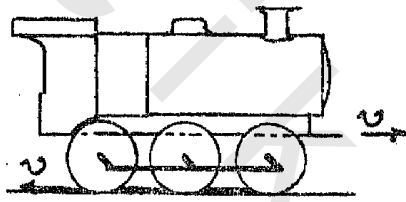


الباب الثاني

نظريات الجر والتماسك

شدة القاطرة :

عندما يندفع البخار داخل الأسطوانة يدفع المكبس أمامه فيتحرك عاموده وهذا يحرك العامود الموصل المرتبط بالكرنك فتدور العجلة . وهكذا يتحول دفع البخار إلى حركة دائرية لا ثابت أن يتحول إلى حركة سير وذلك بفضل التماسك بين عجلات الجر والقضيب فعجلات الجر شكل نمرة (٢١) تدفع القضيب في دوراتها إلى الوراء بمقدار دفع القاطرة . وحيث أن نقط التلاصق بين العجلات والقضبان تظل ثابتة ثبوتاً لحظياً فإن القاطرة تتقدم إلى الأمام . ولا يستفاد في العادة من قوة الدفع هذه إلا بالمقدار المساوي للتماسك أو التلاصق أو بمعنى آخر بمقدار الاحتكاك بين العجلة والقضيب . وقوة التماسك هذه تساوي الوزن الواقع على عجلات الجر مضروباً في معامل التماسك أو التلاصق بين العجلات والجارة والقضبان .



شكل نمرة (٢١)

وعلى ذلك فشد القاطرة للقطار يتوقف على عاملين :

الأول : القوة التي تحدثها آلات القاطرة tractive force .

الثاني : قوة التماسك بين عجلات الجر والقضيب adhesive force .

قوة آلات القاطرة :

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

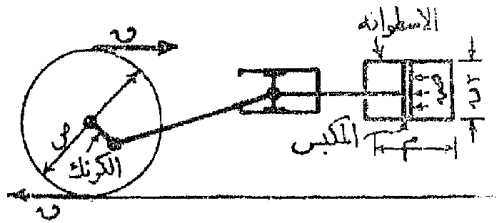
١ = قوة آلة القاطرة .

٢ = قطر الاسطوانة .

٣ = ضغط البخار داخل الاسطوانة على وحدة المساحة .

٤ = مشوار المكبس داخل الاسطوانة .

٥ = قطر العجلات الجارة .



شكل نمرة (٢٢)

فإن الشغل الذي تبذره اسطوانات القاطرة في لفة واحدة من لفات عجلات الجر = عدد

الاسطوانات × مساحة مقطع الاسطوانة × ضغط البخار × ضعف المشوار .
وحيث أن أغلب القاطرات تحتوى على أسطوانتين

$$\therefore \text{ فالشغل الذى تبدله قاطرة من هذا النوع } = 2 \times \frac{\pi}{4} (0.2)^2 \times 2 \times 10^6 \text{ .}$$

وهذا المقدار يعادل قوة شد القاطرة × المسافة التى تسيرها القاطرة فى لفة واحدة من لفات

$$\text{عجلة الجر} = v \times \pi \times \text{ط ص}$$

$$\therefore \frac{\pi \times 2 \times 10^6 (0.2)^2}{\text{ط ص}} = \frac{\pi \times 2 \times 10^6 (0.2)^2}{\text{ط ص}} = v$$

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^(٢) 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 لقاطراتها ويتم بلوغ ذلك بتقليل أقطار عجلاتها الجارة . أما فى حالة قطارات الركاب فإن المقاومات التى تعترض الجر صغيرة وإذن فلا ضرر من تقليل شد 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 . فإذا ما زادت قوة شد القاطرة عن قوة التماسك فإن عجلات الجر تنطلق فى الدوران فى نفس الوقت .

ويتوقف معامل التماسك على حالة العجلات والقضبان . فيقل إذا كانت القضبان مبتلة فيصل 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 ما قلت وخصوصاً عند ابتداء السير إذ يصل إلى ٢٠ ٪ . ويمكن تحسين قوة التماسك بزيادة المعامل وذلك بوضع رمل على القضيب ويستفاد من ذلك على الخصوص عند ما تكون القضبان مبتلة . ويحتاج لهذه الحالة بتجهيز القاطرات بصناديق رمل خاصة

(١) ط النسبة التقريرية .

(٢) يقدر الحيز الذى يشغله عامود المكبس بنحو ١٥ ٪ من مساحة سطح المكبس .

يوضع بداخلها الرمل ولهذه الصناديق مواسير تسكب الرمل أمام العجلات الجارية .
وتعمل قوة شد القاطرة المحددة بالتماسك على التغلب على المقاومات المختلفة التي تعترض مسير القطار
فاذا رمزنا لقوة التماسك بالحرف "ت" كيلو جرام :
وكان $و =$ وزن القاطرة بالطن .

ق = وزن القطار خلف القاطرة بالطن .
ق م = المقاومة التي يصادفها الطن الواحد من القطار بأكمله .
فان $ت \leq (و + ق) م$ كيلو جراماً .

اكساب القطار عجلة ازدياد :

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

وتسكون القوة التي تبذلها القاطرة لإكساب القاطرة هذه السرعة تساوى القوة اللازمة للتغلب على
المقاومات مضافاً إليها القوة اللازمة لإكساب القطار العجلة $ع$ وهذه لا يجب أن تزداد عن حد التماسك
وإلا انطلقت عجلات القاطرة في الدوران فقط دون أن تسكب القطار أية حركة .

$$\begin{aligned} \text{والقوة في هذه الحالة} &= (و + ق) م + \text{كتلة القطار} \times \text{العجلة} \\ &= (و + ق) م + \frac{١٠٠٠ \times (و + ق)}{٢} ع \quad \text{كيلو جراما} \\ &= (و + ق) (م + \frac{١٠٠٠}{٢} ع) \quad \text{كيلو جراما} \end{aligned}$$

حيث $ع$ عجلة التناقل بالتر في الثانية في الثانية

فاذا وصلت قوة الجر إلى حد التماسك فإن

$$ت = (و + ق) (م + \frac{١٠٠٠}{٢} ع)$$

$$= (و + ق) (م + \frac{١٠٠٠}{٢} \times \frac{س}{٣,٦}) \quad \text{كيلو جراما}$$

حيث $س$ السرعة بالكيلومتر في الساعة .

ويسمى الحدان $(م + \frac{١٠٠٠}{٢} \cdot \frac{س}{٣,٦})$ بشد القاطرة النوعى أى مقدار الشك 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 صفراً وهى
حالات السير بسرعة منتظمة .

(١) تتراوح العجلة $ع$ في قطارات البضائع بين ٠,٠٩ و ٠,١٥ متراً في الثانية وفي قطارات الركاب
بين ١٣ و ٢٥ متراً في الثانية في الثانية .

قوة التماسك :

إذا كان وزن القاطرة = و طنا
والوزن المحدث للتماسك أى وزن الجزء من القاطرة الواقع على عجلات الجر = و_ج طنا
وكان معامل التماسك بين عجلات الجر والقضيب = μ

فإن قوة التماسك ت طنا = μ و_ج

ت كيلو جراما = 1000μ و_ج

وهذه القوة أقل بطبيعة الحال من قوة آلات القاطرة .

وإذا نظرنا إلى الحد 1000μ و_ج لا نضح لنا أنه لا يمكن زيادته إلا بأحد احتمالين أو بهما معا :

(١) زيادة المقدار و_ج : أى الاجتهاد عد 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 ما يتعذر 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 للأحرركة 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 تصادفها القطار

$$= م (و + ق) \text{ كيلو جراما .}$$

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_ه

$$\text{ولذن } م = م_{س} + م_{ح} + م_{م} + م_{ه}$$

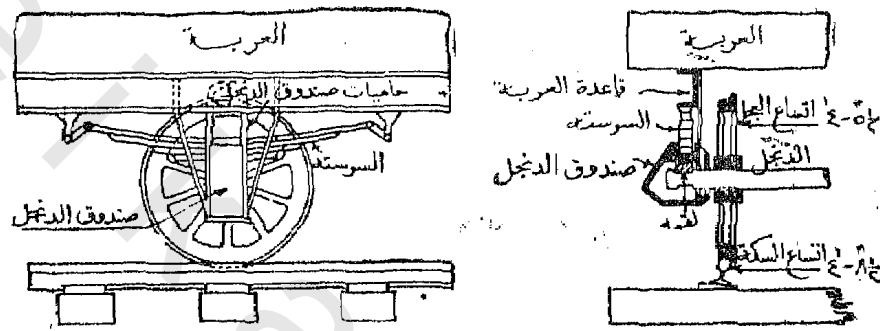
المقاومة الناتجة عن الصبر « أس » Rolling Resistance :

تتكون هذه المقاومة من :

أولاً — الاحتكاك بين الدنجل وصندوق الدنجل .

ثانياً — الاحتكاك بين العجلة والقضيب عند دوران الأولى .

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



شكل نمرة (٢٣)

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

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

وقد قام المهندسان ليتزمان وبوريس Leitzmann & Borries بعمل تجارب استنتجوا منها

العلاقات الآتية :

$$\text{مس لقاطرة الركاب بمفردها} = ٥,٨٦ + ٠,٠١٠٦ \text{ مس} + ٠,٠٠٠٤٤٤ \text{ مس}^٢$$

$$\text{مس « البضائع »} = ٩,٧٥ + ٠,٠٣٩ \text{ مس} + ٠,٠٠٠٥٣ \text{ مس}^٢$$

$$\text{مس لقطار الركاب بدون قاطرة} = ١,٠٤ + ٠,٠١٥ \text{ مس} + ٠,٠٠٠٣٣ \text{ مس}^٢$$

$$\text{مس « البضائع »} = ١,٢ + ٠,٠٢ \text{ مس} + ٠,٠٠٠٥ \text{ مس}^٢$$

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

ومقاومة السير للقطار بأ كله

$$= \text{مس (قاطرة)} \times \text{و} + \text{مس (قطار)} \times \text{ق}$$

كيلو جراما

وعلى ذلك فتقاومة السير النوعية م

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

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

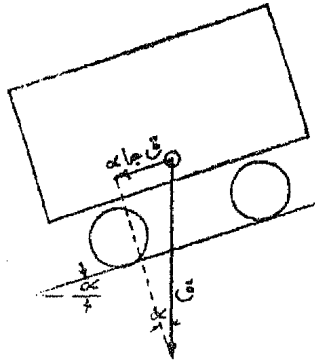
$$\text{م س} = \text{م س (بضاعة)} + ٠,٥ \text{ كيلوجراما للطن}.$$

ويضاف نصف الكيلو جرام هذا تمويضا لمقاومة سير القاطرة نفسها إذ مقدارها النوعى أضعا ف 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 طنناً مثلاً تسير إلى أعلا فى انحدار زاويته « α » مع الأفقى انظر شكل نمرة (٢٤) . هذه العربة تتعرض لدفع فى اتجاه أسفل الانحدار يساوى ق حـ « α » أو ق ظا « α » باعتبار أن « α » زاوية صغيرة جداً كما هو الواقع . وإذن فتكون المقاومة للطن الواحد $\frac{\text{ق ظا } \alpha}{\text{ق}}$

$$\text{ظا } \alpha = \text{طنا للطن الواحد}.$$

$$= ١٠٠٠ \text{ ظا } \alpha \text{ كيلو جراماً للطن}.$$

فإذا ما امتعضنا عن ظا « α » بميل الزاوية أى $\frac{\text{ح}}{\text{ج}}$ باعتبار أن ح متراً مثلاً هو الارتفاع فى الانحدار لكل ١٠٠٠ متر أو ح ملليمتر فى كل متر

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

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

وإذن تكون مقاومة الانحدار للقطار بأ كـله « $\text{ح} (\text{و} + \text{ق})$ كيلو جراما .

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

حصل فيها ارتفاع الوحدة . فمثلا الانحدار ٥ ٪ يعبر عنه بالسكسر بـ ٥٠٠ وهكذا .
ويفضل تعريف الانحدار في الحسابات بالارتفاع في الألف إذ يعبر الرقم نفسه عن مقاومة الانحدار
بالكيلو جرام للطن الواحد .

مقاومة المنحنيات م : Curve Resistance

يصعب حساب المقاومة في المنحنيات بطريقة صحيحة لاختلاف العوامل التي تسببها . غير أنه يمكن
القول بأن هذه المقاومة هي نتيجة عاملين أساسيين :
أولهما : ازدياد مقدار شد القاطرة في المنحنى وذلك راجع إلى أن كل عربة تسحب في اتجاه المناس
عند موقعها وإذن تصرف القاطرة مقداراً من الشد لسكل عربة يزداد كلما بعدت العربة عن
القاطرة انظر شكل نمرة (٢٥) .



شكل نمرة (٢٥)

وثانيهما : الاحتكاك بين شفة العجلات وبين القضبان في المنحنى .
وتزداد مقاومة المنحنيات كلما صغر نصف قطر المنحنى وتقل كلما كبر . ولنصف قطر المنحنى حدود
صغرى تختلف باختلاف طبيعة الأرض واتساع السكة ففي البلاد السطحية كعصر يبلغ الحد الأدنى
لأنصاف أقطار المنحنيات ٥٠٠ متراً في الطوالى وفي البلاد الجبلية ٣٠٠ متراً وفي البلاد ذات الاتساع
المترا مائة متر وأحياناً ستين .

وقد وجد روكل Rockel بالتجربة أن :

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

حيث ر = نصف قطر المنحنى بالأمتار .

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

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

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

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

وقد أعطى متزى أيضا العلاقة الآتية فى حالة الاتساعات الضيقة :

$$M = \frac{400}{r - 2000} \text{ كيلو جراما للطن .}$$

الخط المستقيم المماثل : 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 اسم الخط المستقيم المعادل .

فمثلا إذا كان الانحدار على خط منحن نصف قطره ٥٠٠ مترا يساوى ١٥ ٪ فإن :

$$M = \frac{800 - 0.4 \times 500}{400 - 500} = 1.3 \text{ كيلو جراما للطن .}$$

أى أن مقاومة المنحنى تعادل انحدارا مقداره ١.٣ ٪ .

وإذن يكون انحدار الخط المستقيم المعادل = ١.٣ ٪ + ١٥ ٪ = ١٦.٣ ٪ .

مقاومة الهواء M 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 وأخرى 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 مقياسا بالأرقام عن حالات الرياح المختلفة فى البحار يختلف من صفر إلى ١٢ فالصفر معناه « السكون » ١٢ « إعصار » وذلك بناء على تجاربه . ثم أعقبه السير جورج سمبسون سنة ١٩٠٥ حيث نقح هذا المقياس وجعله صالح الاستعمال فوق الأراضي . ويعتبر هذا المقياس أساس معرفة سرعة الرياح وشدها فى محطات الأرصاد الغير مزودة بالآلات للرصد وفيما يلى جدول به :

رقم الظرف	الدلالة	المواصفة المقابلة فوق الأرض	الضغط المتوسط		السرعة المقابلة على ارتفاع ٣٣ قدم			
			رطل / قدم مربع	كيلوجرام / متر مربع	أقل من ١ / ساعة	أقل من ١ / ساعة	أقل من ١ / ساعة	أقل من ١ / ساعة
صفر	سكون	الدخان يعلو في اتجاه رأسى	صفر	صفر	١	١	١	١
١	هواء خفيف	يظهر اتجاه الريح من انحراف الدخان وليس من تأثير عروق الهواء	٠.٠١	٠.٠٥	٢	٣.٢	٣-١	١.٦
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
٣	نسيم لطيف	تتحرك الأوراق والشجيرات باستمرار وينتشر الضباب الخفيف بتأثير الهواء	٠.٢٠	٠.٩٨	١٠	١٦.١	٨-١٢	١٢.٩
٤	نسيم معتدل	يثار الغبار والأوراق الممثلة وتتحرك أغصان الأشجار	٠.٦٧	٣.٢٧	١٥	٢٤.١	١٣-١٨	٢٠.٩
٥	نسيم عليل	تهاليل الأشجار الصغيرة ذات الأوراق . تشكون التوجات فوق المياه المنحسرة	١.٣١	٦.٣٩	٢١	٣٣.٨	١٩-٢٤	٣٠.٦
٦	نسيم شديد	تتحرك الأغصان الكبيرة . يسمع صفير أسلاك التلفراف . يصعب استعمال الشماسى	٢.٣٠	١١.٢	٢٧	٤٣.٤	٢٥-٣١	٤٠.٢
٧	ريح عانية	تتحرك الأشجار برمتها . يتصاقق المشاة من السير في عكس الريح	٣.٦٠	١٧.٦	٣٥	٥٦.٣	٣٢-٣٨	٥١.٥
٨	عاصفة	تشكر أغصان الأشجار . يتعذر السير تقريبا	٥.٤٠	٢٦.٤	٤٢	٦٧.٦	٣٩-٤٦	٦٢.٨
٩	عاصفة شديدة	تحدث إتلافات للمباني فتقلع أعلى المداخل وبلاطات الأسطح المائلة	٧.٧٠	٣٧.٦	٥٠	٨٠.٤	٤٧-٥٤	٧٥.٦
١٠	عاصفة عامة	نادرة الحصول في الأرض . تقلع الأشجار . تحصل إتلافات شديدة للمباني	١٠.٥	٥١.٢	٥٩	٩٤.٩	٥٥-٦٣	٨٨.٥
١١	زوبعة	نادرة الحصول جدا في الأرض . يصحبها إتلافات عامة	١٤.٠	٦٨.٣	٦٨	١٠٩	٦٤-٧٥	١٠٢
١٢	إعصار		١٧.١	٨٣.٥	٧٥	١٢١	٧٥	١٢١

٢ / ساعة = ميل في الساعة ٦ ك / ساعة = كيلو متر في الساعة .
وقد وجد بالتجربة في إنجلترا أن سرعة الرياح بالميل في الساعة تربطها برقم بيوفورت الآتية
على وجه التقريب :

$\sqrt[3]{3009} = \text{س}$ يقابلها س = حيث س السرعة بالكيلو متر في الساعة ٦ ب رقم بيوفورت	$\sqrt[3]{187} = \text{س}$ حيث س السرعة بالميل في الساعة ٦ ب رقم بيوفورت
---	--

وقد استنتجت السرعة في الجدول السابق باستعمال هذه العلاقة .

أما ضغط الهواء فقد استنتج من العلاقة :

$\sqrt[3]{0.0056} = \text{س}$ يقابلها ص = حيث ص بالكيلو جرام للمتر المربع .	$\sqrt[3]{0.003} = \text{س}$ حيث ص ضغط الهواء بالرطل للتقدم المربع
---	---

فاذا اعتبرنا المساحة المعرضة للهواء في القطار تساوي "ح" متراً مربعاً وكان وزن القطار يساوي
و + ق طناً فإن مقاومة الهواء بالكيلو جرام للطن

$$\frac{0.0056 \times \text{س}^2 \times \text{ح}}{و + ق} = \text{أه}$$

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

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

$$\frac{0.0052 \times \text{س}^2 \times \text{ح}}{و + ق} = \text{أه}$$

ويتضح تقارب هذه العلاقة من العلاقة السابقة .

وتهمل مقاومة الهواء في العادة في حالة قطارات البضاعة وذلك لصغر السرعة النسبية وكبر وزن
القطار ولا يمكن إهمال مثل هذه المقاومة في حالة قطارات الركاب ولذلك فإن النية قد أجهت إلى تقايلها
بالتحكم في شكل القطار وجعله انسيابياً .

الانحدار الحاكم Ruling Gradient :

الانحدار الحاكم هو الانحدار الأقصى الذي يتعين منه وزن القطار الذي تستطيع قاطرة من طراز
خاص أن تجره عليه . وهذا الانحدار هو بطبيعة الحال أقصى انحدار يمكن إعطاؤه للخط . فاذا صادفنا
في طريق هذا الانحدار منحنى وجب تقليل الانحدار بمقدار مقاومة المنحنى وكذلك إذا صادفنا نفق
أو حوش محطة كما سيأتي بيانه فيما بعد .

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

المقدار الحاكم وهو قسمة بوزن القطار ق :

يتوقف وزن القطار ق على مقدار الانحدار الحاكم وقد بيننا فيما سبق أن مقدار شد قاطرة لا يستفاد منه في أقصاء إلا بالقدر المساوي 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 طنا

وكان معامل التماسك بين عجلات الجر والقضيب = ١١ = ٠.١٥

فان قوة الجر المحددة بالتماسك والتي يبلغ أقصاها ١١ و هي التي تقوم بالتغلب على المقاومات المختلفة التي تعترض سير القطار وهذه يختلف مقدارها طبعاً باختلاف أجزاء الخط . وعلى ذلك تقوم القاطرة في كل جزء من أجزاء الخط ببذل قوة تكافئ المقاومات على هذا الجزء .

وإذن ١٠٠٠ و ١١ ≤ [م س (قاطرة) × و] + [م س (قطار) × ق]

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

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

حيث م س مقاومة السير النوعية للقطار بأ كله .

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

١٠٠٠ و ١١ = م س (و + ق) + (م ح + م م) (و + ق) كيلو جراما

ويتبين من العلاقة السابقة أنه حيث أن القاطرة التي 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 ح الانحدار الحاكم

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

وينتج من العلاقة السابقة أن :

$$أحم = \frac{١٠٠٠}{١٠ + ١٩} - مس$$

ولنأخذ الآن مثلاً قاطرة تسير بمفردها وأن المطلوب معرفته هو الانحدار الأقصى الذى يتسنى للقاطرة أن تصعد عليه أو بمعنى آخر الانحدار الحاکم للقاطرة وحدها .
في هذه الحالة تكون ق = صفراً

$$أحم = \frac{١٠٠٠}{١٠ + ١٩} - مس (قاطرة)$$

فاذا كانت قاطرة البضاعة من طراز (٠ - ٦ - ٠) أى و_١ = و فان

$$أحم (قاطرة) = \frac{١٠٠٠}{١٠} - مس (قاطرة)$$

$$= ١٥٠ - حوالى ١٠ = ١٤٠ كيلو جراماً للطن$$

أى ١٤٠ ٪ . وهو انحدار عال جداً .

المقاومات فى النفق :

إذا اعترض خط السكة الحديدية فى جزء من أجزائه نفق فان المقاومة لسيير 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 وهذا من جهة ومن جهة أخرى فان معامل التماسك ١١ داخل النفق ينقص إذ القضبان فى العادة مبتلة وهذا البلى 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 الحاکمة فى النفق بمقدار الخمس ما يكفى للتغلب على هذه المقاومات الثانوية ومقابلة النقص فى التماسك . وإذن فالانحدارات القصوى فى النفق تؤخذ ٥ ٪ الانحدارات الحاکمة .

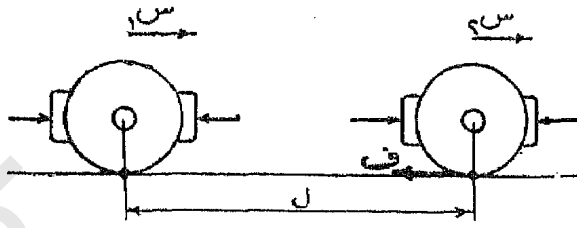
إيقاف القطارات أو انقاص سرعتها بواسطة الفرامل :

إذا سار قطار وزنه ج طناً بسرعة مس متراً فى الثانية ثم ربطت فرامله فهبطت سرعته إلى مس_٢ متراً فى الثانية فإن التغير فى كمية التحرك

$$= \frac{ج (مس_٢ - مس_١)}{٢} \text{ متر طن}$$

حيث ح عجلة التناقل بالمتر فى الثانية فى الثانية .

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



شكل (٢٦)

التي هبطت فيها السرعة من s_1 إلى s_2 .

انظر شكل نمرة (٢٦)

فاذا رمزنا بقوة الفرامل بالحرف F طنا
وللمسافة بالحرف L متراً فان

$$F L = \frac{(s_1^2 - s_2^2) \times 1000}{2 \times 3.6}$$

$$F = \frac{(s_1^2 - s_2^2) \times 1000}{2 \times 3.6} \text{ كيلو جراممتر}$$

$$F = 3.93 (s_1^2 - s_2^2) \text{ كيلو جراممتر}$$

باعتبار أن s_1 هي السرعة بالكيلو متر في الساعة وأن عجلة التثاقل

$$g = 9.81 \text{ متراً في الثانية في الثانية وأن } g = 3.6^2 \text{ طننا}$$

فاذا كانت $s_2 = 0$ صفر

$$F = 3.93 s_1^2 (و + ق)$$

حيث s سرعة القطار بالكيلو متر في الساعة .

والآن نبحث قوة الفرامل « F » فنقول إن القوة F التي تسبب هبوط السرعة ليست هي قوة الفرامل
فحسب بل تزيد عليها المقاومات التي تعترض سير القطار أيضاً . وتضغط الفرامل على العجلات المركبة
عليها فتتمنعها من الدوران ويتسبب عن ذلك احتكاك بين العجلة والقضيب . فاذا رمزنا للوزن الواقع على
هذه العجلات بالرمز G = $W + Q$

فإن القوة المسببة لهبوط السرعة هي

$$F = 1000 (G) + (W + Q) - (G) \text{ كيلو جراماً}$$

$$F = (W + Q) + (1000 - G) \text{ كيلو جراماً}$$

وتجهز القطارات جميعها بفرامل على عجلاتها كلها ماعدا العجلات الأمامية أما عربات الصهريج

فتجهز بالفرامل على عجلاتها كلها .

وتجهز قطارات الركاب بفرامل على العجلات بأجمعها وذلك لإمكان إيقاف مثل هذه القطارات في

أقصر مسافة ممكنة تلافياً لما قد يحدث من أخطار نتيجة سرعتها العالية .

أما في حالة قطارات البضائع حيث السرعة بطيئة نسبياً فهناك ثلاثة طرق لوضع الفرامل :

الأولى : توضع الفرامل على عجلات القاطرة كما ذكرنا سابقاً وعلى عجلات السبينة فقط ويتراوح

وزن السبينة في العادة بين ٢٥ و ٣٠ طننا . والسبينة عبارة عن عربة ثقيلة يستفاد منها

في زيادة القوة التي تسبب إيقاف القطار . والمسافة التي يقف فيها القطار في هذه الحالة

كبيرة بالنسبة للحالتين التاليتين . وتستعمل هذه الطريقة في البلاد المسطحة كعصر .
 الثانية : توضع الفرامل على عجلات القاطرة وعلى عجلات بعض العربات واحدة كل ثلاثة أو خمسة مثلاً . وهذه الطريقة مستعملة في معظم الخطوط الحديدية الأوروبية .
 الثالثة : توضع الفرامل على عجلات القاطرة وكذا عجلات العربات بأكملها كما في حالة قطارات الركاب . ويلجأ إلى ذلك في البلاد الجبلية حيث الانحدارات كبيرة . وتبلغ سرعة قطارات البضاعة ٤٠ كيلو متراً في الساعة . ويمكن حساب أقصر ما يلزم من بعد بين سيمافور المسافة وسيمافور الوسط وذلك باستعمال القانون السابق .

$$ف ل = ٣,٩٣ س^٢ (و + ق)$$

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

وتكون المسافة التي تهبط فيها السرعة من س_١ إلى س_٢

$$ل = \frac{٣,٩٣ (و + ق) (س_١^٢ - س_٢^٢)}{(و + ق_١) (١٠٠٠ - س_١) + (و + ق_٢) (١٠٠٠ - س_٢)} \text{ متراً}$$

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 .

$$\text{وعلى ذلك تكون } ل = ١,٠٦ \times \frac{٣,٩٣ (و + ق) (س_١^٢ - س_٢^٢)}{(و + ق_١) (١٠٠٠ - س_١) + (و + ق_٢) (١٠٠٠ - س_٢)} \text{ متراً}$$