_{cr} = \left(\frac{205.8 \frac{21 \cdot 10^6 \cdot 638}{1500^2} + 0.0158 \cdot \frac{1500^2}{1.9} + 0.358 \frac{10^5 \cdot 1500}{60 \cdot 1.9}}{1 + 0.0133 \frac{1500^2}{2.4 \cdot 80000}} \right) \frac{1.9}{2.4}$$

$$= 839379 + 897098 + 322645 = 2059122 \text{ N} \approx 2060 \text{ kN}$$

$$\Delta T = \frac{-8 \cdot 638}{11.5 \cdot 10^{-6} \cdot 62.5 \cdot 800 \cdot 10^2 \cdot 2.4}$$

$$+ \sqrt{\left(\frac{8 \cdot 638}{11.5 \cdot 10^{-6} \cdot 62.5^2 \cdot 800 \cdot 10^2 \cdot 2.4} \right)^2 + \frac{16 \cdot 638 \cdot 7}{(11.5 \cdot 10^{-6})^2 \cdot 62.5^2 \cdot 2.1 \cdot 10^6 \cdot 2.4}}$$

$$= 132^\circ \text{C}$$

$$F_{cr} = 240 \cdot 62.5 \cdot 132 = 1980 \text{ kN}$$

نتيجة: مما تقدم وبمقارنة نتائج الحل وفق عدة طرق يتضح أنها جميعاً تعطي نتائج متقاربة.

5-8- استقرار الخط الملحوم في حالة الشد:

تتشكل في المنطقة المركزية في الخط الملحوم قوة شد عند انخفاض درجة الحرارة. إن هذه القوة يجب أن تكون دوماً أصغر من قوة الشد الحرجة. وإن تجاوزها يؤدي إلى حدوث تشققات أو كسور في القضبان ولا سيما في مناطق اللحام ويؤدي ذلك إلى توقف الحركة على الخط.

تبلغ إجهادات الشد الناتجة عن انخفاض درجة الحرارة في الظروف العادية نحو 12 كيلونيوتن/سم². وهي أدنى من حد المرونة بالنسبة لفولاذ القضبان المستخدمة. كما أنها أقل من مقاومة اللحام للشد. لذلك فإن عامل الأمان على الشد موجود. ولكن إجهادات الشد قد تبلغ قيمة أعلى من مقاومة اللحام للشد نتيجة الحمولات الديناميكية على الخط.

8-6- لحام الخطوط الطولية:

انطلاقاً من طبيعة الإجهادات وطبيعة التركيب الإنشائية للقسم العلوي للخط فإنه لا يمكن استخدام أي نوع من اللحام بدون معرفة مسبقة بطبيعة اللحام. وتلعب الجودة الفنية والتقنية دوراً هاماً في تحديد نوع اللحام. كذلك فغن طبيعة العمل في ورشات الخطوط الحديدية تساهم في تحديد نوع اللحام حيث يجري تنفيذ اللحام في ظروف الطقس المختلفة وفي ظروف حركة معقدة لا تسمح بتعطيل الحركة على الخط لفترات طويلة. وقد تطورت طرق اللحام مع ازدياد أطوال الخطوط الملحومة فبينما كان اللحام سابقاً يستخدم فقط في أعمال التصليح أصبح الآن جزءاً أساسياً في أعمال الخطوط الحديدية.

ومن أنواع اللحام المستخدمة بشكل واسع اللحام الكهربائي بالشرر واللحام الألومبي الحراري واللحام بالغاز.

وإضافة إلى الميزات التي تتصف بها الخطوط الملحومة يمكن ذكر الحسنات التالية للفواصل الملحومة:

- تأمين مسار جيد للقوى الطولية كنتيجة لاستمرارية القضبان في منطقة اللحام.
- اختفاء مناطق الضعف في المقطع العرضي بسبب عدم وجود ثقب التجبير.
- توفير في المواد.

أما السيئة الأساسية فهي انخفاض صلابة الخط في منطقة اللحام حيث تبلغ في حالة استخدام اللحام الكهربائي 0.8-0.9 وفي حالة اللحام الألومبي 0.6-0.7 من صلابة الخط الأساسية.

8-6-1- اللحام الكهربائي بالشرر (الوميضي):

مميزاته:

- تنفيذ اللحام بدون الاستغاثة بمواد إضافية.
- نوعية جيدة للحام.
- إنتاجية عالية عند التنفيذ في المعمل.
- توفير في الوقت.

المبدأ:

عند مرور تيار كهربائي بناقل فإن الناقل سوف يسخن. وتعطى كمية الحرارة الناتجة عن مرور التيار بقانون جول $Q = MI^2Rt$.

حيث:

Q: كمية الحرارة.

I: شدة الحرارة.

t: الزمن.

R: المقاومة الكهربائية.

M: عامل يتعلق بنوع المعدن.

إن زيادة طفيفة في شدة التيار تعطي زيادة كبيرة في كمية الحرارة. أما المقاومة الكهربائية فتبلغ قيمتها العظمى في المنطقة الانتقالية بين طرفي القضيبين أي عند الفاصل.

طرق تنفيذه:

أ- طريقة التنفيذ الثابت (في المعمل): يتم ذلك باستخدام معدات خاصة في أبنية مجهزة لهذا الغرض. ولذلك فإن أطوال القضبان المنتجة بهذه الطريقة هي محددة نظراً لطبيعة المكان ولصعوبات النقل فيما بعد.

ب- طريقة التنفيذ المتحرك (في الورشات): تستخدم في هذه الطريقة آلية متحركة على الخط تحمل رأسي لحام ومحركاً لإنتاج الطاقة اللازمة.

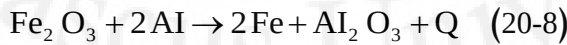
2-6-8- اللحام الألومبي الحراري (الترميت):

مميزاته:

- إمكان استخدامه في الورشة.
- استخدامه في أعمال الصيانة للخطوط الملحومة.
- استخدامه في لحام المفاتيح والتقاطعات.
- استخدامه في لحام الفاصل الانتقالي.
- عدم تأثره بالظروف الطقسية.
- كلفته قليلة.

المبدأ:

عند تنفيذ التفاعل الكيميائي بين أكسيد الحديد والألمنيوم فإن الحديد سوف يتحرر وتتطلق كمية حرارة Q تساوي 198.3 كيلو كالوري.



يتم تنفيذ هذا التفاعل في الورشة باستخدام قمع مطلي بالمنغنيز وله فتحة في أرضيته.

7-8- النتر في الخطوط الملحومة:

تتعرض المقاومات في الخطوط الملحومة عند إجراء الصيانة إلى نقصان في قيمتها بشكل مؤقت. وذلك تبعاً لنوع الأعمال المنفذة ولطريقة تنفيذ الصيانة ولطبيعة القسم العلوي للخط. وتأتي مقاومة الانزياح العرضي في المركز الأول حيث تنخفض قيمتها حتى النصف عند إجراء التحشية. ويعد رفع الخط بمقدار يكافئ متوسط أبعاد البلاست هو الأسوأ. ويتصرف الخط المتوضع على طبقة بلاست خاضعة حديثاً للتحشية ولم تستقر بعد كما لو أنه فوق متدحرجات.

إن عملية التحشية التي يرافقها عادةً رفع الخط تجعل طبقة البلاست متخلخلة نسبياً وتزيل التداخل بين الوجه السفلي للعوارض الخشبية والرؤوس المدببة للحصى (ظاهرة التسنن) مما يقلل من الاحتكاك ومن مقاومة الاحتكاك الطولي بين العوارض والبلاست.

يعند من أجل تحسن حالة الخط إلى رص البلاست بين العوارض وعلى الجانبين الرأسيين للعوارض. ويؤدي هذا إلى زيادة مقاومة الانزياح العرضي نحو 20% بعد أن كانت قد هبطت نحو 50% نتيجة التحشية. وتتوزع هذه الزيادة 15% نتيجة رص البلاست بين العوارض و5% نتيجة الرص عند رؤوس العوارض. و تعود مقاومة الانزياح العرضي إلى قيمتها الأصلية بعد مرور حمولات فوق الخط نحو نصف مليون طن من أجل العوارض البيتونية ونحو مليون ونصف مليون طن من أجل العوارض الخشبية. وبعد مرور هذه الحمولات يعمد إلى رص البلاست مجدداً. و يسهم ذلك في تحسين مقاومة الإنزياح العرضي. و نتيجة لذلك يطرأ تغيير على سماكة البلاست فتتقص عن القيمة المطلوبة لذا فمن الضروري توفر كمية من لتعويض ذلك. وتزداد أهمية الرص اللاحق بخاصة في لأشهر الحارة من السنة.

أما في مناطق المفاتيح والتقاطعات فلا يطرأ تغيير هام على قيمة مقاومة الانزياح العرضي. وبالنسبة لمقاومة الاحتكاك الطولي بين القضبان المثبتة والعوارض ومقاومة الدوران فهما يأتيان من موقع أقل أهمية من مقاومة الانزياح العرضي نظراً لنسبة مشاركتهما في قيمة القوة الحرجة.

وعند توقف أعمال الصيانة للخط فإنه يجب إنجاز المقطع العرضي للقسم العلوي وفق المقاييس والأبعاد النظامية. وتتراوح المجالات المسموحة التي يمكن فيها وجود بعض التجاوزات حسب الأنظمة لمؤسسات الخطوط الحديدية.

عند البدء بأعمال الصيانة مثل إزالة التعرجات الشاقولية أو الأفقية أو فك المثبتات وتبديلها أو تبديل بعض العوارض المنفردة فإنه يجب التحقق من قيمة الفرق في درجة الحرارة بين درجة الحرارة الحالية ودرجة حرارة التثبيت بحيث لا يزيد الفرق على 20 درجة مئوية في حال عدم وجود قيم محددة ومعطاة تبعاً لمقدار التشوه أو لنصف قطر المنحني.

عند تنفيذ اللحام يتم ذلك حصراً في المجال الحراري للتثبيت. وعند استخدام الشد الميكانيكي فيمكن إجراء اللحام حتى في درجات حرارة تحت المجال الحراري للتثبيت بشرط عدم حصول تغيير في أطوال القضبان. وقبل بدء الشتاء يجب تفقد الجببرات والمثبتات في مناطق التنفس.

8-7-1- أسباب حدوث النتر:

النتر هو التحنيط الفجائي للخط الملحوم ويحدث عندما تزيد قوة الضغط في الخط على القوة الحرجة. ويمكن أن يكون في المستوى الأفقي أو الشاقولي.

يتشكل التشوه الأفقي من موجة أو عدد من الموجات المتوضعة معاً على طول يصل حتى 15 متراً. ويحدث هذا غالباً تحت المحور الأخير لأحد القطارات.

من أسباب حدوث النتر:

- وجود قوة ضغط أكبر من القوة الحرجة نتيجة عدم التقيد بدرجة حرارة التثبيت.
- وجود مقاومة إنزياح عرضي صغيرة نتيجة الرص غير النظامي أو بسبب نقصان كمية البلاست.
- صلابة منخفضة للخط الحديدي بسبب عدم شد المثبتات بشكل كاف.

- وجود تشوه بدائي كبير في الخط.

- وجود قوى جانبية مؤثرة في جزء كبير من الخط أو بسبب الفرملة أو الاهتزازات بين القضبان والعوارض.

غالباً ما يحدث النتر بسبب تراكم أكثر من سبب من الأسباب المذكورة سابقاً. ولا سيما إذا ترافق ذلك مع تنفيذ سيئ للأعمال. ومن الأمور المناسبة لحدوث النتر ارتفاع سريع لدرجة الحرارة في يوم حار بعد ليلة باردة ومع وجود الخط في منطقة حفر.

ولمنع حدوث النتر أو التقليل منه يجب الالتزام الكامل بطريقة تنفيذ الأعمال وبالتعليمات الصادرة ولاسيما ما يتعلق بالحدود المسموح بها لدرجة الحرارة. كما يجب اتخاذ إجراءات تخص حركة القطارات مثل تخفيض السرعة بعد وضع الخط في الاستثمار بعد الانتهاء من تنفيذ أعمال الصيانة في درجات الحرارة المرتفعة.

8-7-2- الإجراءات بعد حدوث النتر:

تعد حادثة النتر مصدر خطر للحركة على الخط. لذلك يجب وقف الحركة على الخط المعرض للنتر. ويجب أن يجري تقويم فوري لكل من مقاومة الانزياح العرضي ومقاومة الاحتكاك بين القضبان المثبتة والعوارض ومقاومة الدوران.

ولإزالة النتر يجب في البداية معرفة نوع التشوه وقياس عناصره (طول التحنيب، ارتفاع الموجة كل متر) وذلك لتقويمها لاحقاً لما لذلك من فائدة كبيرة في التعرف على الأسباب.

بعد ذلك يتم فك المثبتات على كامل الخط المعرض للتحنيب ويلجأ إلى تبريده بالماء. إن عملية التبريد بالماء هي عملية صعبة كذلك فإن الماء غير متوفر دائماً قريباً من المكان ويمكن الاستعانة بشحنات الصهريج المتحركة على الخط. ويزيد من فعالية استعمال الماء تغطية القضبان بمواد نسيجية (خيش مثلاً). فإذا أعطت هذه

الطريقة نتائج جيدة واستعاد الخط وضعه السابق فإنه يجب إجراء التصحيح لانسحاب الخط بالإضافة إلى تنفيذ التحشية والرص.

وفي حال عدم نجاح التبريد في إزالة النتر فإنه لابد من قص القضبان وتقصيرها ثم إعادة لحمها. وللقص يمكن استخدام الغاز حيث يبدأ من القاعدة فالجسد ثم الهامة.

يقاس مقدار الطول المتوجب اقتطاعه ويعطى بالعلاقة:

$$F_t = \sqrt{E A r L_t} \quad (21-8)$$

حيث تمثل F_t القوة الطولية في الخط والناجمة عن ارتفاع درجة الحرارة أما القوة الطولية في الخط والناجمة بسبب وجود التشوه التماضي للخط فيرمز لها بالرمز F_f وهكذا فإن القوة الحرجة في الخط قبل حدوث النتر هي مجموع القوتين السابقتين أي:

$$F_{cr} = F_t + F_f \quad (22-8)$$

وبعد ذلك يجب تصحيح التشوه ورص البلاست وإعادة الخط إلى وضعه السابق. أما الفاصل الجديد الذي ينشأ فيمكن جعله قابلاً للحركة عليه حسب الإمكانيات المتاحة بشكل مؤقت إلى أن تتم إزالته نهائياً.

8-8- الكسور في الخطوط الملحومة:

- أسبابها:

يمكن إرجاع الكسور في الخطوط الملحومة إلى أحد الأسباب التالية:

- خطأ في الصنع.
- توضع جيومتري سيئ.
- مرونة غير مناسبة للخط.
- حمولات إضافية كبيرة.
- تنفيذ سيئ للحام

- إجهادات شد عالية.

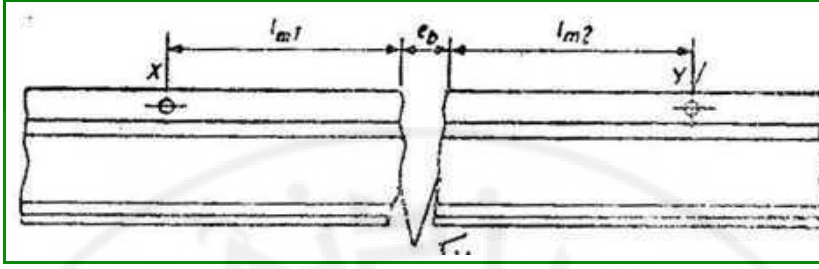
ويعد السببان الأخيران هما الأكثر حدوثاً في الخطوط الملحومة. يمكن تفادي السبب الأول من خلال أخذ عينات أثناء الصنع في المعمل وبعده وإجراء الاختبارات اللازمة عليها. ويؤدي التوضع الجيومتري السيئ للخط إلى زيادة الاجهادات الديناميكية. كما أن تجمد جسم البلاست يؤدي إلى مرونة منخفضة للقسم العلوي وبالتالي إلى زيادة الاجهادات أيضاً. وتنشأ الحملات الكبيرة من مرور العربات ذات التأثير الطرقي عند وجود تسطح في عجالاتها لذلك يجب وضع هذه العربات خارج الاستعمال حتى يتم إصلاحها.

إن وجود الفواصل الملحومة باللحام الألوميني الحراري يعد ذا تأثير سلبي حيث أن عمر الفاصل الملحوم يكون أقل نحو 40% من المناطق الأصلية في القضبان وذلك نظراً لتركيب المواد فيه. وإذا أضيف إلى ذلك التنفيذ السيئ فإن حدوث الكسر يصبح شبه مؤكد. لذلك يجب العناية الفائقة أثناء اللحام ويجب فك المثبتات على طرفي الفاصل ومن ثم تبريده. ويفيد التقيد في درجة الحرارة في تفادي اجهادات الشد العالية الناتجة عن انخفاض درجة الحرارة المحتمل.

8-9. إزالة الكسور:

عند إزالة الكسور في الخطوط الملحومة يجب المحافظة على أطوال القضبان وذلك من خلال وضع علامتين على طرفي الكسر.

إن المسافة بين العلامتين يجب أن تبقى ثابتة بعد إزالة الكسر. تزال الكسور في ثلاث مراحل رئيسية.

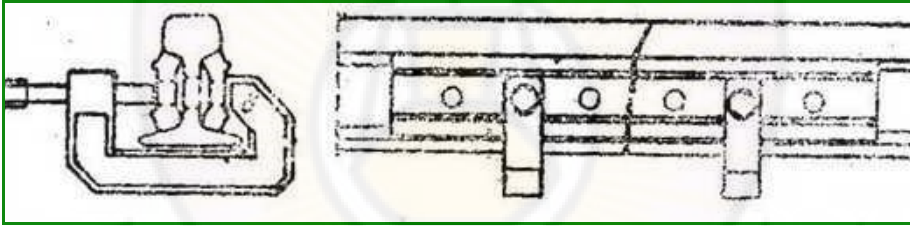


الشكل 8-12: وضع علامتين على طرفي الكسر

أ- المرحلة الأولى:

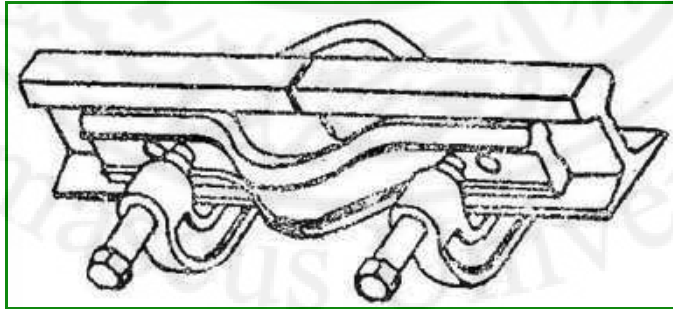
وتتضمن إصلاح الخط بشكل مؤقت وجعله قابلاً للحركة. ويتم ذلك من خلال أحد الأعمال التالية:

(1) استخدام جبيرة مع رباط.



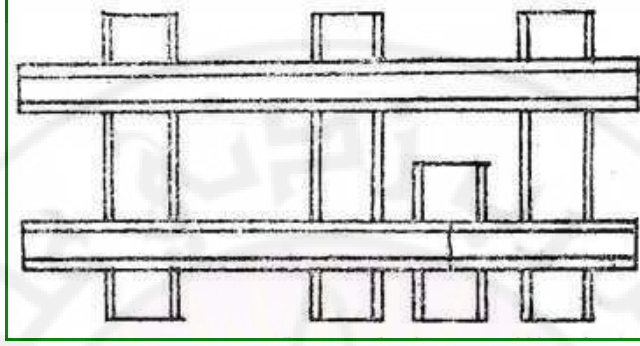
الشكل 8-13: استخدام جبيرة مع رباط

(2) استخدام جبيرة من نوع خاص.



الشكل 8-14: استخدام جبيرة من نوع خاص (ذات بطن)

(3) وضع عارضة أو نصف عارضة تحت الكسر مباشرة.



الشكل 8-15: وضع نصف عارضة تحت الكسر

(4) استخدام مغلف رأسي.



الشكل 8-16: استخدام مغلف رأسي

بالإضافة إلى ذلك يوجد أيضاً عدد أكبر من الإجراءات التي يمكن اللجوء إليها. وفي جميع الأحوال فإن سرعة القطارات يجب تخفيضها حتى نحو 30 كم/سا وفي مناطق الكسر مباشرة إلى 10 كم/سا ويجب اتخاذ الإجراءات التي تمنع وقوف القطارات فوق الكسر.

ب- المرحلة الثانية:

وتتضمن التخلص من التقييدات في الحركة والسماح للقطارات بالسير بالسرعة نفسها قبل حدوث الكسر. ويتعلق ذلك بنوع الكسر وبدرجة الحرارة بالإضافة إلى الإمكانيات الفنية المتوفرة. وبصورة عامة يمكن استخدام أحد الإجراءات التالية:

1- تحويل الكسر إلى فاصل عائم: ويتم ذلك عندما تكون درجة الحرارة أقل من -8°C حيث لا يسمح بتنفيذ اللحام. وتستخدم عادة جبيرة طويلة مع أربعة براغي تثبيت.

2- استخدام قطعة قضيب مع اللحام من الجانبين: يتم اقتطاع جزء من القضيب على طرفي الكسر واستخدام نقطة من نوع القضيب نفسه لا يقل طولها عن ثلاثة أمتار. بعدها تلحم هذه القطعة مع القضيب من الجانبين.

يلجأ إلى هذا الحل عند توفر المعدات اللازمة لتنفيذه مثل تجهيزات التسخين الاصطناعي أو الشد الميكانيكي وغيرها من التجهيزات اللازمة لتنفيذ اللحام الألومبي الحراري. ويكون تسلسل العمل كما يلي:

- وضع علامتين على طرفي الكسر (y, x) .

- اقتطاع جزء من القضيب بطول L يعطى بالعلاقة:

$$L = L_p + 2e_v + e_b \quad (23-8)$$

حيث:

e_b : مقدار الفاصل عند الكسر.

e_v : مقدار الفاصل عند التمديد.

L_p : طول القطعة الإضافية.

- تنفيذ لحام القطعة الإضافية مع الخط من أحد الطرفين.

- تنفيذ اللحام في الطرف الآخر مع الأخذ بعين الاعتبار درجة الحرارة الحالية ونقدار الفاصل. يكون مقدار الفاصل المتشكل هو $(e_v + e_b)$.

3- استخدام قطعة قضيب مع اللحام من طرف واحد: ينفذ هذا الحل عندما لا تتوفر تجهيزات مساعدة لتنفيذ اللحام من الطرفين، عندما يكتفى بالخطوات الثلاث الأولى في الحالة السابقة ويعتمد إلى وضع الجبيرات عند الفاصل غير الملحوم.

4- استخدام القطعة مع تشكيل فاصلين على طرفها: تستخدم هذه الحالة في درجات الحرارة الأقل من 8°م حيث لا يسمح بتنفيذ اللحام عندها أو عند عدم توافر تجهيزات اللحام.

ج- المرحلة الثالثة:

ويتم فيها إزالة الأضرار بشكل نهائي. حيث تتم إزالة الفواصل التي أنشئت في المرحلة السابقة وتنفيذ اللحام. ويجب الإسراع في ذلك. فمن أجل الكسور التي تحدث في أحد الفصول (فصل الشتاء مثلاً) يجب إزالتها قبل نهاية هذا الفصل. ويجب التقيد بدرجة الحرارة أثناء اللحام حيث يجب أن تقع ضمن المجال الحراري للتثبيت. أما عندما تكون تحت هذا المجال فيمكن استخدام التسخين الاصطناعي أو الشد الميكانيكي وفي هذه الحالة يجب فك المثبتات على يمين الفاصل ويساره بمسافة تساوي طول منطقة التنفس.

8-10- الانتقال من خط ملحوم إلى خط عادي:

تم في الفقرات السابقة التعرف على سلوك الخط الملحوم وعلى القوى المؤثرة فيه. ولكن ما هي التدابير الممكن إجراؤها عند الانتقال من خط ملحوم إلى خط عادي أو من خط ملحوم إلى خط ملحوم آخر.

يمكن حساب طول منطقة التنفس بالعلاقة التالية:

$$L_a = \frac{240 * \Delta T * A}{r} \quad (24-8)$$

أما مقدار التمدد الطولي الموافق لمنطقة التنفس فيحسب كما هو وارد في الفصل السابع.

ومن أجل تجنب وجود فواصل كبيرة في نهاية الخط الملحوم فإنه تستخدم تجهيزات التمدد الطولي.

تلبّي تجهيزات التمدد الطولي الهدف المرجو منها من الناحية الفنية ولكنها مكلفة اقتصادياً. ويمكن الاستغناء عن هذه التجهيزات باستعمال فواصل مع جبيرات عادية. ينطلق في حساب هذه الفواصل ليس من طول منطقة التنفس بل من الطول المكافئ للفواصل المعطى بالعلاقة التالية:

$$L = \sqrt{\frac{eEA}{r}} \quad (25-8)$$



الفصل التاسع

مقاومات سير القطار والحسابات الجرية

Train Resistances and Traction Calculation

9-1- مقدمة:

تؤثر في القطار أثناء سيره قوى تختلف باختلاف قيمتها واتجاهها ومدة تأثيرها ويمكن تصنيف هذه القوى إلى:

- قوى الجر.
- القوى المقاومة لحركة القطارات.
- قوى الإلجام والكبح.

ويعبر عن هذه القوى إما بقيمتها الكلية بالنيوتن أو بالكيلوغرامات، أو بقيمتها النسبية أي بالكغ لكل طن من وزن القطار (Kg/ton) أو بالنيوتن لكل كيلو نيوتن (N/kN).

9-2- أنواع الجر:

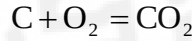
يتحرك القطار عندما تكون قيمة قوة الجر أكبر من قيمة قوى المقاومات التي يواجهها أثناء سيره، وتتعلق قوة الجر بخصائص القاطرة ومهارة السائق ونوع الجر.

9-2-1- الجر البخاري:

أصبح استخدام القاطرة البخارية قليلاً جداً، ويقتصر استخدامها في الوقت الحالي لأغراض سياحية، ولابد من استعراض خصائص هذه القاطرة ومعرفة سبب زوال الجر البخاري.

تتكون القاطرة البخارية من مرجل لحرق الوقود (فحم حجري) فينتج كمية من البخار يصل ضغطها حتى $18-20 \text{ Kg/cm}^2$ ، يدفع هذا البخار الناتج محركات القاطرة

وهي عبارة عن اسطوانات تتحرك داخلها مكابس تنتقل حركتها المتناوبة إلى أذرع تنقلها بدورها إلى الدواليب الرئيسية التي تجر القاطرة، إن مبدأ الاحتراق الكامل للفحم بوجود الأوكسجين ينتج عنه ثان أوكسيد الكربون حسب العلاقة:



وبحسب الأوزان الذرية يكون لدينا:



أي:



فالاحتراق الكامل لواحد كغ من C يتطلب Kg 2.666 من O وبما أن الهواء الجوي مشكل من خليط من الغازات، فهو يحتوي على نسبة 23.5% من O فقط، لذا فنحتاج إلى كمية من الهواء لحرق 1 Kg من C مساوية:

$$\frac{2.666 \text{ Kg}}{0.235} = 11.3 \text{ Kg}$$

وهذا يعادل حجم من الهواء 9 m^3 وقد تصل هذه الكمية إلى أكبر من ذلك عملياً. إن كمية الفحم المستهلكة تتناسب مع مساحة شبك الحراق وتستهلك القاطرات الاعتيادية 220-300 Kg من الفحم في الساعة في المتر المربع من شبك الحراق الذي يصل إلى 5 m^2 وقد يصل الاستهلاك إلى $450-650 \text{ Kg C/h/m}^2$ من شبك الحراق. وتبلغ درجة حرارة الاحتراق $1200-1600^\circ$ درجة مئوية، تدخل إلى الأنابيب بدرجة $1000-1300^\circ$ درجة وتنخفض بعد قيام البخار بعمله وتمدده إلى $200-250^\circ$ درجة مئوية. ويمكن تلخيص خصائص القاطرة البخارية بما يلي:

- وجود مشكلة التمويل بالمياه والوقود أثناء السير لمسافات بعيدة.

- مردود القاطرة البخارية قليل ولا يزيد عن (10%) وهذا سيئ جداً.

- سرعة المحركات البخارية محدودة.

- القاطرة البخارية غير نظيفة بسبب طبيعة وقودها والغازات الناتجة عنها.

9-2-2- الجر بالديزل:

إن أول مشروع لصنع قاطرة ديزل وضع من قبل ديزل نفسه عام 1908 لكن مشروعه هذا لم يظهر إلى حيز الوجود إلا في عام 1914 حيث جربت على الخطوط الحديدية في بروسيا أول قاطرة ديزل في العالم وقد لقيت فشلاً ذريعاً يعود إلى جهاز نقل الحركة بصورة مباشرة.

وكانت المحاولات التي تلت تستهدف إيجاد طريقة لنقل استطاعة المحرك إلى العجلات بشكل صحيح. ودامت هذه المحاولات حتى اخترع المحرك الكهربائي وعندها بدأت القاطرة الديزل بالتطور بشكل صحيح، إذ أمكن استخدام استطاعة الديزل لتوليد تيار كهربائي يغذي محركات مثبتة على المحاور.

كانت العقبة الكبرى في أوروبا أمام انتشار الديزل هي عدم توفر الوقود السائل من جهة وضيق السعة من جهة أخرى بالإضافة إلى عدم قدرة الخطوط على تحمل أوزان كبيرة في المحور الواحد. إلا أنه بالرغم من ذلك فقد وضعت فرنسا عام 1937 على خط باريس، ليون، مرسيليا قاطرتي ديزل كانتا أقوى قاطرتين في العالم، حيث بلغت استطاعة الواحدة /4000/ حصان بخاري، وفي الوقت الذي كانت الولايات المتحدة الأميركية تحاول تطوير جر الديزل اتجهت أوروبا نحو الجر الكهربائي في النقل الثقيل وحصر الديزل بالنقل الخفيف (الأوتوموتريس أو العربات المتحركة).

وأخيراً بعد التطورات الصناعية الكبيرة التي تمت في العالم أصبح الديزل سهل المتناول لكافة أنواع الحمولات والسرعات وانتشر استعماله في جميع البلدان لسهولة توزيع المحروقات السائلة على مختلف أرجاء العالم.

إن نقل القدرة في القاطرة البخارية يتم مباشرة لأن البخار الناتج من المرجل يضغط على المكابس بصورة مباشرة.

أما في قاطرات الديزل فإن النقل لا يمكن أن يتم بصورة مباشرة وهذا يعني أننا لا نتمكن من ربط المحرك بالعجلات إلا عن طريق جهاز وسيط يسمى جهاز نقل الحركة، لأن إطلاق محرك الديزل يتم قبل إقلاع القاطرة.

هناك ثلاثة أنواع لنقل الحركة:

A- النقل الميكانيكي (توربيني):

يمثل طريقة نقل الحركة في السيارة ويحتوي على جهاز الوصل وجهاز العكس وعلبة السرعة. والفرق بين القاطرة والسيارة هو أن جهاز العكس في السيارة لا يستخدم إلا لمدة قصيرة جداً وبسرعات مهمة بينما يستخدم الجهاز المماثل في القاطرة لمدة طويلة وسرعات طبيعية، أما علبة السرعة فهي تحتوي على مجموعة من المسننات على طوابق تنقل مزدوجة العزم المطبقة بواسطة المحرك إلى العجلات، وهذا النوع من نقل القدرة لم يلق نجاحاً في مجال الجر على الخطوط الحديدية.

B- النقل الهيدروليكي:

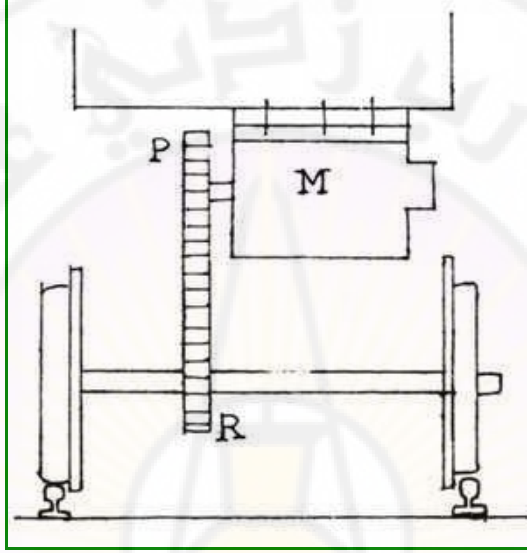
يستند مبدأ النقل الهيدروليكي إلى الأبحاث التي قام بها فوتنر وتتلخص في تحويل استطاعة محرك الديزل إلى قدرة حركية تعطى لسائل معين (زيوت خاصة) يملأ جهاز نقل الحركة ويقوم هذا السائل بعد اكتسابه هذه القدرة بنقلها إلى عجلات القطار.

يتم إعطاء القدرة المحركة إلى السائل بواسطة مضخات خاصة مرتبطة بمحرك الديزل، أما تحويل هذه القدرة إلى العجلات فيتم بواسطة عنفة تدور بضغط السائل وتعطي حركة الدوران هذه إلى العجلات.

C- النقل الكهربائي:

إن المبدأ العام للجر بالديزل الكهربائي هو استخدام استطاعة المحرك الديزل المحمول على ظهر القاطرة لإدارة مولد كهربائي يعطي التيار اللازم لتشغيل القاطرة.

وتوضع على محاور القاطرة محركات كهربائية تعمل بواسطة التيار الكهربائي المولد وتدور المحاور مباشرة بواسطة مسنن R يدور بدوره بواسطة مسنن مرتبط بالمحرك الكهربائي P الشكل (1-9).



الشكل (1-9)

ويمكن تلخيص مزايا قاطرات الديزل بما يلي:

- إن هذا النوع من القاطرات لا يحتاج إلى نفقات كبيرة لإنشاء شبكة خطوط كهربائية موازية للخط الحديدي (كالقاطرة الكهربائية).
- ليس هناك حاجة لتأمين القاطرة بالماء من المحطات (كالقاطرة البخارية).
- سهولة قيادة قاطرة الديزل، واستجابتها لمتطلبات الحركة.
- يصل المردود في محركات الديزل حتى (35%) والبنزين حتى (25%).
- نظيفة وليس لها دخان كثيف.
- لا حاجة لإيقافها يومياً لتنظيف الحراق، وتستطيع أن تسير مسافات أكبر دون راحة.

- تقادي الحرائق التي كانت كثيرة الحدوث نتيجة تطاير الشرر من مداخن القاطرات البخارية الذي يؤدي إلى اشتعال العوارض.

- إمكانية تجنب سائقي ووقادي القاطرات التعرض لدرجة الحرارة العالية التي تتبعث من مراحل القاطرات البخارية، كما أمكن تجنب استنشاق الغازات المضرة المتصاعدة من أفران المراحل.

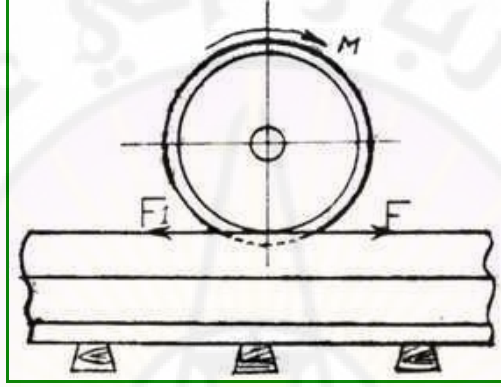
9-2-3- الجر الكهربائي:

بدأ باستعمال الكهرباء في السكك الحديدية منذ عام 1881، وسارت أول حافلة ترمواي كهر بائية على خط حديدي لمسافة 5000m بمناسبة انعقاد معرض الكهرباء العالمي في باريس. وأنشأت خطوط حديدية كهربائية في أمريكا بولاية بالتيمور وأوهايو عام 1895، بينما أدخلت فرنسا الجر الكهربائي على خطوطها في عام 1900 فعلاً، ومن ثم تطورت صناعة القاطرات الكهربائية وتم استخدامها في البلاد الغنية بالمصادر المائية والفقيرة بالفحم الحجري والبترو. وتوجد أكبر شبكة خطوط حديدية كهر بائية في أوربا. حيث تتميز القاطرة الكهربائية بما يلي:

- سهولة التعامل مع القاطرة الكهربائية.
- القاطرة الكهربائية نظيفة ويمكن استخدامها في كل الأوقات.
- يبلغ مردودها حوالي 12-24%.
- لا تستهلك قدرة عند الوقوف.
- وزنها خفيف.
- زيادة عامل الاستعمال يقلل من عدد القاطرات اللازمة.
- توفير الوقت بسبب السرعة الكبيرة لإقلاع القاطرة (سهولة الإقلاع والتباطؤ).
- ولكن الجر الكهربائي يحتاج لرأس مال ضخم بسبب التجهيزات الخاصة التي يجب تأمينها من خطوط هوائية ومحطات تغذية.

4-2-9- قوة الجر:

يدور دولاب القاطرة من تأثير عزم الدوران M للقطب المحرك لها ويؤثر هذا الدولاب بدوره في القضيب الحديدي بالقوة F_1 إلا أنه ينشأ في القضيب الحديدي قوة رد الفعل F تساوي F_1 وتعاكسها بالاتجاه الشكل (2-9).



الشكل (2-9)

تعد القوة F قوة خارجية بالنسبة للقاطرة تؤثر فيها وتسيرها، تدعى هذه القوة بقوة الجر المماسية لأنها مماسة لدولاب القاطرة ويعبر عن مجموع قوى الجر المماسية المؤثرة على سائر دواليب القاطرة:

$$\sum F = F_k$$

تزداد قوة الجر بازدياد العزم M المؤثر في دواليب القاطرة حتى تتساوى هذه القوة مع قوة تماسك (أو التصاق) الدولاب مع القضيب الحديدي. وعند زيادة قوة الجر على هذا الحد تبدأ الدواليب بالترحل على القضيب الحديدي ويحدث عندها ما يسمى الترحلق، تختلف قيمة قوة التماسك باختلاف قيمة معامل التماسك Ψ_k والوزن المحرك للقاطرة P_c (أي مجموع أوزان الأقطاب المحركة للقاطرة). ولهذا فإن القيمة العظمى لقوة الجر التي يمكن الاستفادة منها دون أن يجري ترحلق دواليب القاطرة تساوي:

$$F_{k_k} \leq 1000 \Psi_k P_c \text{ (Kg)}$$

تتراوح قيمة معامل التماسك Ψ_k بين 0.01-0.3 وتتعلق قيمته بعوامل كثيرة منها: طراز محرك القاطرة وسرعة سيرها وحالة سطح الدواليب والقضبان الحديدية وحالة الطقس (مطرًا أم جافًا).

إن استعمال الرمل يزيد بشكل محسوس من قيمة معامل التماسك وبالتالي يزيد من قيمة القوة المفيدة لجر القاطرة، ولذلك يقوم سائق القاطرة برش قليل من الرمل على الخط عند الإقلاع وفي المرتقيات الشديدة. يجري وضع جداول خاصة لتحديد قيمة معامل التماسك حسب نوع طراز القاطرة وسرعة سيرها وذلك من قبل معامل صنع هذه القاطرات. ويمكن استخدام العلاقة التجريبية لتحديد قيمة معامل التماسك Ψ_k حسب سرعة سير القاطرة V Km/h في الأيام الجافة:

$$\Psi_k = \frac{1}{1000} \left(\frac{9000}{42 + V} + 116 \right)$$

تتناسب قوة جر القاطرة عادة عكسياً مع سرعة سيرها ولتحديد قوة جر القاطرات بالنسبة لسرعاتها المختلفة توضع مخططات خاصة بكل قاطرة وتستخلص معطيات هذه المخططات من اختبارات عملية تجرى للقاطرة حال الانتهاء من صنعها، وبعد كل إصلاح كبير يجري عليها.

3-9- المقاومات التي تعيق تقدم القطار:

إن نقل حمولة معينة بين نقطتين محددين تم في الماضي بواسطة الإنسان بحمله على ظهره أو على ظهر الحيوان ومن ثم بنقله على عربة تجرها الخيول، وما تزال هذه الحالة موجودة في الوقت الحالي رغم التطور الكبير الذي حصل بعد اختراع الآلة وتطورها بأشكالها المختلفة، وكل ذلك يتطلب جهداً معيناً. والسؤال الذي يطرح هو أنه كيف يمكن نقل حمولة معينة بين نقطتين محددين خلال زمن معين بأحسن السبل من الوجهة الاقتصادية؟ ماهي كمية العمل التي يحتاجها هذا النقل من جهة والاستطاعة الواجب استخدامها لإنتاج هذا العمل خلال زمن محدد من جهة أخرى.

ليكن لدينا ثقل (P) يجب نقله بين نقطتين A, B.

يحتاج جهداً مقداره $P/4$ لنقل الثقل بين النقطتين عن طريق سحبه على الأرض مباشرةً.

إذا نقل الثقل على عربة ذات عجلات فإن المقاومة تتعلق بدوران عجلات العربة وتتعلق بنوع العجلات، فالعجلات العادية تبدي مقاومة تصل حتى $P/40$ ، أما العجلات المطاطية فتبدي مقاومة $P/100$ وبذلك نكون قد خفضنا القوة اللازمة لتحريك الثقل بمقدار 96% عن الحالة الأولى. وعجلات الخطوط الحديدية تبدي مقاومة $P/400$ أو 2.5 Kg/Ton أي بتخفيض قدره 99% عن الحالة الأولى، ونستنتج من ذلك أنه إذا تساوت الوسائل فإن الخط الحديدي هو أكثر وسائل النقل اقتصاداً من حيث استهلاك القدرة.

إن قوى المقاومة هي القوى التي تظهر أثناء سير القطار ويكون اتجاهها بعكس اتجاه السير.

يؤثر بعضها في القطار بشكل دائم وتدعى هذه القوى بقوى المقاومة الأساسية مثل:

- احتكاك الدواليب مع القضبان.
 - احتكاك محور القطب مع الوسائد أو المدحرجات.
 - الصدمات عند الفواصل ومقاومة الهواء.
- هناك قوى أخرى تظهر في ظروف معينة أثناء سير القطار وتدعى بقوى المقاومة الإضافية مثل:

القوى في المرتقيات أو في المنحنيات وعند إقلاع القطار وتسارعه ومقاومة الرياح.

9-3-1- قوى المقاومة الأساسية:

هي القوى التي تظهر أثناء سير القطار على خط مستقيم وأفقي، وتختلف قيمتها باختلاف سرعة سير القطار وبنوع تركيباته (عربات، شاحنات ذات قطبين أو أربعة، ذات مدحرجات أو وسائل معدنية، وزن الشاحنة وحمولتها وحالتها الفنية الخ...) وتعطى بمعادلات رياضية تم الحصول عليها في ضوء نتائج التجارب العملية. من هذه المعادلات التجريبية معادلة ديفيز:

$$W_0 = 0.6 + \frac{13}{q} + a * v + \frac{b * f}{q * n} v^2 \text{ (kg/t)}$$

حيث:

a- معامل تجريبي يتعلق بطراز المركبة وتتراوح قيمته من 0.013 للشاحنات و 0.0085 للقاطرات وعربات الركاب.

b- معامل تتراوح قيمته بين 0.001 للشاحنات و 0.0045 للقاطرات و 0.0007 للعربات.

f- مساحة مقطع المركبة المعرضة للهواء m^2 (وتتراوح المساحة بين 8 و 11).

q- الوزن المحوري للمركبة (تقريباً 5 أطنان للمركبة الفارغة و 20 طناً للمحملة.

n- عدد محاور المركبة.

v- السرعة km/h.

تعطي معادلة ديفيز قيمة معقولة لسرعات حتى 80km/h، أما بالنسبة للسرع العالية فيفضل استخدام معادلات تنهيل Tut-hill في الولايات المتحدة.

يعطى الشكل العام للمعادلة:

$$W_0 = a_1 + b_1 * v + c_1 * v^2 \text{ (kg/t)}$$

حيث:

a_1, b_1, c_1 معاملات تجريبية مثل a, b السابقة وتتراوح قيم هذه المعادلات على النحو التالي:

a_1 (0,9 للشاحنات الفارغة و 0.24 للمحملة بحمولتها القصوى).

b_1 (0.011 وحتى 0.0006 وللحالتين نفسها).

c_1 (0.00088 وحتى 0.0005 وللحالتين نفسها).

نلاحظ أن قيم المقاومات الأساسية النوعية سواء في معادلات ديفيز أو تنهيل تقل كلما زاد تحميل المركبة للسرعة نفسها، وهذا يؤكد مرة أخرى على ضرورة تحميل الشاحنات بحددها الأقصى كلما أمكن ذلك.

تستخدم الكثير من الخطوط الحديدية الأوروبية معادلات المهندس شترال Strahl التي تأخذ الشكل العام:

$$W_0 = 2.5 + \frac{(v + \Delta v)^2}{k} \text{ (kg / t)}$$

حيث:

v : السرعة km/h.

Δv : معامل إضافي يأخذ بعين الاعتبار تأثير الهواء وهو يتراوح بين الصفر للطقس الهادئ و 20 للرياح الشديدة جداً.

k : معامل ثابت يتعلق بنوع تركيبات القطار وتتراوح قيمته بين 4000 للقطارات السريعة و قطارات الشحن الثقيلة متجانسة التركيب و 1000 في حالة القطارات التي تتألف من شاحنات فارغة.

تعتمد الخطوط الحديدية السورية العلاقات المستخدمة في روسيا وتختلف باختلاف المركبات (شاحنات، عربات ركاب أو قاطرات) وعدد الأقطاب فيها ونوع الاحتكاك بين محاور المركبة ومسارها.

نمبر عن قوى المقاومة النوعية للقاطرات بـ W'_0 وللشاحنات والعربات بـ W''_0 .

- للقاطرات:

$$W'_0 = 1.9 + 0.01 * v + 0.0003 * v^2 \text{ (kg / t)}$$

- للشاحنات ذات القطبتين والوسائد (كوسينيتات):

$$W'_0 = 1.4 + \left(0.2 + \frac{0.25}{q} \right) * v$$

- للشاحنات بأربعة أقطاب غير محملة ($q \leq 6T$) وذات الوسائد:

$$W''_0 = 1.5 + 0.045 * v + 0.00027 * v^2$$

- للشاحنات بأربعة أقطاب محملة ($q \geq 6T$) وذات مدرجات (رولمانات):

$$W''_0 = 0.7 + \frac{3 + 0.1 * v + 0.0025 * v^2}{q} \text{ (kg / t)}$$

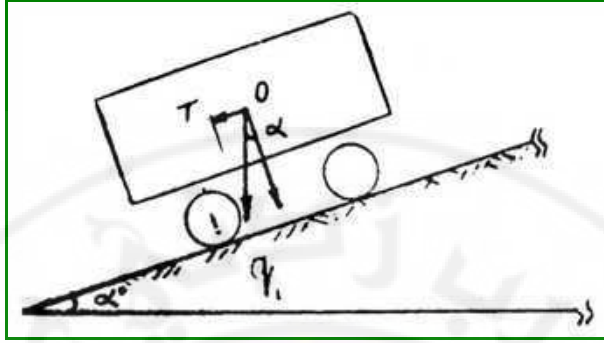
- عربات ركاب ذات أربعة أقطاب وذات مدرجات:

$$W''_0 = 0.7 + 0.012 * v + 0.0002 * v^2$$

2-3-9- قوى المقاومة الإضافية:

1-2-3-9- مقاومة الميل:

تتناسب قوى المقاومة الناتجة عن سير القطار على قسم مائل من الخط طردياً مع وزن القطار وتكون معاكسة لجهة السير، إذا سار القطار صاعداً على مرتقى (تكون إشارة قوى المقاومة في هذه الحالة موجبة)، وفي حالة سيره نازلاً على منحدر (تكون إشارة قوى المقاومة سالبة) انظر الشكل (3-9).



الشكل (3-9)

يعبر عن قوى المقاومة الإضافية النسبية الناشئة عن ميل الخط الحديدي بـ W_i وتساوي:

$$W_i = \pm \frac{T}{q_1} \quad (+ \text{ للمرتقيات و } - \text{ للمنحدرات) ولكن:}$$

$$T = q_1 * \sin \alpha \cong q_1 * \tan \alpha = q_1 * i$$

$$W_i = \frac{T}{q_1} = i \rightarrow W_i = \pm i \text{ (kg / t)}$$

حيث:

q_i : وزن الشاحنة.

i : الميل بالآلف.

أي أن قيمة المقاومة الإضافية الناشئة عن ميل الخط الحديدي تساوي قيمة هذا الميل بوحدة (kg/t).

2-2-3-9- مقاومة المنحنيات:

تسبب الشاحنات والعربات ذات الأبعاد المحورية الطويلة مقاومة إضافية أثناء السير في المنحنيات وخاصة ذات أنصاف الأقطار الصغيرة وتعطى هذه المقاومة بعلاقات رياضية تجريبية منها:

$$W_r = \frac{650}{R - 55} \text{ (kg / t) } \text{ علاقة روكل}$$

$$W_r = \frac{800 - 0.4 * R}{R - 40} \text{ (kg / t) } \text{ علاقة موتسنير}$$

$$W_r = \frac{233.2 + 103.4 * b}{R} \text{ (kg / t) } \text{ علاقة شائعة الاستخدام في أوروبا}$$

حيث:

b- طول قاعدة المركبة (المسافة بين المحاور الثابتة للشاحنة) بالأمتار .

أما في الولايات المتحدة الأمريكية فتحسب مقاومة المنحنيات على أساس الزاوية المركزية التي تحصر بين ضلعيها قوساً طولها 100 قدم (30.5 m) على أساس 0.36 kg/t لكل درجة مركزية واحدة أي:

$$W_r = 0.36 * \alpha^\circ \text{ (kg / t)}$$

وبتبديل بسيط بالعلاقة النسبية نجد:

$$\frac{\alpha}{360^\circ} = \frac{30.5}{2 \pi R} \rightarrow \alpha = \frac{1746}{R}$$

$$W_r = \frac{630}{R} \text{ (kg / t)}$$

وتعتمد الخطوط الحديدية السورية العلاقة التالية (علاقة أساسية):

$$W_r = \frac{700}{R} \text{ (kg / t)}$$

ويجري عادة دمج قيمتي W_r و W_i في الحسابات الجبرية والتعبير عنها بمقاومة ميل وهمي مكافئ i_k يساوي:

$$i_k = W_r \pm i \text{ (kg / t)}$$

تحدد المقاومة الكلية W_k للقطار أثناء سيره بالمعادلة التالية:

$$W_k = P(W'_0 + i_k) + Q(W''_0 + i_k) \text{ (Kg)}$$

حيث:

P: وزن القاطرة بالأطنان.

Q: وزن تركيبات القطار بالطن.

3-2-3-9- مقاومة الحركة عند الإقلاع:

تظهر عند إقلاع القطار مقاومة إضافية سببها قلة سماكة طبقة الشحم أو الزيت على المدرجات وعلى الوسائد ناشئة من وقوف الشاحنة وعن زيادة لزوجة الزيت والشحم أثناء هذا الوقوف. إن استخدام المدرجات في الشاحنات بدلاً من الوسائد يخفف من قيمة هذه المقاومة والتي تصل أحياناً إلى 5-7 كغ/ طن بخاصة أيام الصقيع وتؤخذ وسطياً 6 كغ/ طن.

تحسب أوزان القطارات التي تستطيع القاطرة جرها على أساس إمكانية القاطرة التغلب على مجموع مقاومات القطار أثناء سيره. فلا تضاف مقاومة الإقلاع هذه عند حساب وزن القطار لأن القاطرة عندما تبدأ بالحركة فإنها لاتجر جميع الشاحنات دفعة واحدة نظراً لوجود خلوص بين شاحنة وأخرى يقدر بنحو 5-10 سم فتبدأ القاطرة بجر الشاحنة الأولى وبعد إقلاعها تسحب الشاحنة الثانية ثم الثالثة... وهكذا.

4-2-3-9- المقاومة الناتجة عن التسارع:

إن انتقال القطار من سرعة v_1 إلى سرعة v_2 أعلى منها، يوجد مقاومة إضافية تتطلب بذل جهد إضافي للتغلب عليها، ويتعلق هذا الجهد بكتلة القطار وبقية التسارع المرغوب إعطاؤها للقطار.

لنفرض أننا نرغب في الانتقال من سرعة v_1 إلى سرعة v_2 كم/سا خلال زمن قدره t ثا فتكون القوة اللازمة لتسارع طن واحد من وزن القطار بعد الأخذ بعين الاعتبار تجانس الواحدات:

$$W_{acc} = 28.3 \frac{v_2 - v_1}{t} \text{ Kg/ton}$$

4-9- قوى الإلجام والكبح:

يجري إلجام القطار بوساطة قوى مصطنعة متجهة دوماً بعكس اتجاه السير والناجمة عن ضغط قباقيب الإلجام بشدة على دواليب (عجلات) القطار.

تتعلق قيمة قوى الإلجام بقيمة عامل احتكاك القباقيب مع الدواليب (f_k) وبمقدار قوة ضغط القباقيب على الدواليب (K) وبعدد الأقطاب الملجمة في تركيبات القطار. عند ضغط القباقيب على الدواليب بقوة (K) طناً تظهر بين القباقيب والدولاب قوة احتكاك قيمتها ($f_k * K$) متجهة بعكس جهة دوران الدولاب وينشأ عن هذه القوة عزم يعاكس دوران الدولاب قيمته:

$$M_i = f_k * K * r$$

حيث r : نصف قطر الدولاب، وينشأ عن هذا العزم رد فعل للقضيب الحديدي بقوة (B) عزمها ($B * r$) يساوي $f_k * K * r$.

$$B = f_k * K \text{ أي:}$$

هذه القوة الخارجية ($B = f_k * K$) هي قوة الإلجام، يشكل مجموع قوى الإلجام المؤثرة في دواليب القطار (B_t) كافة القوة الملجمة للقطار وتساوي:

$$f B_t = 1000 \sum f_k * K$$

تحدد قيمة عامل الاحتكاك f_k للقباقيب المصنوعة من حديد الصب المحسن بالعلاقة التالية:

$$f_k = 0.30 \frac{V + 100}{5V + 100}$$

حيث v : سرعة القطار بالكم / ساعة.

تختلف قيمة قوة ضغط القباقيب على الدولاب (K) حسب نوع العربات أو الشاحنات كما يجب تعديل قيمتها بوساطة الذراع المحصنة لذلك (ذراع لوحة

الإلجام) حسب تحميل الشاحنة (محملة أو فارغة أونصف محملة) وتوجد في الشاحنات والعربات ذراع أخرى تعدل قيمة هذه القوة حسب سير القطار في مناطق سهلية أو مناطق جبلية.

تتراوح قيمة قوة ضغط القباقيب على القطبة الواحدة بين (9-10) أطنان لعربات الركاب (15 طناً في حالة الإلجام الاستثنائي) و(3.5) طناً للشاحنات الفارغة و(5) أطنان لنصف المحملة و(7) أطنان للمحملة.

(تؤخذ القيمة الحسابية $K = 2.7 * T$ كقيمة وسطية للشاحنات المحملة والفارغة مع عامل أمان جيد عند حساب إجراء الحسابات الفعلية لقوى الإلجام).

معامل الإلجام w_p : ونحصل عليه بتقسيم الوزن الملجم من القطار بالأطنان على وزن كامل القطار والقاطرة:

$$w_p = \frac{\sum K}{P + Q}$$

نحصل على $\sum K$ من مجموع الأوزان الملجمة من الشاحنات والتي تدل عليها وضعية ذراع لوحة الإلجام لكل شاحنة حسبما تكون الشاحنة فارغة أو محملة أو نصف محملة.

9-5- مسافة الإلجام:

تدعى المسافة المقطوعة من قبل القطار من لحظة بداية الإلجام وحتى توقف القطار توقفاً كاملاً طول خط الإلجام أو مسافة الإلجام S_B ، تتألف هذه المسافة من طولين:

$$S_B = S_n + S_f$$

الأول: s_n وهو المسافة التي يقطعها القطار منذ لحظة تدوير ذراع الإلجام من قبل السائق وحتى الحصول على القوة الحسابية لضغط القباقيب على الدواليب ويحسب هذا الطول على أساس (السرعة * الزمن) وذلك على النحو التالي:

$$S_n = \frac{1000 v_0}{60 * 60} t_n = \frac{v_0 * t_n}{3.6} (m) = 0.278 v_0 * t_n (m)$$

حيث:

v_0 : سرعة القطار في لحظة بدء الإلجام (كم/سا).

t_n : الوقت اللازم لتحضير عمل الإلجام (ثا).

يمكن حساب t_n :

- لقطارات الشحن:

$$t_n = 7 - \frac{10 i_{eq}}{1000 v_p * f_k}$$

- لقطارات الركاب:

$$t_n = 2 - \frac{3 i_q}{1000 v_p * f_k}$$

حيث:

I_{eq} : الميل المكافئ للقسم الذي تجري عليه عملية الإلجام (0%) وتكون إشارته سالبة عند الانحدار.

V_p : معامل الإلجام.

أما الطول الثاني: الفعلي S_f يمكن حسابه بالعلاقة:

$$S_f = \sum_1^n \frac{500(V_n^2 - V_b^2)}{\phi(1000V_p\phi_K + W_o + i_{eq})} (m)$$

حيث:

n : عدد الأجزاء التي يقسم إليها هذا الطول (عادة من 1 إلى 5).

v_n, v_b : السرعة الأولية والسرعة النهائية في بداية كل جزء ونهايته (كم/سا).

f: تباطؤ القطار (كم²/سا) تحت تأثير قوة تباطؤ نوعية قيمتها (1 كغ/طن)،
تؤخذ قيمة التباطؤ f لقطارات الشحن والركاب مساوية (120 كم²/سا) ولقطارات
الديزل (114 كم²/سا).

W_0 : متوسط قوى المقاومة النوعية الأساسية على كل جزء وفق v_n, v_p لتسهيل
عمليات الحساب تنظم مخططات بيانية تبين القيمة SB حسب معامل اللجم $1000 v_p$
والميل المكافئ I_{eq} وسرعة بدء اللجم. يجب أن يكون معامل اللجم في القطار
مناسباً بحيث لا تزيد مسافة اللجم لقطارات الركاب على 400 متر ولقطارات الشحن
عن 800-1000 متر.

9-6- حساب وزن القطار وسرعة سيره:

تسير القطارات تحت تأثير القوى الثلاثة التي جرى بحثها آنفاً أي تحت تأثير قوة
الجر (F_k) وقوى المقاومة (W_k) وقوة الإلجام (B_t). يستطيع السائق أن يتحكم بإثنين
منها وهي قوة الجر وقوة الإلجام، وبذلك يتمكن من ضبط حركة القطار بالسرعة
المناسبة له.

إن محصلة القوى الثلاثة (الممثلة بقيمتها واتجاهها) المؤثرة في القطار هي التي
تحدد نمط حركة القطار، وهناك ثلاثة أنماط لسير القطار:

- النمط الأول: نمط الجر ويحدث عندما يسير القطار تحت تأثير قوة الجر أي عندما
تعمل محركاته الجرية وتؤثر فيه قوى المقاومة وتكون محصلة القوى في هذه
الحالة:

$$F_k \pm W_k$$

ولا يوجد هنا تأثير لقوى الإلجام.

- النمط الثاني: نمط الطاقة الحركية الكامنة ويسير القطار أثناءه تحت تأثير قدرته
الحركية الكامنة أو بقوة الجاذبية الأرضية، عندما يسير القطار على منحدر

ولا تغذى محركات الجر أثناء ذلك بالكهرباء. تؤثر في القطار في هذه الحالة قوى المقاومة فقط $(\pm W_k)$.

- النمط الثالث: نمط الإلجام ويحدث عندما يستخدم السائق ألجمة القطار ويفصل محركات الجر، يسير القطار في هذه الحالة تحت تأثير مركبة قوتين هما قوة الإلجام وقوى المقاومة أي: $(B_t \pm W_k)$.

إذا كانت إشارة محصلة القوى موجبة تكون حركة القطار متسارعة وإذا كانت سالبة تكون حركة القطار متباطئة، وإذا كانت تساوي الصفر كانت حركة القطار منتظمة.

عند حساب وزن القطار تؤخذ حالة إمكان سيره بحركة منتظمة على أصعب ارتفاع على قسم الخط ذي الميل الحسابي بحيث لا تهبط سرعة القطار في نهاية هذا الارتفاع عن حد معين محدد لكل طراز قاطرات وهو تقريباً: (9 كم/سا لقاطرات المناورة و 22 كم/سا لقاطرات البضائع و 27 كم/سا لقاطرات الركاب).

تتطلب الحركة المنتظمة لسير القطار على أصعب ارتفاع ميله i_p (الميل الحاكم) وجوب كون محصلة قوتي الجر والمقاومة تساوي الصفر (لا يستعمل السائق الألجمة في هذه الحالة) أي يجب أن يتحقق:

$$F_k - W_k = 0$$

$$F_k = W_k$$

ولكن:

$$F_k = W_k = P(W'_O + i_p) + Q(W''_O + i_p)$$

ومنه:

$$Q = \frac{F_k - p(W'_O - i_p)}{W''_O + i_p} (\text{ton})$$

حيث:

I_p : ميل أصعب ارتقاء على القسم $\%$ (الميل الحسابي أو الميل الحاكم) في حال عدم وجود منحني فيه.

W'_0, W''_0 : المقاومة النسبية الأساسية للقاطرة والشاحنات عند السرعة الحسابية.

F_k : قوة الجر التي تعطيها القاطرة عند هذه السرعة.

مثال:

احسب الوزن الأعظمي للقطار الذي تستطيع جره قاطرة ديزل قوتها الجرية الأعظمية $F_{max} = 32000 \text{ Kg}$ ووزنها المحرك P_c يساوي وزنها الكلي 120 T معامل التماسك $\varphi = 0.22$ ، الميل الأعظمي لأصعب ارتقاء على هذا القسم من الخط $i_p = 14\%$ ، ويوجد على هذا الارتقاء أيضاً منحني نصف قطره $R = 600 \text{ m}$ ، المقاومة النوعية الأساسية للقاطرة $W'_0 = 2.2 \text{ Kg/t}$ وللشاحنات $W''_0 = 3.5 \text{ Kg/t}$ ، تحقق من إمكان إقلاع القطار على خط ميله I إقلاع $= 12\%$ إذا كانت F_k إقلاع 31000 Kg و $q_0 = 17 \text{ ton}$.

الحل:

1- إن القوى الجرية التي يمكن الاستفادة منها لهذه القاطرة F_k تتعلق بالوزن المحرك لها وبمعامل التماسك φ_k أي:

$$F_k = 1000 \varphi_k * P_c = 1000 * 0.22 * 120 = 26400 \text{ Kg}$$

ونلاحظ أن: $F_k < F_{max}$

2- نحدد قيمة الميل المكافئ i_k لمقاومة الارتقاء W_i وللمنحني W_r :

$$I_k = w_r + i_p = \frac{700}{R} + i_p = \frac{700}{600} + 14 = 15.167\% \\ = 15.167\% = 15.167 \text{ Kg/t}$$

3- نحسب الوزن الأعظمي للقطار Q:

$$Q = \frac{F_k - P(W'_0 + i_k)}{W''_0 + i_k} = \frac{26400 - 120(2.2 + 15.167)}{3.5 + 15.167}$$
$$= \frac{24580}{18.667} = 1316.76 \approx 1300 \text{ ton}$$

- التحقق من إقلاع القطار:

$$Q = \frac{F_k}{11.3 - 0.3 \cdot 17 + 12} - P = \frac{31000}{18.2} - 120 = 1583 \text{ t} > 1300 \text{ t}$$

وهو محقق.

الفصل العاشر

المفاتيح

Switches

1-10- تعريف المفتاح:

أحد عناصر القسم العلوي، وهو العنصر الإنشائي الذي يمكن القطارات من الانتقال من خط إلى خط دون انقطاع في المسير. كما نستخدم هذا المصطلح للدلالة على المفتاح البسيط والتصالب والمفتاح المتصالب. يعد المفتاح من أهم وأخطر عناصر الخط الحديدي.

توضع المفاتيح في أماكن مختلفة ضمن شبكة الخطوط الحديدية لتحقيق أهداف مختلفة. على سبيل المثال:

في المحطات:

- لتكوين وتفكيك قطارات البضائع.
- للاستخدام المتبادل للخطوط ضمن المحطات في قطارات الركاب.
- لتجاوز وتقاطع القطارات.
- على الخطوط الجرية للتفرع والوصل.
- أو لأهداف خاصة مثل الخطوط ثنائية الوسعة.

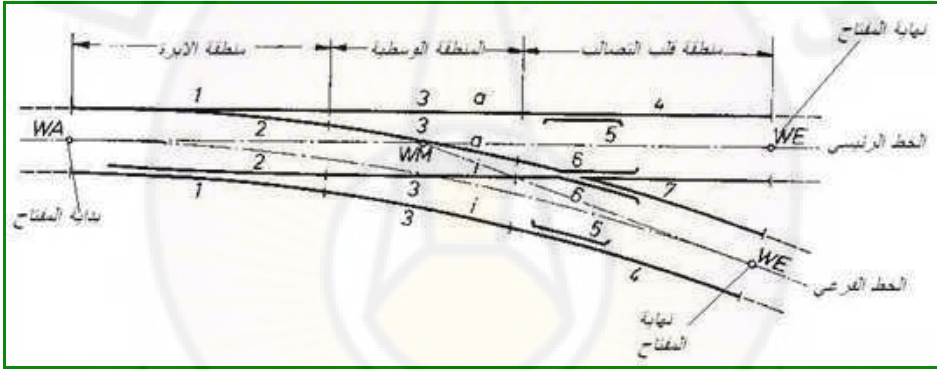


الشكل 1-10: مفتاح بسيط

2-10- عناصر المفتاح:

يتكون المفتاح البسيط من ثلاث عناصر رئيسية هي (الشكل 2-10).

- منطقة الإبرة: تتألف من قضبيي الظهر والابرتين وهي التي تؤمن استمرارية السير عند بداية التفرع.
- المنطقة الوسطية: وتتألف من أربع قضبان وسطية مع العوارض وأدوات التثبيت.
- منطقة قلب التصالب: وتتألف من قلب التصالب وقضبان السير وقضبان التوجيه مع العوارض وأدوات التثبيت.



الشكل 2-10: عناصر المفتاح

- 1- قضبي الرام، 2- الإبرة، 3- القضبان الوسطية، 4- قضبان السير، 5- قضبان التوجيه (الكونتراري)، 6- الشاربين، 7- قلب التصالب (الحدود).
- قضيب الرام: وهو القضيب الثابت في منطقة الإبرة ويشكل قضيب السير الثاني مع الإبرة لتحديد اتجاه الحركة اما الى الاتجاه الرئيسي أو الفرعي.
- الإبرتان: وهما قضبان معدلة وقابلة للحركة بحيث تحدد اتجاه الحركة على الاتجاه الرئيسي أو الفرعي.
- القضبان الوسطية: وتربط بين منطقتي الإبرة وقلب التصالب.
- قضبان السير: وتتوضع جانب قضبان التوجيه (الكونتراري).

- قضبان التوجيه (الكونترالي): وهي قضبان تعمل على توجيه دواليب القطار عند عبوره منطقة التصالب.

- الشاربين: قضبان ذات انكسارات عند قلب التصالب.

- قلب التصالب: وهي الجزء الإنشائي في المفتاح الذي يضمن استمرارية السير في منطقة التصالب للقضيبين المتقاطعين.

- الخط الأساسي: وهو الخط المستقيم في المفتاح البسيط.

- الخط الفرعي: وهو الخط المتفرع عن الخط الأساسي في المفتاح. ويكون التفرع باتجاه اليمين أو باتجاه اليسار.

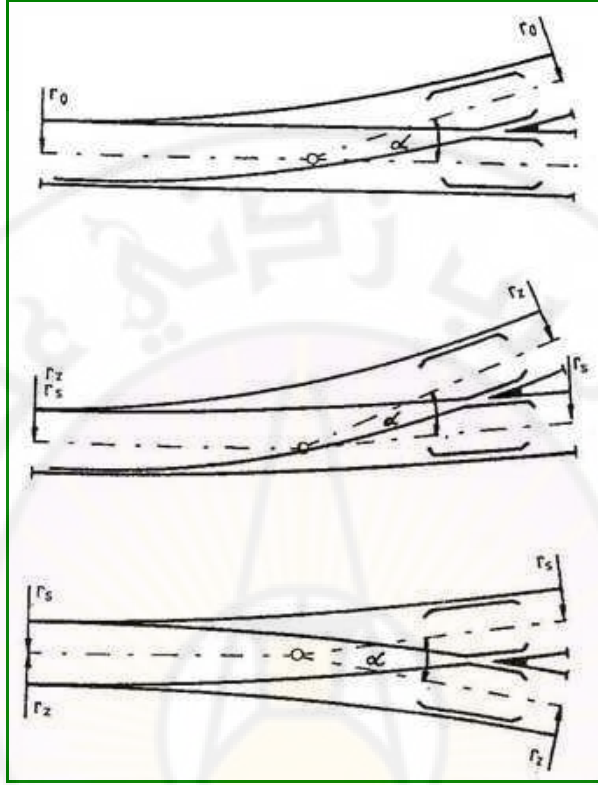
10-3- أنواع المفاتيح:

- المفتاح البسيط: يتكون من خط أساسي وخط فرعي. ويكون مفتاحاً مستقيماً إذا كان الخط الأساسي مستقيماً. ويكون مفتاحاً منحنيماً إذا كان الخط الأساسي منحنيماً. (الشكل 10-3).

- المفتاح المزدوج (المضاعف): ويتكون من خط أساسي وخطيين فرعيين ونميز بين مفتاح مضاعف باتجاهين أو مفتاح مضاعف باتجاه واحد ويحوي أربع ابر وثلاثة قلوب (الشكل 10-4).

- التصالب: عنصر إنشائي يسمح للقطارات المتحركة على الخط بمتابعة السير عند تقاطع خطين في مستو واحد دون الانتقال من خط إلى خط (الشكل 10-5).

- المفتاح المتصالب: عنصر إنشائي يسمح للقطارات المتحركة على الخط بالسير عند تقاطع خطين في مستو واحد سواء في نفس الاتجاه أو بالانتقال من خط إلى خط. (الشكل 10-6) ويكون إما مفتاح متصالب بسيط أو مفتاح متصالب مضاعف. يحوي المفتاح المتصالب المضاعف ثمانى ابر وأربعة قلوب تصالب.



الشكل 3-10: المفتاح البسيط

أ- مفتاح بسيط مستقيم.

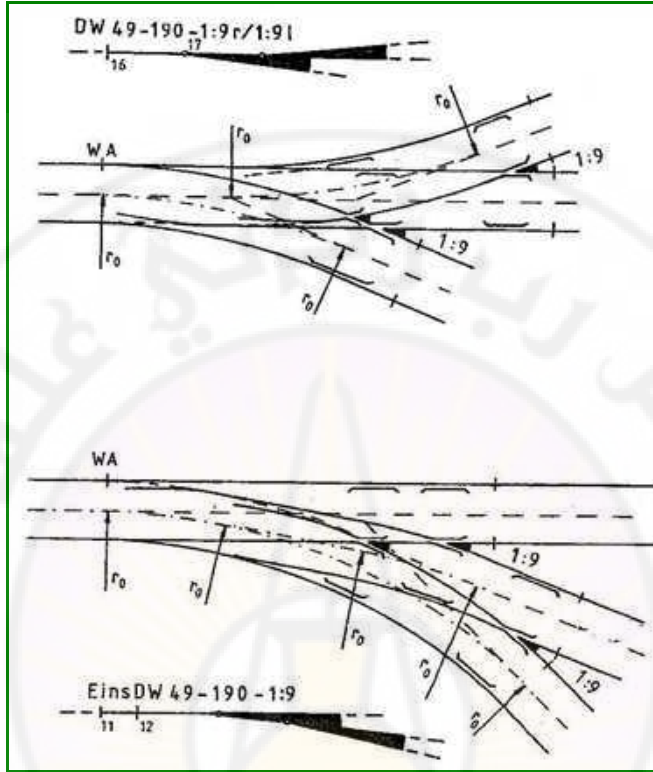
ب- مفتاح بسيط منحنى داخلياً.

ج- مفتاح بسيط منحنى خارجياً.

r_0 : نصف قطر المفتاح الأساسي.

r_s : نصف قطر الاتجاه الرئيسي.

r_z : نصف قطر الاتجاه الفرعي.



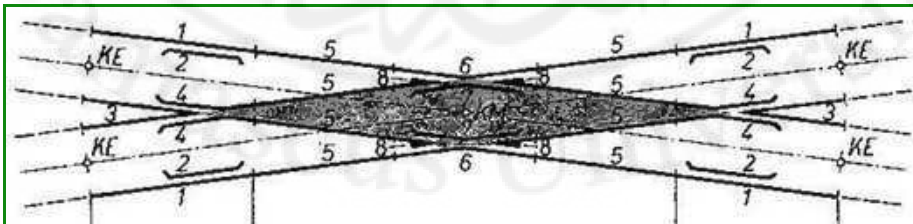
الشكل 4-10: المفتاح المزدوج

أ- مفتاح مزدوج باتجاهين

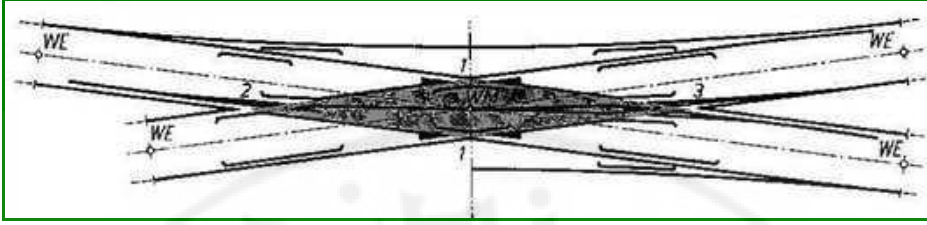
ب- مفتاح مزدوج باتجاه واحد

r_0 : نصف قطر المفتاح الأساسي.

W_A : بداية المفتاح



الشكل 5-10: تصالب



الشكل 10-6: مفّاح متصالب

(النصف الأيمن لمفّاح متصالب مضاعف، والنصف الأيسر مفّاح متصالب بسيط)

4-10- تحديد العناصر الأساسية للمفّاح:

عند التصميم الهندسي للمفّاح تؤخذ عناصر إضافية بعين الاعتبار مقارنة مع تصميم الخطوط لتوضيح التأثير المتبادل بين العربة والخط. وهي:

- عرض الخط.

- نصف قطر الانحناء للخط الفرعي.

- ميل المفّاح.

1- عرض الخط:

من أجل معرفة العلاقات بين القطارات والخط في منطقة المفّاح نتعرف بدايةً على بعض من الأبعاد الأساسية اللازمة (الشكل 10-7).

S: عرض الخط وهو أصغر قياس بين رؤوس القضبان في المقطع العرضي ويسلوي للخط القياسي 1435 مم.

W: المسافة بين حافة السير لقضيب التوجيه (الكونتراري) وحافة السير للقضيب المقابل له من الخط. ونميز بين W_r عند القضبان الوسطية، W_H عند قلب المتصالب.

S_m : المسافة بين الدواليبين لأحد لمحور القطار وتقاس على مسافة 10 مم عن دائرة منتصف الدولا.

D: سماكة ذقن الدولا وتقاس على مسافة 10 مم من دائرة منتصف الدولا.

A_R : المسافة بين الوجهين الداخليين لدولابي المحور الواحد للقطار.

A_F : المسافة بين قضيب الحماية وحافة السير.

L : عرض التوجيه وهو المسافة بين حافة السير لقضيب التوجيه وحافة السير لقلب التصالب.

L_m : مقياس التوجيه ويساوي $A_R + D$.

Z_d : وهو مقدار الفراغ بين الابرّة والقضيب المقابل لها.

تؤخذ جميع الأبعاد السابقة بالاتجاه العرضي للخط.

إن العلاقات بين الخط والقطار هي:

$$\sigma \approx S - S_m$$

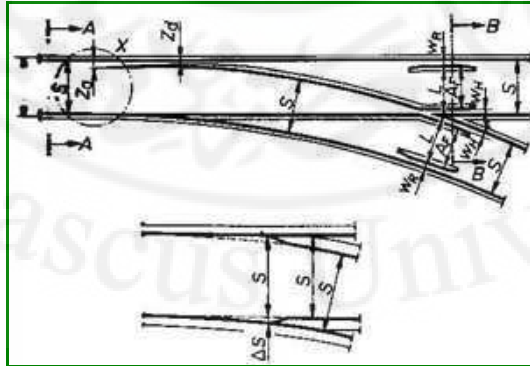
$$\sigma_{\max} \approx S_{\max} - S_{m_{\min}}$$

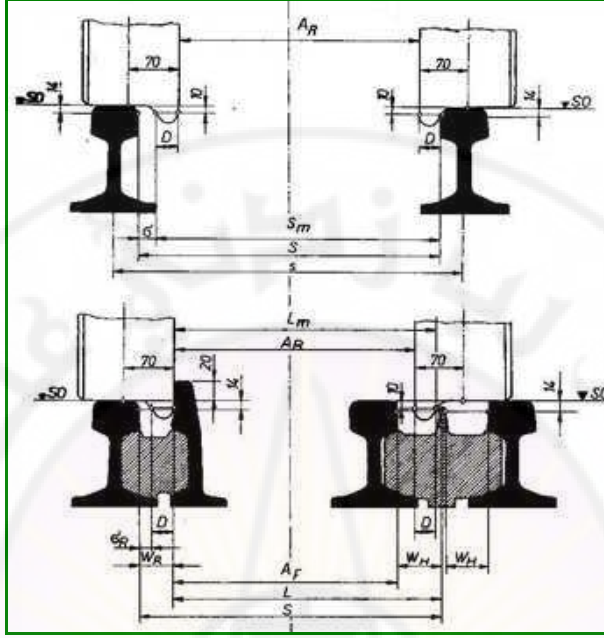
$$\sigma_{\min} \approx S_{\min} - S_{m_{\min}}$$

$$\sigma_R \approx W - D$$

$$\sigma_{R \max} \approx W_{\max} - D_{\min}$$

$$\sigma_{R \min} \approx W_{\min} - D_{\max}$$





الشكل 10-7: العلاقة بين دولابي محور في قطار والخط الحديدي عند المفتاح

أ- في بداية المفتاح.

ب- في منطقة قلب التصالب.

من أجل عبور آمن للقطار فوق المفتاح يجب تحقيق الشروط التالية:

- الشرط اللازم لسير القطار بالاتجاه المحدد في منطقة الابرّة (الاتجاه الرئيسي أو الفرعي):

$$S - Z_d < S_m - D$$

or

$$S - Z_d < A_R + D$$

- الشرط اللازم لتجنب تسلق الدولاب في منطقة القلب:

$$A_F < A_R$$

- الشرط اللازم لمنع سير الدولاب فوق الذروة في منطقة القلب:

$$L > L_m$$

وفيما يلي قيم العناصر السابقة من مفتاح بسيط 1:9-190-49 مع دولاب قطار
مقدرة بالمليمتتر:

$$\begin{array}{llll} S_m = 1426 & W_H = 44 & W_R = 41 & S = 1435 \\ L = 1394 & A_F = 1350 & A_R = 1360 & D = 32.5 \\ Z_d = 52 & L_m = 1392.5 & & \end{array}$$

مثال: يطلب بيان العلاقات بين الخط والقطار والتحقق من عبور آمن للقطار من
أجل المعطيات التالية:

$$D = 30 \quad S_m = 1420 \quad W_H = 42 \quad W_R = 40 \quad S = 1437$$

الحل:

$$\sigma \approx S - S_m$$

$$\sigma = 1437 - 1420 = 17 \text{ mm}$$

$$\sigma_R \approx W - D$$

$$\sigma_{RR} = W_R - D$$

$$\sigma_{RR} = 40 - 30 = 10 \text{ mm}$$

$$\sigma_R \approx W - D$$

$$\sigma_{RH} = W_H - D$$

$$\sigma_{RH} = 42 - 30 = 12 \text{ mm}$$

$$L = S - S_m$$

$$L = 1437 - 40 = 1397 \text{ mm}$$

$$L_m = S_m - D$$

$$L_m = 1420 - 30 = 1390 \text{ mm}$$

$L > L_m$ إذا الشروط محققة.

2- نصف قطر المفتاح (نصف قطر الانحناء للخط الفرعي):

يحدد نصف قطر الانحناء نموذج المفتاح. حيث تسمح أنصاف الأقطار الكبيرة بسرعات عالية بينما تتناسب أنصاف الأقطار الصغيرة تصميم المحطات في مناطق المناورة (مثل خطوط الرأب والفرز والتستيف).

يقاس نصف القطر عند محور الخط، وتعتبر السرعة المسموح بها هي العنصر الحاسم في تحديد قيمة نصف القطر للمفتاح. حيث تمثل السرعة من خلال المقدارين التاليين:

- التسارع الجانبي المسموح به b_z .

- الارتداد الجانبي المسموح به Ψ .

تحدد قيمة التسارع الجانبي بالفرق بين التسارع النابذ b_f والتسارع الناتج عن الرفع الإضافي b_h .

$$b_z = b_f - b_h$$

$$b_f = \frac{v^2}{3.6^2 R}$$

$$b_h = \frac{h}{s} g$$

b : التسارع (m/s^2)، v : السرعة (Km/h)، R : نصف القطر (m)، h : العلو الإضافي (mm).

S : عرض الخط (mm) ويساوي للعرض النظامي 1500 ملم، g : تسارع الجاذبية (m/s^2).

ومن أجل $g = 9.81, s = 1500, b_z = 0.65 m/s^2$ تكون السرعة الأعظمية:

$$v_{\max} = \sqrt{\frac{R}{11.8}}(h + 100)$$

$$h = 1500 \text{ mm} \rightarrow v_{\max} = 4.60 \sqrt{R}$$

$$h = 0 \rightarrow v_{\max} = 2.91 \sqrt{R}$$

أما الارتداد فهو تفاضل التسارع أي معدل تغير التسارع في وحدة الزمن، ويحدث عند الانتقال من الاستقامة إلى المنحني للخط المتفرع في المفتاح دون منحن انتقاله ويعطى بالعلاقة:

$$\psi = \frac{db}{dt}$$

عملياً يحدد الارتداد بالفرق بين تسارعين جانبيين متتاليين أي:

$$\Delta b = b_2 - b_1$$

ومن أجل شبه $\Delta b = 0.62 \text{ m/s}^2$ تعطى السرعة بالعلاقات:

$$V_{\Delta b \max} = 2.91 \sqrt{\frac{R_1 R_2}{R_1 \pm R_2}}$$

تؤخذ إشارة (+) لمنحنيين المتعاكسين في الاتجاه، وإشارة (-) للمنحنيين المتوافقين في الاتجاه.

ومن أجل الانتقال من الاستقامة حيث R_1 لا نهائي إلى الخط المتفرع حيث نصف القطر الأساسي هو R_0 :

$$V_{\Delta b \max} = 2.91 \sqrt{R_0}$$

ويعبر عنها أيضاً باستخدام مفهوم التقوس (الانحناء) K وهو مقلوب نصف القطر أي:

$$K = \frac{1000}{R}$$

$$\Delta K = K_2 - K_1$$

$$V_{\Delta b \max} = 2.91 \sqrt{\frac{10}{\Delta K}}$$

تعتمد عادة قيم أساسية لأنصاف أقطار المفاتيح في مؤسسات السكك الحديدية. وأكثر هذه القيم شيوعاً هي 1200, 760, 500, 300, 190.

3- ميل المفتاح:

وهو ظل الزاوية التي يصنعها المماس للمنحني في الخط الفرعي مع الخط الأساسي. ويعبر عن ميل المفتاح رقمياً بالنسبة $l:n$ حيث: $\tan \alpha = 1:n$. يعتمد ميل المفتاح 1:9 ميلاً قياسيً وتعتبر المفاتيح ذات الميول الأكبر (1:4.8, 1:6.6, 1:7.5) هي شديدة الميل والمفاتيح ذات الميول الأصغر (1:8.5, 1:14, 1:12) هي مفاتيح منبسطة. تتناسب السرعة المسموح بها عند عبور المفتاح مع قيمة الميل ونصف قطر المفتاح كما يبين الجدول التالي.

الجدول 1-10 السرعة المسموحة عند عبور المفاتيح

ميل المفتاح	نصف القطر (م)	رمز المفتاح	السرعة المسموحة (كم/سا)
1:9	190	U60-190-1:9	40
1:14	760	U60-760-1:14	80

10-5- ترميز المفاتيح:

يعطى لكل مفتاح رمزاً خاصاً مختصراً يعبر عن نوع المفتاح (بسيط، متصالب...) والخصائص الهندسية له (نصف القطر، الميل، جهة التقعر) والخصائص الانشائية مثل نوع القضبان والعوارض.

نعطي نموذجاً للترميز يستخدم في الخطوط الحديدية الألمانية:

$$EW 49 - 500 - 1:12 - r - (H)$$

EW: مفتاح بسيط.

49: قضبان نوع 49

500: نصف قطر الخط الفرعي

1:12 ميل المفتاح.

r: مفتاح يميني.

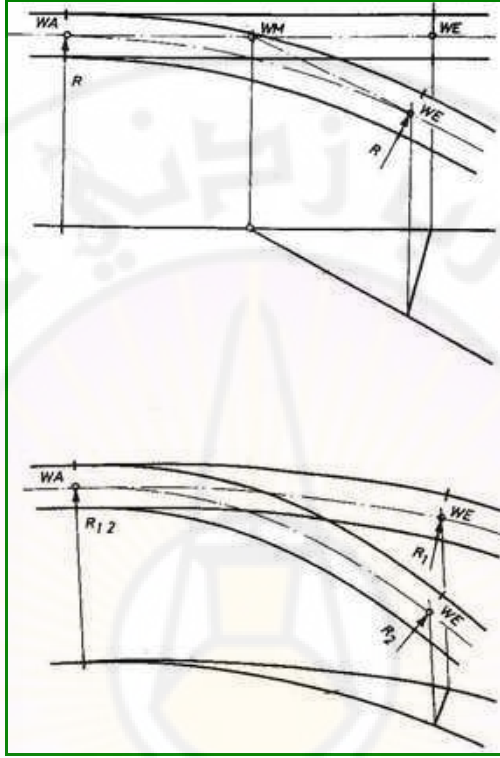
H: نوع العوارض (خشبية).

وفي المخططات الهندسية تمثل المفاتيح كما موضح في الشكل (7-10) مع كتابة الترميز المذكور أعلاه.

الرمز	الشرح
	مفتاح بسيط , تحكم موضعي
	مفتاح بسيط , تحكم مركزي
	مفتاح منحنى
	تصالب
	مفتاح متصالب مضاعف

الشكل 7-10: الرموز المستخدمة للمفاتيح

ويبين الشكل (8-10) طريقة انشاء هذه الرموز .



الشكل 8-10: طريقة انشاء الرموز الخاصة بالمفاتيح

أ- مفتاح بسيط

ب- مفتاح منحنى

6-10- المفتاح البسيط:

1-6-10- العناصر الهندسية للمفتاح البسيط:

تحسب العناصر الهندسية للمفتاح البسيط كما هو مبين في الشكل 9-10 كما يلي:

$$\tan \alpha = 1 : n$$

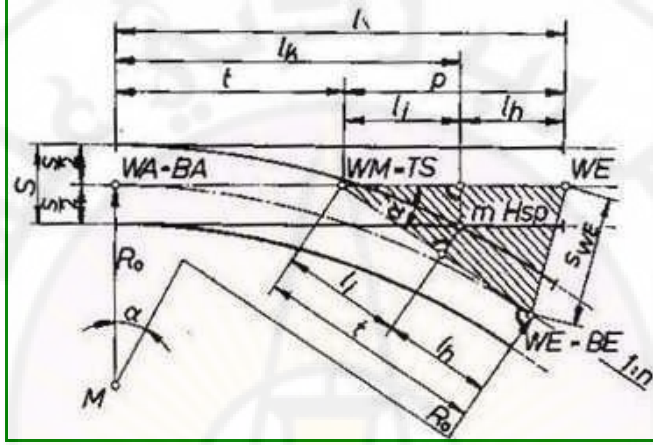
$$t = R_0 \tan \frac{\alpha}{2}$$

$$l_k = \sqrt{2 R_0 s}$$

$$l_i = l_k - t$$

$$l_n = t - l_i$$

$$l = 2t$$



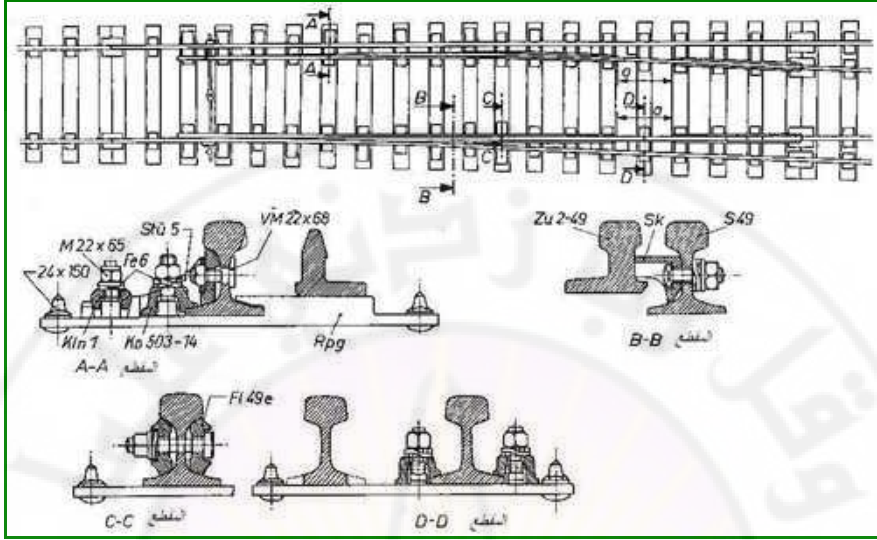
الشكل 9-10: العناصر الهندسية للمفتاح البسط

B_A : بداية المنحني، B_E : نهاية المنحني، W_M : مركز المفتاح، R_0 : نصف قطر المفتاح، S : عرض الخط، W_A : بداية المفتاح، W_E : نهاية المفتاح، L : طول المفتاح، T : طول المماس، T_s : نقطة تقاطع المماسين، P : = الطول بين مركز المفتاح ونهايته، L_i, L_h : الأطوال الجزئية، L_k : = الطول بين بداية المفتاح وذروة القلب، m : ذروة القلب، S_{we} : التباعد بين نهايتي المفتاح على الخطين الرئيسيين والفرعي، α : زاوية المفتاح، $1:n$: ميل المفتاح

10-6-2- الإبرة:

تسمح تجهيزات الإبرة للقطارات بالسير بالاتجاه الأساسي للمفتاح أو بالاتجاه الفرعي وذلك عند تحريكها. تتصل الابتان في مقدمتهما بواسطة قضيب الجر الذي يحافظ على بعد ثابت بينهما ومتصل بجهاز تدوير المفتاح بحيث تلتصق إحدى الابرتين قضيب الرام المجاورة وتبتعد الثانية عن قضيب الرام الآخر بمسافة محددة تسمى خطوة الإبرة . تنزلق الإبرة على وسائد معدنية مشحمة.

يتغير القطع العرضي للإبرة من مقدمتها وحتى قاعدتها (الشكل 10-10)



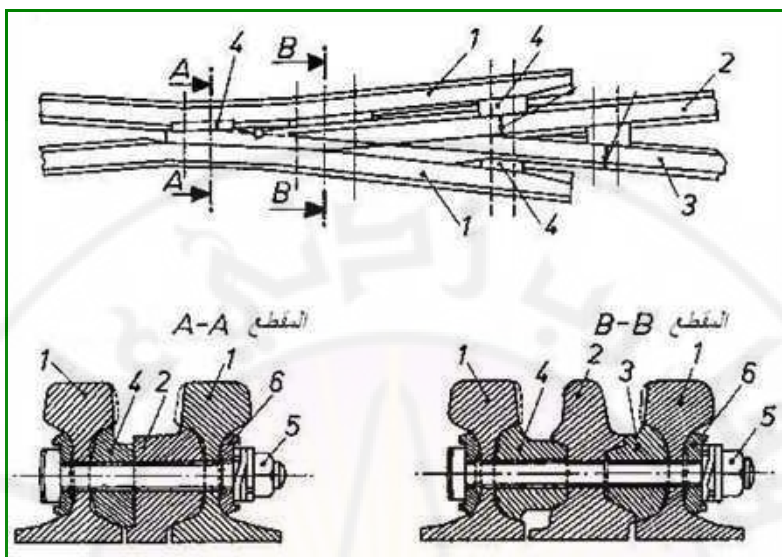
الشكل 10-10: الابرة المستخدمة في مفتاح EW49-190-1:9

3-6-10- القضبان الوسطية:

تشبه القضبان الوسطية القضبان في الخطوط الجرية من حيث المقطع العرضي وأدوات التثبيت. مهمتها الوصل بين منطقة الإبرة ومنطقة قلب التصالب.

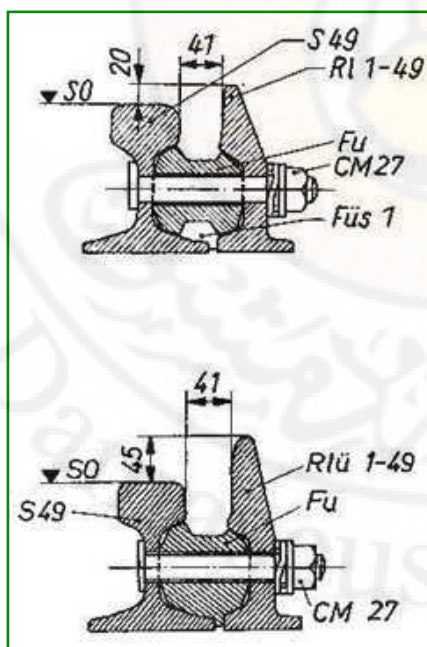
4-6-10- قلب التصالب:

يضم قلب التصالب ذروة القلب والشاربين وقضيبي الحماية (الكونتراري) ويصنع من الفولاذ المتين والمقاوم للتآكل. يتشكل بين قلب التصالب والشاربين تجويفان يسمحان لذقون العجلات بالمرور فيهما بينما توجه قضبان الكونتراري الذقون المقابلة للدواليب التي تمر في التجويف للسير في المجرى الملائم لاتجاه السير، بحيث تنعدم إمكانية سير أحد الدواليب قطب الشاحنة باتجاه الخط الرئيسي والآخر بالاتجاه الفرعي. ويمكن أن تكون الذروة ثابتة أو متحركة (الشكل 10-11).



الشكل 10-11: قلب التصلاب

10-6-5- قضيب التوجيه:



الشكل 10-12: قضيب التوجيه

يكون قضيب التوجيه أعلى من هامة
القضيب الحديدي بمقدار 20 مم ويبلغ
الفراغ بينه وبين القضبان 41 مم في
الوسط ويزيد حتى 65 مم عند طرفيه
(الشكل 10-12). يتغير طول قضيب
التوجيه حسب نموذج المفتاح.

الجدول (2-10) طول قضيب التوجيه

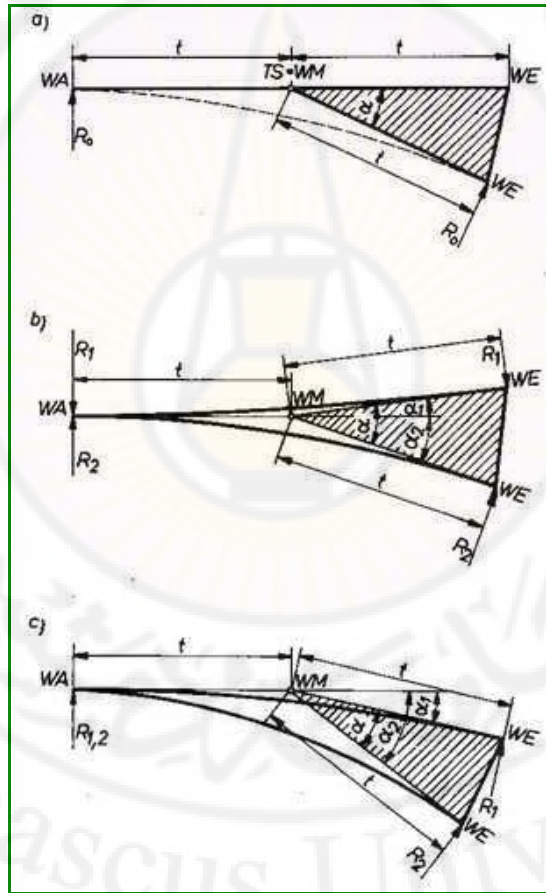
نموذج المفتاح	طول قضيب التوجيه (مم)
49-190-1:9	٢٩٠٠
49-300-1:9	٥٠٠٠
49-500-1:14	٥٦٠٠

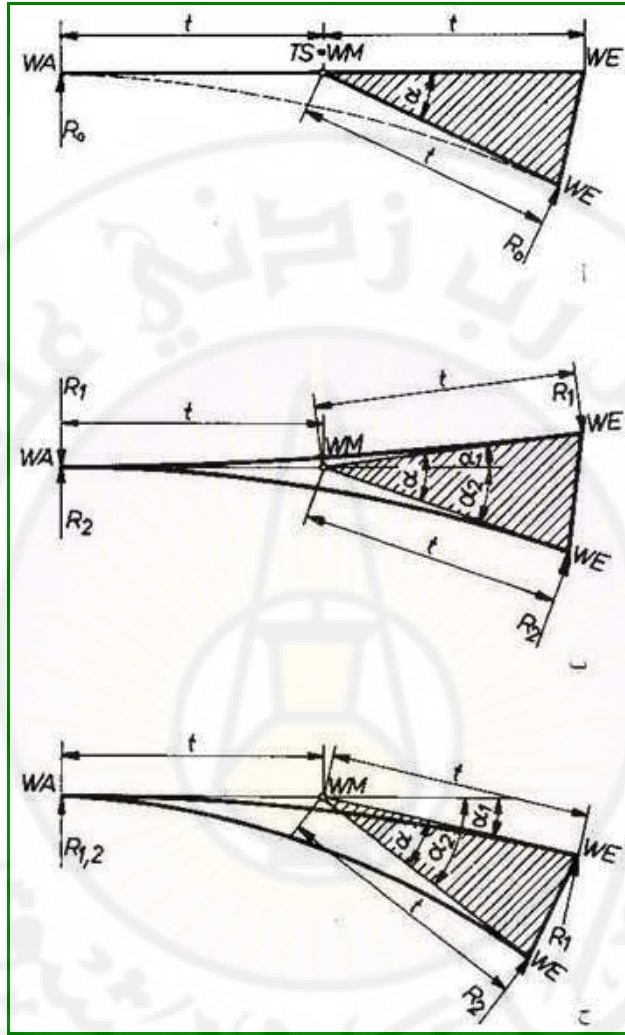
[illegible]

الشكل 10-13: مفتاح بسيط EW49-190-1:9

10-7- المفتاح المنحني:

وهو مفتاح معدل عن المفتاح البسيط ويستخدم عندما يكون الخط الأساسي للمفتاح ضمن منحني. يمكن أن يكون الخط الفرعي منحنيًا باتجاه داخل المنحني ويكون عندها المفتاح منحنيًا داخلياً. وعندما يكون الخط الفرعي منحنيًا باتجاه خارج المنحني يكون عندها المفتاح منحنيًا داخلياً أو خارجياً. ويمكن تشبيه المفتاح المنحني بأنه مفتاح بسيط قد تم تدويره حول مركزه.





الشكل 10-14: المفتاح المنحني مقارنة مع المفتاح البسيط

أ- مفتاح بسيط، ب- مفتاح منحني خارجياً، ج- مفتاح منحني داخلياً

R_0 : نصف قطر المفتاح الأساسي، R_1 : نصف قطر الخط الرئيسي، R_2 : نصف قطر الخط الفرعي،

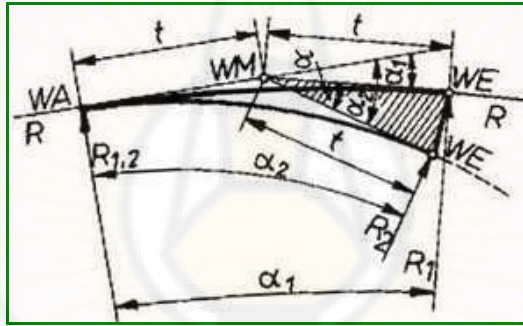
$\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$: زوايا المفاتيح

1-7-10- نصف قطر المفتاح المنحني:

إن الحساب الدقيق لنصف قطر المفتاح المنحني يتم بناء على العلاقات الجيومترية والرياضية بين نصف قطر المنحني للخط الأساسي R_1 ونصف قطر المنحني للخط المتفرع R_2 . وتعريفاً يكون $R_1 > R_2$ دائماً. نميز بين الحالات الأربعة التالية:

الحالة الأولى:

حالة مفتاح منحني داخلياً حيث قيمة R_1 تساوي نصف قطر الخط الجاري يمكن اشتقاق قيمة R_2 من الشكل (15-10).



الشكل 15-10: حالة مفتاح منحني داخلياً

R : نصف قطر الخط الجاري، R_1 : نصف قطر الخط الأساسي في المفتاح، R_2 : نصف قطر الخط الفرعي في المفتاح ($R_1 > R_2$)
طريقة الحساب:

$$\tan \frac{\alpha}{2} = \frac{T}{R}$$

$$\alpha_2 = \alpha_1 + \alpha$$

$$\frac{\alpha_2}{2} = \frac{\alpha_1}{2} + \frac{\alpha}{2}$$

واستناداً إلى العلاقة المثلثية التالية:

$$\tan(\alpha \pm \beta) = \frac{\tan \alpha \pm \tan \beta}{1 \mp \tan \alpha \tan \beta}$$

يكون:

$$\frac{t}{R_2} = \frac{\frac{t}{R_1} + \frac{t}{R_0}}{1 - \frac{t}{R_1} \frac{t}{R_0}}$$

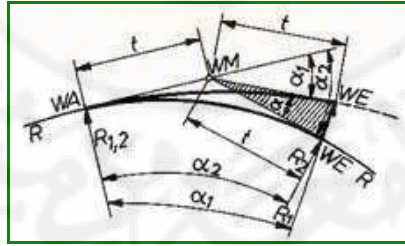
وبعد الترتيب تأخذ العلاقة شكلها النهائي التالي:

$$R_2 = \frac{R_0 R_1 - t^2}{R_0 + R_1}$$

عندما يكون الخط الفرعي متفرعاً خارج المنحني يمكن أن يكون المفتاح منحنيًا داخلياً أو خارجياً وذلك وفقاً للشروط الجيومترية.

الحالة الثانية:

عند تحقق الشرط $R < R_0$ والخط المتفرع ينطبق على الخط الجاري (الشكل 10-16).



الشكل 10-16: $R < R_0$

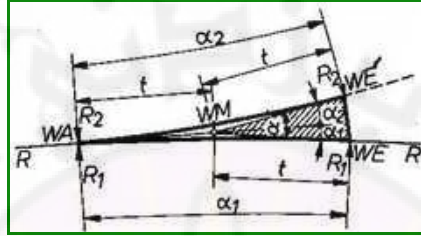
والخط المتفرع ينطبق على الخط الجاري

$$\alpha_1 = \alpha_2 - \alpha_0$$

$$R_1 = \frac{R_0 R_2 + t^2}{R_0 - R_2}$$

الحالة الثالثة:

عند تحقق الشرط $R \geq 2R_0$ والخط الأساسي ينطبق على الخط الجاري (الشكل 17-10).



الشكل 17-10: $R \geq 2R_0$

والخط الأساسي ينطبق على الخط الجاري

$$\alpha_2 = \alpha_0 - \alpha_1$$

$$\alpha_1 = \alpha_0 - \alpha_2$$

$$R_2 = \frac{R_0 R_1 + t^2}{R_1 - R_0}$$

الحالة الرابعة:

عند تحقق الشرط $R_0 < R < 2R_0$ والخط المتفرع R_2 ينطبق على الخط الجاري.

$$R_1 = \frac{R_0 R_2 + t^2}{R_2 - R_0}$$

2-7-10- الحساب التقريبي:

إذا أهملنا في العلاقات السابقة قيمة t^2 نظراً لصغرهما بالمقارنة مع الجداء $R_0 R_1$ فإنه يمكن الحصول على القيمة التقريبية لنصف قطر المفتاح المنحني، وهذا يقدم فائدة عند التصميم الأولي، وكذلك عند رسم مخططات الانحناء. للحصول على قيم

الانحناء في العلاقات السابقة نضع $K = \frac{1000}{R}$ فتكون:

الحالة الأولى:

$$\frac{1000}{K_2} = \frac{\frac{1000}{K_0} + \frac{1000}{K_1}}{\frac{1000}{K_0} + \frac{1000}{K_1}}$$

$$K_2 = K_1 + K_0$$

$$K_1 = K_2 - K_0, K > K_0$$

الحالة الثانية:

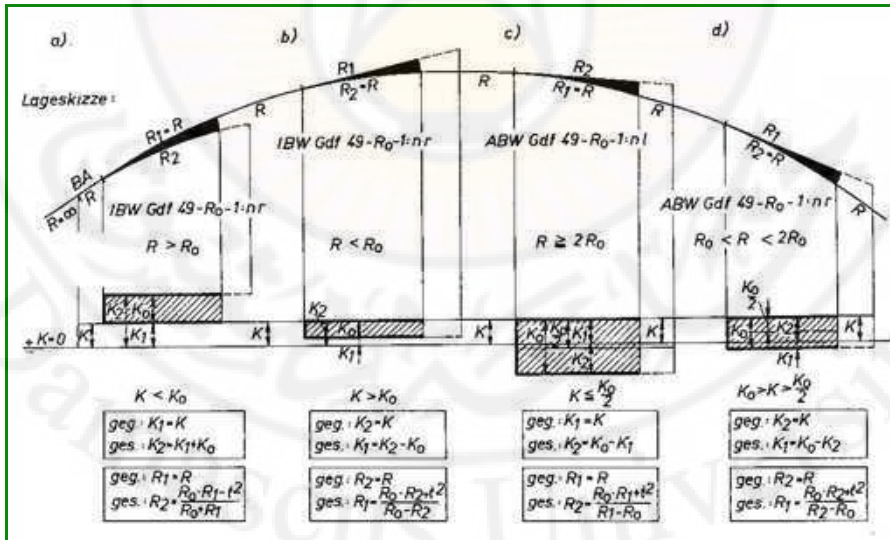
$$K_2 = K_0 - K_1, K \leq \frac{K_0}{2}$$

الحالة الثالثة:

$$K_1 = K_0 - K_2, K_0 > K > \frac{K_0}{2}$$

الحالة الرابعة:

الشكل (18-10) يبين ملخصاً للحالات الأربعة للمفتاح المنحني:



الشكل 18-10: حساب نصف قطر المفتاح المنحني في الحالات المختلفة

10-7-3- حالة خاصة:

من أجل مفتاح منحني خارجياً فيه $K_0 = 2K$ وهي حالة خاصة من الحالة الثالثة:

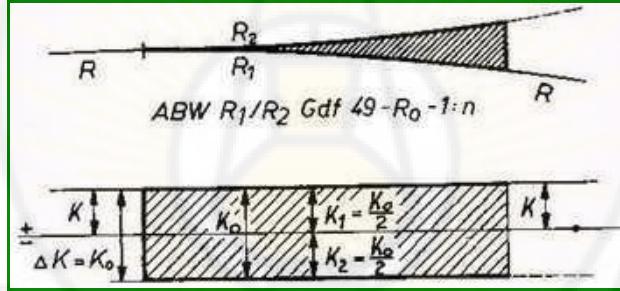
$$K_2 = K_0 - K$$

$$K_0 = 2K = 2K_1$$

$$K_0 = 2K_1 - K_1 = K_1$$

$$K_1 = K_2 = \frac{K_0}{2}$$

عندها يكون المفتاح المنحني متناظراً (الشكل 19-10):



الشكل 19-10: المفتاح المنحني المتناظر

10-7-4- حدود نصف قطر المفتاح المنحني:

تحدد قيم نصف قطر المنحني للخط الأساسي أو الخط المتفرع في المفتاح المنحني بحيث لا تقل عن قيمة معينة تتعلق بالموصفات الهندسية للمفتاح الأصلي والبنية الإنشائية للمفتاح.

نظراً لأن المفتاح المنحني لا يحتوي على تعريض إضافي لذلك فإن مرور القطارات في المنحنيات ذات أنصاف الأقطار الصغيرة سيكون صعباً وغير ملائم للشروط الحركية. وعليه تم تحديد المفتاح ذات نصف قطر 500 وميل 1:12 والمفتاح 300 والميل 1:9 كمفاتيح أصلية تشتق منها المفاتيح المنحنية داخليا كما يبين الجدول التالي.

الجدول 3-10

الحدود الدنيا لنصف القطر (m)		نموذج المفتاح الأصلي
R_2	R_1	
190	521	300-1:9
-	307	500-1:12
461	750	1200-1:18.5

مثال:

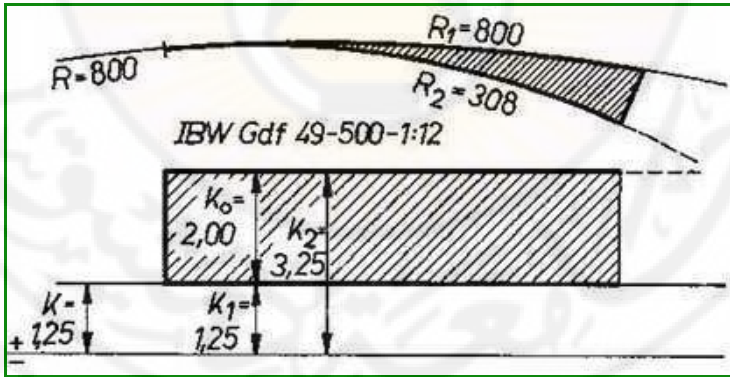
المعطيات: المفتاح الأصلي EW 49-500-1:12 ، التفرع باتجاه الداخل، نصف

قطر الخط الجاري $R = 800\text{m}$

المطلوب: إنشاء مفتاح منحنى على الخط الجاري وتحديد قيمة نصف قطر

المنحنى للخط الفرعي.

الحل:



الشكل 20-10: معطيات المثال

ينطبق على المسألة الحالة الأولى:

الحل التقريبي:

$$K_2 = K_1 + K_0$$

$$K_2 = \frac{1000}{800} + \frac{1000}{500} = 3.25 \text{ m}^{-1}$$

$$R_2 = \frac{1000}{K_2} = \frac{1000}{3.25} = 308 \text{ m}$$

الحل الدقيق:

$$R_0 = 500$$

$$R_1 = 800$$

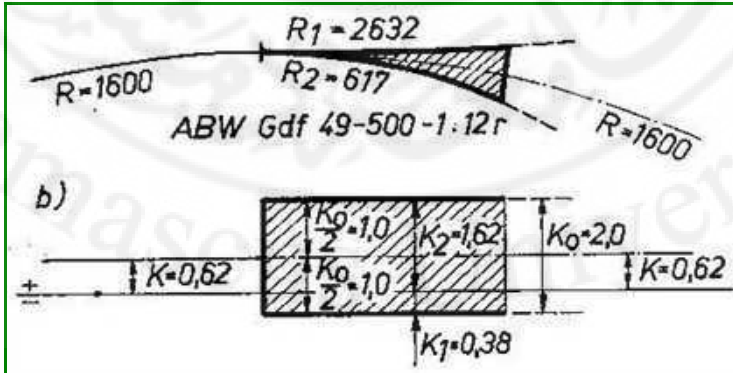
$t = 20.797 \text{ m}$ (مواصفات المفتاح الأصلي انظر ملخص عن المفاتيح الشكل 27-1)

$$R_2 = \frac{R_0 R_1 - t^2}{R_0 + R_1} = 307.360 \text{ m}$$

مثال:

المعطيات: المفتاح الأصلي EW 49-500-1:12، جهة التفرع متساوية القيمة نحو الداخل ونحو الخارج من الخط الجاري ذي نصف قطر $R = 1600 \text{ m}$.
المطلوب: حساب قيم نصف قطر التفرع نحو الداخل ونحو الخارج.

$$\Delta K = \frac{K_0}{2} \text{ يسمح بفرق في قيم الانحناء}$$



الشكل 21-10: معطيات المثال

$$K_2 = K + \frac{K_0}{2} = \frac{1000}{1600} + \frac{1000}{2 * 500} = 1.62 \text{ m}^{-1}$$

$$R_2 = \frac{1000}{1.62} = 617 \text{ m}$$

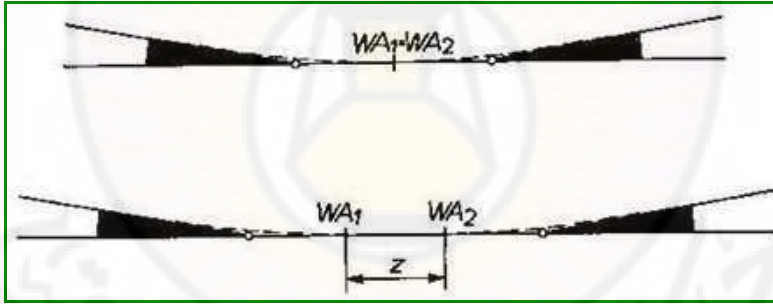
$$K_1 = K - \frac{K_0}{2} = \frac{1000}{1600} - \frac{1000}{2 * 500} = -0.38 \text{ m}^{-1}$$

$$R_1 = \frac{1000}{0.38} = 2632 \text{ m}$$

8-10- حالات وصل المفاتيح:

1-8-10- وصل مفاتيحين متوافقين في الانحناء للخطين الفرعين:

في هذه الحالة يكون الوصل من جهة الإبرتين ويسمح بأن تنطبق بداية المفتاح الأول على بداية المفتاح الثاني.



الشكل 10-22: حالة وصل مفاتيحين متوافقين في الانحناء للخطين الفرعين

10-8-2- وصل مفاتيحين عند وجود منحنين متعاكسين متتابعين: (الشكل 10-23)

أ- نهاية المفتاح مع بداية المنحني.

ب- نهاية المفتاح الأول مع بداية المفتاح الثاني.

ج- بداية المفتاح مع بداية المنحني.

د- بداية المفتاح الأول مع بداية المفتاح الثاني.

في هذه الحالات يمكن الوصل بدون استقامة بينهما عند تحقق الشرطين التاليين:

أولاً: الشرط الحركي:

$$\Delta K = \frac{1000}{R_2} + \frac{1000}{R_1} \leq \frac{9000}{V^2}$$

حيث V السرعة مقدرة بـ Km/h.

ثانياً: الشرط الجيومتري:

$$\Delta K = \frac{1000}{R_2} + \frac{1000}{R_1} \leq 10$$

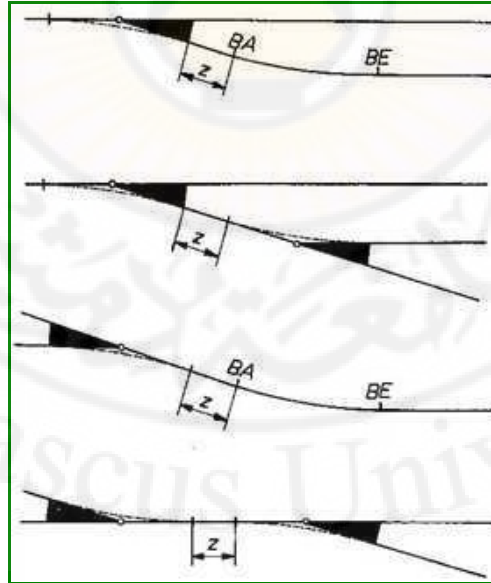
وفي حال عدم تحقق أحد الشرطين السابقين يتم:

إما إضافة استقامة بينهما بطول:

$$l_z = 0.2V$$

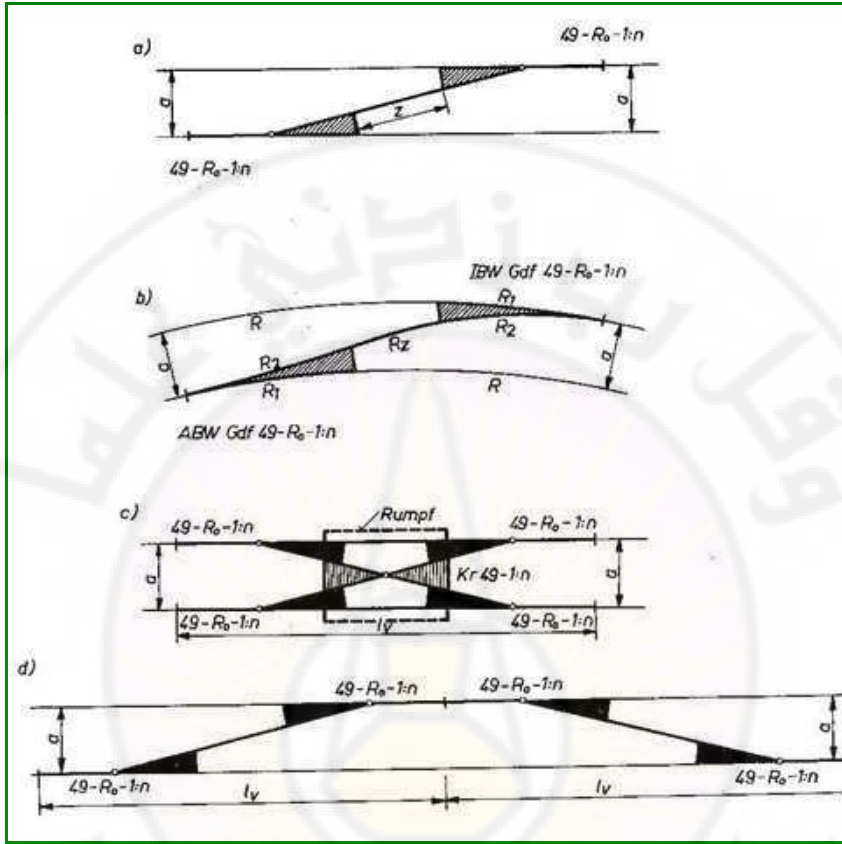
$$l_{\min} = 0.1V \geq 6m$$

أو تخفيض سرعة القطارات على المفاتيح عند عبورها.



الشكل 10-23: حالات وصل المفاتيح عند وجود منحنيين متعاكسين

- 9-10- وضعية المفاتيح في المنحنيات الشاقولية والمعابر والأعمال الصناعية:
- توضع المفاتيح عادةً في الأجزاء ذات الميول الطولية الثابتة. وفي حالات الضرورة لوضع المفاتيح ضمن المنحنيات الشاقولية يجب تنظيم وضع الإبرة بحيث:
- تكون في المنحنيات الشاقولية المحدبة ذات أنصاف أقطار $R > 2000\text{ m}$ وذلك لتجنب إمكانية رفع الإبرة.
- في المنحنيات الشاقولية المقعرة ذات أنصاف أقطار $R > 750\text{ m}$ لتجنب إمكانية الفراغ في منتصف الإبرة.
- في المعابر لا يسمح بوضع المفاتيح. ويجب أن تبعد بداية المفتاح أو نهايته عن طرف المعبر مسافة لا تقل عن 5 أمتار.
- يجب تجنب وضع المفاتيح على الأعمال الصناعية (العبارات والجسور)، ويجب أن تبعد بداية أو نهاية المفتاح عن العمل الصناعي مسافة لا تقل عن 5 أمتار.
- 10-10- وصلات الخطوط:
- تتطلب حركة القطارات ضمن المحطات تأمين وصل بين الخطوط ويمكن تعريف الوصلة بأنها الرابط بين خطين والمؤلفة من مفتاحين مع استقامة بينهما.
- وبحسب الوضع الجيومتري للخطوط توجد أنواع عديدة من الوصلات بين الخطوط (الشكل 1-24) ومن أكثرها شيوعاً.
- أ- وصلة بسيطة مستقيمة بين خطين مستقيمين متوازيين.
 - ب- وصلة بسيطة منحنية بين خطين منحنيين متوازيين.
 - ج- وصلة مضاعفة بين خطين متوازيين.
 - د- وصلتين بسيطتين مستقيمتين بين خطين متوازيين.



الشكل 10-24: أنواع وصلات الخطوط

a: التباعد بين محوري الخطين، L_v : طول الوصلة

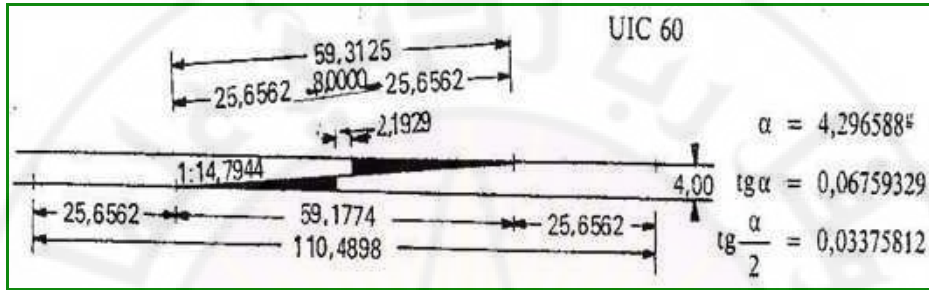
يعتبر البعد بين محاور الخطوط مهماً جداً في تحديد نوع المفاتيح التي ستستخدم في الوصلات. ويسعى عادةً في تصميم المحطات لاعتماد الأبعاد بين محاور الخطوط القياسية وذلك لتسهيل الحسابات. يفضل تجنب استخدام الوصلات المضاعفة ما أمكن والاستعاضة عنها بوصلتين بسيطتين. تؤثر الأبعاد الصغيرة بين محاور الخطوط على الوصلات مما يتطلب تصاميم خاصة مثل:

- استخدام مفاتيح مختلفة الميول في الوصلة الواحدة.
- تقصير الإبرة أو قضبان السير وقضبان الحماية في المفتاح.

- تغيير وضعية آخر عارضة طويلة في المفتاح.

- توزيع خاص للعوارض.

ونبين في الشكل (25-10) نموذج لأحد وصلات الخطوط.



الشكل 25-10: نماذج لأحد وصلات الخطوط

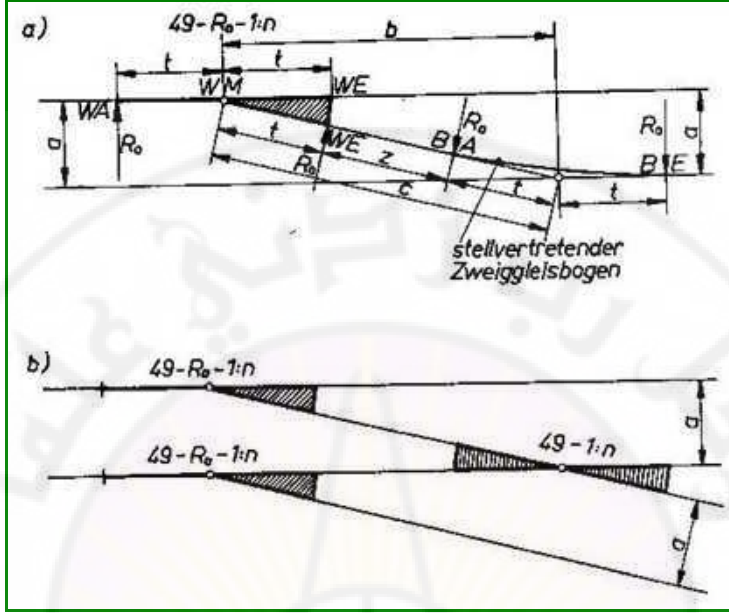
11-10- تفرعات الخط:

تستخدم التفرعات لفصل الخطوط في المحطات وتشبه من حيث عناصرها الهندسية وصلات الخطوط (الشكل 26-10).

ويمكن أن تكون التفرعة:

- تفرعة مستقيمة أو منحنية.

- تفرعة من خط واحد أو عدة خطوط.



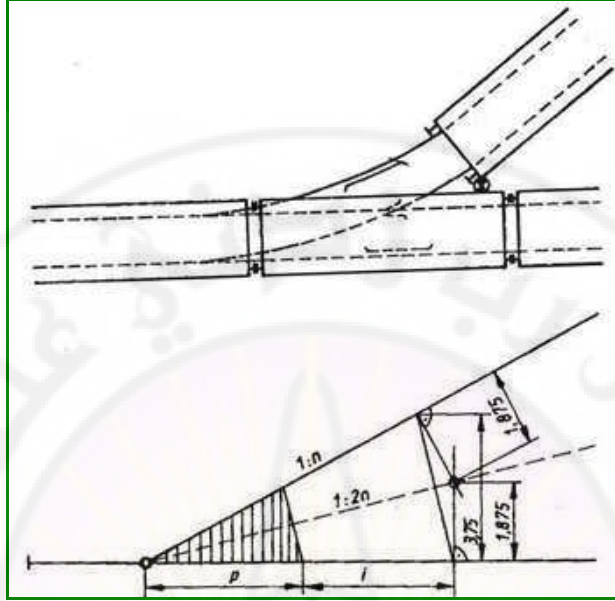
الشكل 10-26: نماذج لتفرعات الخطوط

أ- تفرعة مستقيمة لخط مفرد.

ب- تفرعة مستقيمة لأكثر من خط.

12-10- أعمدة الرأب:

يعتبر عمود الرأب نوع من الإشارات التي توضع بين خطين متقاطعين أو متفرعين بحيث يسمح بالحركة على أحد الخطين عند شغل الخط الآخر حتى عمود الرأب. يمثل عمود الرأب في المخططات بخط متعامد على منصف زاوية تقاطع الخطين. يؤخذ التباعد بين محوري الخطين عند عمود الرأب 4.1 م ويسمح بتباعد أقل حسب نوع المفتاح ويصل إلى 3.750 م في مفتاح نصف قطره 500 م.



الشكل 10-27: عمود الرأب

1:n: ميل المفتاح.

p: الطول من مركز المفتاح حتى نهايته.

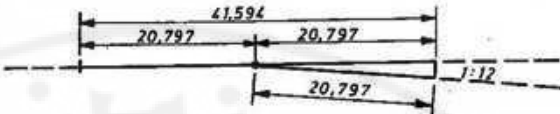
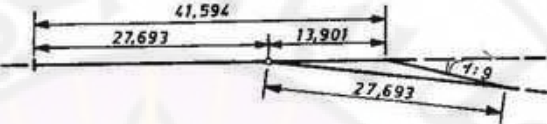
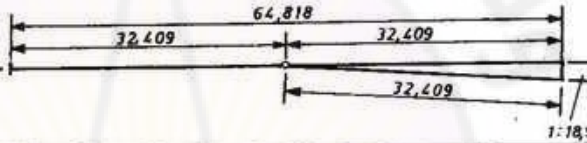
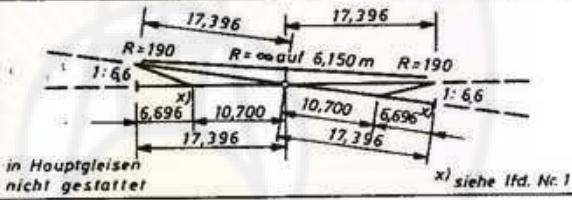
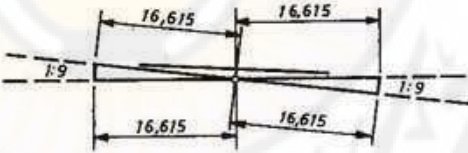
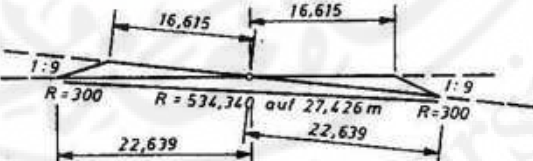
i: الطول من نهاية المفتاح حتى عمود الرأب.

L: المسافة من مركز المفتاح حتى عمود الرأب.

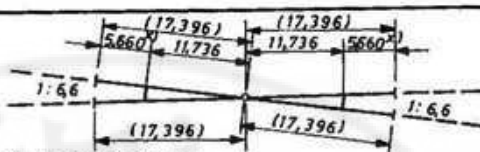
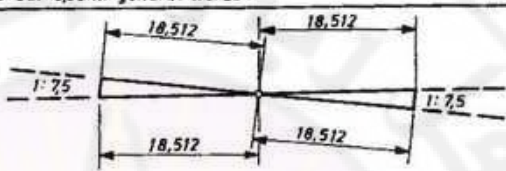
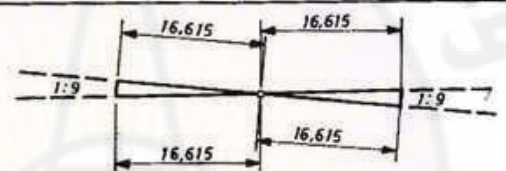
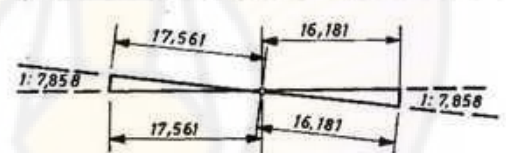
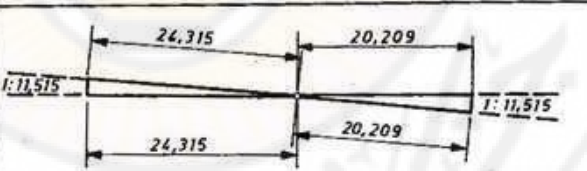
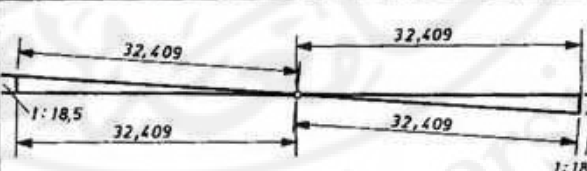
10-13- ملخص عن المفاتيح المستخدمة في ألمانيا (أوروبا):

الأشكال التالية تبين نماذج من المفاتيح المستخدمة في أوروبا. الأرقام المتسلسلة من 1 إلى 10 هي لمفاتيح بسيطة، ومن 11 إلى 14 لمفاتيح متصالبة بسيطة، ومن 15 إلى 19 لمفاتيح متصالبة مضاعفة، ومن 19 إلى 25 لتصلبات.

Nr.	الرمز	
1	EW 49-150-1: 6,6	x) kann in Gleisverbindungen bis auf 0,00 m gekürzt werden
2	EW 49-150-1: 7,5	x) siehe lfd. Nr. 1
3	EW 49-190-1: 7,5 / 1: 6,6	
4	EW 49-190-1: 7,5 Schienenspitzenherzstück	x) siehe lfd. Nr. 1
5	EW 49-190-1: 9	R=190 R=∞ auf 6,103 m
6	Symmetr. ABW 49-215-1: 4,8 Fsch (H)	Neukonstruktion nicht aus Grundform entstanden
7	EW 49-300-1: 9	

Nr.		
8	EW 49 - 500 - 1 : 12	
9	EW 49 - 500 - 1 : 12 / 1 : 9 (49 - 500 - 1 : 9)	
10	EW 49 - 1200 - 1 : 18,5	
11	EKW 49 - 190 - 1 : 6,6	
12	EKW 49 - 190 - 1 : 9	
13	EKW 49 - 300 - 1 : 9	

Nr.		
14	EKW 49 - 500 - 1 : 9	
15	DKW 49 - 190 - 1 : 6,6	in Hauptgleisen nicht gestattet
16	DKW 49 - 190 - 1 : 9	R = ∞ auf 6,091m
17	DKW 49 - 300 - 1 : 9	
18	DKW 49 - 500 - 1 : 9	
19	Kr 49 - 1 : 4,444	

Nr.		
20	Kr $49 - 1 : 6,6$ nicht mehr zugelassen	 x) kann in Gleisverbindungen bis auf 0,00 m gekürzt werden
21	Kr $49 - 1 : 7,5$	
22	Kr $49 - 1 : 9$	
23	Kr $49 - \frac{500}{\infty} -$ $1 : 7,858$	
24	Kr $49 - \frac{1200}{\infty} -$ $1 : 11,515$	
25	Kr $49 - 1 : 18,5$	

الفصل الحادي عشر نظم الإشارات في الخطوط الحديدية Railway Signaling Systems

1-11- مقدمة:

تعرف الإشارة بأنها اصطلاح مرئي أو صوتي لإعطاء أمر معين. وتستخدم الإشارات كوسيلة للاتصال بين المحطات وسائقي القطارات ولنقل التعليمات إلى المستخدمين المعنيين بهدف تنظيم سير القطارات وتنفيذ أعمال المناورة والفرز وتأمين الحماية لها.

2-11- تطور استخدام الإشارات:

في البداية كانت الإشارات المرئية تعطى من خلال (أقراص أو قناديل أو كرات تعلق على الأعمدة أو في بداية و نهاية القاطرة). بعد ذلك انتشر استخدام السيمافور الشكلي الذي يعتمد على شكل توضع الذراع أو الذراعين في إعطاء التعليمات. ومؤخراً طغى استخدام الشاخصات الضوئية الكهربائية في الخطوط الحديدية بدلاً عن الإشارات المرئية الأخرى، وتعد الشاخصات الضوئية من التجهيزات الرئيسية لإعطاء وتفهم الأوامر عن بعد وبشكل دقيق لا يقبل التأويل. ثم تطورت نظم الإشارات الضوئية من نصف آلي إلى آلي وأخيراً استخدم نظام القيادة المركزية للإشارات.

3-11- تصنيف الإشارات:

أ - تصنف الإشارات حسب مدلولاتها إلى:

- 1- **الإشارات المرئية:** وتختلف عن بعضها باختلاف (لون الضوء المعطي، أو الشكل، وضعتها وعدد مدلولاتها). وتتميز بأنه يمكن مشاهدتها من مسافات بعيدة. وهي نوعان إشارات مرئية تعطى نهاراً فقط وإشارات مرئية دائماً تعطى ليلاً ونهاراً .
- 2- **الإشارات الصوتية:** وتختلف باختلاف عددها وترتيب الأصوات واستمراريتها

```

graph TD
    A[البحوث] --> B[مبدئية]
    A --> C[مؤقتة]
    B --> D[نظرية]
    B --> E[تطبيقية]
    B --> F[واقعية]
    C --> G[مؤثرات]
    C --> H[مشاركت]
    G --> I[مؤثرات]
    G --> J[مؤثرات]
    H --> K[مشاركت]
    H --> L[مشاركت]
  
```

The diagram illustrates the components of a research project, structured hierarchically. The root node is 'البحوث' (Research), which branches into 'مبدئية' (Preliminary) and 'مؤقتة' (Provisional). 'مبدئية' further branches into 'نظرية' (Theoretical), 'تطبيقية' (Applied), and 'واقعية' (Realistic). 'مؤقتة' branches into 'مؤثرات' (Influences) and 'مشاركت' (Participation). 'مؤثرات' branches into 'مؤثرات' (Influences) and 'مؤثرات' (Influences). 'مشاركت' branches into 'مشاركت' (Participation) and 'مشاركت' (Participation). The diagram is overlaid with a large, faint watermark of the University of Al-Qadisiyah.

ب - كما تصنف الإشارات حسب مكان توضعها إلى:

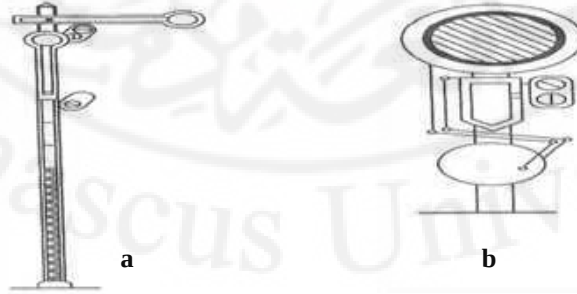
- 1- إشارات ثابتة.
- 2- إشارات متنقلة.
- 3- إشارات يدوية.
- 4- إشارات القطار.
- 5- مؤشرات.
- 6- شارات.

يبين الشكل رقم (1-11) مخطط تصنيف الإشارات.

ملاحظة: يجب أن يكون لكل إشارة سواء كانت مرئية أو مسموعة مدلول واحد لا يحتمل التأويل وفي حال رؤية أو سماع إشارتين بمدلولين مختلفين عندها يجب التقيد بمدلول الإشارة التي تحقق أمان أكثر.

4-11- الإشارات الثابتة:

- سيمافورات، أقراص تحذيرية، لوحات مناورة، شاخصات ضوئية.
- السيمافورات: ويمكن تقسيمها حسب نوع الإشارات التي تعطيها إلى:
- سيمافور شكلي: هو عبارة عن عمود مثبت عليه ذراع طويلة أو ذراعين إحداها قصيرة الشكل (2-11)، ويتم إعطاء التعليمات بحسب مدلول شكل توضعها.



الشكل (2-11) a: سيمافور بذراعين ومنبع ضوئي b: قرص تحذيري بثلاث قطع

وكما هو مبين في الشكل (a-3-11) نجد بأن السيمافور بذراعين والترس بثلاث قطع تعطي ثلاث تعليمات وهي (التوقف، السير ببطء، السير بالسرعة المسموحة) بينما السيمافور بذراع واحدة والترس بقطعتين يعطي تعليمتين (الوقوف، السير بالسرعة المسموحة).

الإشارة	سيمافور بذراعين	سيمافور بذراع واحد	ترس بثلاث حركات	ترس بحركتين
V_0 توقف				
V_2 40 km/h				
V_1 max				

a

b



الشكل (3-11) a: جدول يبين مدلولات السيمافور والقرص التحذيري الشكليين b: شاخصة ضوئية

الشاخصة الضوئية:

وتتكون من حاضن مثبت على عامود ويحتوى على خليتين ضوئيتين أو أكثر مغطاة بزجاج ملون مع واقي لكل خلية لحمايتها من تأثير الأمطار والتلوج وأحياناً لكسر الشعاع الشمسي لكي لا يظهر لون مغاير للواقع.

عدد الخلايا الضوئية يتبع لمكان توضع الشاخصة ووظيفتها (محطة، قارعة الخط، دخول، خروج، تحذير... الخ) ويوضح الشكل (b-3-11) شاخصة ضوئية بخمس خلايا، والشكل (4-11) يبين مدلول إشارات الشاخصات الضوئية بدون ألوان والسرعات المقابلة.

أما شاخصة المحطة الضوئية: تكون مزودة بخمس خلايا ضوئية وهي مرتبة من الأعلى إلى الأسفل كما يلي: أخضر، برتقالي، أحمر، برتقالي، أبيض.

بينما شاخصة قارعة الخط: فهي تحتوي على ثلاث خلايا ضوئية مرتبة من الأعلى باللون: البرتقالي، الأحمر، الأخضر.

دلالة إشارة التحذير	السرعة المسموحة للسير بعد الإشارة كم / سا	السرعة المسموحة للسير على الإشارة التالية كم / سا			
		توقف	40/60	100	السرعة العظمى
	توقف				
	40	 	 	 	 
	60	  	  	  	  
	100	  	  	  	  
	السرعة العظمى				

الشكل (4-11): قراءة مدلول إشارات الشاخصات الضوئية والسرعات المقابلة وهي مرتبة في العمود الأول من اليسار كما يلي: أحمر، برتقالي، برتقالي متقطع، أخضر متقطع، أخضر. والترس المهشّر بشكل مائل المسار برتقالي، وبشكل عامودي المسار أخضر.

لوحات المناورة:

وتنقسم إلى ترس المناورة الشكل (a-5-11) وترس السحب أو الدفع الشكل (b-5-11) وكل نوع ينقسم إلى شكلي وضوئي. حيث لوحة المناورة بالشكل تتألف من

ترس متحرك مربع بلون أزرق مثبت على عمود بزاوية مائلة ليصبح على شكل معين وعلى العمود أسفل يمين الترس يوجد أيضاً منبع ضوئي يمكن أن يعطي إشارتين في الليل. بينما لوحة المناورة الضوئية تتألف من حاضن عليّتين ضوئيتين مثبت على عامود، أما لوحة الدفع فهي تتألف من قرص دائري بلون أسود وعليه شريط أبيض يُضاء ليلاً وتكون الإشارة حسب مدلول توضع الشريط بالنسبة للقرص الدائري. لوحة الدفع الضوئية هي عبارة عن لوحة لها شكل مثنى (حاضنة) عليها خلايا ضوئية ومن خلال شكل توضعها تعطي التعليم المناسبة.

الإشارة / الدلالة	ترس مناورة مثنى	ترس مناورة مثنى	مناورة مخططة يستخدم أيضا مناورة
الترس المناورة منوع			
الترس المناورة ممنوع			

الإشارة / الدلالة	ترس نورع بالمثل	ترس نورع مثنى
الدفع ممنوع		
الدفع مسموح		
الدفع بالسرعة الممنوعة		

التعبير عن اللون
بالشكل كما يلي :

⊖ - أحمر
⊗ - أزرق
○ - أبيض

الشكل (5-11) a: لوحة مناورة، b: لوحة الدفع

11-5- تصنيف السيمافورات والشاخصات الضوئية:

يجري تركيب الشاخصات في المحطات وعلى قارعة الخط وتصنف حسب مكان استخدامها إلى:

- 1- شاخصات الدخول: وهي تعطي السماح أو المنع للقطار مع سرعة الدخول للمحطة.
- 2- شاخصات الخروج: وهي تسمح أو تمنع القطار مع سرعة الخروج من المحطة.
- 3- شاخصات المرور: وهي تسمح أو تمنع القطار من متابعة سيره على أقسام مسار الخط بين المحطات.

4- شاخصات المحطات: للسماح أو منع القطار من التنقل في المحطة من مسار إلى آخر أو من منطقة إلى أخرى.

5- الشاخصات التحذيرية: وتوضع قبل شاخصات المرور و شاخصات الدخول على طول مسافة الفرملة، وتستخدم ليتمكن القطار من التوقف بالوقت المناسب حيث أحياناً تكون هناك صعوبة في رؤية التعليمات على الشاخصات من مسافات بعيدة نتيجة سوء الظروف الجوية.

6- شاخصات التقاطعات مع الطرق بمستوى واحد.

7- شاخصات المناورة وحلبة الفرز.

11-6- الإشارات الضوئية المستخدمة في خ ح س:

هي عبارة عن عامود مثبت عليه حاضن (حامل) لعدد من الخلايا الضوئية وتحت الحاضن على يمين ويسار العمود يثبت أحياناً رقم الخط واتجاه السير كما مبين بالشكل (11-6).

11-6-1 ألوان الإشارات الضوئية:

الألوان الرئيسية المستخدمة في الخطوط الحديدية هي (الأحمر، الأصفر، الأخضر).

إضافة إلى الألوان الرئيسية المذكورة يستخدم أحياناً اللون الكحلي، والأبيض الشفاف أو القمري أو الحليبي.

2-6-11- مصطلحات خاصة بالألوان:

عند عدم استخدام الألوان تعتمد المصطلحات التالية للتعبير عن الألوان:



الشكل (6-11) قراءة مدلول الإشارات في الخطوط الحديدية السورية

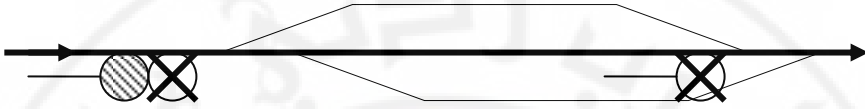
3-6-11- مدلولات الإشارات:

يدل اللون الأخضر بالسماح بالحركة سواء بدخول المحطة (إشارات الدخول) أو بالخروج من المحطة (إشارات الخروج).

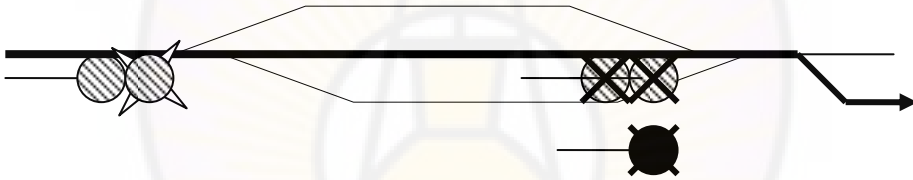
ويدل اللون الأحمر على التوقف. أما اللون الأصفر فيدل حسب طريقة اشتعاله. إذا كان أصفراً متقطعاً يعني السماح للقطارات بالحركة مع تخفيض السرعة مع الانتباه، وإذا كان أصفراً مستمراً يدل على الاستعداد للتوقف (إشارات الدخول للمحطة).

ونبين فيما يلي أمثلة عن مدلولات الإشارات الشكل (11-7 أ، ب، ج، د، هـ)

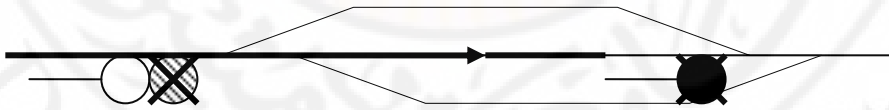
أ- ضوء أخضر واحد عند إشارة الدخول = السماح بدخول المحطة على الخط الرئيسي ضمن السرعة المحددة للسير ضمنها، إشارة الخروج مفتوحة.



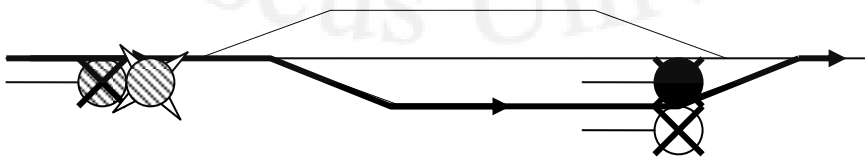
ب- ضوء أصفر متقطع عند إشارة الدخول = السماح بدخول المحطة على الخط الرئيسي ضمن السرعة المحددة للسير ضمنها، إشارة الخروج مفتوحة ويجب اجتيازها بسرعة مخفضة.



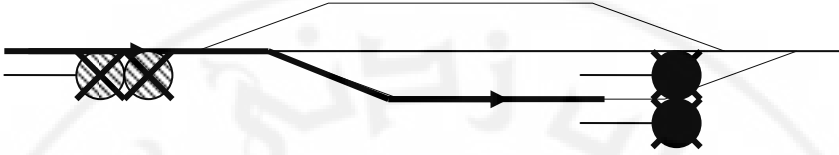
ج- ضوء أصفر واحد عند إشارة الدخول = السماح بدخول المحطة على الخط الرئيسي مع الاستعداد للتوقف، إشارة الخروج حمراء.



د- ضوءان أصفران العلوي متقطع عند إشارة الدخول = السماح بدخول المحطة على الخط الجانبي بسرعة مخفضة، الإشارة التالية مفتوحة.



هـ- ضوءان أصفران عاديان عند إشارة الدخول = السماح بدخول المحطة على الخط الجانبي بسرعة مخفضة مع الاستعداد للتوقف في المحطة.



و- ضوء أحمر واحد = قف، يمنع تجاوز الإشارة.

الشكل (7-11) يوضح مدلول الإشارات

4-6-11- إشارة الدعوة:

باستخدام الإشارات الضوئية وعندما لا يمكن إعطاء الضوء الأخضر السامح نتيجة عطل أو سبب ما، يمكن اعتبار الضوء الأبيض المتقطع بمثابة إشارة دعوة بالدخول أو الخروج ولكن بسرعة بطيئة حتى الإشارة التالية ويجب أن يجري توثيق ذلك في سجلات خاصة في كل مرة يعطى فيها أمر السماح بالدخول أو الخروج بالضوء الأبيض.

5-6-11- أماكن توضع الإشارات:

- توضع الإشارات عادةً على يمين وجانب الخط الحديدي. ويسمح في حالات استثنائية بأن تكون الإشارات على اليسار من أجل تحقيق متطلبات الرؤية.
- تبعد أعمدة الإشارات عن محور الخط 3.10 م في الخطوط الجارية و 2.20 م في خطوط المحطات.
- عندما لا تسمح المسافات بين الخطوط بتوضع الإشارات يمكن أن توضع على جسر عرضاني علوي.
- يسمح بتوضع عدد من الإشارات على عمود واحد بشرط ألا يؤدي ذلك إلى أكثر من مدلول أو فهم خاطئ للإشارة من قبل سائق القاطرة.

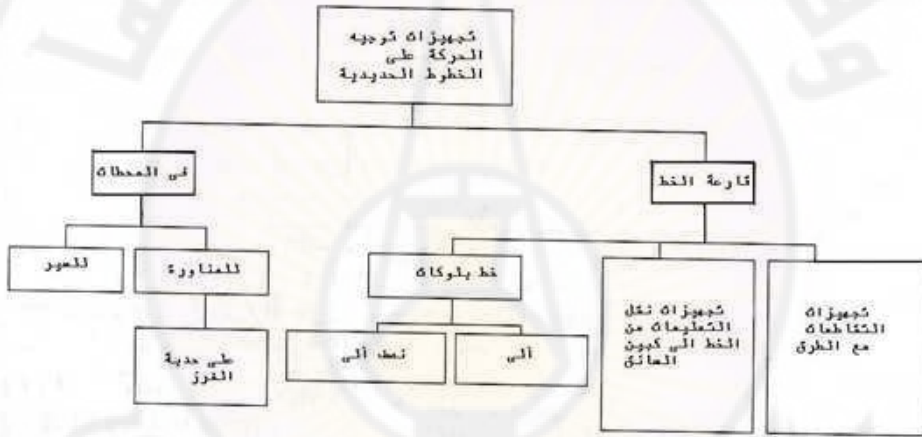
- ارتفاع الإشارات الميكانيكية يتراوح بين 8-10 م.
- ارتفاع الإشارات الضوئية ٦.٢٠ م فوق منسوب القضيب الحديدي ولا يسمح بارتفاع أقل من 3.80 م.
- مسافة الرؤيا للإشارات من قبل السائق أو مرافقة هي 500 م للسرعات أكبر من 120 كم/سا و 400 م للسرعات أقل من 120 كم/سا و 300 م للسرعات أقل من 100 كم/سا.
- وعند عدم إمكانية تحقيق هذه المسافات يجب وضع مكرر الإشارات.
- إشارات الدخول: تزود كل محطة بإشارة دخول في كل اتجاه وعند وجود محطتين متجاورتين وقريبتين من بعضهما يمكن أن تكون إشارة الخروج لأحدهما هي إشارة الدخول للأخرى في نفس الوقت.
- إشارات الخروج: تزود المحطات بإشارات الخروج وتوضع عادةً بحيث تسمح لأطول القطارات بالوقوف دون أن تمنع الحركة على الخطوط الجارية. وأن تمكّن قطارات الركاب من الوصول إلى الأرصفة. وأن لا تشغل المعابر السطحية من قبل القطارات عند توقفها.
- يوضع لكل خط إشارة خروج. ويمكن أن تكون إشارة الخروج لأكثر من خط عندما تسمح ظروف الحركة (قطارات الركاب في محطات الركاب الرئيسية، أو قطارات البضائع لمجموعة الخطوط في محطات البضائع).
- توضع إشارات الدخول قبل 100 م من بداية أول مفتاح في المحطة أو في الخط.

7-11- نظم الإشارات وتجهيزات توجيه الحركة المستخدمة في الخطوط الحديدية:

تستخدم نظم الإشارات لتنظيم حركة القطارات في المحطات وعلى قارعة الخط كما بين ذلك الشكل (8-11) ومن الضروري أن يؤمن النظام المستخدم:

1- أمان سير القطارات.

2- الفواصل الزمنية الدنيا اللازمة لاستقبال وترحيل وتلاقي القطارات ضمن المحطة ومن محطة إلى أخرى.



الشكل (8-11) مخطط تصنيف نظم الإشارات وتجهيزات تنظيم السير في الخطوط الحديدية

7-11-1- تطور نظم الإشارات:

في البداية كانت القطارات ترحل حسب برنامج زمني محدد لها دون استخدام إشارات، حيث لم يكن هناك أية اتصالات سلكية أو لاسلكية بين المحطات لتتبادل بواسطتها مواعيد ترحيل أو استقبال القطارات.

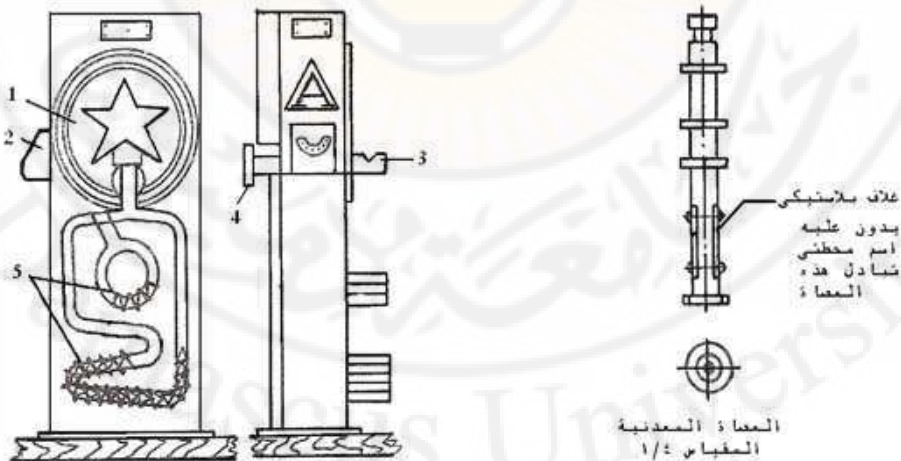
وعندما ظهرت أجهزة الإرسال السلكية وأخذت تتطور أجهزة ونظم الإشارات في الخطوط الحديدية، استخدم نظام الحجز بالعصاة المعدنية.

11-7-2- نظام الإشارات الكهر-ميكانيكي:

انتشر هذا النظام في بداية الثلاثينات من القرن العشرين ويتم باستخدام عصاة معدنية ذات شكل معين تثبت على جهاز خاص كما في الشكل (9-11).

عند ترحيل قطار من محطة معينة يتم نزع العصاة من جهاز هذه المحطة بعد حصولها على شارة كهربائية من محطة الاستقبال المجاورة بموافقتها على استقبال القطار. ثم تسلم إلى سائق القطار ويسمح للقطار فور تسلم السائق العصاة بإشغال قارعة الخط بين المحطتين. وعند وصول القطار إلى محطة الوصول يجري تسلم العصاة منه ووضعها في الجهاز أشعاراً بوصول القطار وإمكانية ترحيل قطار آخر من نفس الاتجاه أو من اتجاه مختلف. وتزود كل محطة بعصاة واحدة لكل اتجاه.

ومن أهم مساوئ هذا النظام هو الوقت الكبير الذي يستغرقه إيصال العصاة إلى سائق القطار عند ترحليه واستلامها منه عند وصوله إلى محطة الاستقبال ووضع هذه العصاة في جهاز الوصول (الكهر-ميكانيكي) إشعاراً بالوصول. وقد استخدم هذا النظام في العديد من الدول ومنها مصر إلا أنه لم يستخدم في سورية.

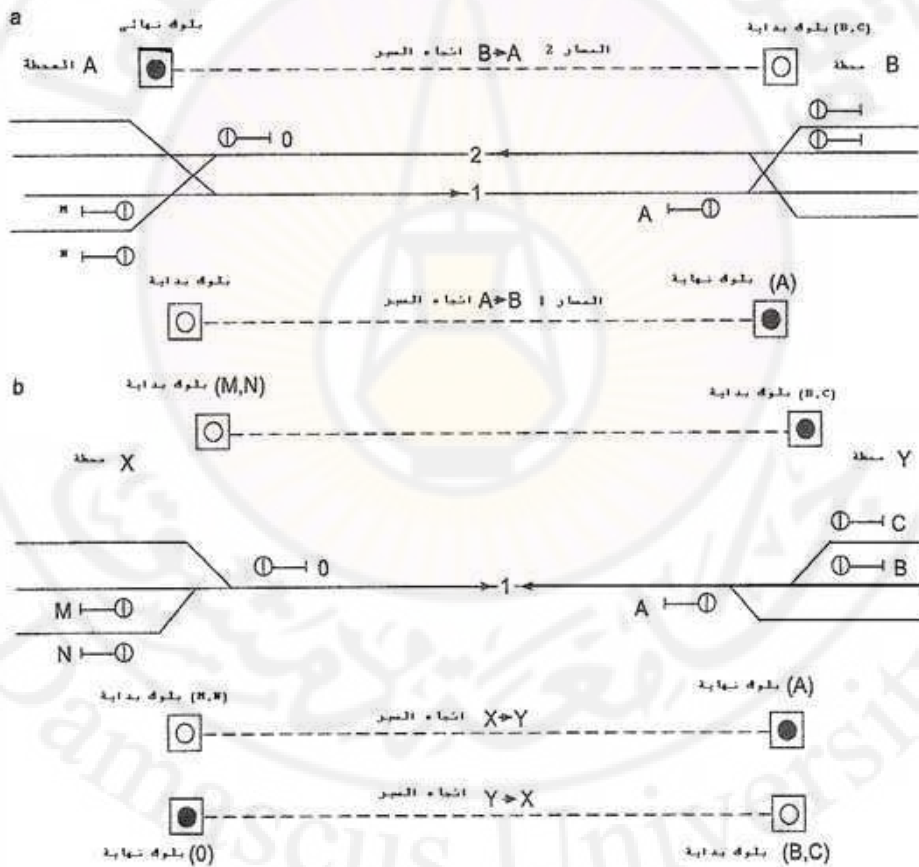


الشكل (9-11) الجهاز الكهر-ميكانيكي لنظام الإشارات

- 1- النظام القرصي، 2- جهاز قياس شدة التيار بالميلي أمبير، 3- مكان وضع العصاة عند وصول القطار، 4- قرص التدوير، 5- عدد من العصى المعدنية

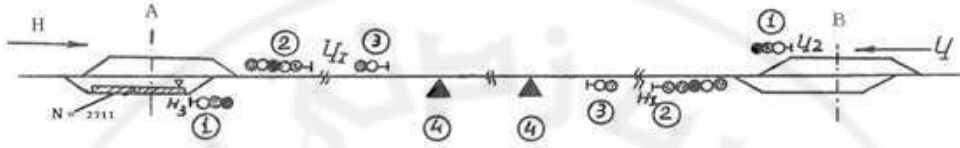
3-7-11- نظام الإشارات النصف آلي: Semi-Automatic Block System

أخذت تسمية هذا النظام بالنصف آلي من مبدأ أن المدلول الأخضر لإشارة الدخول أو الخروج يوقد من قبل مأمور الحركة نفسه أما تحويل المدلول من اللون السامح (الأخضر أو الأصفر) فيتم آلياً حال مرور القطبة الأولى للقطار لدارة الخط الموجودة خلف الإشارة مباشرة ويبين الشكل (10-11) مبدأ عمل كيفية استقبال وترحيل القطارات على خط مفرد وخط مزدوج باستخدام نظام الإشارات النصف آلي.



الشكل (10-11) يبين مبدأ عمل نظام الإشارات نصف آلي a: لخط مفرد b: لخط مزدوج

ونبين فيما يلي تتابع عمليات استقبال وترحيل القطارات في النظام المستخدم في الخطوط الحديدية السورية الشكل (11-11).



الشكل (11-11) استقبال وترحيل قطار بين محطتين بنظام نصف آلي
1- إشارة خروج، 2- إشارة دخول، 3- إشارة تحذيرية، 4- مجس (حساس)

لنفترض أنه لدينا القطار رقم 2711 واقفاً في المحطة A والمطلوب ترحيله إلى المحطة B يطلب مأمور الحركة في المحطة A من زميله في المحطة B هاتفياً السماح له بترحيل القطار 2711 باتجاه المحطة B.

عند موافقة مأمور الحركة في المحطة B، يتبادل المأموران أرقام برقيتي طلب السماح والموافقة ويدوناها في السجل الخاص في كل محطة، ثم يقوم مأمور حركة B بضغط زر إعطاء الموافقة.

ينتقد على لوحة القيادة في المحطة A من جراء ذلك مصباح أصفر هو مصباح الحصول على الموافقة. هذه الإشارة الكهربائية إضافة إلى أنها تضيء المصباح الأصفر هذا فإنها تهتئ أيضاً التيار الكهربائي ليضيء إشارة الخروج الخضراء من المحطة A المخصصة للقطار 2711 وهي H₃. بعد الحصول على إشارة الموافقة يعطي مأمور محطة A أمراً إلى المفتاحي لديه بتحضير مسار ترحيل القطار 2711 باتجاه المحطة B (إذا كان تشغيل المفاتيح في المحطة A يدوياً أو يقوم مأمور الحركة بضغط الأزرار المناسبة لوضع مفاتيح مسار ترحيل هذا القطار بالوضعية المناسبة). ثم يضغط مأمور حركة A على زر الإشارة الخضراء H₃ للخط الواقف عليه

القطار 2711. يشاهد سائق هذا القطار الإشارة الخضراء السامحة له فينطلق باتجاه المحطة B. قبل وصوله إلى المحطة B توجد دواصة كهربائية تشتغل تحت تأثير ثقل القطار فوقها فتضئ في لوحة القيادة في المحطة B لمبة صغيرة بيضاء تعني وصول القطار إلى مشارف محطته فيتخذ الإجراءات اللازمة لتحضير مسار دخول هذا القطار إلى خط خالٍ ويشعل لمبة الدخول السامحة للقطار (خضراء أو صفراء واحدة أو إشارتين صفراويتين)، وهذا لن يتم إلا إذا كانت الإشارة التحذيرية للمحطة سامحة أيضاً ويتم تشغيلها من قبل مأمور الحركة في المحطة A أيضاً.

في لحظة وصول القطبة الأولى لهذا القطار إلى نقطة وجود إشارة الدخول H_1 للمحطة B تتحول الإشارة السامحة اتوماتيكياً إلى إشارة حمراء مانعة تمنع من دخول أي قطار آخر إلى المحطة في هذا الاتجاه في هذا الوقت.

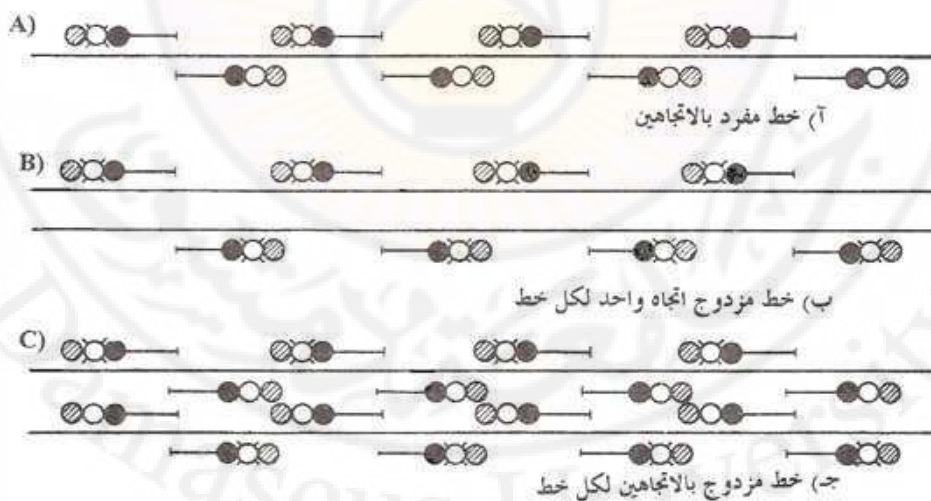
عندما يتأكد مأمور الحركة في المحطة B من وصول القطار بكامله إلى محطته بنفسه أو عن طريق المفتاحي المعني (بوجود القرص الدائري على آخر شاحنة في القطار) يضغط على زر وصول القطار فيضيء على لوحة قيادته و على لوحة قيادة المحطة A نوراً أبيض يشعر المحطتين بوصول القطار بكامله إلى المحطة B و تنتهي دورة استقبال هذا القطار، ويصبح النظام مهيباً لترحيل قطار آخر من المحطة B باتجاه المحطة A أو قطار متتالي من المحطة A إلى المحطة B بالاتجاه نفسه وبالطريقة نفسها المذكورة أعلاه. يسمح نظام الإشارات نصف الآلي بإعطاء الموافقة المسبقة على استقبال قطار من الجهة المعاكسة.

4-7-11- نظام الإشارات الآلي أو نظام الحجز الآلي Automatic Block System:

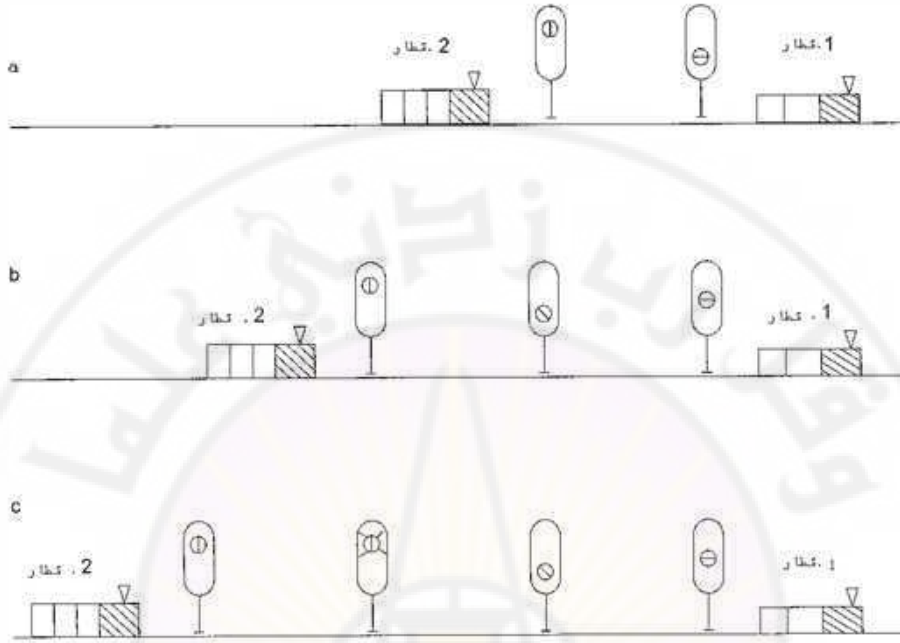
تستخدم في هذا النظام دارات الخط على كامل طول قارعة الخط بتقسيمه إلى أجزاء تسمى بالبلوك بطول 800-3000 متر وهي المسافة الفاصلة بين شاحنة عبور وأخرى.

تستخدم شاحنات العبور التي تحمل عادةً ثلاثة ألوان: أحمر، أصفر، أخضر وتوضع على مسافات زمنية متساوية مقسمة المسار بين المحطات إلى أقسام أو بلوكات، كل قسم معزول كهربائياً عن الآخر ومزود بدارة الخط. كما هو مبين بالشكل (11-12).

ينظم عمل دارات الخط الكهربائية بتغذيتها بالتيار المستمر أو المتناوب أو النبضات الكهربائية المرمزة (شيفرة) تصل محكمة دارة الخط فيحل هذه الرموز محلل كهربائي ويعطي الأمر باتقاد الضوء المناسب على إشارة العبور. ويبين الشكل (11-13) طريقة العمل بنظام الإشارات الآلي.



الشكل (11-12) يبين توضع إشارات العبور في الاتجاهين للخط المفرد وباتجاه واحد أو بالاتجاهين للخط المزدوج



الشكل (13-11) نظام الإشارات الآلي a: بلوكين، b: ثلاث بلوكات، c: أربع بلوكات

يوقد القطار الضوء الأحمر على الإشارة خلفه مباشرةً بعد أن يقطعها أول محور له، ويتقد الضوء البرتقالي على سابقتها والأخضر على سابقة سابقتها هذا في حال السير بمقطعين أما في حال السير بثلاثة مقاطع يتقد الضوء الأحمر بعد قطع أول محور ويتقد الضوء البرتقالي على سابقتها والضوء الأخضر على سابقة سابقتها وهذا يعني بأن المقطعين التاليين للإشارة غير مشغولين.

وفي حالة السير بأربعة مقاطع: يتعدّ الضوء الأحمر بعد مرور أول محور والبرتقالي على سابقتها والبرتقالي المتقطع أو الأخضر المتقطع على سابقة سابقتها والأخضر على تاليتها وهذا يشير لسائق القطار بأن ثلاثة مقاطع أمام الإشارة الأولى هي حرة (غير مشغولة).

11-7-5- نظام إشارات التحكم المركزي (C.T.C) Centralized Traffic Control

تتم بواسطة هذا النظام التحكم ومراقبة وقيادة (إدارة) حركات القطارات على قسم طويل من الخط الحديدي يضم عدة محطات مجهزة بتجهيزات هذا النظام.

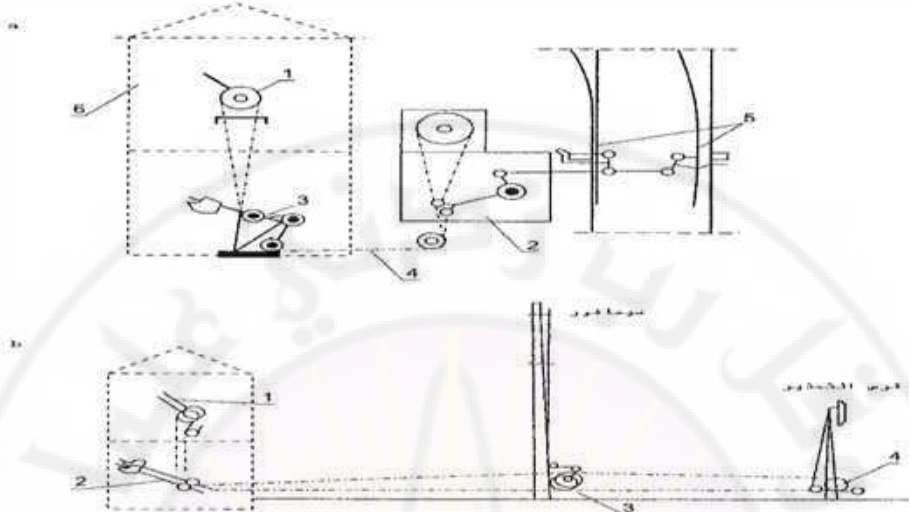
يتكون هذا النظام عملياً من نظام الإشارات الآلي بالإضافة إلى القيادة المركزية لتشغيل المفاتيح آلياً ومراقبتها وطريقة التشابك فيما بينها (Interlocking).

يقوم بتشغيل الإشارات وفتح المقصات (بالاتجاه المناسب في كل محطة) للقطارات الواصلة لهذه المحطات أو المغادرة لها مأمور واحد «مراقب الحركة المركزي». ولا يوجد في هذه المحطات عادةً مأمور حركة أو مفتاحيون بل يقوم هذا المراقب بواسطة لوحة المراقبة الموجودة أمامه الشكل (11-14) والتي يعرف منها وضعية كافة الإشارات وكافة المفاتيح في المحطات التابعة له وأماكن تواجد القطارات على قسمه هذا. عملية إدارة وقيادة حركة هذه القطارات تتم بفتح الإشارات اللازمة لها وتشغيل المفاتيح لدخولها أو خروجها من المحطات الشكل (11-15). يمكن أن يقود هذا "المراقب المركزي" حتى 15 محطة صغيرة. أما في المحطات الكبيرة فيجري قيادة إشارات ومفاتيحها من قبل مأمور الحركة فيها. إلا أن وضعية هذه الإشارات والمفاتيح تكون لدى مراقب الحركة المركزي في لوحة القيادة ويستطيع التدخل لإدارة حركة القطارات بشكل أفضل عند اللزوم.



The New Face Of Signalling And Train Control

الشكل (11-14) نظام إشارات التحكم المركزي



الشكل (11-15) a: مخطط تشغيل مركزي للمفاتيح 1- ذراع التحويل، 2- قضيب الإبرة،

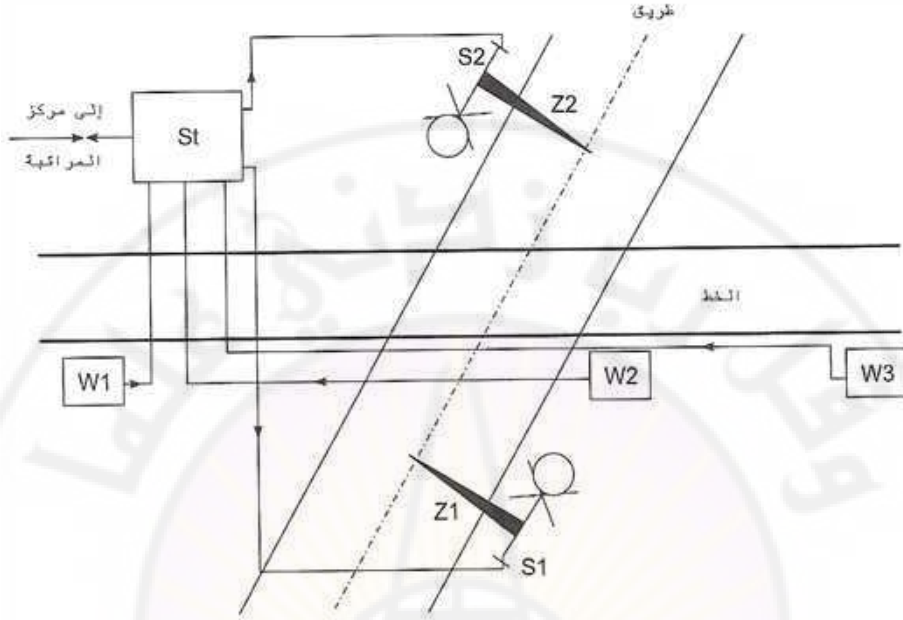
3- ذراع الشد، 4- سيخ، 5- الإبرة، 6- بناء إدارة المفاتيح مركزياً،

b: مخطط تشغيل سيمافور شكلي مع ترس تحذيري شكلي بتجهيزات ميكانيكية مركزية 1- ذراع

السيمافور، 2- ذراع الشد، 3- قضيب سحب السيمافور، 4- قضيب تغير شكل قرص التحذير

8-11- إشارات وأجهزة التقاطعات والحواجز الآلية:

تنبيه هذه الإشارات مستخدم الطريق المتقاطع مع الخط الحديدي بوساطة أجراس وأضواء حمراء منقطعة عند اقتراب القطار من التقاطع وتعني وجوب توقف حركة وسائل النقل الأخرى قبل التقاطع الشكل (11-16). تضاف إلى هذه الإشارات عند الحاجة حواجز لإغلاق الطريق آلياً أمام حركة السيارات. وتعطي إشارات التقاطعات مدلولاً آخر لسائق القطار يبلغه عن جاهزية التقاطع للعبور أو توقفه لوجود عائق ما مثل سيارة واقفة فوق الممر لسبب ما.



الشكل (11-16) مخطط تجهيزات دارة تقاطع خط حديدي مع طريق تعمل بشكل آلي
حيث: St أجهزة التوجيه W₃، W₁ أجهزة الوصل W₂ تجهيزات الفصل S₂، S₁ إشارتي الطريق
Z₂، Z₁ حاجز إغلاق الطريق

9-11- أجهزة الإشارة الموجودة على متن القاطرة:

وهي مكرر الإشارة وزراع اليقظة وهي تفيد في:

- 1- مراقبة يقظة السائق.
- 2- تسهيل عمل السائق من خلال نقل الإشارات من قارعة الخط إلى لوحة كابين القيادة.
- 3- مراقبة عدم تجاوز السرعة المسموحة.
- 4- توقيف القطار بشكل آلي.

11-9-1- مكرر الإشارة:

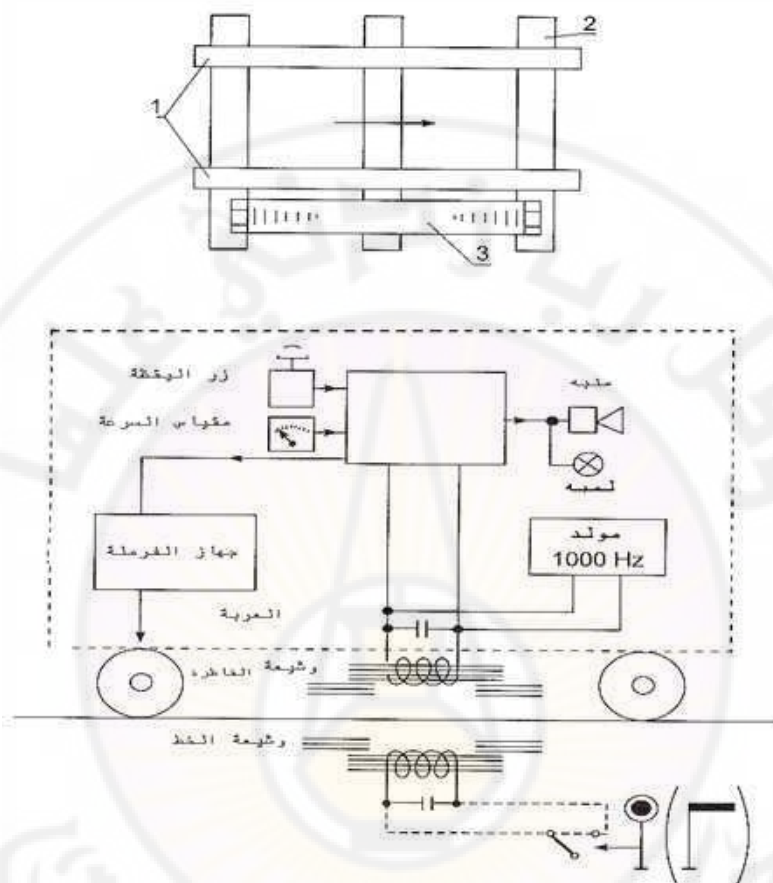
عند تحرك القاطرة فوق الخط المجهز بأجهزة الحجز الآلي ترسل إليها من دارة الخط الكهربائية رموز كهربائية تختلف حسب مدلول الإشارة المتقدمة على الشاحنة الموجودة أمام القاطرة.

تلتقط هذه الرموز وشائع خاصة موجودة في مقدمة وأسفل القاطرة وترسل هذه الشائع إلى مضخم ومحلل رموز فيوقد على لوحة القاطرة أمام السائق ضوء مماثل لمدلول الإشارات التي يتقدم القطار نحوها. تفيد هذه الإشارة بتسهيل عمل السائق من خلال نقل المعلومة إلى غرفة القيادة وتجنب السائق الاعتماد على الرؤية المباشرة وخاصة في الظروف الجوية السيئة. ويبين الشكل (11-17) مخطط دارت نقل مدلول الإشارات من قارعة الخط إلى كابين القيادة.

11-9-2- ذراع اليقظة:

ترافق أجهزة إشارة القاطرة أجهزة إنذار تعمل عند اقتراب القطار من ضوء أصفر أو أحمر بحيث تنذر السائق صوتياً وضوئياً بوجوب تخفيض السرعة أو التوقف، وتتأكد هذه الأجهزة من يقظة السائق عندما يضغط على ذراع اليقظة بشكل دوري وإن لم يفعل ذلك ألجم القطار بوساطة هذه التجهيزات.

تطورت هذه الأجهزة حالياً إلى نظم أكثر تقدماً وأصبحت تقدم بالإضافة إلى ألجم الآلي تخفيض سرعة القطار إلى الحد المسموح عنده تجاوز القطار لإشارة صفراء أو إشارتين صفراويتين.



الشكل (11-17) a: مخطط توضع الو شعيرة على الخط

1- قضيب الخط، 2- عوارض، 3- وشعيرة

b: مخطط عمل الفرملة الآلية



الفصل الثاني عشر المحطات

12-1- تعاريف:

المحطة:

هي مجموعة التجهيزات للخطوط والتي تحوي مفتاح واحد على الأقل تتطلق منها القطارات أو تتوقف فيها أو تتجاوز أو تتقاطع أو تغير خطوطها. وهناك خطأ شائع حيث يقتصر تعريف المحطة على مبنى الركاب الذي يؤمن التبادل بين النقل السككي والطريقي.

12-2- تصنيف المحطات:

12-2-1- التصنيف حسب الوظيفة:

1- محطات ركاب:

تتحصر مهمتها الرئيسية في تأمين حركة الركاب والأمتعة والبريد. وتتألف بشكل رئيسي من خطوط الاستقبال والترحيل والأرصفة مبنى للركاب والأرصفة ومداخل ومخارج للوصول إلى الخطوط والخدمات الضرورية للركاب ولتشغيل المحطة (مثال: محطة القدم ومحطة حمص للركاب).

2- محطات البضائع:

مهمتها الأساسية نقل البضائع والحاويات. تتألف بشكل رئيسي من خطوط التحميل والتفريغ وصلات البضائع والمنصات اللازمة لذلك ووحدات الرافعات والعنابر وساحات التخزين والخطوط والمفاتيح. (مثال: محطة حمص للشحن).

3- محطات الفرز:

وهي المحطات التي يتم فيها تفكيك وتركيب وإعادة تشكيل قطارات البضائع. وتكون قرب المراكز الصناعية والتجارية الهامة. تتألف بشكل رئيسي من خطوط الاستقبال وخطوط الفرز وخطوط الترحيل وحلبة الفرز. (مثال: محطة السبينة للشحن).

4- محطات المعامل:

وتنشأ في المعامل وترتبط بشبكة الخطوط الحديدية بتفريعة عنها وتكون ذات استقلالية نسبية. تؤدي وظيفة محددة حسب طبيعة المنشأة الاقتصادية (ميناء، منجم، مدينة صناعية) مثال: محطة ميناء اللاذقية، مناجم الفوسفات في محطة الشرقية لمناجم الفوسفات.

12-2-2- التصنيف حسب الشكل:

أ - محطة نهائية أو رأسية:

تصل وتغادر القطارات إليها من جهة واحدة وتنتهي فيها الخطوط بمصادم. ويكون عادةً مبنى الركاب في وضع عرضاني كما يمكن أن يكون موازٍ للخطوط. (محطة الحجاز بدمشق).

ب - محطة وسطية:

تكون حركة القطارات إليها من الجهتين (الوصول، الترحيل، التلاقي، التجاوز). مثال: المحطات المتوضعة على الخطوط الجرية في شبكة الخطوط الحديدية (محطة النعامية).

ج - محطة ربط وسطية:

وهي مثل المحطة الوسطية ولكنها تضم خطوط ربط بين الخطوط الرئيسية وخطوط ثانوية. مثل المحطات عند التفريعات إلى الموانئ أو المعامل. (محطة خنيفس باتجاه المدينة الصناعية في حسيا).

د - محطة فصل (تقسيم):

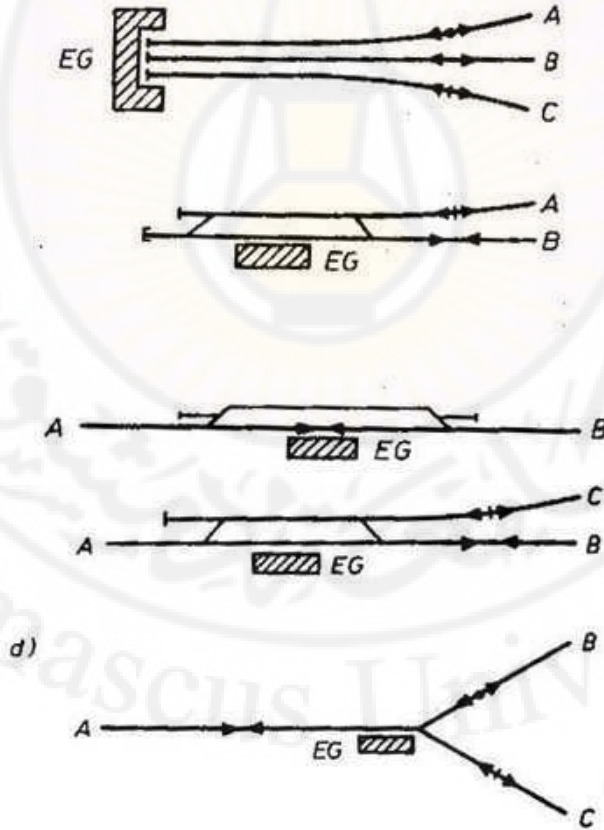
يتم فيها تفريع الخطوط إلى اتجاهين أو أكثر. (محطة مهين).

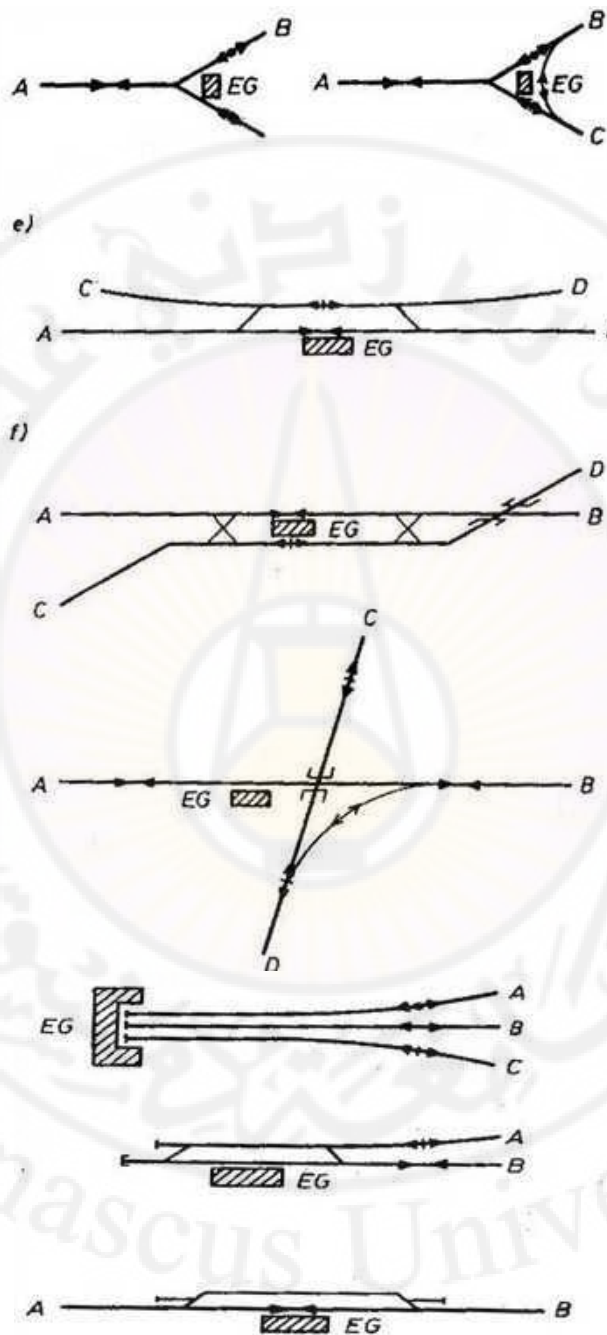
هـ - محطة مماسية:

وفيها يتم تماس خطين جارئين من اتجاهين دون أن يكون تقاطع بينهما أو إمكانية لانتقال العربات أو القطارات بينهما. (محطة القدم خط ضيق ونظامي).

و - محطة تقاطع:

وتتقاطع فيها الخطوط من اتجاهين أو أكثر ويمكن أن يكون التقاطع في مستوٍ واحد أو في مستويين. (المحطة المستقبلية لمدينة المعارض الجديدة بدمشق).





الشكل 1-12: تصنيف المحطات حسب الشكل

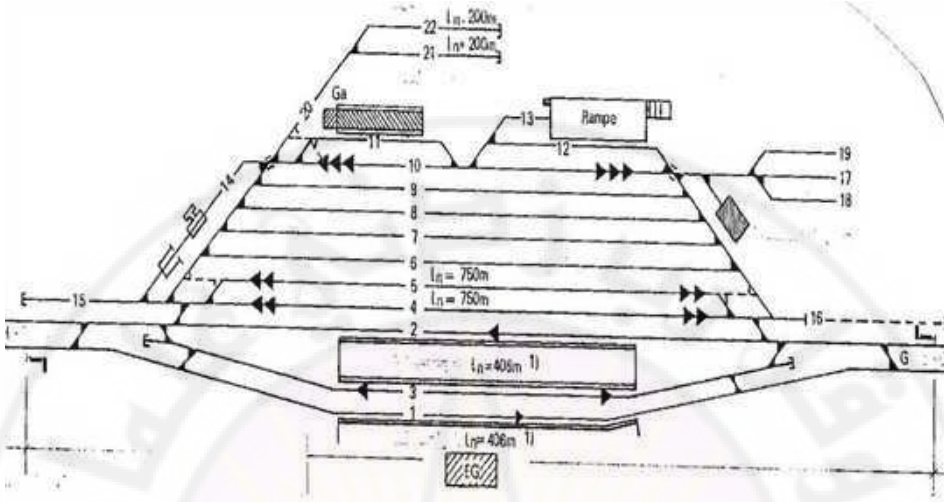
3-12- أنواع الخطوط في المحطات:

أ- خطوط رئيسية:

- 1- خطوط الاستقبال والترحيل (الخطين 1 و 2).
- 2- خطوط التجاوز لقطارات الركاب (الخط 3).
- 3- خطوط التجاوز لقطارات البضائع (الخطان 4 و 5).

ب- خطوط ثانوية:

- 1- خطوط تجميع وانتظار لقطارات البضائع (الخطوط 6 و 7 و 8).
- 2- خط ترتيب (الخط 9).
- 3- خط عبور (الخط 10).
- 4- خط صالة البضائع (الخط 11).
- 5- خطوط منصة التحميل (الخطان 12 و 13).
- 6- خط القبان (الخط 14).
- 7- خطوط السحب (الخطان 15 و 16).
- 8- خطوط الربط (الخطوط 17 و 18 و 19).
- 9- خطوط التحميل (الخطوط 20 و 21 و 22).



الشكل 2-12: أنواع الخطوط في المحطات

4-12- أسس تصميم الخطوط في المحطات:

1-4-12- الميول الطولية:

ينطلق في تحديد الميول الطولية من إمكانية وقوف عربة مفردة أو مجموعة عربات غير مفرملة (بدون مكابح) دون خطر الحركة تحت تأثير وزنها الذاتي.

إن الحالة الفنية للعربات وميكانيكية نقل الحركة تحدد قيم الميول الطولية للخطوط في المحطة. وتبلغ في المحطات القديمة 2.5‰ (1:400). مع تطور صناعة العربات وانخفاض المقاومات الأساسية لها فإن الميول الطولية للخطوط في المحطات الحديثة يجب ألا تتجاوز 1.666‰. ويفضل أقل من 1.5‰.

2-4-12- الخطوط الرئيسية:

تصمم الخطوط الرئيسية العابرة ضمن المحطات بحيث لا تخضع سرعة القطارات العابرة لأي تخفيض. وتعامل هذه الخطوط معاملة الخطوط الجرية من حيث المواصفات الهندسية (أنصاف أقطار المنحنيات أكبر من 300 متراً ويفضل أكبر من 500 متراً مع منحنيات انتقالية والرفع الإضافي).

عندما نجهز الخطوط الرئيسية العابرة الواقعة ضمن منحنيات بأرصفة ضمن المحطات فإنه يسمح بعلو إضافي أعظمي مقداره 60 ملم وذلك لصعوبة صعود أو نزول الركاب في الوضعية المائلة للعربات عند زيادة العلو الإضافي عن هذه القيمة. وعندما تكون السرعة على هذه الخطوط أكبر من 120 كم/سا لا تجهز عندها بالأرصفة.

12-4-3- خطوط التجاوز:

وهي خطوط رئيسية ضمن المحطة وتستخدم للتجاوز أو تقاطع القطارات. تحدد السرعة المسموحة على هذه الخطوط بـ 60 كم/سا ونصف قطر لا يقل عن 180 م ولا تستخدم فيها المنحنيات الانتقالية أو الرفع الإضافي.

12-4-4- الخطوط الثانوية:

تستخدم الخطوط الثانوية في المحطات لأعمال المناورة. وتكون السرعة أقل من 20 كم/سا ونصف قطر لا يقل عن 180 م. ولا تستخدم فيها المنحنيات الانتقالية أو الرفع الإضافي.

12-4-5- خطوط الربط:

وهي خطوط تتفرع لتخدم منشآت خاصة (معامل، موانئ، مناجم) ولا يسمح بالتفرع إلا ضمن المحطات. وتعامل مثل الخطوط الثانوية أي $V \leq 20 \text{ Km/h}$ ولا تستخدم فيها المنحنيات الانتقالية أو الرفع الإضافي ونصف قطر لا يقل عن 180 م وفي حالات الضرورة يسمح بنصف قطر 150 م.

12-4-6- التباعد بين محاور الخطوط الجرية:

إن التباعد بين محاور الخطوط له أهمية خاصة لأسباب تشغيلية وحركية ولاستعمالات الأراضي في المحطات. ولذلك ينصح بأن تكون الخطوط المتجاورة متوازية بما يسمح باستخدام تباعدات أصغرية بين المحاور.

يقاس التباعد بين المحاور أفقياً من محور خط إلى محور خط مجاور. ويتأثر

التباعد بين المحاور بوجود منشآت بين الخطوط (أعمدة الإشارات أو أعمدة كهربية الخطوط) ويجب في جميع الأحوال المحافظة على وسعة الخط.

في الخطوط الجرية يكون التباعد بين المحاور 4.00 م وهذا يوافق ما مقداره نصف الوسعة (2.00 م) لكل خط كما أنه يفترض أنه لا توجد أي منشآت بينها مثل أعمدة الإشارات أو أعمدة كهربية الخطوط. وفي المنحنيات الصغيرة ($R < 250$) يجب الأخذ بعين الاعتبار مقدار التعريض الإضافي للوسعة ويكون التباعد بين المحاور:

$$a = 4.00 + b$$

$$b = \frac{3600}{R}$$

a: التعريض الإضافي (مم).

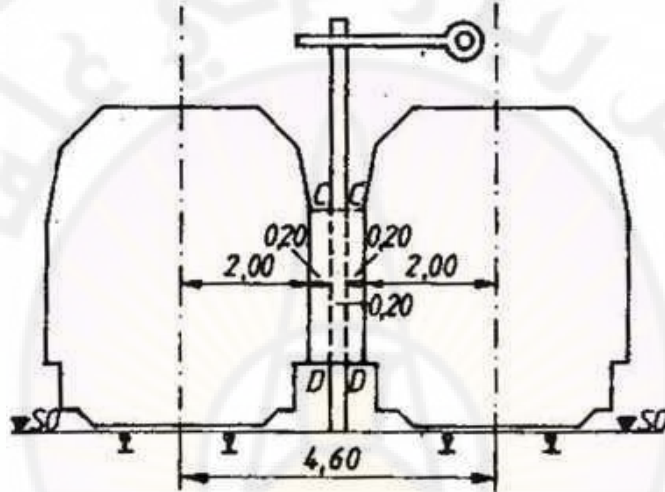
R: نصف قطر المنحني (م).

يتم تقريب القيمة a إلى أقرب 50 مم. من أجل $R > 4000$ m لا يوجد تعريض إضافي. يبين الجدول التالي التباعد بين المحاور a حسب قيمة R.

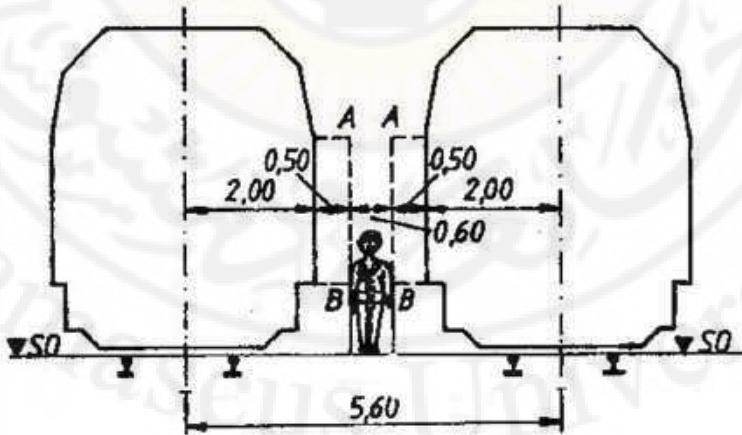
الجدول 1-12

R (m)	a (mm)
>4000	4.00
720-4000	4.10
360-720	4.20
300-360	4.25
180-300	$a = 4.00 + b$

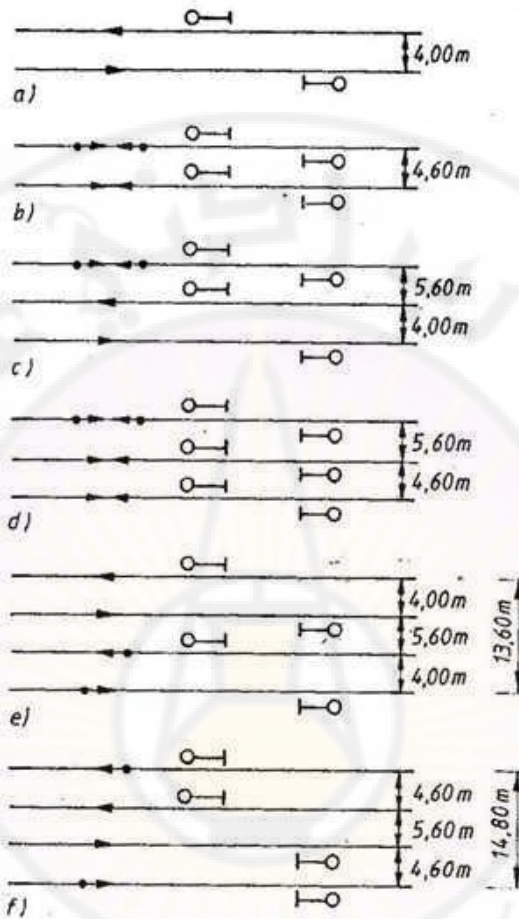
عند وجود أعمدة الإشارات بين الخطين يؤخذ التباعد بين المحاور مساوياً 4.60 م (الشكل 3-2). عند ضرورة وجود فراغ لحماية لعمال الخطوط يزداد التباعد بين الخطوط إلى 5.60 م (الشكل 4-2). وعند وجود عدة خطوط متجاورة يزداد التباعد بين الخطوط (الشكل 5-2).



الشكل 3-12: التباعد بين المحاور عند وجود أعمدة الإشارات



الشكل 4-12: التباعد بين محاور الخطوط لحماية العاملين



الشكل 5-12: التباعد بين محاور الخطوط المتجاورة

أ- خط مزدوج (كل خط باتجاه واحد فقط)

ب- خط مزدوج قطار سريع وخط مزدوج قطار ضواحي

ج- خط مزدوج قطار سريع وخط مفرد قطار ضواحي

د- خط مفرد قطار سريع وخط مفرد قطار ضواحي

هـ- خط مزدوج قطار سريع وخط مزدوج قطار ضواحي

و- خط مزدوج قطار سريع وخط مزدوج قطار ضواحي

12-4-7- التباعد بين محاور الخطوط في المحطات:

يجب أن يحقق التباعد بين محاور الخطوط في المحطات تأمين الوسعة بالإضافة إلى إمكانية وضع الإشارات بين الخطوط وكذلك أعمدة الإنارة وتأمين الفراغ اللازم لعمال الخدمة. لذلك ينصح بأن يكون التباعد $a = 5.00 \text{ m}$. كما يسمح هذا التباعد للقطارات على الخطوط الرئيسية في المحطة بسرعات مسموحة حتى 60 كم/سا بأمان. ويجب زيادة المسافة بين مجموعات الخطوط (كل مجموعة تتألف من 6 إلى 8 خطوط) لتصبح $a_G = 6.50 \text{ m}$.

يجب تأمين التباعد بين الخطوط في المحطة من بداية المحطة أي من إشارة الدخول إلى المحطة. ولأسباب اقتصادية يمكن اعتبار بداية المحطة من وجهة النظر البنيوية هو أول مفتاح دخول. وتكون المسافة عادةً بين إشارة الدخول إلى المحطة وأول مفتاح دخول 100-200 م. وهذا يوفر في أعمال الإنشاء للمحطة (أعمال الترابية، التصريف، جدران الحماية...).

يتم الانتقال من التباعد بين الخطوط الجرية إلى المحطة بشكل تدريجي وهو ما يعرف بإزاحة الخطوط. تكون الإزاحة باستخدام منحنيين دائريين متعاكسين مع استقامة بينهما أو بدونها. يعطى نصف قطر المنحني المستخدم بالعلاقة:

$$R = 0.25 V^2$$

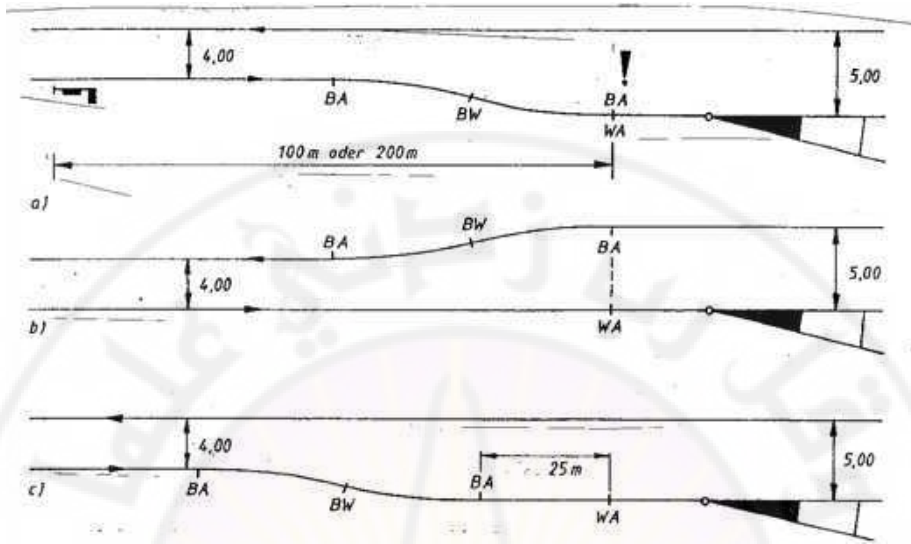
ويبلغ الطول اللازم لتحقيق الإزاحة.

$$L \approx 2 \sqrt{R * e}$$

R: نصف قطر المنحني.

e: الإزاحة الجانبية.

تتم الإزاحة بحيث تترك مسافة تهدئه أمام أو مفتاح دخول حوالي 25 م (الشكل 2-6).



الشكل 12-6: إزاحة الخطوط في بداية المحطة

أ- إزاحة خاطئة

ب- إزاحة الخط المجاور

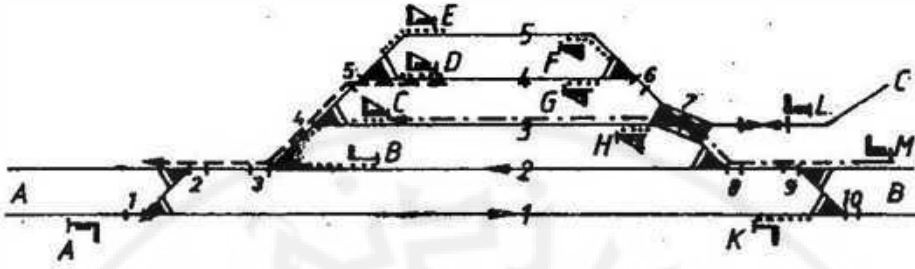
ج- إزاحة الخط الرئيسي

BA: بداية المنحني، BW: نقطة الانعطاف، WA: بداية المفتاح

8-4-12- مسار الدخول ومسار الخروج:

إن المبدأ الأساسي في تشغيل القطارات هو درجة الأمان العالية للركاب أو البضائع. يتم توفير الأمان لحركة القطارات باستخدام الإشارات بمختلف أنواعها والتي تحدد السماح أو المنع للحركة كما تحدد السرعة المسموح على الخطوط. إن الأجزاء من الخط المحددة بالإشارات في بدايتها أو نهايتها المؤمنة من خلال مدلولات الإشارة تسمى مسار الدخول.

يمتد مسار الدخول من إشارة الدخول للمحطة مروراً بجميع المفاتيح المرتبطة بالمسار وصولاً إلى خط الاستقبال وينتهي عند إشارة الخروج. ولزيادة الأمان تضاف مسافة خلف إشارة الخروج تسمى مسافة التزحلق بسبب احتمال متابعة سير القطار بعد إشارة الخروج بشكل غير مقصود (الشكل 2-7).



الشكل 7-12: مسار الدخول ومسار الخروج

..... مسار الدخول للدخول من الاتجاه B للخط 3

..... مسار الخروج للخروج إلى الاتجاه A للخط 4

----- مسافة التزحلق

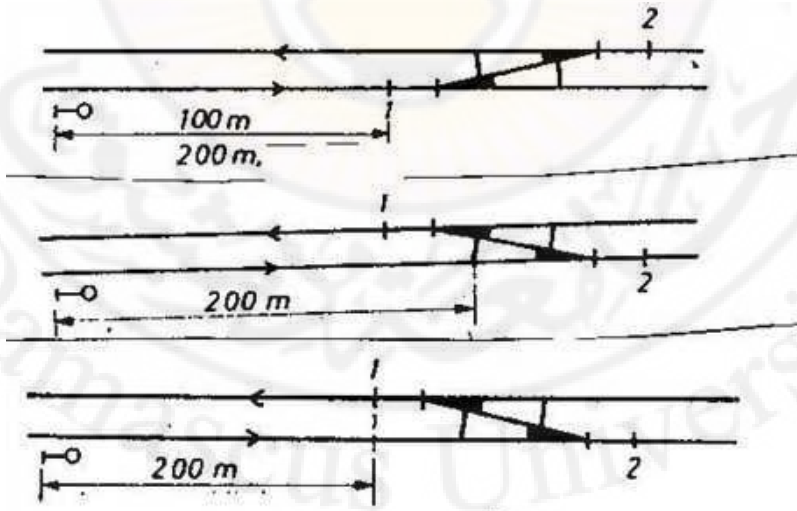
يمتد مسار الخروج من إشارة الخروج مروراً بجميع المفاتيح المرتبطة بالمسار حتى آخر عمود رأب. أما مسافة التزحلق فتتمدد من إشارة الخروج للخط وتنتهي عند عمود الرأب لأول مفاتيح يليه، وتساوي 200 م عند الخول على الخط الرئيسي بسرعة أكبر من 60 كم/سا و 50 م على خط يتجاوز بسرعة أقل من 60 كم/سا.

9-4-12- أماكن إشارات الدخول:

تعتبر إشارة الدخول من وجهة النظر التشغيلية هي بداية المحطة. وتوضع عند كل خط من الخطوط الداخلة إلى المحطة من كل اتجاه، وتكون عادة على اليمين بمسافة من 2.20 إلى 2.70 م وبحيث لا تدخل ضمن الوسعة. وفي حالات الضرورة توضع على جسر خاص بالإشارات فوق الخطوط. يجب رؤية الإشارة بالكامل في الليل والنهار ولا تترك أي مجال للاختلاط بينها. ويجب مشاهدتها من مسافة لا تقل عن $d = \frac{10V}{4}$ وللإشارات الرئيسية مسافة $d = \frac{10V}{3}$ وفي جميع الحالات لا تقل عن 200 م.

تتوضع إشارات الدخول قبل مسافة كافية من أول نقطة في المحطة. وتعتبر هذه النقاط النقاط الخطرة وهي:

- بداية أول مفتاح على امتداد على الخط الجاري.
- أول عمود رأب على امتداد على الخط الجاري عندما يكون اتجاه الدخول للمحطة من عقب المفتاح.
- إشارة المناورة لاسيما للخطوط المفردة.
- النقطة التي تتوقف فيها القطارات عادة ولا يوجد بينها وبين إشارة الدخول مفاتيح.
- يجب ألا تقل المسافة بين إشارة الدخول والنقطة الحرجة عن 100 م وتزداد إلى 200 م في الحالات التالية:
- إذا كانت السرعة أكبر من 100 كم/سا.
- إذا كانت الميول الطولية أكبر من 10‰.
- في الخطوط المكهربة.
- ويمكن زيادة المسافة حتى 300 م كما يمكن تخفيضها في بعض الحالات المبررة.



الشكل 8-12: توضع إشارات الدخول والنقاط الخطرة

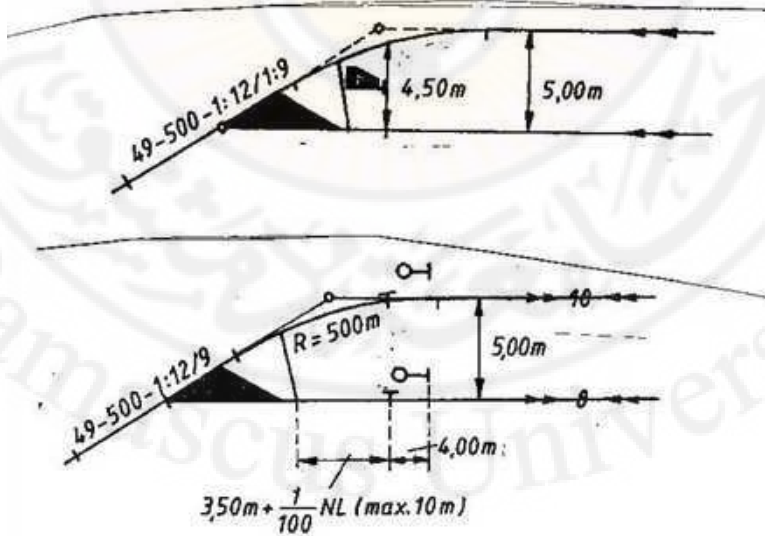
10-4-12- أماكن إشارات الخروج:

تتوضع إشارات الخروج عند جميع الخطوط التي تستخدم لترحيل القطارات بشكل دوري. وتحدد أماكنها بحيث يكون للخط المعني أكبر طول مفيد. في محطات الركاب يجب أن تصل قطارات الركاب إلى الأرصفة لتخديم الركاب. وتوضع إشارات الخروج قبل بداية الطول المفيد للرصيف بحيث لا تتوقف قاطرة الجر عند نهاية الرصيف أي المسافة من نهاية الرصيف وحتى الإشارة يساوي طول القاطرة.

بالنظر إلى وضعية المفاتيح في المحطة فإن المسافة بين إشارة الخروج وحتى عمود الرأب يليها تساوي 50 م إذا كانت إشارة التزحلق خلف إشارة الخروج .

وعند التشغيل الميكانيكي للمفاتيح توضع إشارة الخروج اقرب ما يمكن إلى عمود الرأب وبحيث تكون المسافة بين محوري الخطين عند الإشارة تساوي 4.5 متراً.

عند التحكم المركزي للمفاتيح توضع إشارة الخروج قبل فاصل العزل الكهربائي بمسافة 4 أمتار، ويبعد هذا الفاصل عن عمود الرأب مسافة لا تزيد عن 10 م.



الشكل 9-12: توضع إشارة الخروج

أ- تشغيل ميكانيكي للمفاتيح ب- تحكم مركزي للمفاتيح

11-4-12- مفاتيح الحماية:

تتوضع مفاتيح الحماية على خطوط التجاوز المجاورة مباشرة للخطوط الرئيسية في المحطة وذلك لأمان الحركة على الخطوط الرئيسية حيث احتمال حدوث:

- تعطل المكابح لأحد القطارات المتحركة على خط مجاور للخط الرئيسي.

- دفع إحدى العربات باتجاه الخلف تحضيراً للانطلاق.

- فصل عربات من أحد القطارات.

تتوضع مفاتيح الحماية بأحد الحالتين:

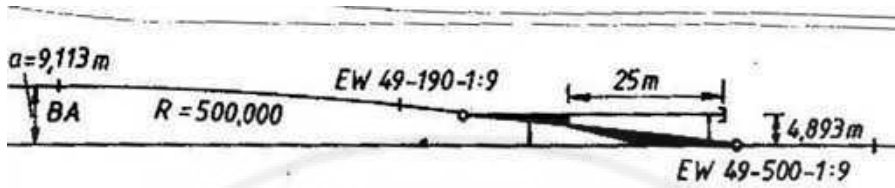
أ- مفاتيح الحماية من الجهتين.

ب- مفاتيح الحماية من جهة واحدة.



الشكل 10-12: مفاتيح الحماية

تكون مفاتيح الحماية قريبة من مفاتيح الدخول بحيث لا يسمح بوقوف أي عربة بينهما (أي بين مفتاح الحماية ومفتاح الدخول). عادةً تكون مفاتيح الحماية بنصف قطر $R = 190$ m وبحيث يكون الخط الأساسي في المفتاح على استمرارية خط التجاوز والخط الفرعي باتجاه خط الحماية يطول 25 m من نهاية لمفتاح وحتى المصدم.



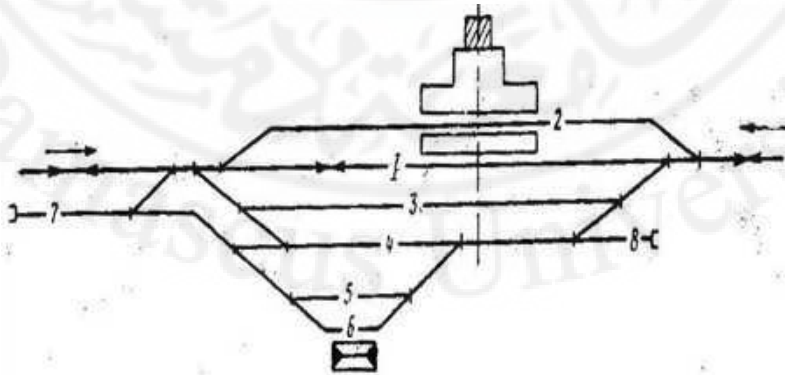
الشكل 11-12: نموذج لمفتاح حماية

12-4-12- الأطوال المفيدة للخطوط:

تحدد الأطوال المفيدة للخطوط بحيث يستطيع أيعرف الطول المفيد بأنه الجزء من الخط الذي يسمح لأطول قطار بالوقوف عليه دون أن يعيق الحركة على الخطوط المجاورة. أما الطول الكلي فهو المسافة بين بدايتي مفتاحي الدخول والخروج.

يحدد الطول المفيد للخط حسب الحالات التالية:

- أ- من إشارة الخروج لاتجاه وعمود الرأب للاتجاه المقابل (خطوط الاستقبال والترحيل 1، 2، 3).
- ب- من عمود أرأب حتى المصدم (خط السحب 7 وخط الرأب 8).
- ج- من بداية مفتاح الى عمود رأب (خط المناورة 4).
- د- بين عمودي رأب (خطي التحميل والتفريغ 5، 6).
- هـ- بين بدايتي مفتاحين (خط القبان 9).



الشكل 12-12: حالات الطول المفيد

مثال لتحديد الطول المفيد لخط استقبال قطارات ركاب. يتكون أطول قطار من 16 عربة، يبلغ طول العربة الواحدة 26.40 م، يؤخذ طول القاطرة 20 متراً.

$$\text{أطوال العربات } 16 * 26.40 = 422.40.$$

طول القاطرة 20 m.

مسافة عدم دقة التوقف 5 m.

طول قاطرة سحب 20 m.

مسافة عدم دقة التوقف لقاطرة سحب 5 m.

المجموع 472.40 m.

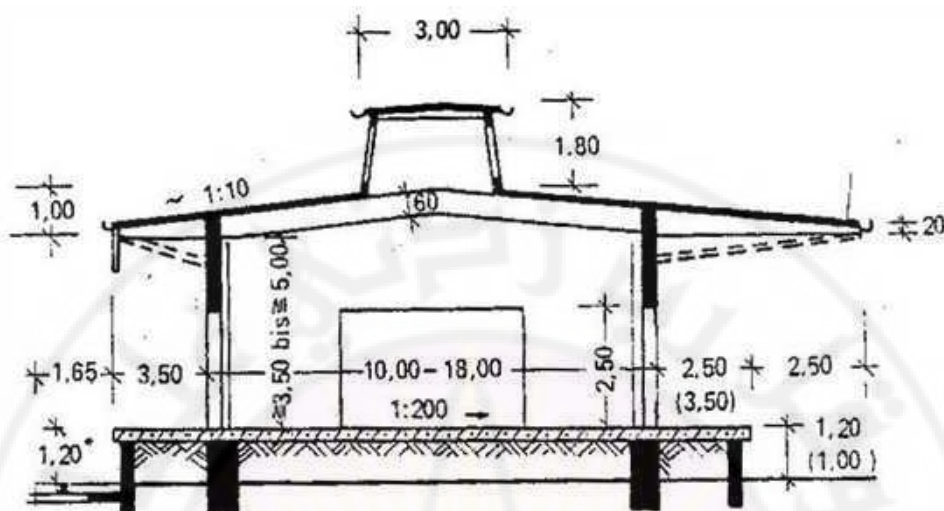
12-4-13- صالات البضائع:

ننطلق بشكل أساسي في تصميم صالات البضائع من عمليات الشحن والتفريغ الممكنة باستخدام الروافع الشوكية أو الجر الكهربائي للعربات. تحدد المساحة اللازمة على أساس حجم البضائع مقدرة بالطن جري.

من أجل ترحيل واستقبال البضائع المصنقة يلزم 9-11 م²/طن جري. تضاف مساحات بمعدل 135% لتأمين مجال الحركة لوسائل الشحن والجر.

يؤخذ عرض صالات البضائع من 10-18 م وبطول لا يتجاوز 400 م وتزود بأبواب بعرض 4 م مقاومة للحريق كل 50-60 م، وارتفاع أكبر من 5 م عند وجود رفوف من ثلاثة طبقات ولا يقل عن 3.5 م عند عدم وجود رفوف.

أما منصات التحميل فيبلغ عرضها من جهة الخط الحديدي 3.5 م وذلك لاستخدام الروافع الشوكية، و2.5 م من جهة الطريق ويمكن زيادته إلى 3.5 م. يبلغ ارتفاع منصات التحميل عن منسوب أعلى القضبان 1.20 م. تبلغ المسافة بين البوابات في الصالة 10-12 م أي ما يعادل طول قطار العربات. أما أبعاد هذه البوابات فهو 3*2.5 م. تكون أرضيات الصالات مزودة بطبقة اهتراء اسفلتية أو من مواد قاسية.



الشكل 13-12: نموذج صالة بضائع

مثال:

بفرض حجم البضائع المنقولة 20 طناً بضائع مرسلة و 25 طناً بضائع مستقبلية أي ما مجموعه 45 طناً.

$$\text{المساحة المخصصة للبضائع 45 طن} * 10 \text{ م}^2/\text{طن} = 450 \text{ م}^2$$

$$\text{المساحة الإضافية اللازمة لعمل وسائل الشحن} 135\% * 450 = 607.5 \text{ م}^2$$

$$\text{المجموع } 1057.5 \text{ م}^2 \text{ وتعتمد } 1060 \text{ م}^2$$

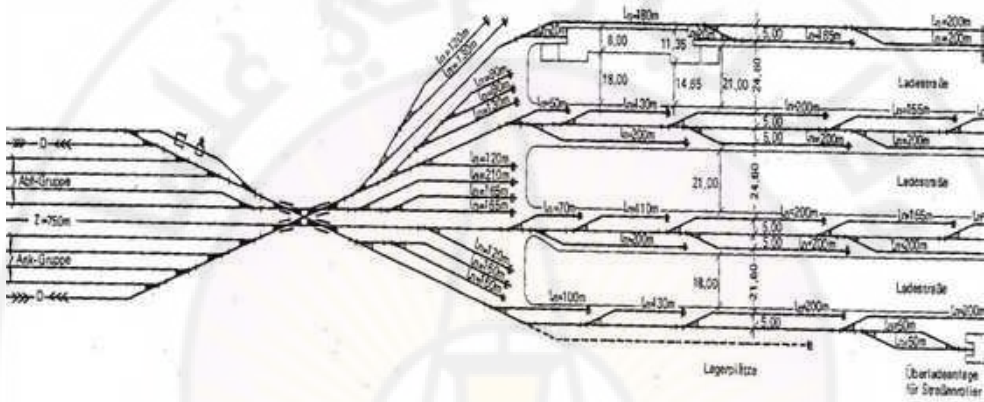
لتحديد ابعاد الصالة نفرض ان استطاعة العربة 5 طناً أي ما يعادل 5 عربات لكل 11م طولي، ومسافة ربط 6 م وعليه يكون طول الصالة $60 = 12 * 5$ م

$$\text{ويكون العرض } 17.66 = 60 \div 1060 \text{ م يؤخذ } 18 \text{ م}$$

عدد البوابات 5 بوابات من جهة الخط و 5 بوابات من جهة الطريق.

12-4-14- طرق التحميل:

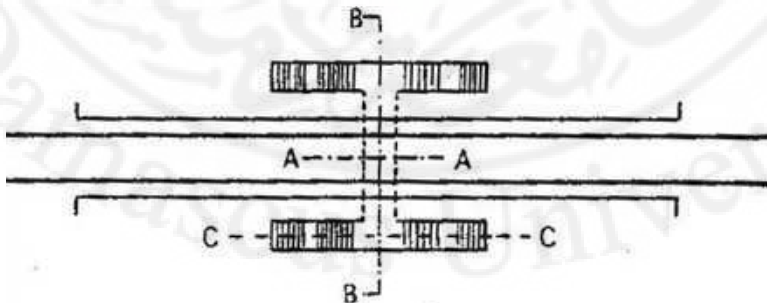
توفر طرقات التحميل ضمن محطات البضائع وصول سيارات البضائع المحملة بالصناديق والبالات والحيوانات الحية وغيرها الى أرصفة التحميل والتفريغ. تزود هذه الطرقات بمرتقيات جانبية ورأسية.

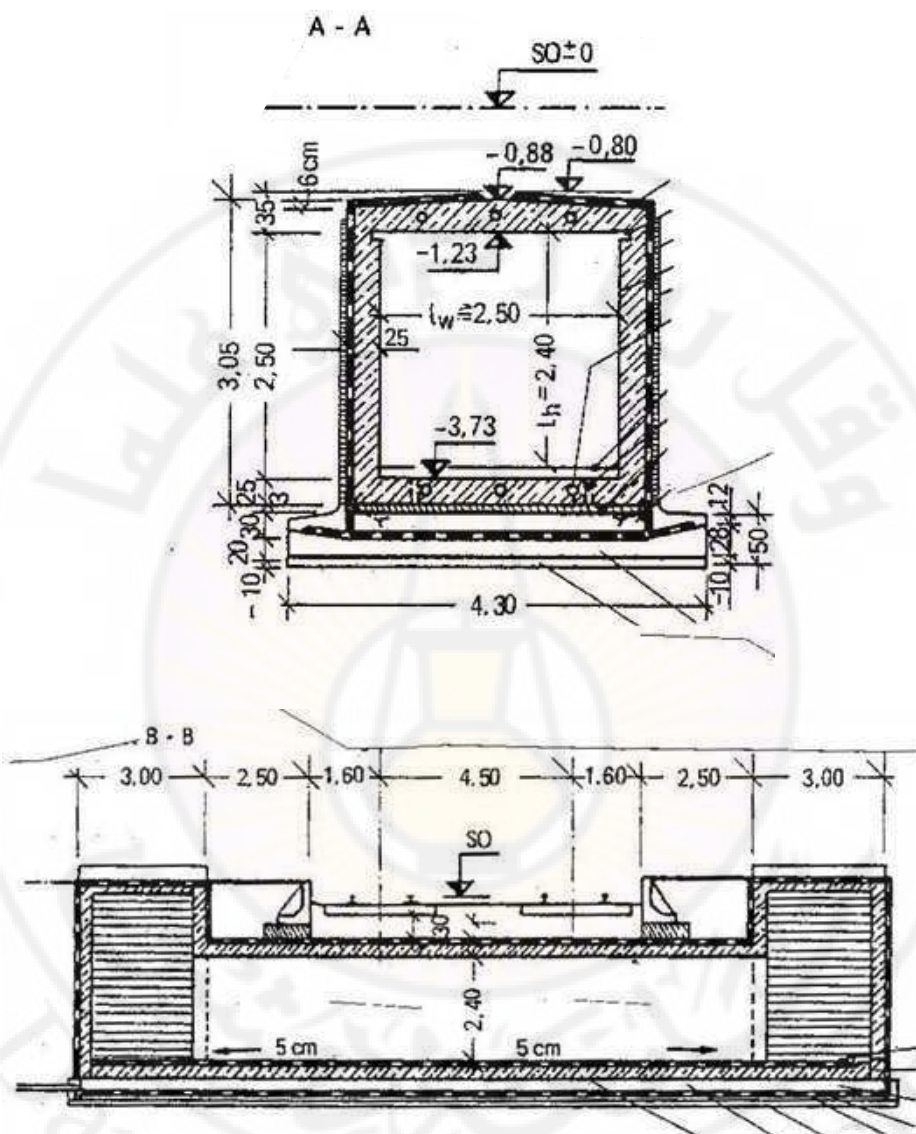


الشكل 12-14: مسطح في محطة بضائع وتظهر فيه طرق التحميل

12-4-15- أنفاق المشاة:

تزود المحطات بأنفاق للمشاة لتسهيل انتقال الأفراد من مبنى الركاب إلى الأرصفة وبين الأرصفة بشكل آمن دون الاضطرار للعبور فوق الخطوط. يؤخذ عرض النفق الأصغري 4 م وبارتفاع لا يقل عن 2.4 م.





الشكل 15-12: مسطح مع مقاطع في نفق للمشاة

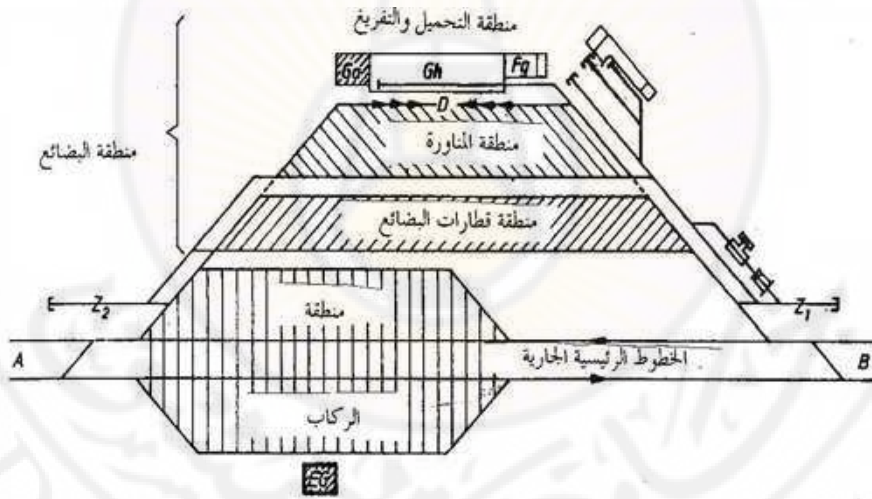
أ- مسطح، ب- مقطع عرضي في النفق، ج- مقطع طولي في النفق

12-5- مكونات المحطة:

12-5-1- تحتوي معظم المحطات على بنية سكنية تؤمن تخديم نقل الركاب والبضائع، تتكون بشكل رئيسي من منطقتين. المنطقة الأولى لنقل الركاب وتتألف من مبنى الركاب مع ساحة أمام المحطة وخطوط تخديم للركاب مع الأرصفة ومداخل ومخارج وتجهيزات الاتصال والأمان ومنصات دوارة لتغيير اتجاه القاطرات.

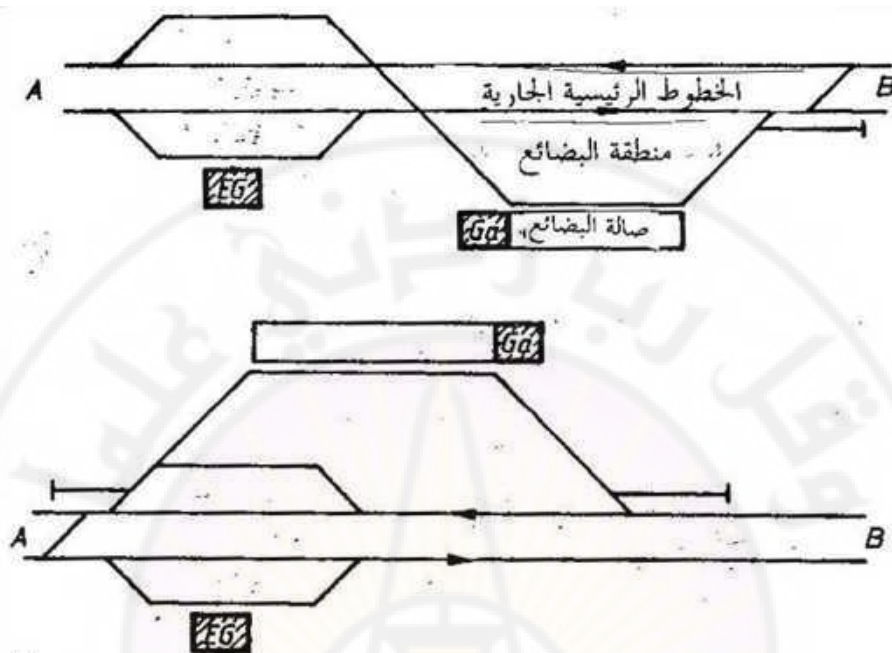
المنطقة الثانية لنقل البضائع وتتألف من خطوط الشحن والتجاوز والرأب والسحب وصلات عابرة التخزين والتخليص ومنصات الشحن والخزانات والروافع والساحات.

ترتبط هاتان المنطقتان بالخطوط الرئيسية مشكلتين المحطة (الشكل 12-16):



الشكل 12-16: مكونات المحطة

وبحسب التوضع النسبي لمنطقتي الركاب والبضائع يمكن أن تأخذ المحطة شكلاً طولانياً أو شكلاً عرضانياً (الشكل 12-17):



الشكل 12-17

أ- محطة طولانية ب- محطة عرضانية

EG: مبنى الركاب، Ga: مبنى تخليص البضائع

Gh: صالة بضائع، Fg: منصة الإطفاء

المحطة الطولانية:

تتوضع منطقة الركاب ومنطقة البضائع على امتداد الخطوط الرئيسية ويكون مبنى الركاب ومبنى تخليص البضائع على جهة واحدة من الخط الرئيسي.

المحطة العرضانية:

تتوضع منطقة الركاب ومنطقة البضائع بشكل عرضاني ويكون مبنى الركاب ومبنى تخليص البضائع على الجهتين بالنسبة للخط الرئيسي. وهذه المحطة هي الأفضل بالنسبة لاستخدام الأراضي والتشغيل.

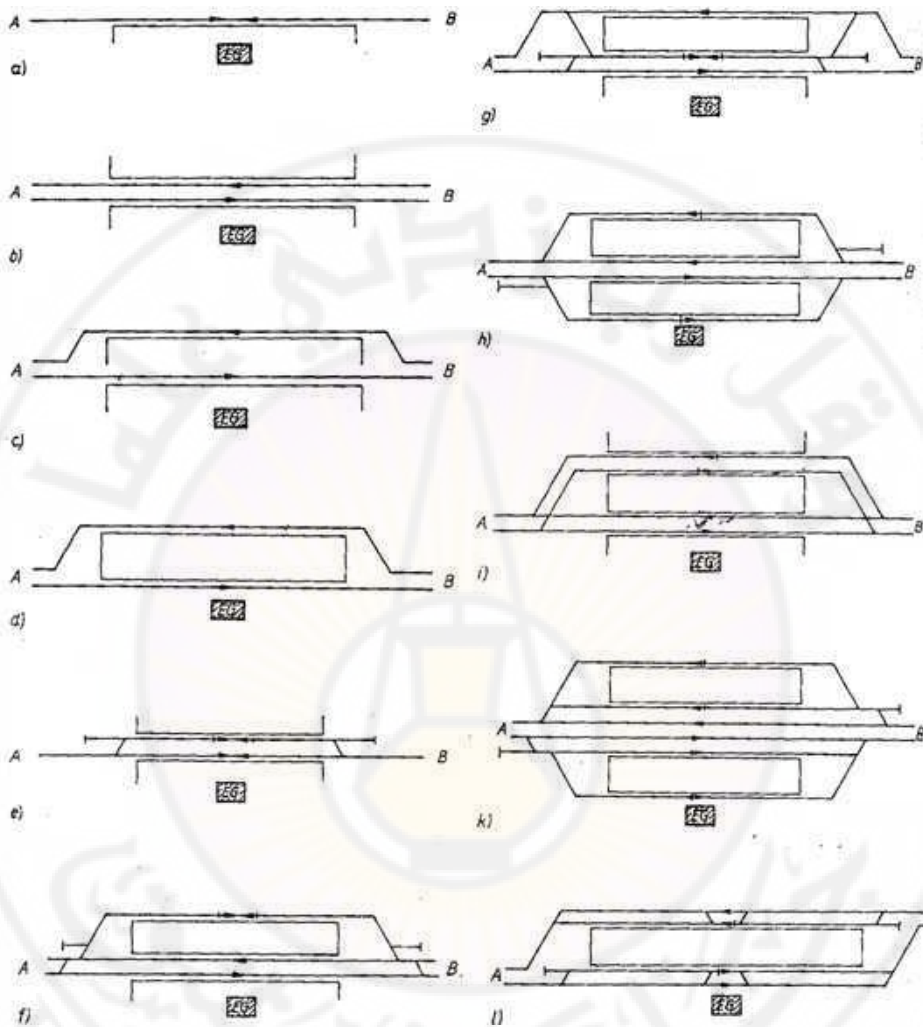
12-5-2- الأرصفة:

الأرصفة هي منشآت خاصة بمنطقة الركاب في المحطة، تتوقف عندها قطارات الركاب لنزول وصعود وانتظار الركاب بشكل آمن ومريح وكذلك شحن الأمتعة والبريد. تكون الأرصفة موازية للخطوط ومتوافقة مع الوسعة من حيث الارتفاع والبعد عن محور الخط.

12-5-3- ترتيب الأرصفة مع الخطوط:

يبين الشكل 2-18 ترتيب الأرصفة من حيث توزيعها بالنسبة للخطوط ومبنى الركاب.

- a- رصيف عند مبنى الركاب وخط مفرد (في المواقف).
- b- رصيف خارجي وخط مزدوج (في المواقف).
- c- رصيف عند مبنى الركاب ورصيف داخلي (في المواقف).
- d- رصيف جزيرة (في المواقف).
- e- رصيف خارجي عند خط تجاوز.
- f- رصيف جزيرة عند خط تجاوز جانبي.
- g- رصيف جزيرة عند خط تجاوز داخلي.
- h- رصيف جزيرة مع خطي تجاوز.
- i- خط مزدوج مع خطي تجاوز جانبيين.
- k- خط مزدوج مع رصيفين جزيرة للسرعة العالية $V > 120$ (توضع عرضاني).
- 1- خط مزدوج مع رصيفين جزيرة للسرعة العالية $V > 120$ (توضع طولاني).

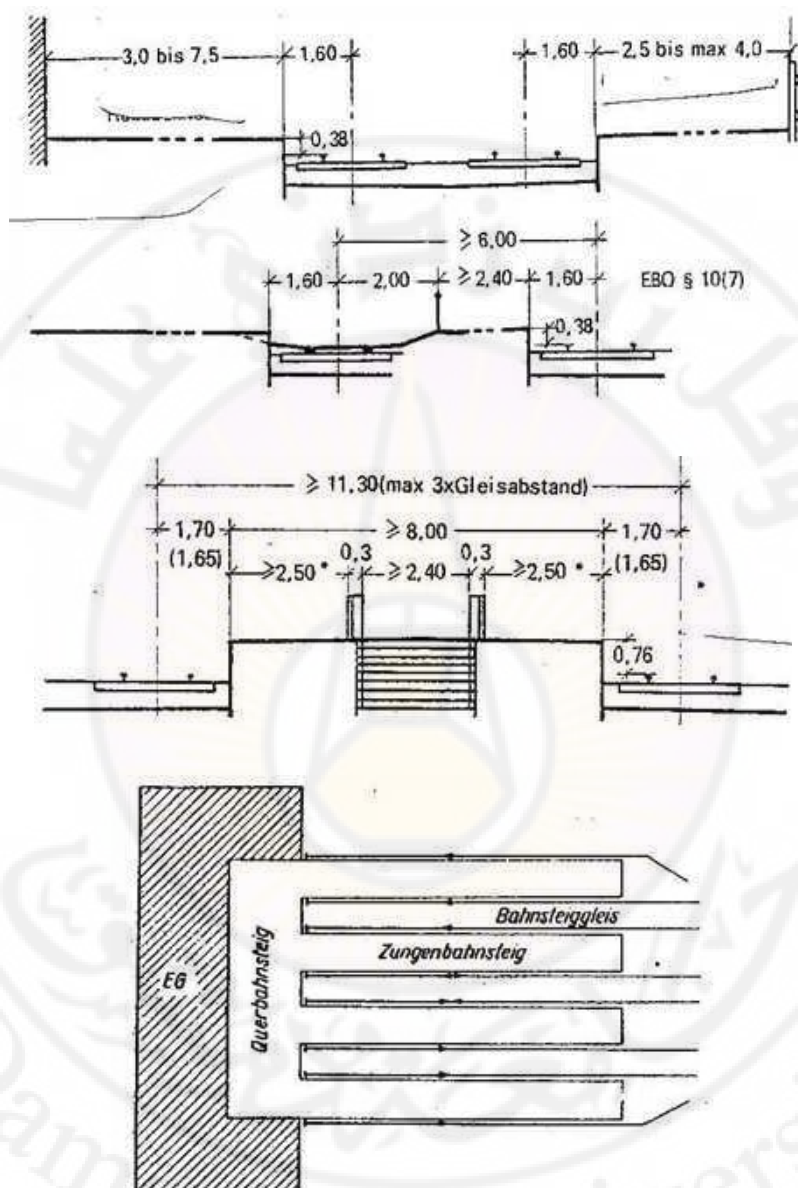


الشكل 12-18: ترتيب الأرصفة

12-5-4- أنواع الأرصفة:

يمكن تمييز الأنواع التالية من الأرصفة (الشكل 2-19):

- أ- رصيف خارجي عند مبنى الركاب.
- ب- رصيف داخلي يخدم خطاً واحداً أو يخدم خطين.
- ج- رصيف عرضاني مع أرصفة على شكل اللسان (في المحطات الرأسية).



الشكل 12-19: أنواع الأرصفة

12-5-5- الأ طول المفيدة للأرصفة:

يحدد طول الرصيف المفيد بحيث يستوعب جميع العربات لأطول قطار ركاب بالإضافة إلى مسافات إضافية لعدم دقة التوقف بمقدار 10-20 م ولا يحتسب طول القاطرة (20 م) من طول القطار. يضاف إلى ذلك 5 أمتار أمام الإشارة الضوئية.

تعتمد الخطوط الحديدية السورية قطارات ركاب ذات 16 عربة ركاب كحد أقصى وعليه يمكن حساب أطوال الأرصفة المفيدة الموافقة لها:

$$L = 16 * 26.40$$

مسافة عدم دقة التوقف (بالاتجاهين) +10

مسافة أمام إشارة الخروج +5

الطول المفيد للرصيف 437.40

12-5-6- عرض الأرصفة:

يحدد عرض الرصيف بحيث يستطيع الركاب الحركة بأمان وراحة أثناء المغادرة أو القدوم أو الانتظار مع أمتعتهم وحقائبهم. تحتوي الأرصفة على منشآت ضرورية مثل الأدراج الثابتة والمتحركة وأعمدة الإعلانات وأعمدة المظلات والإنارة.

يحدد عرض الرصيف بحيث تكون الحركة سهلة ومريحة للمسافرين. عندما تكون كثافة الحركة على الرصيف 2-3 شخص/م² تكون حركة الركاب ممكنة. وعند زيادتها إلى أكثر من 3 شخص/م² تصبح الحركة صعبة نسبياً ومن أجل 6-7 شخص/م² تصبح الحركة غير ممكنة.

لذلك ينصح باعتماد القيم التالية لعرض الأرصفة:

عرض الأرصفة الخارجية: 3-4 م.

عرض الأرصفة أمام مبنى الركاب لا يقل 6 م.

عرض الأرصفة الداخلية لا يقل 8 م الشكل.

عند وجود أدراج ثابتة أو متحركة ضمن الرصيف يجب تأمين مسافة لا تقل عن 2.5 م بين حافة الرصيف ودرايزون الدرج.

مثال على حساب عرض رصيف داخلي بدون أدراج للسرع أقل من 160 كم/سا

$$\text{مسافة الأمان من محور الخط } 2.5 * 2 = 5.00 \text{ م}$$

$$\text{يضاف إليها العرض المخصص لحارتي مشاة } 0.80 * 2 = 1.60 \text{ م}$$

$$\text{يحذف منها المسافة محور الخط الى حافة الرصيف } 1.70 * 2 = 3.40$$

$$\text{عرض الرصيف } 5.00 - 1.60 + 3.40 = 3.20 \text{ م}$$

مثال على حساب عرض الرصيف مع أدراج ثابتة:

العرض الأدنى المخصص للمشاة من حافة الرصيف حتى الدرايزون

$$2.00 * 2 = 5.00 \text{ م}$$

$$\text{عرض الدرج الثابت } 2.40 \text{ م}$$

$$\text{عرض الدرايزون } 0.30 * 2 = 0.60 \text{ م}$$

$$\text{عرض الرصيف } 5.00 + 2.40 + 0.60 = 8.00 \text{ م}$$

12-5-7- ارتفاع الأرصفة:

يقاس ارتفاع الرصيف عمودياً بين منسوب أعلى القضيب الحديدي وسطح الرصيف. ويحدد بحيث يكون الفرق بين منسوب الرصيف وأرضية العربات أو درجات الصعود إلى العربة في حدوده الدنيا.

يجب أن يتوافق ارتفاع الأرصفة مع الوسعة. وتوجد الارتفاعات التالية:

$$h = 0.38$$

$$h = 0.55$$

$$h = 0.76 \text{ m}$$

$$h = 0.96 \text{ m}$$

وهناك ارتفاعات أكبر تستخدم في خطوط النقل السككي لقطارات الضواحي والمetro.

12-5-8- حساب عرض الادراج الثابتة في الأرصفة:

يحسب عرض الدرج الثابت في الأرصفة بالعلاقة:

$$b = \frac{N}{v * d * t}$$

b: عرض الدرج (m).

N: عدد الأشخاص في تيار الرحلة.

v: سرعة المسير وتؤخذ 0.6 م/ثا للصعود و 0.7 م/ثا للنزول.

d: الكثافة وتساوي 1.0 شخص/م².

t: زمن تفريغ الرصيف (90-120 ثانية).

إن عرض الدرج الناتج عن العلاقة السابقة يقرب إلى مضاعفات عرض حارة المشاة والتي تساوي (0.60 م).

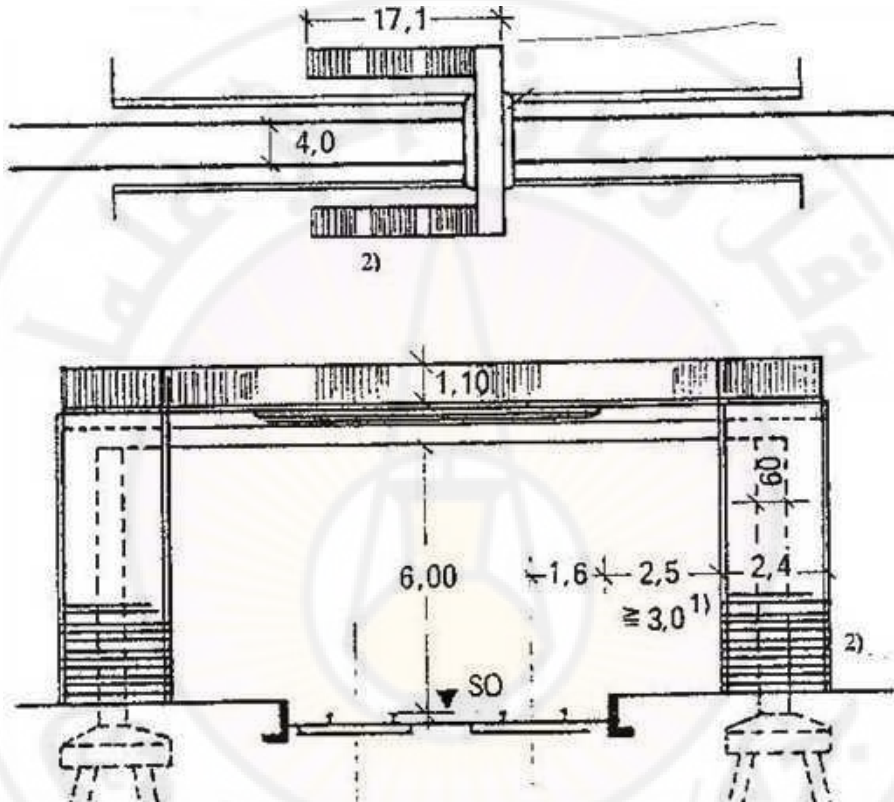
مثال لحساب عرض الدرج الثابت من أجل $N = 300$ persoons والحركة باتجاه النزول:

$$b = \frac{300}{0.7 * 1.5 * 120} = 2.38 \rightarrow b = 2.40 \text{ m}$$

بشكل عام تعطى استطاعة الدرج الثابت بمعدل 60 شخص/دقيقة/ 1 م باتجاه الصعود، و 75 باتجاه النزول.

9-5-12- المعابر العلوية:

تستخدم المعابر العلوية أحيانا لتأمين حركة المشاة من رصيف لآخر.

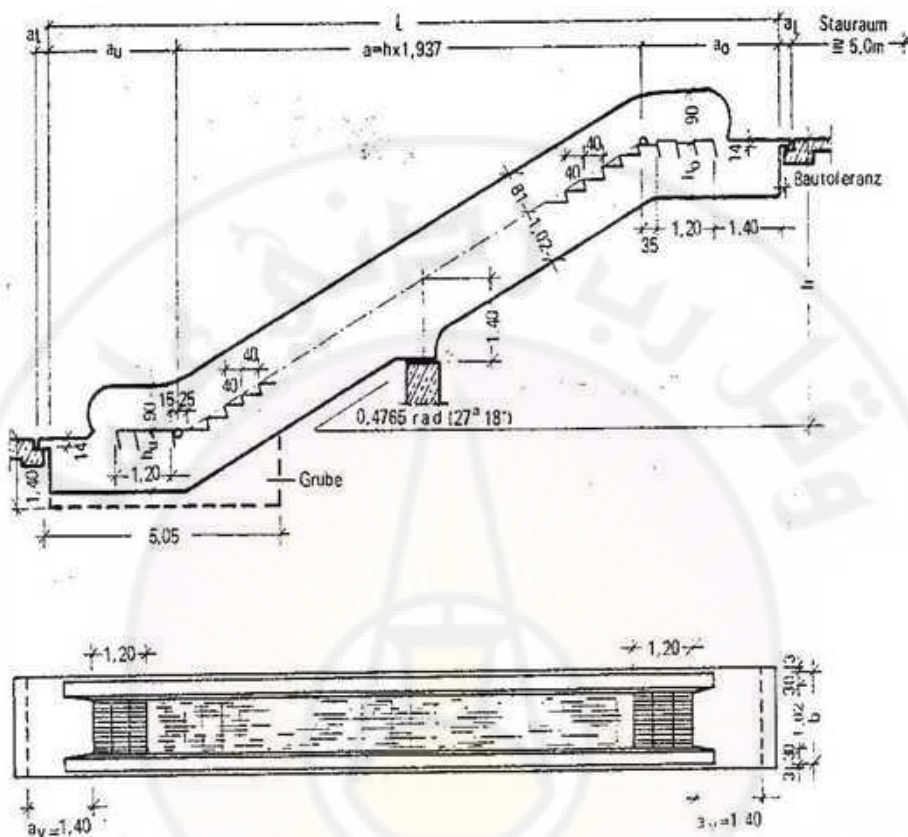


الشكل 12-20: معبر علوي في محطة

10-5-12- الأدرج المتحركة:

تزود المحطات الحديثة بالأدراج المتحركة بالضافة الى الأدراج الثابتة. ينصح باعتماد الأدراج المتحركة عندما يصل عدد الركاب على الرصيف 2000 ومن أجل فرق منسوب عن سطح الرصيف أكثر من 8 م.

تبلغ استطالة الدرج المتحرك من أجل حارتين مشاة (بعرض صافي للدرج 1.02 م) 80 شخص/دقيقة للصعود و 70 شخص/دقيقة للنزول وسرعة السير 0.5 م/ثا للدرج.



الشكل 12-21: درج متحرك

11-5-12- خطوط تغيير الاتجاه لقطارات الضواحي:

في محطات الركاب القريبة من المناطق الصناعية أو الخدمية الكبيرة يلجأ إلى تنظيم رحلات ركاب إضافة في ساعات الذروة بحيث تبدأ الرحلة أو تنتهي في هذه المحطات. وهذا يتطلب عودة القطارات لتنفيذ رحلات متواترة ولحل مشكلة تغيير الاتجاه في هذه المحطات تنشأ خطوط تغيير الاتجاه.

تستخدم إحدى الخيارات التالية في رحلات العودة:

تجري القاطرة أعمال مناورة لتغيير الاتجاه.

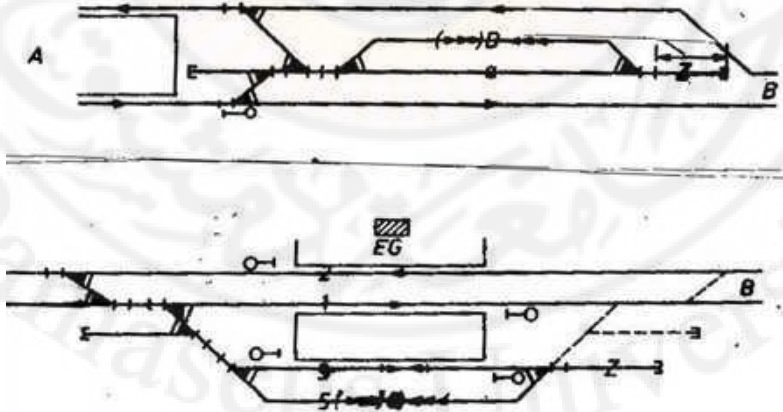
في بعض القطارات توجد غرفتي قيادة الأولى في القاطرة والثانية في نهاية القطار وفي رحلة العودة يتم دفع القطار وتصبح القاطرة في المؤخرة.

استخدام مجموعة القطار train set وهي عربات مزودة بمحركات جر في كل عربة مع غرفتي قيادة في نهايتي القطار (في المقدمة والمؤخرة).

وفي الحالات التي يتطلب فيها انتظار القطار لوقت طويل فإنه من غير المرغوب فيه إشغال الخطوط المجاورة للأرصفة بالقطارات بل يجب الانتظار على خطوط لا تؤثر على الحركة العابرة أو الحركة المحلية في المحطة. هنا تظهر أهمية خطوط تغيير الاتجاه.

يمكن أن تكون خطوط تغيير الاتجاه على امتداد الرصيف أو متوضعة عرضاً بجانب الرصيف.

تكون المفاتيح المستخدمة في خطوط تغيير الاتجاه ذات $R = 190$ وتكون الأطوال المفيدة لهذه الخطوط يوافق أطوال قطارات المستخدمة (قطارات ضواحي بأربع عربات).



الشكل 12-22: خطوط تغيير الاتجاه

أ- خطوط تغيير الاتجاه على امتداد الرصيف

ب- خطوط تغيير الاتجاه على جانبي الرصيف

12-5-12- مبنى الركاب:

يعتبر مبنى الركاب مهماً جداً في محطات الركاب ويعتبر صلة الوصل بين النقل الطرقي والنقل السككي.

تجهز محطات الركاب بالخدمات اللازمة للركاب والأمتعة (استعلامات حجز التذاكر، الأمانات، أكشاك صحف ومجلات، مطاعم، حمامات عامة) كم تضم غرفة مأمور الحركة التي يجب أن تشرف على خطوط المحطة وغرفة ناظر المحطة وغرفة ديوان وقاعة انتظار مناسبة.

عند تصميم المحطات يجب الإجابة على السؤالين التاليين لتحديد حجم مبنى الركاب:

- ما هي أبعاد مبنى الركاب (الطول والعرض)؟

- ما هي وضعية مبنى الركاب بالنسبة للخطوط؟

للإجابة على السؤال الأول يجب تحديد مجموعة معطيات مثل:

- عدد الركاب في ساعات الذروة.

- عدد البطاقات المباعة في شهر الذروة.

أهمية المحطة.

وفي ضوء المعطيات الواردة يحدد حجم مبنى الركاب (صغير، متوسط، كبير).

الجدول 2-12

نوع مبنى الركاب	عدد الركاب في ساعة الذروة (شخص)
صغير	300-500
متوسط	500-3000
كبير	>3000

وبالنسبة للسؤال الثاني فإن الطبيعة الطبوغرافية تؤثر بشكل أساسي في تحديد وضعية مبنى الركاب بالنسبة للخطوط كما يلي:

- مبنى الركاب على جانب الخط
- مبنى الركاب يتوسط الخطوط
- مبنى الركاب في وضع رأسي
- مبنى الركاب أعلى الخطوط.

12-6- محطات الفرز:

12-6-1- تعريف ومهام محطات الفرز:

محطة الفرز:

هي المحطة التي يتم فيها تفكيك القطارات وإعادة تشكيلها بمساعدة وحدات وتكنولوجيا خاصة. المهام الأساسية لمحطات الفرز: استقبال القطارات المطلوب تفكيكها وإعادة تشكيلها، تحضير القطارات للتفكيك، تفكيك القطارات، تجميع العربات، الترتيب النهائي للعربات، تشكيل القطارات من جديد، التحضير لترحيل القطارات.

يحدث تفكيك القطارات إلى عربات مفردة أو مجموعة عربات باعتماد إحدى الطرق الثلاثة:

- نقل العربات عن طريق قطرها بقاطرة مناورة.
- دفع العربات بإعطائها طاقة حركية كافية لوصولها إلى المكان المحدد.
- دفع العربات بإعطائها طاقة كامنة باستخدام حدبات الفرز.

12-6-2- موقع محطة الفرز ضمن شبكة الخطوط الحديدية:

تتوضع محطات الفرز في مواقع قريبة من عقد النقل السككي في شبكة الخطوط الحديدية قرب المناطق الصناعية الكبيرة أو المرافئ البحرية أو المناجم أو المحطات الحدودية.

تؤثر مجموعة عوامل في التحديد الأمثل لموقع محطة الفرز مثل:

- إمكانية الوصول بسهولة إلى محطة الفرز من خطوط الشبكة.
- توفر المساحات الكافية لإنشاء المحطة مع إمكانية إمدادها بالطاقة والمياه والأخذ بعين الاعتبار اتجاهات الرياح السائدة.
- توفر الربط مع شبكة الطرق.
- إمكانية وصول قطارات الضواحي للمحطة لنقل العاملين فيها (وجود موقف قطارات ضواحي).
- الحفاظ على البيئة ولا سيما الضجيج الناجم عن أعمال المناورة في المحطة.

12-6-3- أشكال محطة الفرز:

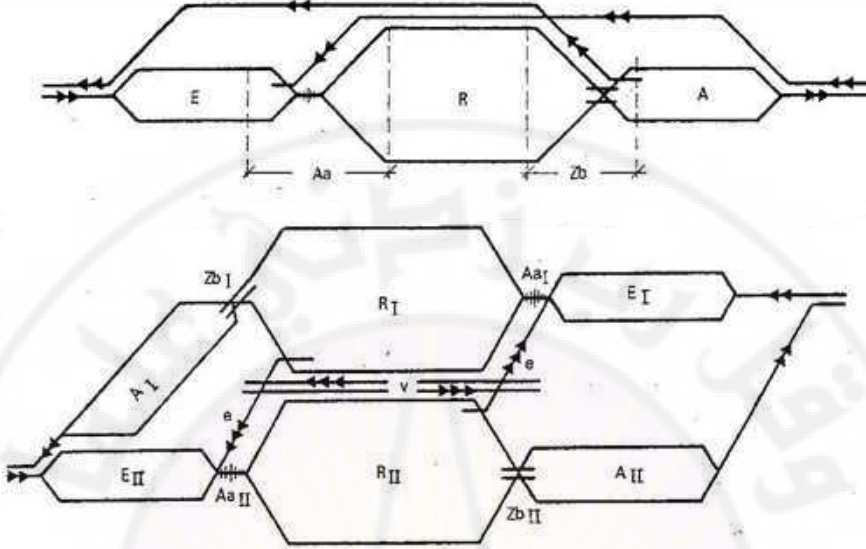
تتكون محطة الفرز من خطوط استقبال ووحدات الدفع وخطوط التجميع وخطوط الترحيل. يتم تصميم المحطة بحيث تشكل هذه الخطوط المجموعات الرئيسية التالية:

- ساحة الاستقبال (وتتضمن مجموعة خطوط الاستقبال) ويرمز لها بـ E.
- ساحة الفرز (وفيها وحدات الدفع وخطوط التجميع) ويرمز لها بـ R.
- ساحة الترحيل (وتتضمن مجموعة خطوط الترحيل) ويرمز لها بـ A.

كما تحتوي محطات الفرز الكبيرة على خطوط إضافية مثل: خطوط الترتيب النهائي للعربات (ويرمز لها بـ N).

يحدد حجم محطة الفرز تبعاً لعدد العربات في اليوم التي سيتم فرزها أو استطاعة حلبة الفرز. تكون المحطة صغيرة إذا كان عدد العربات أقل من 600 عربة/يوم وكبيرة إذا زاد عن 4000 عربة/يوم. الشكل 12-23

ونظراً للطيف الواسع بين الرقمين يختلف شكل محطة الفرز ويمكن أن يتم دمج المجموعات الرئيسية السابقة مع بعضها، وفي المحطات الصغيرة تدمج في ساحة واحدة.



الشكل 12-23: أشكال محطات الفرز

أ- محطة فرز أحادية الاتجاه

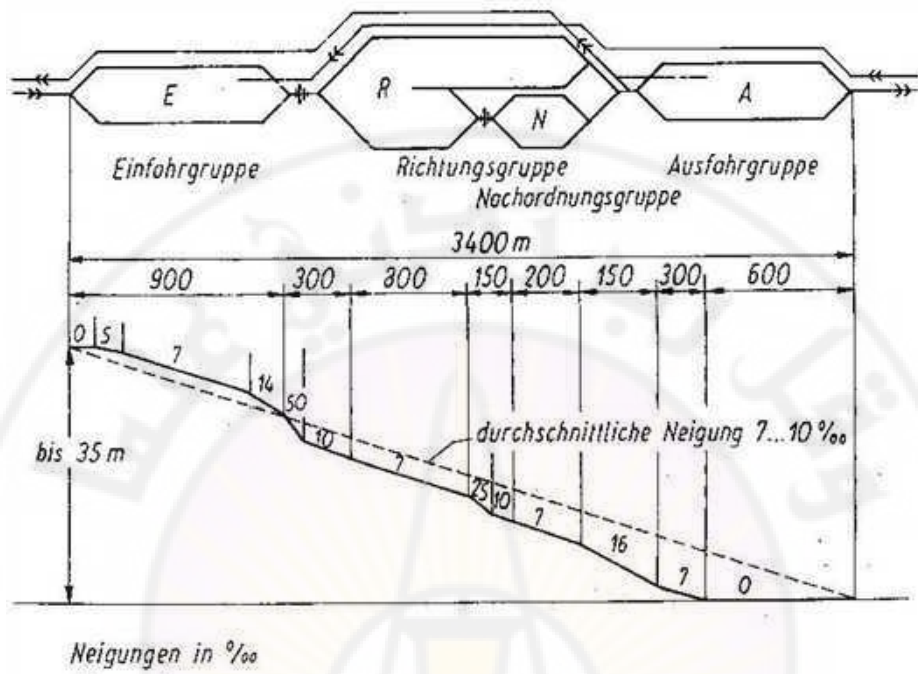
ب- محطة فرز ثنائية الاتجاه

E: ساحة الاستقبال، R: ساحة الفرز، A: ساحة الترحيل، Aa: وحدات الدفع (حديقة الفرز)،
Zb: وحدات تشكيل القطارات، v: خطوط الحركة، e: خطوط الربط

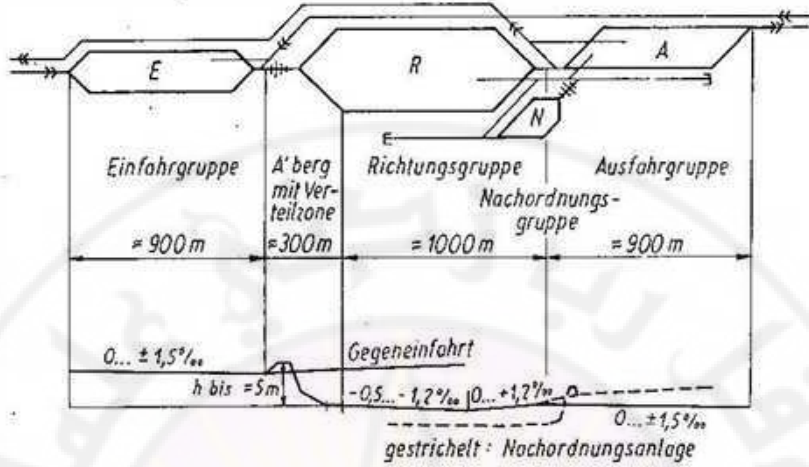
تؤثر طبوغرافية الأرض في تحديد نوع محطة الفرز. ونميز بين نوعين:

- محطة فرز أفقية حيث تكون الخطوط في ساحة أفقية أو بميل لا تزيد عن 2.5% وتجهز المحطة بحديقة فرز ذات ميل كبيرة وهذا النوع هو الأكثر شيوعاً. الشكل 12-24.

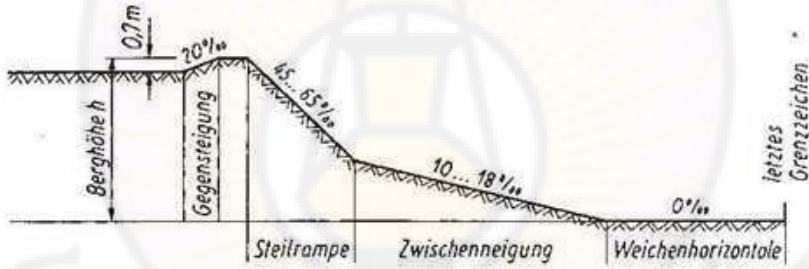
- محطة فرز مائلة حيث تكون الخطوط في ساحة الاستقبال والفرز ذات ميل من 7 إلى 10 بالألف. وتعمل المحطة بالجاذبية. وتزداد الميل بين مجموعات الخطوط لاعطاء تسارعاً إضافياً للعربات عند الانتقال من ساحة إلى ساحة أخرى. الشكل 12-25.



الشكل 12-24: محطة فرز أفقية



a)



الشكل 12-25: محطة فرز مائلة

12-6-4- مبادئ تصميم محطة الفرز:

عند تصميم محطة فرز فإنه من المفيد توضيح مجموعة من المسائل المتعلقة بالتوضع الكلي للمحطة وبصعب تعميم تلك المسائل على جميع المحطات لأن تصميم محطة الفرز يتعلق بشكل جوهري باستطاعة المحطة واستخدام الأراضي وطريقة ربط المحطة مع شبكة الخطوط الحديدية.

تكون المحطات ذات الاستطاعة الكبيرة ذات تصميم قياسي، حيث تكون كل مجموعة خطوط خاصة (ساحة الاستقبال، ساحة الفرز، ساحة الترحيل).

ويمكن أن تدمج مجموعات الخطوط مع بعضها من أجل الاستطاعات الأقل

وبحيث تصل إلى مجموعة واحدة في المحطات الصغيرة كما ذكرنا في الفقرة السابقة (أشكال محطات الفرز).

ومن المسائل الأساسية في تصميم المحطات تظهر كلفة الإنشاء وتكاليف الاستثمار السنوية كعامل أساسي من عوامل التصميم. فمثلاً عندما تكون مجموعة خطوط تفكيك العربات مستقلة عن باقي المجموعات فإن ذلك يؤدي إلى ارتفاع تكاليف التشغيل السنوية.

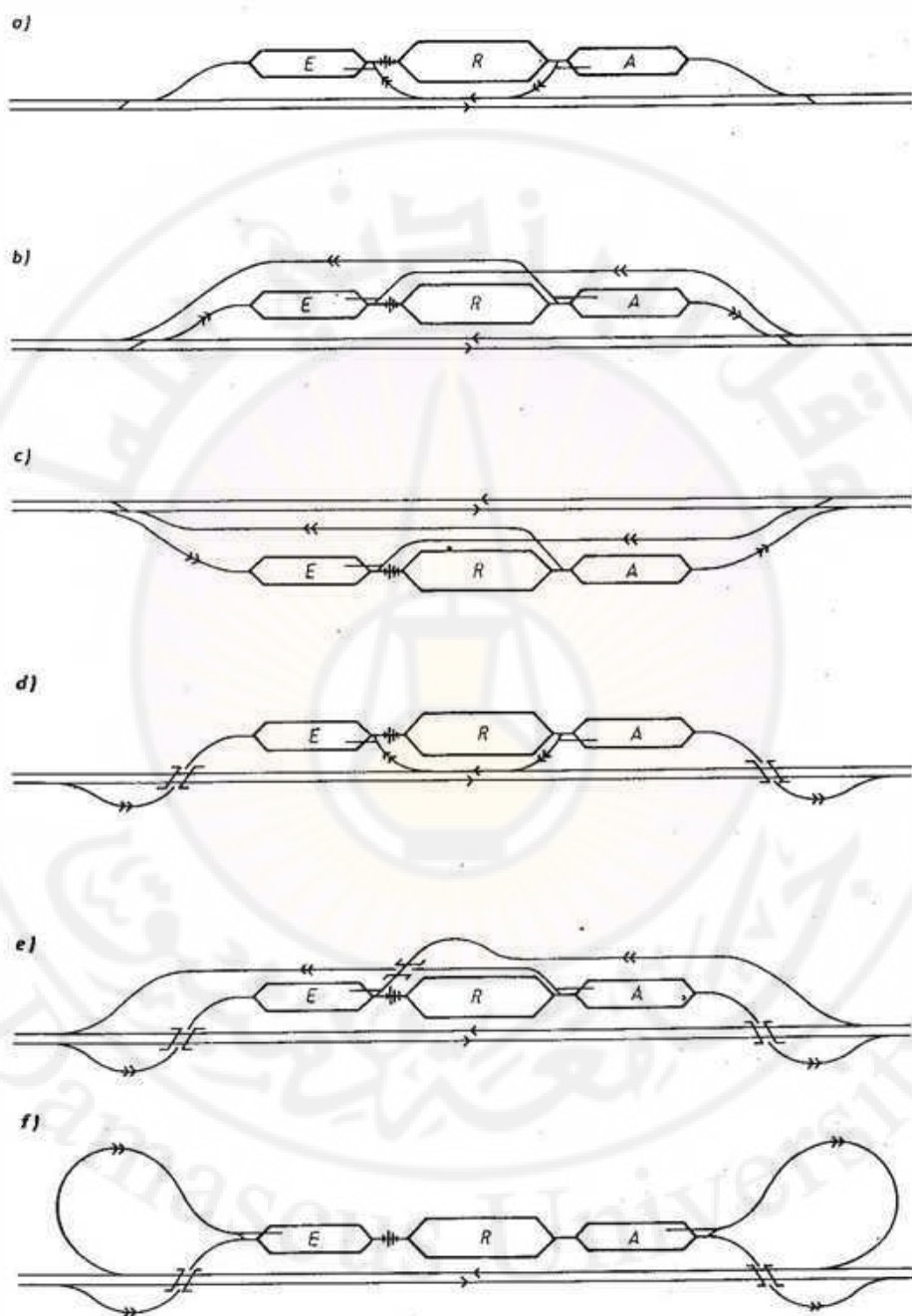
كما أن دمج بعض المجموعات من أجل استطاعة محددة للمحطة يوفر في تكاليف التشغيل.

إن استخدام تقنية حديثة وموحدة لأعمال المناورة ضمن المحطة ولاسيما في حلبة الفرز يؤدي إلى متطلبات محددة في تصميم الخطوط سواء في السطح أو في المقطع الطولي.

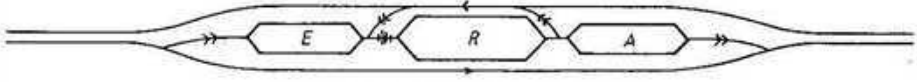
إن توضع المحطة يجب أن يتلاءم تيارات الحركة الرئيسية على شبكة الخطوط الحديدية بحيث تكون مجموعات خطوط الاستقبال والفرز والترحيل مرتبطة مع الشبكة ارتباطاً مناسباً الشكل 12-26.

يفضل اختيار اتجاه الحركة عن حلبة الفرز بشكل متوافق مع اتجاه الرياح السائدة. وعندما تفرض الضرورة أن تكون الحركة معاكسة لاتجاه الرياح فيلجأ إلى استخدام صادات للرياح.

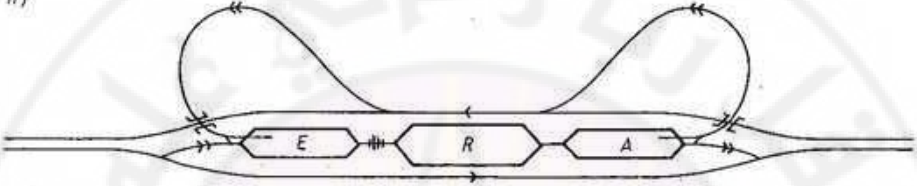
تتوضع الخطوط المركزية في مجموعات الخطوط على الاستقامات. وعند التوضع المنحني لمحطة الفرز فإنه يجب البحث عن نقاط الانكسار بين مجموعات الخطوط أي بين ساحات الخطوط. كما يجب أن لا تقلل من أهمية ربط المحطة مع شبكة الطرق المحلية من أجل تأمين الإمدادات للمحطة ونقل العاملين فيها والوصول السريع لسيارات الإطفاء والطوارئ.



g/



h/



الشكل 12-26: ربط محطة الفرز مع شبكة الخطوط الحديدية

12-6-5- خطوط الاستقبال:

تتكون خطوط الاستقبال من عدد من الخطوط الرئيسية لاستقبال القطارات وتحضيرها لأعمال التفكيك مثل:

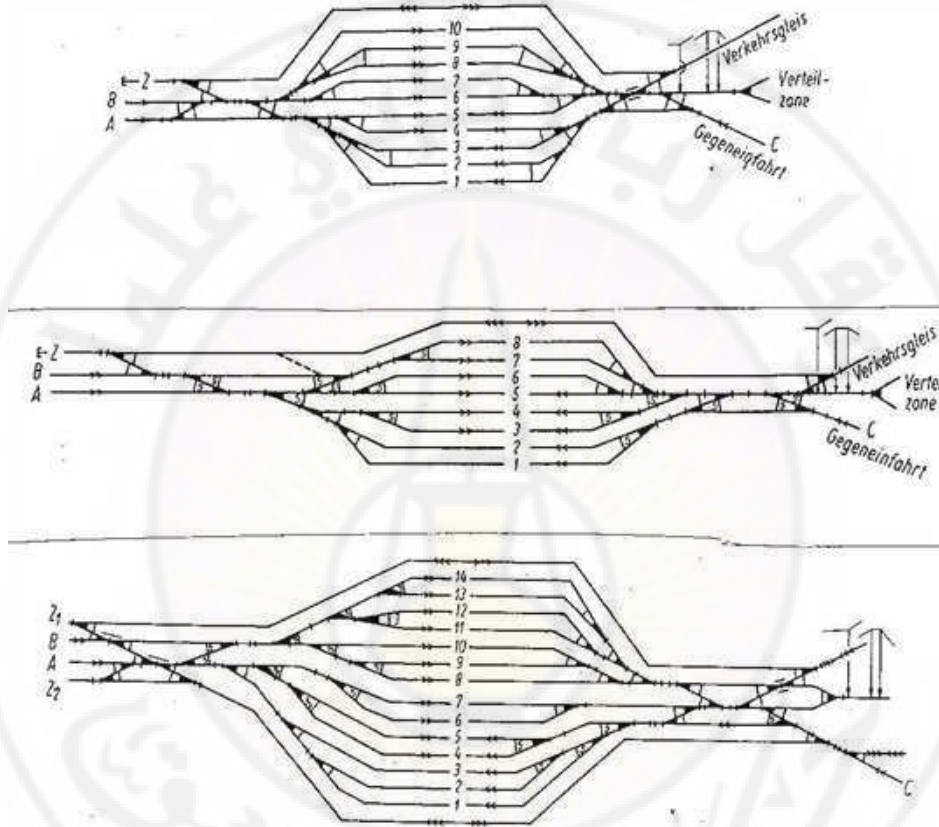
فك قاطرة الجر، نزع الإشارة على آخر عربة في القطار، تأمين العربات في وضعية الثبات، فحص محاور العربات، فحص الإطارات، فحص النوابض، فحص الفرامل، التأكد من تثبيت البضائع على الشاحنات، تجهيز اللوحات الخاصة بأعمال الفرز، فك الوصلات بين العربات.

تبلغ الميول الطولية لخطوط الاستقبال 1.5 بالآلف ولا تقل عن 0.5 بالآلف لتأمين تصريف المياه في المحطة. وتكون الميول متوافقة مع اتجاه دفع العربات.

تحدد الأطوال المفيدة لخطوط الاستقبال بـ 650 متراً وفي بعض الحالات تصل إلى 800 م.

تكون الأبعاد بين محاور خطوط الاستقبال (5) متراً في الحالات العادية وتزداد إلى (6.5) متراً بين حزم الخطوط في المجموعة الواحدة (تضم كل حزمة من 6 إلى 8 خطوط).

ويمكن أن تأخذ خطوط الاستقبال عدة أشكال قياسية كما هو مبين في الشكل (27-12).



الشكل ١٢-٢٧: اشكال قياسية لخطوط الاستقبال

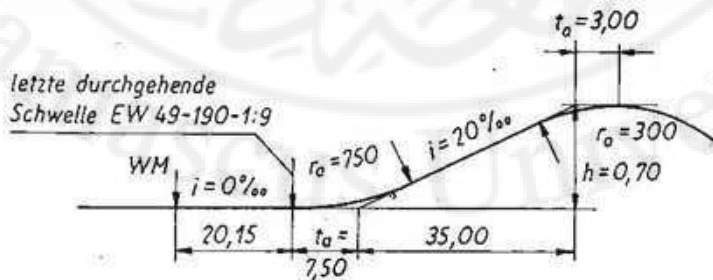
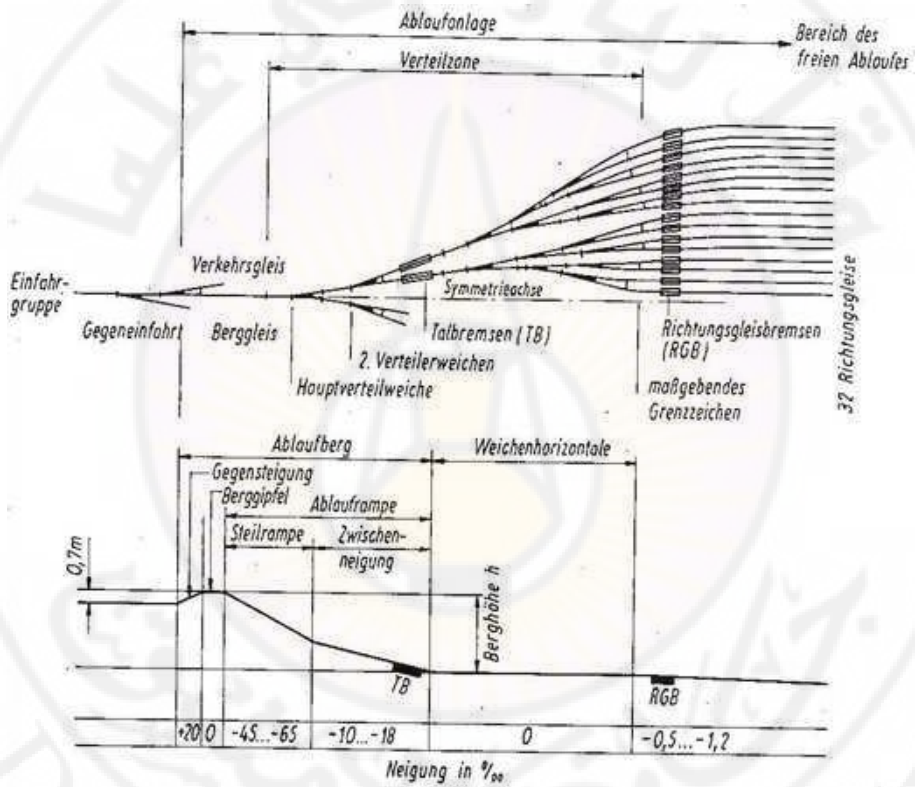
6-6-12- حلبة الفرز:

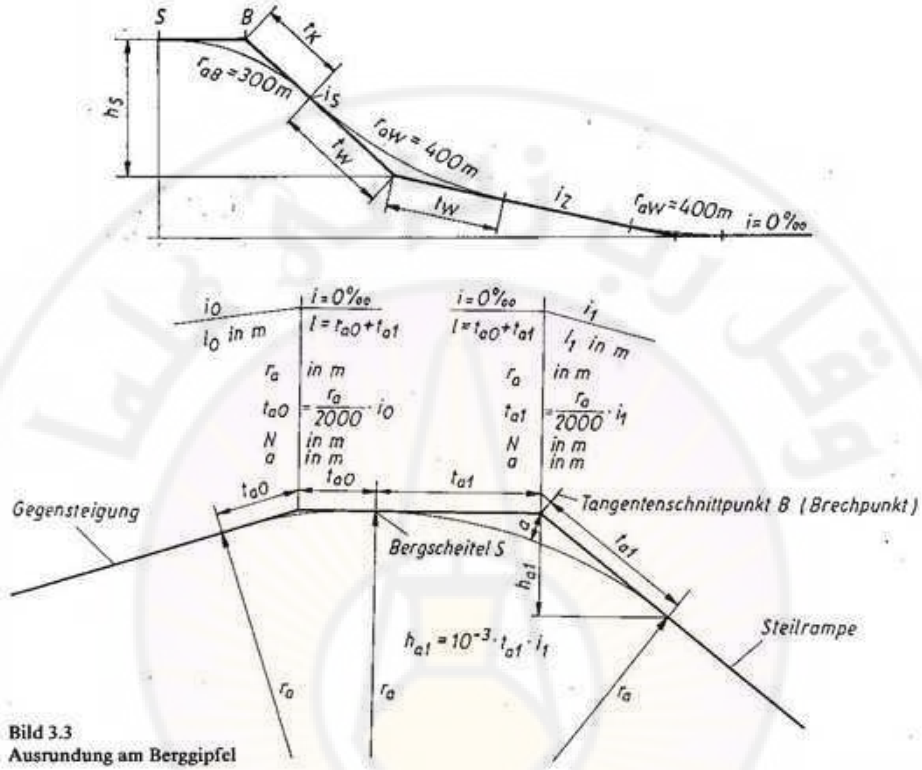
يبين الشكل 28-12 مسطحاً لحلبة الفرز ومقطعاً طولياً فيها.

وتتضمن الحلبة العناصر الهندسية التالية:

- خط الحلبة.
- الميل العكسي.
- قمة الحلبة.

- الميل الرئيسي.
- الميل الثانوي.
- منطقة التوزيع.
- المكابح.





الشكل 28-12: حدة الفرز

- أ- مسطح
ب- مقطع طولي
ج- ربط الميل العكسي
د- ربط الميل الرئيسي مع الميل الثانوي
هـ- قمة الحدة

تبلغ قيمة الميل العكسي 20% وارتفاع 0.70 م وبطول لا يقل عن 25 م. يرتبط الميل العكسي عند قاعدته بمنحني نصف قطره $R_a = 750m$ ولا يقل عن 400 م في الحالات الصعبة وفي المحطات الحديثة يؤخذ 2000 م. كما يرتبط عند قمته بمنحني نصف قطره 300 م. (الشكل 28-12 ج)

يبدأ الميل الرئيسي من نقطة تقاطع المماسين في النقطة B (الشكل 28-12 د) وتتراوح قيمته من 45 حتى 65 بالآلاف ولا يقل ارتفاعها عن 1.0 متر وبحيث تشكل نصف ارتفاع الحدة.

أما الميل الثانوي فتتراوح قيمته من 10 إلى 18 بالآلف وينتهي بميل 0% أي بشكل أفقي ويستمر حتى آخر عمود رأب لمفاتيح منطقة التوزيع.

عند نقاط تغير الميول (الميل الرئيسي، الميل الثانوي، الميل الصفري) توضع منحنيات شاقولية مقعرة بأنصاف أقطار تساوي 400 م وإذا تصادف وجود الإبر للمفاتيح ضمن هذه المنحنيات فيجب زيادة نصف قطرها إلى أكثر من 750 م.

من أجل حذبة ذات ارتفاع قليل فإنه يلجأ إلى عدم وجود استقامة ضمن الميل الرئيسي بين منحنى القمة المحدب والمنحنى المقعر بين الميلين الرئيسي والثانوي.

ويكون عندها الميل الرئيسي رياضياً فقط في نقطة التماس بين المنحنيين وتحدد قيمته من أجل القيم الواردة سابقاً اعتماداً على العلاقة التالية:

$$i_s \% = \frac{h_s}{t_3} + t_w$$

$$i_s = \frac{2}{7}i_z + \sqrt{\left(\frac{2}{7}i_z\right)^2 + \frac{20000}{7}h_s}$$

حيث نقدر الميول بالآلف والارتفاع بالمتر.

من أجل $h_s = 1.00\text{m}$ و $i_z = 18\%$ يكون الميل الرئيسي $i_s = 58.842\%$

وإذا تم الاستغناء عن القطعة المستقيمة على الميل الثانوي يصبح لدينا $i_z = 0\%$ والميل الرئيسي $i_s = i = 53.452\%$.

يتأثر توضع المفاتيح بالمقطع الطولي للحذبة بشكل كبير. حيث أنه من أجل ارتفاع الحذبة 1.00 م فمن الصعوبة البالغة توضع كامل المفتاح في منطقة الميول لأن المفاتيح (وتحديداً الإبرة) لا يسمح بتوضعها في منحنيات شاقولية بنصف قطر 400 م.

يفضل أن يكون مفتاح التوزيع الرئيسي (أول مفتاح بعد قمة الحذبة) أقرب ما يمكن إلى منحنى القمة المحدب، وأن تكون بقية المفاتيح في منطقة التوزيع قريبة من بعضها.

تتعلق المسافة الدنيا بين بداية مفتاح التوزيع الرئيسي ونهاية منحنى القمة المحدب بسرعة دفع العربات في قمة الحذبة.

تتوضع المكابح على الأجزاء المستقيمة من الخطوط وتحتاج إلى استقامة أمامها وخلفها بطول لا يقل عن ٣ أمتار.

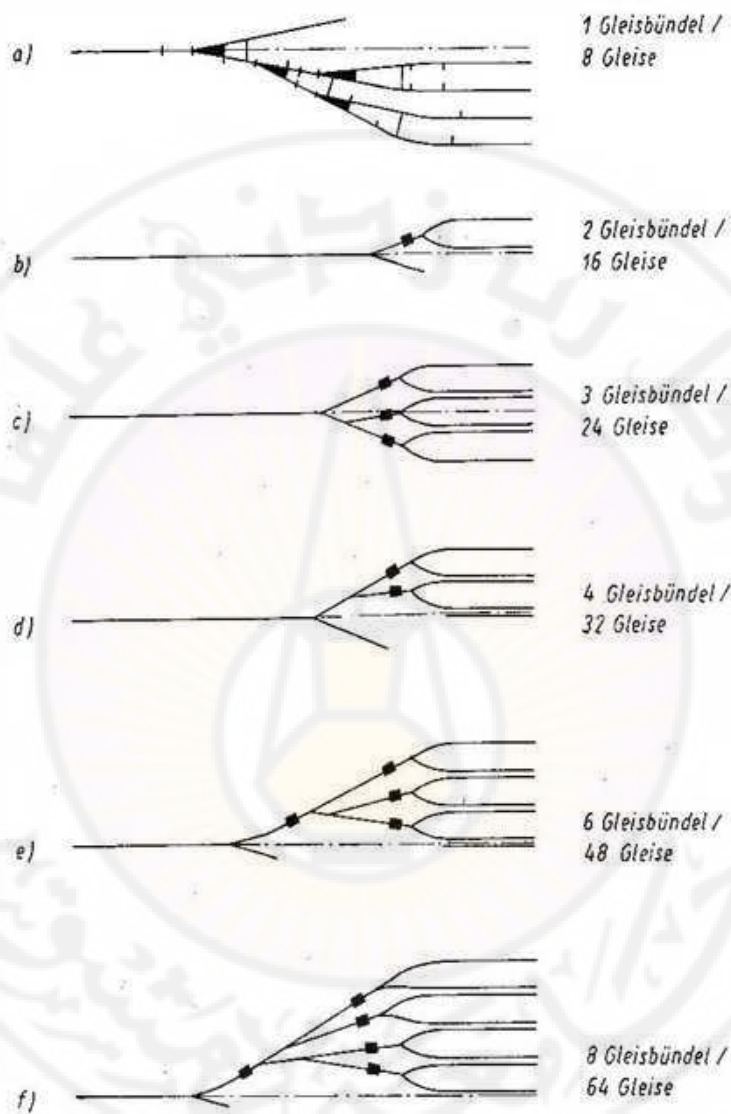
12-6-7- منطقة التوزيع:

إن تصميم مسطح منطقة التوزيع هو من أصعب المهام عند تصميم محطات الفرز بسبب المتطلبات وعوامل التأثير الواجب أخذها بعين الاعتبار. من هذه المتطلبات:

1- طول الانتشار لمنطقة التوزيع الممتدة من مفتاح التوزيع الرئيسي وحتى آخر عمود رأب لمفاتيح التوزيع. يفضل أن يكون هذا الطول أقصر ما يمكن لأن ذلك يزيد من كفاءة الحذبة (استطاعتها) ويقلل من ارتفاعها.

يعتبر التوزيع المروحي هو الأنسب لتحقيق أقصر طول لمنطقة التوزيع (الشكل 12-29).

تكون الخطوط في التوزيع المروحي المتناظر مؤلفة من 8 أو 16 أو 32 أو 64 خط، وتشكل كل 8 خطوط حزمة. ويمكن أن تتكون الحزمة من 6 إلى 10 خطوط ويكون عندها التوزيع المروحي غير متناظر.



الشكل (12-29): التوزيع المروحي لمنطقة التوزيع

- | | |
|-------------------------|--------------------|
| أ- حزمة واحدة من 8 خطوط | ب- حزمتين من 16 خط |
| ج- 3 حزم من 24 خط | د- 4 حزم من 32 خط |
| هـ- 6 حزم من 48 خط | و- 8 حزم من 64 خط |

2- أنصاف أقطار المنحنيات ضمن منطقة التوزيع حيث تصادف المنحنيات بشكل خاص في الخطوط المحيطية في الحزم. تساهم المنحنيات في مقاومات السير. وتؤثر في الاجهادات على عناصر القسم العلوي للخط (اهتراء القضبان في المنحنيات بشكل خاص) ويعتبر نصف القطر $R = 180\text{ m}$ هو الحد الأدنى المسموح به.

3- يتأثر طول منطقة التوزيع بعدد خطوط الفرز التي تشكلها الحزم وبالتباعد بين الخطوط.

4- تساهم الأجزاء المستقيمة من الخطوط في تحديد طول منطقة التوزيع. حيث تظهر الحاجة لهذه الأجزاء المستقيمة لتوضع المكابح حيث يلزم لعمل المكابح مسافة مستقيمة أمامها وخلفها لا تقل عن 3 م. كما تقيد الأجزاء المستقيمة في تأمين الشروط الجيومترية والحركية وتوضع هذه الاستقامات عند عدم تحقق الشروط التالية:
الشرط الجيومترى:

$$K = \left| \frac{1000}{R_1} \pm \frac{1000}{R_2} \right| \leq 10$$

الشرط الحركى:

$$K = \left| \frac{1000}{R_1} \pm \frac{1000}{R_2} \right| \leq \frac{4000}{V^2}$$

تؤخذ السرعة ضمن منطقة التوزيع $V = 25\text{ Km/s}$.

5- نوع المفاتيح المستخدمة: تحدد أنواع المفاتيح المستخدمة وفق السرعة وطول منطقة التوزيع ولاعتبارات اقتصادية. إن سرعة حركة العربات في منطقة التوزيع تستوجب قيمة دنيا لأنصاف أقطار المنحنيات لا تقل عن 190 م. ولزيادة استطاعة الحدة (أكثر من 500 عربة/ يوم) تستخدم مفاتيح بأنصاف أقطار 215 م.
وبالنسبة لميول المفاتيح فتكون كبيرة (1:6.285، 1:7.5) وذلك لتقليل طول منطقة التوزيع.

وكحالة خاصة لمفتاح التوزيع الرئيسي ولمفاتيح النسق الثاني تستخدم مفاتيح متناظرة بنصف قطر 215 وميل 1:4.8. ولا ينصح باستخدام المفاتيح المضاعفة في منطقة التوزيع.

6- ارشادات عامة لتصميم منطقة التوزيع:

- تصمم منطقة التوزيع عادة بشكل متناظر بالنسبة لخط الحدة.
- يكون مفتاح التوزيع الرئيسي متناظراً ويكتفى عندها بتصميم نصف منطقة التوزيع.
- تصمم منطقة المفاتيح على شكل حزم بحيث تضم كل حزمة 8 خطوط مع مفتاح متناظر (1:4.8-215).

12-6-8- حساب ارتفاع حدة الفرز:

تخضع العربة أثناء حركتها من قمة الحدة وحتى خط الفرز لمجموعة من القوى المحركة والمقاومة يعبر عنها في معادلة الطاقة التالية:

$$F_w h_x + \frac{F_w}{2g'} v_0^2 = F_w l_x w_m + F_B l_B + \frac{F_w}{2g'} v_x^2 \quad (1) \quad (2) \quad (3) \quad (4) \quad (5)$$

F_w : وزن العربة، h_x : ارتفاع الحدة، v_0 : السرعة البدائية (م/ثا)، v_x : السرعة عند النقطة (x)، l_x : المسافة التي تقطعها العربة من قمة الحدة وحتى النقطة x، l_B : طول المكبح (م)، F_B : استطاعة المكبح، w_m : مجموع المقاومات (0%)، g : تسارع الجاذبية مع الأخذ بالاعتبار كتلة الأجزاء المتحركة (م/ثا²) ويؤخذ عادة 9.2 m/s^2 .

يمثل الحد الأول ($F_w h_x$) الطاقة الكامنة للعربة في قمة الحدة وهو جداء وزن العربة مقدرة بالنيوتن في ارتفاع الحدة بالمتر أي (N.m).

الحد الثاني ($\frac{F_w}{2g'} v_0^2$) هو الطاقة الحركية للعربة وهو ناتج من العلاقة المعروفة

$$E = \frac{m}{2} v^2$$

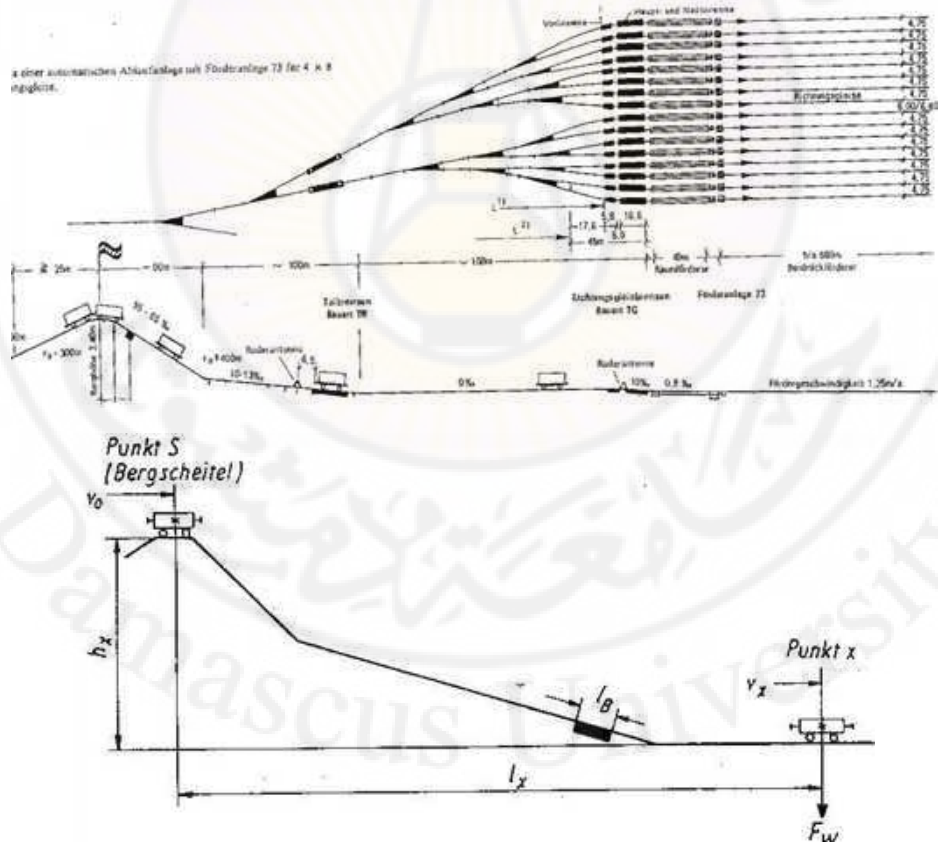
وتدخل فيه تسارع الجاذبية المخفض للأخذ بعين الاعتبار تأثير الأجزاء

المتحركة في العربة. أما السرعة البدائية فتقدر بالمتر في الثانية.

الحد الثالث ($F_w I_x w_m$) يمثل الطاقة الناتجة عن المقاومات عند حركة العربة من قمة الحدة وحتى النقطة x حيث تقطع العربة مسافة مقدارها I_x ، تقدر المقاومة كنسبة بالآلف من وزن العربة أي $\frac{N}{kN}$

الحد الرابع ($F_B I_B$) هو الطاقة بسبب مقاومة المكابح ويساوي قوة الكبح مقدرة بالنيوتن في طول الكبح مقدراً بالمتر. الشكل 30-12

الحد الخامس ($\frac{F_w}{2g} v_x^2$) الطاقة المتبقية عند وصول العربة إلى النقطة (x) حيث تكون سرعتها V_x .



الشكل 30-12: حساب حدة الفرز

لقد وضعت معادلة الطاقة على مبدأ مصونية الطاقة أي العمل المكتسب في الطرف اليساري من العلاقة يتم استهلاكه بالمقاومات في الطرف اليميني مع وجود فائض في الطاقة.

يمكن تحديد مقدار المسافة (l_x) التي ستقطعها العربة من قمة الحدبة وحتى النقطة (x) بدقة عند تصميم مسطح المحطة.

وللاستفادة من معادلة الطاقة يمكن إعادة صياغتها من أجل واحدة الوزن (أي $F_w = 1N$) وتصبح العلاقة:

$$h_x + \frac{v_0^2}{2g'} = l_x w_m + \frac{F_B}{F_w} l_B + \frac{v_x^2}{2g'}$$

وباعتماد المصطلحات التالية:

$h_0 = \frac{v_0^2}{2g'}$ وهو الارتفاع الطاقى عند سرعة الدفع البدائية (v_0) مقدراً بالمتر.

$h_w = l_x w_m$ وهو الارتفاع الطاقى للمقاومات مقدراً بالمتر.

$h_B = \frac{F_B}{F_w} l_B$ وهو الارتفاع الطاقى للمكابح مقدراً بالمتر.

$h_x = \frac{v_x^2}{2g'}$ وهو الارتفاع الطاقى عند النقطة x حيث السرعة v_x ويقدر بالمتر.

إن ارتفاع حدبة الفرز يجب أن يحقق وصول العربات إلى هدفها في أسوأ الشروط أي للعربة ذات المقاومات المرتفعة وفي شروط الطقس السيئة من تجمد أو رياح معاكسة ولأسوأ مسار من حيث المقاومات (مقاومة المنحنيات، مقاومة المفاتيح). وهنا لا بد من التذكير بالمقاومات التي تصادف العربة أثناء حركتها (راجع فصل الحسابات الجرية).

تقسم المقاومات إلى مجموعتين أساسيتين:

1- المقاومة الأساسية وهي ناتجة عن:

- مقاومة التدرج (w_r) وتتراوح قيمتها بين 0.5 إلى 10% ونؤخذ في حسابات الحدبة

$$0 w_r = 4.6\%$$

- مقاومة الرياح (W_L) وتساوي:

$$W_L = 0.01(V + V_L)^2 \text{ في الظروف الجيدة}$$

$$W_L = 0.04 (V + V_L)^2 \text{ في الظروف السيئة}$$

حيث:

V : سرعة العربة (م/ثا) وتساوي 4.5 م/ثا.

W_L : سرعة الرياح (م/ثا) وتساوي من 3 إلى 6 م/ثا.

2- مقاومة الخط وتتكون من المقاومات التالية:

- مقاومة المنحنيات W_b وتساوي $W_b = \frac{860}{R}$

- مقاومة المفاتيح W_w وتتراوح قيمتها من 0.5 وحتى 1%0

- مقاومة الميول W_s وتساوي $W_s = i\%$

يتم تحديد النقطة (x) التي تعتبر الهدف الذي يجب أن تبلغه العربة وبالتالي

تحديد طول المسار (l_n) الذي تقطعه كما يلي:

من أجل استطاعة الحدبة أقل (1500 عربة/يوم) تعتبر x هي عمود الرأب.

من أجل استطاعة الحدبة بين 1500 وحتى 3000 عربة/يوم تؤخذ x على بعد

50 م بعد عمود الرأب.

من أجل استطاعة الحدبة أكبر من 3000 عربة/يوم تؤخذ x على بعد 100 م من عمود الرأب.

إن الخط الذي يعطى أسوأ مسار يكن أن تسلكه العربة من حيث المقاومات لا يمكن تحديده عادة بشكل مباشر وغالباً ما تجري الحسابات لعدة خطوط لمعرفة الأسوأ بينها لاعتماد ارتفاع الحدبة الموافق لهذا الخط.

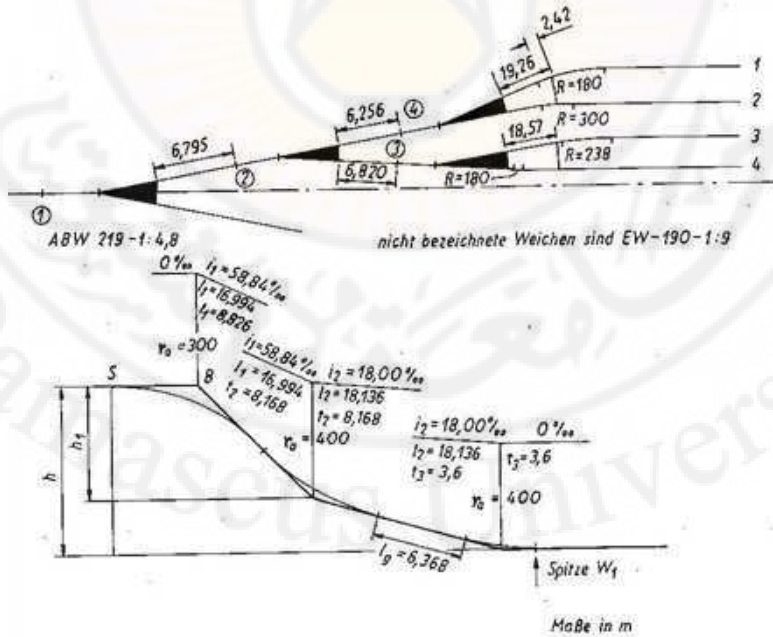
9-6-12- مثال على حساب ارتفاع حدبة الفرز:

يطلب تحديد ارتفاع حدبة الفرز وذلك من أجل منطقة التوزيع المتناظرة المبين مسطحاً في الشكل الشكل 31-12 والمؤلف من 8 خطوط فرز.

المفاتيح المستخدمة:

مفتاح متناظر 219-1:4.8 ($a = 11.050, b = 11.050$)

مفاتيح بسيطة 190-1:9 ($a = 10.523, b = 16.165$)



الشكل 31-12: معطيات المثال

المقاومات المعتمدة في الحساب:

$$W_s = 4.6\% \text{ مقاومة التدرج}$$

$$W_L = 0.04(V + V_1)^2 = 0.04(4.5 + 3)^2 = 2.25\% \text{ مقاومة الرياح}$$

$$W_o = W_s + W_L = 4.6 + 2.25 = 6.85\% \text{ المقاومة الأساسية}$$

$$W_b = 860 / R \% \text{ مقاومة المنحنيات}$$

$$W_w = 0.5\% \text{ مقاومة المفاتيح}$$

الحل:

الخط الذي يعطي أسوأ مسار هو الخط (1) أو الخط (3) لذلك سوف نحدد الخط الأسوأ.

حساب ارتفاع الحدة الموافق للخط (1):

يبدأ المسار عند النقطة (1) في مقدمة المفتاح المتناظر وينتهي عند عمود الرأب

للمفتاح (4)

طول المسار l:

$$l = 11.050 + 11.050 + 6.795 + 10.523 + 16.615 + 6.256 + 10.523 + 16.615 + 19.26 \\ = 108.87 \text{ m}$$

الارتفاع الطاقى للمقاومات:

$$hwo = \frac{6.85}{1000} * 108.687 = 0.745 \text{ m}$$

$$hwb = \frac{860}{215} * 22.1\% + \frac{860}{190} * 21.046\% + \frac{860}{180} * 2.42\% = 0.195 \text{ m}$$

$$hww = 0.5 * 22.1\% + 0.5 * 27.138\% + 0.5 * 27.138\% = 0.039 \text{ m}$$

$$\Sigma h = 0.979 \text{ m}$$

حساب ارتفاع الحدة الموافق للخط (3):

طول المسار l:

$$l = 11.050 + 11.050 + 6.795 + 10.523 + 16.615 + 6.820 + 10.523 + 16.615 + 18.57 \\ = 108.561 \text{ m}$$

الارتفاع الطاقى للمقاومات:

$$h_{wb} = \frac{6.85}{1000} * 108.561 = 0.744 \text{ m}$$

$$h_{wb} = 0.088 + 0.095 + 0.095 = 0.278 \text{ m}$$

$$h_{w_w} = 0.039 \text{ m}$$

$$\Sigma h = 1.061 \text{ m}$$

إذاً فإن الخط (3) هو الذي يعطي المسار الأسوأ.

- القطع الطولي للحدة:

يجب ألا يقل ارتفاع الميل الرئيسي في الحدة عن متر واحد ($h_1 \geq 1 \text{ m}$)

نختار قبة الميل الثانوي بين 10 و 18 بالألف ونعتمده في المثال $i_2 = 18\%$

نختار أنصاف أقطار المنحنيات الشاقولية

$$R_2 = 400 \text{ m} , R_3 = 400 \text{ m} , R_1 = 300 \text{ m}$$

ومن شرط التماس بين المنحنيين الشاقوليين (المنحني الشاقولي المحدب في القمة

والمنحني الشاقولي المقعر بين الميلين الرئيسي والثانوي).

نجد قيمة الميل الرئيسي: $i_1 = 58.84\%$

نحسب ارتفاع الميل الثانوي ($h_2 = ?$) بفرض أن المنحنيات الشاقولية متماسة:

$$R_1 = 300 \text{ m} , t_1 = 8.826 \text{ m}$$

$$R_2 = 400 \text{ m} , t_2 = 8.168 \text{ m}$$

$$R_3 = 400 \text{ m} , t_3 = 3.600 \text{ m}$$

$$h_2 = (t_2 + t_3) * i_2 = (8.168 + 3.600) * 0.018 = 0.212 \text{ m}$$

$$h = h_1 + h_2 = 1.212 \text{ m}$$

وهو ارتفاع الحدبة وفق الشروط الجيومترية.

يجب تحقيق هذا الارتفاع على الشروط الحركية أي أن هذا الارتفاع المحسوب يجب أن يكافئ مجموع الارتفاعات الطاقية للمقاومات.

إن بداية أول مفتاح في الحزمة تقع بعد نهاية المنحني الشاقولي عند قاعدة الحدبة، وعليه فإن طول المسار الذي تسلكه العربة حتى هذه النقطة يساوي:

$$l = t_1 + 2t_2 + 2t_3$$

$$l = 32.362 \text{ m}$$

ويكون الارتفاع الطاقى الموافق للمقاومات الأساسية على هذا الطول:

$$hw_o = 6.85\% \circ * 32.362 = 0.222 \text{ m}$$

ويكون ارتفاع الحدبة وفق الشروط الحركية عندها هو مجموع الارتفاع الطاقى للمقاومات جميعها أي:

$$h = 1.061 + 0.333 = 1.283 \text{ m}$$

ارتفاع الحدبة:

لقد حسب ارتفاع الحدبة وفقاً للشروط الجيومترية فكان يساوي 1.212 م ووفقاً للشروط الحركية فكان يساوي 1.283 م.

إن الفرق بين الارتفاعين يجب أن يؤمن عن طريق زيادة الارتفاع h_2 الموافق للميل الثانوي:

$$\Delta h = 1.283 - 1.212 = 0.071 \text{ m}$$

وهذه الزيادة في الارتفاع توافق زيادة في طول الميل الثانوي مقدارها:

$$L = \frac{0.071}{(18 - 6.85)\%} = 6.368 \text{ m}$$

مسقط هذا الطول على المحور الشاقولي y يساوي

$$6.368 * 0.018 = 0.115 \text{ m}$$

ويكون ارتفاع الحدبة:

$$h = 1.212 + 0.115 = 1.327 \text{ m}$$

ويؤخذ بعد التقريب: $h = 1.33 \text{ m}$

التحقيق:

طول المسار على الخط (3):

$$L = 108.561 + (32.362 + 6.368) = 147.291 \text{ m}$$

الارتفاع الطاقى:

$$h_{wo} = 6.85\% * 147.291 = 1.010 \text{ m}$$

$$h_{wb} = 0.278 \text{ m}$$

$$h_{w_w} = 0.039 \text{ m}$$

$$\sum h_w = 1.327 \text{ m}$$

أي الارتفاع الطاقى للمقاومات يساوي ارتفاع الحدبة فهو محقق.

10-6-12- خطوط الفرز:

عدد الخطوط: يحدد عدد خطوط الفرز استناداً إلى أهمية محطة الفرز واستطاعتها. وتؤثر في ذلك وجهات القطارات المشكلة نتيجة أعمال الفرز وطريقة تشكيل القطارات.

ويمكن القول بأنه يلزم خط واحد لكل 60-80 عربة/يوم. يضاف إلى العدد الكلي عدد من الخطوط احتياطياً وذلك لتجنب أوقات انتظار على خط الحدية.

تحدد أطوال خطوط الفرز بناءً على أطوال القطارات المركبة معبراً عنها بالمتر الطولي أو بعدد المحاور مضافاً إليها طولاً احتياطياً يتراوح من 50-200 م، ولا يقل الطول المفيد لخط الفرز عن 100م ولا يزيد عن 1000 م.

بالنسبة لتصميم خطوط الفرز فلا توجد مسائل خاصة محددة بها. وتكمن الصعوبة في تصميم منطقة التوزيع وتحديد عدد خطوط الفرز والمسافات بين محاور الخطوط. تكون المفاتيح المتتابة بميل 1:9 وأحياناً بميل أكبر (1:7.5). وتكون أطوال الخطوط مختلفة حيث تكون الأطوال المفيدة للخطوط المحيطية قصيرة.

إن شكل الحزم المشكلة للخطوط من جهة حدة الفرز (تضم كل حزمة 6-10 خطوط) لا تأثر على تشكيل مجموعات الخطوط في نهايتها، وإنما يتم تشكيل مجموعات الخطوط بناءً على وظيفتها، حيث تتجمع الخطوط المتشابهة الاستخدام مع بعضها.

يبلغ التباعد بين محاور خطوط الفرز عادةً 5.00 م ويزداد بين كل مجموعتين إلى 6.50 م (المجموعة تتكون من 6-8 خطوط) حيث يسمح بتوضع أعمدة الإنارة أو التغذية الكهربائية.

تتصل خطوط الفرز بمنطقة التوزيع حيث تكون الخطوط أفقية (الميل صفر) وذلك حتى عمود الرأب لآخر مفتاح في منطقة التوزيع. وتبدأ جمع خطوط الفرز بميل طولي في مقطع واحد عمودي على محاور الخطوط ويمر من آخر مفتاح توزيع، وتكون أطوال الخطوط مختلفة.

ترتبط خطوط الفرز مع خطوط الترحيل بعدد من المفاتيح ويمكن أن يوضع عدد من خطوط الترتيب النهائي في المنطقة بين خطوط الفرز وخطوط الترحيل كما يبين الشكل.

11-6-12- خطوط الترحيل:

تتوضع خطوط الترحيل عادة بعد خطوط الفرز وترحل القطارات مع أو عكس اتجاه الحركة الرئيسي وذلك في محطات الفرز الكبيرة حيث استطاعت حلبة الفرز تتجاوز 3000 عربة/يوم.

أما في المحطات الصغيرة فيمكن دمج ساحة الترحيل على ساحة الفرز أي يتم ترحيل القطارات مباشرة من خطوط الفرز كما يمكن أن تأخذ خطوط الترحيل وضعاً جانبياً بالنسبة لخطوط الفرز.

الوظائف الأساسية لخطوط الترحيل:

- استقبال العربات من خطوط الفرز حتى لا تحدث توقفات على خطوط الفرز.
 - تنفيذ الأعمال الضرورية اللازمة للترحيل مثل: ربط العربات مع بعضها، الفحص الفني للعربات، التأكد من الفرامل، وضع اللوحات أو الأقراص الخلفية على العربات.
 - ضمان الفواصل الزمنية بين القطارات عند عدم انتظام ترحيل القطارات.
- تختار المفاتيح المستخدمة في ساحة الترحيل وفق اعتبارات حركية وجيومترية واقتصادية.

إن الاعتبارات الجيومترية والاقتصادية التي نوقشت في ساحة الاستقبال هي ذاتها في ساحة الترحيل.

أما الاعتبارات الاقتصادية التي تتعلق بالزمن الضروري لاشغال الخطوط فإنه ينصح من أجل الحركة الكثيفة على الخطوط أن يتم استخدام مفاتيح تسمح للعربات بعبورها بسرعة 60 كم/سا (أي $R = 500\text{ m}$) وفي الحالات الأخرى مفاتيح تسمح بعبورها بسرعة 40 كم/سا (أي $R = 190\text{ m}$).

إن مبادئ تصميم المسطح لساحة الترحيل هي نفسها التي ذكرناها في ساحة الاستقبال. ومن الضروري أن تتمكن القطارات المركبة على جميع الخطوط من الانتقال إلى جميع خطوط الشبكة العامة بكل الاتجاهات.

تحدد الأطوال المفيدة للخطوط في ساحة الترحيل من خلال أطوال القطارات المسموح بها بالإضافة إلى طول القاطرة ومسافة إضافية لعدم دقة التوقف.

يبلغ التباعد بين محاور الخطوط في ساحة الترحيل عادةً 5 م. ويزداد بين مجموعات الخطوط (المجموعة 6 إلى 8 خطوط) إلى 6.5 م.

12-6-12 الخطوط الإضافية:

- خطوط الحركة وتؤمن حركة القاطرات أثناء أعمال المناورة دون أن يؤدي ذلك إلى إعاقات بين ساحات الخطوط في المحطة.

- خطوط الانتظار للقاطرات.

- خطوط السحب.

- خطوط إعادة الربط.

- خطوط التبادل.

الفصل الثالث عشر مخطط سير القطارات Graph of Trains Running

1-13- تعريف:

مخطط سير القطارات يمثل البرنامج الزمني الأساسي لتنظيم حركة سير القطارات على الخط الحديدي أو على جزء من الخط والمنسق لعمل سائر منشآت وأقسام الخط الحديدي وشبكة السكك الحديدية بشكل عام.

2-13- محتويات مخطط سير القطارات:

يبين مخطط السير ما يلي:

- عدد وأنواع القطارات التي تسير على أقسام الخط خلال زمن محدد أو على مدار 24/ ساعة باستثناء قطارات الإطفاء والإنقاذ وغيرها المخصصة للحالات الطارئة.
- زمن التوقيفات في المحطات اللازمة لصعود ونزول الركاب أو لتحميل أو تفريغ البضائع أو لإجراء بعض العمليات الفنية.
- زمن السير على أقسام الخط بين المحطات والسرعة العظمى الموافقة.
- عدد عربات قطارات الركاب وترتيبها وطول قطارات الشحن.
- عدد مسارات الخط الرئيسية بين المحطات.

13-3- الهدف من تنظيم مخططات سير القطارات:

- 1- تمرير عدد كاف من قطارات الركاب والشحن.
- 2- الاستخدام الأمثل للقاطرات والعربات والشاحنات بتلافي توقفها مدداً أطول من اللازم.
- 3- تأمين سير قطارات الركاب والشحن بشكل آمن وفعال وبكافة الأحوال وعلى مختلف أقسام الخط.
- 4- تحقيق السرعات المناسبة لمختلف أنواع القطارات حسب أوزانها والميول الطولية والمنحنيات الأفقية لأقسام الخط.

13-4- تصنيف مخططات السير:

تصنف مخططات السير حسب جهة الاستخدام إلى:

13-4-1- مخططات سير القطارات للاستخدام الداخلي:

(للعاملين في مؤسسة السكك الحديدية) ويدعى بنهج السير (أو دفتر الخدمة) ويتضمن مواعيد سير كافة القطارات إضافة إلى كافة التفاصيل التي يجري بناء عليها تنظيم سير مختلف القطارات وطريقة تخدمها ويطبع ويوزع على سائر العاملين في المحطات وعلى أقسام الخطوط للعمل بموجبه.

وتحتوي دفاتر الخدمة إضافة إلى المعلومات التي يتضمنها مخطط سير القطارات العام على ما يلي:

- مخطط توضع الإشارات العامة لتنظيم وتوجيه سير قطارات البضائع.
- الإشارات الكيلومترية لتحديد المسافات.
- أماكن توضع الإشارات التحذيرية الدائمة (التي تحدد أماكن تخفيض السرعة).
- أماكن توضع مراكز الخدمة.

- تحديد أقسام الخط التي يمكن إجراء عمليات المناورة والعمليات الفنية عليها.

- نوع القطارات، الحمولات، السرعات المسموحة.

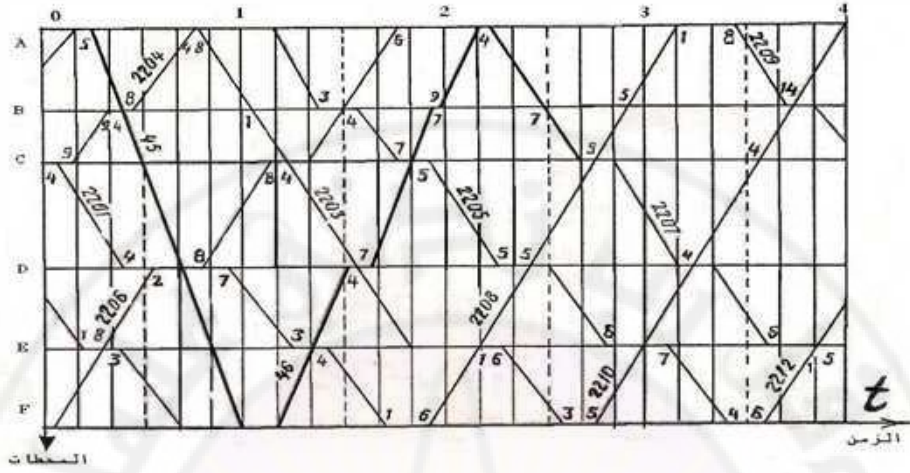
وتنظم دقاتر الخدمة عادة لفترة /24/ ساعة أو لفترات محددة أقل (عدة ساعات) ولكامل الخط أو لأجزاء منه، ولقطارات الركاب بشكل مستقل عن قطارات البضائع. أما بالنسبة للخطوط ذات الحركة القليلة فتتنظم لكلا النوعين.

2-4-13- مخططات سير القطارات للاستخدام العام (Trains Time Table):

والتي تحدد مواعيد سير قطارات الركاب وتطبع وتوضع تحت تصرف الجمهور.

13-5- تنظيم مخطط سير القطارات:

ينظم مخطط سير القطارات بالاستعانة بشبكة محاور مستطيلة يمثل فيها المحور الأفقي (x) الزمن لفترة محددة عدة ساعات أو خلال /24/ ساعة، ويمثل المحور الشاقولي (y) المسافات بين المحطات المتوضعة على كامل طول الخط أو على القسم المدروس من الخط، وتمثل الخطوط الأفقية الثانوية الموازية للمحور الأفقي المحطات الموجودة على الخط. وتمثل القطارات التي تسير على الخط خلال /24/ ساعة أو عدة ساعات بخطوط مستقيمة مائلة بخط سميك لقطارات الركاب وبخط رفيع لقطارات البضائع. يدون على خطوط السير رقم القطار والذي يدل به على اتجاه السير على الخط. كما يبين ذلك الشكل (1-13).



الشكل (1-13) مخطط سير القطارات على خط مفرد بين المحطات F-A

يدون على الخطوط الأفقية بجانب خطوط السير آحاد زمن الانطلاق والوصول والفواصل الزمنية المختلفة.

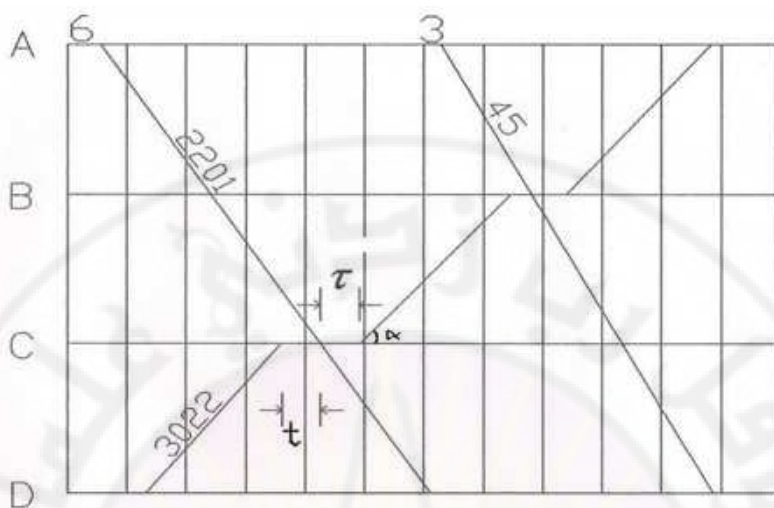
وكما يتضح من الشكل (2-13) بأن ميل خطوط السير على المحور الأفقي يمثل سرعة القطارات المتحركة على أقسام الخط فمن العلاقة:

$$V = \tan \alpha \quad (1-13)$$

حيث:

α هي زاوية خط السير مع المحور الأفقي.

ومنه فكلما زاد الميل زادت السرعة والعكس بالعكس.



الشكل (2-13) مخطط تلاقي قطاري بضائع والفواصل الزمنية وميل خط السير

1-5-13- طرق ترقيم القطارات:

عالمياً يجري ترقيم القطارات باستخدام أربعة أرقام 1-2-3-4 أو خمسة أرقام في حال عدم الكفاية.

حيث يشير العددان الأول والثاني على مجال عمل القطارات فيكون العددان متطابقان أو أحدهما صفراً للقطارات التي تعمل ضمن نفس المنطقة أو المقاطعة بينما يدل العدد الأول على المقاطعة التي ينطلق منها القطار والعدد الثاني على المقاطعة التي تنتهي عندها رحلة القطار.

ويدل العددان الأخيران على نوع القطار وترتيبه في السير خلال 24 ساعة والعدد الأخير من اليمين على اتجاه السير (فردى أو زوجي)، والعدد الخامس الوسيط في الرقم الخماسي فهو يُمكن من زيادة الترميز لعدد أكبر من القطارات.

وتعطى الأرقام الفردية للقطارات التي تسير من بداية الخط إلى نهايته (ذهاب) وتكون متجه على المخطط من الأعلى نحو الأسفل والأرقام الزوجية للاتجاه المعاكس ومن الأسفل نحو الأعلى.

الأرقام يجب أن لا تتكرر في مخطط السير خلال /24/ ساعة وفي حال حدث ذلك فيجب أن لا يسير القطار الذي يحمل نفس الرقم على نفس الخط أو على الخطوط المتفرعة من نفس المحطات.

13-5-2- نظام الترقيم المتبع في خ ح س:

يتم ترقيم القطارات على شبكة الخطوط الحديدية السورية، كما يلي:

(من 1 حتى 898) ويخط سميكة لقطارات الركاب.

(من 901 وحتى 998) لقطارات الركاب والبضائع والبريد والأمتعة.

(من 1001 حتى 3998) لقطارات البضائع.

13-5-3- المعلومات اللازم توفرها لتنظيم مخطط سير القطارات:

1- عدد الخطوط الرئيسية الموجودة على المسار بين المحطات.

2- سرعة القطارات.

3- زمن إشغال أقسام الخط بين كل محطتين لكل زوج من القطارات أو لكل قطار

بشكل فردي (الزمن الصافي لقطع المسافة بين المحطتين).

4- عدد القطارات التي تسير بكل اتجاه.

5- درجة الاستفادة من الاستطاعة التمريرية النظرية لكل خط.

6- مقدار توقف القطارات في المحطات لتنفيذ العمليات الفنية المتعلقة بأمان

السير.

7- الفواصل الزمنية المختلفة عند (تلاقي أو تتابع أو انطلاق أو وصول)

القطارات من وإلى المحطات.

8- الزمن اللازم لإقلاع أو إجمام القطار.

9- المسافات الكيلومترية بين المحطات.

13-6- الفواصل الزمنية:

وهي الحد الأدنى من الزمن اللازم لتنفيذ وإجراء بعض العمليات المتعلقة باستقبال وترحيل وتمرير القطارات، وفي الخطوط المفردة يمكن تمييز فواصل زمنية مختلفة عند تلاقي القطارات في المحطات أو عند انطلاقها المتتابع منها أو عند استقبال قطار من جهة ما من المحطة واستقبال آخر من الجهة المجاورة لها، أو عند وصول قطار إلى محطة وانطلاق قطار آخر باتجاه هذه المحطة من المحطة المجاورة لها... الخ. ومن الشكل (13-2) نميز الفواصل الزمنية التالية:

13-6-1- زمن المسير:

وهو الزمن الصافي الذي يستغرقه القطار لقطع المسافات بين المحطات ويتم تحديده لمختلف أصناف القطارات استناداً إلى الحسابات الجرية (نظرياً) ويجري تدقيق نتائج هذه الحسابات بإجراء جولات تجريبية لهذه القطارات ذهاباً وإياباً.

والياً أصبح يجري حساب زمن المسير لكافة الحالات باستخدام الحاسوب، وذلك بإدخال المعلومات التفصيلية عن المقطع الطولي ومواقع المحطات وعدد وأطوال المسارات فيها، وتجهيزات الإشارات وطرق تشغيل المفاتيح إضافة إلى المواصفات الجرية لكافة أنواع القاطرات، وتبقى أوزان القطارات التي ستجرها والسرعات الحدية متغيرة ليقوم الحاسوب باختيار أنسبها ويعطي زمن المسير الصافي بين المحطات الموافق لها ذهاباً وإياباً مع توقف أو بدونه.

13-6-2- فاصل الوصول غير المتزامن t :

هو الحد الأدنى من الزمن الفاصل بين وصول قطارين من جهتين مختلفتين إلى المحطة نفسها ويسمح لأحدهما بمتابعة سيره دون توقف أو بالتوقف فيها ويمكن حساب قيمة هذا الفاصل من العلاقة التجريبية التالية:

$$t = t' + t_r + 0.06 \frac{l_t + l_b + l_n}{v'} \quad (2-13)$$

حيث:

t' : الزمن اللازم لتحضير مسار الدخول للقطار الذي سيمر دون توقف.

t_r : زمن رد فعل سائق القطار عند فتح إشارة الدخول له إلى المحطة.

l_t : طول القطار.

l_b : طول خط الإلجام ويتراوح حسب نوع القطار بين (500-1200) متراً.

L_n : طول مدخل المحطة (المسافة الفاصلة بين إشارة الدخول وعمود راب الخط الذي سيتم استقبال القطار عليه (100-150) متراً).

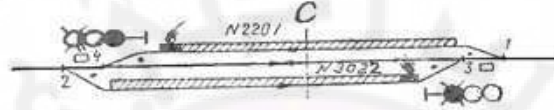
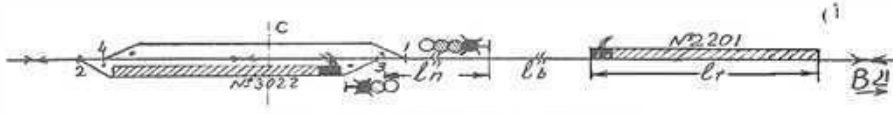
v : السرعة الوسطية لقطع المسافات المذكورة (كم/سا).

ويمكن اعتماد القيمة الدنيا لهذا الفاصل في محطات الخ ح س التي يتم تشغيل المفاتيح فيها كهربائياً مساوية لدقيقتين وللمحطات التي تدار فيها المفاتيح يدوياً تساوي 3 دقائق.

13-6-3- فاصل التلاقي τ :

وهو الحد الأدنى من الزمن الفاصل بين وصول أو مرور أحد القطارين المتلاقين إلى المحطة ومغادرة الآخر لها بالاتجاه المعاكس. إن مدة هذا الفاصل تتعلق وبشكل كبير بنظام الإشارات وطريقة تشغيل المفاتيح وتحضير مسارات ترحيل القطارات، وتتراوح قيمة هذا الفاصل بين 0.5 و 1.5 دقيقة. ويمكن اعتماده في الخ ح س مساوياً لدقيقة واحدة.

يبين الشكل (13-3-أ، ب) وضعية القطارين المتلاقين والإشارات لكل منهما لحظة تلاقيهما في المحطة.



الشكل (3-13) وضعية القطارين المتلاقين في المحطة C

أ- لحظة الوصول غير المتزامن ب- لحظة التلاقي

كما يبين الجدول (1-13) المخطط البياني لمختلف الحالات (تلاقي وتتابع والوصول والترحيل غير المتزامن أو الترحيل والوصول غير المتزامن).

جدول (1-13) الفواصل الزمنية لمختلف الحالات

مخطط الفاصل	الفاصل الزمني	مخطط الفاصل	الفاصل الزمني
	فاصل التلاقي τ في حالة مرور القطار الزحجي بدون توقف. أيضاً عند توقف كليهما.		فاصل تتابع قطارين.
	فاصل الوصول غير المتزامن.		فاصل الترحيل والوصول غير المتزامن.
	فاصل الوصول غير المتزامن.		فاصل الترحيل والوصول غير المتزامن.



13-6-4- الزمن اللازم لإقلاع أو إجمام القطارات:

يختلف زمن إقلاع وإجمام القطارات حسب نوعها (ركاباً أو بضائع) ووزنها وإتجاه ميل خطوط المحطة وكذلك ميل قسم الخط قبل وبعد المحطة مباشرة، لأن هذه الميل قد تؤدي إلى زيادة قيمة زمن الإقلاع إذا كان الميل هابطاً باتجاه الانطلاق من المحطة وزيادة زمن الإجمام في الاتجاه المعاكس والعكس بالعكس.

لذلك يجري تحديد قيمة هذه الأزمنة بناءً على دراسة لأوضاع كافة المحطات الواقعة على الخط أو قسم الخط المراد تنظيم مخطط السير له وتوضع معايير لهذه الأزمنة ولمختلف أنواع القطارات وحسب اتجاه السير . وبشكل عام تتراوح هذه القيم بين (6-0.5) دقائق من الجدول (13-3).

ويمكن اعتماد القيم الوسطية لزمن الإجمام أو الإقلاع حسب نوع القطارات من الجدول (13-2).

الجدول (13-2) القيم الوسطية لزمن الإجمام والإقلاع

نوع القطار	ركاب	بضائع
زمن الإقلاع t_a	1	2
زمن الإجمام t_b	2	3

الجدول (3-13) الحد الأدنى للفواصل الزمنية

مدة الحد الأدنى للفواصل الزمنية بالدقائق					طريقة تشغيل المفاتيح	نظام الإرشادات المستخدم في المحطات
الوصول والترحيل غير المتزامن τ_{on}	الوصول والترحيل غير المتزامن τ_{no}	تتابع قطارين τ_{nc}	الوصول غير المتزامن t	التلاقي		
4-5	4-5	3-4	3-4	2	يدوياً	1- نصف آلي
3	3.5-4	2-3	2-3	1	كهربائياً	
2.5-3	3-4	-	1-2	0.5	كهربائياً	2- آلي (لم يستخدم بعد لدينا)
2	2.5-3	-	1.5	0.5	كهربائياً	3- تحكم مركزي CTC (لم يستخدم بعد لدينا)
4-5	5-6	4-5	3-4	2	يدوياً	4- الحجز الكهربائي بتسليم العصاة المعدنية (لا يستخدم لدينا بل في مصر مثلاً)

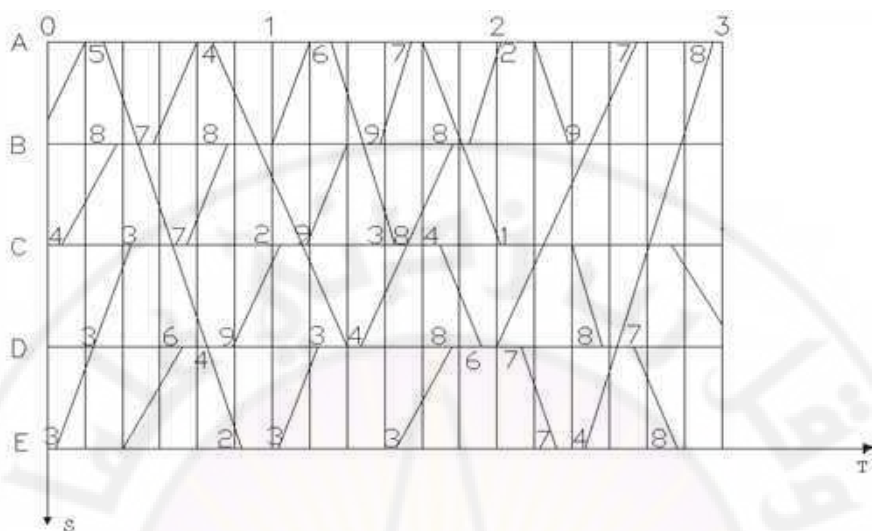
7-13- تصنيف خطوط السير:

تصنف خطوط السير حسب عدد المسارات إلى:

- 1- مخططات سير القطارات للخط المفرد.
- 2- مخططات سير القطارات للخط المزدوج.
- 3- مخططات سير القطارات للخط المتعدد (ثلاثي - رباعي).

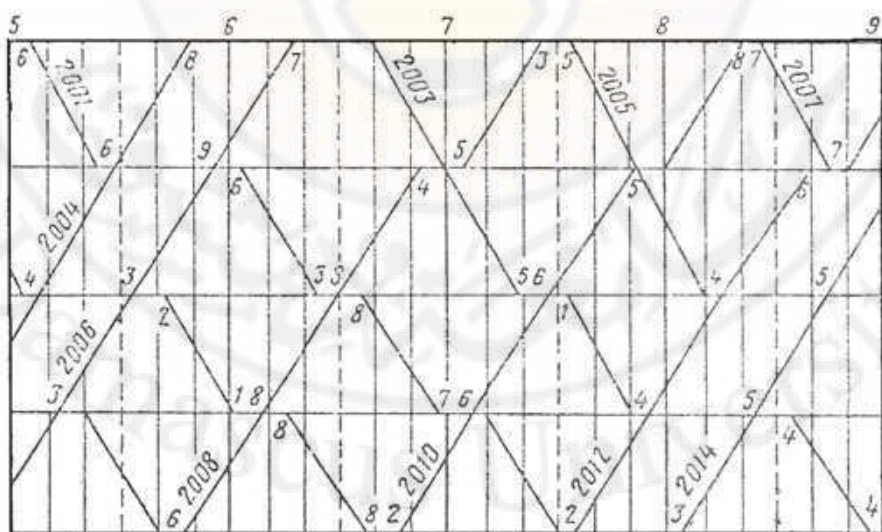
7-13-1- مخطط سير القطارات على الخط المفرد:

يتميز بأن الالتقاء للقطارات المتعاكسة الاتجاه والتجاوز للقطارات بنفس الاتجاه يتم في المحطات فقط، وبالتالي لا يسمح بوجود أكثر من قطار واحد بنفس الوقت على قسم الخط بين محطتين في كلا الاتجاهين كما هو مبين في الشكل (4-13).



الشكل (4-13) مخطط سير القطارات على خط مفرد

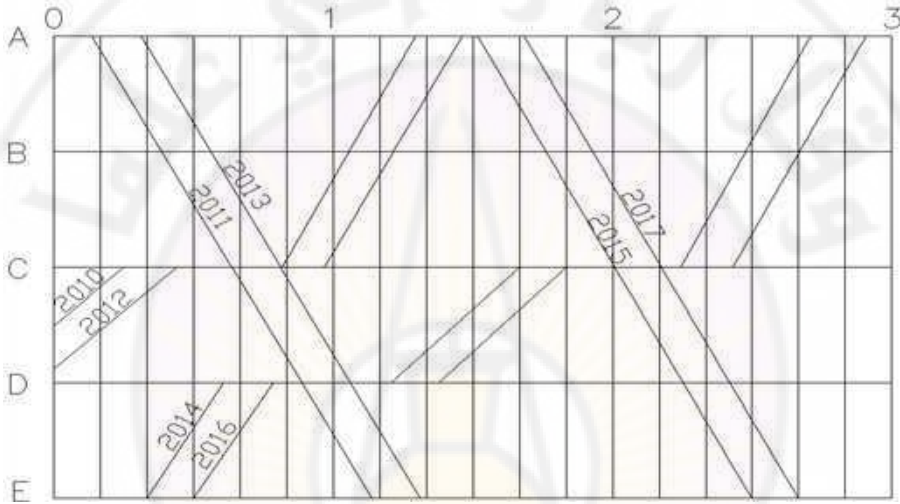
كما يمكن أن ينظم مخطط السير للخط المفرد بحيث يسمح بتتابع قطارين باتجاه واحد كما في الشكل (5-13) لا يسمح بوجود قطارين بنفس الاتجاه بين محطتين إذا كان الخط غير مزود بأجهزة الإشارات الآلية وبشاخصات العبور.



الشكل (5-13) تتابع القطارات على خط مفرد غير مزود

بأجهزة الإشارات الآلية وشاخصات العبور

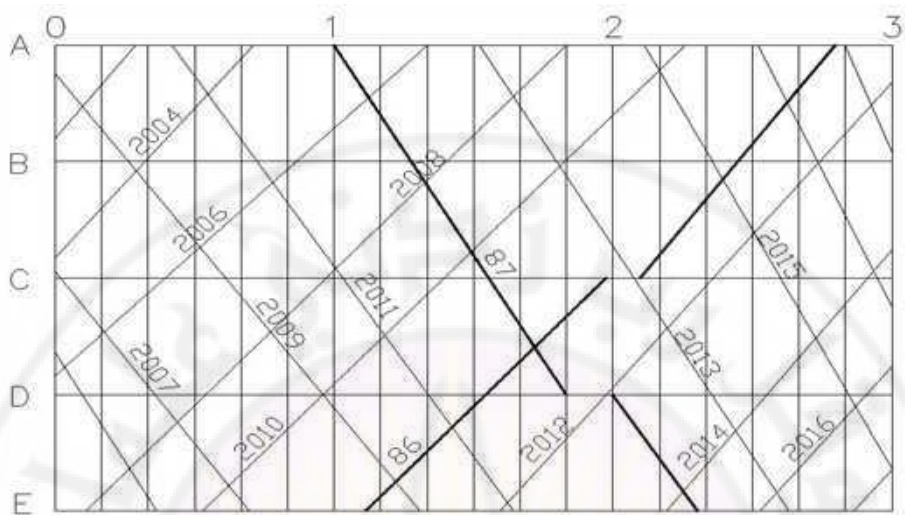
وفي حال كان الخط مزود بأجهزة الإشارات الآلية وبشاخصات العبور على قارعة الخط عندها يسمح بوجود قطارين متتابعين بنفس الاتجاه بين محطتين تفصل بينهما مسافة زمنية (فاصل تتابع قطارين) وهذا يؤدي إلى زيادة السعة التمريرية للخط كما هو مبين بالشكل (6-13)



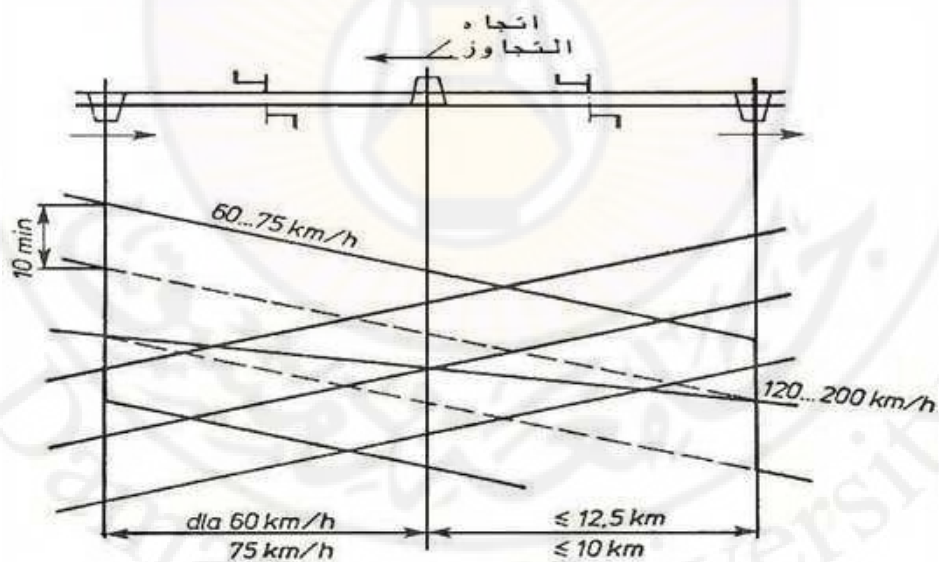
الشكل (6-13) تتابع قطارين على خط مفرد مزود بأجهزة الإشارات الآلية وبشاخصات العبور

2-7-13- مخططات السير للخط المزدوج:

وتتميز بأن التلاقي للقطارات المتعكسة الاتجاه يمكن أن يتم على قارعة الخط بين المحطات في حال تخصيص كل مسار لاتجاه الشكل (7-13)، بينما التجاوز للقطارات بنفس الاتجاه يتم حصراً في المحطات الشكل (8-13).



الشكل (7-13) مخطط سير القطارات على خط مزدوج



الشكل (8-13) تجاوز قطار سريع لقطار بطيء على الخط المزدوج

3-7-13- مخططات السير للخطوط المتعددة المسارات:

أ- ثلاثة مسارات: هو عبارة عن دمج مخططات سير القطارات على خط مفرد وخط مزدوج.

ب- أربعة مسارات: هو عبارة عن دمج مخططات سير القطارات على خطين مزدوجين.

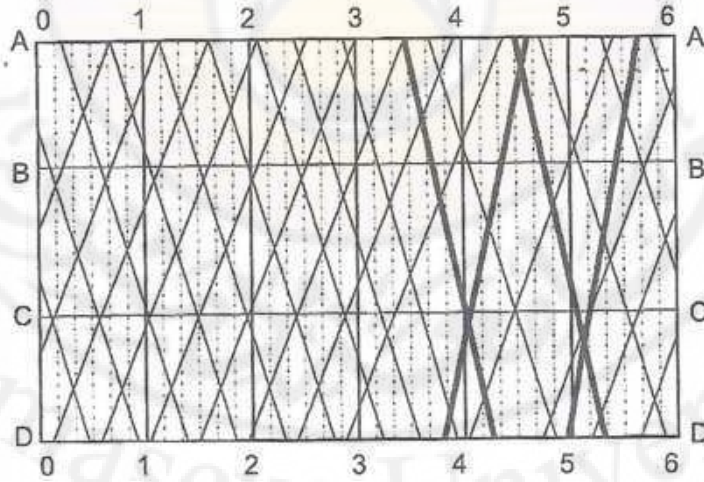
8-13- أنواع مخططات سير القطارات:

يمكن تصنيف مخططات سير القطارات حسب توزيع خطوط السير بالنسبة

لبعضها إلى:

1- خطوط سير عادية: وهي تمثل الحالة العامة أي قطارات تسير بسرعات مختلفة مع توقفات مختلفة (تجارية، بضائع... الخ).

2- خطوط سير متوازية: ويمكن أن تكون متوازية وبتباعدات متساوية فيما بينها أي (ذات سرعات متساوية وبتوقفات موحدة)، أو بخطوط متوازية ولكن بأزمنة توقف في المحطات مختلفة أي مسافات مختلفة الشكل (9-13) يبين خطوط السير المتوازية وغير المتوازية.



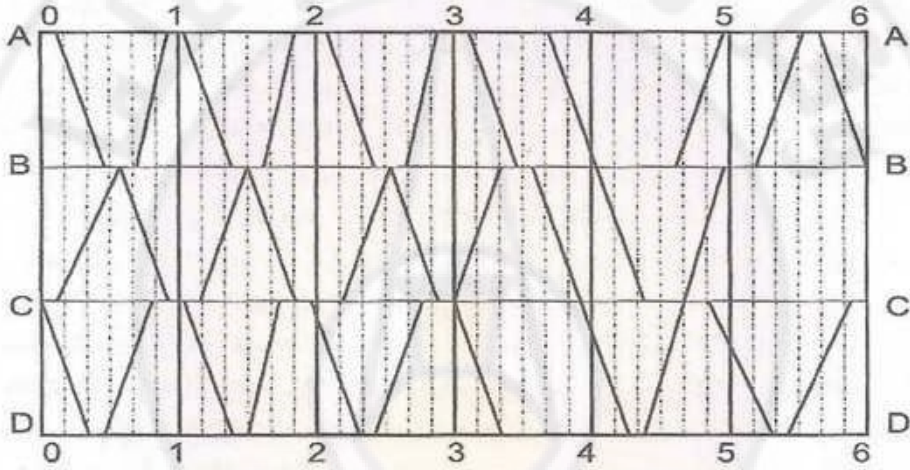
الشكل (9-13) مخطط سير القطارات على خط مزدوج

الزمن من 1 حتى 3 ساعة خطوط سير متوازية، الزمن من 3 حتى 6 ساعة

خطوط سير عادية.

3- مخططات سير مشبعة أو غير مشبعة:

يكون مخطط السير مشبعاً عندما يكون عدد القطارات أعظماً وفي هذه الحالة تكون درجة الاستفادة من الاستطاعة التمريرية كاملة، ويكون ذلك في الخطوط المفردة بأن تتقاطع القطارات بالاتجاهين على كافة المحطات وبالعكس تكون غير مشبعة. والشكل (10-13) يوضح مخطط سير القطارات على خط مفرد في كلا الحالتين.



الشكل (10-13) مخطط سير القطارات على خط مفرد المشبعة وغير المشبعة

الزمن: من 3-1 ساعة مشبع ومن 6-3 ساعة غير مشبع

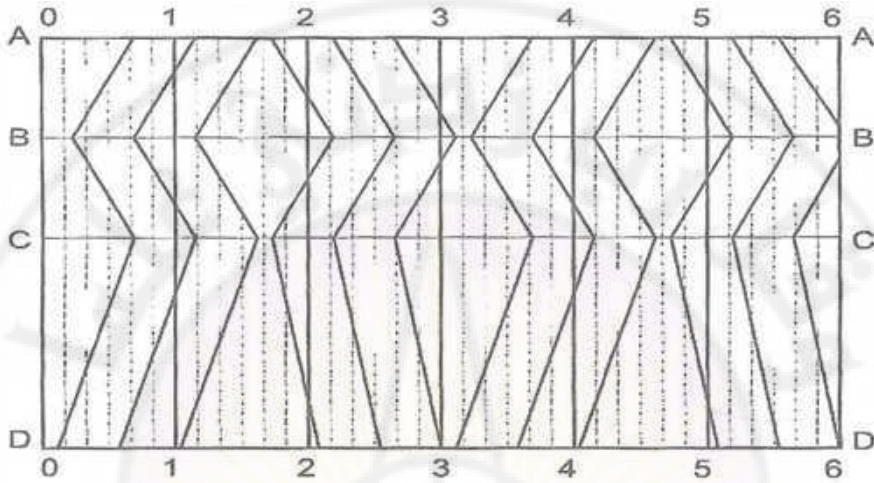
4- خطوط سير متطابقة وغير متطابقة:

وتكون متطابقة في حال تساوت السرعات والتوقيات وكافة الأزمنة الإضافية لقطارين على خط مفرد أو لقطار واحد على خط مزدوج (ذهاباً وإياباً).

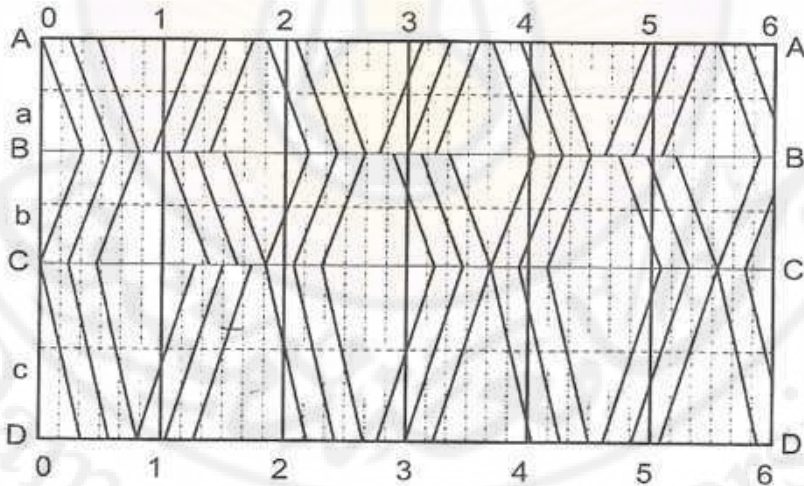
5- خطوط سير على شكل باقة جزئياً أو كلياً:

وتكون على شكل باقة كلياً عندما تسير القطارات في كل اتجاه على شكل حزم وبشكل متوازي على كامل أقسام الخط وتظهر مثل هذه الخطوط على الخطوط المفردة المزودة بنظام إشارات آلي وشاخصات عبور كما في الشكل (11-13)، وجزئياً عندما

يسير قسم منها على شكل حزم ولكن ليس على كامل الخط وكذلك بالنسبة لفواصل التتابع وقسم آخر يسير بشكل منفصل الشكل (12-13).



الشكل (11-13) مخطط سير القطارات على خط مفرد على شكل باقة كاملة



الشكل (12-13) مخطط سير القطارات على خط مفرد على شكل باقة جزئية

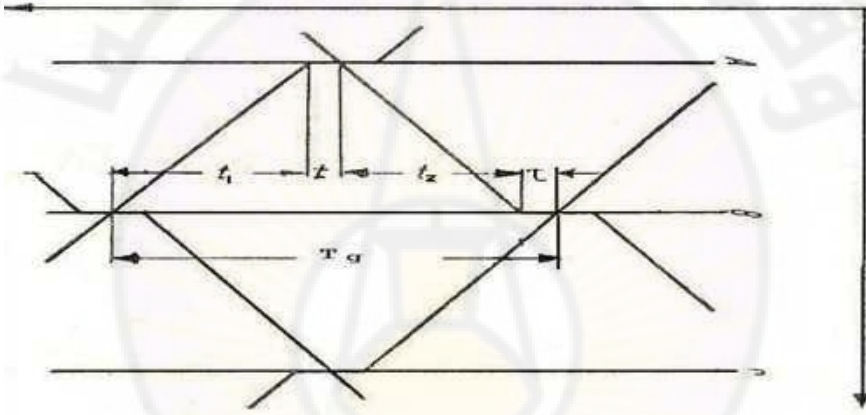
6- خطوط سير زوجية:

وتكون خطوط السير زوجية عندما يكون عدد القطارات التي تسير في كل اتجاه واحد من بداية الخط وحتى نهايته سواءً في الخطوط الفردية أو الزوجية.

9-13- الاستطاعة التمريرية:

1-9-13- الاستطاعة التمريرية للخط المفرد:

هي العدد النظري لأزواج قطارات البضائع الممكن تمريرها خلال 24 ساعة بعد حذف الزمن المستغرق لتسيير قطارات الركاب على الخط بالاتجاهين على القسم الحاكم من الخط (وهو القسم الواقع بين محطتين متجاورتين ويكون مجموع الزمن اللازم لقطعه ذهاباً وإياباً أعظماً).



الشكل (13-13) دورة مخطط سير قطارات الشحن على خط مفرد

- دورة مخطط سير القطارات T_g :

ويعبر عنها بالزمن الفعلي اللازم لقطع زوج من قطارات البضائع المسافة بين المحطتين الأكثر صعوبة على الخط (وتكون الصعوبة نتيجة لشدة الارتفاع أو لطول المسافة) ويتكرر هذا الزمن عدة مرات في مخطط سير القطارات خلال 24 ساعة أو عدة ساعات. ويمكن حساب دورة مخطط سير القطارات من العلاقة التالية:

$$T_g = t_1 + t_2 + t + \tau + t_a + t_b \quad (3-13)$$

حيث:

t_1 : الزمن الصافي اللازم لقطع قطار البضائع المسافة ذهاباً.

t_2 : زمن قطع نفس المسافة إيجاباً.

t : فاصل الوصول غير المتزامن.

τ : فاصل التلاقي.

t_a, t_b : الزمن اللازم لإقلاع القطار أو إجماعه.

وتحسب الاستطاعة التمريرية النظرية للخط وفق العلاقة التالية:

$$N_1 = \frac{1440 - T_p}{T_g} \quad (4-13)$$

حيث:

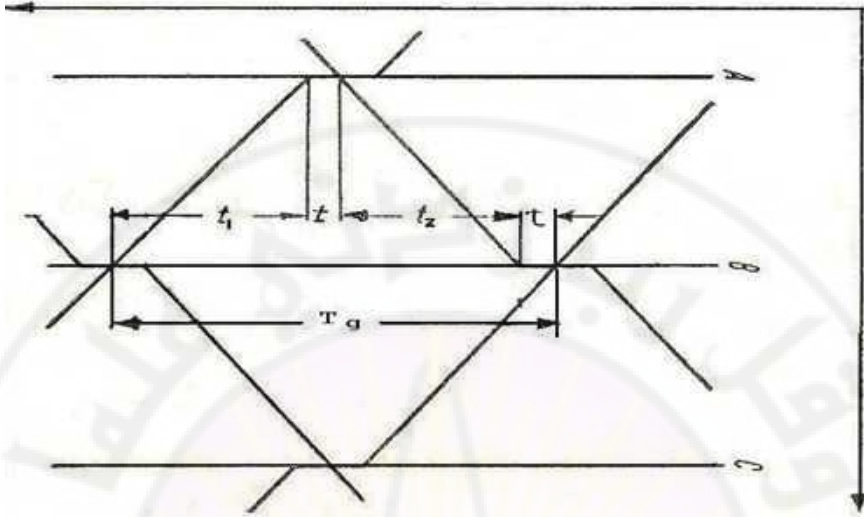
T_p : زمن إشغال الخط المفرد لتسيير قطارات الركاب وفق الجدول الزمني

المعتمدة من الإدارة.

ملاحظة:

الاستطاعة التمريرية للخط المزدوج تساوي إلى مجموع الاستطاعة التمريرية للمسار بالاتجاهين وفي حال تساوي الأزمنة بالاتجاهين تكون الاستطاعة ضعف الاستطاعة التمريرية للمسار بأحد الاتجاهين.

يراعى عند تنظيم مخطط سير القطارات بهدف زيادة الاستطاعة التمريرية النظرية للخط وضع قطارات البضائع على القسم الحاكم بحيث تكون T_g بقيمتها الأصغرية أي بإلغاء الفواصل الزمنية كما يبين ذلك الشكل (14-13) أو اختيارها بحيث تكون قيمتها بالحد الأدنى.



الشكل (14-13) دورة مخطط السير لتلاقي قطاري بضائع على خط مفرد دون توقف

العلاقة (4-13) تحدد الاستطاعة التميرية للخط المفرد بشكل عام (تمرير قطارات ركاب وبضائع) وفي حال تخصيص الخط لنوع واحد من القطارات (بضائع فقط) عندها نحصل على الاستطاعة التميرية بتعويض قيمة $T_p = 0$ بالعلاقة السابقة.

الاستطاعة التميرية الفعلية للخط المفرد: وهي عبارة عن الاستطاعة النظرية بعد ضربها بعامل التخفيض وتعطى قيمتها من العلاقة:

$$N_2 = N_1 (1 - r) \quad (5-13)$$

حيث:

r : عامل احتياطي من أجل تنفيذ عمليات تقنية وتتراوح قيمته عادة بين (20-25)%.

2-9-13- الاستطاعة التميرية للخط المزدوج:

تعطى الاستطاعة لاتجاه واحد في الخط المزدوج لخطوط السير المتوازية بالعلاقة:

$$N_{D1} = \frac{1440 - T_p}{t} \quad (6-13) \text{ قطار في اليوم}$$

حيث:

t: الزمن الفاصل بين القطارين المتتاليين بنفس الاتجاه (دقيقة).

وتكون الاستطاعة التمريرية للخط المزدوج مساوية لضعف الاستطاعة التمريرية بالاتجاه الواحد.

وبشكل عام تتعلق الاستطاعة التمريرية بالعوامل التالية:

- 1- عدد مسارات الخط (مفرد، مزدوج، متعدد).
- 2- طول الخط وتفصيلات المقطع الطولي.
- 3- سرعة القطارات.
- 4- طريقة تشغيل المفاتيح ونظام الإشارات المستخدم.
- 5- نوع مخطط السير.
- 6- مواصفات قاطرات الجر ومستوى كفاءة عمال المحطات.

وتكون درجة الاستفادة من الاستطاعة التمريرية كنسبة مئوية للاستطاعة الفعلية على الاستطاعة النظرية وتحسب من العلاقة:

$$W = \frac{N_2}{N_1} * 100 \quad (7-13)$$

إن زيادة قيمة W عن حد معين سيؤدي إلى اختناقات وتدني عامل الأمان لسير القطارات على الخط.

وعند زيادة هذه القيمة عن 0.6-0.7 يجب البدء بالتفكير من ناحية زيادة السعة التمريرية.

ملاحظة:

الوصول إلى درجة الاستفادة القصوى لا يعني الوصول إلى الاستطاعة النقلية العظمى للخط إذ يمكن زيادتها من خلال زيادة حمولات قطارات البضائع أو زيادة عدد العربات لقطارات الركاب.

13-9-3- السعة التمريرية للمحطات:

الاستطاعة التمريرية النظرية للمحطات تحدد بعدد القطارات الأعظمي التي تغادر منها في كافة الاتجاهات خلال فترة 24/سا أو خلال ساعة واحدة، وتحسب الاستطاعة النظرية للمحطات من العلاقة:

$$N_{st} = \frac{1440 - T_s}{t_z} \text{ قطار / اليوم} \quad (8-13)$$

حيث:

T_s : هو مقدار الزمن الضائع الذي لا يمكن الاستفادة منه بتسيير قطارات البضائع في محطات الشحن أو لتسيير قطارات الركاب في محطات الركاب.
 t_z : الزمن الذي يشغله قطار واحد في المحطة بالدقيقة.

وعملياً سرعة الدخول والمغادرة لقطارات الركاب تختلف عن سرعة قطارات الشحن أو قطارات الركاب والشحن ومنه فالزمن الذي يشغله القطار في المحطة يختلف أيضاً، لذلك يؤخذ الزمن الوسطي الذي يحسب من العلاقة التالية:

$$t_z = \frac{\sum N_i * t_i}{\sum N_i} \text{ دقيقة} \quad (9-13)$$

حيث:

t_i : هو الزمن الذي يشغله كل قطار.
 N_i : هو عدد القطارات خلال 24/ساعة.
وتكون الاستطاعة الفعلية مساوية للاستطاعة النظرية مضروبة بعامل التخفيض (1-r) وتعطى بالعلاقة:

$$N_{sp} = N_{st} * (1 - r) \text{ قطار باليوم} \quad (10-13)$$

حيث:

r: عامل احتياطي تقني تتراوح قيمته بين (0.2-0.25).

في محطات الركاب يمكن أن نميز قطارات الركاب التالية:

- 1- قطارات الركاب التي تمر دون توقف .
- 2- قطارات الركاب التي تمر مع التوقف.
- 3- قطارات الركاب التي تنتهي رحلتها فيها.
- 4- قطارات الركاب التي تبدأ رحلتها منها.

وفي محطات البضائع يمكن أن نميز قطارات البضائع التالية:

- 1- قطارات تعبر المحطة بدون توقف.
- 2- قطارات تعبر المحطة مع التوقف وبدون تعديل في تركيباتها وحمولاتها.
- 3- قطارات تعبر المحطة مع توقف وتعديل في تركيباتها أو حمولاتها.
- 4- قطارات بضائع تبدأ رحلتها منها.
- 5- قطارات تنهي رحلتها فيها.

أحياناً في المحطات المخصصة: مثلاً محطة الركاب يمكن أن تمر فيها قطارات الشحن (ترانزيت) وكذلك الأمر في محطات الشحن يمكن أن تمر قطارات الركاب (ترانزيت). تتأثر السعة التمريرية لمحطات الركاب بعدد الخطوط المخدمة بأرصفة ولمحطات الركاب بعدد الخطوط المخصصة للتحميل والتفريغ إضافة إلى عدة عوامل أهمها:

- 1- شكل توضع الخطوط.
- 2- نوع تجهيزات توجيه الحركة المستخدمة (المفاتيح والإشارات).
- 3- نوع القطارات التي تخدمها المحطة.
- 4- حجم أعمال المناورة.
- 5- كفاءة عمال المحطة.
- 6- نوع السحب أو الجر المستخدم.

الفصل الرابع عشر النقل السككي داخل المدن Urban Rail Transport

1-14- مقدمة:

استخدم النقل السككي داخل المدن لأول مرة في بداية النصف الثاني من القرن التاسع عشر حيث تم إنشاء أول خط ترام باستخدام قوة جر الأحصنة لعربات تسير على السكة في نيويورك عام 1852، ثم ظهر الترام الكهربائي عام 1879 في برلين وأخذ استخدام الترام يتطور باستمرار كونه نظام النقل الأرخص والأسرع داخل المدن والمتميز بالراحة والأمان أثناء الانتقال إضافة إلى الاستطاعة النقلية الكبيرة مقارنة مع وسائل النقل المدني الأخرى.

2-14- تصنيف وسائل النقل السككي داخل المدن:

تقسم وسائل النقل السككي داخل المدن حسب مكان توضع خطوطها بالنسبة للشوارع إلى نوعين:

- 1- تسير ضمن شوارع المدن: وتشمل (الترام العادي والمنفصل).
- 2- تسير خارج الشوارع: وتشمل (الترام السريع، المترو، البريمترو، سكك الضواحي).

14-3- الترام ضمن الشوارع:

تقسم خطوط الترام الذي يسير ضمن الشوارع إلى نوعين:

14-3-1- الترام العادي:

وتبنى خطوطه ضمن قارعة الطريق ويشارك في هذه الحالة الترام وسائط النقل
الطريقي الأخرى بالسير ضمن قارعة الطريق.

كما يوضح ذلك الشكل (14-1).



الشكل (14-1) ترام عادي ضمن الطريق

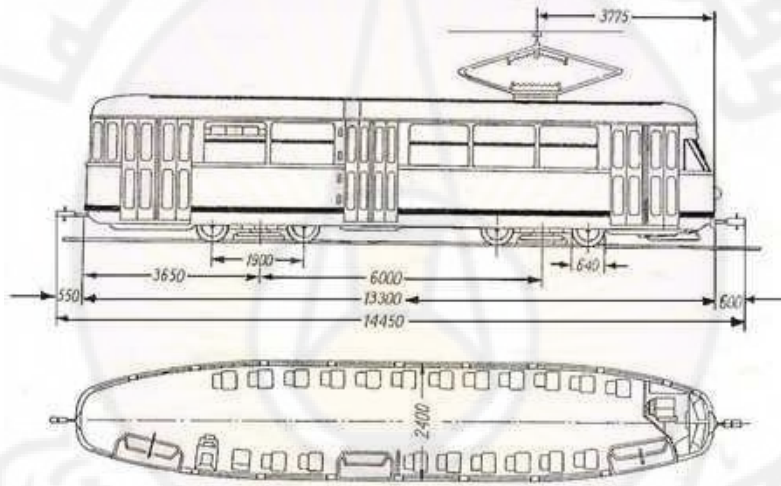
1- إسفلت أو بيتون، 2- حشوة ذات شكل خاص،

3- وسادة مرنة، 4- غلاف قاعدة القضيب، 5- أرضية بيتونية

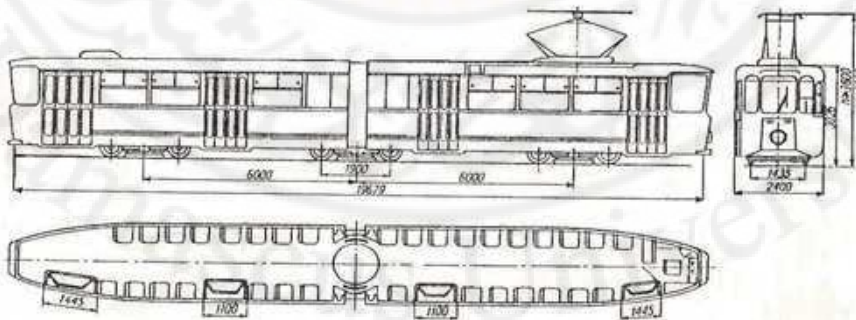
- مساوئ هذا النوع:

السرعة النقلية المنخفضة (12-18) كم/سا وخاصة أوقات الذروة حيث تؤدي
حركاتها مع وسائل النقل الأخرى (الطرقية) إلى عرقلة السير وتسبب ازدحام مروري
نتيجةً لتوقفها بشكل متكرر وهذا ما يستدعي توقف باقي وسائط النقل، حيث تبنى هذه
الخطوط على الأغلب وسط قارعة الطريق لكي تتمكن الباصات ووسائط النقل الأخرى
من التوقف على يمين الطريق.

وعربات الترام تكون مزودة (2-4-6) محاور وبعروض مختلفة تتراوح بين (2.5-2.9) متراً، يبين الشكل (14-2) و(14-3) نماذج مختلفة لعربات الترام.



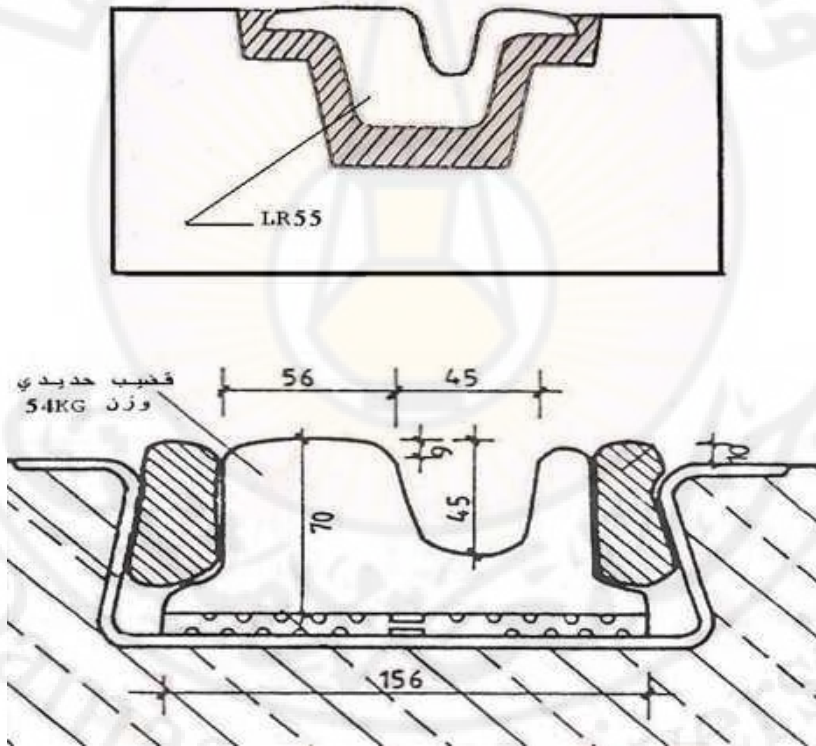
الشكل (2-14) عربة ترام بأربعة محاور



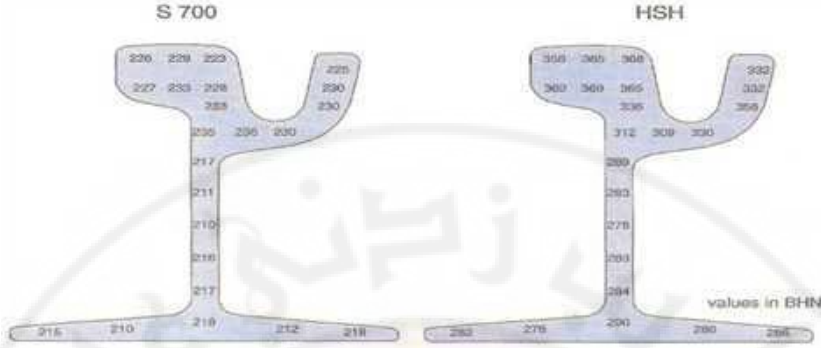
الشكل (3-14) عربة ترام بستة محاور

تحسب سعة عربة الترام على أساس 0.15 م² للراكب وقوفاً و 0.35 م² /راكب جلوساً وعرض خطوط الترام تكون على نوعين الضيقة بعرض (1000) مم والنظامية بعرض (1435) مم ويكون التباعد بين محاور المسارات 3 متر.

الارتفاع الداخلي لعربة الترام (2.05) متر، وفي هذا النوع تسير قطارات الترام على قضبان حديدية من نوع خاص (ذو الأخدود) وذلك لضمان عدم خروج العجلات عن السكة، ويوجد عدة أنواع من هذه القضبان تختلف عن بعضها بشكل المقطع العرضي والوزن ويبين الشكل (4-14) و (5-14) نماذج عنها.



الشكل (4-14) نماذج لقضبان حديدية ذات الأخدود غير العادية المستخدمة في خطوط الترام



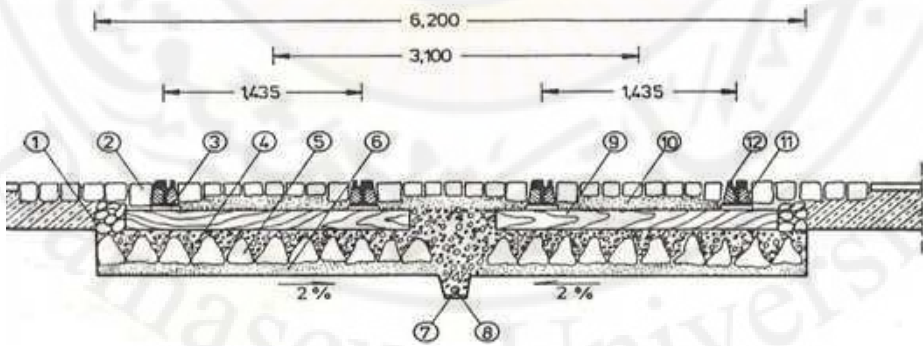
الشكل (5-14) بعض نماذج القضبان الحديدية العادية المستخدمة في بناء خطوط الترام

- أنواع خطوط الترام المبنية ضمن قارعة الطريق:

تختلف خطوط هذا النوع من الترام عن بعضها البعض بنوع أرضية أو غطاء الخط أو بنوع العوارض المستخدمة سنأخذ أمثلة عن بعض هذه الأنواع.

- خط ترام مبني على بلاست وبعوارض خشبية مغطاة برصف حجري:

يستخدم نظام K-49 لتثبيت القضبان إلى العوارض. ويبين الشكل (6-14) مقطع عرضي لهذا النوع.



الشكل (6-14) خط ترام على عوارض خشبية مغطى بالرصف الحجري

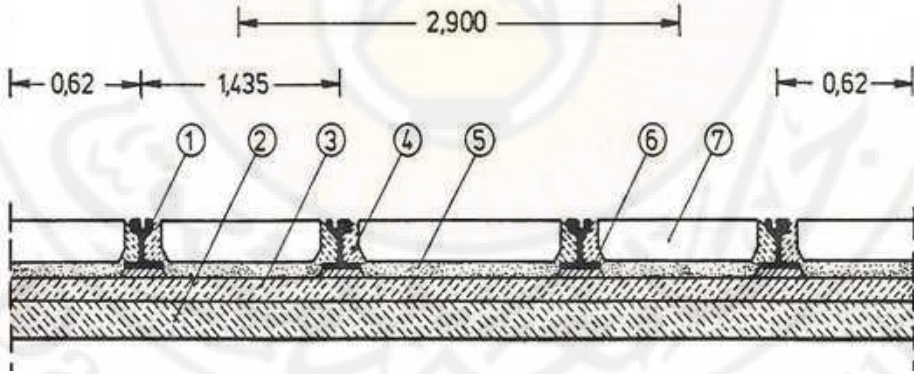
- 1- بحص، 2- حجارة 11-9 سم، 3- وسادة معدنية، 4- بلاست 6-2 سم، 5- حجارة،
- 6- رمل، 7- خندق، 8- بوري، 9- عارضة خشبية، 10- مونة إسمنتية،
- 11- أسفلت مصبوب، 12- قضيب حديدي 180W.

مساوئ هذا النوع من الخطوط هي:

- 1- سرعة اهتراء (أو انحناء) العوارض.
- 2- صعوبة شد أدوات التثبيت في حالة الصيانة.
- 3- بناؤها يستغرق مدة زمنية أطول نتيجة الرصف الحجري.
- 4- زيادة الأعمال والوقت المستغرق للصيانة الرئيسية أو الدورية وهذا ما يؤدي إلى:
 - ارتفاع في التكلفة الاستثمارية.
 - توقفات طويلة للحركة.

يتميز هذا النوع بمرونة عالية بالنسبة للاهتزازات ومستوى منخفض من الضجيج والعمر التصميمي (15-20) سنة.

- خطوط ترام على أرضية بيتونية مغطاة ببلاطات بيتونية مسبقة الصنع:

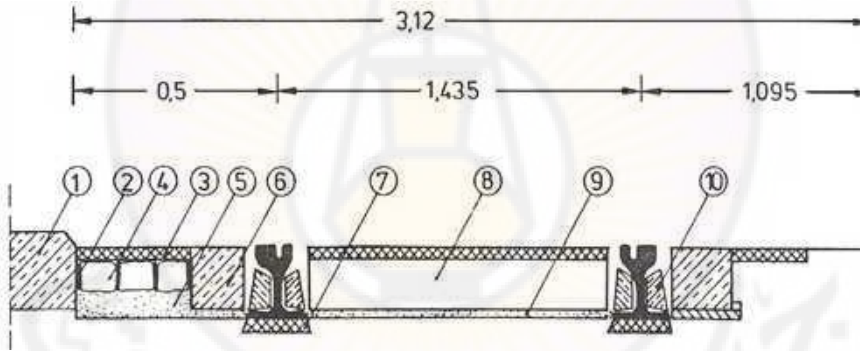


الشكل (7-14) مقطع عرضي لخط ترام على أرضية بيتونية

- 1- قضيب ذو أخدود نوع 180 W، 2- بلاطة بيتونية بسماكة (20-25) سم،
- 3- بلاطة بيتونية سماكة 15 سم، 4- بيتون، 5- طبقة رملية،
- 6- قاعدة بيتونية للقضيب سماكة 7-5 سم، 7- بلاطات بيتونية بأبعاد 132*132*16 سم

مساوئ هذا النوع:

- 1- خشونة في الحركة وراحة قليلة.
 - 2- مستوى عالي من الضجيج أثناء حركة العربات.
 - 3- إصلاحات كثيرة ومستمرة.
 - 4- صعوبة تنفيذ الصيانة الدورية أو الإصلاحات الطارئة.
- خط ترام على أرضية بيتونية مع قاعدة إسفلتية تحت القضبان وغطاء أسفلتي:
- يبين الشكل (8-14) مقطع عرضي لخط ترام على أرضية بيتونية وقاعدة إسفلتية تحت القضبان وغطاء أسفلتي.



الشكل (8-14) مقطع عرضي لخط ترام على أرضية بيتونية وطبقة إسفلتية تحت القضبان

- 1- رصيف، 2- مونة إسمنتية، 3- طبقة إسفلتية 3 سم، 4- رصف حجري 9*11 سم،
- 5- طبقة رملية، 6- عناصر مسبقة الصنع 0.145*0.145*1.47 م، 7- طبقة إسفلتية 3 سم،
- 8- بلاطة بيتونية مسبقة الصنع 0.12*1.35*1.35 م، 9- طبقة رملية 3 سم،
- 10- أشكال بيتونية مسبقة الصنع

وهذا النوع يتميز عن السابق بمرونة الحركة وعمر تصميمي أكبر.

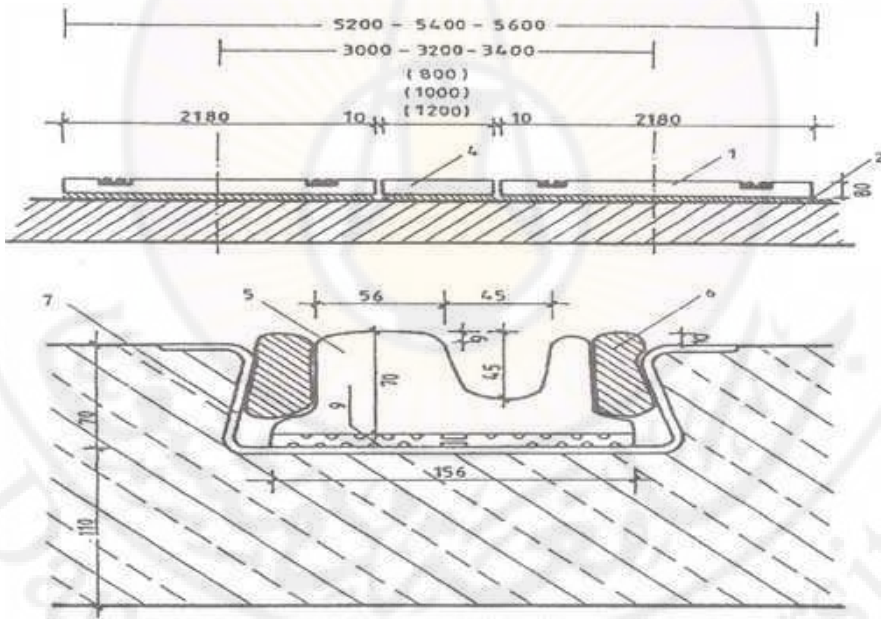
الطبقة الإسفلتية تحت القضبان تنفذ على شكل طبقة طولية بسماكة (1-6) سم وبعرض يزيد من 10 إلى 20 سم عن عرض قاعدة القضبان. وهذه الطبقة تحقق مرونة عالية وتخمد الاهتزازات.

- خط ترام على بلاطات بيتونية:

ويقسم هذا النوع إلى صنفين:

أ- خط ترام على بلاطات بيتونية بدون بلاست:

هذا النوع مؤلف من بلاطات بيتونية مسلحة مسبقة الصنع بعرض 2.18 م وارتفاع 0.18 م على الخطوط المستقيمة أو بأنصاف أقطار $R \geq 2600m$ وبطول 0.69 م وتستخدم قضبان بارتفاع 70 مم ووزن 54 كغ/م وبأطوال 14 متر ملحومة مع بعضها البعض. الشكل (9-14) يبين خط ترام على بلاطات بيتونية بدون بلاست المستخدم في هنغاري.



الشكل (9-14) خط ترام على بلاطات بيتونية مسلحة

- 1- بلاطة بيتونية مسلحة، 2- طبقة إسفلتية، 3- أرضية بيتونية أو إسفلتية، 4- بلاطة بين المسارين، 5- قضيب حديدي 54 كغ/م، 6- جوانب كاوتشوك ذو شكل خاص، 7- وسادة كاوتشوك

مميزات هذا النوع:

- 1- ديمومة عالية.
- 2- انخفاض في الإجهادات المطبقة على الطابق الترابي.
- 3- عدد العناصر المنفذة يدوياً قليل.
- 4- انخفاض مستوى الضجيج أثناء الحركة.

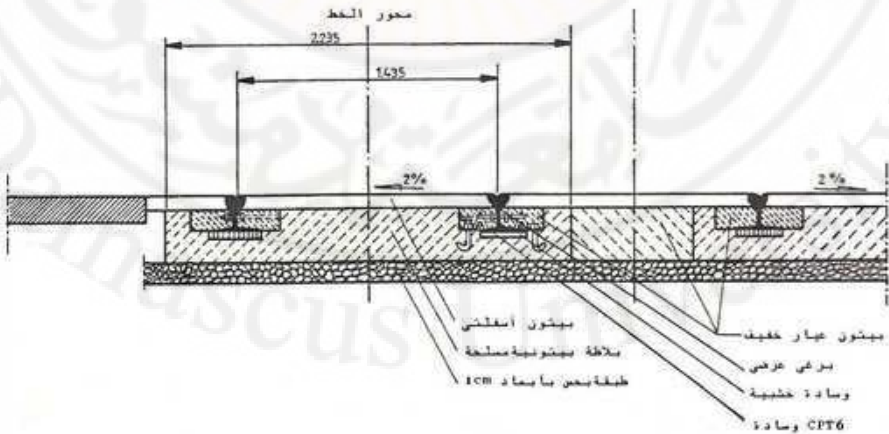
المساوئ:

- 1- كتلة كبيرة.
- 2- تحتاج إلى دقة في تنفيذ الأرضية ووضع البلاطات.
- 3- إمكانية خروج جوان الكاوتشوك المحيط بالقضيب نتيجة لتسخين القضبان الناجم عن أشعة الشمس.

ب- خط ترام ببلاطات بيتونية على البلاست:

البلاطات البيتونية تكون بطول 3 م وعرض 2.23 م وارتفاع 0.3 م.

الشكل (10-14) يبين عناصر هذا النوع من خطوط الترام:

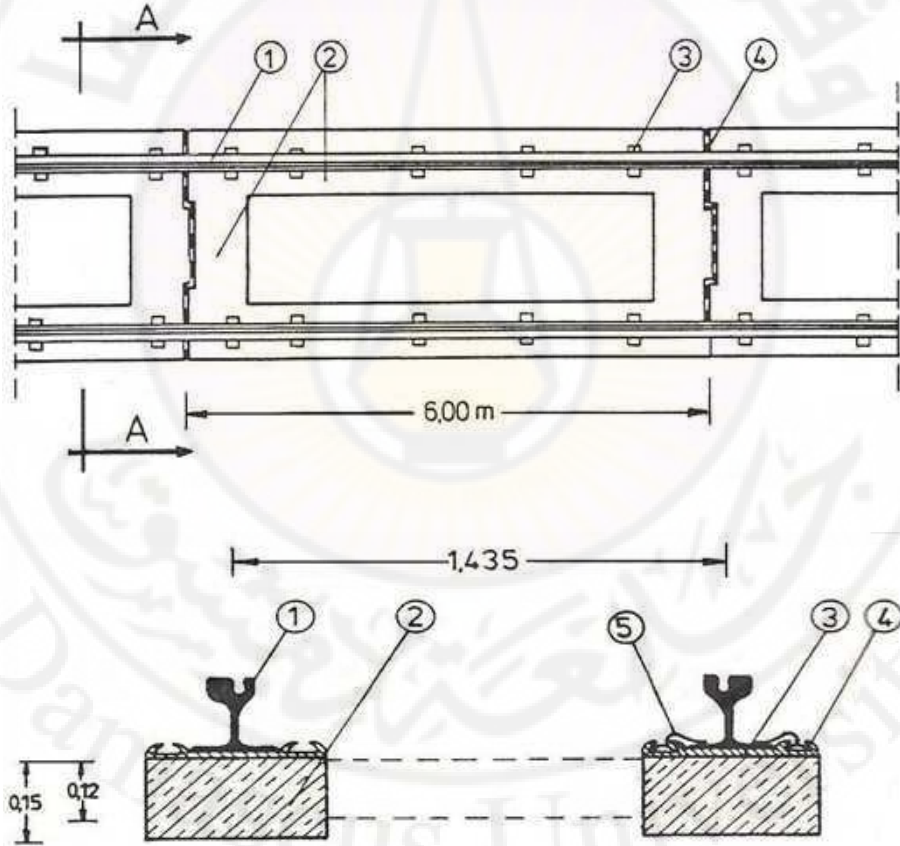


الشكل (10-14) خط ترام ببلاطات بيتونية على البلاست

والعنصر الجديد في هذا النوع هو استخدام برغي عرضي لتثبيت القضيب المثبت على الوسادة إلى البلاطة إضافة إلى مميزات ومساوئ النوع السابق توجد صعوبة في عمليات تبديل القضبان.

- خطوط ترام ضمن قارعة الطريق باستخدام عوارض طولية أو إطارية:

في هذا النوع من الخطوط تستخدم نماذج مختلفة من العوارض الطولية التي تثبت عليها القضبان ويبين أشكال (11-14) إحدى أشكال هذه العوارض.



الشكل (11-14) يبين مقطع عرضي لخط ترام على عوارض طولية إطارية

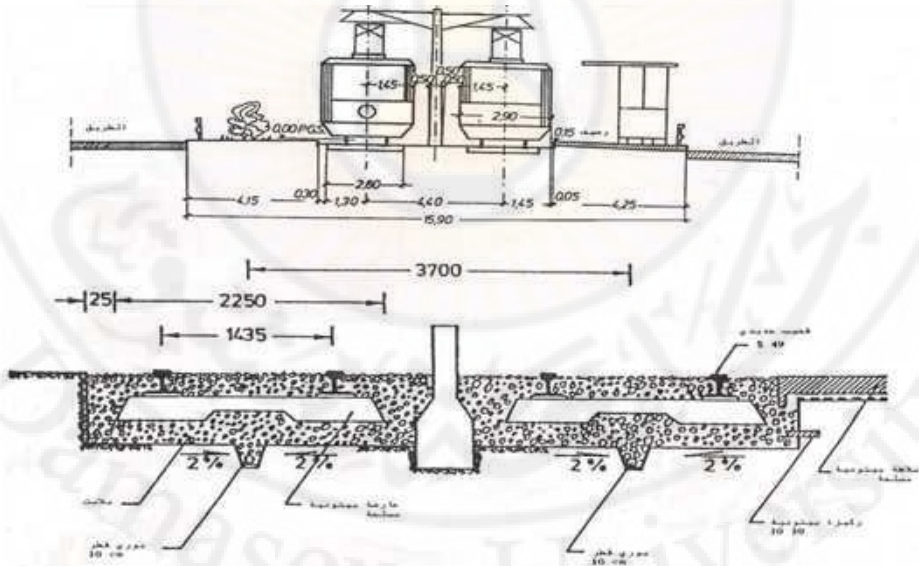
2-3-14- خطوط الترام المبنية ضمن الطريق بشكل منفصل:

في الشوارع العريضة تبني خطوط الترام بشكل منفصل على قسم مخصص من الطريق يمكن أن يكون في الوسط أو على أحد جانبي الطريق ويكون مسار الخط محمي بسياج معدني أو بدون حماية ويكون القسم العلوي للخط مكشوف ومماثل للقسم العلوي المستخدم في الخطوط الحديدية، وإنشاء خطوط الترام المنفصلة هو أرخص بما يقارب 40% عن كلفة إنشاء خطوط الترام المبنية ضمن قارعة الطريق.

عرض الخط المزدوج المؤلف من مسارين مخصص كل مسار لاتجاه يرتبط بوجود أعمدة التغذية الكهربائية، وكذلك بوجود رصيف أم لا.

وفي حال وجود رصيف يراعى عدم توضع المواقف والأرصفة بشكل متقابل.

ويبين الشكل (12-14) خط ترام منفصل:



الشكل (12-14) مقطع عرضي لخط ترام منفصل عرض 2.9 متر مع موقف ورصيف على اليمين

14-4- الترام السريع:

يستخدم الترام السريع في المدن المتوسطة والكبيرة وخاصة في مراكز ووسط المدن نتيجة للكثافة المرورية وزيادة الطلب على النقل خاصة في ساعات الذروة، تتميز خطوط الترام السريع بأنها تبنى على مسارات منفصلة ومنعزلة عن باقي وسائل النقل بشكل كامل، وتكون مساراتها على سطح الأرض، بينما تكون التقاطعات مع وسائل النقل الأخرى على مستويين. وفي مراكز المدن حيث تكون الكثافة المرورية عالية تكون تحت سطح الأرض، ومنه فهي تتميز بسرعة نقل أعلى من الترام العادي (22-25) كم/سا واستطاعة نقلية أكبر الشكل (14-13).

السعة التمريرية لخطوط الترام السريع حوالي (40) قطار/سا والقطار يتألف من (2, 3, 4) عربات، وباعتبار المساحة المخصصة للراكب 0.15 م² تكون السعة الكلية بحدود (240-360-480) راكب، وتكون العربات مزودة بأبواب عريضة من الاتجاهين وبمحطات صغيرة وبالتالي فهي ذات سطح داخلي أخفض من الترام العادي حيث يجري الصعود والنزول بدرجتين.

تكلفة إنشاء خطوط الترام السريع أعلى من الترام العادي وأرخص من المترو.

كما أن عربات الترام السريع تسير باتجاه واحد لذلك فهي مزودة بمركز قيادة واحد، وتكون المسافات بين المحطات أطول من المسافات بين محطات الترام العادي (600-800) م ويبين الجدولان (14-1) و(14-2) عرض الخطوط والمواصفات الفنية لبعض نماذج عربات الترام السريع المستخدمة في بعض الدول.



الشكل (13-14) ترام سريع

جدول (1-14) عرض خط الترام السريع بالاتجاهين

عرض العربات المستخدمة (م)			مواصفات الخط
2.90	2.65	2.40	
			مع أعمدة في الوسط:
10.60	10.35	١٠.١٠	1- خط سريع منفصل
15.90	15.40	14.90	2- وسط طريق باتجاهين مع رصيف باتجاه واحد
غير مستخدم	7.30	6.80	بدون أعمدة في الوسط وبدون رصيف

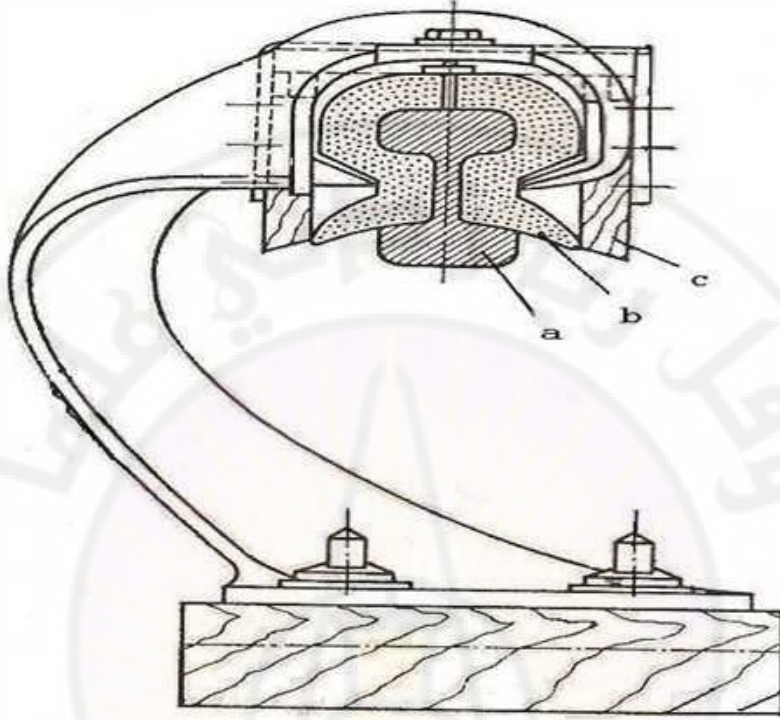
جدول (2-14) مواصفات عربات الترام السريع المستخدم في بعض الدول

المدينة أو البلد	بولونيا	ميلبورني	نادرينيا ألمانيا	بروكسل	هانوفر ألمانيا	ميديولان
المواصفة	قطعة واحدة	قطعة واحدة	متمفصل	قطعتين	متمفصل	متمفصل
عدد المحاور	4	4	6	8	4	4
عرض الصندوق (مم)	2400	2670	2650	2200	2400	2380
طول الصندوق (مم)	11390	16560	26900	27600	27000	29210
عدد الأبواب بكل جهة	0+3	2+2	5+5	4+4	5+5	5+5
قطر العجلة (مم)	654	680	740	660	730	680
عدد مقاعد	21	48	72	46	46	59
السعة الكلية	115	181	256	223	219	333
قوة المحرك كيلو واط	41,5 × 4	52 × 4	235 × 2	51,5 × 8	217 × 2	148 × 2
الوزن (طن)	16,4	19	39	38,6	38,2	32
السرعة العظمى كم/سا	68,5	72	100	65	80	60

14-5- المترو:

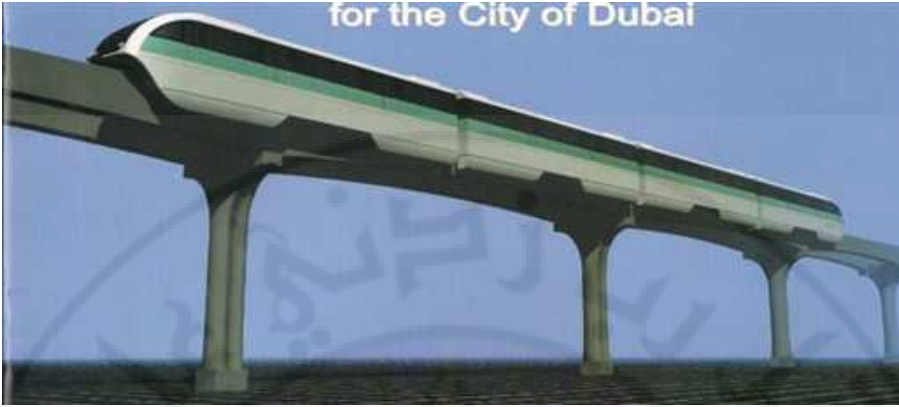
منذ عام 1982 كان المترو مستخدماً في 70 مدينة بالعالم، وأكثر من 50 مدينة في حالة البناء. ويعد المترو الحل الأفضل في المدن الكبيرة والتي يزيد عدد سكانها عن المليون نسمة وهو الأعلى كلفة من حيث الإنشاء والاستثمار ومن مساوئه طول فترة البناء. ويتميز المترو بالسرعة النقلية العالية (36-40) كم/سا والاستطاعة النقلية الكبيرة.

عدد عربات المترو أكبر من الترام وتعمل بطاقة أقل من 1555 فلوط وتزود بالطاقة الكهربائية من الأسفل بواسطة قضيب حديدي ثالث يكون معزولاً بشكل تام الشكل (14-14).



الشكل (14-14) قضيب تزويد المترو بالكهرباء

خطوط المترو يمكن أن تبنى فوق سطح الأرض محمولة على أعمدة الشكل (14-15) أو على سطح الأرض أو بنفق مفتوح في الضواحي حيث لا توجد أبنية سكنية وتحت سطح الأرض على عمق متوسط حتى 20 متر أو عمق كبير أكثر من 20 متر في مركز ووسط المدن.



الشكل (15-14) مترو محمول على أعمدة مستخدم في دبي



الشكل (16-14) محطة مترو تحت الأرض

محطات المترو:

تبنى محطات المترو على مستويين: المستوى الأول ويحتوي على صالة التذاكر، والمستوى الثاني صالة الأرصفة بطول (100-120) متر وبما يتناسب مع طول المترو الشكل (16-14). وتكون مزودة بأدراج ثابتة بالأنفاق المكشوفة ومتحركة بالأنفاق المتوسطة والعميقة.

قطار المترو عادة يتألف من (2-4-6) عربات وطوله لا يزيد عن 110 متر السعة الكلية في حالة 6 عربات تساوي 1200 راكب وكل عربة مزودة من (3-4) أبواب

عريضة ومن الجهتين، سعة العربة 200 راكب باعتبار 0.2 م²/راكب وارتفاع سطح العربة الداخلي يكون بنفس مستو الرصيف وبالتالي يكون الدخول والخروج من عربات المترو مباشرة بدون استخدام درجات، والعربات مزودة بمركز قيادة واحد والجدول (3-14) يبين مواصفات نماذج من عربات المترو المصنعة في بعض دول العالم.

جدول (3-14) مواصفات عربات المترو المستخدمة في بعض الدول

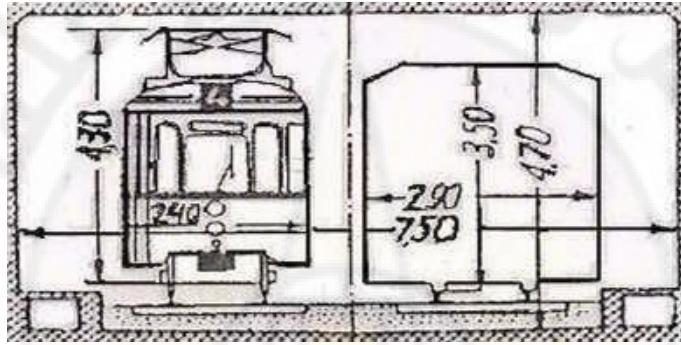
بلد الصنع	RWPG	روسي		ميونخ	ميدولان
		نوع EM	نوع I		
المواصفة					
الطول (م)	18.5	18.81	18.81	18.57	17.54
العرض (م)	2.9	2.73	2.73	2.9	2.85
الارتفاع (م)	3.5	3.7	3.7	3.55	3.5
عرض الأبواب	1400	1208	1280	1300	1280
عدد الأبواب من كل جهة	6-4	4	4	3	4
توضع المقاعد	عرضي	طولي	طولي	عرضي	عرضي
قوة المحرك كيلو واط/ سا		63*4	90*4	180*2	90*4
ناقل الحركة	عادي-أوتوماتيك	عادي-أوتوماتيك	عادي-أوتوماتيك	عادي-أوتوماتيك	عادي-أوتوماتيك
التسارع	1.2	1.2	1.2	1.0	1.2
السرعة العظمى	80	90	100	80	80
عدد عربات القطار	6	6	6	6	6

14-6- البريمترو:

تستخدم خطوط البريمترو في المدن المتوسطة الكثافة السكانية: وعندما يكون الطلب على النقل أقل من الاستطاعة النقلية للمترو والحالة الاقتصادية تسمح بإنشاء خطوط المترو. في هذه الحالة تبنى خطوط البريمترو والتي تتميز عن خطوط المترو بما يلي:

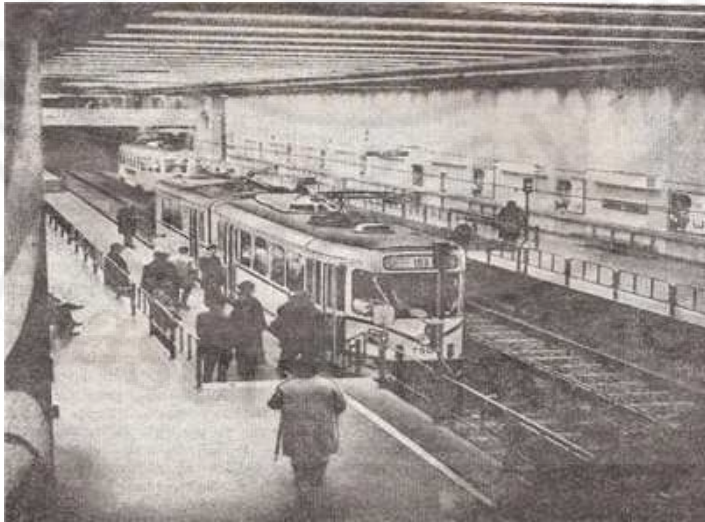
1- عرض النفق: يبني النفق بحيث يناسب عرض عربات المترو التي هي أعرض من عربات الترام.

2- ارتفاع النفق: ويكون متناسب مع ارتفاع عربة الترام التي تكون أعلى بسبب ذراع التزويد بالكهرباء (الذي يتم من الأعلى للترام ومن الأسفل للمترو) كما يبين ذلك الشكل (17-14):



الشكل (17-14) مقطع عرضي لنفق البريمترو

3- ارتفاع الرصيف: يكون جزء من الرصيف بارتفاع منخفض لكي يخدم الترام في البداية وباقي الرصيف يكون بارتفاع مناسب لعربات المترو كما في الشكل (18-14):



الشكل (18-14) يبين رصيف البريمترو ذو المستويين

على خطوط البريمترو يسير في البداية الترام السريع وعندما يزداد الطلب على النقل وتصبح الاستطاعة النقلية للترام السريع لا تلبي الطلب على النقل يبدأ بتسيير المترو.

ويبين الجدول (4-14) التالي مقارنة للمسافات بين المواقع لوسائل النقل السككي المختلفة داخل المدن.

جدول (4-14) المسافات بين المواقع

المنطقة	مركز المدينة	وسط المدينة	الضواحي
ترام	500-400	700-500	حوالي 1000
مترو	1000-700	1200-1000	حوالي 2000
قطارات الضواحي	2000-1500	2000-1500	حسب الحاجة

الفصل الخامس عشر تكنولوجيا إنشاء السكك الحديدية Rail Construction Technology

1-15- مقدمة:

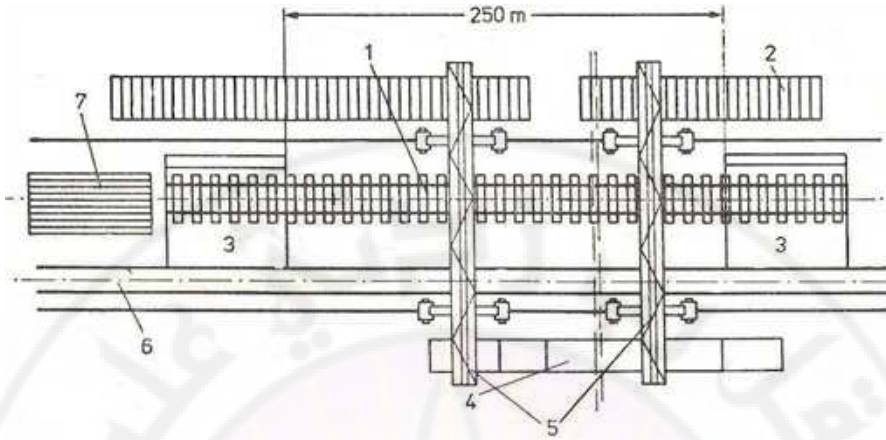
إنشاء المشاريع الهندسية بشكل عام يبدأ بتنظيم تنفيذ أعمال المشروع وفق تسلسلها المنطقي مع البرنامج الزمني لتنفيذها ويعتمد ذلك على المبادئ العامة لتكنولوجيا تنظيم المشروعات. مع الأخذ بالحسبان خصوصيات أعمال مشاريع السكك الحديدية.

2-15- تصنيف أعمال الخطوط الحديدية:

بشكل عام تقسم أعمال الخطوط الحديدية حسب مكان العمل إلى قسمين:

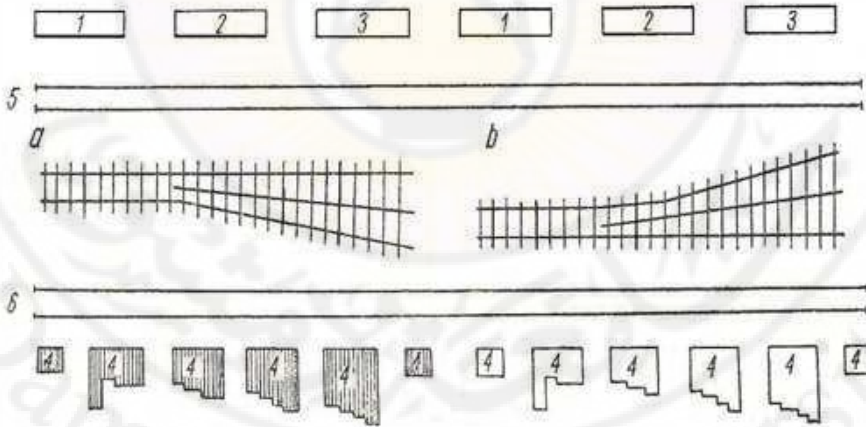
1-2-15- القسم الأول:

ويشمل مجموعة الأعمال أو الأجزاء التي تنفذ في المعمل (الورشة المخصصة لتجميع بعض أجزاء الخط الحديدي). ويبين الشكل (1-15) ورشة تجميع السلاالم والشكل (2-15) ورشة تجميع المفاتيح والتقاطعات.



الشكل (1-15) مخطط تجميع السلاالم

- 1- خط التجميع، 2- العوارض، 3- تخزين العناصر، 4- تخزين السلاالم،
5- رافعة بوابيه، 6- خط لتنزيل المواد وتحميل السلاالم، 7- تخزين القضبان



الشكل (2-15) مخطط تجميع المفاتيح

- a- مخطط تجميع مفتاح يميني b- مخطط تجميع مفتاح يساري

- 1- التصلاب مع الإبرة، 2- القضبان الحديدية، 3- التقاطع مع قضبان التوجيه (الكونتراري)،
4- العوارض وباقي الأجزاء، 5-6- خطي التحميل والتنزيل

15-2-2- القسم الثاني:

ويشمل الأعمال التي تنفذ في الورشة على طول الخط: وفي هذه الحالة تتوضع ورشات الأعمال بشكل طولاني متسلسل، إضافة إلى كونها عبارة عن أعمال متقلة حيث تتحرك الآليات المنفذة للأعمال على طول مسار الخط أو على جزء منه، كما أن هذه الأعمال تتأثر بالحركة على نفس المسار أو على المسارات المجاورة وبالتالي فهي تخضع لظروف حركية معقدة نظراً لصعوبة إمكان توقف الحركة.

15-3- تصنيف أعمال الخطوط الحديدية:

يمكن تقسيم أعمال مشاريع الخطوط الحديدية إلى:

1- أعمال الإنشاء لخط جديد.

2- أعمال التجديد.

3- أعمال الصيانة والإصلاحات.

يتم تنفيذ هذه الأعمال على عناصر القسم العلوي والسفلي (إشارات، مفاتيح، قضبان، عوارض، أدوات التثبيت، بلاست، تعزيز الخنادق، إنشاء ومعالجة القسم السفلي للخط... الخ).

ويمكن تصنيف هذه الأعمال وفق شموليتها إلى:

1- عمل كامل ويشمل (إنشاء خط جديد، أعمال تجديد الخط).

2- عمل رئيسي: (تحضير وتركيب المفاتيح والتقاطعات والسلام والنقل والتخزين).

3- عمل جزئي (إصلاح الأعطال، أعمال الصيانة، تمديد القضبان، تصحيح التشوهات الأفقية والشاقولية، تنظيف البلاست، التحشية، الرص... الخ).

15-3-1- أعمال الإنشاء لخط جديد:

باعتبار أن القسم السفلي من الخط (الطابق الترابي مع منشآت تصريف المياه) قد نفذ وفق المواصفات والشروط الفنية المطلوبة يمكن تقسيم الأعمال لإنشاء خط جديد بفواصل إلى:

- تجهيز السلالم والمفاتيح في الورشة الخاصة على التوازي.
- شحن البلاست.
- رص البلاست.
- تشكيل جسم الخط على القسم العلوي.
- شحن السلالم والمفاتيح.
- تمديد السلالم والمفاتيح وربطها مع بعضها بواسطة الجبائر.
- التصحيح الأولي.
- إضافة البلاست في حالة النقص.
- التحشية الأولية.
- التحشية الثانية.

وفي حالة الخطوط الملحومة تضاف العمليات الجزئية التالية:

- تجهيز القضبان الطويلة في الورشة الخاصة (لحام مجموعة من القضبان ذات الطول النظامي للحصول على قضبان بأطوال تتناسب مع إمكانيات نقلها إلى موقع العمل يصل إلى 800 متر) أو يتم التنفيذ بطريقة السلالم بأطوال نظامية بعد ذلك يجري لحام هذه السلالم في موقع العمل أو تكون السلالم ذات قضبان مؤقتة يجري تبديلها بقضبان جديدة بعد أن تجري الأعمال اللازمة على الخط من تحشية ورص.

- شحن وتنزيل القضبان الطويلة.
- تمديد القضبان الطويلة على العوارض.
- تنفيذ اللحام بإحدى الطرق المستخدمة.
- شد أدوات التثبيت.

15-3-2- أعمال التجديد:

ومن وجهة نظر تكنولوجية يمكن تمييز نوعين من أعمال التجديد هي:

- 1- أعمال التجديد مع توقف الحركة على الخط بشكل مؤقت.
- 2- أعمال التجديد مع توقف الحركة على الخط بشكل دائم.

حيث في حالة توقف الحركة بشكل مؤقت: يجري إيقاف الحركة على الخط بشكل يومي لعدة ساعات حسب برنامج العمل وفي هذه الحالة يتم تنفيذ العمل بشكل متكامل يومي ومتكرر. حيث بعد انتهاء الفترة الزمنية اليومية تعود الحركة على الخط، وبالتالي لا بد من إجراء بعض الأعمال التكميلية بشكل يومي مثل ربط الجبيلات أو اللحام وتصحيح الخط... الخ مما يتطلب يد عاملة وزمن تنفيذ أكبر إضافة إلى التكلفة.

أما في حالة إيقاف الحركة بشكل دائم فيتم إيقاف الحركة على الخط لأيام متواصلة حتى الانتهاء من (كامل العمل) تنفيذ التجديد المطلوب على الجزء المحجوز.

ومنه فإن اختيار إحدى الطريقتين السابقتين يحدد من وجهة نظر اقتصادية.

- الطريقة الآلية المستمرة:

كما يمكن تجديد الخطوط الحديدية باستخدام (قطار التجديد المستمر أو قطار التجديد السريع) الذي يتألف من عدة آليات تعمل بالتسلسل. وقد وضعت هذه الطريقة

موضع التنفيذ منذ عام 1968 من قبل مؤسسة الخطوط الحديدية الألمانية وتطورت تكنولوجيا هذه الطريقة عبر عدة أجيال UP1، UP2، UP3 .

ويمكن استخدام هذه الطريقة بأعمال التجديد في الخطوط الحديدية بجميع أنواعها من حيث نوع العوارض ومختلف أدوات التثبيت.

وكمثال على هذه الطريقة نأخذ قطار التجديد السريع SUZ الذي يتألف من جزئين رئيسين:

- آليات نزع الخط القديم.
- آليات تمديد الخط الجديد.
- تتألف الآليات من شاحنات تتوضع عليها روافع متحركة وتتحرك الشاحنات بمحركات ذاتية، إضافة لتجهيزات نقل القضبان والعوارض.
- يجري تنفيذ الأعمال التالية بشكل آلي ومستمر:
- فك أدوات التثبيت.
- نزع القضبان القديمة وترحيلها.
- تسوية البلاست.
- تنزيل العوارض الجديدة.
- وضع الحشوات المرنة بين الوسائد المعدنية والعوارض.
- تمديد القضبان الجديدة فوق العوارض.
- شد أدوات التثبيت.

15-3-3- أعمال الصيانة والإصلاحات:

وهي جميع الأعمال التي تؤدي إلى تحسين حالة الخط. وتشمل عدداً كبيراً من الأعمال التي تنفذ على القسم العلوي والسفلي للخط والأعمال الصناعية الملحقة به. إضافة إلى أعمال الصيانة التي تجري على وحدات الإشارات ودارات الحماية.

15-4- تنظيم العمل في ورشة الخطوط الحديدية:

كما هو الحال في أي مشروع هندسي لا بد من تنظيم العمل في الورشات وتحديد مواعيد استقدام المواد اللازمة والآليات واليد العاملة وغيرها من الأمور التنظيمية.

وتنظيم الأعمال في الورشة يتعلق بعاملين رئيسيين هما:

1- شروط الحركة.

2- إمكانية التنفيذ (للآليات والتجهيزات والقوى العاملة).

ولتنظيم العمل لابد أولاً من تحديد بعض الأمور وهي:

1- نوع وكمية المواد المطلوبة.

2- طرق التزود بالمواد وطريقة تخزينها.

3- نوع وعدد الآليات والتجهيزات التي ستستخدم.

4- نوع وعدد وسائل نقل المواد.

15-5- وثائق تكنولوجيا تنظيم الأعمال:

هذه الوثائق أو المعلومات تحدد نوع الإصلاحات كما تؤمن الاستعلامات عن تكنولوجيا تنفيذ الأعمال وهي تشمل:

1- وصف تكنولوجي (فني للعمل).

2- مخطط يحدد مكان الإصلاحات المطلوبة وطريقة الوصول إلى المكان، وأماكن توقف الآليات في المحطات ومبيت العمال.

3- مخطط للخط مع المنشآت الهندسية المساعدة على تنفيذ أعمال الإصلاحات أماكن تجميع الأجزاء الرئيسية ومستودعات التخزين للمواد الجديدة والمستعملة.

4- مدة عمل الآليات والتجهيزات ومجموعات العمل.

5- حساب عدد ساعات العمل، وعدد ونوع الآلات والتجهيزات ووسائل النقل ونوع وكمية المواد اللازمة.

6- تنظيم حركة الآليات وقطارات العمل خلال فترة التنفيذ (تنظيم الوصول والعودة من وإلى مكان العمل).

7- رسم المخطط الكامل للعمل.

15-6 طرق تنفيذ أعمال إنشاء الخطوط الحديدية:

يجري تنفيذ الأعمال بعدة طرق منها:

1- تنفيذ العمل بشكل متسلسل على كامل الطول من قبل مجموعة عمل واحدة وتنتقل هذه المجموعة من قسم إلى آخر.

2- تنفيذ الأعمال بشكل متزامن باستخدام عدة مجموعات عمل وذلك من خلال تقسيم الطول الكلي إلى مسافات متساوية.

3- تقسيم العمل إلى أنواع مختلفة وتقوم بتنفيذ كل نوع مجموعة عمل اختصاصية فيكون ترتيب عمل هذه المجموعات حسب تسلسل تنفيذ العمل وتنتقل كل مجموعة من قسم إلى آخر بعد الانتهاء من تنفيذ عملها على هذا القسم.

معظم أعمال الإصلاح يمكن أن تتم في الأوقات المستقطعة بين زمن مرور القطارات، مع الأخذ بالحسبان أن إجراء الإصلاحات بدون قطع الحركة على

الخطوط، يتطلب خروج الآليات والتجهيزات والعمال من الخط، وكذلك يجب توقيف العمل أثناء مرور القطار على الخط المجاور وبالتالي في حالة شدة حركة كبيرة هذا يعني خسارة زمنية كبيرة تصل إلى حدود 60%. ومنه فإن الإصلاحات بدون توقف الحركة تتوقف على الفراغات الزمنية على مخطط سير القطارات ومن الزمن الضائع بسبب إلغاء بعض القطارات لسبب ما.

لذلك على الخطوط التي تمرر أكثر من 70 زوج من القطارات خلال 24/ سا يجب أن لا يقل الوقت الصافي لتنفيذ الأعمال عن 25 دقيقة.

ومهما بلغت درجة تقنية الأعمال ومكنتها فهناك جزء من العمل لابد أن ينفذ يدوياً. مثلاً: نسبة الأعمال التي تنفذ يدوياً في حالة الإصلاح الرئيسي للقسم العلوي للخط يمكن أن تصل إلى:

- 7.5% من أعمال إزالة الجزء العلوي (السلام) القديم من الخط.

- 8.1% في حالة أعمال البلاست قبل تنزيل السلام الجديدة.

- 14.3% من أعمال وضع الخط الجديد.

- 30.5% الرص الأولي.

- 3.4% من أعمال إضافة البلاست.

- 1.8% من أعمال شد أدوات التثبيت.

- 4.3% عند الرص اللاحق للعوارض وتنظيم وضع الخط.

- 20% تنظيف الخنادق الجانبية.

15-7- أنواع المخططات المستخدمة في تنظيم أعمال ورشة الخطوط الحديدية:
عادة تستخدم ثلاثة أنواع من المخططات لتنظيم العمل في ورشة الخطوط
الحديدية هي:

1- مخطط غانتا: Gantt.

2- المخطط الشبكي.

3- مخطط السرعة عمل الآليات والتجهيزات (الطول، الزمن).

وقبل تنظيم المخطط الزمني لتنفيذ أعمال الخط الحديدي لا بد أولاً من تحديد ما
يلي:

1- ترتيب الأعمال وفق التسلسل المطلوب لتنفيذ الأعمال.

2- تحديد التجهيزات والآليات اللازمة لتنفيذ كل عمل.

3- تحديد نوع وكمية المواد اللازمة لتنفيذ كل ١ كم من الطول الكلي.

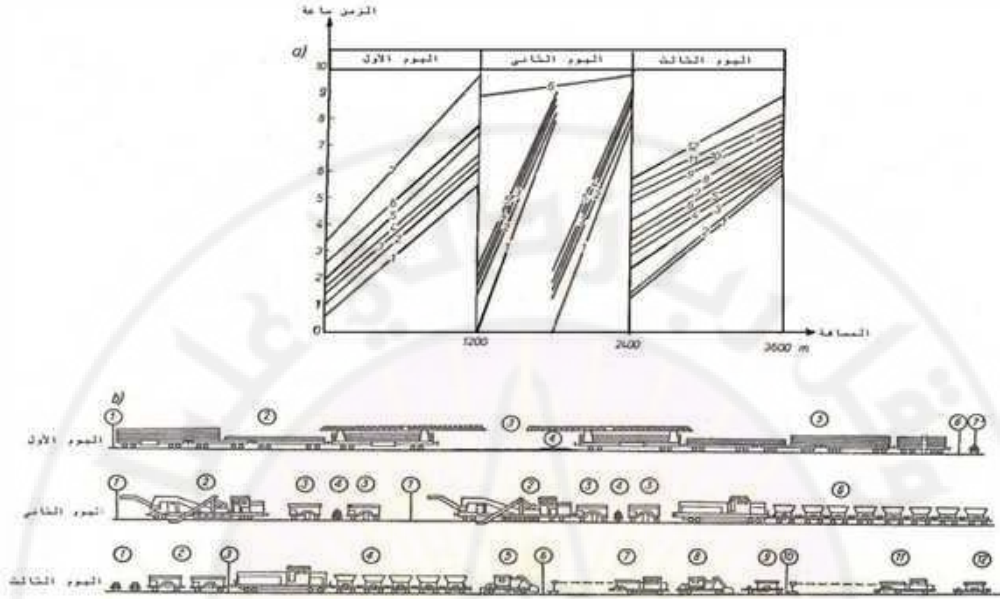
4- تحديد عدد المجموعات اللازمة لتنفيذ كل عملية.

5- تحديد عدد ساعات العمل لليد العاملة ولمختلف الآليات والتجهيزات اللازمة.

يتم تحديد عدد ساعات العمل اللازمة عامل/ ساعة من خلال نورمات عالمية
وكذلك إنتاجية الآليات كم/ ساعة من المواصفات الفنية للآليات والتجهيزات.

15-8- مخطط غانتا:

يستخدم في تنظيم العديد من الأعمال وهذا المخطط يحدد المدة الزمنية اللازمة
لتنفيذ العمل وفق تسلسل وترتيب الأعمال ولكن لا يبين مدى تأثير تأخر إحدى مراحل
العمل على الزمن الكلي لإنهاء العمل. والشكل (15-3) يبين مخطط تنفيذ الأعمال في
الورشة.



الشكل (3-15) مخطط تكنولوجيا عمل الآليات، إصلاح رئيسي

(تبديل القضبان من نوع S49 على عوارض خشبية على قضبان من نوع S60) منفذة على مسافة 1200 متر خلال توقف الحركة لمدة عشر ساعات في اليوم

اليوم الأول:

- 1- قص القضبان الملحومة على طول 25 متر.
- 2- إزالة العناصر القديمة باستخدام رافعة UK 25/9.
- 3- تسوية سطح الخط باستخدام آلي تسوية.
- 4- تسوية سطح البلاست يدوياً بعد الآلة.
- 5- وضع السلاالم الجديدة باستخدام الرافعة UK 25/9.
- 6- وصل السلاالم الجديدة.
- 7- تصحيح وضع الخط في المستويين باستخدام رافعة NH.

اليوم الثاني:

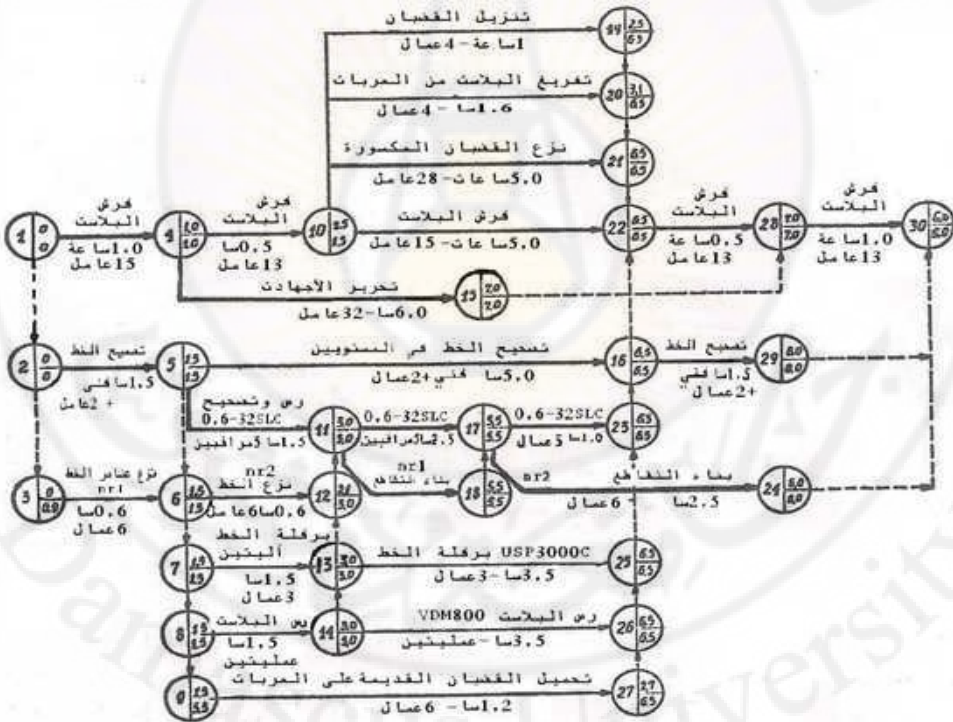
- 1- إضافة البلاست بين العوارض يدوياً.
- 2- تنظيف البلاست آلياً باستخدام RM 62.
- 3- رص البلاست باستخدام PD-90.
- 4- رفع الخط آلياً باستخدام رافعة NH.
- 5- رص البلاست باستخدام PD-90.
- 6- إضافة البلاست من العربات بشكل آلي.

اليوم الثالث:

- 1- رفع الخط باستخدام رافعة NH.
- 2- رص البلاست PD-90.
- 3- شد أدوات التثبيت بشكل آلي.
- 4- إضافة البلاست في حالة النقص من العربات آلياً.
- 5- برفلة جسم الخط USP-3000.
- 6- تصحيح توضع الخط قبل الرص النهائي.
- 7- الرص وتصحيح توضع الخط في المستويين SLC 06-32.
- 8- برفلة البلاست باستخدام آلية التسوية USP-3000.
- 9- رص البلاست باستخدام VDM-800.
- 10- قياس عرض الخط قبل التحشية النهائية.
- 11- التحشية وتصحيح توضع الخط باستخدام SLC 06-32.
- 12- الرص اللاحق للبلاست باستخدام VDM-800.

9-15- المخطط الشبكي:

يمكن استخدام المخطط الشبكي لتنظيم أعمال السكك الحديدية وهذا النوع من المخططات أيضاً يستند على ترتيب وزمن تنفيذ الأعمال حيث يمثل كل عمل بمستقيم أفقي يوضع في بدايته دائرة ويوضع في داخلها على اليسار رقم العملية وعلى اليمين في الأعلى المدة الزمنية للتنفيذ وفي الأسفل المدة الزمنية للتنفيذ مع التأخير وعلى الخط المستقيم الأفقي الواصل بين الدائرتين المحدتين لبداية ونهاية العملية يوضع نوع العمل في الأعلى وفي الأسفل عدد العمال والمدة الزمنية اللازمة لتنفيذ العمل كما يبين الشكل (4-15).

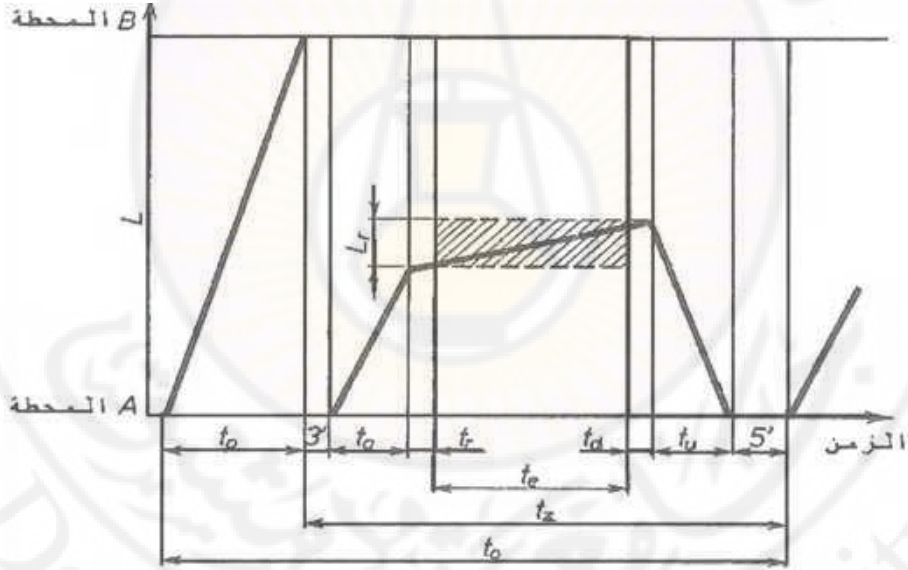


الشكل (4-15) مخطط شبكي لإصلاح القسم العلوي لخط ملحوم S49 على عوارض خشبية منفذة على مسافة 3.6 كم مع توقف الحركة خلال 6 ساعات يومياً

10-15- طريقة مخطط السرعة (الطول - الزمن):

يتم تمثيل مخطط السرعة ضمن جملة إحدائيات متعامدة. تتوضع الأطوال على محور السينات والزمن على محور العيانات وفق مقياس محدد.

تحتاج الآلية للتحرك من المحطة إلى مكان العمل بواسطة محركها الذاتي أو بمساعدة قاطرة مناورة إلى فترة زمنية تتعلق بسرعة التحرك للآلية والتي تبلغ وسطياً 30 كم/سا كما تحتاج إلى زمن لتحضيرها للبدء بالعمل أو للرحيل ثم زمن العودة إلى محطة الانطلاق أو المحطة التالية للعمل ويمكن حساب مجموع الأزمنة أو زمن حجز الخط لإجراء عملية الصيانة باستخدام آلية واحدة من الشكل (5-15).



الشكل (5-15) مخطط حجز الخط لعمل آلية رص البلاست

خلال فترة توقف السير على القسم من الخط الذي تجري صيانتة

ومن الشكل يمكن حساب الزمن الصافي لتنفيذ أعمال الصيانة أو الإصلاح وفق

العلاقة التالية:

$$t_z = t_1 + t_a + t_r + t_e + t_d + t_u + t_2 \quad (1-15)$$

حيث:

t_1 : زمن الانتظار قبل انطلاق القطار على قارعة الخط حوالي (3 دقيقة).

t_a : زمن سير الآلية للوصول إلى مكان العمل.

t_r : زمن تحضير الآلة للعمل.

t_e : زمن العمل الصافي.

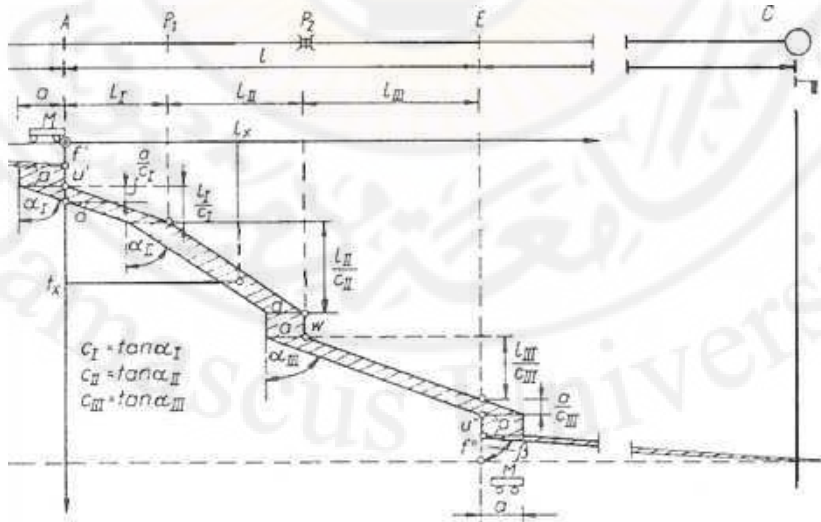
t_d : زمن تحضير الآلة لمغادرة مكان العمل.

t_u : زمن عودة الآلية إلى المحطة A أو المحطة التالية.

T_2 : زمن الانتظار على الخط قبل دخول المحطة.

1-10-15- وصف عام:

من الشكل (6-15) بفرض لدينا جزء من خط حديدي سيتم عليه تنفيذ مجموعة من الأعمال. وهذا الجزء محصور بين محطتين B, C وقد تم توقيف الحركة عليه وذلك لتنفيذ أعمال الصيانة على الجزء المحصور بين النقطتين A (نقطة البداية) و E نقطة النهاية.

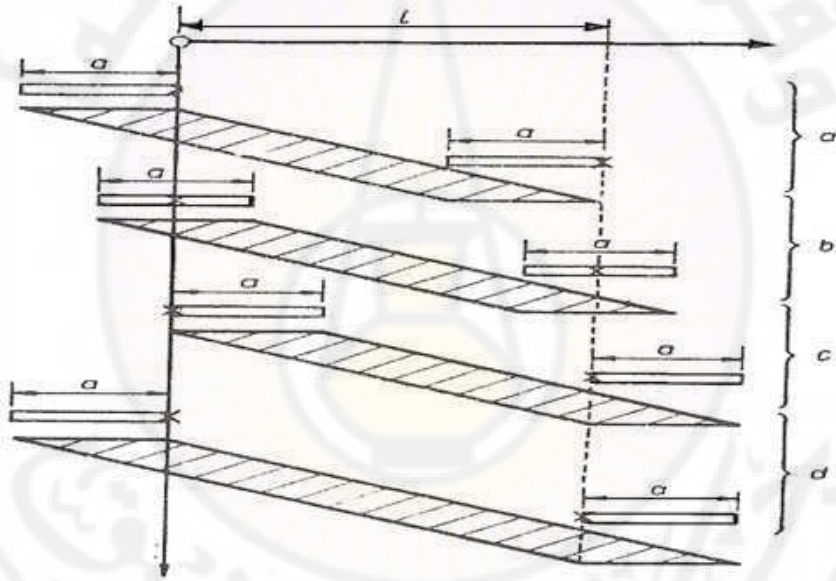


الشكل (6-15) مخطط السرعة لعمل آلية واحدة مع فترة توقف

إن طول المقطع AE هو L . وبفرض أننا سنستخدم آلية عمل واحدة . طول الانتشار لها a وهو الطول الذي تشغله الآلية أثناء عملها أي طول الآلية ذاتها مضافاً إليه مسافة الأمان الضرورية أمام الآلية وخلفها.

- بداية ونهاية عمل الآلية حسب طول الانتشار:

إن نقطة بداية العمل لآلية ما تختلف حسب طبيعة الآلية المستخدمة. حيث يمكن أن تكون في بداية طول الانتشار أو في وسطه أو في نهايته كما يوضح ذلك الشكل (7-15).



الشكل (7-15) حالات بدء وانتهاء عمل الآليات

بعد الوصول إلى نقطة العمل تبدأ أعمال التحضير للبدء بالعمل، وبفرض أن تنفيذ العمل سيتم على مراحل ثلاث، وبسرعة عمل مختلفة من مرحلة إلى أخرى. وبفرض أن طول كل جزء هو L_I, L_{II}, L_{III} فتكون السرعات هي على التوالي C_I, C_{II}, C_{III} .

وبفرض تم توقيف العمل في النقطة P_2 بسبب وجود عائق أو عطل ما لفترة زمنية قدرها W .

وبعد وصول الآلية إلى نهاية منطقة العمل يلزم وقت إضافي لتنظيف الآلية وتحضيرها للرحيل. كذلك تستغرق زمن للعودة إلى المحطة A أو للوصول إلى المحطة اللاحقة C قبل وضع الخط مرة ثانية في الاستثمار. كما يوضح ذلك الشكل (5-15).

ويحسب الزمن الكلي لحجز الخط من العلاقة:

$$t_s = \sum \frac{L_i}{C_i} + \sum W_i + \sum t_i \quad (2-15)$$

حيث:

t_s : زمن حجز الخط الكلي.

$\sum \frac{L_i}{C_i}$: مجموع أزمنة عمل الآلية.

$\sum W_i$: مجموع أزمنة التوقفات.

$\sum t_i$: مجموع أزمنة الوصول والعودة والتحضير للعمل والرحيل.

ومن مخطط عمل الآلية (الطول - الزمن) نجد بأن مخطط عمل الآلية يعطى بشكل شريحة وليس بشكل خط مستقيم كما هو في مخطط غانتا أو المخطط الشبكي.

2-10-15- مخطط السرعة من أجل استخدام عدة آليات:

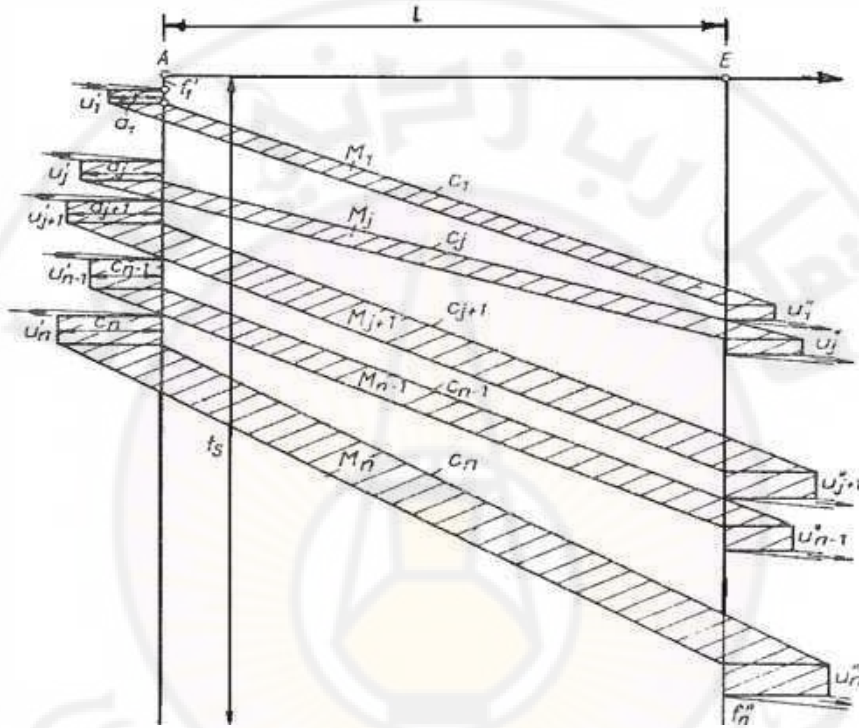
وهي الحالة العامة في أعمال الخطوط الحديدية ولتنظيم مخطط السرعة لعمل عدة آليات كما في الشكل (8-15) لا بد من ملاحظة الأمور التالية:

1- يؤخذ في الحسبان زمن وصول الآلية الأولى إلى موقع العمل وزمن مغادرة الآلية الأخيرة فقط.

2- يؤخذ بالحسبان جميع أزمنة التجهيز للعمل أو للرحيل بعد انتهاء العمل.

3- تعد سرعة العمل مختلفة من آلية لأخرى.

4- تعتبر نقطة بداية العمل في بداية طول الانتشار ونهاية العمل في نهاية طول الانتشار.

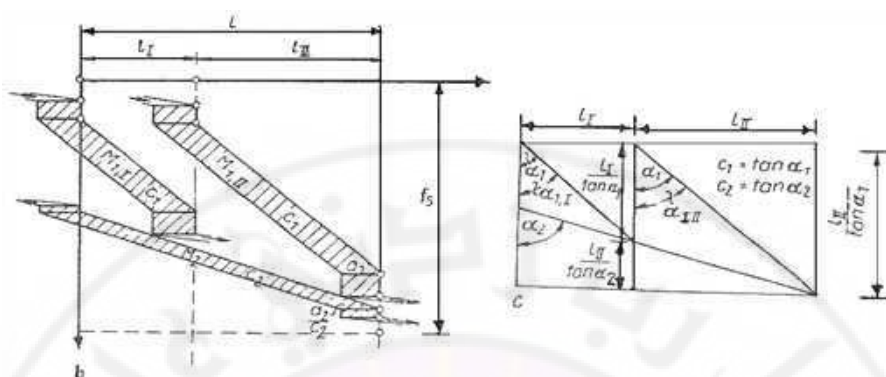


الشكل (8-15) مخطط السرعة لعمل عدة آلات

3-10-15- مخطط السرعة لاستخدام آليتين متشابهتين بتنفيذ عمل واحد:

تستخدم هذه الحالة عند وجود آليتين تعملان خلف بعضهما وللآلية الثانية سرعة عمل أكبر من الأولى عندها يتم استخدام آليتين من النوع الأول تعملان في منطقتين وبنفس الوقت تتبعهما الآلية الثانية بسرعة عمل أكبر.

في هذه الطريقة يجري تقسيم الطول L إلى جزأين L_1 و L_2 وليس بالضرورة أن يكونا متساويين ويتم تحديد قيمة L_1 و L_2 استناداً إلى سرعة العمل للآليتين C_1 و C_2 ومن الشكل (9-15):



الشكل (9-15) مخطط السرعة لعمل آليتين متشابهتين في عملية واحدة

نفترض أن زمن وصول الآليتين المتشابهتين إلى المقطع L_1 والمقطع L_2 متساو. وإن زمن التحضير للعمل واحد أيضاً فمن الشكل نجد:

$$L = L_1 + L_2 \quad (3-15)$$

$$\frac{L_2}{C_1} = \frac{L_1}{C_1} + \frac{L_2}{C_2} \quad (4-15)$$

ومن خلال الحل المشترك للمعادلتين نجد:

$$L_1 = L - L_2 \quad (5-15)$$

$$L_2 = L \frac{C_2}{2C_2 - C_1} \quad (6-15)$$

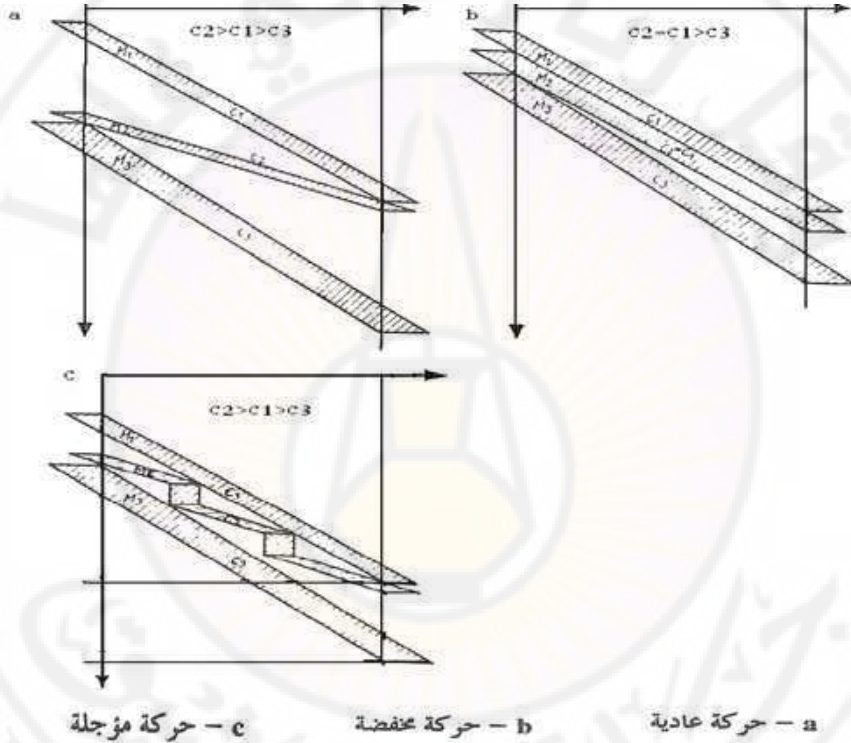
4-10-15- العوامل الرئيسية المؤثرة على مخطط السرعة:

تؤثر على مخطط السرعة مجموعة من العوامل هي:

- 1- بما أنه لا يمكن تحديد أوقات الانتظار بشكل دقيق لذلك ينصح عند وضع مخطط السرعة بأخذ السرعات الممكنة وليس السرعات النظرية.
- 2- في حال استخدام آليتين متتابعين وللاية اللاحقة سرعة أكبر ينصح بالجوء إلى استخدام الحركة المخفضة أو الحركة المؤجلة لتلافي وقت الانتظار عند حدوثه. كما يبين ذلك الشكل (b-10-16 و c).

3- يجب تجنب حدوث انقطاع في العمل، وهذا يتم عن طريق الصيانة المستمرة للأليات.

4- عند تحديد طول المقطع الذي يمكن إنجازه ضمن فترة محددة فإنه يجب الأخذ بالحسبان العوائق وأوقات الانتظار بحيث تأتي إما في بداية المقطع أو في نهايته.



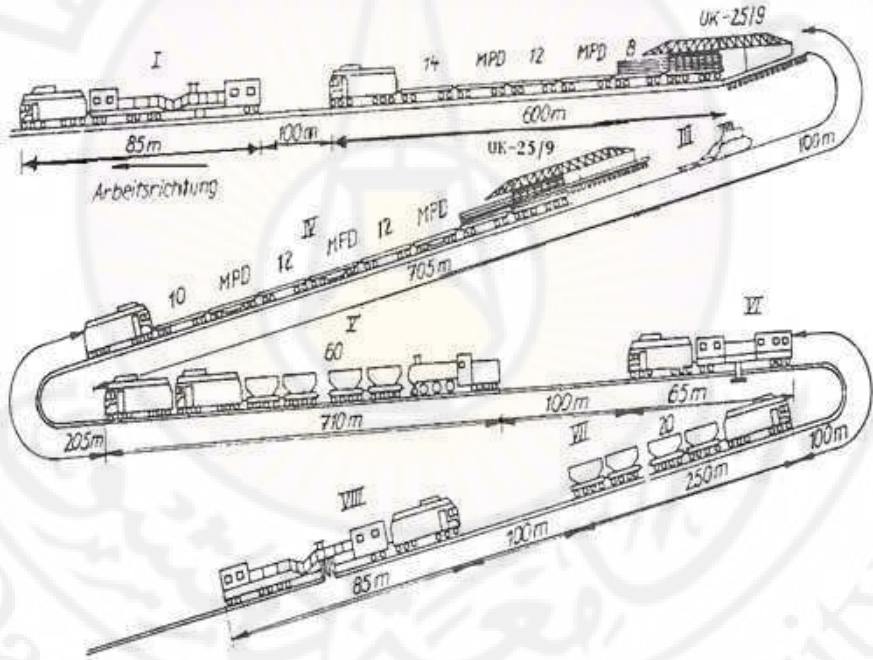
الشكل (10-15) حالات إمكانات تخفيض الزمن

11-15- تسلسل تنفيذ الأعمال في الورشة:

إن تنفيذ مجموعة من العمليات بتسلسل منطقي في عملية تكنولوجية معينة من أجل أن تكون ذات إنتاجية عالية واقتصادية ونظراً للظروف الخاصة بورشات الخطوط الحديدية يتم تنظيم العمل في خط تكنولوجي. وتتفاوت الخطوط التكنولوجية من ورشة إلى أخرى وعادة تضع الخطوط الحديدية خطوطاً تكنولوجية نموذجية لورشة مثالية.

إن وضع الخطوط التكنولوجية النموذجية يتم من خلال دراسة للأعمال المنفذة ومعرفة العناصر المشتركة بينها وذلك بالملاحظة المستمرة على فترة زمنية طويلة للأعمال المتشابهة. ومنه تقدم هذه الخطوط فائدة في تقدير المدة الزمنية اللازمة وإعداد الدراسة للمشاريع المشابهة بهدف تحديد التكاليف الاقتصادية والآليات المطلوبة واليد العاملة.

وهناك أمثلة كثيرة على الخطوط التكنولوجية المستخدمة الشكل (11-15) يبين خط تكنولوجي لأعمال التجديد لخط حديدي في مؤسسة الخطوط الحديدية الروسية:



الشكل (11-15) خط تكنولوجي لأعمال تجديد في الخطوط الحديدية الروسية

ويكون تسلسل عمليات التجديد وفق هذا الخط كما يلي:

- 1- تنظيف البلاست.
- 2- نزع الخط القديم بطريقة السلام.
- 3- تسوية البلاست.

4- تمديد الخط الحديدي بطريقة السلام.

5- و7- شاحنات البحص لتعويض النقص في البلاست.

6- رص البلاست وتصحيح الخط.

8- رص البلاست.

12-15- دقة وجودة أعمال الخطوط الحديدية:

وكما هو الحال لدى تنفيذ كل عمل لابد من مراقبة جودة التنفيذ والمواد المستخدمة وهذا يتم من خلال مقارنة الأعمال المنفذة وفق المعايير المعتمدة مع التساهلات المسموحة ويبين الشكل (12-15) مراحل تخطيط تنفيذ الأعمال وجودتها.

ومن العوامل الرئيسية التي تحدد جودة العمل:

1- نوعية المواد ومدى مطابقتها للمواصفات المطلوبة.

2- طرق استخدام الآليات والتجهيزات.

3- تكنولوجيا تنظيم الأعمال وكفاءة العمال المنفذين والمشرفين.



الشكل (12-15) العوامل الرئيسية لنوعية الأعمال

- دقة العمل: تقاس دقة العمل من خلال مقارنة الخط بعد إجراء الإصلاحات وقبلها.
- فعالية العمل (الديمومة): وتقاس بمدى محافظة الخط على جودته خلال مرحلة الاستثمار.
- المراقبة بين العمليات: وتهدف إلى مراقبة حسن التنفيذ لكي لا يحدث تأخير في تنفيذ المراحل اللاحقة من العمل.



الفصل السادس عشر حماية البيئة Protection of Environmental

1-16- مقدمة:

يمثل الغلاف الجوي (بما يتضمن من غلاف ماء وهواء وتربة) البيئة الوحيدة القابلة للحياة، فمكونات ومرتكزات هذا الغلاف تؤهله لتوفير الظروف الملائمة لصور الحياة كلها وبأشكالها كلها بما فيها الإنسان أعلى وأعلى ركائزها.

ولكن على المستوى العالمي أخذت البشرية تتعامل مع البيئة بطرائق جشعة دونما تعاطف وأصبح الطابع الاستهلاكي لبني البشر هو الطابع السائد مادياً وروحياً "إتلاف طبقة الأوزون والأمطار الحمضية في شبه الجزيرة السكندنافية وتلوث الأنهار والبحار والمحيطات... الخ".

لقد زادت مستويات الملوثات بأنواعها كلها كمّاً ونوعاً، وزاد معدل التدهور البيئي وزاد عدد السكان والسكن، ولم توضع ضوابط لوقف الكوارث البيئية التي هي الإنسان، وظهرت أنواع جديدة من الأمراض والأوبئة لم تكن موجودة قبلاً (الإيدز، الإيبولا، جنون البقر، أنفلونزا الطيور...).

إضافة لذلك فإن لوسائل النقل والمواصلات المختلفة تأثيراً هاماً من حيث الأضرار التي تلحق بكوكبنا.

إن حياة اليوم على الكوكب مهددة بالخطر بسبب سلسلة من العوامل من بينها مفعول البيوت الزجاجية حيث يلعب ثاني أكسيد الكربون دوراً هاماً. وهذا الملوث تنتجه بنسبة كبيرة وسائل النقل والمواصلات أيضاً.

ذلك كله نتيجة مغالاة الإنسان في السعي للبحوحة المادية واستغلال واستنزاف الموارد بالشكل الجائر فأصبحت البيئة تمر الآن بمرحلة حرجة وحقيقية من محدودية المورد من جهة ومحدودية القدرة الاستيعابية للنظم البيئية من جهة أخرى.

16-2- تأثير وسائل النقل المختلفة على البيئة:

مما لاشك فيه بأن التلوث البيئي ضريبة كبيرة للتطور الحضاري والتقني. وقد أصبح هاجساً يشغل المجتمعات والمنظمات والأفراد وتستمر المحاولات كل في موقعه لتدارك تلك الخطورة التي باتت تهدد الإنسان والطبيعة معاً.

إن التطور الكبير في وسائل النقل والمواصلات وخاصة الزيادة الضخمة في عدد السيارات بالمعدلات السائدة في كثير من البلدان قد ظهرت آثاره على الرفاهية الفرد والمجتمع ككل، فوسائل النقل المختلفة، تعتبر من الدعائم الأساسية في تطور ورفاهية الشعوب. وتمتاز السيارات بمرونتها في الاستخدام من ناحية وبسهولة إمكانية الحصول عليها من جهة أخرى.

إلا أن ذلك يلقي بأعباء ضخمة على الاقتصاد وخاصة فيما يتعلق باستهلاك الوقود والآثار البيئية الضارة على المجتمع وعلى كوكبنا مثل العوادم والضجيج والحوادث)...

وفيما يتعلق بالجو فإن النظام الإجمالي للنقل (الجوي، الطرقي، السككي) يساهم بنسبة 54% من القيمة الإجمالية للملوثات وأكثرها يعود إلى النقل الطرقي بحدود 84% للسيارات و فقط 0.4% يعود للنقل السككي، وهذا يعني بأنه كلما كانت حصة النقل السككي مرتفعة تضاعل التلوث الذي يسببه النقل الطرقي وتعتبر السيارات الخاصة من أهم مصادر التلوث في انبعاث العديد من الغازات السامة التالية:

غاز أول أكسيد الكربون، غاز ثاني أكسيد الكربون، أكاسيد النتروجين، والرصاص، وأبخرة البنزين، حيث تتفاعل أكاسيد النتروجين والهيدروكربونات الموجودة

في غاز البنزين، وذلك في درجات حرارة الجو العالية. ويسمى هذا التفاعل بالتفاعل الكيموضوئي، فيتكون الضباب الفوتوكيميائي (SMOG).

ولقد نجحت العديد من الدول الصناعية في الحد من تزايد انبعاث الغازات الناتجة عن طريق بعض التشريعات أو التعديل في تصميم المركبات. إن سياسة النقل يجب أن تدعم الجهود المبذولة لحماية البيئة وجودة الحياة، وعلينا الاستمرار في حماية جونا ومائنا ومواردنا الأرضية وكذلك صحتنا على المدى البعيد والمحافظة على صحة سائر المواطنين وعند تبني سياسات تؤدي إلى كلفة دنيا بالنسبة للمجتمع يجب من الضروري تقييم الكلفة الاجتماعية لكل وسيلة نقل بما في ذلك كلف التشغيل والبنية التحتية والآثار الخارجية التي تتمثل في التلوث والحوادث والضجيج واستعمال الأراضي واستخدام المحروقات غير القابلة للتجديد والازدحام... الخ.

فالنقل الطرقي بالمقارنة مع النقل السككي لحجم نقل متساوٍ يتطلب:

- 10 إلى 15 مرة أكثر من المساحة الطرقيّة.
- من 3 إلى 5 مرات أكثر من المحروقات.
- يسبب 50 مرة أكثر من الوفيات والجرحى ومن أضرار في المعدات ناتجة عن الحوادث.
- يسبب نسبة أكبر من الازدحام والاجهادات والضجيج.
- يلوّث أكثر من 4 مرات وفي حالة السكك المكهربة فالتلوث الطرقي يصل إلى 40 مرة أكثر.

فسياسات النقل يجب أن تأخذ بعين الاعتبار مشكلات السلامة والبيئة حيث أن للنقل أثر آخر وهو استهلاك الأوكسجين. فالسيارة التي تقطع مسافة 12000 كم سنوياً تحتاج من الأوكسجين نفس الكمية التي يستنشقه عشرة أشخاص خلال نفس الفترة.

أما الطائرة فهي تستهلك خلال ثماني ساعات من الطيران ما تنتجه من الأوكسجين 26000 هكتار من غابة في /24/ ساعة.

وكما هو معلوم فإن المغروسات الخضراء (الأشجار والشجيرات) هامة بالنسبة للإنسان وصحة بيئته ولا سيما تنقية الهواء والحفاظ على صحته فهي تخفض تركيز غاز ثان أوكسيد الكربون في الهواء وفي الوقت نفسه اغناؤه بالأوكسجين.

إن البشرية جمعاء معنية بالتأكيد بالبيئة لأن عدم المحافظة على الموطن ضمن شروط ملائمة سيؤدي إلى انقراض كل أنواع الحياة البشرية. " فالرصاص كالمثلوث الذي يؤثر على حوالي مليوني شخص في المجموعة الأوربية فإذا كان هناك تشوهات في النقل وتواجدت آثار سلبية بشكل غير منتظم على المجتمع والبيئة فذلك يرجع إلى مصدر المشكلة أي إلى سلوك المرء الذي يجب تعديله حتماً.

يجب أن تبنى سائر التصرفات الفردية والجماعية للمرء على أساس المنطق ومن بين هذه التصرفات النقل بسبب تأثيره الكبير على البيئة.

تساعد أنظمة النقل المنطقية على حل مشكلات التلوث وهي تقتصد في استهلاك الطاقة وعدم الإسراف في استهلاك الموارد الأرضية التي تكون ذات قيمة كبيرة. ومن شأنها أيضاً أن تخفض مخاطر خسارة الحياة.

16-3- السكك الحديدية هي الصديق الكبير للبيئة:

تعتبر السكك الحديدية وسيلة النقل المثالية لنقل (الركاب والبضائع) فهي أفضل الوسائل من ناحية السرعة والأمان والغازة والوفر في استهلاك المحروقات "حيث يقدر استهلاك وحدة لمنقول بالسكك الحديدية من الوقود ما يعادل (20%) من الاستهلاك في حالة النقل الطرقي" ومن ناحية الراحة والحفاظ على النظام وتكاليف النقل للمسافات المتوسطة والطويلة وتوفير الأراضي وقلة الأضرار التي تحدثها وتشمل الضجيج والتلوث الجوي، فهي أقل وسائل النقل تأثيراً على البيئة من حيث التلوث.

كما تتميز السكك الحديدية بانخفاض معدلات الوفيات والإصابات من الحوادث مقارنة بالنقل على الطريق البري.

فالسكة الحديدية بفعل الضرر المتدني الذي تسببه للبيئة هي عامل جيد جداً لصالح المجتمع ولكن بشرط أن تعمل ضمن شروط متساوية للتنافس مع سائر أنماط النقل الأخرى.

وبالرغم من الدور المتنامي للسكك الحديدية في نقل البضائع في معظم بلدان العلم حيث تزيد حصتها في السوق على 70% من النقل البري الإجمالي نجد أن دورها في البلدان العربية والبلدان النامية يتضاءل تدريجياً.

إن تنظيمياً منطقياً للنقل تتوفر فيه شروط منافسة متساوية من شأنه أن يحسن من حصة السكة الحديدية في السوق بسبب انخفاض كلفتها بالنسبة للمجتمع وبذلك ستتحسن جودة الحياة البشرية الحالية والمستقبلية.

حيث أنه في نظام النقل بعدة بلدان من العالم توجد تشوهات ومزايا وإعانات كيفية تسبب اختلالاً في شروط المنافسة بفعل المنافع المكتسبة هذا فضلاً عن أسباب أخرى تحول دون حصول السكة الحديدية على النقل الأكثر ملائمة للمجتمع.

ومن أجل تحسين دور السكك الحديدية في نقل البضائع والركاب ودفع حركة البضائع بين الأقطار العربية ودعم التكامل بين وسائل النقل المختلفة، يجب رفع كفاءة شبكة الخطوط الحديدية والوحدات المحركة والمتحركة، إلى جانب اتباع سياسات تسويق فعالة تنمي من دورها في نقل البضائع.

وأيضاً يتم رفع الكفاءة باستخدام الجر الكهربائي بدلاً من الجر بالديزل الذي يتيح تشغيل قطارات ذات قدرات فائقة وحمولات كبيرة وبسرعات عالية وهذا يحسن مستوى المنافسة ويقويها بالمقارنة مع وسائل النقل الأخرى وخاصة النقل البري. كما أن الجر الكهربائي أقل تأثيراً على البيئة وخاصة فيما يتعلق بالانبعاثات الملوثة للهواء. وقد

أوضحت الدراسات في كل من أوروبا واليابان أن الجر الكهربائي في السكك الحديدية أكثر كفاءة في التشغيل. كما أنه يؤدي إلى جذب كمية كبيرة من حجم الطلب على النقل (البضائع والركاب) وذلك للاستفادة من السرعات العالية والطاقة الفائقة بالإضافة إلى عنصري الراحة والأمان الذين يوفرهما الجر الكهربائي مقارنة بالجر الديزل.

إن معظم الدول وخاصة الأوروبية منها تتجه للتحويل التدريجي للجر الكهربائي.

ففي سويسرا جميع خطوط السكك الحديدية مكهربة وفي فرنسا يصل الجزء المكهرب من السكك الحديدية الفرنسية إلى 40% ويقوم بنقل 88% من أجمالي نقلات السكك الحديدية أما في اليابان فإن 58% من شبكة الخطوط الحديدية مكهربة وتساهم بـ 93% من أجمالي منقولات السكك الحديدية. وفي بريطانيا يصل الجزء المكهرب من الشبكة إلى 30% ويقوم بنقل حوالي 55% من أجمالي المنقول بالسكك الحديدية أما في ألمانيا فإن 90% من المنقول بالسكك الحديدية يتم على الجزء المكهرب وهو 45% من الشبكة.

لقد أوضحت معظم الدراسات البيئية بأن الانبعاثات الملوثة للهواء التي تنتج من الجر بالديزل أعلى بكثير من تلك التي تنتج من الجر الكهربائي عن مركبات الطرق.

إلا أن مشاريع كهربائية الجر في السكك الحديدية تحتاج إلى رؤوس أموال كبيرة في الإنشاء والصيانة وخاصة للمحطات الكهربائية المغذية إضافة إلى توفير الاحتياجات الأساسية من الوحدات المحركة والمتحركة المناسبة. هذا إلى جانب تطوير منشآت البنية الأساسية للخط الحديدي وهنا يكمن إشراك القطاع الخاص في تحويل مثل هذه المشاريع.

4-16- منشآت الحماية من الضجيج:

ينتج عن حركة القطارات اهتزازات وذبذبات تنتقل كموجات صوتية في الهواء تصل سعتها ما بين 16-20000 هرتز، تؤثر على المواطنين القاطنين بالقرب من الخط الحديدي.

16-4-1- قياس قوة الصوت (الضجيج):

يتم قياس شدة الصوت أو قوة الصوت أو سعة الصوت، خلال فترة أو عند حدوثه. حيث أن إذن الإنسان حساسة لسماع الأصوات، فقد تم وضع معادلة لوغاريتمية لقياس قوة الصوت.

$$L = 10 * \lg \left(\frac{P}{P_0} \right)^2 = 20 * \lg \left(\frac{P}{P_0} \right)$$

L: قيمة الصوت ديسيبل (dB).

P: ضغط الصوت N/m^2 .

P_0 : ضغط الصوت في الهدوء $2 * 10^{-5} N/m^2 = 0 \text{ dB}$

تقع موجة الألم عند شدة 120 dB.

تم تصنيف شدة الصوت إلى ثلاثة مستويات:

A: حالة منخفضة.

B: حالة متوسطة.

C: حالة عالية جداً.

ويسبب ضغط الصوت إزعاج وألم للإنسان نتيجة الضوضاء والصخب. وتعتبر الحماية من الضجيج من أهم عناصر التخطيط لمسارات المواصلات في وقتنا الحاضر. وحسب التعليمات البيئية فيجب عند بناء أو تجديد لمسارات المواصلات أن تكون تأثير هذه المسارات على البيئة في الحدود الدنيا. وبالنسبة للخطوط الحديدية توجد تعليمات وشروط للحماية من الضجيج.

تتحقق الحماية من الضجيج من خلال:

- حماية فعالة: (إجراءات عند المنبع، تقلل من الانتشار).

- حماية سلبية (إجراءات بتعريض المسار يقلل من الانتشار).

16-4-2- مصادر الأصوات في النقل السككي:

يمكن تحديد بعض مصادر الضجيج حسب الآتي:

- أصوات الهواء بسرعة أقل من 80 km/h.
- تركيب وتجميع العربات بسرعة أقل من 80 km/h.
- أصوات الحركة بسرعة أكبر من 250 km/h.
- احتكاك العجلة على القضبان $250 \geq v \geq 80 \text{ km/h}$.
- جسور معدنية قديمة.
- محطات الفرز وأصوات الفرامل.
- مفاتيح الخطوط (المقصات) وفواصل الخطوط.
- المنحنيات ذات أنصاف أقطار أقل من 500 m.
- أصوات الدحرجة.

16-4-3- الوقاية من الضجيج:

يمكن القيام بالإجراءات التالية بما فيها أعمال الصيانة:

- معالجة سطح السير لرأس القضبان ، بإزالة العيوب والتعرجات عن طريق جليخ القضبان.
- حجب العربة في منطقة الضجيج.
- تقليل الضجيج باستخدام نظام فرامل فعال.
- بناء منشآت حماية (حواجز ترابية، جدران خشبية، معدنية، زجاجية أو بيتونية، مصاطب مزروعة)، الخط يمر ضمن حفرة أو نفق ذو منسوب منخفض.

- جدران الحماية من الضجيج: تبنى هذه الجدران من مواد عديدة (المنيوم، معدن، خشب، بيتون، زجاج، مواد أخرى) وبارتفاع لا يزيد عن 2 m.
- حواجز الحماية من الضجيج: يحتاج بناء الحواجز والسدود الترابية إلى مساحة أكبر مما هو في حالة جدران الحماية، وتعتمد هذه الطريقة بالنسبة للخطوط الجديدة إذا سمحت المساحة. وتزرع بالأعشاب، وتكون الحواجز عمودية على اتجاه الرياح وتستخدم مدة طويلة.
- مصاطب الحماية من الضجيج: عبارة عن أحواض بيتونية مملوءة بالتربة الزراعية توضع فوق بعض على شكل مصاطب وتزرع بالنباتات.
- منشآت أخرى: تتعلق بالشروط المحلية، جدران حماية مؤلفة من سكة حديدية قديمة.

16-4-4 طرق حساب الضجيج:

الطريقة الأولى:

يتم حساب الضجيج L_r من خلال معرفة التغيرات بمستوى الضجيج بين النهار $L_{r,T}$ خلال الفترة ما بين الساعة (6.00-22.00) والليل $L_{r,N}$ خلال الفترة ما بين الساعة (22.00-6.00) ومعرفة عدد السكان القاطنين على طرفي السكة الحديدية ، حيث يتم استخدام المعامل بقيمة معينة لكل ساكن في الليل والنهار في السنة. الضجيج يعتبر بقيمة 50 ديسبل وما يزيد أما عندما يكون مقدار الضجيج أقل من 50 ديسبل عندئذ يتم تخفيض قيمة المعامل. ولأجل خط حديدي ذو استقامة تكون العلاقات:

$$L_{r,T} = L_{m,T(25)} + D_{Fz} + D_{L,v} + D_{fb} + D_{s\perp} + D_{MB} + D_B + S$$

$$L_{r,N} = L_{m,N(25)} + D_{Fz} + D_{L,v} + D_{fb} + D_{s\perp} + D_{MB} + D_B + S$$

حيث:

L_{rT} : الضجيج أثناء النهار.

L_{rN} : الضجيج أثناء الليل.

$L_{mT(25)}$: متوسط الضجيج في النهار.

$L_{mN(25)}$: متوسط الضجيج في الليل.

D_{FZ} : معامل تصحيح الضجيج حسب أنواع العربات.

D_{IN} : معامل تصحيح حسب طول القطار وسرعته.

D_{Fb} : معامل تصحيح حسب نوع المسار.

$D_{s\perp}$: تغير الضجيج حسب التباعد بين منطقة تلوث وأخرى.

D_{MB} : تغير الضجيج حسب نوع التربة.

D_B : تغير الضجيج حسب طبيعة المنطقة الطبوغرافية.

S : معامل تصحيح قيمته -5dB .

تؤخذ قيم هذه العوامل من منحنيات بيانية أو من جداول.

الطريقة الثانية:

ويقدر عادة الضجيج بتقسيم المسار إلى عدة أقسام بطول كل منها L_k . الشكل (1-16)، بشرط أن يكون:

$$0,01 * s_k \leq L_k \leq 0,5 * s_k$$

s_k : تباعد موقع التلوث عن منتصف طول الجزء المدروس.

يتم حساب الضجيج لكل قسم في النهار والليل:

$$L_{r,k} = L_{m,E,k} + 19,2 + 10 * \lg l_k + D_{I,k} + D_{s,k} + D_{L,k} + D_{BM,k} + D_{Kor,k} + S$$

حيث:

$L_{m,E,k}$: الضجيج.

L_k : طول القسم المدروس.

$D_{I,k}$: تغير الضجيج حسب تأثير الاتجاه:

$$D_{I,k} = 10 * \lg (0.22 + 1.27 * \sin^2 \delta_k)$$

δ_k : الزاوية بين محور السكة والاتجاه s_k .

$D_{s,k}$: تغير الضجيج حسب التباعد:

$$D_{s,k} = 10 * \lg \frac{1}{2 \pi s_k^2}$$

$D_{L,k}$: تغير الضجيج حسب نوع الهواء:

$$D_{L,k} = \frac{s_k}{200}$$

$D_{BM,k}$: تغير الضجيج حسب نوع التربة:

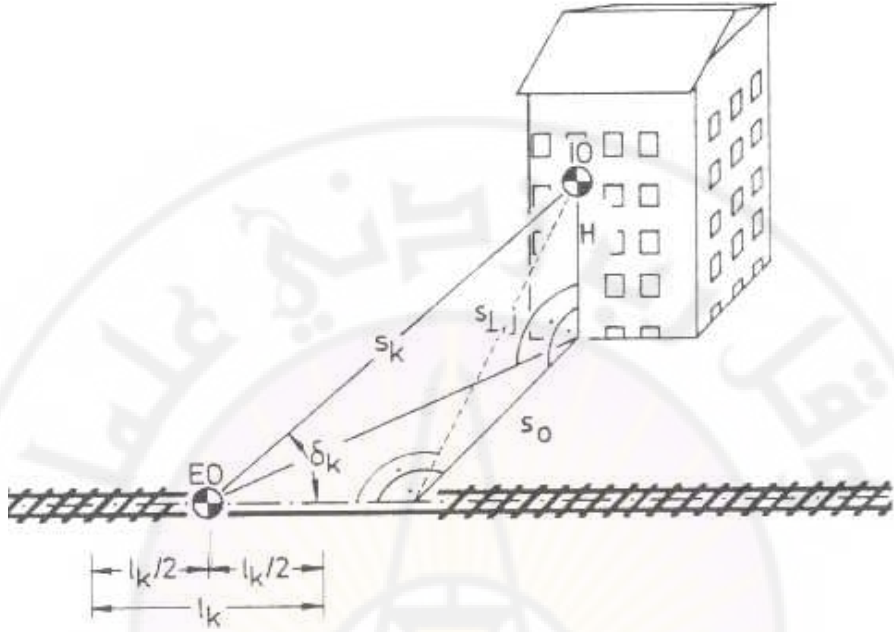
$$D_{BM,k} = \frac{h_m}{s_k} * \left(34 + \frac{600}{s_k} \right) - 4.8 \leq 0$$

h_m : الارتفاع الوسطي للخط s_k عن سطح الأرض.

$D_{kor,k}$: معامل تصحيح حسب الطبيعة الطبوغرافية.

S : معامل تصحيح قيمته - 5dB

$$L_{r,ges} = 10 * \lg \sum_k 10^{0,1 * L_{r,k}}$$



الشكل (1-16) طريقة حساب الضجيج

الطريقة الثالثة:

يحسب الضجيج L_m لكل من النهار (6.00-22.00) والليل (22.00-6.00) للسكة على تباعد 25 m من محور السكة وبارتفاع 3.5 m عن منسوب السكة.

$$L_{m,E} = 10 * \lg \left[\sum_i 10^{0.1 * (51 + D_{Fz} + D_D + D_L + D_V + D_{Ae})} \right] + D_{Fb} + D_{Br} + D_{Bu} + D_{Ra}$$

حيث:

$L_{m,E}$: متوسط الضجيج.

D_{Fz} : قيمة تصحيح حسب نوع العربات، والجدول (1-16) يعطي قيم التصحيح.

الجدول (1-16) قيم التصحيح

	نوع العربة	$D_{Fz} (dB)A$
	1	2
1	عربة مع نظام فرامل صفائح	-2
2	عربة مع سرعة $V > 100 \text{ Km/h}$	-4
3	عربة ترامواي	3
4	عربة مترو	2
5	عربات أخرى	0

D_D : قيمة تصحيح حسب نوع الفرامل:

$$D_D = 10 * \lg (5 - 0.04 * P)$$

P : تخص القاطرة ويؤخذ طولها 20 m وطول عربة الركاب 26.4 m.

D_i : عامل تصحيح حسب طول القطار:

$$D_i = 10 * \lg (0.01 * l)$$

L : طول القطارات المتشابهة خلال ساعة.

D_v : عامل تصحيح حسب السرعة:

$$D_v = 20 \lg (0.01 * v)$$

v : السرعة.

والجدول (2-16) يعطي البيانات اللازمة لحساب العوامل الثلاثة الأخيرة.

الجدول (2-16) البيانات اللازمة لحساب العوامل الثلاثة (D_D , D_i , D_v)

	نوع القطار	Max.v [km/h]	الطول الوسطي للقطار [m]	الحصة [%] للعربة مع فرائل في عام	
				1988	2000
	1	2	3	4	5
1	ICE	250	420	100	100
2	EC/IC	200	340	100	100
3	IR	200	205	100	100
4	D/FD	160	340	30	100
5	قطار سريع	140	205	20	30
6	قطار نقل داخلي	120	150	20	30
7	قطار ضواحي	120	150	20	30
8	قطار بضائع نقل بعيد	100	500	0	0
9	قطار بضائع نقل قريب	90	200	0	0
10	مترو	80	80	100	100
11	ترامواي	60	25	100	100

D_{Ae} : عامل تصحيح = 0 عندما السرعة $v \leq 250 \text{ Km/h}$

= 1 عندما $250 \text{ Km/h} \leq v \leq 300 \text{ Km/h}$

D_{Fb} : عامل تصحيح حسب نوعية المسار ويعطى بالجدول (3-16).

الجدول (3-16) قيم عامل التصحيح D_{Fb} حسب نوعية المسار

	نوع المسار	D_{Fb} [dB(A)]
1	جسم المسار يحتوي أعشاب وحشائش	-2
2	جسم المسار يحتوي بلاست وعوارض خشبية	0
3	جسم المسار يحتوي بلاست وعوارض بيتونية	2
4	جسم خط الترامواي ضمن الشارع	5

D_B : عامل تصحيح بوجود الجسور ويبلغ 3 dB(A).

D_{Bu} : عامل تصحيح بوجود معابر ويبلغ قيمة 5 dB (A).

D_{Ra} : عامل تصحيح بوجود المنحنيات وتتعلق قيمته بنصف قطر المنحني حسب الجدول (4-16).

الجدول (4-16) قيم عامل التصحيح (D_{Ra}) تبعاً لقيمة نصف قطر المنحني (r_m)

نصف قطر المنحني r [m]	D_{Ra} [dB(A)]
$r < 300$	8
$300 \leq r < 500$	3
$r \geq 500$	0

ولابد في النهاية من السعي لتحقيق:

استخدام الجر الكهربائي بالسكك الحديدية يوفر إيرادات مالية كبيرة في تكاليف الصيانة والتشغيل مقارنة بالجر بالديزل.

- استخدام الجر الكهربائي بالسكك الحديدية يحافظ على حجم الملوثات وقلّة عدد الحوادث.
- ضرورة التزام التنمية المستدامة بحماية البيئة، لأن أي نمو اقتصادي لا يهتم بالأبعاد البيئية فهو نمو غير حقيقي ومزيف، فهو ينمو على حساب البيئة.
- الاهتمام بالتربية البيئية، وضرورة الالتزام بقواعد الترشيد الكافي في استغلال الموارد والحد من التلوث.
- بناء منشآت الحماية للحد من التلوث الضجيجي الناتج عن النقل السككي.



المصطلحات العلمية:

عربي	إنكليزي
السكك الحديدية	Railway
شبكة السكك الحديدية	Railway network
المسار	Track
مسار السير الرئيسي	Running track
المسار المكهرب	Electrified track
خط سكة حديد فرعي	Sidings
التباعد بين محاور المسارات	Distance between Centers of Tracks
أبعاد التحميل	Loading Gauge
سرعة التشغيل القصوى	Authorized Mass per Axle
مركبات السكك الحديدية	Railway vehicle
مركبات الجر	Tracie vehicle
أنواع القاطرات	Locomotive types
خط مزدوج	Double Track
القاطرات البخارية	Steam locomotive
القاطرات الكهربائية	Electric locomotive
قاطرات الديزل	Diesel locomotive
مقطورات عربات السكك الحديدية	Railcar trailer
قدرة النقل الخاصة بمركبات الركاب	Carrying capacity of passenger vehicle
العربات	Wagon
العربات الخصوصية	Privately owned wagon
العربات المغطاة	Covered wagon
العربات العازلة	Insulated wagon
العربات المبردة	Refrigerated wagon
العربات المسخنة	Heated wagon
العربات المسطحة	Tank wagon

عربي	إنكليزي
عربات السلوه (الصومعة)	Silo wagon
العربات ذات الجوانب المرتفعة	High sided wagon
حمل العربات	Carrying capacity of wagon
القطار	Train
أنواع القطارات	Types of train
إشارة خروج	Exit Signal
إشارة مؤخرة القطار	Tail Signal
عارضة	Sleeper
عارضة خشبية	Wooden Sleeper
محطة	Station
مقطورة	Trailer
العلو الإضافي	Cant of Track
الميل الأعظمي	Maximum Gradient
لوحة تحديد السرعة	Speed Restriction Board
الطول الأدنى للرصيف في المحطات الرئيسية	Minimal Platform Length in Principal Stations
الطول المفيد	Minimal Useful Siding Length
السرعة النظرية الدنيا	Nominal Minimum Speed
موظفو السكك الحديدية	Employment
الاتحاد الدولي للسكك الحديدية	UIC
المؤسسة العامة للخطوط الحديدية السورية	CFS
المؤسسة العامة للخط الحديدي الحجازي السوري	CFH

المراجع العلمية:

- [1] Fuehrer, G; Gleiskonstruktion, transpress Verlag fuer verkehrswesen, Berlin, 1987.
- [2] Fendrich, L. (Hrsg.): Handbuch Eisenbahninfrastruktur, Springer-Verlag, Berlin und Heidelberg 2007.
- [3] Koehler, J; Gleisgeometrie. transpress Verlag fuer verkehrswesen, Berlin, 1981.
- [4] Funke, H; Gleisbautechnologie, transpress Verlag fuer verkehrswesen, Berlin, 1981.
- [5] Zarour, Jandab; Beanspruchung der Schienen beim Gleisbau und Gleiserhaltung, Dissertation-A- Dresden, 1989.
- [6] Berg, G; Henker, H; Weichen, transpress Verlag fuer verkehrswesen, Berlin, 1986.
- [7] Zschweigert, M; Bahnanlagen des Nahverkehrs, transpress Verlag fuer verkehrswesen, Berlin, 1981.
- [8] Lichtberger, B.; Handbuch Gleis, Tetzlaff Verlag 2. Auflage 2004.
- [9] Siegmann, J.; Franz, J.; Vorlesungsskript Modul K40: Schienenfahrweg und Bahnbetrieb, TU Berlin 2005.
- [10] Fengler, W.; Gerber, U.; u.a.: Handbuch für den Eisenbahnbetriebsleiter, Band 2, Verkehrsgewerbe Leipzig 2006.
- [11] Zarour, Jandab.: Die syrische Eisenbahnen: Vergangenheit Gegenwart – Zukunft, Eisenbahningenieur (56) 6/ 2005.
- [12] Siegmann, J.; u. a.: Handbuch für das System Bahn, Eurailpress, 2008.

- [13] Matthews, V; Bahnbau, 7. auflage, B.G. Teubner Verlag, 2007.
- [14] Zarour, Jandab.: Fehlervermeidungsstrategien bei der Schweißtechnologie von Schienen am Beispiel der syrischen Strecke - Deir Azzor - Abu Kamal, Eisenbahntechnik Rundschau , ETR,1+2,2009. □
- [15] Zarour, Jandab.: Entwicklung des Oeffentlichen Personennahverkehrs in Damaskus, EI - Der Eisenbahningenir, 2/ 2009.
- [16] Zarour, Jandab.: Probleme der Versandung des Eisenbahnfahrweges in den syrischen Trockengebieten EI - Der Eisenbahningenieur 12/2005.
- [17] Fuehrer, G; Oberbauberechnung, transpress Verlag fuer verkehrswesen, Berlin, 1978. □
- [18] Die Eisenbahnschiene, Verlag von W. Ernst & Sohn 1977, Berlin, /Muenchen/ Dueseldorf. □
- [19] Das Lueckenlose Gleis, transpress Verlag fuer verkehrswesen, Berlin, 1981. □
- [20] Schuemberg, G; Gleisplangestaltung, transpress Verlag fuer verkehrswesen, Berlin, 1987.
- [21] Hiller, W; Rangierbahnhoeefe, transpress Verlag fuer verkehrswesen, Berlin, 1982.
- [22] <http://www.gleisbauwelt.de>
- [23] Transport – W. Rydzkowskiego Warszawa 2007.
- [24] Technolgia - Transportu Kolejowego P.Zalewski P2004 Siedlec Warszawa. □
- [25] Niekonwencjonalne nawierzchnie w miejskiej Chetmecki. W Krakow 1992. □

- [26] Drogi Kolejowe jana Sysaka Warszawa 1986 Komunikacji.
- [27] Transport W Miastach Jan Podoski Warszawa 1985.
- [28] Tramwaj – szybki J Podotski Warszawa 1983.
- [29] Latin American Journal of Solids and Structures 6 (2009) 89 (104).
- [30] Dynamic responses of train-track system to single rail irregularity.
- [31] Jabbar Ali Zakeri¹;ϣ, He Xia² and Jun Jie Fan².
- [32] جندب زعرور، هندسة السكك الحديدية -1- جامعة تشرين، 1994/1993.
- [33] جندب زعرور، هندسة السكك الحديدية -2- جامعة تشرين 1994/1993.
- [34] جوزيف صيدناوي، محمد هاجم الوادي – هندسة السكك الحديدية -1- جامعة دمشق، 1992/1991.
- [35] منشورات المؤسسة العامة للخطوط الحديدية السورية.
- [36] مجموعة من مجلات الاتحاد العالمي للسكك باللغة الانكليزية من (2006-1998).
- [37] اتفاق السكك الحديدية الدولية في المشرق العربي (الأمم المتحدة) الاسكوا آذار 2002 بيروت.
- [38] معجم مصطلحات إحصاءات النقل الأمم المتحدة 2002.
- [39] جوزيف صيدناوي، محمد هاجم الوادي – هندسة السكك الحديدية -2- جامعة دمشق، 1998/1997.
- [40] جندب زعرور، دور السكك الحديدية في حماية البيئة وجودة الحياة – في المؤتمر الدولي الحادي عشر عن حماية البيئة – ضرورة من ضرورات الحياة، الإسكندرية مصر، 2001.

[41] جندب زعرور، الأقطاب الندوة العلمية العالمية الثالثة لسراير القطارات الرباط المغرب، 2002.

[42] جندب زعرور، حساب التلوث الضجيجي الناجم عن حركة القطارات وإجراءات الوقاية منه - المؤتمر الدولي السادس لدور الهندسة نحو بيئة أفضل - الإسكندرية، 2006.

[43] جندب زعرور، إستراتيجية تجنب حدوث الأخطاء عند تنفيذ تكنولوجيا لحام القضبان الفولاذية، مثال على ذلك تنفيذ الخط الحديدي السوري الذي يربط دير الزور مع البوكمال - في الندوة العلمية الثالثة عشرة للإتحاد العربي للسكك الحديدية - عمان، 2008.



المقومون العلميون:

- الأستاذ الدكتور ساطع بدوي
- الأستاذ الدكتور أندراوس سعود
- الأستاذ المساعد الدكتور رأفت الإدليبي

المدقق اللغوي:

- الدكتور برهان أبو عسلي

حقوق الطبع والترجمة والنشر محفوظة لمديرية الكتب والمطبوعات الجامعية