الباب السابع

مشاريع السكك الحديدية

البحوث الاقتصادية

بسطنا فى الباب الثالث أساس السكة من جسور وقطوع ونفق وكبارى وبيننا ماقد تحتاجه السكك من حيطان حاملة أو ساندة أو واقية . كل ذلك يساعد على تقدير ما يتكلفه الخط إذا ما اهتدينا إلى طريقه ولكن المسألة فى بادئ الأمر ليست مسألة ما يتكلفه الخط ولا هى بالمسألة الهندسية البحتة بل هى مسألة اقتصادية أكثر منها هندسية يرجع الفصل فيها إلى تقدير الكسب الذى ينتجه الخط فيما بعد. وقبل أن نحدد مقدار الكسب يجب أن نبحث مسألة التكاليف الإنشائية للخط وكذلك نفقات الصيانة ونفقات التشغيل . ولا يمكننا تحديد ذلك إلا بمقارنة المشاريع المختلفة التى يمكن أن توصل بين البلدين وموازنتها من جميع النواحى للاهتداء إلى أنسبها أى أكثرها كسبا .

الاعتبارات الاقتصادية لانتخاب الخط :

ربما يعتقد المرء أن الخط كلما قلت نفقاته الانشائية كان أكثر اقتصادا غير أن هذا الاعتقاد قد لا يكون صحيحا . ففى البلاد الجبلية تقل النفقات الانشائية إذا لجأنا إلى استعمال انحدارات عالية ومنحنيات حادة إذ بذلك يتأبط الخط الأرض على قدر الإمكان فيقل الحفر والردم وتقل أطوال النفق والكبارى . هذا فضلا عن أن القطوع تخترق طبقات أقل وهذه مزية من الناحية الجيولوجية لايستهان بها . ولكن المقاومات تزداد بازدياد الانحدار وصغر المنحنيات فتقل حمولة الخط وتزداد عدد القطارات مما يسبب زيادة فى نفقات الجر . كذلك يزداد طول الخط وهذا يسبب زيادة فى التكاليف الانشائية .

وللتفضيل بين مشروعين يجب أن نبحث أمرين :

الأول : التكاليف الانشائية .

الثانى : المصاريف .

وكلا الأمرين يحتاج إلى معرفة مقدار الحركة التى ينقلها الخط فإذا تبين أن الحركة المنتظرة ستكون كبيرة سمح للتكاليف الانشائية بأن تكون كبيرة كذلك . وكلما كبرت هذه قلت تكاليف الجر لوحدة الحركة وكذا مصاريف التشغيل . وهذه حالة الخطوط الرئيسية .

أما إذا كانت الحركة محدودة فليس من الروية التوسع فى التكاليف الانشائية ولو كانت نتيجة ذلك

ازدياد مصاريف تشغيل الوحدة وهذه حالة الخطوط الفرعية [١]

والقاعدة التى يجب أن يضعها الباحث نصب عينيه هى جعل ريع التكاليف الانشائية للوحدة مضافا إليها مصاريف التشغيل لتلك الوحدة أقل ما يمكن .

والمقصود بمصاريف التشغيل هى المبالغ التى تصرف فى تسيير الخط من مهايا موظفين وأجور عمال وكذلك مصاريف جر القطارات التى تسير عليه . أما المهايا والأجور فهذه يمكن تقديرها وأما مصاريف الجر فهذه تتأثر بعدة عوامل نوضحها فيما يلى .

مصاريف الجر :

تتأثر مصاريف الجر بالعوامل الآتية :

أولا : بطول الخط .

ثانياً : بسرعة القطارات على الخط .

ثالثاً : بالمقاومات على طول الخط .

أما عن الطول فبديهى أنه كلما زاد الطول زادت تكاليف الجر عليه . وأما عن السرعة فإنها كلما ارتفعت ازدادت وحدات الشغل اللازمة لحفظ القطار عندها وبالتبعية تكاليف الجر . وأما عن المقاومات فإن زيادتها تزيد بطبيعة الحال من تكاليف الجر .

ويجمل بنا أن نذكر هنا السرع التى تسير عليها القطارات المختلفة وحدودها لنعرف مدى تأثيرها فى نفقات الجر .

سرعة القطارات :

تختلف سرعة قطارات الركاب على الخطوط الرئيسية فى العادة بين ٩٠ و ١٠٠ كيلو متر فى الساعة . وهى تختلف فى بعض الممالك بين ١٢٠ و ١٥٠ كيلو مترا وقد بلغت فى الخط المكهرب بين برلين وزسن فى أثناء الحرب العالمية الماضية ٢١٧ كيلو مترا .

وتختلف سرعة قطارات المواصلات بين ٦٠ و ٨٠ كيلو مترا فى الساعة وهى تقرب من ستين .

أما قطارات البضائع فتتراوح سرعتها فى العادة بين ٣٠ و ٣٥ كيلو مترا فى الساعة . ويحسن أن لاتزيد السرعة عن هذا القدر إذ القطارات الثقيلة البطيئة أكثر اقتصادا من السريعة [٢] .

---

(١) ولو أن تكاليف تشغيل الوحدة فى حالة الخطوط الرئيسية قليلة إلا أنه لكبر عدد الوحدات فإن تكاليف التشغيل الاجمالية تكون كبيرة وهذا يتمشى مع أهمية الخط . أما فى حالة الخطوط الفرعيه فانه ولو أن تكاليف تشغيل الوحدة كبيرة إلا أن عدد الوحدات قليل والتكاليف الاجمالية إذن قليلة .

(٢) قد يدعو الحال فى بعض الأحيان إلى زيادة سرعة قطارات البضائع إلى نحو الخمسين كيلو مترا فى الساعة وذلك لإخلاء الطوالى من أجل حركة الركاب السريعة .

وتختلف السرعة على الخطوط الفرعية بين ٣٠ ، ٥٠ كيلو مترا فى الساعة وهى متساوية لقطارات الركاب والبضائع .

وتتراوح السرعة فى الخطوط الضيقة بين ٢٠ ، ٢٥ كيلو مترا فى الساعة .

وحيث أن الحركة التى يهتم بهـا فى تصميم الخطوط هى حركة البضائع لذا فإنه للمفاضلة بين خطين تحصل المفاضلة من حيث قدرة كل منهما على نقل البضائع وذلك بالالتجاء إلى تعرف تكاليف الجر على كل منهما وبما أن سرعة قطارات البضائع واحدة تقريباً كما هو واضح من البيان السابق لذا فإن نفقات الجر تتوقف على الطول والمقاومات فقط .

الطـــول المكافئ

الطول المكافئ Virtual length هو الطول الأفقى المستقيم الذى تساوى نفقات الجـر عليه نفقات الجر فى الاتجاهين للخط الذى نبحثه .

إذا انتهى الأمر لدينا إلى مشروعين أو أكثر توصـل بين بلدين وطلب منا أن نفاضلها من حيث نفقات الجر فإننا نستنتج الطول المكافئ لكل مشروع فما كان طوله المكافئ أطول كانت نفقات الجر عليه أكثر . ولحساب الطول المكافئ نفرض أن :

س = سعر وحدة الحركة (كيلو وات مثلا) .
ك = نفقات الجر على الخط الذى نبحثه .
ك م = نفقات الجر على الطول المكافئ .
ع = عدد القطارات على الخط الذى نبحثه .
ع م = عدد القطارات على الطول المكافئ .
ق = وزن القطار على الخط الذى نبحثه .
ق م = وزن القطار على الطول المكافئ .
ض = وزن القطارات بما فيها من بضائع فى وحدة زمنية (اليوم مثلا) .
ل = طول الخط الذى نبحثه .
ل م = الطول المكافئ .

نفقات الجر على الخط الذى نبحثه فى الوحدة الزمنية (اليوم مثلا) = ك

= عدد وحدات الحركة × سعر الوحدة

= (المقاومات × الطول) × عدد القطارات فى اليوم × سعر الوحدة

= (و + ق) م . ل . ع . س (١)

حيث م = المقاومة النوعية على طول الخط بالكيلو جرام للطن .

$$= م_س + \frac{\Sigma هـ_م \cdot \Delta ل}{ل} + \frac{\Sigma ح_م \cdot \Delta ل}{ل}$$

أى المقاومة المتوسطة على طول الخط .

ونفقات الجر على الطول المكافئ فى نفس الوحدة الزمنية

$$= ك_م = (و + ق_م) م_س \cdot ل_م \cdot ع_م \cdot س$$

ومن تعريف الطول المكافئ ينتج أن ك = ك م

$$\therefore (و + ق) م \cdot ل \cdot ع \cdot س = (و + ق_م) م_س \cdot ل_م \cdot ع_م \cdot س$$

$$\therefore \frac{(و + ق) م \cdot ل \cdot ع \cdot س}{ض} = \frac{(و + ق_م) م_س \cdot ل_م \cdot ع_م \cdot س}{ض}$$

ولكن ض = ق . ع = $ق_م$. $ع_م$

$$\therefore \frac{(و + ق) م \cdot ل \cdot ع \cdot س}{ق \cdot ع} = \frac{(و + ق_م) م_س \cdot ل_م \cdot ع_م \cdot س}{ق_م \cdot ع_م} \quad (٣)$$

ولكننا نعلم من نظريات الجر والتماسك أن

$$١٠٠٠ \mu و_١ = (و + ق) م$$

$$و ١٠٠٠ \mu و_١ = (و + ق_م) م_س$$

$$\therefore (و + ق) م = (و + ق_م) م_س$$

∴ ينتج أن (٣) تصبح

$$\frac{ل}{ق} = \frac{ل_م}{ق_م}$$

$$\therefore ل_م = \frac{ق_م}{ق} \cdot ل \quad \ldots\ldots\ldots (٤)$$

وإذن فالطول المكافئ يتناسب مع طول الخط الذى نبحثه ويربطه به معامل التكافؤ $\frac{ق_م}{ق}$ وسنرمز له بالرمز ء .

ويجب أن نلاحظ أن ق تساوى وزن القطار الذى يمكن أن يسير على خط مقاومته النوعية المتوسطة تساوى م و ق م تساوى وزن القطار الذى يمكن أن يسير على خط أفقى مستقيم مقاومته النوعية م س فقط .

$$ق = \frac{١٠٠٠ \mu و_١ - و \cdot م}{م} = \frac{١٠٠٠ \mu و_١}{م} - و$$

$$\text{ق م} = \frac{١٠٠٠\,\mu\,و_{١} - و\cdot م س}{م س} = \frac{١٠٠٠\,\mu\,و_{١}}{م س} - و$$

فإذا جعلنا $\frac{و}{و_{١}} = هـ$ أى $و = هـ\,و_{١}$

فان معامل التكافؤ $ك = \frac{\text{ق م}}{\text{ق}}$

$$= \frac{\frac{١٠٠٠\,\mu\,و_{١}}{م س} - هـ\,و_{١}}{\frac{١٠٠٠\,\mu\,و_{١}}{م} - هـ\,و_{١}} = \frac{\frac{١٠٠٠\,\mu}{م س} - هـ}{\frac{١٠٠٠\,\mu}{م} - هـ}$$

وحيث أن $هـ$ كمية صغيرة بالنسبة للحد الذى تطرح منه . وحيث أن بطرحها من البسط والمقام لا يتأثر معامل التكافؤ تأثيراً يذكر فكثيراً ما تهمل وإذن يصبح معامل التكافؤ

$$ك = \frac{م}{م س}$$

المقاومة النوعية م :

قلنا إن المقاومة النوعية $م = م س + \frac{\Sigma\, م_{م}\cdot ٨\,ل}{ل} + \frac{\Sigma\, م_{ح}\cdot ٨\,ل}{ل}$ كيلو جراما للطن

$م س$ عبارة عن مقاومة السير وهى ثابتة على طول الخط وتتساوى فى الذهاب والإياب .

$م_{م}$ عبارة عن مقاومة الانحناء وهى تؤثر فى المنحنيات فقط وتتساوى فى الذهاب والإياب وتختلف قيمتها باختلاف نصف القطر .

$م_{ح}$ عبارة عن مقاومة الإنحدار وتؤثر فى المواقع التى بها انحدار فقط ولها فى الذهاب تأثير وفى الإياب تأثير آخر وذلك نظراً إلى أن الانحدار لأعلا فى الذهاب يصبح لأسفل فى الإياب وهكذا . أما الانحدار لأعلا فإنه يزيد من المقاومة التى تعترض سير القطار إذ يحتاج الأمر إلى رفع القطار بأكمله من منسوب إلى منسوب أعلا منه وأما الانحدار لأسفل فإنه يساعد القاطرة فى السير وله حالتان :

أولا : حالة تقل فيها مقاومة الانحدار عن المقاومتين الأخريين .

$م_{ح} \le� م س$ فى الأجزاء المستقيمة

أو $م_{ح} \le� م س + م_{م}$ « « المنحنية

وهنا تقوم القاطرة ببذل قوة للتغلب على الفرق بين المقاومات .

ثانياً : حالة تزيد فيها مقاومة الانحدار عن المقاومتين الأخريين .

م ح ≤ م س فى الأجزاء المستقيمة

أو م ح ≤ م س + م م « « المنحنية

وفى هذه الحالة يقفل البخار عن اسطوانات القاطرة إذ الانحدار يتغلب على المقاومات الأخرى ويزيد ولكن هذه الزيادة تكسب القطار عجلة ازدياد يترتب عليها زيادة السرعة . وحيث أن السرعة لا يجب أن تزيد بل يجب أن تظل ثابتة على الخط فمن أجل ذلك تربط الفرامل بالقدر الذى يتغلب على مقدار الزيادة فقط . ومعنى ذلك أنه إذا قلت مقاومة الانحدار إلى أسفل عن المقاومات الأخرى بذلت القاطرة جهداً للتغلب على فرق المقاومات وإذا زادت مقاومة الانحدار عن المقاومات الأخرى قفل البخار عن الأسطوانات وربطت الفرامل بالقدر الذى يحفظ السرعة ثابتة .

وعلى ذلك فى الانحدارات الهابطة تحسب م ح بقيمتها إذا قلت عن المقاومات المضادة ومساوية لهذه المقاومات إذا زادت على مجموعهم .

وبهذه الطريقة تحسب المقاومات فى أجزاء الخط جميعها وبجمعها تستنتج المقاومة النوعية .

$$م = م س + \frac{م م \cdot \Delta ل}{ل} + \frac{م ح \cdot \Delta ل}{ل}$$ كيلو جراماً للطن .

تقدير الكسب الذى ينتجه الخط :

ذكرنا قبلا أن مسألة تقرير إقامة خط حديدى بين بلد وآخر ليست بالمسألة الهندسية البحتة بل هى مسألة اقتصادية أكثر منها هندسية يرجع الفصل فيها إلى تقدير الكسب الذى ينتجه الخط فيما بعد . ولتقدير ذلك الكسب يجب أن تجرى أربعة بحوث .

البحث الأول : تقدير الحركة المنتظرة

لا يمكن تقدير الحركة المنتظرة إلا على وجه التقريب فقط وذلك بتقدير حركة الركاب وحركة البضائع ولا يجب أن نكون مغالين فى تقديرنا وإلا كانت الأرقام الناتجة بعيدة عن الواقع .

حركة الركاب :

تقدر حركة الركاب ببحث ما يأتى :

(١) عدد سكان المنطقة التى يجوبها الخط .

(٢) عدد سكان المدينتين النهائيتين .

(٣) نشاط سكان المنطقة[١] .

---

(١) النشاط إما أن يكون صناعياً أو زراعياً فإن كان صناعياً كانت الحركة كبيرة إذ يستلزم الأمر انتقال العمال والصناع يومياً من المصانع وإليها .

بعد ذلك يقارن الخط بخطوط أخرى مماثلة له وذلك ببحث إحصائياتها للوصول إلى الرقم الذى يصح أن يتخذ فى التقدير وهذا الرقم يقدر بالكيلو متر نفس فى العام .

حركة البضائع :

تقدر حركة البضائع بمقارنة الخط بالخطوط الأخرى المماثلة له والتى تجوب مناطق شبيهة من حيث نشاطها الاقتصادى . وتقدر حركة البضائع بالكيلو متر طن فى العام .

ويجب عدم إغفال ما قد يصيب المدن والمنطقة من تطور وخصوصاً إذا كان الخط يصل بين ميناء وداخلية البلاد فان الموانى أكثر البلاد قابلية للتوسع .

البحث الثانى : الدخل أو الإيراد

بعد تقدير مقدار الحركة بالكيلومتر نفس للركاب وبالكيلومتر طن للبضائع وذلك فى العام تضرب هذه الأرقام فى الأجر عن الكيلو متر للحصول على الدخل .

والأجر عن الكيلو متر أكبر فى الخطوط القصيرة منه فى الخطوط الطويلة وذلك لأن مصاريف التشغيل للكيلو متر فى الأولى أكبر منها فى الثانية . وهذه المصاريف عبارة عن مصاريف الجر للكيلو متر الواحد مضاف إليها مصاريف تشغيل المحطات للكيلومتر الواحد أيضاً وكذلك مصاريف صيانة الكيلو متر . فاذا كان الخطان الطويل والقصير من مرتبة واحدة كانت مصاريف الجر واحدة وكذا مصاريف الصيانة ولكن مصاريف تشغيل المحطات أكبر فى حالة الخطوط القصيرة وذلك لزيادة عدد المحطات فى الكيلو متر .

وتسير السكك الحديدية المختلفة على قاعدة جعل الأجر عن الكيلومتر فى المسافات القصيرة عالياً وتقلله للمسافات الطويلة . وفيما يلى الأجر عن الكيلو متر نفس فى السكك الحديد المصرية .

الدرجة	عند ١٠٠ كيلو متر	عند ١٠٠٠ كيلو متر
أولى	٥ مليم	٤٫٠٢٥ مليم
ثانية	٢٫٥ »	١٫٩٤٥ »
ثالثة	١٫٢٥ »	٠٫٩٧٠ »

وتتوقف أجور البضائع على نوعها ويمكن معرفة ذلك بالرجوع إلى النشرات التى تصدرها السكك الحديدية المختلفة . وعلى العموم فإن أجور البضائع عن الطن كيلو متر أرخص فى حالة البضائع الرخيصة ذات الكميات الكبيرة وأغلا فى حالة البضائع الثمينة التى ترسل بكميات قليلة .

البحث الثالث : المصروفات

تتكون المصروفات مما يأتى :

(١) مصاريف التشغيل وهذه تشمل أجور الموظفين والعمال اللازمين لتسيير الخط .

(٢) مصاريف الصيانة .

(٣) تكاليف الجر .

ويمكن تقدير هذه المصاريف بمقارنة الخط بالخطوط المشابهة له وذلك بالرجوع إلى إحصائياتها .

البحث الرابع : الريع

إذا استنزلنا المصروفات من الدخل كان الباقى هو الريع ولكى يكون الخط ذا قيمة مادية يجب أن يغطى ريعه ربح رأسماله ويعطى زيادة تدفع كأقساط تستنزل من رأس المال .

فمثلا إذا قدر الريع فى العام بمبلغ ٥٠٠٠٠ جنيه

وكان ربح رأس المال = ٤٪

فإذا قدرنا أن رأس المال سيدفع فى مدة خمسين عاما أو ما يعادل ٢٪ سنويا كان الريع يعادل ٦٪ من رأس المال .

وإذن يكون رأس المال الذى يصح أن يصرف على الخط = ٥٠٠٠٠ ÷ ٦٪

= ٨٣٥٠٠٠ جنيه

وبمعرفة مقدار ما يتكلفه الكيلو متر فى المتوسط يمكننا تحديد تكاليف الخط وبالتالى المدة التى يتسنى سداد رأس المال خلالها . فإن كان الخط يتكلف مليون جنيه مثلا كان $\frac{٥٠٠٠٠ \times ١٠٠}{١٠٠٠٠٠٠}$ = ٥٪ فى السنة هو مايغطى ربح رأس المال والقسط وحيث أن سعر الربح ٤٪ فيكون القسط فى العام يساوى ١٪ من رأس المال أى يدفع رأس المال فى مائة سنة .

ويتكلف الكيلو متر من الخط فى مصر نحو الأربعة آلاف جنيه ويبلغ خمسة أمثال هذا القدر فى سويسره وذلك فى المتوسط .

المنفعة العامة :

قد تتطلب المنفعة العامة بناء خط إلى جهة ما لأغراض سياسية أو حربية وفى هذه الحالة لا يكون للبحوث السابقة أى وزن فى تقرير إقامة الخط . ومن العوامل السياسية ربط حدود البلاد بداخليتها وإلا انعزلت عنها مما يعطى الفرصة للبلد المجاور أن تنشط الحركة بينها وبين تلك الحدود فتزيد الألفة وتختلف الروابط وفى هذا من الخطر مالا يمكن إغفاله .

وأما الخطوط الحربية فهى تقام لأغراض الدفاع عن البلاد وهى موجودة فى البلاد الأوروبية جميعها ومنها فى مصر خط الصحراء الغربية .