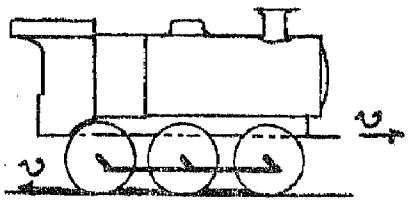
الباب الثانى

نظريات الجر والتماسك

شد القاطرة :

عند ما يندفع البخار داخل الأسطوانة يدفع المكبس أمامه فيتحرك عامود وهذا يحرك العامود الموصل المرتبط بالكرنك فتدور العجلة . وهكذا يتحول دفع البخار إلى حركة دائرية لاتلبث أن تتحول إلى حركة سير وذلك بفضل التماسك بين عجلات الجر والقضيب فعجلات الجر شكل نمرة (٢١) تدفع القضيب فى دورانها إلى الوراء بمقدار دفع القاطرة . وحيث أن نقط التلاصق بين العجلات والقضبان تظل ثابتة ثبوتاً لحظيا فإن القاطرة تتقدم إلى الأمام . ولا يستفاد فى العادة من قوة الدفع هذه إلا بالمقدار المساوى للتماسك أو التلاصق أو بمعنى آخر بمقدار الاحتكاك بين العجلة والقضيب . وقوة التماسك هذه تساوى الوزن الواقع على عجلات الجر مضروبا فى معامل التماسك أو التلاصق بين العجلات الجارة والقضبان .



شكل نمرة (٢١)

وعلى ذلك فشد القاطرة للقطار يتوقف على عاملين :

الأول : القوة التى تحدثها آلات القاطرة tractive force .

الثانى : قوة التماسك بين عجلات الجر والقضيب adhesive force .

قوة آلات القاطرة :

يبين شكل نمرة (٢٢) كروكيا للاسطوانة وعجلة الجر وارتباطهما فإذا كانت :

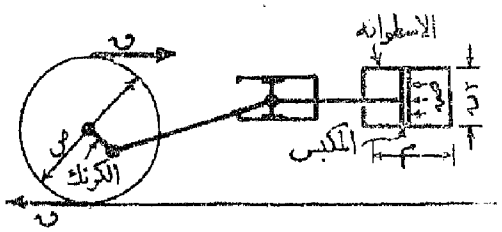
ق = قوة آلة القاطرة .

٢ ن = قطر الاسطوانة .

ض = ضغط البخار داخل الاسطوانة على وحدة المساحة .

م = مشوار المكبس داخل الاسطوانة .

ص = قطر العجلات الجارة .



شكل نمرة (٢٢)

فإن الشغل الذى تبذله اسطوانات القاطرة فى لفة واحدة من لفات عجلات الجر = عدد

الاسطوانات × مساحة مقطع الاسطوانة × ضغط البخار × ضعف المشوار .

وحيث أن أغلب القاطرات تحتوى على أسطوانتين

∴ فالشغل الذى تبذله قاطرة من هذا النوع = ٢ × $\frac{ط}{٤}$ (٢ نـ)[1]^{٢} × ضـ × ٢م .

وهـذا المقدار يعادل قوة شد القاطرة × المسافة التى تسـيرها القاطرة فى لفـة واحدة من لفات عجلة الجر = ق × ط ص

∴ ق = $\frac{ط\,(٢نـ)^{٢}\,ضـ\,م}{ط\,ص}$ = $\frac{(٢نـ)^{٢}\,ضـ\,م}{ص}$

وحيث أن ضغط البخار يقل فى انتقاله من المرجل إلى الاسطوانة كما تقل قوة الشد بمقدار الاحتكاك الذى يصادفه المكبس فى تحركه أضف إلى ذلك احتكاك عامود المكبس والقطع الأخرى المتحركة ونقص مساحة السطح الشغال من المكبس بمقدار الحيز الذى يشغله عامود المكبس[2] فإن ضغط البخار محسوباً عند حافة العجلات الجارة ينقص بما يتراوح بين ١٥ و ٢٠ ٪ من الضغط فى المرجل .

ويتضح من العلاقة السابقة أن قوة شد القاطرة تتناسب تناسباً عكسياً مع قطر عجلات الجر . وإذن ففى حالة قطارات البضائع التى قد يزيد طولها عن النصف كيلو متر والتى ترتفع فيها المقاومات إلى أقصى حد يتطلب الأمر زيادة قوة الشد لقاطراتهـا ويتم بلوغ ذلك بتقليل أقطار عجلاتها الجارة . أما فى حالة قطارات الركاب فإن المقاومات التى تعترض الجر صغيرة وإذن فلا ضرر من تقليل شـد القاطرة وذلك بتكبير أقطار عجلاتها الجارة ما دام ذلك يكسبها ازدياداً فى السرعة .

التماسك بين عجلات الجر والقضيب :

ذكرنا فيما سبق أن قوة شد القاطرة لا يستفاد منها إلا بمقدار التماسك بين عجلات الجر والقضيب وقوة التماسك هذه تساوى حاصل ضرب الوزن الواقع على عجلات الجر مضروباً فى معامل التماسك بين هذه العجلات والقضيب . فاذا ما زادت قوة شد القاطرة عن قوة التماسـك فإن عجلات الجر تنطلق فى الدوران فى نفس الوقت .

ويتوقف معامل التماسك على حالة العجلات والقضبان . فيقل إذا كانت القضبان مبتلة فيصـل إلى ٨ ٪ ويزداد فى الجفاف حتى يصل إلى ٣٥ ٪ . ويعتبر المعامل فى العادة ١٥ ٪ وهو الرقم الذى يتخذ فى الحسابات .

ويتوقف المعامل على السرعة أيضاً فيزداد إذا ماقلت وخصوصاً عند ابتداء السير إذ يصل إلى ٢٠ ٪ .

ويمكن تحسين قوة التمـاسك بزيادة المعامل وذلك بوضع رمل على القضيب ويسـتفاد من ذلك على الخصوص عنـد ما تـكون القضبان مبتلة . ويحتاط لهـذه الحالة بتجهيز القاطرات بصناديق رمل خاصة

---

(١) ط النسبة التقريبية .

(٢) يقدر الحيز الذى يشغله عامود المـكبس بنحو ١و٥ ٪ من مساحة سطح المـكبس .

يوضع بداخلها الرمل ولهذه الصناديق مواسير تسكب الرمل أمام العجلات الجارة .

وتعمل قوة شد القاطرة المحددة بالتماسك على التغلب على المقاومات المختلفة التى تعترض سير القطار فاذا رمزنا لقوة التماسك بالحرف "ت" كيلو جرام :

وكان و = وزن القاطرة بالطن .

ق = وزن القطار خلف القاطرة بالطن .

م = المقاومة التى يصادفها الطن الواحد من القطار بأكمله .

فان ت ≤ (و + ق) م كيلو جراماً .

اكساب القطار عجلة ازدياد :

إذا بدأ القطار سيره من السكون ليكتسب سرعة مقدارها س مترا فى الثانية مثلا فى زمن مقداره ن ثوان فإن عجلته ع = $\frac{س}{ن}$ مترا فى الثانية فى الثانية .

وتكون القوة التى تبذلها القاطرة لإكساب القاطرة هذه السرعة تساوى القوة اللازمة للتغلب على المقاومات مضافا إليها القوة اللازمة لإكساب القطار العجلة ع وهذه لا يجب أن تزداد عن حد التماسك وإلا انطلقت عجلات القاطرة فى الدوران فقط دون أن تكسب القطار أية حركة .

والقوة فى هذه الحالة = (و + ق) م + كتلة القطار × العجلة

= (و + ق) م + $\frac{(و + ق) \times ١٠٠٠}{ـ}$ ع كيلو جراما

= (و + ق) (م + $\frac{١٠٠٠}{ـ}$. ع) كيلو جراما

حيث حـ عجلة التثاقل بالمتر فى الثانية فى الثانية

فإذا وصلت قوة الجر إلى حد التماسك فإن

ت = (و + ق) (م + $\frac{١٠٠٠}{ـ}$. ع)

= (و + ق) (م + $\frac{١٠٠٠}{ـ}$ × $\frac{س}{٣,٦ ن}$) كيلو جراما

حيث س السرعة بالكيلومتر فى الساعة .

ويسمى الحدان (م + $\frac{١٠٠٠}{ـ}$. $\frac{س}{٣,٦ ن}$) بشد القاطرة النوعى أى مقدار الشد الذى تبذله القاطرة لتسيير طن واحد من القطار وإكسابه عجلة[١] ازدياد "ع" وهناك حالات تكون العجلة فيها تقصيرية وفيها توضع علامة ناقص بدل علامة زائد بين الحدين . وهناك حالات يكون الحد الثانى فيها صفرا وهى حالات السير بسرعة منتظمة .

---

(١) تتراوح العجلة ع فى قطارات البضائع بين ٠,٠٩ و ٠,١٥ مترا فى الثانية فى الثانية وفى قطارات الركاب بين ٠,١٣ و ٠,٢٥ مترا فى الثانية فى الثانية .

قوة التماسك :

إذا كان وزن القاطرة = و طنا

والوزن المحدث للتماسك أى وزن الجزء من القاطرة الواقع على عجلات الجر = و$_1$ طنا

وكان معامل التماسك بين عجلات الجر والقضيب = μ

فإن قوة التماسك ت طنا = μ و$_1$

ت كيلو جراما = ١٠٠٠ μ و$_1$

وهذه القوة أقل بطبيعة الحال من قوة آلات القاطرة .

وإذا نظرنا إلى الحد ١٠٠٠ μ و$_1$ لاتضح لنا أنه لا يمكن زيادته إلا بأحد احتمالين أو بهما معا :

(١) زيادة المقدار و$_1$: أى الاجتهاد عند تصميم القاطرة فى جعل أكثر أوزانها تقع على عجلات الجر ولا يتأتى ذلك إلا بجعل أغلب العجلات مرتبطة ومن هنا نرى أن أكثر العجلات فى قاطرات البضاعة عجلات جر .

(٢) رفع قيمة معامل التماسك μ : وهذا لا يمكن رفعه مطلقا إذ هو يتوقف على نوع مادة القضبان والعجلات ولكنه يرفع مؤقتا بسكب الرمل أمام عجلات الجر عند مايتعذر على القاطرة الوصول إلى حد تماسكها فى حالة تبلل القضبان أو فى حالة وقوف القطار على انحدار شديد .

المقاومات :

إذا فرضنا عربة تسير بسرعة س كيلو مترا فى الساعة وفرضنا أن هذه العربة لا تعترضها أية مقاومات فحسب نظريات نيوتن للحركة تظل العربة سائرة إلى مالا نهاية . غير أن المشاهد أن مثل هذه العربات تقف بعد مدة نتيجة المقاومات التى تصادفها والتى تعترض سيرها . فإذا فرضنا أن المقاومات على اختلاف أنواعها يمكن إجمالها بجعلها تساوى م كيلو جراما لكل طن فإن المقاومة التى يصادفها القطار

= م (و + ق) كيلو جراما .

وتتركب المقاومة النوعية م من المقاومات الأربع الآتية :

(١) المقاومة الناتجة عن السير م$_س$

(٢) المقاومة الناتجة عن الانحدار م$_ح$

(٣) مقاومة المنحنيات م$_م$

(٤) مقاومة الهواء م$_هـ$

وإذن م = م$_س$ + م$_ح$ + م$_م$ + م$_هـ$

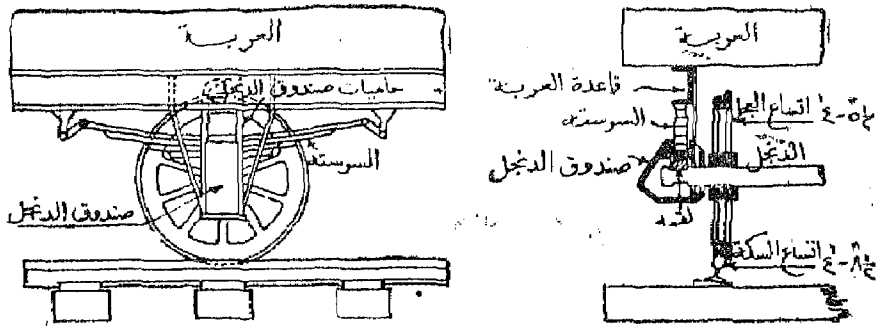
المقاومة الناتجة عن السير «مس» Rolling Resistance :

تتكون هذه المقاومة من :

أولا — الاحتكاك بين الدنجل وصندوق الدنجل .

ثانياً — الاحتكاك بين العجلة والقضيب عند دوران الأولى .

ويحسن بنا أن نعطى رسماً يبين العجلة والدنجل وكيفية اتصالهما بالعربة شكل نمرة (٢٣) .



شكل نمرة (٢٣)

وتثبت العجلتان فى دنجلهما تثبيتاً جيداً وعلى بعد ثابت ويراعى أن تلفا بمقدار واحد . ويرتكز صندوق الدنجل على الدنجل من داخله بواسطة قطعة من معدن خاص تسمى لقمة ويملأ الصندوق بالزيت أو الشحم . ويحمل الصندوق السوستة التى تحمل بدورها هيكل العربة .

وقد وجد بالتجربة أن مقدار مقاومة السير يختلف باختلاف القاطرة وهو أكبر فى حالة قاطرات البضائع وقطاراتها وأقل فى حالة قاطرات الركاب وقطاراتها .

وقد قام المهندسان ليتزمان وبوريس Leitzmann & Borries بعمل تجارب استنتجا منها العلاقات الآتية :

مس لقاطرة الركاب بمفردها = ٥٫٨٦ + ٠٫٠١٠٦ س + ٠٫٠٠٠٤٤٤ س^{٢}

مس « البضائع « = ٩٫٧٥ + ٠٫٠٣٩ س + ٠٫٠٠٠٥٣ س^{٢}

مس لقطار الركاب بدون قاطرة = ١٫٠٤ + ٠٫٠١٥ من + ٠٫٠٠٠٣٣ س^{٢}

مس « البضائع « « = ١٫٢ + ٠٫٠٢ س + ٠٫٠٠٠٥ س^{٢}

ويتبين من العلاقات السابقة أن مقاومة السير تتوقف على السرعة وكذا على مربعها وإذن فهى تزداد كثيراً بازدياد السرعة .

ومقاومة السير للقطار بأكمله

= مس (قاطرة) × و + مس (قطار) × ق كيلو جراما

وعلى ذلك فمقاومة السير النوعية م

$$= \frac{\text{م س (قاطرة)} \times \text{و} + \text{م س (قطار)} \times \text{ق}}{\text{و} + \text{ق}} \quad \text{كيلوجراما للطن}$$

وحيث يراعى فى تصميم الخطوط أن تضطلع بحركة البضائع التى هى أشد الحركتين فقد وجد بالتجربة وتسهيلا للحساب أن تؤخذ

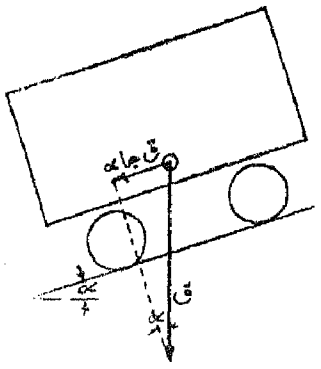
م س = م س (بضاعة) + ٠,٥ كيلو جراما للطن .

ويضاف نصف الكيلو جرام هذا تعويضاً لمقاومة سير القاطرة نفسها إذ مقدارها النوعى أضعاف مقدار مقاومة السير للقطار . والحساب بهذه الطريقة لا يختلف اختلافاً يذكر عن الحساب المضبوط بأخذ القطار والقاطرة كل على حدة .

وكثيراً ما تعتبر مقاومة السير ٢,٥ أو ٣ كيلو جراماً للطن .

المقاومة الناتجة عن الانحدار « أ ح » Grade Resistance :

إذا سار قطار فى انحدار صاعد فإن حركة سيره تعارضها قوة جديدة هى مركبة الوزن فى اتجاه مستوى الانحدار .



شكل نمرة (٢٤)

ولنفرض عربة وزنها ق طناً مثلا تسير إلى أعلا فى انحدار زاويته α مع الأفق انظر شكل نمرة (٢٤) . هذه العربة تتعرض للدفع فى اتجاه أسفل الانحدار يساوى ق جا α أو ق ظا α باعتبار أن α زاوية صغيرة جداً كما هو الواقع .

وإذن فتكون المقاومة للطن الواحد = $\frac{\text{ق ظا } \alpha}{\text{ق}}$

= ظا α طنا للطن الواحد .

= ١٠٠٠ ظا α كيلو جراماً للطن .

فإذا ما استعضنا عن ظا α بميل الزاوية أى $\frac{\text{ح}}{١٠٠٠}$ باعتبار أن ح مترا مثلا هو الارتفاع فى الانحدار لكل ١٠٠٠ متر أو ح ملليمتر فى كل متر

فإن المقاومة للطن الواحد = ١٠٠٠ × $\frac{\text{ح}}{١٠٠٠}$ = ح كيلو جراما .

ومعنى ذلك أن الرقم الدال على الانحدار فى الألف يدل على المقاومة بالكيلو جرام للطن الواحد .

وإذن تكون مقاومة الانحدار للقطار بأكمله = ح (و + ق) كيلو جراما .

وللانحدار طريقة أخرى يعرف بها على هيأة كسر اعتيادى بسيط بسطه الوحدة ومقامه المسافة التى

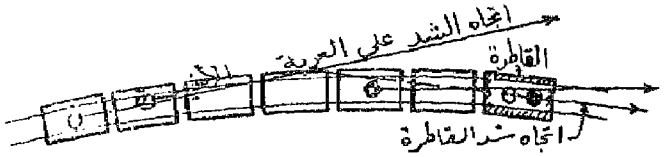
حصل فيها ارتفاع الوحدة . فمثلا الانحدار ٥ ٠/٠٠ يعبر عنه بالكسر $\frac{1}{200}$ وهكذا .

ويفضل تعريف الانحدار فى الحسابات بالارتفاع فى الألف إذ يعبر الرقم نفسه عن مقاومة الانحدار بالكيلو جرام للطن الواحد .

مقاومة المنحنيات م Curve Resistance :

يصعب حساب المقاومة فى المنحنيات بطريقة صحيحة لاختلاف العوامل التى تسببها . غير أنه يمكن القول بأن هذه المقاومة هى نتيجة عاملين أساسيين :

أولهما : ازدياد مقدار شد القاطرة فى المنحنى وذلك راجع إلى أن كل عربة تسحب فى اتجاه المماس عند موقعها وإذن تصرف القاطرة مقداراً من الشد لكل عربة يزداد كلما بعدت العربة عن القاطرة انظر شكل نمرة (٢٥) .



شكل نمرة (٢٥)

وثانيهما : الاحتكاك بين شفة العجلات وبين القضبان فى المنحنى .

وتزداد مقاومة المنحنيات كلما صغر نصف قطر المنحنى وثقل كلما كبر . ولنصف قطر المنحنى حدود صغرى تختلف باختلاف طبيعة الأرض واتساع السكة ففى البلاد السطحة كمصر يبلغ الحد الأدنى لأنصاف أقطار المنحنيات ٥٠٠ مترا فى الطوالى وفى البلاد الجبلية ٣٠٠ مترا وفى البلاد ذات الاتساع المتر مائة متر وأحيانا ستين .

وقد وجد روكل Rockel بالتجربة أن :

$$م = \frac{٦٥٠}{ر - ٥٥} \text{ كيلو جراما للطن .}$$

حيث ر = نصف قطر المنحنى بالأمتار .

والظاهر أن « روكل » أجرى تجاربه على منحنيات حادة إذ تعطى هذه العلاقة مقاومة مقدارها ٠٫٣٣ كيلو جراما للطن لمنحن نصف قطره ٢٠٠٠ مترا وهذا أكثر من الواقع . ويمكن القول بأن هذه العلاقة تعتبر صحيحة لأنصاف أقطار أقصاها ٥٦٠ مترا .

وقد عدل « متزنر » Mutzner هذه العلاقة بأن أعطى العلاقة الآتية :

$$م = \frac{٨٠٠ - ٤٠ر}{ر - ٤٠} \text{ كيلو جراما للطن وذلك للاتساع العادى .}$$

وهـذه تعطى مقاومة مقدارها صفرا للمنحنى الذى نصف قطره ٢٠٠٠ مترا وهو أقرب إلى الحقيقة إذ يتمشى مع الواقع .

وقد أعطى متزنر أيضا العلاقة الآتية فى حالة الاتساعات الضيقة :

$$م = \frac{٤٠٠}{ر - ٢٠} \text{ كيلو جراما للطن .}$$

الخط المستقيم المعادل Equivalent Straight Line :

إذا ساوت مقاومة الخط الذى لدينا والذى يحتوى على انحدار ومنحن مقاومة خط مستقيم ذى انحدار فقط فإن هذا الخط الأخير يطلق عليه إسم الخط المستقيم المعادل .

فمثلا إذا كان الانحدار على خط منحن نصف قطره ٥٠٠ مترا يساوى ١٥ ٠/٠٠ فإن :

$$م = \frac{٨٠٠ - ٠٫٤ \times ٥٠٠}{٤٠ - ٥٠٠} = ١٫٣ \text{ كيلو جراما للطن .}$$

أى أن مقاومة المنحنى تعادل انحدارا مقداره ١٫٣ ٠/٠٠

وإذن يكون انحدار الخط المستقيم المعادل = ١٫٣ ٠/٠٠ + ١٥ ٠/٠٠ = ١٦٫٣ ٠/٠٠

مقاومة الهواء م هـ Air Resistance :

يبدى الهواء مقاومة لسير القطارات تتوقف على السرعة النسبية بين القطار والهواء وعلى السطح المعرض لضغط الهواء . وهناك نوعان من القطارات قطارات ثقيلة بطيئة هى قطارات البضائع وأخـرى خفيفة سريعة هى قطارات الركاب . وتزيد مقاومة الهواء فى الأخيرة عنها فى الأولى لزيادة سرعتها . والمساحة المعرضة للهواء فى كلتا الحالتين هى المساحة الأمامية للقطار مضافا إليها الأجزاء من المساحات بين العربات التى قد يصدمها الهواء وهذه تقدر باثنى عشر مترا مربعا .

وقد ابتدع الأميرال السير فرانسيس بيوفورت سنة ١٨٠٥ مقياساً بالأرقام عن حالات الرياح المختلفة فى البحار يختلف من صفر إلى ١٢ فالصفر معناه « السكون » و ١٢ « إعصار » وذلك بناء على تجاربه . ثم أعقبه السير جورج سمبسون سنة ١٩٠٥ حيث نقح هـذا المقياس وجعله صالح الاستعمال فوق الأراضى . ويعتبر هذا المقياس أساس معرفة سرعة الرياح وشدتها فى محطات الأرصاد الغير مزودة بآلات للرصد وفيما يلى جدول به :

رقم بيوفورت	الدلالة	المواصفة المقابلة فوق الأرض	الضغط المتوسط		السرعة المقابلة على ارتفاع ٣٣ قدم (١٠ متر) فى العراء		حدود السرعة على ارتفاع ٣٣ قدم (١٠ متر) فى العراء	
			رطل / قدم مربع	كيلوجرام/ متر مربع	م/ساعة	ك/ساعة	م/ساعة	ك/ساعة
صفر	سكون	الدخان يعلو فى اتجاه رأسى	صفر	صفر	أقل من ١	أقل من ١,٦	أقل من ١	أقل من ١,٦
١	هواء خفيف	يظهر اتجاه الريح من انحراف الدخان وليس من تأثير عروق الهواء	٠,٠١	٠,٠٥	٢	٣,٢	١ — ٣	١,٦ — ٤,٨
٢	نسيم طفيف	شعور بالريح على الوجه . تهتز أوراق الأشجار . ينحرف اتجاه الدخان بتأثير عروق الهواء	٠,٠٨	٠,٣٩	٥	٨,٠	٤ — ٧	٦,٤ — ١١,٣
٣	نسيم لطيف	تتحرك الأوراق والشجيرات باستمرار وينتشر الضباب الخفيف بتأثير الهواء	٠,٢٠	٠,٩٨	١٠	١٦,١	٨ — ١٢	١٢,٩ — ١٩,٣
٤	نسيم معتدل	يثار الغبار والأوراق المهملة وتتحرك أغصان الأشجار	٠,٦٧	٣,٢٧	١٥	٢٤,١	١٣ — ١٨	٢٠,٩ — ٢٩,٠
٥	نسيم عليل	تتمايل الأشجار الصغيرة ذات الأوراق . تتكون التموجات فوق المياه المنحسرة	١,٣١	٦,٣٩	٢١	٣٣,٨	١٩ — ٢٤	٣٠,٦ — ٣٨,٦
٦	نسيم شديد	تتحرك الأغصان الكبيرة . يسمع صفير أسلاك التلغراف . يصعب استعمال الشماسى	٢,٣٠	١١,٢	٢٧	٤٣,٤	٢٥ — ٣١	٤٠,٢ — ٤٩,٩
٧	ريح عاتية	تتحرك الأشجار برمتها . يتضايق المشاة من السير فى عكس الرياح	٣,٦٠	١٧,٦	٣٥	٥٦,٣	٣٢ — ٣٨	٥١,٥ — ٦١,١
٨	عاصفة	تتكسر أغصان الأشجار . يتعذر السير تقريبا	٥,٤٠	٢٦,٤	٤٢	٦٧,٦	٣٩ — ٤٦	٦٢,٨ — ٧٤,٠
٩	عاصفة شديدة	تحدث إتلافات للمبانى فتقتلع أعالى المداخن وبلاطات الأسطح المائلة	٧,٧٠	٣٧,٦	٥٠	٨٠,٤	٤٧ — ٥٤	٧٥,٦ — ٨٦,٩
١٠	عاصفة عامة	نادرة الحصول فى الأرض . تقتلع الأشجار . تحصل إتلافات شديدة المبانى	١٠,٥	٥١,٢	٥٩	٩٤,٩	٥٥ — ٦٣	٨٨,٥ — ١٠١
١١	زوبعة	نادرة الحصول جدا فى الأرض . يصحبها إتلافات عامة	١٤,٠	٦٨,٣	٦٨	١٠٩	٦٤ — ٧٥	١٠٢ — ١٢١
١٢	إعصار		أكثر من ١٧,١	أكثر من ٨٣,٥	أكثر من ٧٥	أكثر من ١٢١	أكثر من ٧٥	أكثر من ١٢١

م / ساعة = ميل فى الساعة ، ك / ساعة = كيلو متر فى الساعة .

وقد وجد بالتجربة فى انجلترا أن سرعة الرياح بالميل فى الساعة تربطها برقم بيوفورت العلاقة الآتيـة على وجه التقريب :

$س = ١٫٨٧ \sqrt{ب^{٣}}$	يقابلها $س = ٣٫٠٠٩ \sqrt{ب^{٣}}$
حيث س السرعة بالميل فى الساعة	حيث س السرعة بالكيلو متر فى الساعة
ب رقم بيوفورت	ب رقم بيوفورت

وقد استنتجت السرع فى الجدول السابق باستعمال هذه العلاقة .

أما ضغط الهواء فقد استنتج من العلاقة :

$ض = ٠٫٠٠٣ س^{٢}$	يقابلها $ض = ٠٫٠٠٥٦ س^{٢}$
حيث ض ضغط الهواء بالرطل للقدم المربع	حيث ض بالكيلو جرام للمتر المربع .

فاذا اعتبرنا المساحة المعرضة للهواء فى القطار تساوى "ح" متراً مربعا وكان وزن القطار يساوى و + ق طنا فان مقاومة الهواء بالكيلو جرام للطن

$$م_{ه} = \frac{٠٫٠٠٥٦ س^{٢} \times ح}{و + ق}$$

حيث س = السرعة النسبية بين الهواء والقطار بالكيلو متر فى الساعة .

وقد قام البروفسور « بيترسن » Petersen بعمل تجارب لتقدير مقاومة الهواء وذلك على الخط الحربى الذى أنشئ بين برلين وزسن عند بدء نظام الجر الكهربائى فى ألمانيا وذلك قبل الحرب الماضية مباشرة حيث وصل بالسرعة إلى ٢٠٠ كيلو مترا فى الساعة وزيادة فاستنتج العلاقة الآتية :

$$م_{ه} = \frac{٠٫٠٠٥٢ س^{٢} \times ح}{و + ق}$$

ويتضح تقارب هذه العلاقة من العلاقة السابقة .

وتهمل مقاومة الهواء فى العادة فى حالة قطارات البضاعة وذلك لصغر السرعة النسبية وكبر وزن القطار ولا يمكن إهمال مثل هذه المقاومة فى حالة قطارات الركاب ولذلك فان النية قد اتجهت إلى تقليلها بالتحكم فى شكل القطار وجعله انسيابيا .

الانحدار الحاكم Ruling Gradient :

الانحدار الحاكم هو الانحدار الأقصى الذى يتعين منـه وزن القطار الذى تستطيع قاطرة من طراز خاص أن تجره عليه . وهذا الانحدار هو بطبيعة الحال أقصى انحدار يمكن إعطاؤه للخط . فاذا ماصادفنا فى طريق هذا الانحدار منحنى وجب تقليل الانحدار بمقـدار مقاومة المنحنى وكذلك إذا صادفنا نفق أو حوش محطة كما سيأتى بيانه فيما بعد .

ويؤخذ الانحدار فى البلاد المسطحة ٥ ..٪ فى العادة وفى البلاد ذات المرتفعات البسيطة ١٠ ..٪ وفى البلاد الجبلية ٢٥ وأحيانا ٣٠ ..٪ .

الانحدار الحاكم وعلاقته بوزن القطار ق :

يتوقف وزن القطار ق على مقدار الانحدار الحاكم وقد بيّنا فيما سبق أن مقدار شد قاطرة لا يستفاد منه فى أقصاه إلا بالقدر المساوى للتماسك أى أن أقصى شد فعلى للقاطرة يساوى مقدار التماسك بين عجلات الجر وبين القضيب .

فاذا كان وزن القاطرة = و طنا

والوزن المحدث للتماسك أى الواقع على عجلات الجر = $و_1$ طنا

وكان معامل التماسك بين عجلات الجر والقضيب = μ = ١٥ر٠

فان قوة الجر المحددة بالتماسك والتى يبلغ أقصاها $\mu و_1$ هى التى تقوم بالتغلب على المقاومات المختلفة التى تعترض سير القطار وهذه يختلف مقدارها طبعا باختلاف أجزاء الخط . وعلى ذلك تقوم القاطرة فى كل جزء من أجزاء الخط ببذل قوة تكافئ المقاومات على هذا الجزء .

وإذن ١٠٠٠ $\mu و_1$ ≤ [م س (قاطرة) × و] + [م س (قطار) × ق]

+ (م ح + م م + م هـ) (و + ق) كيلو جراما

أو ≤ (م س + م ح + م م) (و + ق) كيلو جراما

حيث م س مقاومة السير النوعية للقطار بأكمله .

وتهمل مقاومة الهواء فى العادة على فرض أن القطار الذى يعتبر فى التصميم هو قطار بضاعة . وفى الحالة القصوى تكون :

١٠٠٠ $\mu و_1$ = م س (و + ق) + (م ح + م م) (و + ق) كيلو جراما

ويتبين من العلاقة السابقة أنه حيث أن القاطرة التى تستعمل على الخط ثابتة الوزن والطراز فان قوة تماسكها القصوى تكون ثابتة أيضا . وحيث أن مقاومة السير م س ثابتة كذلك فان المتغير يصبح :

(م ح + م م) (و + ق)

حيث م ح + م م = م حـ الانحدار الحاكم

وبما أن وزن القاطرة و ثابت ينتج من ذلك أن الانحدار الحاكم م حـ يتغير بتغير وزن القطار ق فكلما كبر الوزن ق قل الانحدار الحاكم والعكس بالعكس . وعلى ذلك إذا حددنا الانحدار الحاكم تحدد وزن القطار تبعا له أو بمعنى آخر « الانحدار الحاكم هو الذى يتحكم فى وزن القطار المسموح به على الخط والعكس بالعكس » .

وينتج من العلاقة السابقة أن :

$$م_{احم} = \frac{١٠٠٠ \mu و_{١}}{و + ق} - م_{س}$$

ولنأخذ الآن مثلا قاطرة تسير بمفردها وأن المطلوب معرفته هو الانحدار الأقصى الذى يتسنى للقاطرة أن تصعد عليه أو بمعنى آخر الانحدار الحاكم للقاطرة وحدها .

فى هذه الحالة تكون ق = صفراً

$$م_{احم} = \frac{١٠٠٠ \mu و_{١}}{و} - م_{س} \quad \text{(قاطرة)}$$

فاذا كانت قاطرة البضاعة من طراز (٠ — ٦ — ٠) أى $و_{١} = و$ فان

$$م_{احم} \text{ (قاطرة)} = ١٠٠٠ \mu - م_{س} \text{ (قاطرة)}$$

= ١٥٠ — حوالى ١٠ = ١٤٠ كيلو جراماً للطن

أى ١٤٠ ٠/٠٠ وهو انحدار عال جداً .

المقاومات فى النفق :

إذا اعترض خط السكة الحديدية فى جزء من أجزائه نفق فان المقاومة لسير القطار داخل النفق تزداد وهذه الزيادة راجعة إلى أن مقاومة الهواء تزداد زيادة ملحوظة إذ يصبح القطار أشبه شىء بمكبس داخل اسطوانة يكتنفه الهواء المضغوط من كل جانب هذا من جهة ومن جهة أخرى فإن معامل التماسك μ داخل النفق ينقص إذ القضبان فى العادة مبتلة وهذا البلل باختلاطه مع الدخان والأتربة الرفيعة يكسو القضبان بطبقة رقيقة تعمل على انزلاق العجلات الجارة مما يقلل قوة تماسكها .

وقد وجد بالتجربة أن فى إنقاص الانحدارات الحاكمة فى النفق بمقدار الخمس ما يكفى للتغلب على هذه المقاومات الثانوية ومقابلة النقص فى التماسك . وإذن فالانحدارات القصوى فى النفق تؤخذ $\frac{٤}{٥}$ الانحدارات الحاكمة .

ايقاف القطارات أو انقاص سرعتها بواسطة الفرامل :

إذا سار قطار وزنه ج طناً بسرعة $س_{١}$ متراً فى الثانية ثم ربطت فرامله فهبطت سرعته إلى $س_{٢}$ متراً فى الثانية فإن التغير فى كمية التحرك

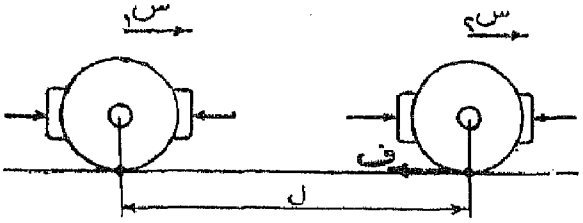
$$= \frac{ج (س_{١}^{٢} - س_{٢}^{٢})}{٢ ح} \quad \text{متر طن}$$

حيث ح عجلة التثاقل بالمتر فى الثانية فى الثانية .

وهذا النقص أو التغير فى كمية التحرك لا بد مساو القوة التى أحدثتها الفرامل مضروبة فى المسافة

التى هبطت فيها السرعة من س$_1$ إلى س$_2$.

انظر شكل نمرة (٢٦)



شكل (٢٦)

فإذا رمزنا لقوة الفرامل بالحرف ف طنا

وللمسافة بالحرف ل متراً فان

$$ف\ ل = \frac{ج\ (س_1^2 - س_2^2)}{2\ ح} \text{ متر طن}$$

$$= \frac{1000\ ج\ (س_1^2 - س_2^2)}{2\ ح} \text{ كيلو جرامتر}$$

$$= ٣٫٩٣\ (و + ق)\ (س_1^2 - س_2^2) \text{ كيلو جرامتر}$$

باعتبار أن س$_1$ ، س$_2$ هى السرع بالكيلو متر فى الساعة وأن عجلة التثاقل

= ٩٫٨١ متراً فى الثانية فى الثانية وأن ج = و + ق طنا

فاذا كانت س$_2$ = صفراً

فان ف ل = ٣٫٩٣ س^2 (و + ق)

حيث س سرعة القطار بالكيلو متر فى الساعة .

والآن نبحث قوة الفرامل «ف» فنقول إن القوة ف التى تسبب هبوط السرعة ليست هى قوة الفرامل فحسب بل تزيد عليها المقاومات التى تعترض سير القطار أيضاً . وتضغط الفرامل على العجلات المركبة عليها فتمنعها من الدوران ويتسبب عن ذلك احتكاك بين العجلة والقضيب . فاذا رمزنا للوزن الواقع على هذه العجلات بالرمز ج$_ف$ = و$_ف$ + ق$_ف$

فان القوة المسببة لهبوط السرعة هى

ف = ١٠٠٠ (ج$_ف$) ١٠٠ + (و + ق) م − (ج$_ف$) م س كيلو جراماً

= (و$_ف$ + ق$_ف$) (١٠٠٠ ١٠٠ − م س) + (و + ق) م كيلو جراماً

وتجهز القاطرات جميعها بفرامل على عجلاتها كلها ما عدا العجلات الأمامية أما عربات الصهريج فتجهز بالفرامل على عجلاتها كلها .

وتجهز قطارات الركاب بفرامل على العجلات بأجمعها وذلك لإمكان إيقاف مثل هذه القطارات فى أقصر مسافة ممكنة تلافياً لما قد يحدث من أخطار نتيجة سرعتها العالية .

أما فى حالة قطارات البضائع حيث السرع بطيئة نسبياً فهناك ثلاثة طرق لوضع الفرامل :

الأولى : توضع الفرامل على عجلات القاطرة كما ذكرنا سالفاً وعلى عجلات السبنسة فقط ويتراوح وزن السبنسة فى العادة بين ٢٥ ، ٣٠ طنا . والسبنسة عبارة عن عربة ثقيلة يستفاد منها فى زيادة القوة التى تسبب إيقاف القطار . والمسافة التى يقف فيها القطار فى هذه الحالة

كبيرة بالنسبة للحالتين التاليتين . وتستعمل هذه الطريقة فى البلاد المسطحة كمصر .

الثانية : توضع الفرامل على عجلات القاطرة وعلى عجلات بعض العربات واحدة كل ثلاثة أوخمسة مثلا . وهذه الطريقة مستعملة فى معظم الخطوط الحديدية الأوروبية .

الثالثة : توضع الفرامل على عجلات القاطرة وكذا عجلات العربات بأكملها كما فى حالة قطارات الركاب . ويلجأ إلى ذلك فى البلاد الجبلية حيث الانحدارات كبيرة . وتبلغ سرعة قطارات البضاعة ٤٠ كيلو متراً فى الساعة . ويمكن حساب أقصر ما يلزم من بعد بين سيمافور المسافة وسيمافور الوسط وذلك باستعمال القانون السابق .

$$ف\ ل = ٣٫٩٣\ س^{٢}\ (و + ق)$$

$$\therefore\ ل = \frac{٣٫٩٣\ س^{٢}\ (و + ق)}{ف} \quad \text{مترا}$$

وتكون المسافة التى تهبط فيها السرعة من $س_{١}$ إلى $س_{٢}$

$$ل = \frac{٣٫٩٣\ (و + ق)\ (س_{١}^{٢} - س_{٢}^{٢})}{(ق_{ف} + ق)\ (١٠٠٠\ \mu - م س) + (و + ق)\ م} \quad \text{مترا}$$

وبما أنه توجد علاوة على كمية تحرك السير كمية تحرك دوران تقدر بنحو ٦ ٪ من كمية تحرك السير فإن الأمر يستلزم وقف دوران العجلات أيضاً .

$$\text{وعلى ذلك تكون } ل = ١٫٠٦ \times \frac{٣٫٩٣\ (و + ق)\ (س_{١}^{٢} - س_{٢}^{٢})}{(ق_{ف} + ق)\ (١٠٠٠\ \mu - م س) + (و + ق)\ م} \quad \text{مترا}$$