الباب الثامن

مشاريع السكك الحديدية

البحوث الهندسية

اختيار الطريق :

إذا ما تم بحث موضوع إقامة خط حديدى من الوجهة الاقتصادية وتحدد رأس ماله أو بمعنى آخر التكاليف الإنشائية للكيلومتر الواحد يقوم المهندس بعمل مباحثه لاختيار الطريق الموافق فإذا كان الخط يسير خلال منطقة آهلة بالسكان فلا يكون الخط مجديا إلا إذا مر ببلدان خاصة فى المنطقة تعتبر النقط الحاكمة له وكلما اقتربت هذه النقط الحاكمة كان الخط أكثر تحديدا والمناطق الآهلة بالسكان لا تفتقر فى العادة إلى خرائط مساحية كنتورية لذا فإن الخط يحدد عليها بالتقريب أولا ثم يدرس على الطبيعة أملا فى تحسين موضعه .

أما إذا كانت النقط الحاكمة متباعدة اتسعت المناطق بينها وكثرت الحلول بحيث يصبح من الضرورى بحث المناطق بأكملها للاهتداء إلى الحل الأوفق من الوجهة الاقتصادية . فإن لم يكن لهذه المناطق خرائط قويمة رسم الخط عليها أثناء المرور فى الطبيعة وربما عدل أكثر من مرة على الطبيعة أيضا .

والحالة العامة هى حالة مرور خط حديدى بمناطق غير آهلة بالسكان لاتوجد بها نقط حاكمة إلا تلك التى قد تحددها مجموعة المجارى المائية فى المنطقة أو التى تكون لها ميزات طوبوغرافية خاصة وذلك للوصول إلى مناطق زراعية أو صناعية وراءها . وفى هذه الحالة يحتاج الأمر إلى دراسة طوبوغرافية المنطقة دراسة وافية للاسترشاد إلى الحل الأوفق .

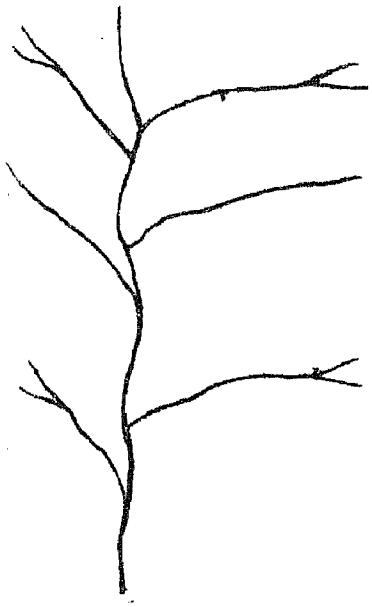
المساحة الاستطلاعية لاختيار الطريق :

الغرض من هذه المساحة الاستطلاعية هو إمكان تعيين الخط المحتمل على خريطة المساحة أو على الأرض نفسها أو عليهما معا وذلك لاتباعه فى عمل المساحة التفصيلية . فاذا لم تكن للمنطقة خرائط مساحية رسمت كروكيات بدلها وعين الخط عليها وعملت كروكيات مكبرة للنقط الحاكمة . وتحدد فى هذه المرحلة مواقع الخيام ووسائل النقل وغيرها من التسهيلات .

ولهذه المساحة الاستطلاعية غرضان :

الأول : بحث المناطق الواقعة بين النقط الحاكمة بحثاً عاماً للتعرف عليها وذلك من اجل اختزالها إلى منطقة أو اثنتين يحتمل أن يخترقهما الخط فيما بعد . فإذا كان لهذه المناطق خرائط مساحية

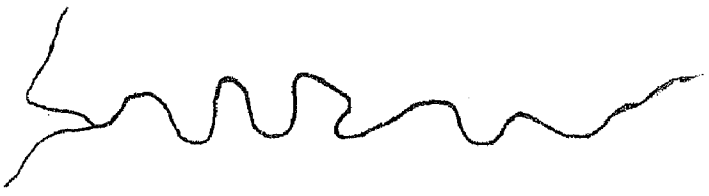
وافيـة استغنى عن هذه العمليـة وعين موضع الخط بالتقريب على الخريطة رأساً . وإن لم تكن هناك خرائط مساحية فأول ما يعمله المهندس هو بحث كيفية تصرف المجارى المـائية فى المنطقة لارتباط ذلك بطوبوغرافيتها . فترسم كروكيات لهـا على ورق المربعات تبين المجـارى الرئيسـية وفروعها وبمعلوميـة مناسيب بعض النقط على هذه المجـارى والفروع يمكن رسم خطوط الكنتور على وجه التقريب . ويجدر بمن يقوم بهـذه العملية أن تكون له دراية كافيـة بالجيولوجيا وعلاقتهـا بالطوبوغرافيا .



شكل نمرة (٩٩)

فمثلا إذا كان النهر يسـير فى واد وكانت أفرعه اليمنى أقل انفراجاً من أفرعه اليسرى دل ذلك على أن جانبـه الأيمن أكثر انحداراً من جانبه الأيسر انظر الشكل نمرة (٩٩) .

وإذا كان مجرى النهر ملتوياً دل على أنه يسير فى واد مسطح انظر شكل نمرة (١٠٠) وإن كان مجراه مستقيما دل على أنه يسير فى أرض منحدرة وهكذا .



شكل نمرة (١٠٠)

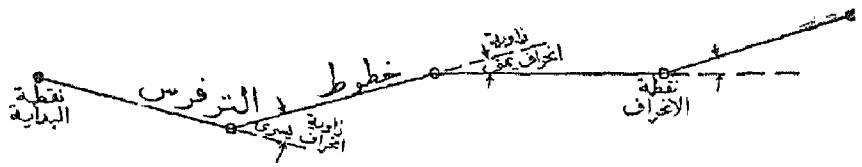
وطبيعى عند بحث المنطقة بين نقطتين حاكمتين أن يتبع الطريق المباشر بينهما والمستقيم إن أمكن أملا فى إيجاد حل موافق . ويحسن دراسة المناطق المجاورة من الناحيتين لاحتمال التجاء الخط إليها .

ويجب أن يعطى المهنـدس ضمن تعليماته فـكرة عن التـكاليف المسموحة للـكيلو متر الواحد إذ ليس أسهل من إقامة خط حديدى من الدرجة الأولى بين بلدين إذا ضربنا صفحاً عن التكاليف الباهظة التى قد يتكلفها الـكيلو متر من مثل هـذا الخط . فبمعلومية ذلك يستطيع المهندس أن يختزل أكثر الطرق المحتملة ويهتدى إلى الطرق الأكثر ملاءمة . والخط لا يكون رخيصاً إلا إذا تأبط الأرض إذ يقل الحفر والردم . وليس من الروية إذا كان انحدار واد ما ١٠ ٪ مثلا أن يعمل انحدار الخط ٦ ٪ أى

أقل من انحدار الوادى بل الأفضل أن يعمل أكبر منه لاحتمال زحزحة الخط لتفادى إقامة الأعمال الصناعية كالكبارى والنفق وخلافها .

الثانى : عمل بحوث دقيقة لتعيين موضع خط الترفرس الذى يتبع فى عمل المساحة التفصيلية . ويجب أن يختار موضعه بحيث يكون فى منتصف المنطقة لاحتمال انحراف الخط لإحدى الناحيتين .

والترفرس هو مجموعة من الخطوط المتتالية يتصل الواحد منها بالذى يليه فى نقطة تعرف بنقطة الإنحراف صانعاً معه زاوية تسمى زاوية الإنحراف وتقاس أطوال هذه الخطوط من البداية . وتعين نقط الإنحراف على الطبيعة وكذا نقط الهكتومترات بدق أوتاد طويلة فى مواضعها قطرها خمسة سنتيمترات وتميز نقط الإنحراف عن سواها بلوحات من الخشب طولها ٢٠ سنتيمتراً تدق فى الأرض إلى يمين النقطة وعلى بعد خمسة سنتيمترات منها وتميل فى اتجاهها ويكتب على سطحها الظاهر كيلو متراج النقطة . أما زاوية الإنحراف فتقاس بالثيودوليت وهى عبارة عن الزاوية المحصورة بين امتداد الخط السابق واتجاه الخط التالى انظر شكل نمرة (١٠١) وتدون فى المذكرات كزاوية انحراف يمنى أو يسرى وذلك تبعاً



شكل نمرة (١٠١)

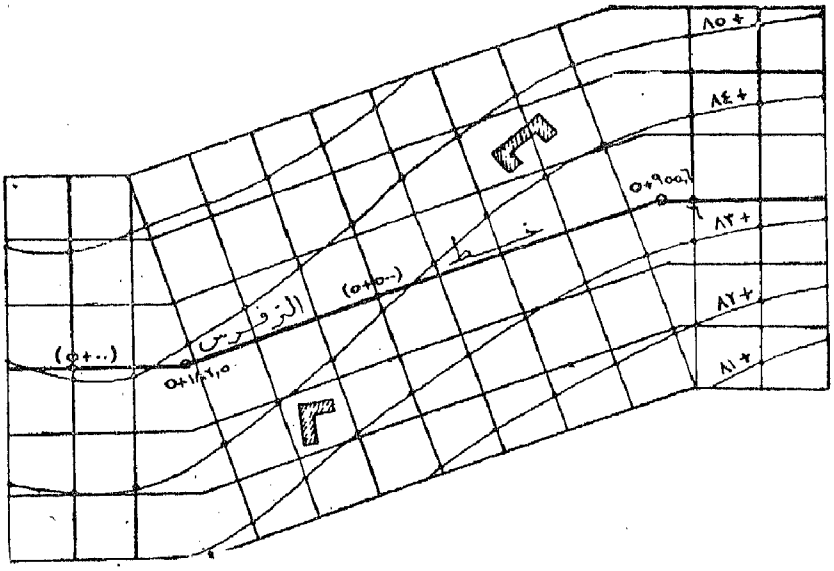
لانحراف الخط التالى إلى يمين امتداد الخط السابق أو إلى يساره . وتؤخذ مناسيب خط الترفرس عند الأوتاد وعند نقط التغيير فى سطح الأرض . ثم يرسم القطاع الطولى لها أولا بأول للاستدلال منه على الانحدار المناسب إذ ربما كان من الروية تعديل خط الترفرس فى هذه المرحلة . فإذا ظهر أن خط الترفرس موافق اتبع فى عمل المساحة التفصيلية .

المساحة التفصيلية :

الغرض من هذه المساحة هو عمل خرائط طوبوغرافية وافية لمناطق الطرق المقترحة من أجل توقيع الخط عليها . وإذا كان الغرض من البحث الاستطلاعى المنطقة هو اختزال الطرق إلى اثنين أو ثلاث فإن الغرض من المساحة التفصيلية هو اختزال هذه الطرق إلى طريق واحد وذلك بمقارنة انحداراتها الحاكمة وأطوالها وأقطار منحنياتها ومقدار الحفر والردم والأعمال الصناعية كالكبارى والنفق وغيرها وتربة أساساتها .

وتعمل المساحة التفصيلية بعرض ٥٠٠ متراً فى العادة وبعرض أكبر إذا كانت الأرض منبسطة وأقل إذا كانت جبلية وتستنتج مواضع الخطوط الكنتورية بإيجاد مواقعها على الاتجاهات المتعامدة

المقامة من النقط الهكتومترية ونصف الهكتومترية إن دعا الحال إلى ذلك . أنظر شكل نمرة (١٠٢) وتوقع فى نفس الوقت جميع التفصيلات من منشآت وطرق ومجارى مائية وخلافها .



شكل نمرة (١٠٢)

والغرض من المساحة التفصيلية هو إعداد الخرائط الآتية :

(١) خريطة طوبوغرافية عامة مقاس ١ : ٢٠٠٠٠ أو ١ : ٢٥٠٠٠ مبين عليها الخطوط الكنتورية .

(٢) خريطة طوبوغرافية كنتورية مقاس ١ : ٢٠٠٠ أو ١ : ٥٠٠٠ مبين عليها جميع التفصيلات بالمنطقة .

التخطيط :

والآن إذ أعدت الخرائط الطوبوغرافية تأتى عملية التخطيط فيضع المهندس نصب عينيه حالتين قصوتين الأولى خط من الدرجة الأولى يتألف من مستقيمات طويلة تتصل ببعضها بأجزاء قصيرة من منحنيات سهلة وهذه الحالة لا تصلح إلا إذا كانت طبيعة الأرض توافق ذلك . والثانية خط يتألف من منحنيات حادة تتبع طوبوغرافية الأرض وتتصل ببعضها بمستقيمات قصيرة . وفيما بين ذلك تتدرج الحلول .

فإذا قصد أن يكون الخط من الدرجة الأولى أى يتكون فى غالبيته من مستقيمات طويلة يؤتى بخيط من الحرير الأسود ويفرد على الخريطة من نقطة البداية ويحرك على الخطوط الكنتورية فبدراسة المواقع المختلفة للخيط يمكن الاستدلال على أنسبها وذلك إلى نقطة يحسن الانحراف بعدها وهكذا تعين مواقع الخطوط المستقيمة . وتوصل هذه الخطوط ببعضها بواسطة منحنيات وذلك بالاستعانة بقطعة من ورق الشفاف

مرسوم عليها من نفس المركز ولنفس مقياس الرسم منحنيات مختلفة الأقطار وبوضع هذه بين المستقيمات يختار أنسبها .

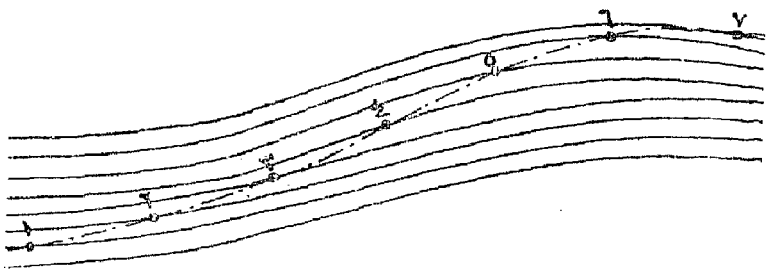
أما إذا كان الخط يتكون فى غالبيته من منحنيات توضع المنحنيات الشفافة أولا على أجزاء الطبوغرافيا فى المواقع اللائمة ويختار أنسبها بعد دراسة تأبطها لخطوط الكنتور ثم توصل هذه بمستقيمات تمسها .

ويحسن فى كل الحالات أن تكون المستقيمات أطول ما يمكن وأن يتفادى عمل منحنيات عكسية على قدر المستطاع وأن يكون البعد بين منحنيين متعاكسين يساوى على الأقل نصف مجموع منحنيي انتقالها مضافا إليه عشرين مترا . راجع باب منحنيات الانتقال . وإذا احتوى الخط فى جزء من انحداره الحاكم على منحنى قل الانحدار فى ذلك الجزء بما يعادل مقاومة الانحناء وإذا احتوى على نفق قل الانحدار الحاكم فى النفق بمقدار الخمس وذلك فى طول النفق وفى طول آخر قبله من جهته السفلى يعادل طول قطار . وليس من الروية تعديل انحناء جزء من الخط إذا كان ذلك يكلف إقامة أعمال صناعية لامبرر لها طالما كانت هناك منحنيات بنفس القطر على الخط .

ويجب على المهندس قبل البدء فى مد الخط على اللوحة الطوبوغرافية أن يراعى نقطا عدة .

فأولا : يجب عليه دراسة النقط الحاكمة فبمعلومية الفرق بين منسوبى نقطتين متعاقبتين تتعين له الانحدارات المتوسطة بينها وبدراسة تغيرات السطح تتعين له الانحدارات الجزئية فمثلا إذا كان الفرق بين نقطتين حاكمتين يعطى انحدارا متوسطا مقداره ٠.٥٪ فقد لاتسمح الطبيعة باتخاذ هذا الانحدار بين النقطتين وقد يكون من اللائم للطبيعة اتخاذ انحدارات ٠.١٠٪ مثلا لجزء من الطريق و ٠.٨٪ لجزء آخر ثم ٠.٣٪ لجزء ثالث وأفقيا فى الجزء الباقى وهكذا وذلك حتى يتأبط الخط الأرض على قدر المستطاع .

وإذا كانت خطوط الكنتور تسير متوازية على وجه التقريب كما هو مبين فى الشكل نمرة(١٠٣) وكان مقياس الرسم ١ : ٢٠٠٠ مثلا وكان الفرق بين الكنتور والذى يليه نصف متر فللوصول من كنتور إلى آخر بانحدار مقداره ٠.٨٪ مثلا .



شكل نمرة (١٠٣)

يلزمنا أن نسير مسافة مقدارها ٤ ÷ ٠٫٨ ٪ = ٥ر٦٢ مترا

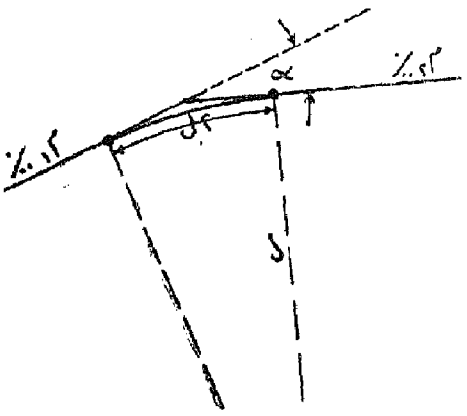
وحيث أن مقياس الرسم ١ : ٢٠٠٠ إذن تساوى هذه المسافة على الخريطة

٦٢٥٠ × $\frac{١}{٢٠٠٠}$ = ٣ر١٢٥ سنتيمترا

فيفتح الفرجار فتحة مقدارها ٣ر١٢٥ سنتيمترا وبوضع سن الفرجار على النقطة ١ تتعين النقطة ٢ على الكنتور التالى ثم ٣ ، ٤ ، ٥ وهكذا أى يفتح الفرجار فتحة تساوى الفرق بين منسوب الكنتورين مضروبا فى مقياس الرسم ثم مقسوما على الانحدار .

وثانياً : يجب عليه دراسة مواقع المحطات وأطوالها والانحدارات المسموحة بها داخل حدودها . ولمعرفة أطوال المحطات يلزم دراسة المنحنيات الرأسية .

إذا وقعت محطة على أحد الميول التخطيطية وكان ذلك الميل أكبر من الانحدار المقابل لمقاومة السير وجب تخفيضه فى طول المحطة وجعله ٥ر٢٠٠ ٪ أو أقل . ولا يجمل بنا أن نترك الخط فى هذه الحالة[1] منكسرا بل نوصله بمنحن رأسى يعمل على هيأة منحنى انتقال فى بعض السكك الحديدية أو على هيأة قطع مكافئ أو منحنى دائرى وهو الشائع .



شكل نمرة (١٠٤)

فإذا كانت زاوية الانفراج تساوى α[2] انظر شكل نمرة (١٠٤) .

كانت ظا α = الفرق بين الميلين = $\frac{م_١ - م_٢}{١٠٠٠}$

حيث م١ ٠٫٠ ٪ ، م٢ ٠٫٠ ٪ ميلى الانحدارين .

ولكن ظا α = $\frac{\text{الطول الذى يحصل فيه الانحناء}}{ر}$ = $\frac{٢ ل}{ر}$

∴ ل = $\frac{م_١ - م_٢}{٢٠٠٠}$. ر

وتؤخذ ر من ٥٠٠٠ — ١٠٠٠٠ متر فى الخطوط الرئيسية وتقل عن ذلك فى الخطوط الفرعية وكذلك عند مداخل المحطات التى تقف فيها القطارات فى الخطوط الرئيسية حيث تصل إلى ٢٠٠٠ مترا وفى هذه الحالة تصبح ل مترا = م١ — م٢ .

وطول المحطة هو الطول الواقع بين الإبرتين المتطرفتين على الخط الرئيسى وذلك فى حالة الخط المستوى . أما إذ وقعت المحطة على انحدار مخفف إلى ٥ر٢٠٠ ٪ أو أقل وكان يتصل من جانبيه بانحدارين آخرين لزم

(١) وفى الحالات الشبيهة عند مواضع تقابل الانحدارات الأخرى .

(٢) α زاوية صغيرة جدا .

زيادة الطول السابق من الجانبين بطول نصف المنحنى الموصل بين الانحدارين أى بزيادة الطول (م١ + م٢) — ٢ م مترا .

حيث م١ ..٪ ، م٢ ..٪ الانحدارين الخارجيين .

م ..٪ الانحدار داخل طول المحطة .

وثالثاً : قد تكون هناك نقط ثانوية حاكمة تظهر أثناء التخطيط كمنخفض بين سلسلة ارتفاعات أو كجزء ضيق من مجرى نهر فبإمرار الخط بهذه المواقع الجديدة وتعديل التخطيط ليتفق مع ذلك قد تقل التكاليف قلة تبرر الالتجاء إلى هذا التعديل . ويستحسن أن يستعان فى إجراء التعديلات بالقطاع الطولى لخط الترفرس .

ورابعاً : إذا كان الخط يسير فى محاذاة نهر فيجمل بالمخطط أن يضع الخط خارج منطقة الفيضان صوناً للجسور من أن تطغى عليها المياه وتهدمها .

وخامساً : مفاداة المرور فى الأراضى الرخوة بالالتفاف حولها إذ الجسور والقطوع فى مثل هذه الأراضى تتطلب إقامة أعمال واقية خاصة تزيد من تكاليف الخط .

وأخيراً قد توافق الخطوط الكنتورية فى بعض الأجزاء مرور الخط بها ومع ذلك يفضل حيده عنها لدواع موضعية وذلك خشية زيادة التكاليف لاحتواء هذه الأجزاء على عقارات ثمينة أو أراض ذات قيمة .

وعلى كل حال فبالتمرين يستطيع المخطط أن يدرك شكل القطاع الطولى وذلك بنظرة واحدة إلى خطوط الكنتور التى يقطعها الخيط وذلك تمكنه من إجراء التعديلات بغاية السهولة .

القطاع الطولى :

بعد الانتهاء من توقيع الخط على الخريطة الطوبوغرافية يقوم المهندس بعمل القطاع الطولى على ورق المربعات وذلك بمقياس ١ : ٢٠٠٠ أو ١ : ٥٠٠٠ للطول ، ١ : ٢٠٠ للارتفاعات ثم يوقع الخط على هذا القطاع بالاستعانة بالخيط الأسود . ويراعى أن تعمل انحداراته بحيث تتفق مع قيمة الخط .

وتعبر المسافات الرأسية بين مناسيب الخط ومناسيب سطح الأرض عن ارتفاعات الجسور والقطوع وتحسب الكميات من هذه الارتفاعات وتدرس كيفية توزيعها ومقدار النقل الزائد وكذا القرض والاستهلاك . ومن ذلك يستطيع المهندس أن يقوم بتعديل انحدارات الخط لتصبح تكاليفه أقل يمكن وذلك بتعديل كميات الحفر وتحسين التوزيع إلى غير ذلك من التنقيحات . فإن كانت لا تزال هناك نقط على الخط تستدعى التحسين فلا مناص من الرجوع إلى الخريطة الطبوغرافية إذ بتعديل التخطيط عند تلك النقط وذلك بزحزحته قليلا ذات اليمين أو ذات اليسار قد تقل القطوع والجسور .

وعلى كل فيجب أن يراعى المخطط النقط الآتية :

(١) ملافاة القطوع والجسور العالية .

(٢) تساوى كميات الحفر والردم على قدر الإمكان .

(٣) جعل النقل الزائد أقل ما يمكن .

(٤) تلافى إقامة كبارى أو أعمال صناعية ذات كلفة .

فاذا تم ذلك ولم يكن هناك نقل زائد أو أعمال صناعية كانت نفقة الخط عبارة عن تكاليف الحفر فقط وتتوقف هذه النفقة إذن على مادة الحفر فى القطوع .

تلخيص :

يحسن دائماً عند عمل التخطيط أن يبدأ بتوصيل النقط الحاكمة ببعضها بخطوط من الدرجة الأولى أى بخطوط مباشرة ذات انحدارات سهلة ثم بعد ذلك يعدل التخطيط بزيادة الانحدارات فى بعض أجزائه وتعديل التخطيط فى البعض الآخر ليقل الحفر والردم وهكذا إلى أن نتحصل على خط توازى تكاليف الكيلو متر منه التكاليف المسموحة فيكون هذا هو التخطيط الموافق .

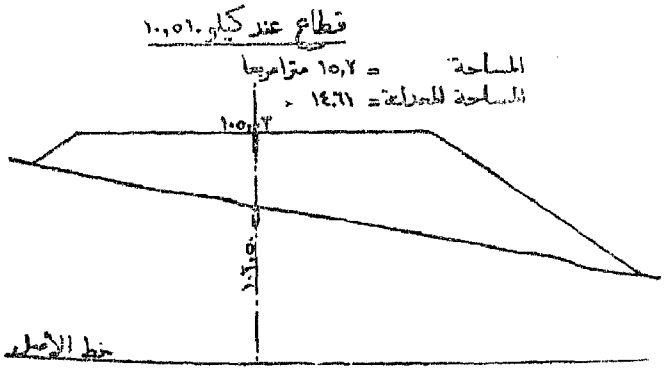
بعد ذلك يرسم القطاع الطولى للتخطيط النهائى على النحو المبين فى شكل نمرة (١١٤) وتوضح عليه الأعمال الصناعية من كبارى وبرابخ وحيطان ومحطات وخلافها .

القطاعات العرضية :

ثم ترسم القطاعات العرضية للخط بالاستعانة بأرانيك أساس السكة كما جاء بالباب الثالث . وتؤخذ هذه القطاعات على أبعاد من بعضها تكفى لحساب الحفر والردم بدقة . وتكون على وجه التقريب كما يأتى :

(١) فى الأراضى المنبسطة : من ٢٥ — ٣٠ مترا فى الخطوط المستقيمة .
ومن ٥ — ١٠ مترا فى المنحنيات .

(٢) فى الأراضى الجبلية : عشرة أمتار وأحياناً خمسة فى الخطوط المستقيمة .



شكل نمرة (١٠٥)

ومن ٥ — ١٠ مترا فى المنحنيات .

وترسم هـذه القطاعات على ورق المربعات لمقياس ١ : ١٠٠ أو ١ : ٢٠٠ ويبين عليهـا خط الأصل وسطح الأرض بالحـبر الأسود ويهشر الأخير إذا كانت التربة صخرية ويترك بدون تهشير إذا كانت الأرض عادية . ويوضح المحور ويكتب عليـه منسوب سطح الأرض ومنسوب أساس السكة انظر شكل نمرة (١٠٥) .

انتفاخ المادة فى حالة الجسور :

ثم تحسب المساحات بالطرق المعروفة أو تقاس بالبلانيمتر وهو الأفضل وتـكتب بجوار القطاع . فإذا كان القطاع جسراً عدلت مساحته تبعاً لانتفاخ مادته ولتوضيح ذلك نقول إن كل المـواد على الإطلاق تزداد فى الحجم إذا استخرجت من القطوع فإذا أُلقيت فى الجسور وأعطيت الوقت الـكافى لانضغاطها نتيجة الحركة فوقها فإنها تقل فى الحجم ومنها ما يبقى حجمه بعد الانضغاط أكبر من حجمه قبل الحفر ومنها ما ينقص عنه . وعلى العموم فإن الزيادة تـكثر فى حالة الصخر وتقل فى حالة المواد الترابية ونذكر فى الجدول الآتى معامل الانتفاخ لبعض المواد .

المـادة	معامل الانتفاخ قبل الانضغاط	معامل الانتفاخ بعد الانضغاط
حجارة كبيرة	١,٥٠	١,٤٠
حجارة صغيرة	١,٧٠	١,٣٥
طباشير	١,٨٠	١,٤٠
تراب	١,٣٠	٠,٩٠
رمل رفيع	٠,٩٥	٠,٨٩
زلـــط	١,٠٠	٠,٩٢

وحيث أن المواد التى نصادفها فى الجسور قد تختلف كثيراً عن هذه المواد . من أجـل ذلك يحسن عمل التجارب العملية فى كل حالة لتقدير معامل انتفاخ كل مادة إذ يلزم تعـديل مساحة قطاع الجسر بمقدار معامل الانتفاخ وذلك عند تقدير الحجم اللازم من القطوع لملء الجسور . فمثلا إذا كانت مساحة قطاع جسر ما ١٥٫٢ متراً مربعا وكان معامل الانتفاخ ١٫٠٤ فإن مساحة القطع اللازم لملء هـذا الجسر = ١٥٫٢ ÷ ١٫٠٤ = ١٤٫٦١ متراً مربعا . وبعـد الانتهاء من تعديل مساحات الجسور تـكتب المساحات كلها وأبعادها عن بعضها فى الجدول الآتى :

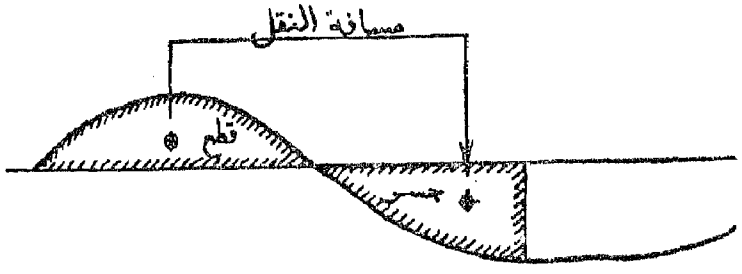
كيلو متراج	مساحة م٢		مساحة متوسطة م٢		مسافة متر	حجم م٣		التوزيع			ملحوظات
	جسر	قطع	جسر	قطع		جسر	قطع	في نفس القطاع	مع النقل		
									جسر	قطع	
٠ر٠٠٠		٧٠								٤٧٥	كيلو متراج نصف الكمية = ٠ر٠٥٢
٠ر٠١٠		٢٥		٤٧ر٥	١٠		٤٧٥			٩٤٥	
٠ر٠٤٠		٣٨		٣١ر٥	٣٠		٩٤٥			١٠٢٠	
٠ر٠٧٠		٣٠		٣٤ر٠	٣٠		١٠٢٠			٩٠٠	
٠ر١٠٠		٣٠		٣٠ر٠	٣٠		٩٠٠			٣١٠	
٠ر١٢٠		٥	٢	١٧ر٥	٢٠	٤٠	٣٥٠	٤٠			
٠ر١٤٠	٤		٩ر٥	٢ر٥	٢٠	١٩٠	٥٠	٥٠	١٤٠		
٠ر١٦٠	١٥		٢٠ر٠		٢٠	٤٠٠			٤٠٠		
٠ر١٨٠	٣٥		٢٧ر٥		٢٠	٥٥٠			٥٥٠		
	٣٠										

حساب الحجوم :

يكتفى عند حساب الحجوم بأخذ متوسط القطاعين على الجانبين مضروباً فى المسافة بينهما ولا داعى لاستعمال قوانين أخرى أكثر ضبطاً كقانون سمبسون وخلافه طالما سطح الأرض مأخوذ من واقع الخريطة الطبوغرافية .

مسافة النقل بالحساب :

مسافة النقل تساوى البعد بين مركز ثقل القطع ومركز ثقل الجزء من الجسر الذى يملأ هذا القطع انظر شكل نمرة (١٠٦) . ويمكن للسهولة اعتبار مركز الثقل واقعاً عند منتصف الكمية .



شكل نمرة (١٠٦)

ولاستنتاج مسافة النقل من الجدول السابق نقول إن لدينا كمية حفر مقدارها ٣٦٥٠ م^3 عند الكيلو ١٢٠ر٠ ولإيجاد كيلو متراج نصف الكمية أى كيلو متراج المقدار ١٨٢٥ م^3 نقول إن لدينا عند الكيلو ٤٠ر٠ حفر مقداره ٤٧٥ + ٩٤٥ = ١٤٢٠ م^3 .

وهذا يكمله مقدار ٤٠٥ م^3 تحفر فى مسافة $\frac{٤٠٥}{١٠٢٠} \times ٣٠ = ١٢$ متراً . وإذن فكيلو متراج مركز ثقل القطع يقع عند كيلو ٠٤٠ر٠ + ٠١٢ر٠ = ٠٥٢ر٠

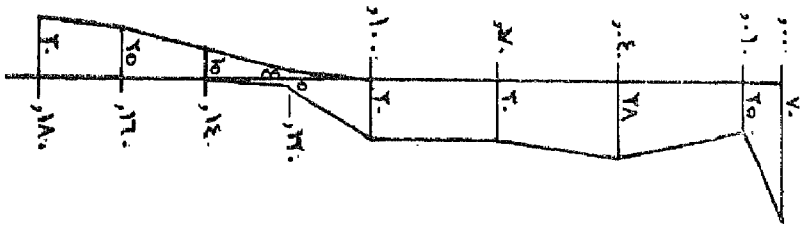
وبالمثل يمكن استنتاج كيلو متراج مركز ثقل الجزء من الجسر الذى تملؤه الكمية ٣٦٥٠ م^3 . ويكون البعد بين مركزى الثقل هو عبارة عن مسافة النقل .

وليست مسافة النقل المحسوبة بهذه الطريقة هى المسافة المضبوطة إذ لا يقع مركز ثقل الجزء من القطع أو الردم فى موضع نصف كميته وإنما هو تقريب يستعمل كثيرا فيعطى فى غالب الأحيان نتيجة لا بأس بها .

وهناك طريقتان بيانيتان لتعيين مسافة النقل بالضبط .

الأولى : طريقة منحنى التوزيع المساحى mass profile .

وتتلخص فى رسم منحنى قاعدته محور الخط الحديدى وإحداثياته مساحات القطاعات فإذا كان القطاع حفرا رسم إحداثى القطاع من أعلا وإن كان ردماً رسم من أسفل وهكذا كما هو موضح فى الشكل نمرة (١٠٧) .



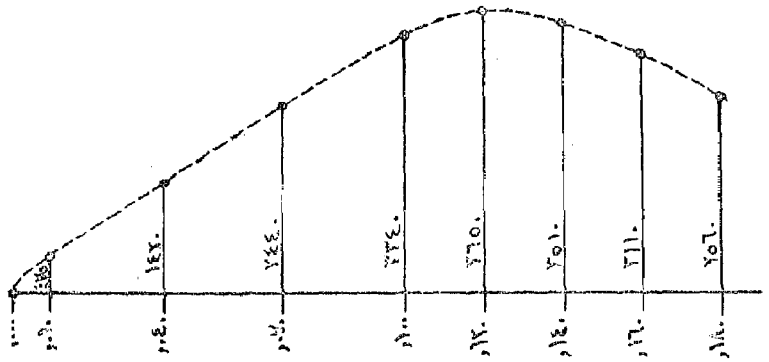
شكل نمرة (١٠٧)
منحنى التوزيع المساحى

وتعبر المساحة بين قطاعين عن كمية الحفر أو الردم بينهما . ويحسن لتساوى الحفر والردم على طول الخط أن تتساوى المساحات فوق الخط مع المساحات تحته . ويحسن عند التوزيع مراعاة أن تكون مسافات النقل أقل ما يمكن .

ولإيجاد مركز ثقل القطع نأخذ العزوم لمساحاته حول أى نقطة . وبالمثل نأخذ العزوم لنفس المقدار من الردم لإيجاد مركز ثقله أيضاً فتكون مسافة النقل هى البعد بين مركزى الثقل . وواضح أن هذه الطريقة تعطى مسافة النقل بالضبط .

الثانية : طريقة منحنى التوزيع الكمى mass curve .

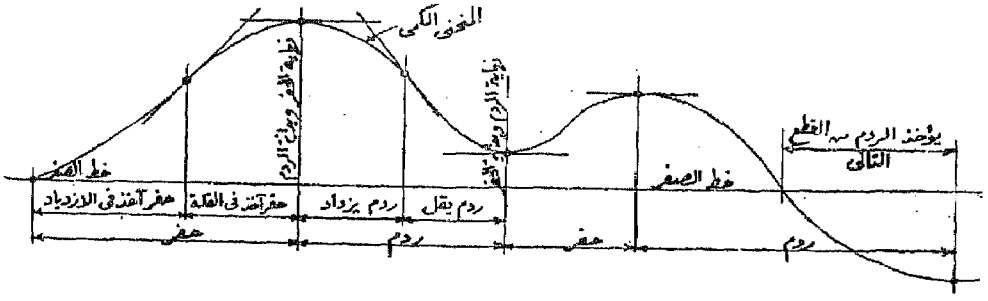
منحنى التوزيع الكمى هو منحنى قاعدته محور الخط الحديدى وإحداثيه عند أى نقطة عبارة عن كمية الأتربة حتى تلك النقطة وبتعبير رياضى هو تكامل منحنى التوزيع المساحى . ونبين فى الشكل نمرة (١٠٨) منحنى التوزيع الكمى للمثال السابق ويتضح منه أن كمية الحفر عند البداية صفرا وعند الكيلو



شكل نمرة (١٠٨)
منحنى التوزيع الكمى

٠٫٠١٠ يصبح ما لدينا من مادة ٤٧٥ م^3 وعند الكيلو ٠٫٠٤٠ تزداد كمية المادة كلها إلى ١٤٢٠ م^3 وعند الكيلو ٠٫١٢٠ يكون ما لدينا من مادة قد بلغ ٣٦٥٠ م^3 وهو نهاية الحفر تقريباً . فإذا وصلت الإحداثيات بمنحنى أمكن استنتاج أطول إحداثى وهو الموضع الذى ينتهى عنده الحفر بالضبط (كيلو ٠٫١٢١ على الرسم) وهذا هو نفس الموضع الذى يتساوى عنده إحداثى المساحة للحفر والردم فى منحنى التوزيع المساحى .

وإذا أخذ ميل منحنى التوزيع الكمى فى الازدياد دل ذلك على أن كميات الحفر آخذة فى الازدياد المضطرد وإن قل الميل دل على أن كميات الحفر آخذة فى القلة وإذا وصل الميل إلى صفر دل ذلك على أننا وصلنا إلى نقطة نهاية حفر وبداية ردم أو بالعكس . أنظر شكل نمرة (١٠٩) .



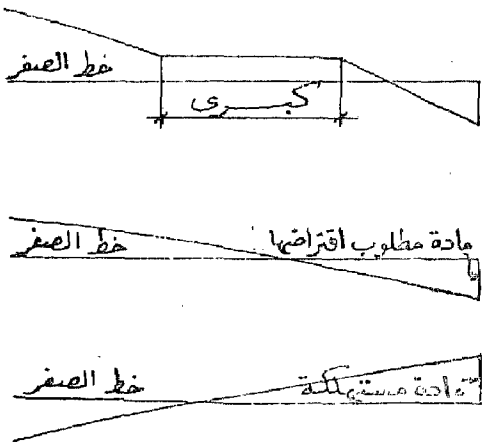
شكل نمرة (١٠٩)

وإذا قطع المنحنى خط الصفر دل ذلك على أن المادة قد تعادلت حتى تلك النقطة أى تساوى حفرها وردمها . وإذا انخفض المنحنى عن خط الصفر دل ذلك على أننا فى احتياج إلى مادة نجلبها من الجزء التالى وهكذا .

وعلى العموم فإنه إذا كان ميل منحنى التوزيع الكمى موجبا دل ذلك على حفر وإذا كان سالباً دل على ردم وإن كان صفرا دل على نهاية حفر وبداية ردم أو العكس وإن كانت الإحداثيات موجبة دلت على وجود المادة وإن كانت سالبة دلت على الاحتياج إلى مادة .

وإذا سار المنحنى أفقيا لجزء من طول الخط دل على أن الخط يتأبط الأرض فى ذلك الجزء أو دل على وجود أعمال صناعية ككوبرى أو خلافه لاتحتاج فى إقامتها إلى أتربة .

وإذا انتهى المنحنى بحيث كان له إحداثى موجب دل ذلك على وجود مادة زائدة يقتضى استهلاكها . وإذا انتهى بإحداثى سالب دل على الحاجة إلى مادة يتحتم اقتراضها . وفى كلتى الحالتين يحسن أن يعدل التخطيط إن أمكن لتلافى حدوث ذلك . انظر شكل نمرة (١١٠) .



شكل نمرة (١١٠)

النقل المسموح والنقل الزائد :

عند وضع شروط العطاء لإقامة أساس سكة حديدية تحدد مسافة النقل المسموح وهى المسافة التى ينتقل دونها المتر المكعب من الحفر فإذا زاد النقل عن هذه المسافة سمى بالنقل الزائد . ويحدد سعر النقل الزائد على أساس سعر النقل المسموح مضاف إليه تكاليف النقل عن كل خمسين مترا زيادة أو أكثر وذلك حسب الاتفاق .

مسافة النقل المسموح :

يتحدد طول النقل المسموح تبعا لطريقة النقل ونوع مادة الحفر وكذا مدى اتساع العملية . فإذا كانت كميات الحفر المنقولة لا تكاد تجزى المقاول نفقات إحضار آلات الحفر والقاطرات والعربات حتى الأخيرة منها فقط روعى أن تكون مسافة النقل المسموح صغيرة من ١٥٠ — ٣٠٠ مترا . أما إذا استعملت القاطرات فى العملية كبرت مسافة النقل المسموح ووصلت إلى كيلو متر وزيادة . وإذن يحسن إغفال بند النقل الزائد فى الأحوال التى تكون فيها كميات الحفر كبيرة ومداها محدود .

حد مسافة النقل :

ذكرنا قبلا أن سعر الحفر يتوقف على مسافة النقل فإن زادت هذه عن مسافة النقل المسموح زاد السعر بازدياد مسافة النقل الزائد . وهناك حد لذلك تتساوى فيه تكاليف المتر المكعب من الحفر المنقول

لمسافة النقل الزائد مع تكاليف استهلاك متر مكعب وتكاليف اقتراض متر مكعب بدله عند حد النقل .

فمثلا :

إذا كان سعر حفر المتر المكعب وردمه فى حدود النقل المسموح = ٥ قروش صاغ

وكان سعر استهلاك المتر المكعب من الحفر أى ردمه خارج حدود السكة = ١ قرش صاغ

فإن نفقات استهلاك المتر المكعب = ١ + ٥ = ٦ قروش صاغ .

ولنفرض أن تكاليف اقتراض المتر المكعب عند نهاية مسافة النقل = ٧ قروش صاغ

وأن مسافة النقل المسموح تساوى ٢٠٠ مترا .

وأن نقل الأتربة لكل ٥٠ مترا زيادة عن النقل المسموح تتكلف ½ قرش للمتر المكعب

فإذا رمزنا لمسافة النقل الزائد بالحرف ل مترا .

فإنه لكى يتساوى سعر حفر المتر المكعب ونقله لمسافة النقل الزائد مع نفقة استهلاك متر مكعب عند نقطة الحفر واقتراض متر مكعب بدله عند حد النقل ينتج أن :

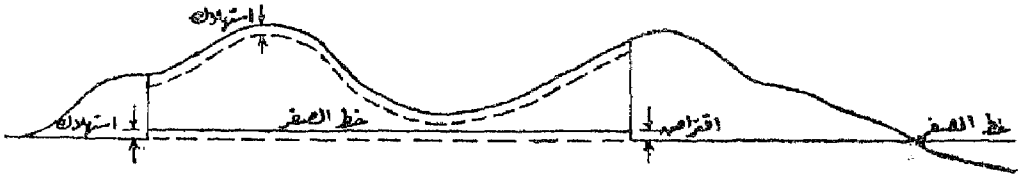
$$٥ + \frac{ل}{٥٠} \times ½ = ٦ + ٧$$

$$\text{أى } \frac{ل}{١٠٠} = ١٣ - ٥ = ٨$$

$$\therefore \text{ ل } = ٨٠٠ \text{ مترا}$$

وتكون مسافة النقل الكلية أى مسافة حد النقل = ٨٠٠ + ٢٠٠ = ١٠٠٠ مترا .

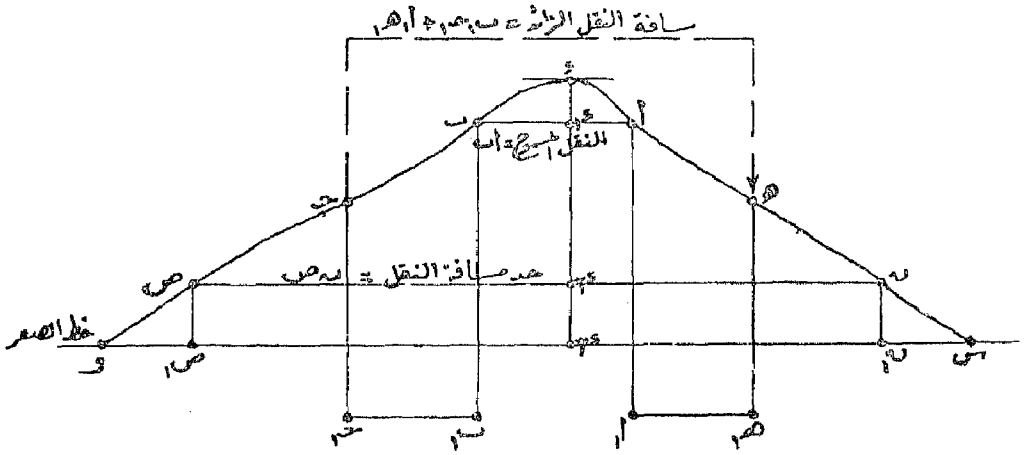
وعلى ذلك فكميات الحفر التى يظهر من منحنى التوزيع الكمى أنها تحتاج إلى نقل يزيد عن حد النقل يجب استهلاكها واقتراض غيرها . ويوضح الاستهلاك على المنحنى الكمى إما بزحزحة المنحنى فى المسافة بين موضع الاستهلاك والاقتراض موازيا لنفسه بمقدار كمية الاستهلاك أو الاقتراض أو بزحزحة خط الصفر موازيا لنفسه فى ذلك الجزء بنفس المقدار . انظر شكل نمرة (١١١) .



شكل نمرة (١١١)

توزيع المادة :

لنأخذ مثلا منحنى التوزيع الكمى المبين فى الشكل نمرة (١١٢) ولنفرض أن مسافة النقل المسموح وحد مسافة النقل وغيرها من البيانات هى كما استنتج قبلا .



شكل نمرة (١١٢)

إذا وقعنا الطول ٢٠٠ مترا على ورقة شفافة وحركنا الورقة موازية لخط الصفر بحيث انطبقت نهايتا الخط ا ء ب على المنحنى فإن ء ء١ يعبر عن كمية الحفر المأخوذة من الموقع ب ء لردمها فى الموقع ء ا بسعر النقل المسموح . أما الكميات قبل نقطة ب فيمكن نقلها إلى ما بعد ا بسعر يزيد عن سعر النقل المسموح .

وإذا وقعنا حد مسافة النقل ١٠٠٠ مترا على ورقة أخرى وحركنا الورقة موازية لخط الصفر بحيث انطبقت نهايتا الخط ه ء ص على المنحنى فان ء١ ء٢ يعبر عن كمية الحفر المأخوذة من الموقع ص ب لردمها فى الموقع ا ه . فاذا استنتجنا موقع مركز ثقل القطع ص ب وموقع مركز ثقل الجسر ا ه وهما حـ ء هـ على التوالى فان البعد حـ هـ مطروحاً منه مسافة النقل المسموح يساوى مسافة النقل الزائد التى نستطيع منها أن نحدد سعر حفر القطع ص ب ونقله إلى الموضع ا ه .

ولا يصح نقل جزء القطع و ص لردمه فى الموضع ه س وإلا تكلف ذلك سعرا يزيد عن سعر استهلاك المتر المكعب وقرض متر مكعب بدله عند موقع الردم . وعلى ذلك فيجب استهلاك كمية الحفر ء٢ ء٣ فى الموقع و ص واقتراض كمية أخرى بدلها من الموقع ه س لردمها فيه .

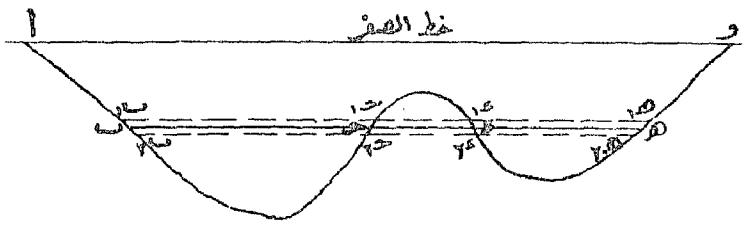
وإذن فخط الصفر الذى يطلق عليه أحيانا خط القاعدة يصبح و ص١ ص ه ه١ س .

ولا يجاد موضع مركز ثقل القطع ص ب نقاس مساحة الشكل ب حـ ص ب١ بالبلانيمتر وتقسم على مقدار القطع التى هى ء١ ء٢ فيكون الناتج هو بعد مركز الثقل حـ عن الخط الرأسى ب ب١ . وبالمثل يستنتج موضع هـ مركز ثقل الجسر المعادل وذلك بالنسبة للخط الرأسى ا ا١ .

ويمكن للسهولة اعتبار أن النقطتين حـ ء هـ هما نقطتا نصف الكمية بدل نقطتا مركز الثقل .

بعض خواص المنحنى الكتلى :

(١) إذا كان لدينا منحنى كتلى ا و انظر شكل نمرة (١١٣) اتزنت المادة فيه من الموضع ا إلى



شكل نمرة (١١٣)

الموضع و . وكان البعد ا و أطول من حد النقل فإنه إذا رسم خط مواز مثل ب حـ ء هـ بحيث كانت ب حـ + ء هـ = ء حـ + حد النقل فإن هذا يكون أنسب خطوط القاعدة من حيث توزيع المادة .

ولإثبات ذلك نفرض أن خط الصفر ب حـ ء هـ تزحزح إلى أعلا بمقدار متر مكعب واحد . ومعنى هذا أن المتر المكعب من الحفر عند حـ ينتقل إلى ب مسافة النقل حـ ب والمتر المكعب من الحفر عند هـ ينتقل إلى ء مسافة النقل هـ ء . وتكون مسافة النقل فى الحالتين تساوى ب حـ + ء هـ .

ثم نفرض أن خط الصفر ب حـ ء هـ تزحزح إلى أسفل بمقدار متر مكعب . فيكون معنى هذا أن المتر المكعب من الحفر عند حـ ينتقل إلى ء مسافة النقل حـ ء وعند ب يستهلك متر مكعب وعند هـ يقترض متر مكعب آخر .

ولكن استهلاك المتر المكعب واقتراض غيره يعادل سعر حد النقل . إذن النقل فى هذه الحالة يساوى ء حـ + حد النقل .

وحيث أن الفرض ينص على أن ب حـ + ء هـ = ء حـ + حد النقل إذن فكلتا الطريقتين فى التوزيع تأتى بنتيجة واحدة .

وهناك إثبات آخر كما يأتى :

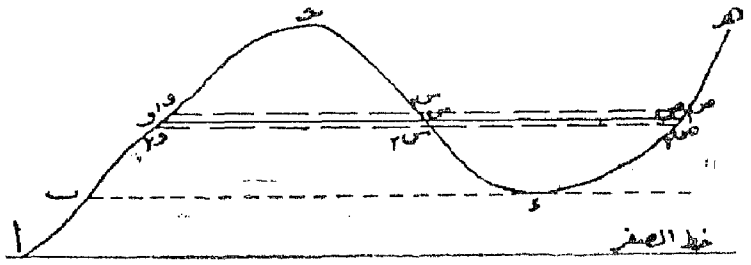
إذا ارتفع خط الصفر مترا مكعباً كانت مسافة النقل ب١ حـ١ + ء١ هـ١ < حـ١ ء١ + حد النقل أى أنه يكون من الأرخص أن نقترض مترا مكعبا عند الموقع ب ب١ ونستهلك مترا مكعباً عند الموقع هـ هـ١ ثم ننقل مترا مكعباً من حـ١ إلى ء١ .

وإذا انخفض خط الصفر مترا مكعباً كانت مسافة النقل ب٢ حـ٢ + ء٢ هـ٢ < حـ٢ ء٢ + حد النقل . أى أنه يكون من الأرخص أن ننقل مترا مكعباً من حـ٢ إلى ب٢ وآخراً من هـ٢ إلى ء٢ .

وعلى ذلك فالخط ب حـ ء هـ هو أنسب خطوط القاعدة .

(٣) الشكل نمرة (١١٤) يبين جزءا من منحنى كمى ا حـ ء هـ يتكون من قطعين ا حـ ، ء هـ بينهما الجسر حـ ء وهو لا يستنفد إلا جانباً فقط من مادة الحفر فى القطعين والمطلوب معرفة أنسب خطوط القاعدة لهذه الحالة .

إذا رسم الخط ب ء موازيا لخط الصفر وماسا المنحنى فى نقطة ء واعتبر هذا الخط أنه خط الاتزان فإن مسافة النقل المتوسطة لجزء المنحنى ب حـ ء تتناسب مع مساحة هذا الجزء . ولكن إذا رسم الخط



شكل نمرة (١١٤)

و س ص قاطعاً المنحنى فى ثلاث نقط واعتبر خط اتزان فإن المساحتين و حـ س ، س ء ص كل مقسومة على إحداثيها تنتج مسافة نقل أقل فى المجموع من المسافة الأولى لأن الشكل س ص ء أصغر من الشكل ب و س ء . فإذا رسم الخط و س ص بحيث كان و س = س ص فإن الخط بهذا الشكل يكون أنسب خطوط الاتزان . ولإيضاح ذلك نقول إنه إذا رسم الخط مرتفعاً ارتفاعاً بسيطا فى الوضع و١ س١ ص١ كما هو مبين فى الشكل فان المساحة و حـ س تقل بقدر أصغر مما تزداده المساحة س ء ص وذلك لأن و س يصغر ، س ص يكبر . وبالمثل إذا رسم الخط و س ص فى الوضع و٢ س٢ ص٢ فان المساحة و حـ س تزداد بقدر أكبر مما تنقصه المساحة س ء ص وذلك لأن و س يكبر ، س ص يصغر وعلى ذلك ففى كلا الوضعين تزداد المساحة وإذن تزداد مسافة النقل ويكون الوضع الأصلح هو عندما ينصف الجزء الأوسط من المنحنى الكمى خط الاتزان .

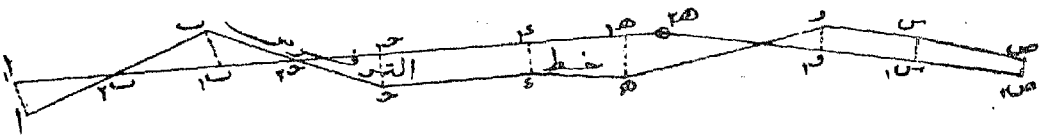
(٣) وبالمثل إذا التوى المنحنى الكمى أربع مرات فإن خط الاتزان الذى يعطى أقل مسافة للنقل هو الذى تكون مجموع مسافتيه فى الجزءين الأول والثالث تساوى مجموع مسافتيه فى الجزءين الثانى والرابع . هذا إذا كان هناك ما يمنع من عمل استهلاك واقتراض بين هذه الأجزاء . أما إذا سمح بعمل اقتراض واستهلاك فان خط الاتزان فى الجزءين الأول والثانى يرسم منفصلا عنه فى الجزءين الثالث والرابع ويرسم هذين بحيث ينصفهما المنحنى كل فى جزئه فتؤول المسألة إلى الحالة السابقة فى نمرة (٢) إنما يفصل الجزءين اقتراض أو استهلاك . وإذا كان جزءا خط الاتزان يتعارضان فالأوفق أن يعمل خط الاتزان واحداً .

وبدراسة المنحنى الكمى على ضوء ما سبق شرحه يمكننا توزيع مادة الحفر على أحسن وجه وأقل كلفة والمنحنى الكمى يعين المواضع التى يصلح عندها الاقتراض والاستهلاك إن كانت طبيعة الأرض تسمح بذلك ويهدى إلى إجراء التحسينات فى انحدارات الخط بل وفى موقعه أيضاً . ويحسن دائما قبل الالتجاء إلى زيادة الانحدار أملا فى التحسين أن يعدل التخطيط أولا فان أتى بنتيجة كان ذلك أوفق .

توقيع الخط على الطبيعة :

بعد تحضير الخط على الخريطة الطبوغرافية وتحضير القطاع الطولى له مبيناً عليه الانحدارات وتحضير

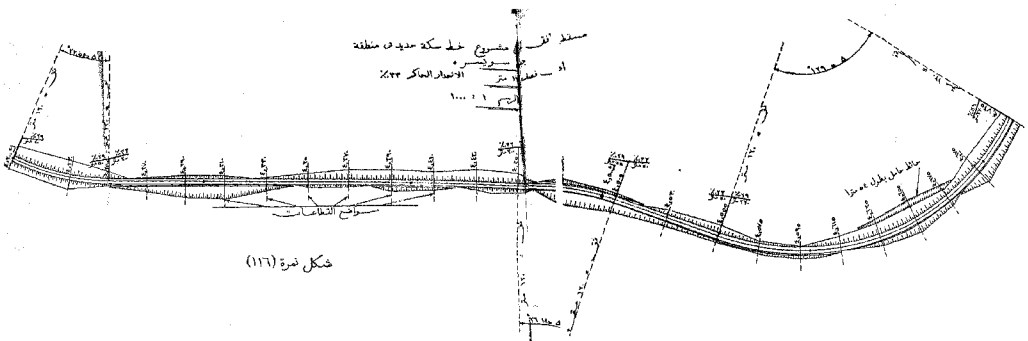
المنحنى الكمى يوقع الخط على الطبيعة وذلك بالاستعانة بخط الترفرس . ولنفرض أن ا ب حـ ء . . . ص شكل نمرة (١١٥) يمثل جزءا من خط الترفرس وأن محور الخط الحديدى مبين فى ذلك الجزء بالخطين



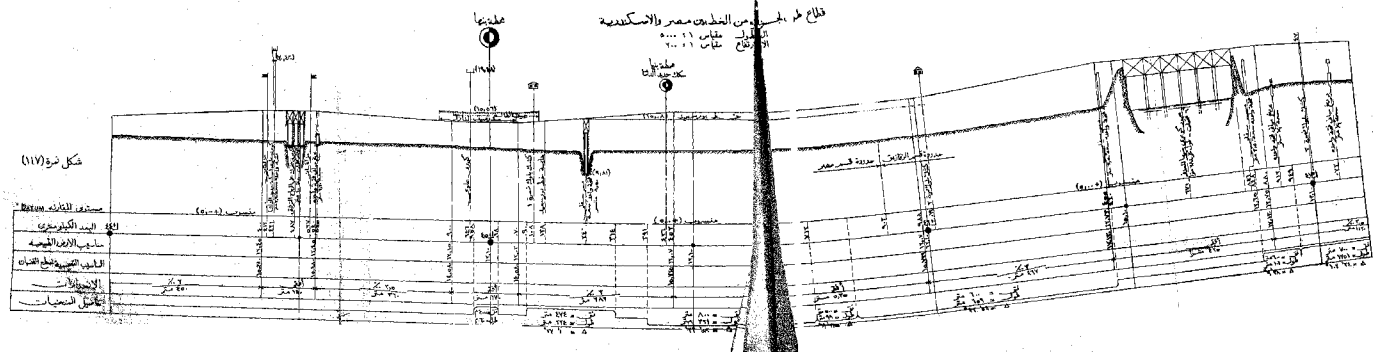
شكل نمرة (١١٥)

ا١ ب٢ حـ٣ ء٤ هـ٥ و٦ ص١ . فلتعيين هذين الخطين بالنسبة لخط الترفرس تقاس من الخريطة مواقع نقط التقابل وهى ب٢ ، حـ٣ ، و٦ وهكذا فاذا قيست الإحداثيات ا ا١ ، ب ب١ ، حـ حـ١ ، ء ء١ ، هـ هـ١ ، و و١ ، س س١ ، ص ص١ عمودية على خط الترفرس لتعيين النقط ا١ ، ب١ ، حـ١ ، ء١ ، هـ١ ، و١ ، س١ ، ص١ وجب أن تقع النقط ا١ ، ب٢ ، ب١ ، حـ١ ، ء١ ، هـ١ على خط مستقيم واحد . فان لم تقع انتخب خط متوسط بينهـا ليعبر عن الخط ا١ هـ٥ وكذلك الحال فى الخط هـ٥ ص١ وهلم جرا . وتعين نقـط الانحراف مثل هـ٥ بتقابل خطى النظر المستقيمين المتقاطعين ا١ هـ٥ ، هـ٥ ص١ وتوقع هـذه على الطبيعة بوتد مربع مقاسه ٥ سم أو ٦ سم يدق عليه مسمار فى ملتقى خطى النظر . ثم بعد ذلك تقاس الخطوط على الطبيعة لتعيين كيلومتراج نقط الانحراف ثم تقاس زوايا الانحراف بالثيودوليت . وبمعرفة زاوية الانحراف ونصف قطر المنحنى يمكننا تعيين نقط بداية المنحنى على الطبيعة وكذا نهايته وذلك بدق أوتاد بمسامير كالسابق ذكرها ويميزها عنها وتدان صغيران يدقان بميل يشـير إلى الوتد الأصلى وعلى بعد ١٥ سم منه . بعـد ذلك تدق أوتاد متوسطة على أبعاد ٢٥ — ٣٠ مترا فى المستقيمات ، ٥ — ١٠ مترا فى المنحنيات فان وافق التوقيع على الطبيعة عند المنحنيات التخطيط على الخريطة الطبوغرافية كان بها وإلا عدل التخطيط ليطابق التوقيع ثم تقاس مناسيب الخط الموقع برصد الأوتاد وذلك من أجل رسم القطاع الطولى النهائى . ويبين على هذا القطاع خط الأساس وانحداراته وتؤخذ مناسيب القطاعات العرضية عند الأوتاد وتعدل إن كان هناك داع للتعديل ويعدل المنحنى الكمى أيضاً . وتعمل فى أثناء ذلك الثقوب فى القطوع لمعرفة نوع مادتها ويهشر القطاع الطولى والقطاعات العرضية فى مواقع الحفر بما يدل على مادتها إذ سعر الحفر يختلف باختلاف مادة القطع .

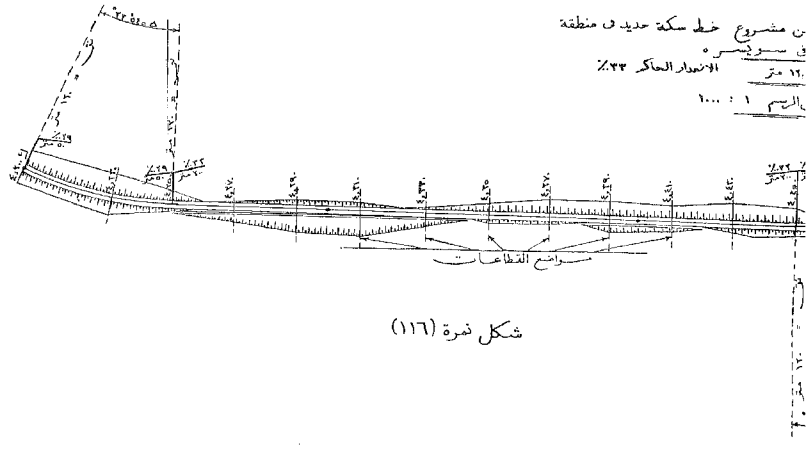
بعد ذلك تحدد أملاك الأفراد على جانبى الخط بكتابة أسمائهم كل فى جزئه وتمسح الأنهر والمجـارى المـائية الأخرى التى يمر عليها الخط وكذا الطرق مسحاً دقيقاً وتوضح على الخريطة . ويجب فى هـذه الأثناء أن تحـدد أشكال الكبارى وفتحاتها ومقاساتها وكذا مناسيب الفيضان والتحاريق والبرابخ ومناسيبها إلى غير ذلك من الأعمال الصناعية لإمكان عمل المقايسات لتحديد تكاليفها . ثم تبين الجسور



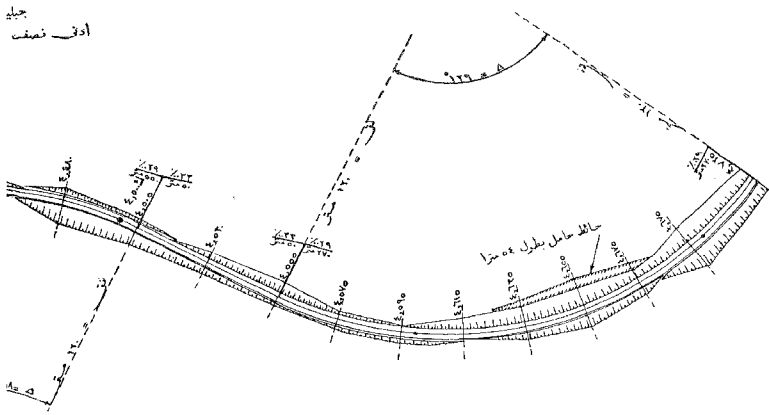
شكل نمرة (١١٦)

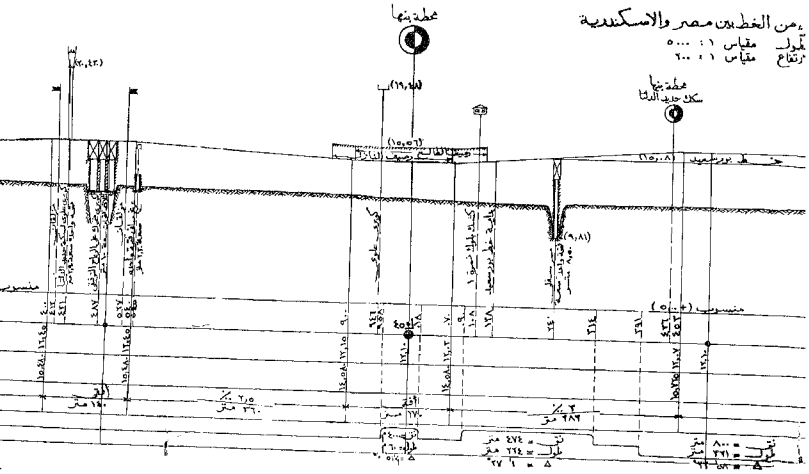


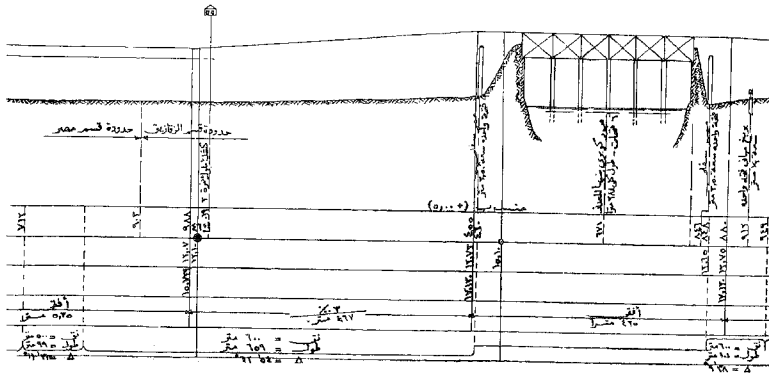
شكل نمرة (١١٧)


مسقط أفقى لجـ ن مشروع خط سكة حديد فى منطقة
جبلية فى سويسرا
أدنى نصف قطر ١٢٠ متر الانحدار الحاكم ٣٣٪
الرسم ١ : ١٠٠٠
مواضع القطاعات

شكل نمرة (١١٦)


٥٠ م
١٢٥ م
حائط حامل بطول ٥٠ مترا


قطاع طولى لجـ ء من الخط بين مصر والاسكندرية
طول مقياس ١ : ٥٠٠٠
ارتفاع مقياس ١ : ٦٠٠
محطة بنها
محطة بنها سكك حديد الدلتا
منسوب (+ ٥٠٠٠)


حدود قسم الزقازيق
حدود قسم مصر
منسوب (+ ٥٠٠٠)

والقطوع على الخريطة الطبوغرافية وكذا خطوط حرم السكة وذلك بالاستعانة بقطاعات الجسور والقطوع وتحدد كذلك مواقع الاقتراض والاستهلاك . وتلون القطوع فى العادة باللون البنى والجسور باللون الأخضر.

ويجب أن تشمل الرسومات النهائية للمشروع ما يأتى :

(١) خريطة طبوغرافية عامة مقياس ١ : ٢٠٠٠٠ أو ١ : ٢٥٠٠٠ مبين عليها محور الطريق والكيلو متراج ومواقع المحطات .

(٢) خريطة طبوغرافية كنتورية مفصلة مقياس ١ : ٢٠٠٠ أو ١ : ٥٠٠٠ مبين بها جميع تفاصيل الخط وبياناته كما وضح قبلا وقد تعمل بمقياس ١ : ١٠٠٠ فى بعض الأحيان انظر شكل نمرة (١١٦) .

(٣) قطاع طولى للخط مقياس ١ : ٢٠٠٠ أو ١ : ٥٠٠٠ للطول و ١ : ٢٠٠ للارتفاعات مبين عليه التفاصيل التى ذكرت قبلا شكل نمرة (١١٧) .

(٤) قطاعات عرضية مقياس ١ : ١٠٠ أو ١ : ٢٠٠ بالطريقة التى وضحت قبلا .

(٥) المنحنى الكمى وتوزيع المادة ويحسن أن يرسم فوق القطاع الطولى وبمقياسه طولا أما إحداثياته فلأى مقياس مناسب .

محور الخط فوق سطح الأساس :

وعند ما تتم إقامة الجسور وإعداد القطوع يوقع محور الخط فوق سطح الأساس أيضاً وذلك بنفس الكيفية التى اتبعت فى توقيع الخط على سطح الأرض أو بمعنى آخر تنقل الأوتاد من وضعها على الأرض الأصلية إلى الوضع الجديد فوق سطح الأساس . ثم تهذب المنحنيات بتوقيع محاور منحنيات الانتقال ومحاور الدوائر المزحزحة وذلك بأوتاد تدق على بعد خمسة أمتار من بعضها فى الأولى ومن خمسة أمتار إلى عشرة فى الثانية .