الباب الثامن عشر

السكك الحديد الجبليـــة

عندما تكلمنا فى باب الجر والتماسك عن المقاومات التى يصادفها القطار فى سيره وجدنا أنه يتحتم على القاطرة أن تبذل مجهوداً فى التغلب عليها يحدد فى الحالة القصوى بمقدار قوة تماسكها . وأعطينا العلاقة الآتية :

١٠٠٠ μ و$_{1}$ = (م$_{س}$ (قاطرة) + م$_{حم}$) و + (م$_{س}$ (قطار) + م$_{حم}$) ق كيلوجراما

واستعضنا عن مقاومة السير م$_{س}$ (قاطرة) ، م$_{س}$ (قطار) بالقيمة النوعية لمقاومة السير م$_{س}$ للقطار كله كما حددتها القوانين المذكورة فى ذلك الباب وقلنا إذن إن :

١٠٠٠ μ و$_{1}$ = (م$_{س}$ + م$_{حم}$) (و + ق) كيلوجراما .

وهذه العلاقة تربط وزن القطار بالإنحدار الحاكم .

فإذا اضطررنا إلى زيادة الانحدار عن الانحدار الحاكم المألوف وجب إنقاص وزن القطار وهو مايحصل فى السكك الحديد الجبلية حيث يتكون القطار فى العادة من عربة أو اثنتين على الأكثر .

والانحدار إذا زاد عن ٢٥ ٪ (١ : ٤٠) أصبحت طريقة الجر عليه بالسكك الحديدية العادية وهى التى تعتمد على التماسك غاليـة غلوا فاحشاً إذ يتطلب الأمر زيادة ثقل القاطرة من أجل الحصول على قوة تماسك كافية وهذه يستهلك جلها فى رفع القاطرة نفسها إلى أعلا المنحدر ولا يتبقى إلا القليل منهـا يستخدم فى رفع الحمل الذى يتقاضى عنه الأجر .

وإذ ينقص وزن القطار بالنسبة للقاطرة على هذا النحو يلزم التدقيق فى حساب مقاومة السير بالرجوع إلى مركبتيها مقاومة السير للقاطرة ومقاومة السير للقطار كل على حدة .

فإذا تحدد الانحدار الحاكم كان وزن القطار

$$\text{ق} = \frac{\text{١٠٠٠ μ و}_{1} - \text{و (م}_{س}\text{ (قاطرة) + م}_{حم}\text{)}}{\text{م}_{س}\text{ (قطار) + م}_{حم}}$$

وإذا تحدد وزن القطار كان الانحدار الحاكم

$$\text{م}_{حم} = \frac{\text{١٠٠٠ μ و}_{1} - \text{و . م}_{س}\text{ (قاطرة) - ق . م}_{س}\text{ (قطار)}}{\text{و + ق}}$$

وفى مثل هذه الأحوال التى يزداد فيها الانحدار الحاكم كثيراً يتجه الحل إلى جعل عجلات القاطرة كلها عجلات جر وذلك من أجل الحصول على أقصى مقدار للتماسك .

وقد تعمل و = ق وفى هذه الحالة يكون

$$\text{م}_{\text{حم}} = \frac{١٠٠٠\ \mu - \text{م}_{\text{س}}\ (\text{قاطرة}) - \text{م}_{\text{س}}\ (\text{قطار})}{٢}$$

فإذا أخذت μ = ٠ر١٥

و م س (قاطرة) = ١٢ كيلو جرام للطن

و م س (قطار) = ٣ كيلو جرام للطن

كان م حم = ٠ر٦٧٥٪

ويكون هـذا الرقم هو أقصى انحدار تتمكن القاطرة عليه من سحب أصغر قطار اعتماداً على قوة تماسكها وبدون الاعتماد على وسائل أخرى . ويتراوح هذا الرقم فى العادة بين ٠٦٥٪ و ٠٧٠٪ غير أنه قلما تستعمل طريقة التماسك وحدها فى الانحدارات التى تزيد عن ٣٠ أو ٠٣٥٪ .

وتنقص السرع على هـذه الخطوط فتتراوح بين ٢٥ و ٣٥ كيلومترا فى الساعة ويراعى فى تصميم قاطراتها أن تكون ثقيلة وذات قوة سحب عالية وأن تكون قضبانها من ذات الوزن الثقيل . ويبلغ التآكل فى هذه السكك حداً عالياً ويتبع ذلك مصاريف الصيانة والتجديدات وقد زادت هذه المصاريف فى بعض الحالات عن الدخل إذ جددت بعض القضبان بعد فترة لم تزد عن الأربع سنوات . ثم هناك الخوف من احتمال انزلاق القطار إلى أسفل المنحدر حتى مع إحكام فرامله كما حدث فعلا فى بعض الخطوط وبالأخص إذا تلوثت القضبان بالشحم على أن العيوب السابقة يقل تأثيرها باستعمال القضبان الثقيلة والقاطرات القوية والفرامل الأوتوماتيكية الشاملة للقطار كله .

وإذا كانت طبيعة الأرض تتطلب استعمال انحدار أكبر من ٠٣٥٪ أو كانت الحـالة تستدعى استعمال قطار يزيد وزنه عن وزن القاطرة وجب الركون إلى استعمال وسائل أخرى غير التماسك وهنا نجد أنفسنا نواجه موضوع السكك الحديد الجبلية .

السكك الحديد الجبلية :

هناك نوعان من السكك الحديد الجبلية :

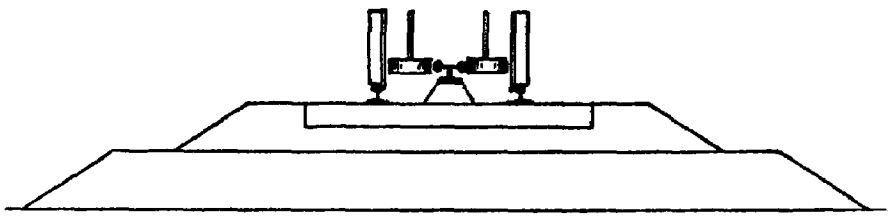
(١) السكة ذات القضيب المسنن Rack Railway .

(٢) السكة ذات الحبال Funicular Railway .

السكة ذات القضيب المسنن

ذكرنا قبلا أن قوة التماسك فى الحـالة القصوى تساوى ١٠٠٠ μ و، ويبننا أنه لزيادة مقدار هـذه القوة تعمل عجلات القاطرة كلها عجلات جر أى تعمل و، = و . ويمكن زيادة هذا المقدار مرة أخرى بزيادة قوة التماسك وقد جرب هـذا بالاستعانة بقضيب ثالث يثبت على قواعد خاصة بين القضيبين

الأصليين فيعلو عنهما بمقدار ٣٥ سنتيمترا انظر شكل نمرة (٣٥٣) .



شكل نمرة (٣٥٣)

زيادة التماسك باستعمال قضيب ثالث

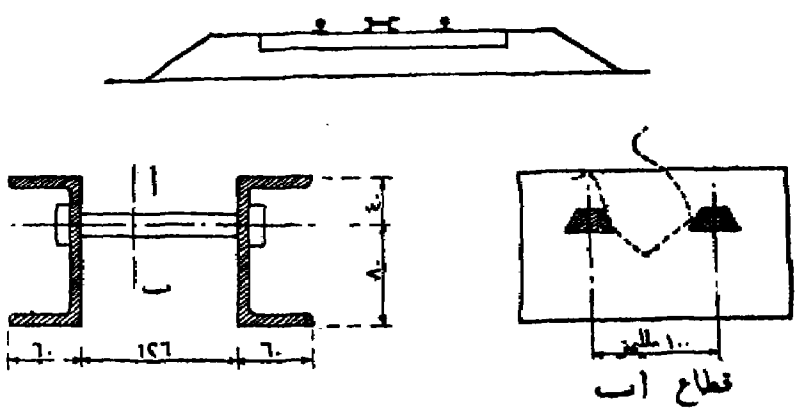
وللقضيب رأسان تتحرك عليهما أفقيا مجموعتان من العجلات المزدوجة تتدلى من القاطرة وتضغط عليهما عند الاقتضاء مسببة زيادة قوة التماسك أو إيقاف القطار فى أقل من تسعين مترا ويقتصر تجهيز الخطوط بالقضيب الأوسط فى الأجزاء التى يزيد فيها الميل عن ٣٠ أو ٣٥ ٪ وكذلك فى الأجزاء التى يقل فيها نصف قطر الانحناء فيبلغ أدناه . وتجهز العربات كذلك بعجلتين أفقيتين فى كل منها وذلك لحسن توجيهها فى المنحنيات ومنع خروجها عن القضبان . وقد بلغ أقصى انحدار فى خط Mont Cenis Railway ٩١ ٪ (١ : ١١) وأقل نصف قطر ٤٠ مترا .

غير أن هذه الطريقة لم تثبت جدارتها نظرا لتعقد آلات قاطرتها وضعف قوة مرجلها وشدة تآكل قطع الحركة فيها وسقوط الزيت من العجلات الأفقية فوق القضيب الأوسط مما أضعف تماسكها . كل هذا اضطر المهندسون إلى بحث الموضوع من وجهة نظر أخرى لا تعتمد على التماسك مطلقا وإنما تعتمد على فعل التروس وذلك باستعمال القضيب المسنن . وقد استعمل القضيب المسنن لأول مرة فى أمريكا سنة ١٨٦٦ وذلك إلى جبل وشنجتن .

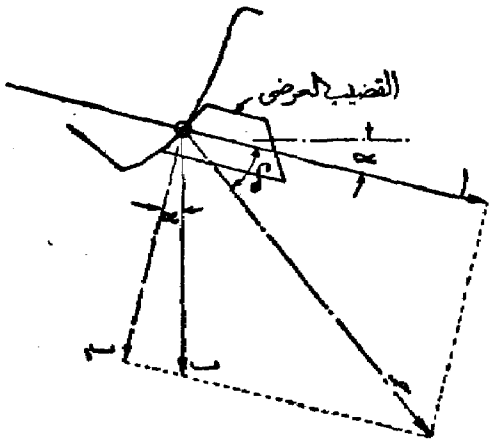
وأقيم أول خط طويل من هذا القبيل على جبل ريغى فى سويسره بالقرب من لوسرن وذلك فى سنة ١٨٦٩ — ٧٠ وتقع قمة الجبل على ارتفاع ٤٥٠٠ قدما فوق البحيرة وسكة هذا الخط من ذات الاتساع العادى ويبلغ طوله حوالى ٥½ كيلو مترا وانحداره ٢٥٠ ٪ (١ : ٤) فى ثلث طوله وأقل من ذلك حتى ١٦٧ ٪ (١ : ٦) فى باقى الطول إلا فى بعض الأجزاء إذ عملت أفقية عمدا . وقد قام بإنشاء هذا الخط المهندس رجنباخ Riggenbach وسميت طريقته طريقة رجنباخ ذات السلالم وهى مبينة فى الشكل نمرة (٣٥٤) وهى عبارة عن ترتيب فى وسط القضيبين يتكون من مجراتين طويلتين بارتفاع ١٢ سنتيمترا تبعدان عن بعضهما بمقدار ١٢٦ ملليمترا وتربطهما ببعضهما قضبان عرضية مقطعها شبه منحرف يبعد الواحد عن الآخر بمقدار عشرة سنتيمترات تتحرك بينها تروس مثبتة فى أسفل القاطرة .

والمهم فى هذه الطريقة هو حساب مقدار الضغط الواقع على أسنان التروس فإذا فرضنا أن

انحدار السكة عن الأفق = α



شكل نمرة (٣٥٤)
سكة رجنباخ



شكل نمرة (٣٥٥)

وبحثنا القوى التى تعمل على نقطة تماس الأسنان مع القضبان العرضية انظر شكل نمرة (٣٥٥) . وكان

ب هو الجزء من الوزن الواقع على القضيب العرضى .

ا القوة فى اتجاه الانحدار والتى تتوقف على المقاومات فى حالة الصعود وعلى قوة الربط فى حالة الهبوط .

ب$_{١}$ مركبة الوزن ب فى الاتجاه العمودى على الانحدار = ب جتا α .

ب$_{٢}$ مركبة الوزن ب فى اتجاه الانحدار = ب حا α وهذه تشملها القوة ا .

فإن ح محصلة ا ، ب$_{١}$ والتى هى عبارة عن الضغط على القضيب العرضى

$$= \sqrt{ا^{٢} + ب_{١}^{٢}} = \frac{ا}{\text{جتا } \delta}$$

حيث δ هو انحراف هذه المحصلة عن مستوى الانحدار .

ويختلف كل من ب$_{١}$ ، δ باختلاف الانحدار α فإذا كانت δ = صفراً كانت ح = ا .

على أن ح تؤخذ فى العادة تساوى ا وذلك بالنظر إلى أن الزاوية δ صغيرة دائماً .

اتساع السكة المثلى :

استعمل الاتساع العادى (١ر٤٣٥ مترا) فى بادىء الأمر ولكن نظراً لكثرة تكاليفه فقد خفض إلى ٨٠ سنتيمترا . غير أن هذا الاتساع الأخير قد ثبت أنه صغير فزيد إلى متر وهو الاتساع السائد الآن .

نصف القطر :

يتراوح نصف قطر المنحنى فى السكة المسننة بين ٨٠ ، ١٥٠ مترا ويبرر استعمال مثل هذه المنحنيات الحادة قلة السرعة أولا والاقتصاد ثانياً .

المقاومات :

تؤخذ م س (قاطرة) + م م بين ١٦ ، ٣٠ كيلو جراما للطن .

، م س (قطار) + م م « ٤ ، ٨ « « .

الضغط ا على أسنان السكة :

$$ا = ق\ (م س\ (\text{قطار}) + م م\ ) + و\ (م س\ (\text{قاطرة}) + م م\ )$$
$$\pm\ (و + ق) \times ١٠٠٠\ حا\ \alpha \quad \text{كيلو جراما}$$

ويختلف هذا الضغط فى الصعود عنه فى الهبوط .

فى الصعود :

أولا : فى السكة المستقيمة $ا = (و + ق)\ (م س + ١٠٠٠\ حا\ \alpha)$ كيلو جراما .

حيث $م س = \dfrac{ق \cdot م س\ (\text{قطار}) + و \cdot م س\ (\text{قاطرة})}{و + ق}$ كيلو جراما للطن .

ثانياً : فى السكة المنحنية $ا = ق\ (م س\ (\text{قطار}) + م م\ ) + و\ (م س\ (\text{قاطرة}) + م م\ )$
$$+\ (و + ق)\ ١٠٠٠\ حا\ \alpha \quad \text{كيلو جراما .}$$

فى الهبوط :

حيث أن مركبة الوزن فى اتجاه الإنحدار كبيرة وحيث أن مقدارها يزيد عن المقاومات فإن القطار فى هبوطه يكتسب عجلة ازدياد وحيث ترمى دائمـا إلى جعل السرعة منتظمة فإن الفرامل تستعمل للتغلب على القوة المحدثة للعجلة كما تستعمل أيضاً لإيقاف القطار .

فإذا فرضنا أن السكة مستقيمة وأن

ف = القوة التى تحدثها الفرامل بالـكيلو جرام .

ل = الطول الذى تعمل فيه هذه القوة بالمتر .

كانت وحدات الشغل التى تحدثها الفرامل = ف . ل كيلو جرامتر .

$$= \frac{(و + ق)\, س^{٢}}{٢\ حـ} \times ١٠٠٠ + (و + ق)\,(١٠٠٠\ حا\ \alpha - م_{س})\ ل$$

حيث س = سرعة القطار بالمتر فى الثانية .

حـ = عجلة التثاقل بالمتر فى الثانية فى الثانية .

وحيث أن مقاومة السير تساعد على تقليل قوة الربط وحيث أن القضبان يغطيها البلل فى بعض الأحيان لذا يحسن إهمال مقاومة السير زيادة فى الحيطة وعلى ذلك تكون

$$ف = ١٠٠٠\,(و + ق)\left(\frac{س^{٢}}{٢حـل} + ١٠٠٠\ حا\ \alpha\right)(و + ق)$$

$$= ١٠٠٠\,(و+ق)\left(\frac{س^{٢}}{٢حـل} + حا\ \alpha\right)$$ كيلو جراما .

فإذا كانت ن = الزمن الذى يستغرقه القطار للوقوف بالثانية .

فإن ل = ن × متوسط السرعة = ن . $\frac{س}{٢}$

وتكون قوة الربط :

$$ف = ١٠٠٠\,(و + ق)\left(\frac{س}{حـ\ ن} + حا\ \alpha\right)$$

فإذا كانت السرعة = ٨ — ١٠ كيلو مترا فى الساعة .

كانت س = ٢٫٢ — ٢٫٦ مترا فى الثانية .

ويفرض أن ل = ١٠ مترا إذ يفرض فى العادة الطول الذى يقف فيه القطار بدل الزمن فإن الزمن الذى يستغرقه القطار للوقوف = ٩٫٠٩ — ٧٫٧ ثانية .

وظاهر أن قوة الفرامل ف تتناسب طرديا مع السرعة س وعكسيا مع زمن وقوف القطار ن . وحيث أن هذه القوة تزداد بالتدريج إلى أن تصل إلى ما قد يقرب من ضعف مقدارها فإنه يحسن أن تعدل المعادلة السابقة كالآتى :

$$ف = ١٠٠٠\,(و + ق)\left(\frac{١٫٥\ س}{حـ\ ن} + حا\ \alpha\right)$$

وتنحصر عيوب طريقة رجنباخ فيما يأتى :

أولا — صعوبة بناء القضيب المسنن بالدقة المطلوبة مع علو تكاليفه .

ثانيا — اختلاف المسافة بين أسنان القضيب من تأثير التمدد والانكماش الناجمين عن اختلاف درجة الحرارة .

ثالثاً — القضيب المسنن عرضة للتلف والتآكل إلا عند السرع البطيئة .

رابعاً — إخفاق القاطرة عن السير بسرعة فى أجزاء الخط المعتدلة .

خامسا — صعوبة الجمع بين الجر الناجم عن التماسك والجر الذى تحدثه التروس على محور واحد .

وللسكك ذات القضيب المسنن عيبان آخران أولهما أن البرد والثلج يلتصقان بالقضيب المسنن فى البلاد الباردة وثانيهما أن سير القطارات ليس سلسا .

وقد ابتدعت بعد ذلك طرق أخرى بقصد تحسين السير نذكر منها ما يلى :

طريقة قضيب آبت Abt Rack System :

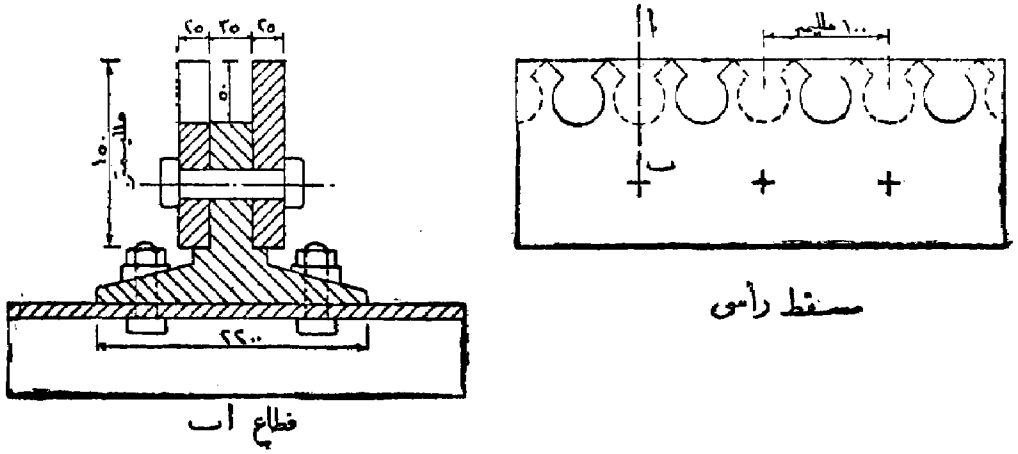
تتكون هذه السكة من قضيبين يقع بينهما قضيب مركب كما هو مبين فى الشكل نمرة (٣٥٦) قاعدته مثل قاعدة القضيب العادى ورأسه تتألف من لوحين طوليين بسمك ٢٥ ملليمترا وارتفاع حوالى ١٥ سنتيمترا مثبتين على جانبى الروح وبكل منهما فجوات تبعد الواحدة عن التى تليها فى نفس اللوح بمقدار عشرة سنتيمترات وعن التى تليها فى اللوح المجاور بخمسة سنتيمترات وتتدلى من القاطرة مجموعتان من الأسنان تعمل كل منهما فى فجوات أحد اللوحين بينما تعمل المجموعة الأخرى فى فجوات اللوح الآخر فيتحسن بذلك السير كما يتحسن فى الآلات باستعمال اسطوانتين بدل أسطوانة واحدة . وقد استعملت ثلاثة ألواح فى بعض الحالات بدل اثنتين فتحسن السير كثيراً .

وتنحصر مزايا طريقة آبت فيما يلى :

أولا — سهولة إقامة القضيب الأوسط بالدقة المطلوبة مع رخص تكاليفه .

ثانيا — تمدد القضيب وانكماشه مكفولان إذ القضيب يتألف من أطوال قصيرة .

ثالثا — إذا كسر أحد أطوال القضبان فيمكن تغييره بسرعة وذلك بالنسبة لقصره .



شكل نمرة (٣٥٦)

قضيب آبت

رابعا — إذا كسر أحد الأسنان أدى السن المقابل فى اللوح المجاور أو الإثنان الآخران فى اللوحين المجاورين العمل بدون أن يعترى الحركة أى عطل .

خامسا — تعمل الوصلات فى حالة اللوحين بطريقة التنصيف وفى حالة الثلاثة ألواح بالتثالث وبذلك لا تقع وصلة أمام الأخرى فلا تكون هناك نقطة ضعف فى القضيب .

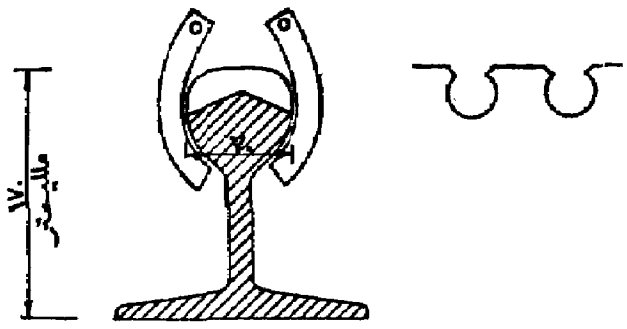
سادسا — تقسط الأسنان بحيث لا يفقد الاتصال بينها وبين التروس .

سابعا — تستطيع القاطرة أن تسير بسرعة عالية فوق الانحدارات المعتدلة وبسرعة بطيئة فوق الانحدارات العالية .

وللقضبان المسننة على اختلاف أنواعها عيب كبير هو أنها تساعد أسنان التروس المدلاة من القاطرة على الصعود فوق أسنان القضبان فترتفع القاطرة أو العربة ثم تنزلق فتهبط مسببة إقلاق راحة المسافرين غير أن هذا العيب قد تلوفى باستعمال الطريقة الآتية :

طريقة قضيب سترب Strub Rack System :

تتلخص هذه الطريقة فى إعداد أسنان فى رأس القضيب الأوسط وغير خاف أن هذا مضعف للقضيب غير أنه يمكن القوابض المدلاة من القاطرة والعربة والتى تتأبط القضيب من أن تؤدى وظيفتها فتمنع حركة الصعود الآنفة الذكر انظر شكل نمرة (٣٥٧) .



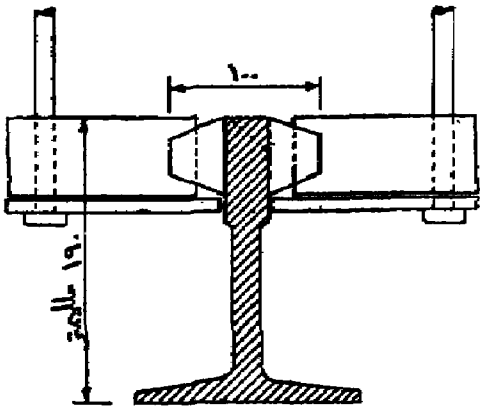
شكل نمرة (٣٥٧)
قضيب سترب

وتصلح هذه السكة والسكة المستعمل فيها القضيب السابق للانحدارات التى تقل عن ٢٥٠ ٠٠/٠ فإذا كانت طبيعة الأرض تستلزم استعمال انحدارات أكبر من هذا القدر فإن أول ما يتبادر إلى الذهن هو تقليل وزن القاطرة غير أن هذا لا يعتبر حلا اقتصاديا . وهناك حل آخر لهذه الحالة هو باستعمال قضيب بيتر .

طريقة قضيب بيتر Peter Rack System :

يعد القضيب الأوسط فى هذه الطريقة بأسنان أفقية تبرز منه من الجانبين تتحرك بينها تروس أفقية كذلك انظر شكل نمرة (٣٥٨) . ويوجد بأسفل هذه التروس أقراص حرة الحركة تمنع العربة من الارتقاء فوق أسنان القضيب .

وتصلح هذه السكة للانحدارات التى تتراوح بين ٦٣٥٠ ٠٠٠ ٠/٠٠ .

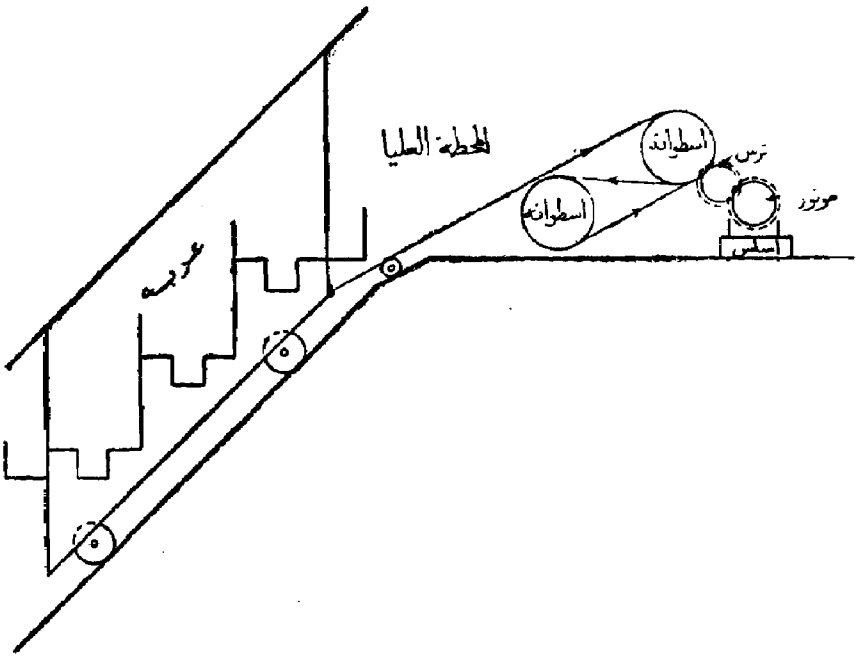


شكل نمرة (٣٥٨)
قضيب بيتر

وتوضع القاطرة فى السكك المسننة جميعهـا خلف العربة وذلك صونا لها من احتمال انكسار الاتصال بينها وبين القـاطرة . وأفضل الاتساعات لهذه السكك هو المتر وتتراوح أوزان قضبانها بين ٤٠ و ٥٥ كيلو جراما للمتر الطولى .

السكة ذات الحبال

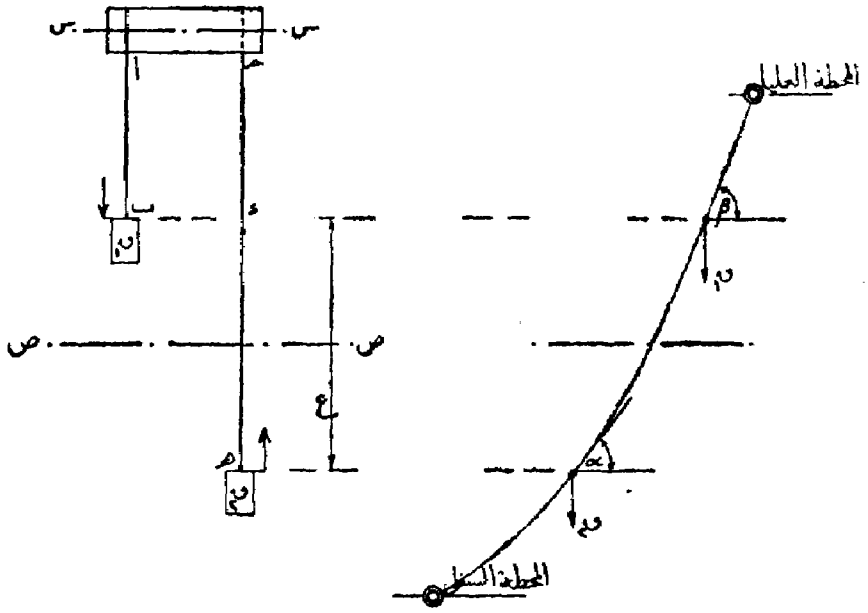
إذا زاد الانحدار عن الأرقام السالفة أى عن ٥٠٠ ٪ فإن طريقة القضيب المسنن والتروس لا تعد ملائمة إذ تتعرض الأسنان لاحتكاك عال من جهة ومن جهة أخرى فإن وزن القاطرة يزيد كثيراً من القوة اللازمة للسحب . من أجل ذلك انتهى المهندسون إلى طريقة ملائمة يستغنى فيها عن القاطرة بتاتا فتجر العربة بواسطة حبل من السلك Wire Cable . ويمر الحبل حول اسطوانة يطلق عليها اسم اسطوانة الجر — توضع فى المحطة العليا — وتتصل بكل من نهايتيه عربة . ويجب أن يرتب طول الحبل بحيث تبلغ إحدى العربتين المحطة العليا فى اللحظة التى تبلغ فيها العربة الأخرى المحطة السفلى والعكس بالعكس . والغرض من تشغيل عربتين فى وقت واحد هو الاستعانة بثقل إحداهما على موازنة ثقل الأخرى على قدر المستطاع فلا يلزم لتشغيلهما سوى القليل من الوحدات مما لا يستدعى تجهيز الخط إلا بآلات بسيطة وتكون وظيفة الآلات مد الخط بالقوى اللازمة للتغلب على احتكاك الحبل مضاف إلى ذلك ما يلزم لتشغيل العربتين على فرض أن العربة السفلى تكون مزدحمة إلى غايتها والعليا فارغة . وتستمد هذه القوة فى العادة من موتورات كهربائية متصلة باسطوانات الجر بواسطة تروس أنظر شكل نمرة (٣٥٩) .



شكل نمرة (٣٥٩)

ولنبحث الآن القوى المؤثرة على هذه المجموعة وهى المبينة فى الشكل نمرة (٣٦٠) الذى هو عبـارة

عن مسقط رأسى وآخر جانبى للمجموعة .



شكل نمرة (٣٦٠)

تفرض أن ص ص هو الخط المتوسط أى الواقع فى منتصف المسافة بين المحطتين .

ك س س هو محور اسطوانة الجر .

ك $ق_1$ ك $ق_2$ وزنى العربتين بالطن[1] .

ك ك = قوة الجر التى يحدثها الموتور بالطن .

ك ع = ارتفاع الجزء من الحبل الواقع بين العربتين فى أى وضع لهما وذلك بالمتر .

ك $م_س$ = مقاومة السير بالكيلو جرام للطن .

ك و = الوزن النوعى للحبل أى وزن المتر الطولى منه بالطن .

ك هـ = مقاومة احتكاك الحبل بالطن .

ك ط = المقاومات التى تعترض الحركة = مقاومة سير العربتين + مقاومة احتكاك الحبل

$$= \frac{1}{1000} (ق_1 + ق_2) . م_س + هـ \quad \text{طناً}$$

فلاستنتاج القوى المؤثرة على الاسطوانة تعتبر مركبتا وزن العربتين وكذا الحبل فى اتجاه ميله كما تعتبر أيضاً المقاومات التى تعترض الحركة .

القوى المؤثرة على الاسطوانة = ك + $ق_1$ حا β

$$= ق_2 \text{ حا } \alpha \pm و . ع[2] + ط \quad \text{طنا} .$$

---

(١) يلاحظ أن العربتين $ق_1$ ، $ق_2$ تبعدان دائما بنفس البعد عن الخط المتوسط وكذلك عن المحطتين وذلك فى أى وضع من أوضاعهما .

(٢) و . ع عبارة عن مركبة وزن الجزء من الحبل الواقع بين العربتين وذلك فى اتجاه الحبل .

وعلى ذلك ك = ق٢ حا α − ق١ حا β ± و . ع + ط طنا

[معنى و . ع

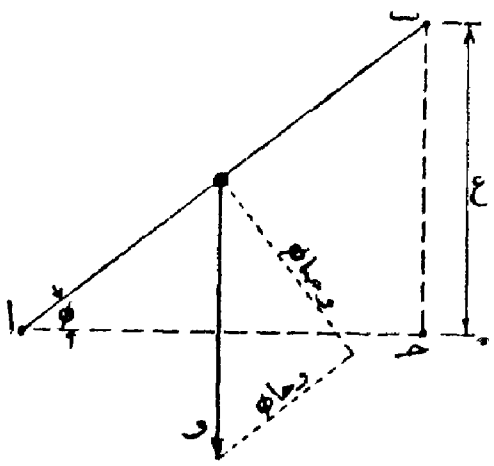
إذا اعتبرنا طولا من الحبل مقداره الوحدة يعمل زاوية مقدارها ϕ مع الأفق شكل نمرة (٣٦١)

فإن ب حـ = ع = ا ب حا ϕ

= حا ϕ (إذ ا ب = الوحدة)

ولكن م ركبة و فى اتجاه ا ب = و حا ϕ

= و ع



شكل نمرة (٣٦١)

فاذا كان ا ب = طول يختلف عن الوحدة فإن القوة فى اتجاه الحبل تساوى دائما و . ع حيث ع ارتفاع الجزء ا ب من الحبل .]

وقد كانت العربات فى التصميمات القديمة تجهز بصهريج مياه اتزانى فى أسفلها كان يمد العربة بالقوة اللازمة لتحريكها غير أن هذا الحل لم يكن بالحل الاقتصادى إذ كان يتطلب رفع المياه إلى المحطة العليا . وهناك عيب آخر وهو أن العربة الهابطة كانت تكتسب عجلة ازدياد بعد مرورها بنقطة المنتصف وذلك لازدياد طول الحبل الهابط وقصر الحبل الصاعد . غير أن هذا العيب تلوفى باستعمال حبل مستمر ولكن هذا العلاج يزيد من جهة أخرى فى مقدار المقاومات نظراً لازدياد طول الحبل .

وقد كان لاستعمال الموتورات الكهربائية بدل صهريج المياه الفضل فى التغلب على العيوب السالفة .

طريقة القطاع السيكلوبدى Cycloidal Profile :

وهناك طريقة أخرى للتغلب على العيوب السالفة وذلك بتشكيل القطاع الطولى للطريق بحيث تكون القوى عند أى وضع للعربات فيه متزنة وينتج عن ذلك أن يكون انحدار الطريق فى أسفله بسيطا ويأخذ فى الزيادة كلما اتجهنا لأعلا .

فإذا فرضنا أن قطاع السكة قد بنى على هذا الأساس واعتبرنا أن العربة العليا أخذت الوضع والعربة السفلى أخذت الوضع α كما فى الشكل نمرة (٣٦٢) ا فإن

ق٢ حا α − ق١ حا β + و ع = ك − ط (١)

وإذا فرضنا أن العربتين تبادلتا الموضع كما فى الشكل نمرة (٣٦٢) ب فإن

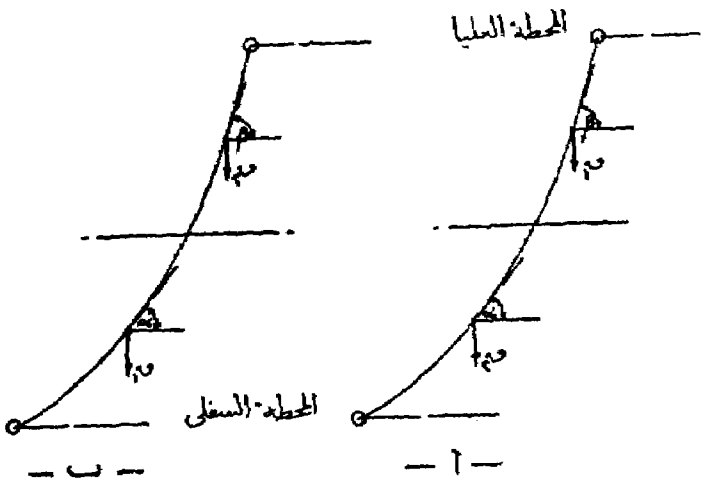
ق٢ حا β − ق١ حا α − و ع = ك − ط (٢)

وبجمع العلاقتين (١) ، (٢) ينتج أن

(ق٢ − ق١) (حا β + حا α) = ٢ (ك − ط) (٣)

ويطرح (١) من (٢) ينتج أن

$$(ص_{٢} + ص_{١})(\text{حا}\beta - \text{حا}\alpha) = ٢ و ع \qquad (٤)$$



شكل نمرة (٣٦٢)

$$\therefore \text{حا}\beta + \text{حا}\alpha = \frac{٢(ك - ط)}{ص_{٢} - ص_{١}} \qquad (٣)\ ا$$

$$\text{و حا}\beta - \text{حا}\alpha = \frac{٢ و ع}{ص_{٢} + ص_{١}} \qquad (٤)\ ب$$

فإذا رمزنا للفرق بين منسوبى المحطتين بالرمز صـ وبرمزنا لطول الحبل بالرمز ل فإن معادلة الطاقة تكون كالآتى :

$$ص_{١} صـ + ك ل = ص_{٢} صـ + ط ل$$

$$\therefore (ص_{٢} - ص_{١}) صـ = (ك - ط) ل$$

$$\therefore \frac{ك - ط}{ص_{٢} - ص_{١}} = \frac{صـ}{ل}$$

وبالتعويض فى المعالة (٣) ينتج أن

$$\text{حا}\beta + \text{حا}\alpha = ٢ \frac{صـ}{ل}$$

وبضرب المعادلة (٣) ا × المعادلة (٤) ا ثم حل الناتج بالنسبة للارتفاع ع ينتج أن

$$ع = \frac{ص_{٢}^{٢} - ص_{١}^{٢}}{٤ و (ك - ط)} (\text{حا}^{٢}\beta - \text{حا}^{٢}\alpha) = ص_{٢} - ص_{١} \qquad (٥)$$

حيث $ص_{١}$ و $ص_{٢}$ الاحداثيين الرأسيين لموضعى العربتين .

وعلى ذلك تكون معادلة السكة هى

$$ص = \frac{ع_{٢}^{٢} - ع_{١}^{٢}}{٤ و (ك - ط)} \text{ حا}^{٢} \theta \qquad (٦)$$

حيث θ زاوية ميل السكة عن الأفق عند النقطة التى إحداثيها الرأسى ص .

وهذه المعادلة هى معادلة سيكلويد .

[ولإيضاح ذلك نقول إن معادلة السيكلويد هى :

$$ص = \frac{ر}{٢} (١ - \text{جتا } \Phi)$$

$$\text{و } س = \frac{ر}{٢} (\Phi - \text{حا } \Phi)$$

ومن قوانين حساب المثلثات نعلم أن

$$\text{حا}^{٢} \Phi = \frac{١ - \text{جتا } ٢\Phi}{٢}$$

$\therefore ص = \frac{ر}{٢} (١ - \text{جتا } ٢\Phi)$ لا زالت تعبر عن معادلة سيكلويد حيث الزاوية تساوى ٢Φ بدل Φ .

$\therefore ص = ر (\text{حا}^{٢} \Phi)$

وبمقارنة هذه العلاقة بالعلاقة (٦) ينتج أن

$\frac{ع_{٢}^{٢} - ع_{١}^{٢}}{٤ و (ك - ط)}$ تمثل ر

و $\text{حا}^{٢} \theta$ تمثل $\text{حا}^{٢} \Phi$ أى أن العلاقة (٦) هى علاقة سيكلويد .]

ويكون قطر دائرة السيكلويد هو $ر = \frac{ع_{٢}^{٢} - ع_{١}^{٢}}{٤ و (ك - ط)}$ (٧)

ولنفرض الآن أن العربتين وصلتا إلى منتصف الطريق حيث الانحدار $\theta = ٢$

$\therefore$ المعادلة (٣) ا تصبح

$$\text{حا } \beta + \text{حا } \alpha = \frac{٢ (ك - ط)}{ع_{٢}^{٢} - ع_{١}^{٢}} = ٢ \text{ حا } ٢$$

وعلى ذلك فإن

حا β + حا α = كمية ثابتة لأن ٢ حا ٢ كمية ثابتة

وبالتعويض عن ٢ حا ٢ $= \frac{٢ (ك - ط)}{ق_{١} - ق_{٢}}$ فى المعادلة (٧)

ينتج أن $\quad ر = \frac{ق_{١} + ق_{٢}}{٤ و حا ٢}$ (٨)

انحدار السكة عند المحطتين :

بطرح (٤) ا من (٣) ا ينتج أن

$$حا \alpha = \frac{ك - ط}{ق_{١} - ق_{٢}} - \frac{و ع}{ق_{١} + ق_{٢}} = حا ٢ - \frac{و ع}{ق_{١} + ق_{٢}} \quad (٩)$$

وبإضافة (٣) ا ، (٤) ا ينتج أن

$$حا \beta = \frac{ك - ط}{ق_{١} - ق_{٢}} + \frac{و ع}{ق_{١} + ق_{٢}} = حا ٢ + \frac{و ع}{ق_{١} + ق_{٢}} \quad (١٠)$$

وتستنتج قيمة كل من الانحدارين α ، β عند المحطتين العليا والسفلى بوضع $ق_{٢}$ بدل ع .

وفى حالة الخطوط التى تسير بالمياه الاتزانية يعوض عن « ك » فى المعادلات بصفر غير أنه يجب أن لا تغفل إضافة وزن المياه إلى وزن العربة الهابطة وذلك حتى منتصف الطريق أى أن

$ق_{١}$ فى هذه الحالة تصبح $ق_{١} + ق$

حيث ق وزن المياه الاتزانية .

المقاومات :

المقاومات $= ط = ط_{س} + ه$

حيث $ط_{س}$ = مقاومة السير الكلية

$= م_{س} \times$ وزن العربتين .

وتؤخذ $م_{س} = ٣$ كيلو جرام للطن .

ه = المقاومة الكلية للحبل وتحدد قيمتها فى العادة من التجربة . وقد حددها المهندسان الفرنسيان « لفى ولامبرت » Levy & Lambert بالعلاقة الآتية :

$$ه = ٠٠٨ر٠ و ل - ٠٠٣ر٠ س \quad (١٦ \text{ كيلو جرام})$$

حيث س = الشد فى الحبل عند ابتداء الحركة .

و ، ل كما سبق توضيحه .

عجلات الحبال :

يرتكز الحبل فى طول الطريق على عجلات توضع بين القضيبين على مسافة تتراوح بين عشرة أمتار وعشرين مترا . ويبلغ قطر هذه العجلات ٢٥ سنتيمترا أو ثلاثين . ويراعى أن لا يقفز الحبل عن هذه العجلات نتيجة الشد فيه وإلا خرج عنها وارتكز على الفلنكات فيتلفها . وعلى ذلك يجب أن يكون شكل القطاع الطولى بحيث يضمن عدم قفز الحبل إلى أعلا .

أطوال الحبال :

تتراوح أطوال الحبال فى العادة بين كيلو متر ونصف وكيلو مترين فإذا زادت ارتفاعات المحطات عن هذا القدر أقيمت محطات متوسطة بين المحطتين النهائيتين .

بعض المراجع

(١) "The Steam Railway Locomotive"
by E. L. Ahrons.

(٢) "Railway Surveying and Permanent Way"
by S. Wright Perrott & F. E. G. Badger.

(٣) "Roorkee Treatise on Civil Engineering Volume II Section 1—Railways"

(٤) "Permanent Way"
by W. H. Cole.

(٥) « هندسة السكك الحديدية » — الجزء الأول
للأستاذ إسماعيل أحمد بدوى .

(٦) "Railway Permanent Way"
by WM. Hepworth & J. Thos. Lee.

(٧) "British Railway Track Design, Construction and Maintenance"
edited by R. A. Hammett.

(٨) « مجلة سكك حديد وتلغرافات وتليفونات الحكومة المصرية »
أعداد ١ ، ٢ ، ٥ ، ٦ سنة ١٩٤١ .

(٩) "Die Gestaltung der Bogen im Eisenbahngleise"
by Richard Petersen.

(١٠) "Layout of Hump Shunting Yards"
The Engineer — Jan. 22, 1932.

(١١) "Lewis's Railway Signal Engineering" (Mechanical)
by J. H. Fraser.

(١٢) "Railway — Signalling Mechanical"
by Fras. Raynar Wilson.

(١٣) "Egyptian State Railways General Rule Book"

(١٤) "Geology and Engineering"
by Robert F. Legget.

(١٥) "Elements of Design in Timbering Framing"
by Henry S. Jacoby.

(١٦) "Applied Mechanics"
by D. A. Low.