الباب السابع عشر

الترامـــواى

أو السكك الحديدية المنشأة فوق الطرق

بدأت سكك الترام نشأتها فى انجلترا عام ١٨٥٠ وسميت بهذا الإسم نسبة للمهندس الانجليزى ترام Tram . وسكك الترام هى السكك الحديدية المنشأة فى الشوارع والتى يطلق عليها لفظة الترامواى . وقد كانت العربات تسحب فوق هذ السكك فى بداية نشأتها بواسطة الجياد فلما تطورت الآلة البخارية سيرت بقوة البخار ثم فيما بعد بالقوى المحركة الـكهربائية (التيار المستمر) . ولمـا كانت حركة المواصلات داخل المدن تتطلب كثرة وقوف وسائل النقل وهذا يسبب عطلها فإن استعمال الـكهرباء كوسيلة لتسيير عربات الترام قد عوض كثيراً من فترات التوقف إذ يمكن الوصول بواسطتها إلى أقصى سرعة والهبوط بها إلى السكون تماما فى أزمنة قصيرة جـداً فتصل عجلة الازدياد إلى خمسة أمتار فى الثانية والتقصير إلى متر فى الثانية فى الثانية مما أدى إلى زيادة كفاءتها . وعربات الترام عربات خفيفة إذا ما قورنت بعربات السكك الحديدية فهى تزن فى العادة حوالى سبعة أطنان .

اتساع سكة الترام :

كان اتساع سكة الترام فى بادئ الأمر هو الاتساع العادى (٤٣٥ و١ مترا) وكان هذا الاتساع ملائما إذ كان يناسب الجياد فـكان يكفل لها السير بين القضيبين فى راحة تامة . ولـكن الاتجاه أخـذ يميل بعد ذلك إلى تقليل الاتساع وخصوصاً بعـد استعمال القوى المحركة البخارية ثم الـكهربائية فبلغ الاتساع مترا فى أكثر مدن العالم ومنها القاهرة . ويمكن القول بأن الاتساعين الشائعين الآن هما الاتساع العادى ١ر٤٣٥ مترا والاتساع الضيق ١ر٠٠ متر وأن النية متجهة دائما إلى استعمال الاتساع الأخير كلمـا تسنى ذلك . وللاتساع الضيق فوائده فهو يسمح باستعمال منحنيات حادة فى الشوارع الضيقة فضلا عن الاقتصاد فى مهمات أساس السكة .

منحنيات سكك الترام :

تصغر منحنيات سكك الترام عن مثيلاتها فى السكك الحـديدية وذلك حتى يتسنى الانتقال فى حيز ضيق من شارع إلى آخر متعامد عليه . ويقل نصف القطر فى بعض الأحوال فيصل إلى ١٥ مترا . ويتبع

ذلك إنقاص البعد بين محاور دناجل العربات فيصل هذا البعد إلى مترين ونصف وأحيانا مترين . وهناك حالات وصل فيها إلى ١,٤٠ مترا و ١,٥٠ مترا ولكن هذين البعدين يعتبران صغيرين جدا .

أساس السكة وأساس الشارع :

يجب مراعاة فصل أساس سكة الترام عن أساس الشارع . وقد روعيت هذه القاعدة بعدما تجلت الآثار المخربة التى كانت تنتاب الشوارع من عدم فصل أساسهما . ويرجع السبب فى ذلك لما يأتى :

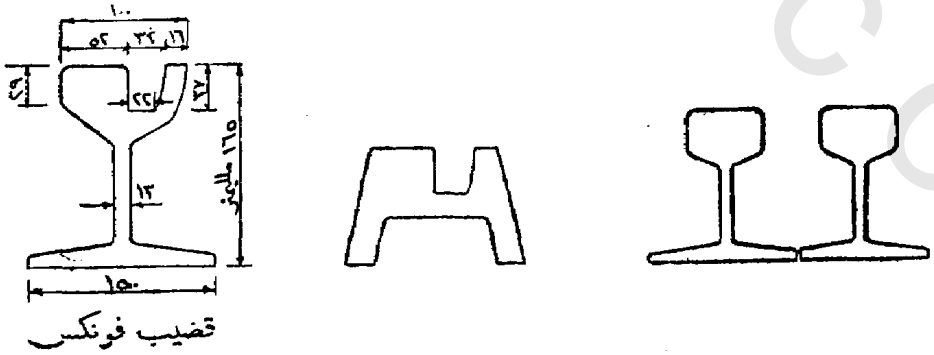
أولا — لا يوجد ثمت توافق أو تناسق بين سطح الشارع وسطح القضيب . فبينما يلزم جعل أساس السكة مساميا يسمح بتصريف المياه حتى لا تصدأ القضبان يلزم جعل سطح الشارع غير مسامى ليمنع المياه من الوصول إلى أساس الطريق .

ثانيا — تحدث هزات القضبان شروخاً فى أجزاء الطريق الملاصقة وهذه ظاهرة كانت واضحة فى شوارع القاهرة وترجع إلى أن بطانة الطريق لم تكن لها المرونة الكافية التى تسمح بقبول الاهتزازات المذكورة . وإذا حدثت الشروخ تسربت خلالها المياه إلى القضبان فتتعرض للصدأ .

ثالثاً — يسهل تغيير القضبان إذا كانت موضوعة على أساسها الخاص .

الوصلات والقضبان فى داخل المدن :

لا يجب أن يبرز القضيب عن سطح الطريق حتى لا يعترض حركة المرور فى الشوارع . ولا يتسنى للعجلات السير فوق القضبان إلا إذا عملت لها فجوة طولية ملاصقة للقضيب تهبط فيها شفة العجلة . وقد أمكن الحصول على هذه الفجوة باستعمال الطرق الآتية المبينة فى الشكل نمرة (٣٤٢) .



شكل نمرة (٣٤٢)

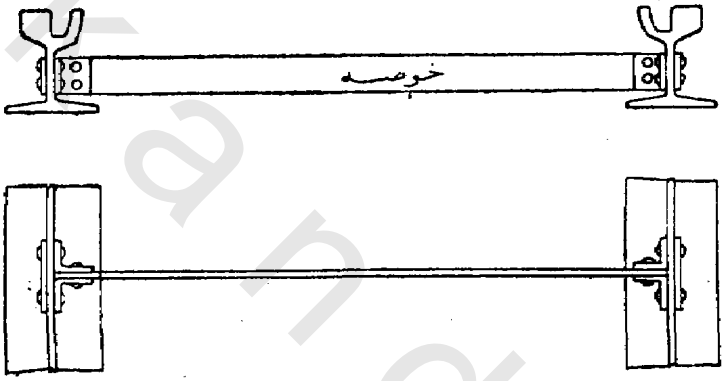
الأولى : طريقة وضع قضيبين متجاورين يفصلهما اتساع الفجوة كما يحصل فى المزلقانات وعند الموجات وفى سكك الأرصفة بالموانى .

الثانية : طريقة قضيب الضرس Tooth Shaped Rail ولكن هذه الطريقة لم تعمر زمناً يذكر .

الثالثة : طريقة قضيب الفونكس Phoenix Rail وهى الطريقة المستعملة الآن فى جميع خطوط الترام بالعالم[1] .

وبالنسبة لتعذر الوصول إلى أسفل سكك الترام لدك الزلط تحتها فلا تستعمل الفلنكات كقاعدة للقضبان كما هو الحال فى السكك الحديدية بل توضع القضبان فوق الأساس مباشرة كما سيأتى شرحه فيما بعد ويكتفى بزيادة عرض فرش القضيب .

وتستعمل خوص بين القضبان للاحتفاظ باتساع السكة فتوضع على أبعاد متر ونصف أو مترين . وقد يستعاض عن الخوص باستعمال أسياخ مبرومة انظر شكلى نمرة (٣٤٣) ، (٣٤٦) .



شكل نمرة (٣٤٣)

وتملأ وصلات القضبان فى العادة إما بلحامها بالكهرباء فيستعمل قوس كهربائى تياره مستمر بين الفحم كقطب سالب والقضيب كقطب موجب فيذيب القوس طرفى القضيبين وبإضافة الحديد يذوب الأخير أيضاً ويملأ الوصلة . وإما بلحامها كيماويا بالطريقة الحرارية التى نذكر منها عملية الجولد شميدز Goldschmids process التى هى عبارة عن خلط مسحوق الألومنيوم بمسحوق الحديد فيتسبب عنهما ارتفاع كبير فى درجة الحرارة ينتج عنه تحول الألومنيوم إلى أكسيد الألومنيوم بينما ينطلق الحديد فى حالة ذوبان فيملأ الوصلة . وتسوى أسطح الوصلة بعد لحامها مع أسطح القضيبين باستعمال مبرد خاص . ويساعد على ملء الوصلات باللحام أن القضبان فى داخل المدن مدفونة فى الأساس وعلى ذلك فهى محمية من الحرارة إلا من سطحها العلوى وحتى هذا السطح يعكس أشعة الشمس لأنه مصقول وهى تمتص حرارة الأرض فى الشتاء وتمتص الأرض حرارتها فى الصيف والاختلاف فى درجة حرارة الأرض بسيط . على أن القضبان إذا تعرضت بعد ذلك لشىء من التعرج منعتها مادة الطريق المحيطة بها من بلوغ ذلك .

---

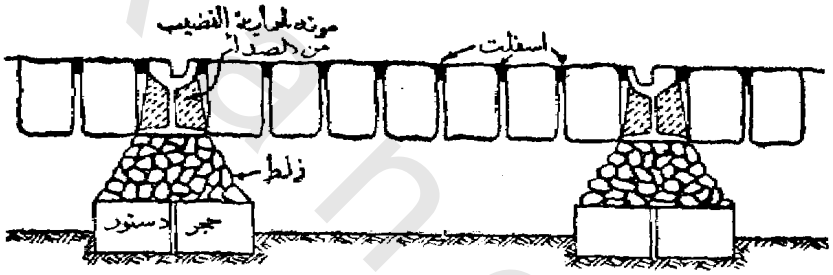
(١) يسمى القضيب بهذا الإسم نسبة إلى مصانع فونكس بألمانيا التى كانت أول مصانع أخرجته وهو يزن حوالى ٥٢ كيلو جراما للمتر الطولى .

القضبان والوصلات فى خارج المدن :

تستعمل السكة العادية المتكونة من القضبان ذات القطاع العادى والفلنكات فى خارج المدن كما هو الحال فى السكك الحديدية وتوصل القضبان ببعضها بواسطة البلنجات ولكنها لا تلحم وذلك لأنها معرضة من جميع أسطحها ماعدا السطح الأسفل لحرارة الشمس صيفاً وللبرودة شتاء فيبلغ التفاوت فى التمدد والانكماش درجة لا تسمح بالركون لمنها باللحام .

قطاعات سكة الترام :

وفيما يلى قطاعين لسكة الترام أحدهما يصلح فى الشوارع المرصوفة شكل نمرة (٣٤٤) والآخر فى الشوارع الأسفلتية شكل نمرة (٣٤٥) .



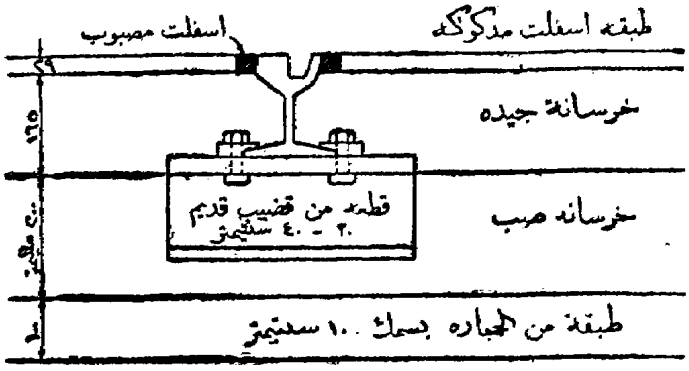
شكل نمرة (٣٤٤)
قطاع سكة الترام فى شارع مرصوف

قطاع السكة فى الشارع المرصوف :

يحضر الأساس فى هذه الحالة بالكيفية المبينة فى الشكل نمرة (٣٤٤) ثم توضع قاعدة من حجر الدستور تحت كل قضيب ثم يوضع الزلط فوق هذه القاعدة ويوضع من فوقه القضبان ثم يدك الزلط جيدا . بعد ذلك توضع مادة الرصف وتغطى أسطح القضيبين بالمونة لحمايتها من الرطوبة ثم توضع تربيعات الرصف وتملأ الفراغات بينها بالأسفلت لمنع تسرب المياه .

قطاع السكة فى الشارع الأسفلتى :

توضع طبقة من الدقشوم بسمك ١٠ سنتيمترات فوق أساس الطريق وتدك جيدا بالهراس البخارى ثم توضع فوقها بلاطات من الخرسانة الجاهزة سمكها ٢٠ سنتيمترا مبيت فيها تحت مواضع القضبان قطع من قضبان قديمة بطول ٣٠ إلى ٤٠ سم موضوعة عرضيا ليثبت فيها القضيب بواسطة وردة ومسمار وصامولة انظر شكل نمرة (٣٤٥) . وبعد تثبيت القضيب فى موضعه تصب طبقة من الخرسانة الجيدة بسمك ١٦٥ ملليمترا وتدك جيداً ثم يأتى فوقها طبقة الأسفلت بسمك ٢٩ ملليمترا . ويترك فراغ بين



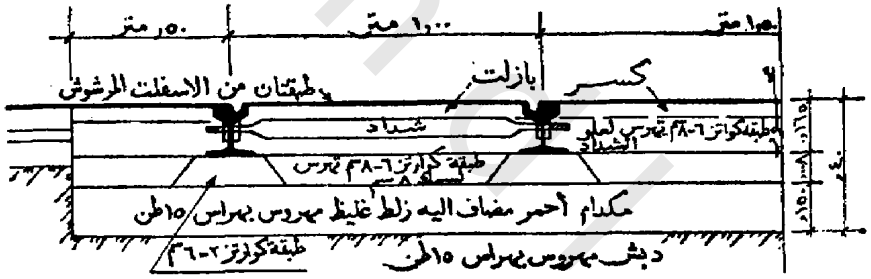
شكل نمرة (٣٤٥)

قطاع سكة الترام فى شارع أسفلتى

طبقة الأسفلت والقضيب من الجانبين يصب فيه الأسفلت . وقد نجح هذا القطاع غير أن عيبه الوحيد أنه صلب جدا فيسبب زيادة فى تآكل القضبان .

سكك الترام بالقاهرة :

وفيما يلى قطاع شكل نمرة (٣٤٦) للطريقة المتبعة الآن فى سكك ترام القاهرة والتى نفذ بمقتضاها



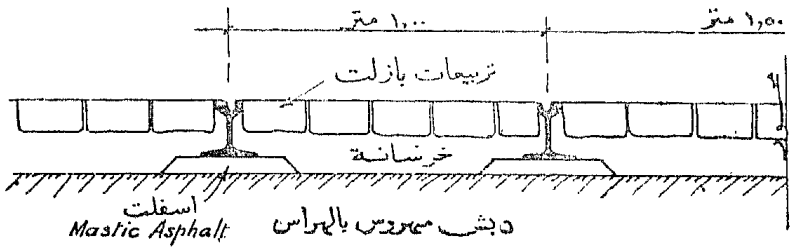
شكل نمرة (٣٤٦)

القطاع المتبع فى سكك الترام بمدينة القاهرة

حتى سنة ١٩٣٩ ١٣ ٪ من مجموع الخطوط . وقد روعى فى هذه الطريقة وضع طبقة من كسر حجارة الكوارتز التى يتراوح مقاسها من ٢ — ٦ سم تحت قاعدة القضيب مباشرة وذلك من أجل الحصول على أساس مرن . وقد ثبت نجاح هذا القطاع فصار هو المتبع فى السكك الجديدة وفى أعمال التجديدات . ومما يجدر بالذكر أن الخطوط القديمة مقامة جميعها فوق أسس الشوارع القديمة مباشرة . أما القطاع شكل نمرة (٣٤٧) فيبين الطريقة المتبعة فى أساس خط الهرم فى منطقة الممر السفلى .

ونظراً لأن التقاطعات تتعرض لصدمات العجلات عند مرورها فوق الفجوة فإن التقاطع يقام فوق أساس من الخرسانة العادية بسمك يتراوح بين ١٧ و ٢٠ سنتيمترا تعلوه الطبقات الأخرى حتى السطح .

أما المفاتيح والتحويلات فإنها تقام فوق أساس من أجزاء من القضبان أو الكمرات القديمة الموضوعة عرضيا تحت القضيبين وبطول المفتاح أو التحويلة ثم يملأ بين هذه القضبان أو الكمرات بالخرسانة إلى منسوب فرش القضيب .



شكل نمرة (٣٤٧)

قطاع سكة الترام فى منطقة الممر السفلى بشارع الهرم

التفريعات فى سكك الترام :

نظراً لضيق المسافة التى تتفرع فيها السكة فقد رؤى تحديد التفريعات المختلفة وقد اهتم بذلك معهد المواصفات البريطانى فأصدر بها النشرة رقم ٧٩ وهى تعطى بالتفصيل مختلف التفريعات .

مقاومة السير والمقاومة فى المنحنيات :

تزداد مقاومة السير عن فى حالة الترام عنها فى حالة السكك الحديدية وذلك نظرا لصلابة السكة وقلة مرونتها ولمقاومة احتكاك بكرة السنجة مع السلك فتبلغ ما بين ١٠ و ١٢ كيلو جراما للطن . ونظرا لصلابة السكة تحت الاهتزازات تظهر تموجات عرضية قصيرة متتابعة على سطح القضيب .

وتزداد المقاومة فى المنحنيات ولتقليلها كانت تزال حافة القضيب الرفيعة غير أن شفة العجلة كانت تتآكل كثيرا أما الآن فيعالج الموضوع ببحث قيمة الاتساع المناسب فى المنحنيات وقيمة اتساع الفجوة .

وقد بينا عند الكلام على المنحنيات فى خطوط السكك الحديدية أن الاتساع يزداد فى المنحنيات أما هنا فسنبين أن الاتساع يجب أن ينقص .

اتساع السكة فى المنحنيات :

الشكل نمرة (٣٤٨) يبين قطاعاً أفقياً لعجلات عربة ترام عند مستوى سطح القضيب والخطوط المنحنية تعبر عن مسار الأركان الخارجية والداخلية للعجلات عند هذا المستوى وكذلك مسار منحنى الخلوص للعجلات الخارجية والداخلية .

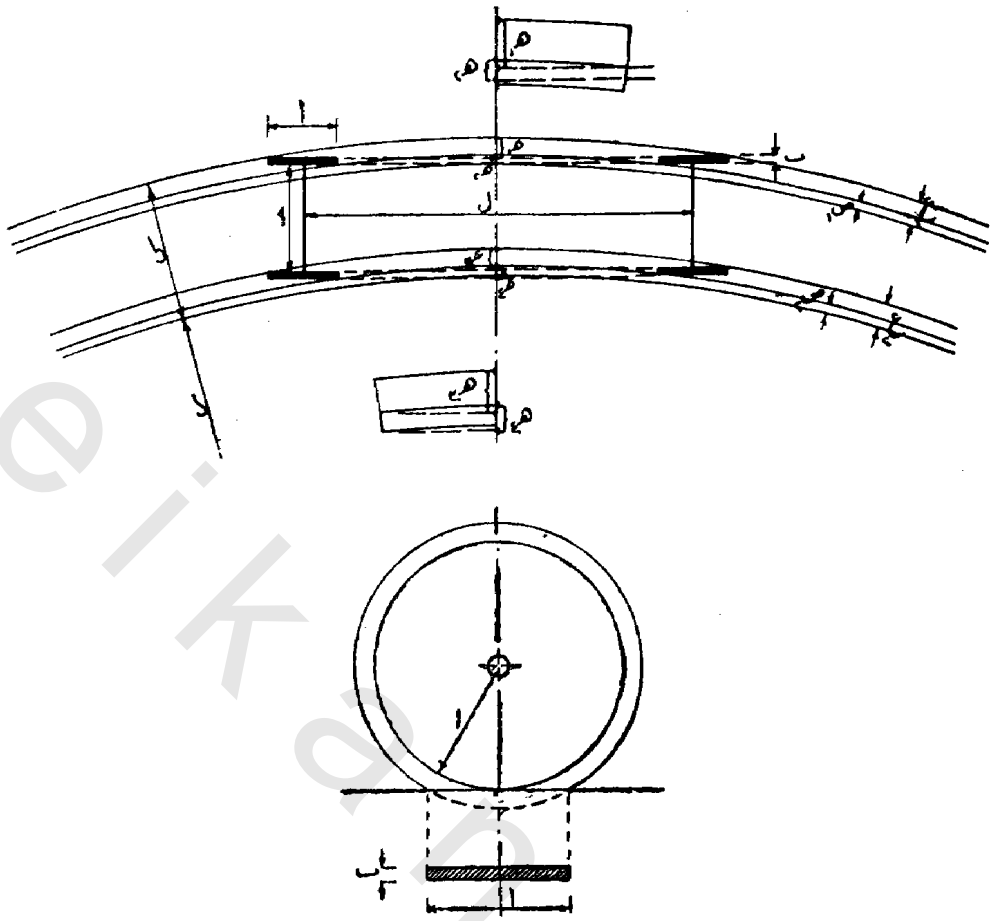
فإذا فرضنا أن :

ا = الطول الأفقى لقطاع شفة العجلة عند منسوب سطح القضيب .

ب = سمك شفة العجلة .

حـ = البعد الداخلى بين عجلتى الدنجل .

س = اتساع السكة فى المستقيم .



شكل نمرة (٣٤٨)

ل = البعد بين محورى الدنجلين .

ع١ ، ع٢ اتساعا فجوتى القضيب الخارجى والقضيب الداخلى على التعاقب .

ص١ ، ص٢ مقدارا خلوص العجلتين عند القضيب الخارجى والقضيب الداخلى على التعاقب .

هـ١ ، هـ٢ سهما قوسى الركنين الخارجى والداخلى للعجلتين الخارجية والداخلية على التعاقب .

هـ٣ ، هـ٤ سهما قوسى الركنين الداخلى والخارجى للعجلتين الداخلية والخارجية على التعاقب .

ر = نصف قطر منحنى الدوران لحافة سير القضيب الداخلى .

وبفرض أن نصف قطر عجلة الترام تساوى « ر » وبروز شفتها يساوى ء فإن :

الطول ا = ٢ $\sqrt{٢ر ء - ء^٢}$

، اتساع فجوة القضيب الخارجى

ع١ = ب + هـ١ − هـ٢ + ص١

$$= ب + \frac{(\frac{ا}{٢} + \frac{ل}{٢})^{٢}}{٢(ر + س)} - \frac{(\frac{ا}{٢} - \frac{ل}{٢})^{٢}}{٢(ر + س)} + ص_{١}$$

$$= ب + \frac{ا\ ل}{٢(ر + س)} + ص_{١} \qquad (١)$$

فإذا اختير مقدار الخلوص أمكن حساب مقدار الفجوة اللازمة وذلك بمعرفة نصف القطر .

و اتساع فجوة القضيب الداخلى

$$ع_{٢} = ب + \frac{(\frac{ا}{٢} + \frac{ل}{٢})^{٢}}{٢ر} - \frac{(\frac{ا}{٢} - \frac{ل}{٢})^{٢}}{٢ر} + ص_{٢}$$

$$= ب + \frac{ا\ ل}{٢ر} + ص_{٢} \qquad (٢)$$

من الشكل يمكن استنتاج أن اتساع السكة فى المنحنى

$$س_{م} = حـ + ٢ ب + هـ_{١} - هـ_{٤} + ص_{م}$$

حيث $ص_{م}$ مقدار الخلوص الكلى فى المنحنى .

$$\therefore س_{م} = حـ + ٢ ب + \frac{(\frac{ل}{٢} + \frac{ا}{٢})^{٢}}{٢(ر+س)} - \frac{(\frac{ل}{٢} - \frac{ا}{٢})^{٢}}{٢ر} + ص_{م}$$

$$= حـ + ٢ ب + \frac{(ل + ا)^{٢}}{٨(ر+س)} - \frac{(ل - ا)^{٢}}{٨ر} + ص_{م} \qquad (٣)$$

وتعمل فجوتا القضيبين الداخلى والخارجى بمقاس واحد وذلك حتى يستعمل القضيب فى الوضعين أى تعمل

$$ع_{١} = ع_{٢}$$

مثال :

إذا كانت ر = ٤٠٠ ملليمترا .

حـ = ٩٥٠ » (للاتساع ١٫٠٠ مترا)

ل = ١٣٨٥ » (للاتساع ١٫٤٣٥ مترا) .

ء = ١٥ » .

ب = ١٥ » .

ا = ٢٢٠ ملليمترا .

ر = ١٥ مترا .

فاوجد مقادير الخلوص ص١ ، ص٢ ، ص م .

تستنتج ص١ ، ص٢ من العلاقتين (١) ، (٢) وتستنتج ص م من العلاقة (٣) بوضع س م = ١٫٠٠ مترا ، ١٫٤٣٥ مترا على التعاقب .

البعد بين محورى الدنجلين ل ملليمترا	اتساع ١٫٠٠ متر ع١ = ع٢ = ٣٥ ملليمترا			اتساع ١٫٤٣٥ متر ع١ = ع٢ = ٣٥ ملليمترا		
	ص١ مم	ص٢ مم	ص م مم	ص١ مم	ص٢ مم	ص م مم
١٤٠٠	١٠٫٤	٩٫٧	١١٫١	١٠٫٦	٩٫٧	١١٫٦
١٦٠٠	٩٫٠	٨٫٢	١٠٫٠	٩٫٣	٨٫٢	١٠٫٧
١٨٠٠	٧٫٧	٦٫٨	٨٫٩	٧٫٩	٦٫٨	٩٫٨
٢٠٠٠	٦٫٣	٥٫٣	٧٫٩	٦٫٦	٥٫٣	٨٫٩

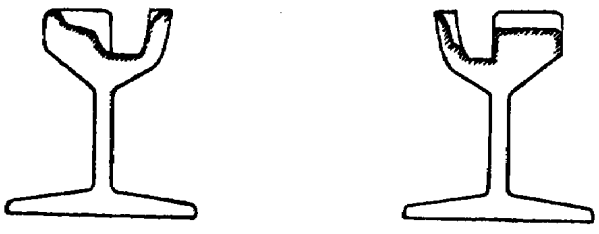
يتبين من الجدول السابق أن مقدار الخلوص الكلى ص م أكبر من الخلوص الداخلى ص٢ وبالرجوع إلى الشكل نمرة (٣٤٨) يتضح أنه بينما تستند العجلة الداخلية على حافة القضيب الرفيعة لاتكون العجلة الخارجية مستندة على حافة السير ومعنى هذا أن شفة العجلة الداخلية ستتعرض للتآكل من خارجها وكذلك حافة القضيب الداخلى الرفيعة . ويمكن معالجة هذه الحالة بتقريب القضيب الخارجى من القضيب الداخلى فى المنحنى مسافة تساوى ص م — ص٢ فيقل فعل التآكل .

وإذن يصبح اتساع السكة فى المنحنى

س م = س — (ص م — ص٢)

أى أن الاتساع فى المنحنيات يجب أن يقل عن الاتساع فى المستقيم .

والشكل نمرة (٣٤٩) يبين كيفية تآكل أسطح القضبان فى المنحنيات .



شكل نمرة (٣٤٩)

الارتفاع النسبى (ارتفاع الظهر عند البطن) :

لا يعطى القضيب الخارجى فى منحنيات سكك الترام داخل المدن أى ارتفاع نسبى إذ أن ذلك لايتفق

مع ضرورة جعل سطح الشارع مستويا . وعلى ذلك تزاد مقاومة الانحناء كثيراً داخل المدن عنها خارجها حيث يتسنى عمل الارتفاع النسبي .

وليس لإغفال الارتفاع النسبي داخل المدن ضرر يذكر إذ لا تزداد سرعة الترام فى العادة عن ٢٥ كيلو متراً فى الساعة .

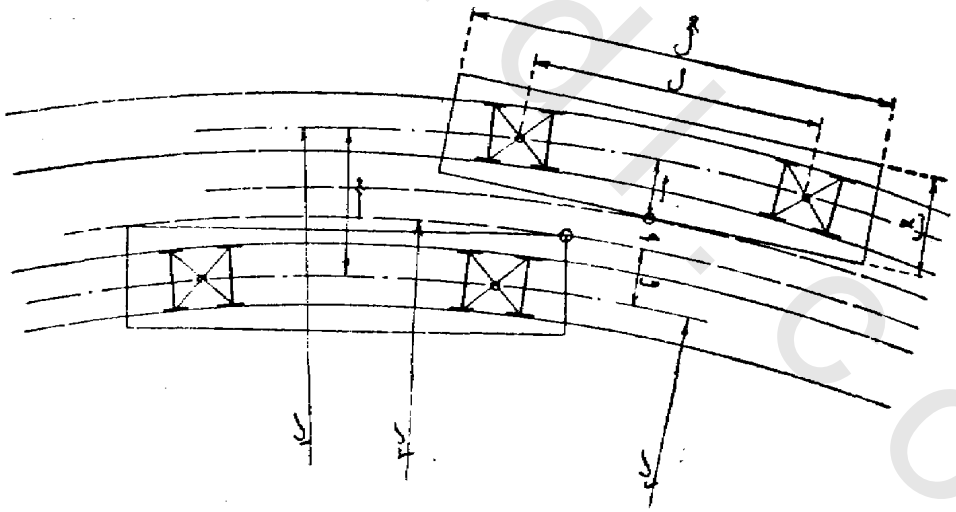
أما فى خارج المدن حيث تزداد السرعة فيجب إعطاء السكة فى المنحنيات الارتفاع النسبي الملائم كما يحسن استخدام منحنيات الانتقال كما سبق توضيحه فى الباب السادس .

أنصاف أقطار المنحنيات :

يحسن أن يتلافى فى سكك الترام استعمال أنصاف الأقطار المختلفة ويفضل دائماً استعمال نصف قطر واحد أو اثنين على الأكثر وذلك لأن قضبان الترام فى المنحنيات تستورد مقوسة من مصانعها فيكون من الأرخص تقويسها لنصف قطر واحد .

المسافة بين محورى سكتى الترام :

شكل نمرة (٣٥٠) .



شكل نمرة (٣٥٠)

إذا فرضنا أن

ل = طول العربة .

ل = المسافة بين مركزى وحدتى العجلات .

ث = عرض العربة .

أ = البعد بين محورى السكتين .

ا = بروز الحافة الداخلية للعربة الخارجية عن محور السكة الخارجية وذلك عند منتصفها .

ب = بروز الحافة الخارجية للعربة الداخلية عن محور السكة الداخلية وذلك عند مقدمتها .

حـ = المسافة الخالية بين العربة الخارجية والعربة الداخلية وتؤخذ فى العادة من ٤٠ — ٦٠ سنتيمترا .

$ر_1$ = نصف قطر منحنى السكة الخارجية .

$ر_2$ = « « « « الداخلية .

$ر_3$ = « « « الركن الخارجى للعربة الداخلية .

فإن $أ = ا + ب + حـ$

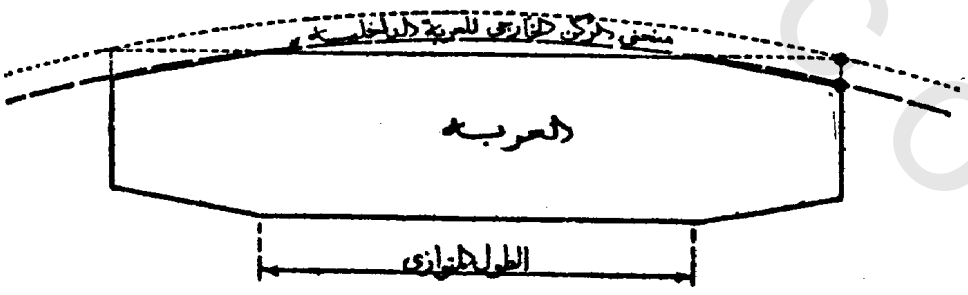
$$\text{ولكن } ا = \frac{ل^2}{8 ر_1} + \frac{ث}{2}$$

$$\text{و } ب = \frac{ل^2}{8 ر_2} - \frac{ف^2}{8 ر_3} + \frac{ث}{2}$$

$$\therefore أ = ث + \frac{ف^2}{8 ر_3} + \frac{ل^2}{8 ر_1} - \frac{ل^2}{8 ر_2} + حـ$$

$$\text{و } ر_3 = \sqrt{\frac{ف^2}{4} + (ر_2 - \frac{ل^2}{8 ر_2} + \frac{ث}{2})^2}$$

وبزيادة أطوال العربات تقل المسافة الخالية المعينة «حـ» . ويحتفظ بهذه المسافة فى حالة العربات الطويلة بتضييق مقدمتها ومؤخرتها على نحو ماهو موضح فى الشكل نمرة (٣٥١) وكما هو الحال فى أكثر عربات الترام فى القاهرة بحيث يصبح الطول المتوازى كفيلا بإعطاء هذه المسافة .



شكل نمرة (٣٥١)

المقاومات :

يمكننا تلخيص المقاومات فيما يلى :

١ — مقاومة السير م س = ١٠ — ١٢ كيلو جرام للطن .

٢ — « الانحناء م م = من ضعفين إلى أربعة أضعاف المقاومة العادية .

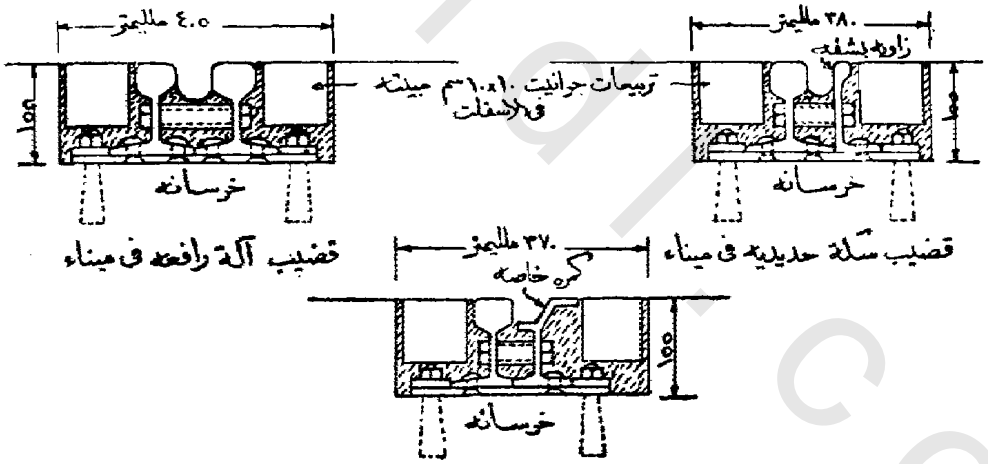
٣ – مقاومة الانحدار م ح = ح كيلوجرام للطن إذا كان الانحدار ح ٪ .

النقط الواجب مراعاتها عند تصميم خطوط الترام :

(١) توضع الخطوط فى الشوارع المتسعة بقدر الإمكان .
(٢) تخطط المنحنيات بعناية كى تتبع الحركة عليها الحركة فى الشوارع .
(٣) يحسن أن توضع المحطات على أبعاد متساوية من بعضها وأن لاتزاد المسافة عن المعقول وهى تتراوح فى المدن بين ٣٠٠ و ٥٠٠ مترا فى الأقصى .
(٤) إذا كان الخط مفرداً اختيرت محطاته على أبعاد متساوية وزودت بخط نفادى . على أنه يحسن دائما عمل الخط مزدوجا فإذا كان عرض الشوارع فى المنطقة لايسمح بذلك عمل خط الطالع فى شارع والنازل فى الشارع المجاور .

بعض أشكال القضبان فى الشوارع :

يوضح الشكل نمرة (٣٥٢) بعض القطاعات للقضبان المستعملة بالأرصفة فى الموانى .



شكل نمرة (٣٥٢)

قطاعات القضبان فى سكك الموانى