

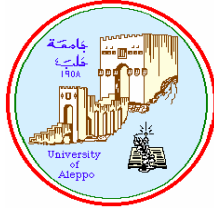
الأعمال المساحية في الطرق





الأعمال المساحية في الطرق





منشورات جامعة حلب
كلية الهندسة المدنية

الأعمال المساحية في الطرق

الدكتور المهندس عبد الرزاق رمضان

UNIVERSITY
OF
ALEPPO

مديرية الكتب والمطبوعات الجامعية
١٤٣٠ هـ - ٢٠٠٩ م

لطلاب السنة الثالثة
قسم الهندسة الطبوغرافية



محتويات الكتاب

11	 مقدمة
----	-------------

الفصل الأول

تخطيط طرق المواصلات

15	 1.1 تمهيد
17	 1.2 مراحل تخطيط المسارات
17	 1.2.1 الاستطلاع وجمع المعلومات
20	 1.2.2 الأعمال المساحية اللازمة لتخطيط المسارات
38	 1.2.3 تأثير كروية الأرض وانكسار الأشعة
39	 1.2.4 تحديد الخيارات المناسبة واختيار المسار المناسب
41	 1.2.5 تخطيط المسارات
43	 1.2.6 غرس المسار وتجسيده على الطبيعة
44	 1.3 تجسيد الاستقامات
44	 1.3.1 تجسيد استقامة بين نقطتين مرئيتين من بعضهما
45	 1.3.2 تجسيد استقامة بين نقطتين غير مرئيتين من بعضهما
49	 1.4 مسائل محلولة

الفصل الثاني

تصميم المنحنيات الدائرية البسيطة وتجسيدها

59	 2.1 المنحني الدائري البسيط
----	----------------------------------

59	2.1.1 عناصر المنحني الدائري البسيط
61	2.2 تصميم المنحني الدائري البسيط
64	2.3 تجسيد نقاط المنحني الدائري البسيط الأساسية
66	2.4 تجسيد المنحنيات الدائرية البسيطة على الطبيعة
68	2.4.1 تجسيد المنحني الدائري استناداً إلى الوتر الأعظمي باستخدام مثلث ضوئي ...
71	2.4.2 تجسيد المنحني الدائري استناداً إلى المماسين باستخدام مثلث ضوئي
74	2.4.3 تجسيد المنحني الدائري باستخدام جهاز تيودوليت
76	2.4.4 تجسيد المنحني الدائري باستخدام جهاز تيودوليت
78	2.4.5 تجسيد المنحني الدائري باستخدام قانس المسافات الإلكترونية
79	2.4.6 تجسيد المنحني الدائري استناداً إلى الأوتار المتتابة
83	2.5 مسائل محلولة

الفصل الثالث

تجسيد المنحنيات الدائرية المركبة و المتعكس وتجسيدها على الطبيعة

93	3.1 المنحنيات الدائرية المركبة
94	3.1.1 عناصر المنحني الدائري المركب
98	3.1.2 تجسيد المنحني الدائري المركب
99	3.1.3 الصعوبات التي يمكن مواجهتها أثناء تجسيد المنحني الدائري المركب
104	3.2 المنحنيات الدائرية المتعكسة
110	3.2.1 تجسيد المنحنيات الدائرية المتعكسة
111	3.3 مسائل محلولة

الفصل الرابع

منحنيات الوصل المتدرجة

4.1	المنحنيات الانتقالية	119
4.2	التعريف الهندسي و الديناميكي للكلوتويد	121
4.2.1	المعادلات الوسيطة للكلوتويد	124
4.2.2	الحالة العامة لوصل استقامتين	128
4.2.3	تجسيد الكلوتويد على الطبيعة	133
4.2.3.1	تجسيد الكلوتويد بواسطة مثلث ضوئي	134
4.2.3.2	تجسيد الكلوتويد بواسطة جهاز تيودوليت	134
4.2.3.3	تجسيد الكلوتويد بواسطة قانس المسافات الإلكتروني	135
4.2.4	الإزاحة في القوس الدائري والطول التقريبي للمماس	135
4.3	مسائل محلولة	139

الفصل الخامس

التصميم الشاقولي لخطوط المواصلات

5.1	المقطع الطولي لسطح الأرض الطبيعية	149
5.2	تصميم المقطع الطولي لخط المواصلات	152
5.3	المنحنيات الشاقولية	157
5.3.1	عناصر المنحنيات الشاقولية	160
5.3.2	تصميم المنحنيات الشاقولية	162

الفصل السادس

تجسيد المنحنيات الشاقولية على الطبيعة

6.1	حساب ارتفاع نقطتي التماس الأولى و الثانية	165
6.1.1	حساب ارتفاع النقاط الواقعة على المنحني الشاقولي المحدب	166
6.1.2	حساب ارتفاع النقاط الواقعة على المنحني الشاقولي المقعر	169
6.2	تعيين موقع أعلى وأخفض نقطة من المنحني الشاقولي	171
6.3	مسائل محلولة	173

الفصل السابع

تجسيد المنشآت الهندسية الملحقة بالطرق

7.1	الجسور	183
7.1.1	اختيار مواقع الجسور	183
7.2	القياسات المائية	185
7.2.1	التعيين الارتفاعي لنقاط قاع الأنهار	186
7.2.2	التعيين المستوي لنقاط قاع الأنهار	188
7.2.3	قياس السرعة السطحية للجريان في الأنهار	191
7.3	الأعمال المساحية في الجسور	194
7.3.1	تجسيد الجسور على الطبيعة	195
7.3.2	تعيين فرق الارتفاع بين نقطتين تقعان على ضفتي نهر	198
7.4	الأنفاق	201
7.4.1	الأنفاق السطحية	203
7.4.2	تخطيط الأنفاق العميقة	204
7.4.3	توجيه الأنفاق أفقياً	206

208	7.4.4 توجيه الأنفاق شاقولياً
210	7.4.5 تجسيد المنحنيات الأفقية داخل الأنفاق
211	7.5 التقاطعات الطرقية

الفصل الثامن

قياس المساحات و حساب الحجوم و الكميات

215	8.1 قياسات المقاطع العرضية
216	8.2 حساب مساحات المقاطع العرضية
219	8.2.1 مقطع سطح الأرض الطبيعية أفقي
220	8.2.2 مقطع سطح الأرض الطبيعية ذو ميل ثابت
221	8.2.3 مقطع سطح الأرض الطبيعية ذو ميلين مختلفين
222	8.2.4 المقطع مختلط
224	8.3 حساب الكميات باستخدام قانون حجم الجسم شبه الموشوري
225	8.3.1 حساب الحجوم باعتماد قانون سمسون للحجوم
228	8.3.2 طريقة حساب الحجوم باعتماد المقاطع النهائية
229	المراجع العربية
231	المراجع الأجنبية
233	المراجع العلمية



مُقَدِّمَةٌ

يهتم علم المساحة التطبيقية بدراسة كافة التفصيلات الطبيعية والاصطناعية الموجودة على سطح الأرض ضمن مساحات محدودة ، وتمثيل هذه التفصيلات وفق رموز ومصطلحات مناسبة ، على خرائط ومخططات طبوغرافية ذات مقاييس مختلفة ، وذلك من أجل الاستفادة منها في مجالات تخطيط المنشآت الهندسية وتصميمها وتنفيذها ، كالطرق والسكك الحديدية ، وشبكات الري وشبكات المياه والصرف الصحي ، وخطوط القدرة والهاتف وغيرها من المنشآت ذات الامتداد الخطي ، وتجسيد عناصر هذه المنشآت على الطبيعة ، بالإضافة إلى تقسيم الأراضي وتثبيت حدود الملكيات ، ومراقبة التحركات والانحرافات المحتملة لتلك العناصر .

سوف يتناول الكتاب بالتفصيل الأعمال المساحية الخاصة بتخطيط طرق المواصلات والتقاطعات الطرقية ، وتصميمها وتجسيدها على الطبيعة ، وذلك نظراً لأهميتها وانتشارها الواسع من جهة ، وإمكانية تعميم هذه الدراسة على المنشآت الخطية التي تشابهها هندسياً من جهة أخرى بعد أخذ خصوصية كل عمل من هذه الأعمال بعين الاعتبار .

يتضمن الفصل الأول من الكتاب مقدمة موجزة توضح أهمية شبكات المواصلات ، وشرح مختلف مراحل الأعمال المساحية ، وأهمية المخططات الطبوغرافية في مجالات تخطيط مشاريع الطرق وتصميمها ، واستعراض أهم الأسس والمبادئ الهندسية والمعايير التصميمية الحديثة لاختيار هذه المسارات.

ويبحث الفصل الثاني في التصميم الهندسي للمنحنيات الدائرية الأفقية البسيطة ، والمركبة والمتعاكسة ، وأهم المعايير والضوابط والأسس التي يجب أن تؤخذ بعين الاعتبار عند تصميمها .

ويشرح الفصل الثالث طرق تجسيد المنحنيات الدائرية البسيطة والمتعكسة والمركبة على الطبيعة ، وذلك بعد حساب عناصرها الأساسية ، حيث تم اتباع العديد من الطرق العملية والبسيطة وباستخدام مختلف الأجهزة المساحية والأساليب المناسبة لكل طريقة منها بالإضافة إلى حل عدد من المسائل والتمارين العملية التي تبين مختلف حالات التصميم ، والعوائق التي يمكن أن يواجهها المهندس أثناء تجسيد عناصر هذه المنحنيات .

أما الفصل الرابع فقد تضمن شرحاً مفصلاً يبين حاجة المصمم لإدخال منحنيات الوصل المتدرجة ، عند الانتقال من الاستقامات إلى المنحنيات الدائرية واشتقاق معادلات منحنى الوصل المتدرج الكلوثويد ، وطرق تجسيد هذه المنحنيات وأهم الأعمال المساحية اللازمة لتجسيدها على الطبيعة ، وذلك وفق الطريقة المثبتة.

ويبحث الفصل الخامس في الأعمال المساحية اللازمة لرسم المقطع الطولي لسطح الأرض الطبيعية ومحور الطريق ، وطرق تصميم المنحنيات الشاقولية المحدبة والمقعرة ، والحسابات اللازمة لتعيين عناصرها ، وأهم الاعتبارات والمعايير والأسس التي يحتاجها المصمم لذلك .

أما الفصل السادس فقد تضمن شرحاً مفصلاً لطرق تجسيد عناصر المنحنيات الشاقولية على الطبيعة ، وتعيين موقع أعلى نقطة تقع على المنحني الشاقولي المحدب وكذلك أخفض نقطة تقع على المنحني الشاقولي المقعر بالإضافة إلى حل عدد من المسائل والتمارين العملية .

وقد تضمن الفصل السابع شرحاً مفصلاً عن أهم الأعمال المساحية اللازمة لتخطيط وتجسيد المنشآت الملحقة بالطرق مثل : الجسور التي تتطلب إنتاج مخططات طبوغرافية بمقاييس صغيرة لاختيار مواقعها ، ومخططات طبوغرافية بمقاييس كبيرة لتجسيد عناصرها المختلفة ، ومن المنشآت الملحقة أيضاً الأنفاق التي يتطلب تخطيطها تحت سطح الأرض وتجسيدها وتوجيهها أفقياً وشاقولياً أعمالاً ومخططات طبوغرافية بمقاييس صغيرة وكبيرة ، وقد تضمن هذا الفصل

أيضاً ،لمحة موجزة وتعريفاً بالتقاطعات الطرقية ، ضرورة استخدامها ، وأنواعها ومكوناتها ، وطرق تجسيدها على الطبيعة .

ويلي ذلك الفصل الثامن ، الذي يبيّن كيفية تعيين مواقع المقاطع العرضية وغرسها على الطبيعة ، وأهم الطرق المستخدمة لحساب مساحات تلك المقاطع وكذلك الأساليب المستخدمة لحساب كميات الحفر والردم في مشاريع الطرق استناداً إلى كل حالة من الحالات التي يمكن أن يصادفها المهندس لشكل المقطع العرضي أثناء التصميم .

المؤلف





الفصل الأول

تخطيط طرق المواصلات

1.1 تمهيد

تكتسب شبكات الطرق أهمية خاصة ، وذلك نظراً للدور الكبير الذي تؤديه هذه الشبكات في مختلف ميادين الحياة الاقتصادية والاجتماعية والثقافية والصحية والعسكرية وغيرها ، ويعود تاريخ علاقة الإنسان بالطرق إلى بدايات وعيه للظروف المحيطة به ، وحاجته للوصول عبر المسارات والممرات إلى المناطق التي يمكنه الحصول منها على طعامه وشرابه والعودة إلى مسكنه ، وتطور الإنسان وظهور التجمعات البشرية والتبادل التجاري فيما بينها ، ازدادت الحاجة إلى إنشاء الطرق أكثر مما كانت عليه ، مما دعاه إلى التفكير بتطوير وسائل إنشائها وبنائها من مواد جيدة ، بحيث يضمن متانتها وديمومتها أطول وقت ممكن ، أما في العصور الحديثة فقد ازدادت العلاقة بين الإنسان والطريق أكثر مما كانت عليه من قبل ، حتى أصبحت وثيقة جداً ، وأصبح الطريق فيها يصل إلى المزارع والقرى والبلدان والمدن والمناطق الزراعية والسياحية والأثرية ، قبل وصول الخدمات الأخرى كالهاتف ، والمدارس ، والمراكز الثقافية والصحية وشبكات المياه والكهرباء وغيرها ، وبذلك أصبحت شبكات الطرق في كل بلد من بلدان العالم واسعة الانتشار ، وقد وصلت أطوالها إلى عشرات بل مئات الآلاف من الكيلومترات ، وكذلك أصبحت هذه الشبكات أحد المعايير الحقيقية لمدى حضارة وتقدم وتطور تلك البلدان . على التوازي مع كل هذا ، فقد تطورت وسائل تخطيط الطرق وتصميمها إلا أنها بقيت تهدف أساساً إلى تخفيف كلفة الإنشاء والإقلال من المنشآت الصناعية التي تعترض الطرق كالجسور والعبارات ، وإنشاء الطبقة العلوية لسطح الطريق من مواد تخفف قدر الإمكان من اهتراء دواليب العربات واستهلاك الوقود إلا أن هذه المعايير لم تعد كافية حالياً وأضيفت إليها معايير جديدة ، كالمعيار الجمالي الذي يحقق التناسق والانسجام بين الطريق

والمحيط المجاور ، والمعيار البيئي للحفاظ على بيئة نظيفة قدر الإمكان ، والمعيار المروري الذي يؤمن خدمات مرورية أفضل ، ويحقق متطلبات الراحة والأمان وسلامة المواطنين والإقلال من الحوادث المحتملة ، والمعيار الاقتصادي الذي من شأنه الإقلال من نفقات الصيانة مستقبلاً ، وبذلك نجد أن تخطيط طرق المواصلات وتصميمها يحتاج إلى توفر المعلومات الضرورية من مختلف مجالات الهندسة المدنية ، وذلك من خلال دراسة الأرض التي سيمر منها الطريق ، من الناحية الجيولوجية والجيوتكنيكية لتحديد مواقع هبوط أو انزلاقات التربة ودراسة التربة من حيث ثباتها واستقرارها ودرجة تحملها ، وذلك من أجل تصميم طبقات الرصف وتحديد ميل الحفر والردم . كل هذا يتطلب إجراء تجارب مخبرية لضمان جودة المواد المستخدمة وسلامة تنفيذ هذه الطبقات ، وكذلك ضرورة دراسة أماكن وجود المقالع الحجرية والبحث عنها بالقرب من المسار لتوفير مواد الإنشاء اللازمة للطريق . أما من الناحية الهيدرولوجية للمنطقة فيتم تحديد المسالك المائية التي تتقاطع مع الطريق ، وتعيين حدود الأحواض الساكبة من أجل دراسة كفاءة الأعمال الصناعية من جسور وعبارات سيتم إنشاؤها عند التقاطعات المائية وقدرتها على تصريف المياه السطحية ، بالإضافة إلى تثبيت حدود الملكيات وتحديد عرض الاستملاك للطريق وغير ذلك من معلومات يراها المصمم ضرورية . وهذا يعني أن تخطيط طرق المواصلات وتصميمها ، يحتاج إلى تأمين المعلومات الكافية والخاصة بكل جانب من الجوانب المذكورة ، ومن بينها تأمين المعلومات المكانية الخاصة بها ، وتوفير المعرفة الجيدة والشاملة لكافة التفاصيل الاصطناعية والطبيعية وشكل تضاريس سطح الأرض ضمن شريط أو عدد من الأشرطة المقترحة لمرور المسار ضمنها ، والتي يتراوح عرض كل منها عشرات الأمتار ، وقد يصل في بعض الأحيان إلى مئات الأمتار .

إن التقدم العلمي الكبير الذي شهده العالم في الآونة الأخيرة ، أدى إلى تطور مختلف العلوم تطوراً سريعاً ، ولا سيما في مجالات البرمجة والحاسبات الإلكترونية والأجهزة المساحية وظهور محطات الرصد المتكاملة ، وما تتضمنها من برامج متطورة ، وكذلك ظهور نظام التوضع العالمي GPS . فقد أصبح بإمكان

المخططين والمصممين الحصول على كل ما يحتاجونه من معلومات مساحية بطرق سهلة وسريعة ، وبدقة عالية . لكن حجم ودقة المعلومات التي يتطلبها تخطيط خطوط المواصلات وتصميمها وتنفيذها يختلف من مرحلة إلى أخرى ذلك لأن المزيد من المعلومات والمزيد من الدقة يتطلب المزيد من الوقت ، وبالتالي المزيد من الكلفة ، ولا ريب أن الزيادة غير المسوغة في حجم المعلومات وتعيين الدقة ستكون هدراً للوقت والجهد .

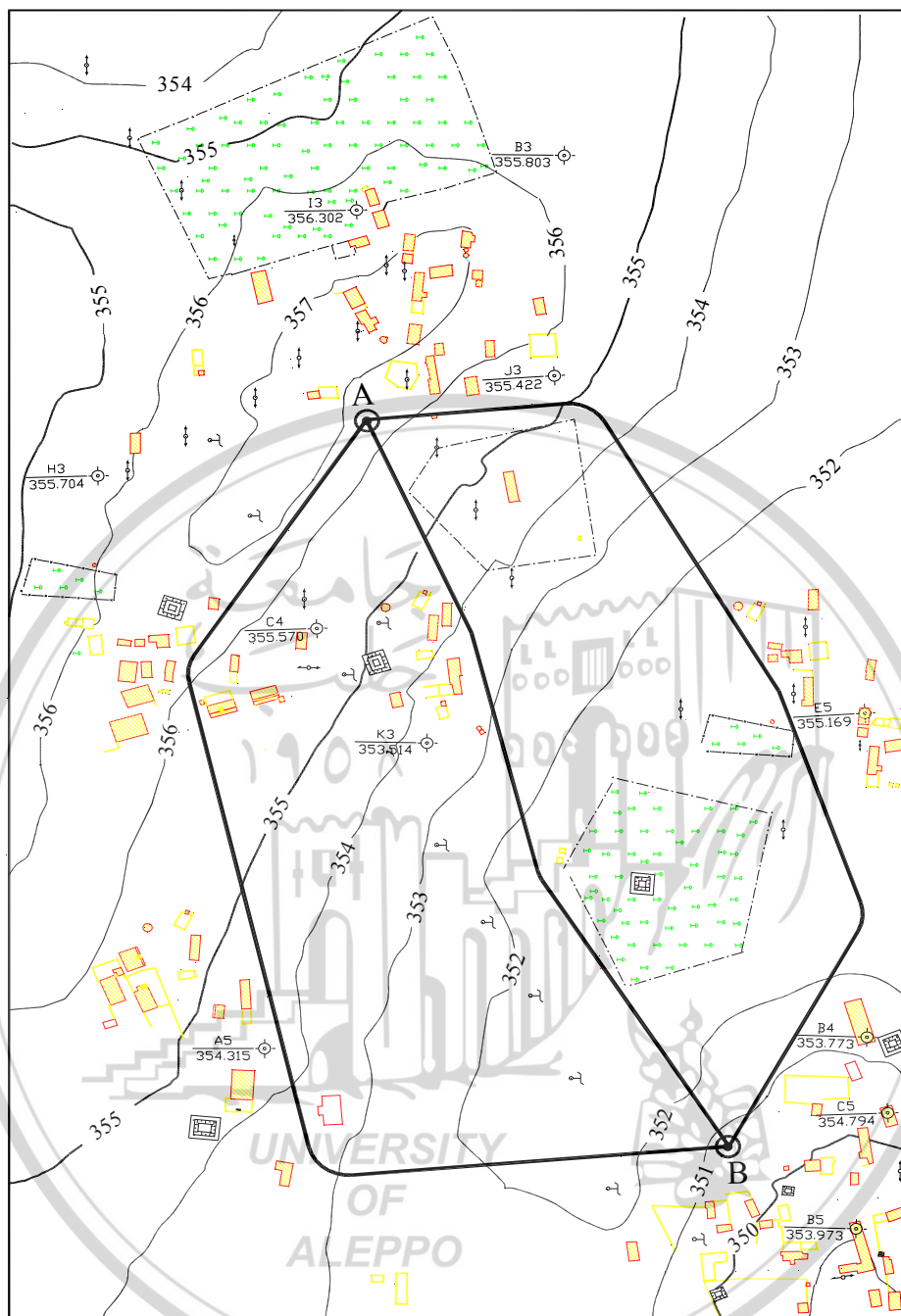
من أجل الإقلال من عمليات المسح الشاملة والدقيقة للمنطقة المراد إنشاء خط المواصلات ضمنها ، ولتجنب بذل الجهد والوقت غير المسوغين ينبغي القيام بالدراسات والأعمال المساحية على مراحل متتالية ، ولكل مرحلة منها شروطها الخاصة ودقتها المناسبة ، وبما ينسجم مع مراحل التخطيط والتصميم والتنفيذ وبما يؤمن المعلومات والدقة اللازمين لكل مرحلة من مراحل الدراسة .

1.2 مراحل تخطيط المسارات

يتطلب تخطيط مسارات الطرق تنفيذ الأعمال المساحية وفق المراحل التالية:

1.2.1 الاستطلاع وجمع المعلومات

لإنشاء خط مواصلات بين نقطتين ، يوجد عدد كبير من الحلول ، وأسهل هذه الحلول هو الخط المستقيم الواصل بين هاتين النقطتين ، ولكن في الحالة العامة قد يستحيل تحقيق ذلك ، نظراً لوجود عوائق طبيعية كالجبال والوديان والأنهار والمستنقعات ، وعوائق اصطناعية مثل التجمعات السكانية والسدود وغيرها وبالتالي لابد من التفتيش على الطبيعة عن الأشرطة الملائمة لمرور مسار الطريق ضمنها ، واستكشاف المناطق الحيوية التي يجب المرور بها أو الاقتراب منها وتحديد الأجزاء غير الملائمة أيضاً كمواقع المستنقعات والأماكن الوعرة والأراضي غير المستقرة . لهذا الغرض يتم تحديد شريط أو عدد من الأشرطة كما في الشكل رقم (1-1) التي يتوجب القيام بمسحها وتمثيل تضاريس سطح الأرض والتفصيلات المختلفة ضمن هذه الأشرطة على مخططات طبوغرافية ، ليتم بعد ذلك اختيار الشريط المناسب من بينها . ومن أجل تسهيل عمليات الاستطلاع وجمع المعلومات ، يمكن الاستعانة بالخرائط والصور الجوية المتوفرة وإجراء الدراسات



الشكل (1-1)

الأولية عليها ، وذلك لأخذ فكرة أولية عن طبيعة تضاريس المنطقة ومواقع ومساحات التجمعات السكانية من قرى وبلدان ومدن وتحديد الشريط (أو الأشرطة) المطلوب دراستها ولو كان التحديد تقريبياً .

بعد ذلك يجب القيام بالزيارات الحقلية الميدانية ، وتنفيذ عمليات الاستطلاع على الطبيعة للتأكد من صحة المعلومات المأخوذة من الصور الجوية والخرائط الطبوغرافية ، والتعرف عن كثب إلى المواقع الحرجة ، كما أنه من شأن الزيارات الحقلية توفير معلومات مهمة قد لا تظهرها الخرائط أو الصور الجوية (نوع واستعمالات الأراضي للمنطقة قيد الدراسة) . يمكن بنتيجة الاستطلاع والزيارات الحقلية تحديد شريط واحد فقط وهذا يعتمد أساساً على مهارة الفرق أو الفرق التي أجرت عمليات الاستطلاع وعلى نوعية ودقة وشمولية المعلومات التي قامت بجمعها ، إذ إن اختيار المسار النهائي لخط المواصلات ، قد لا يتعلق فقط بالوضع الطبوغرافي للمنطقة . وإذا كان اختيار المسار الأقصر والإقلال من كميات الحفر والردم هو أحد أهم العوامل التي يجب أخذها بعين الاعتبار في مرحلة التخطيط ، فإنه ليس العامل الحاسم ، ولابد من دراسة عوامل أساسية أخرى تنعكس بآثارها الإيجابية أو السلبية على كلفة الإنشاء الحالية ، أو على كلفة الصيانة في المستقبل ، مثل جيولوجية الأرض ضمن الشريط الذي سيخترقه خط المواصلات ، وهيدرولوجية المنطقة ، وعدد المسالك المائية ، والإقلال من هدر الأراضي الزراعية الغنية ، أو هدم المنشآت المدنية ، وكذلك يتوقف اختيار المسار أيضاً على نوع الخدمات التي يقدمها خط المواصلات وحجمها ، سواء كانت هذه الخدمات زراعية أو صناعية أو سكانية أو سياحية أو غير ذلك .

تتضمن عمليات الاستطلاع أيضاً التفتيش عن النقاط الجيوديزية (نقاط المثلثات) ومراجع التسوية المتوفرة قرب الشريط ، أو الأشرطة المقترحة ، ويمكن الاستعانة بالخرائط المتوفرة ذات المقاييس الصغيرة التي تبين مواقع وأرقام تلك النقاط ويمكن طلب إحداثياتها ومناسيب مراجع التسوية من الدوائر الحكومية ذات الصلة . في نهاية عمليات الاستطلاع وجمع المعلومات يجب تقديم إضبارة تحتوي على ما يلي :

1. مخطط بمقياس يتراوح من $1/25000$ إلى $1/10000$ يحتوي على كافة التفصيلات الطبيعية والاصطناعية المستوية ، وعلى التفصيلات الارتفاعية وحدود المناطق المأهولة الواقعة ضمن الشريط ، أو الأشرطة المطلوب مسحها ، وحدود المستنقعات والتلال والجبال والحقول الزراعية والأراضي المشجرة والتفصيلات الأخرى إن وجدت .

2. تقرير فني يبين أسباب اختيار الشريط (أو الأشرطة) وطبيعة التفصيلات الطبيعية والاصطناعية الموجودة .

3. جداول تحتوي على إحداثيات النقاط الجيوديزية المتوفرة ضمن المنطقة وعلى طول الشريط أو بالقرب منه أو المرئية منه مع بطاقات وصف لها .

4. جداول تحتوي على مناسيب مراجع التسوية المتوفرة على طول الشريط أو الأشرطة ، أو بالقرب منها مع بطاقات وصف لها .

1.2.2 الأعمال المساحية اللازمة لتخطيط المسارات

من أجل اختيار المسار النهائي لخط المواصلات لابد من الحصول على مخططات طبوغرافية بمقاييس تتراوح ما بين $1/1000$ و $1/5000$ لشريط الأرض أو الأشرطة التي تم تحديدها واختيارها في المرحلة السابقة ، ويجب أن تحتوي هذه المخططات على كافة التفصيلات المستوية الموجودة على الطبيعة ضمن الشريط المدروس وكافة التفصيلات الارتفاعية ممثلة بمنحنيات التسوية ذات التباعدات المتساوية بحدود $1-2\text{ m}$ ، وذلك بحسب شدة انحدار سطح الأرض . للحصول على مثل هذه المخططات يجب القيام بالأعمال المساحية التالية :

أولاً - تعيين نقاط مثلثات على طول الشريط أو بالقرب منه

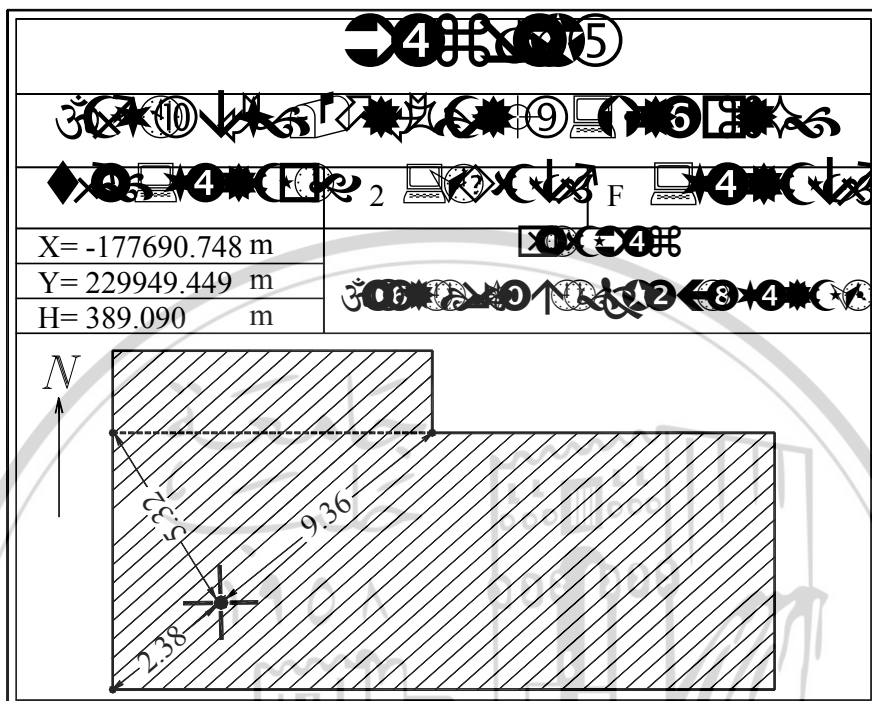
يجب تأمين نقاط مثلثات على طول الشريط المطلوب مسحه، لتشكيل الهيكل الأساس للعمليات المساحية اللاحقة . في الحالة العامة وعندما لا تكون النقاط الجيوديزية القريبة من الشريط المطلوب دراسته والتي تم تحديدها في مرحلة الاستطلاع كافية ، فإننا نلجأ عادةً إلى تكثيف هذه النقاط من خلال تثبيت عدد من النقاط على طول الشريط وبالقرب منه ، بحيث يتم تأمين نقطة

مثلثات كل 75 هكتار تقريباً ، أو بحسب دفاتر الشروط المتعلقة بمقياس المخطط المطلوب ، على أن لا تقل عن ثلاث نقاط بأي حال من الأحوال . يفضل أن تتوضع هذه النقاط على التلال الصغيرة المجاورة لمناطق مرور خط المواصلات بحيث تكون مرئية لسهولة ربط المضلعات بها والتي ستشكل الهيكل الأساس لعمليات المسح التفصيلي اللاحقة . يتم تثبيت نقاط المثلثات بطريقة تضمن ثباتها وديمومتها لفترات طويلة ، ويستخدم مثلاً في الأراضي أحجار بيتونية على شكل جذع مخروط قطره العلوي 30 cm والسفلي 50 cm وارتفاعه 60 cm بحيث يبرز منه 5 cm فوق سطح الأرض الطبيعية تقريباً ، مثبت في جزئه العلوي قسطل معدني بقطر 2 إنش يبرز عنه خمسة سنتيمترات تقريباً ، أما تثبيت نقاط المثلثات على أسطح المباني فيتم على شكل صبة مربعة الشكل من الببتون العادي ، ذات أبعاد 40 × 40 cm ، وارتفاع 20 cm متماسكة مع السطح ويثبت في وسطها قسطل معدني قطره 2 إنشان . أما في المناطق الصخرية فإن هذه النقاط تجسّد على شكل تصالب محفور على الصخر بشكل أخدود عمقه 1 cm وعرضه 1 cm وطوله 15 cm تقريباً . ترقيم هذه النقاط ويجري تعيين مواقعها اعتماداً على ثلاثة معالم على الأقل ، على أن تكون هذه المعالم ثابتة وقرينة منها ، وذلك بقياس المسافات الأفقية بينها وبين المعالم الثابتة (عمود هاتف - عمود كهرباء شجرة كبيرة... الخ) . يوضع بعد ذلك مخطط صغير يبين موقع كل نقطة مع القياسات بينها وبين المعالم الثابتة المحيطة بها . يسمى هذا المخطط بطاقة وصف النقطة ، الشكل رقم (1-2) يبين أحد نماذج بطاقات الوصف .

ترقم هذه البطاقات وتصنف وتحفظ ، لأنها ستساعد في العثور على تلك النقاط أثناء البحث عنها في مراحل لاحقة .

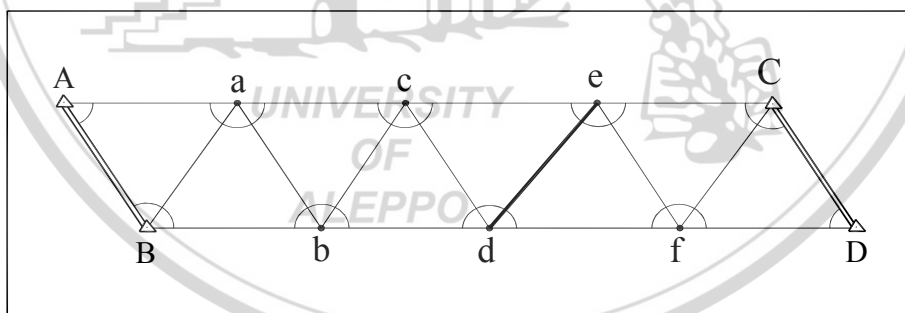
يتم تعيين إحداثيات نقاط المثلثات بطريقة التقويم أو التقاطع أو كليهما معاً مع إجراء قياسات فائضة الغاية منها حذف الأغلاط إن وجدت ، وتعديل القياسات وفق إحدى الطرق المشروحة في المراجع المختصة وبالتالي الحصول على إحداثيات نهائية معدلة لتلك النقاط . أما إذا كان عدد النقاط المطلوب تعيين إحداثياتها كبيراً ، فإنه من المفيد تأسيس شبكة من المثلثات على طول مسار الشريط على

شكل سلسلة تأخذ منحى المسار . على أن تبدأ هذه السلسلة بنقاط معلومة الإحداثيات وتنتهي بالمثل ، وأن لا يتجاوز عدد المثلثات في كل سلسلة عشر مثلثات دون الإغلاق على نقاط معلومة الإحداثيات كما في الشكل رقم (1-3) .



الشكل (1-2)

تقاس جميع زوايا المثلثات في هذه الشبكة باستخدام أجهزة التيودوليت أو القوائس الإلكترونية التي أصبحت متوفرة ومنتشرة بشكل واسع ، باستخدام



الشكل (1-3)

إحدى طرق قياس الزوايا أو الاتجاهات ، وبعدد مناسب من السلاسل بحيث تؤمن الدقة الموافقة لدرجة شبكة التثليث التي سيتم بناؤها و يفضل قياس جميع أضلاع المثلثات أو بعضاً منها ، وذلك من أجل الحصول على زيادة الدقة ، ثم تعالج هذه القياسات وفق مبدأ المربعات الصغرى وبذلك يتم الحصول على إحداثيات نهائية معدلة لهذه النقاط التي ستشكل الأساس للعمليات المساحية اللاحقة وستكون بمثابة نقاط مرجعية للمشروع . ينظم أيضاً مخطط لشبكة المثلثات بمقياس صغير على أن يشمل كافة النقاط ، مبيناً عليه نوع النقطة ومصدرها واتجاهات الرصد .

الجدول (1-1)

المواصفات	درجة أولى	درجة ثانية	درجة ثالثة	درجة رابعة
1	2	3	4	5
أطوال أضلاع المثلثات km	20-30	12-20	5-12	2-5
أصغر قيمة لزوايا المثلثات. gr	40	40	30	30
الخطأ المتوسط التربيع للزاوية المقيسة CC.	2	3	4.5	6
الإغلاق الممسوح في كل مثلث CC.	10	15	20	30

يجب أن تغطي نقاط شبكة المثلثات منطقة المسح كاملة بشكل منتظم وأن تحقق نقاط هذه الشبكة الدقة والشروط الفنية المبينة في الجدول رقم (1-1)

ثانياً - تأسيس شبكة مضلعات ضمن الشريط المطلوب مسحه

إن تكثيف الشبكة المرجعية بشبكة مثلثات ممكن إلى حدود معينة ويستدعي التكثيف استخدام شبكات تكثيف أكثر مرونة ، وذلك لأن نقاط شبكات المثلثات يجب أن تلي عدداً من الشروط كالرؤية المتبادلة من كل نقطة

إلى ثلاث نقاط أخرى على الأقل ، وأن لاتقل أي زاوية من زوايا المثلثات عن 30^{gr} ولا تزيد عن 150^{gr} وأن تكون أطوال أضلاع المثلثات متقاربة ، كل ذلك يجعل من الصعب زرع شبكة مثلثات تكون التباعدات بين نقاطها صغيرة ، ولهذا يلجأ عادةً إلى طرق تكثيف أكثر مرونة وأكثر تلاؤماً مع طبيعة تضاريس سطح الأرض والتفاصيل كطريقة المضلعات ، حيث تؤسس شبكة من المضلعات ضمن منطقة مشروع المسح الطبوغرافي ، وذلك استناداً إلى نقاط شبكة المثلثات ذات الإحداثيات المحسوبة في المرحلة السابقة والمنسوبة إلى الجملة العامة للبلاد ويفضّل أن تكون هذه المضلعات مشدودة ومفتوحة ، ولضمان غياب الأغلاط وتحسين الدقة يتم الانطلاق من نقطتين مرجعيتين معلومتي الإحداثيات وكذلك الإغلاق على نقطتين مرجعيتين معلومتي الإحداثيات في نهاية المضلع ، كما في الشكل رقم (1-4) .

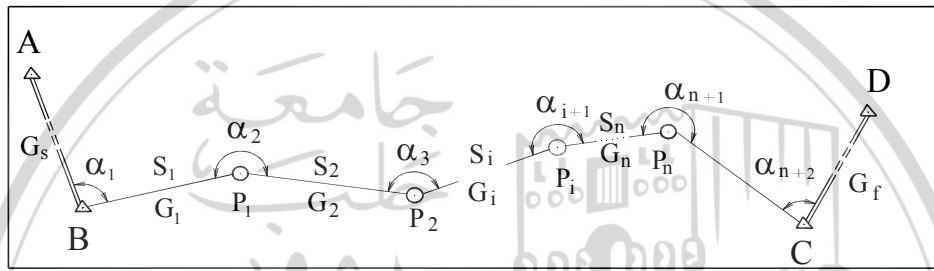
يتم تثبيت رؤوس هذه المضلعات وترقم ويجري تعيين مواقعها اعتماداً على ثلاثة معالم على الأقل على أن تكون هذه المعالم ثابتة وقريبة منها ، وذلك بقياس المسافات الأفقية بينها وبين المعالم الثابتة (عمود هاتف - عمود كهرباء شجرة كبيرة ، إلخ) تقاس الزوايا الأفقية عند رؤوس المضلعات بين كل ضلعين متجاورين مرة واحدة على الأقل وبإجراء عملية الدوران المضاعف ، وتقاس الأضلاع بدقة مناسبة ، كما تعيّن ارتفاعات رؤوس تلك المضلعات (المراصد) بالتسوية المباشرة وتنسب ارتفاعات جميع هذه المراصد إلى مراجع التسوية الحكومية المتوافرة في الموقع كما سيرد شرحه في الفصول اللاحقة .

يمكن إجراء العمليات الحسابية اللازمة لتعيين إحداثيات رؤوس المضلعات وتقدير الدقة وبحسب الشكل رقم (1-4) ، نستطيع حساب المجموع النظري لزوايا المضلع ، باستخدام العلاقة الشهيرة في تعيين السموت الاعتبارية لأضلاع المضلعات ، أي :

$$\left. \begin{aligned}
 G_1 &= G_S + \alpha_1 \pm 200 \\
 G_2 &= G_1 + \alpha_2 \pm 200 \\
 G_3 &= G_2 + \alpha_3 \pm 200 \\
 &\text{-----} \\
 G_n &= G_{n-1} + \alpha_n \pm 200 \\
 G_{n+1} &= G_n + \alpha_{n+1} \pm 200 \\
 G_F &= G_{n+1} + \alpha_{n+2} \pm 200
 \end{aligned} \right\} \quad (1.1)$$

بالجمع نجد إن :

$$G_F = G_S + \sum_{i=1}^{n+2} \alpha_i - 200 (n + 2) \quad (1.2)$$



الشكل (1-4)

حيث إن :

G_S - سمت الاعتباري للضلع المعلوم الأول AB (سمت البداية) .

G_F - سمت الاعتباري للضلع المعلوم الثاني CD (سمت النهاية) .

n - عدد رؤوس المضلع (المرصود) .

$\alpha_1, \dots, \alpha_i, \dots, \alpha_{n+2}$ - الزوايا الأفقية المقاسة عند رؤوس المضلع .

$S_1, S_2, \dots, S_{n+1}$ - أطوال أضلاع المضلع .

$G_1, G_2, \dots, G_{n+1}$ - السموت الاعتبارية لأضلاع المضلع .

من العلاقة (1.2) يمكن استنتاج المجموع النظري لزوايا المضلع كما يلي:

$$\sum_{i=1}^{n+2} \alpha_i = G_F - G_S + 200 (n + 2) \quad (1.3)$$

باعتبار أن القياسات لا تخلو من الأخطاء ، فإن المجموع النظري للزوايا لن يساوي المجموع المقيس . يسمى الفرق بين المجموعين بالإغلاق الزاوي :

$$f_{\alpha} = \sum_{i=1}^{n+2} \alpha'_i - \sum_{i=1}^{n+2} \alpha_i \quad (1.4)$$

حيث إن :

$\sum \alpha'_i$ - مجموع زوايا المضلع ، المقاسة مباشرة على الطبيعة .

يجب أن لا يتجاوز الإغلاق الزاوي حدود التساهل المسموحة ، أي :

$$f_{\alpha} \leq E_{\alpha} = \pm 2.5 e_{\alpha} \sqrt{n+2} \quad (1.5)$$

حيث إن :

e_{α} - الخطأ المتوسط التربيع المسموح لقياس الزوايا ، ويحدد اعتماداً على نوع الأجهزة ، وطرق القياس المستخدمة ، والدقة المطلوبة .
 n - عدد رؤوس المضلع .

إن لم تتحقق المتراجحة (1.5) ، فيجب تدقيق الحسابات أولاً والتأكد من خلوها من الأغلط الحسابية ، وإلا فلا بدّ من إعادة جميع القياسات أو بعضاً منها .
 أما إذا تحققت ، فهذا يعني بأن الإغلاق الزاوي يقع ضمن حدود التساهل المسموحة ، ويكون مبرراً بأخطاء القياس . نقوم بتوزيع هذا الخطأ على زوايا المضلع بالتساوي ، وذلك كما يلي :

$$V_{\alpha i} = \frac{-f_{\alpha}}{n+2} \quad (1.6)$$

حيث إن :

$V_{\alpha i}$ - التصحيح الزاوي .

بعد الحصول على التصحيحات وإضافتها إلى الزوايا ، نحصل على زوايا معدّلة ونهائية . تحسب السموت الاعتبارية النهائية لأضلاع المضلع بتطبيق العلاقات

(1.1) . نستطيع حساب الإحداثيات النظرية لرؤوس هذا المضلع كما يلي:

$$\left. \begin{array}{l} X_1 = X_b + \Delta X_1 \\ X_2 = X_1 + \Delta X_2 \\ \text{-----} \\ X_n = X_{n-1} + \Delta X_n \\ X_c = X_{n+1} + \Delta X_n \end{array} \right\} \quad (1.7)$$

حيث إن :

n - عدد رؤوس المضلع .

بالجمع نجد إن :

$$X_c = X_b + \sum_{i=1}^{n+1} \Delta X_i \quad (1.8)$$

بنفس الأسلوب نستطيع كتابة :

$$Y_c = Y_b + \sum_{i=1}^{n+1} \Delta Y_i \quad (1.9)$$

حيث إن :

$$\Delta X_i = S_i \sin G_i$$

$$\Delta Y_i = S_i \cos G_i$$

من العلاقتين (1.8) و (1.9) ، نستطيع إيجاد المجموع النظري لفروق الإحداثيات بين نقطة بداية المضلع B ونقطة نهايته C ، كما يلي:

$$\sum_{i=1}^{n+1} \Delta X_i = X_c - X_b \quad (1.10)$$

وبالمثل نجد إن :

$$\sum_{i=1}^{n+1} \Delta Y_i = Y_c - Y_b \quad (1.11)$$

سنلاحظ بأن المجموع النظري لفروق الإحداثيات لن يساوي المجموع الناتج عن القياسات ، وذلك لوجود أخطاء القياس . يسمى الفرق بين المجموعين بالإغلاق الخطي ، ويحسب كما يلي :

$$f_x = \sum \Delta x_i - \sum \Delta X_i \quad (1.12)$$

$$f_y = \sum \Delta y_i - \sum \Delta Y_i \quad (1.13)$$

من الشكل رقم (1-5) يمكن كتابة :

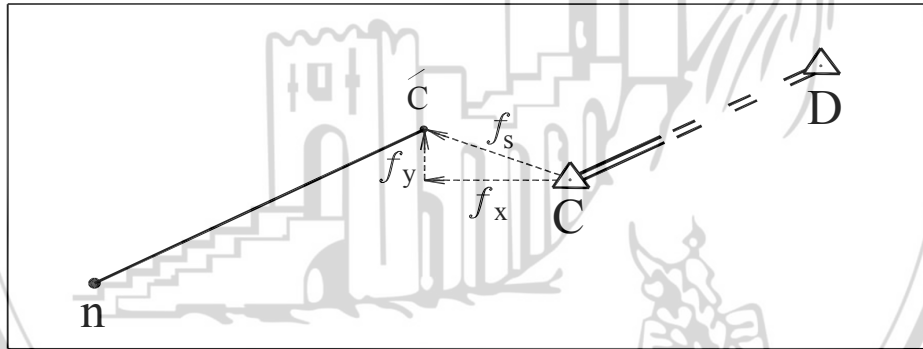
$$f_s = \sqrt{f_x^2 + f_y^2} \quad (1.14)$$

حيث إن :

$f_s = c\check{c}$ - الإغلاق الخطي ، كما يوضحه الشكل رقم (1-5) .

يجب أن يحقق الإغلاق الخطي المتراجحة التالية :

$$\frac{f_s}{\sum s_i} \leq \frac{1}{N} \quad (1.15)$$



الشكل (1-5)

حيث إن :

$\sum s_i$ - مجموع أطوال أضلاع المضلع .

N - عدد يميز دقة قياس أضلاع المضلع .

إن قيمة الخطأ المتوسط التربيع النسبي تعكس دقة القياسات الحقلية

(مسافات - زوايا) وهي تتعلق بطرق القياس والأجهزة المستخدمة في القياس ويجب أن لا تتجاوز الحدود المسموحة . بعد ذلك تحسب التصحيحات الخطية وتوزع بالتناسب مع طول كل ضلع من الأضلاع وذلك كما يلي :

$$V_{\Delta xi} = \frac{-f_x}{\sum S_i} S_i \quad (1.16)$$

$$V_{\Delta yi} = \frac{-f_y}{\sum S_i} S_i \quad (1.17)$$

يجب أن يتحقق :

$$\sum V_{\Delta xi} = -f_x , \quad \sum V_{\Delta yi} = -f_y$$

بعد إضافة التصحيحات الزاوية والخطية ، يتم حساب الإحداثيات النهائية لرؤوس المضلع ، وذلك بتطبيق العلاقات (1.7) . تحسب ارتفاعات رؤوس المضلع بعد قياس فروق الارتفاعات بين كل ذروتين متتاليتين ، وبنفس المحاكمة السابقة يمكن القول بأن المجموع النظري لفروق الارتفاعات لن يساوي المجموع الناتج عن القياسات ، وأن الفرق بين القيمتين سيمثل الإغلاق الارتفاعي ، ويمكن كتابة :

$$f_h = \sum \Delta h_i - \sum \Delta H_i \quad (1.18)$$

حيث إن :

$$\sum \Delta h_i - \text{مجموع فروق الارتفاعات المقاسة بين نقطتي البداية والنهاية .}$$

$$\sum \Delta H_i - \text{مجموع فروق الارتفاعات النظرية بين نقطتي البداية والنهاية .}$$

يحسب المجموع النظري لفروق الارتفاعات بالعلاقة التالية :

$$\sum \Delta H_i = H_c - H_b \quad (1.19)$$

وبالتالي يمكن كتابة :

$$f_h = \sum \Delta h_i - (H_c - H_b) \quad (1.20)$$

يجب أن لا يتجاوز الإغلاق الارتفاعي حدود التساهل المسموحة ، أي يجب أن تتحقق المتراجحة التالية :

$$f_h \leq E_h = \pm 2.5 e_h \sqrt{L} \quad (1.21)$$

حيث إن :

e_h - الخطأ المتوسط التربيع الكيلومتري ، ويقدر بالميليمتر .

L - الطول الكلي للمضلع ، ويقدر بالكيلومتر .

يوزع الإغلاق الارتفاعي بالتساوي إذا كانت أطوال أضلاع المضلع متقاربة الطول ، أو بالتناسب بحسب طول كل ضلع من هذه الأضلاع كما يلي :

$$V_{\Delta hi} = \frac{-f_h}{\sum S_i} S_i \quad (1.22)$$

يجب أن يتحقق :

$$\sum V_{\Delta hi} = -f_h$$

بعد حساب الإغلاق الارتفاعي والتأكد من وقوعه ضمن الحدود المسموحة المبينة في الجدول رقم (1-2) ، تعدل القياسات الارتفاعية ، وذلك بإضافة التصحيحات المحسوبة بالعلاقة (1.22) ، ثم تحسب المنسوبات النهائية لرؤوس المضلع . من أجل الحصول على إحداثيات نقاط المضلعات بدقة مناسبة ، يجب أن يتحقق عدد من الشروط ، حيث تتبع هذه الشروط إلى مقياس المخطط . نبين مثلاً بأن المسح بمقياس 1/1000 يستدعي تحقيق الشروط التالية في المضلعات :

- أن لا تتجاوز المسافة الأفقية بين كل ذروتين متتاليتين / 350 m
- أن لا تقل دقة قياس زوايا المضلع عن 15°

• أن لا تقل الدقة الكيلومترية لقياس فروق الارتفاعات عن $e_h \leq 10 \text{ mm}$

• أن لا تقل الدقة النسبية لقياس الأضلاع عن القيمة $\frac{f_s}{\sum S_i} \leq \frac{1}{2000}$

الجدول (1- 2)

خطأ الإغلاق المسموح في المضلع (mm)	الخطأ المتوسط التربيع (mm)	درجة شبكة التسوية
3	2	1
$3 \sqrt{L}$	1	درجة أولى
$5 \sqrt{L}$	2	درجة ثانية
$12 \sqrt{L}$	5	درجة ثالثة
$25 \sqrt{L}$	10	درجة رابعة

يمكن الرجوع إلى متطلبات دفاتر شروط الخاصة لدى الدوائر المختصة عند تحديد الشروط الخاصة بالمضلعات . لتعيين الحد الأدنى لعدد المراصد الواجب توفرها ضمن المنطقة المدروسة أو القرية جداً من حدودها الخارجية نوضح الحالة النموذجية المبينة على الشكل رقم (1-6) . نلاحظ التوزع المنتظم للمراصد ، ولنفرض أنه من أحدها وليكن المرصد 1 تم تنفيذ عمليات المسح التفصيلي ضمن دائرة نصف قطرها $R = d$. حيث d هي أكبر مسافة مسموحة بين المرصد ونقاط المسح التفصيلي . لكي تشمل عمليات المسح التفصيلي كل مساحة الموقع المدروس ، دون ترك فراغات كبيرة ولتأمين تغطية كافية بين المساحات الجزئية الممسوحة من المراصد المتجاورة ، نحتاج إلى سبعة مراصد على الأقل .

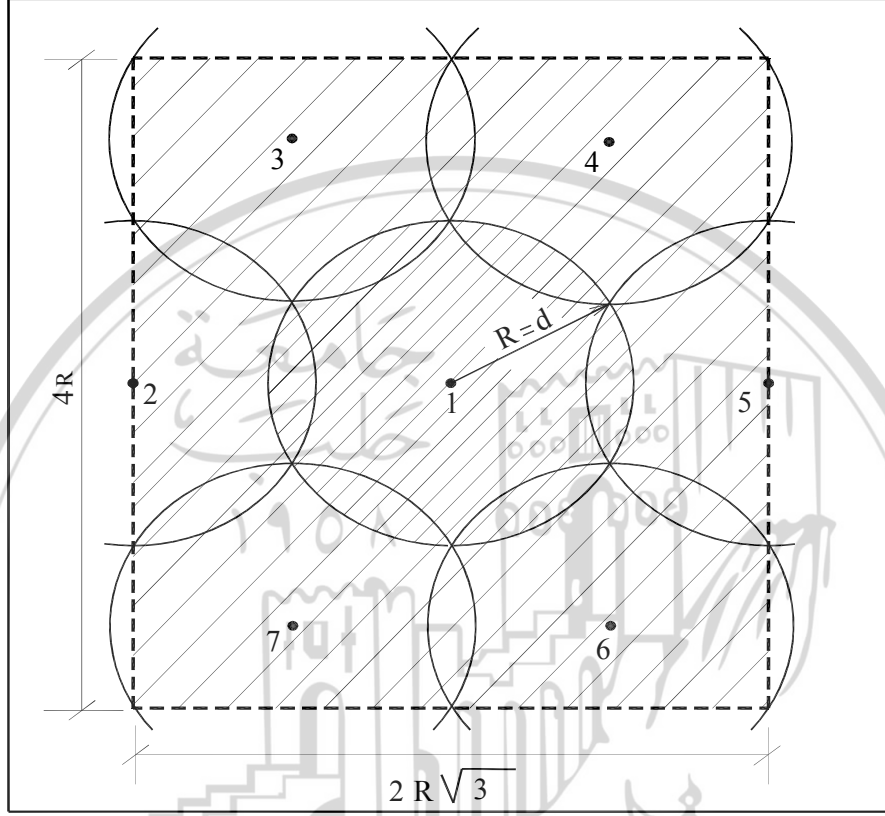
يمكن حساب الحد الأدنى لعدد المراصد N في المنطقة المدروسة بتطبيق العلاقة التجريبية التالية :

$$N = 6n + K \quad (1.23)$$

حيث إن :

n - عدد المربعات التي تكافئ مساحة كل منها مساحة المستطيل النظامي المبين في الشكل (1-6) الذي يمكن حساب مساحته بالعلاقة التالية :

$$F = 4R \times 2R\sqrt{3} \quad (1.24)$$



الشكل (1-6)

فيكون لدينا

$$n = \frac{P}{F}$$

(1.25)

حيث إن :

P - المساحة الكلية (km^2) للمنطقة المدروسة ، ويمكن حسابها بالطريقة الميكانيكية من المخطط مباشرةً باستخدام جهاز البلانيمتر ، أو بتطبيق إحدى

العلاقات التحليلية لحساب مساحة شكل مضلع مغلق ، ولتكن العلاقة التالية :

$$P = \sum_{i=1}^{i=n} Y_i (X_{i+1} - X_i) + \frac{1}{2} \sum_{i=1}^{i=n} (X_{i+1} - X_i) (Y_{i+1} - Y_i) \quad (1.26)$$

أو بأية طريقة أخرى .

K - في العلاقة (1.23) يمثل عدد المربعات المتجاورة الممتدة على طول الحد الشرقي للمنطقة المدروسة ويحسب بالعلاقة :

$$K = \frac{Y_{\max} - Y_{\min}}{4d} \quad (1.27)$$

بعد حساب الحد الأدنى للمرصد N ، الواجب توفرها ضمن المنطقة المدروسة يمكن حساب كثافة هذه المرصد ضمن واحدة المساحة (km^2) وذلك بتطبيق العلاقة التالية :

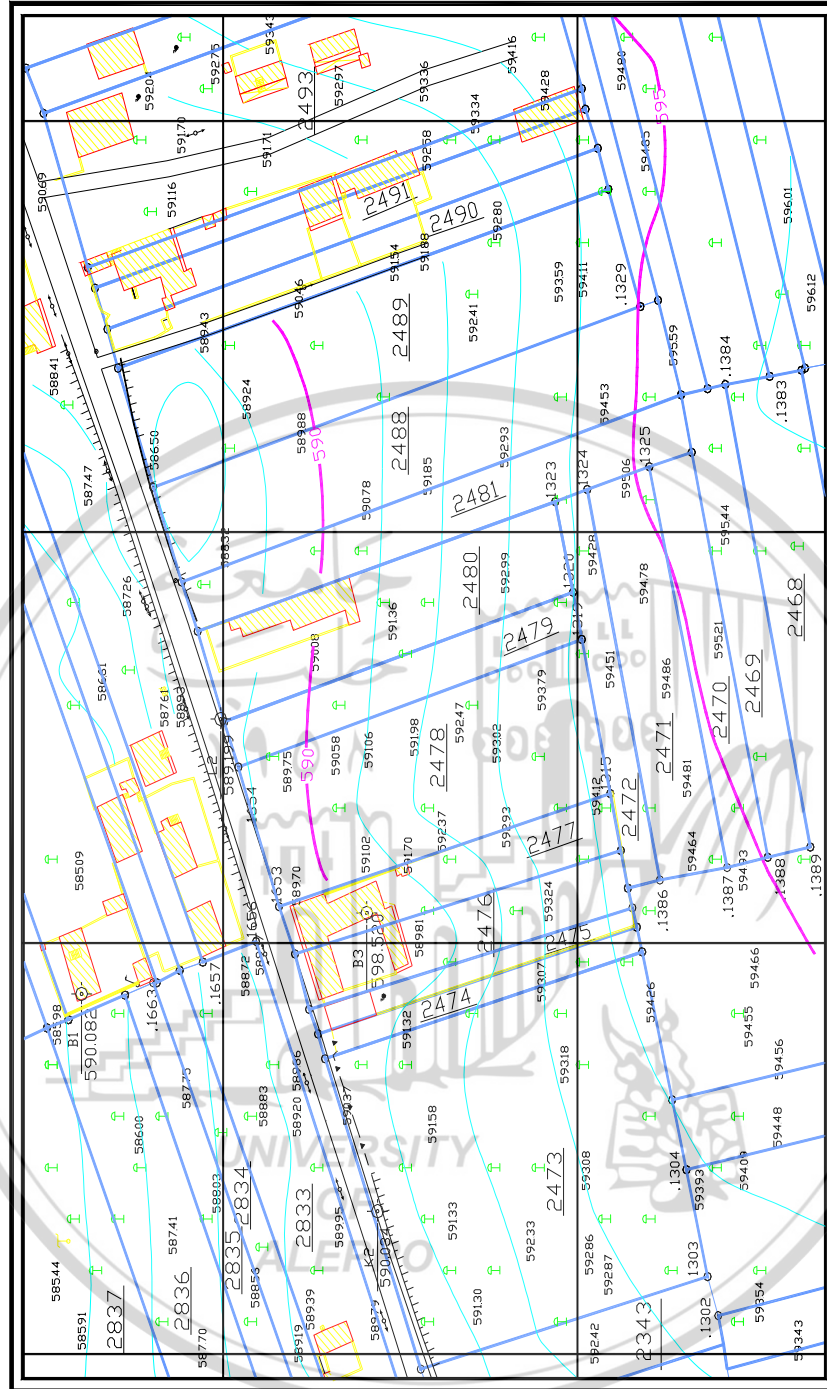
$$M = \frac{N}{P} \quad (1.28)$$

تزرع كافة المرصد بحيث تكون الرؤية متبادلة بين المرصد المتجاورة ثم تثبت هذه المرصد على الطبيعة بحسب موقعها ، فتثبت على الطرق الإسفلتية بواسطة أوتاد حديدية رأسها مدبب من الأعلى وقطرها لا يقل عن 12 mm وطولها لا يقل عن 15 cm ، وتثبت في المناطق الصخرية على شكل تصالب محفور على الصخر بطول 15 cm وعرض لا يقل عن 1 cm وعمق لا يقل عن 1 cm . أما في الأراضي فتستخدم الأحجار المساحية ذات الأبعاد $15 \times 15\text{ cm}$ من الأعلى والأبعاد $35 \times 35\text{ cm}$ من الأسفل ، وبارتفاع 50 cm تقريباً ، وتغرس في الأرض بصورة نضمن بقاءها في موقعها ، ويجب زرع وتد حديدي رأسه مدبب لا يقل قطره عن 12 mm وطوله 15 cm في الحجر البيتوني . إن تكثيف الشبكة المرجعية بشبكة مثلثات وشبكة مضلعات ونقاط محسوبة بطريقة التقاطع أو التقويم يجب أن يسبق أعمال المسح التفصيلي ، وتعتبر هذه الأعمال في المشاريع المساحية مرحلة منفصلة وتسمى بالمرحلة الأولى ، وفي نهاية هذه المرحلة يجب الحصول على ما يلي :

- مخطط بمقياس صغير يبين مواقع نقاط المثلثات والمراسد ومراجع التسوية برموزها وأرقامها .
- جداول القياسات الزاوية والخطية لعناصر شبكة المثلثات والمضلعات ، وفروق الارتفاعات .
- جداول الإحداثيات النهائية لنقاط المثلثات والمضلعات مع نتائج التعديل وتقدير الدقة ومقارنتها بالقيم المسموحة .
- جداول المنسوبات النهائية للمراسد مع نتائج التعديل وتقدير الدقة ومقارنتها مع القيم المسموحة .
- سجل يحتوي على بطاقات الوصف لنقاط المثلثات والمراسد .

ثالثاً - المسح التفصيلي

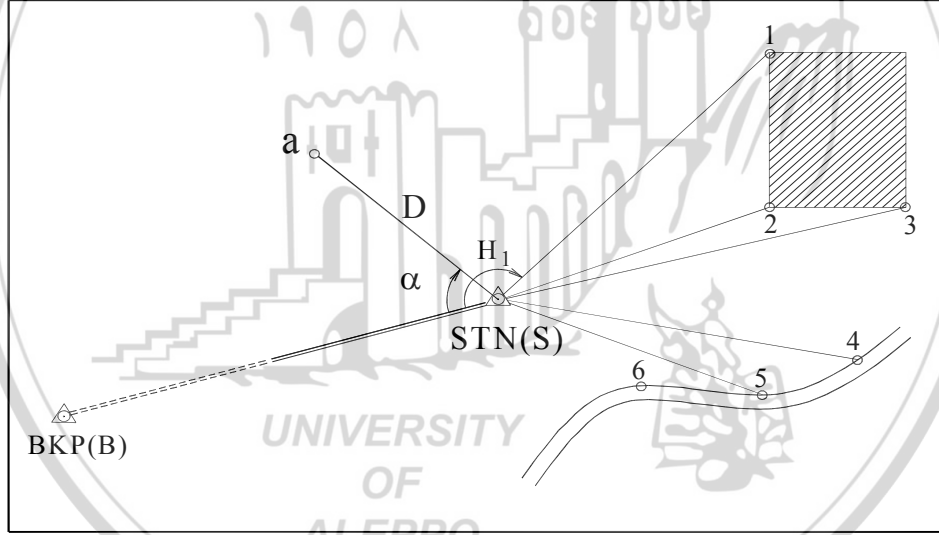
انطلاقاً من نقاط الشبكة المرجعية ونقاط التكتيف من مثلثات ومضلعات ونقاط معينة بطريقة التقاطع أو التقويم (سندعوها جميعاً بنقاط الاستناد) يتم المسح التفصيلي ، أي التعيين المستوي لكل التفصيلات الاصطناعية التي تشمل المسقفات بأنواعها وحدود الملكيات وشبكات الهاتف والكهرباء ومسارات الطرق بمختلف تصنيفاتها ، والشوارع ، والأرصفة والصرف الصحي ، وأبراج التوتر العالي ، والآبار وحدود المزروعات والأشجار الكبيرة ... إلخ ، وتمثيل كافة التفصيلات الطبيعية كالجبال ، والهضاب والوديان ، والانحدارات ، والمسيلات المائية ، على المخططات الطبوغرافية بواسطة منحنيات التسوية ، كما في الشكل رقم (7-1) . يمكن إجراء عمليات المسح التفصيلي بطرق متعددة أهمها : طريقة المسح القطبي وطريقة المسح المتعامد .



الشكل (1-7)

المسح القطبي

تعتبر هذه الطريقة (الإشعاع) الأكثر استخداماً ، وذلك نظراً للانتشار الواسع لقوائس المسافات الإلكترونية المزودة بتيودوليت لقياس الزوايا الأفقية والشاقولية . يتلخص مبدأ هذه الطريقة في تعيين مواقع نقاط المسح التفصيلي بالاعتماد على نقطتي استناد ، معلومتي الإحداثيات كقاعدة عمليات ، حيث يتم التمرکز بجهاز المساحة على أحد أطراف القاعدة (النقطة A مثلاً) والتوجيه إلى الطرف الآخر (النقطة B) . تدعى النقطة الأولى S بالمحطة STN ، وتدعى النقطة الثانية B بالنقطة الخلفية BKP ، ويعتبر الاتجاه المعلوم STN-BKP اتجاهاً أساسياً لقياس الزوايا . تقاس الزوايا الأفقية $H_1, H_2, \dots, H_n$ من الاتجاه الأساسي إلى نقاط المسح التفصيلي $1, 2, \dots, n$ وكذلك تقاس المسافات الأفقية $HD_1, HD_2, \dots, HD_n$ بين المحطة المعلومة (نقطة الوقوف) ونقاط المسح التفصيلي المجهولة (أو المسافات المائلة ومن ثم تحويلها إلى مسافات أفقية كما مر معنا) .



الشكل (1- 8)

ثم يحسب ارتفاع النقطة a بتطبيق العلاقة التالية :

$$H_a = H_c + \Delta H_{ca} + J - R + (s-r) \quad (1.30)$$

حيث إن :

- H_c - ارتفاع المحطة وهو معلوم .
- ΔH_{ca} - فرق الارتفاع بين المحطة المعلومة والنقطة المجهولة a .
- J - ارتفاع القائس الإلكتروني .
- R - ارتفاع العاكس .
- s - تأثير كروية الأرض .
- r - تأثير انكسار الأشعة .

يتم اختيار نقاط المسح التفصيلي بشكل تغطي فيه المساحة المطلوب تمثيل تفصيلاتها على المخططات الطبوغرافية ، ويراعى التوزيع المنتظم لهذه النقاط بحيث تكون المسافة بين كل نقطتين متجاورتين على المخططات بحدود $2cm$ مهما كان مقياس ذلك المخطط ، كذلك تؤخذ المنسويات عند مواقع تغيرات الميول والأماكن المميزة الأخرى (قمة ، قاع) ، بالإضافة إلى النقاط التفصيلية الموزعة بشكل منتظم .

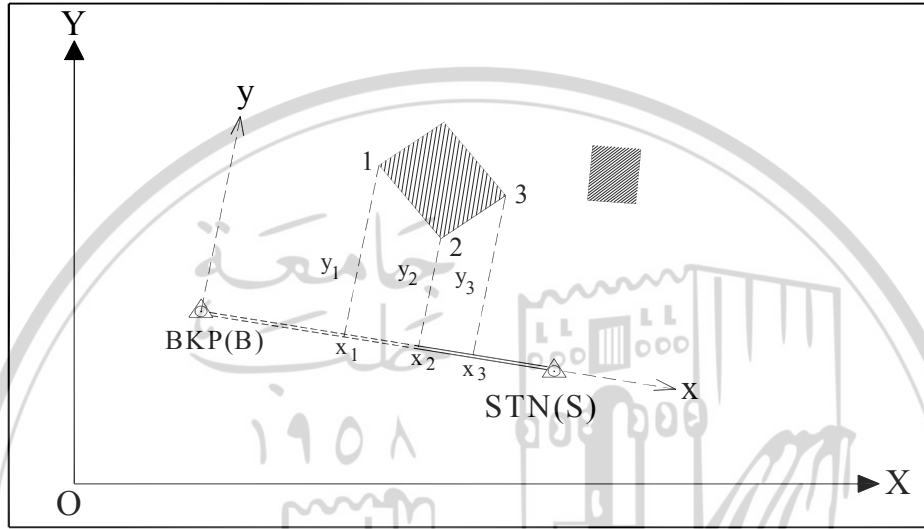
من أجل التخفيف من تأثير الأخطاء العشوائية والنظامية أثناء القياسات ينصح بتجنب إجراء عمليات الرصد أثناء الحر الشديد ، والرياح والرطوبة العاليتين وأن لا تتجاوز المسافات بين الجهاز والعاكس $200 m$ ، وأن لا يقل ارتفاع خط الرصد عن $30 cm$ فوق سطح الأرض ، وأن لا ننسى أبداً أنه كلما كانت المخططات الطبوغرافية تمثل الواقع بتفصيلاته كافة ، قلّ احتمال الوقوع في أغلاط أثناء تخطيط المنشآت الهندسية ، وزادت دقة الحسابات اللاحقة (طول المسار كميات الحفر والردم ... إلخ) .

المسح المتعامد

تستخدم هذه الطريقة عادةً في المناطق السكنية الكثيفة التي يصعب فيها تحقيق الرؤية المتبادلة بين المحطة ونقاط المسح التفصيلي ، وهي طريقة قديمة نسبياً واستخدامها محدود .

تعتمد هذه الطريقة على مبدأ إسقاط نقاط المسح التفصيلي على قاعدة

العمليات وقياس المسافات المعبرة عن إحداثيات نقاط المسح في جملة إحداثيات محلية ينطبق مبدؤها على المحطة المعلومة والمحور X منطبق على امتداد قاعدة العمليات . تتم عملية الإسقاط بواسطة جهاز بسيط يدعى الموشور الضوئي البسيط ثم تحسب إحداثيات نقاط المسح التفصيلي في الجملة العامة بعملية تحويل للإحداثيات من الجملة المحلية (oxy) إلى الجملة العامة (OXY) كما في الشكل رقم (1-9) وذلك بمعرفة إحداثيات نقطتي الإستناد بكلا الجملتين .



الشكل (1-9)

1.2.3 تأثير كروية الأرض وانكسار الأشعة

تستخدم عادة الطرق غير المباشرة لتعيين ارتفاعات نقاط المسح التفصيلي إلا أنه في بعض الحالات الخاصة قد تكون النقاط المطلوب تعيين ارتفاعاتها بعيدة بعداً لا يمكن معه إهمال تأثير الخطأ الناتج عن اعتماد المستوي كسطح للمقارنة بدلاً من السطح الكروي ، ذلك لأن مقدار هذا الخطأ قد يتجاوز أخطاء القياسات المسموحة ، الأمر الذي يتطلب تعيين تأثير كروية الأرض وانكسار الأشعة ، وإضافة التصحيح اللازم على ارتفاعات النقاط البعيدة عن المراصد .

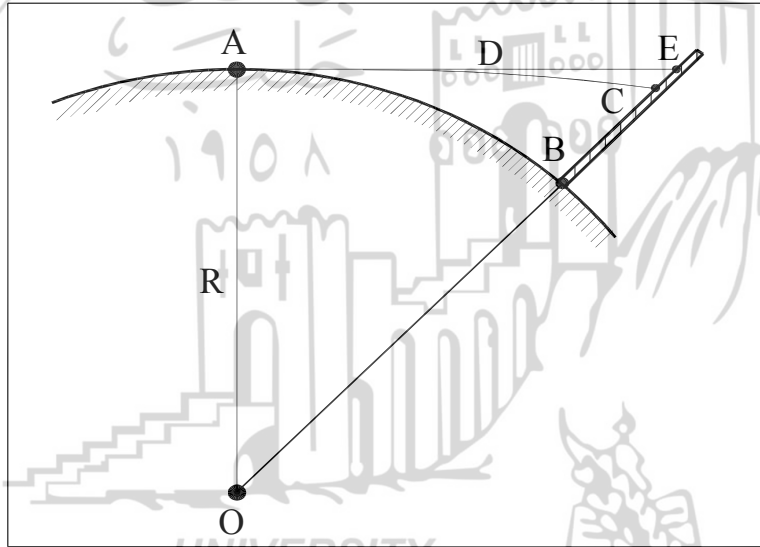
من الشكل رقم (1-10) نجد ما يلي :

بإهمال $\overline{BE}^2$ لصغرها نجد إن :

$$BE = S = \frac{D^2}{2R} \quad (1.31)$$

إن المقدار S ، هو الخطأ الناتج عن كروية الأرض ، ونلاحظ بأنه يتناسب طردياً مع مربع المسافة الأفقية بين المرصد A ونقطة المسح الارتفاعي B . ونلاحظ أيضاً بأن مسار الشعاع الضوئي لا يكون مستقيماً وإنما يتقعر باتجاه الأسفل ليتقاطع مع الميرا الموضوعة فوق شاقول النقطة B عند النقطة C وليس عند النقطة E . هذا يعني بأن القراءة على الميرا ستكون عند النقطة C وليس عند النقطة E . يسمى المقدار $CE = r$ انكسار الأشعة ، وبالتالي سيكون التصحيح اللازم إضافته والناتج عن تأثير كروية الأرض وانكسار الأشعة معاً هو $(S-r)$. دلت التجارب بأن قيمة الخطأ الناتج عن انكسار الأشعة يساوي تقريباً .

$$r = 0.14 S \quad (1.32)$$



الشكل (1-10)

1.2.4 تحديد الخيارات المناسبة واختيار المسار المناسب

من خلال دراسة المخططات الطبوغرافية التي تم إنتاجها في المراحل السابقة والتي تمثل التفاصيل كافة، واستعمالات الأراضي ، وحدود الملكيات ضمن الشريط المدروس . يتم التعرف إلى الخيارات المناسبة التي يمكن أن تحقق أهداف

وغايات المشروع ، حيث نقوم بتحديد تلك المسارات ورسمها على المخططات الطبوغرافية ، ومن ثم المقارنة بين هذه المسارات ، آخذين بعين الاعتبار المعايير التالية :

1. التكاليف المتوقعة لتنفيذ المشروع ، وهذا يحتاج إلى معرفة أطوال المسارات ونفقات استملاك الأراضي التي يجب اقتطاعها وتخصيصها للمشروع ، وعدد وأبعاد التقاطعات المائية وحجم الأعمال الصناعية (جسور - عبارات - جدران استنادية) وحجم ونوع الأعمال الترابية مع الأخذ بعين الاعتبار إمكانية توازن كميات الحفر والردم ، إذ يمكن تقدير ذلك بشكل أولي من خلال إجراء مقطع طولي لسطح الأرض الطبيعية عند المواقع المقترحة لمرور الطريق ضمن الأشرطة ، كما في الشكل رقم (1-11).

تؤخذ المعلومات اللازمة من المخططات مباشرة ، أي تقاس المسافات الأفقية على هذه المخططات وتستنتج فروق الارتفاعات من خطوط التسوية ويرسم المقطع الطولي ، وذلك من أجل المفاضلة بين مسار وآخر .

2. حجم وأهمية الخدمات التي يقدمها كل مسار من هذه المسارات للتجمعات السكنية والأراضي والمناطق المحيطة .

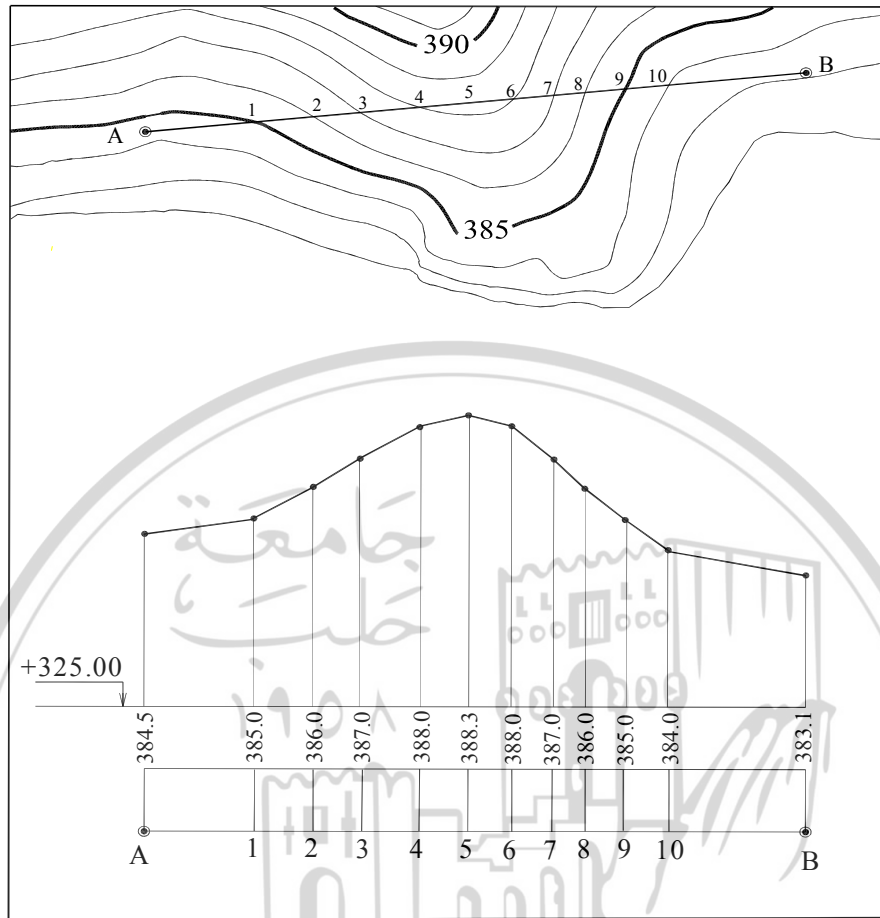
3. مستوى الخدمات المرورية التي يتميز بها كل مسار من حيث الراحة والأمان .

4. ملائمة وتجانس المسار مع المحيط الطبوغرافي ، ومراعاة المنظر الطبيعي وإدخال العامل الجمالي والبيئي .

يجب الاهتمام الخاص في مرحلة تحديد المسارات واختيار الأنسب من بينها على مستوى السلامة المرورية ، واعتبارها العامل الأهم والمعيار الأساس لجميع المعايير التي ورد ذكرها أعلاه .

من الجدير بالذكر في هذه المرحلة أيضاً ، أن استخدام الحاسوب وبرامج نظم المعلومات الجغرافية GIS ، للمفاضلة بين حل وآخر ، استناداً إلى البيانات المذكورة أعلاه أصبح ممكناً ، ويجب الاستفادة من هذه التقنيات المتطورة ، ولا سيما لدى المؤسسات الكبرى المعنية بشؤون تنفيذ شبكات الطرق والمسارات

الأخرى المشابهة لها هندسياً ، ليتم اختيار الحل الأمثل .



الشكل (1-11)

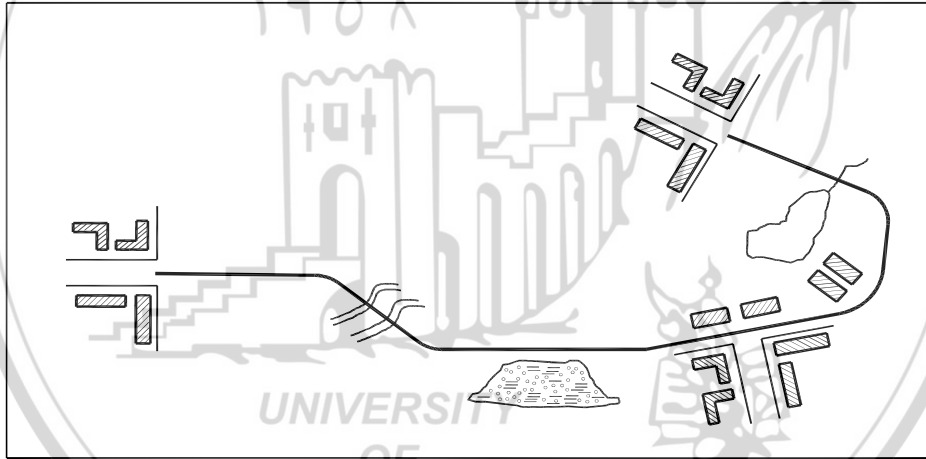
1.2.5 تخطيط المسارات

بعد الانتهاء من عمليات المقارنة والمفاضلة بين الحلول المقترحة يتم التركيز على المسار الأفضل من بينها وتستبعد الحلول الأخرى ، بعد ذلك يقوم المصمم بتخطيط هذا المسار ، من خلال تحديد بدايته ونهايته ورسمه على المخططات الطبوغرافية على شكل قطع مستقيمة متقاطعة . تسمى نقاط التقاطع هذه بذروات المسار ، على أن يراعى في التصميم الشروط التالية :

- اجتياز الممرات والمسيلات المائية والأنهار والتقاطعات الأخرى بحيث يكون

- المسار عمودياً عليها قدر الإمكان ، كما في الشكل رقم (1-12) .
- كون الطول الكلي للطريق أقصر ما يمكن مع مراعاة السلامة العامة من حيث انسيابية المسار ، ووضوح الرؤية وما شابه ذلك .
- الإقلال قدر الإمكان من المنعطفات الأفقية والمنحنيات الشاقولية .
- تحقيق متطلبات الراحة والجمال والأمان بشكل يتكامل مع غايات وأهداف الطريق الأساسية .

في حالات خاصة يكون اتجاه المسار شبه معلوم ، كأن يطلب تمريره مثلاً خلال مناطق سكنية ، أو أثرية ، أو زراعية ، وبالتالي فإن مجال المفاضلة بين حل وآخر يصبح محدوداً جداً ، وآنذاك يجب أن يعطي المصمم الأولوية للمعايير المرورية والاجتماعية والسياحية والصحية والمجالات التنموية الأخرى ولا يتوقف كثيراً عند تكاليف تنفيذ المشروع ، ولو تطلب الأمر التنفيذ على عدة مراحل مما يعني إمكانية الاستغناء عن جزء كبير من عمليات الاستطلاع والدراسات الأولية .



الشكل (1-12)

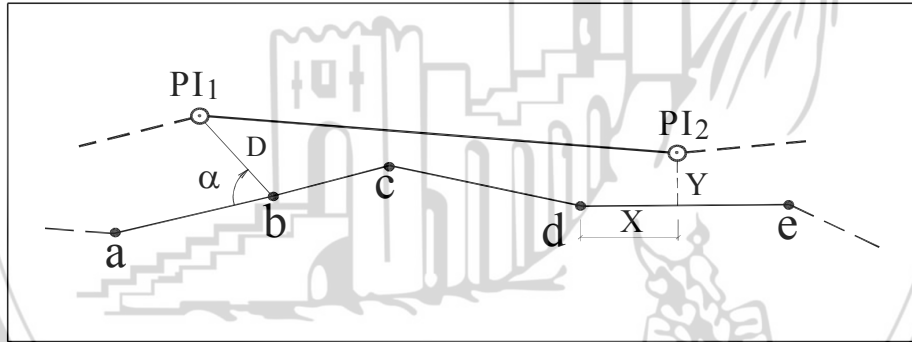
في نهاية هذه المرحلة يرسم كروكي للمسار ، موضحاً عليه اتجاهات القطع المستقيمة وأطوالها التقريبية ونقاط ذروات المسار .

1.2.6 غرس المسار وتجسيده على الطبيعة

بعد تثبيت المسار النهائي لخط المواصلات على المخططات ، واعتماده الجهات المعنية له وتصديق الدراسة ، يقوم المهندس بتجسيد عناصره على الطبيعة أي نقل المسار من المخططات إلى الواقع ، حيث يبدأ أولاً بغرس ذرواته المثبتة على المخططات ، استناداً إلى نقاط المثلثات أو المرصد المعينة على تلك المخططات والمجسدة على الطبيعة (تم تعيينها في مراحل سابقة من الدراسة) لهذه الغاية يقوم المهندس بتعيين العناصر اللازمة لغرس هذه الذروات بواسطة القياس المباشر على المخططات (سواءً كانت ورقية أم رقمية) لتلك العناصر ، وبما يلبي متطلبات الطريقة المتبعة في الغرس . هناك طرق عديدة لغرس ذروات المسار وذلك بحسب الأجهزة أو الطريقة المستخدمة ، من أهمها :

أولاً - استخدام الموشور الضوئي

تستخدم هذه الطريقة في المناطق السهلة وعندما تكون ذروات المسار قريبة من رؤوس المضلع ، ونعتمد طريقة الإحداثيات العمودية (Y ، X) عند تجسيد الذروة PI_2 مثلاً .



الشكل (1-13)

حيث نعين على المخطط فاصلة وترتيب هذه الذروة لأقرب مضلع منها ، منسوبة إلى جملة إحداثيات محلية مبدؤها أقرب رأس مضلع لهذه الذروة ، كما في الشكل رقم (1-13) .

ثانياً - استخدام القائس الإلكتروني

يمكن استخدام هذه الطريقة في جميع الحالات التي يواجهها المهندس ولتجسيد الذروة PI_1 ، المبينة على الشكل رقم (1-13) ، يكفي قياس الزاوية α والمسافة الأفقية D على المخطط. تثبت ذروات المسار على الطبيعة بنفس طرق تثبيت المراصد وتوضع بطاقات وصف لها ، وتقاس الزوايا الأفقية عند هذه الذروات ، والمسافات الأفقية وفروق الارتفاعات بينها ، ومن ثم تحسب إحداثيات ومنسوبات تلك الذروات .

1.3 تجسيد الاستقامات

بعد تخطيط مسارات خطوط المواصلات وماشابهها هندسياً ونقل ذرواتها من المخططات إلى الطبيعة باستخدام الطرق والوسائل المبينة في الفقرة السابقة يقوم المهندس بتجسيد هذه المسارات على الطبيعة ، وذلك بغرس عدد من النقاط التي تبين مواقع مرور استقامات خط المواصلات على الطبيعة مباشرة ، بحيث تكون التباعدات بين هذه النقاط شبه متساوية ويمكن زيادة أو انقاص هذا التباعد وذلك بحسب تضاريس سطح الأرض الطبيعية التي يمر منها المسار ، أو بحسب العوائق الطبيعية أو الاصطناعية الموجودة ، التي تعترض هذا المسار . هناك عدة طرق لتجسيد استقامات المسار وذلك بحسب الشروط الطبوغرافية والمكانية وبحسب العوائق الموجودة كما ذكرنا ، وعلى المهندس المنفذ اختيار الطريقة الأنسب من بينها .

1.3.1 تجسيد استقامة بين نقطتين مرئيتين إحداهما من الأخرى

لتكن لدينا الذروتان PI_1 و PI_2 المجسدتان على الطبيعة ، ولتجسيد الاستقامة بينهما ، نغرس عدداً من النقاط A ، B ، C ، على هذه الاستقامة وذلك اعتباراً من الذروة PI_1 ، المسافات بين هذه النقاط معلومة . يمكن إنجاز هذه العملية بالنظر ، وذلك بتثبيت شاخص شاقولي فوق الذروة الأولى PI_1 وآخر فوق الذروة الثانية PI_2 ، إذ نؤمن شاقوليتهما بواسطة خيط المطمار ثم الوقوف بالقرب من أحدهما ، وتشكيل مستو شاقولي بواسطة العين المجردة وهذين

الشخصين ،بعدها يتم توجيه مساعد يحمل شاخصاً ثالثاً ليصبح ضمن المستوي الشاقولي للنظر ، وبلاستعانة بشريط القياس نحدد المسافات الأفقية بين هذه النقاط ثم غرسها .

أما إذا كانت المسافة بين الذروتين PI_1 و PI_2 كبيرة ، فيمكن تجسيد النقاط التي تقع على الاستقامة بينهما ، باستخدام جهاز التيودوليت وذلك بتركيز الجهاز فوق إحدى الذروتين ، وثبتت شاخص فوق الذروة الثانية شاقولياً ، ثم يوجه المحور الضوئي لنظارة التيودوليت باتجاه الشاخص ليتشكل لدينا مستو شاقولي يحوي الاستقامة المطلوبة . يتم توجيه مساعد يحمل شاخصاً ، ليصبح ضمن المستوي الشاقولي للنظر ، وبلاستعانة بشريط القياس نحدد المسافات الأفقية بين هذه النقاط ثم غرسها . إن تحديد المسافات يمكن أن يتم بشريط القياس كما وجدنا ، أو بواسطة قانس المسافات الإلكتروني إذا كان التيودوليت مزوداً بقانس إلكتروني عندها سيحمل المساعد الفني عاكساً بدلاً من الشاخص ويتم تعيين المسافات المطلوبة .

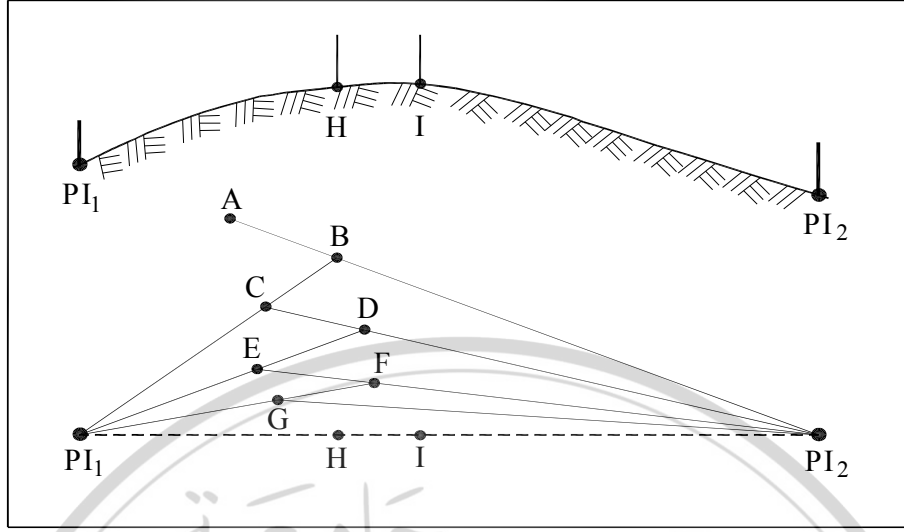
1.3.2 تجسيد استقامة بين نقطتين غير مرئيتين إحداها من الأخرى

يمكن مصادفة هذه الحالة في المناطق ذات التضاريس المتباينة ، الأمر الذي يجعل الذروتين PI_1 و PI_2 في الحالة العامة ، غير مرئيتين إحداها من الأخرى وبالتالي لايمكن اتباع الطرق المذكورة في البند السابق . لغرس نقاط تقع على الاستقامة بين هاتين الذروتين يمكن اتباع إحدى الطرق التالية :

• الطريقة الأولى

يقف المساعد الفني في نقطة ما مثل النقطة A ، قريبة من الاستقامة المطلوب تجسيدها ، بحيث يمكن رؤية الشخصين الشاقوليين الموضوعين فوق الذروتين PI_1 و PI_2 . نوجه مساعداً آخر ليضع شاخصاً شاقولياً فوق النقطة B على الاستقامة BPI_2 ، بحيث يمكن رؤية الشاخص الشاقولي الموضوع فوق الذروة PI_1 من هذه النقطة ، ثم نوجه المساعد ، ليضع شاخصاً شاقولياً في النقطة C على الاستقامة BPI_1 ، بحيث يمكن رؤية الشاخص الشاقولي الموضوع فوق الذروة

PI₂ من هذه النقطة كما في الشكل رقم (1-14) .



الشكل (1-14)

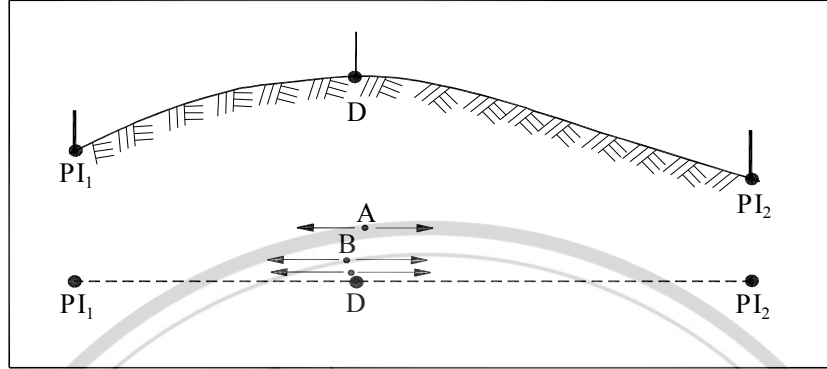
وهكذا حتى غرس نقطتين مثل I و J لا يمكن تغيير موقعهما ، فتكون هاتان النقطتان واقعيتين على الاستقامة المطلوبة .

• الطريقة الثانية

إذا استطعنا اختيار موقع نقطة ما مثل A ، لتكون وسيطة بين الذروتين PI_1 و PI_2 ، بحيث يمكن رؤية الشاخصين الشاقوليين الموضوعين فوق الذروتين المذكورتين ، كما في الشكل رقم (1-15) .

يتم تركيز جهاز التيودوليت فوق النقطة A ، ثم توجيه المحور الضوئي لنظارة الجهاز باتجاه الشاخص الموضوع فوق الذروة PI_1 ، ثم تدوير النظارة حول المحور الثانوي للجهاز بمقدار 200° ، ومحاولة رؤية الشاخص الموضوع فوق الذروة PI_2 وهذا لن يتحقق ، لأن ذروتي المسار والنقطة A لاتقع على استقامة واحدة في الحالة العامة وأذاً ينبغي تحريك جهاز التيودوليت في الاتجاه المناسب إلى نقطة ثانية ولتكن النقطة B ثم يعاد العمل السابق من جديد . تكرر المحاولة عدداً من المرات حتى يتم التوصل إلى النقطة D بحيث يتحقق فيها الشرط التالي : عند رصد منتصف الشاخص الشاقولي الموضوع فوق الذروة PI_1 ، و تدوير النظارة

حول المحور الثانوي للجهاز بمقدار 200^{gr} ، فإن الخط الشاقولي للمحكم سينطبق مع منتصف الشاخص الشاقولي الموضوع فوق الذروة PI_2 ، هذا يعني أن النقاط الثلاثة PI_1 و D و PI_2 تقع على استقامة واحدة ،



الشكل (1-15)

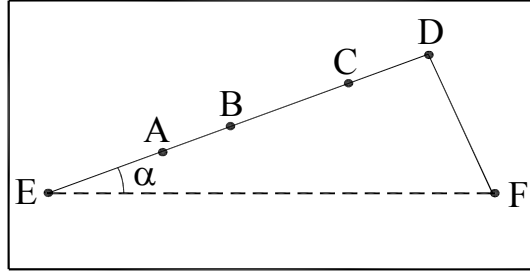
مما يجدر ذكره أنه عند الوصول ولو بشكل تقريبي لتحقيق الشرط المطلوب ، يمكن حل لولب تثبيت جهاز التيودوليت بثلاثية الأرجل وتحريك ثلاثية الأرجل بهدوء ، أو الجهاز فوق قاعدة ثلاثية الأرجل . نعيد هذه العملية عدداً من المرات حتى تحقيق الشرط المذكور .

• الطريقة الثالثة

يتم تجسيد استقامة EABC قريبة من الاستقامة المطلوب تجسيدها وذلك بوضع جهاز التيودوليت فوق الذروة E ، ووضع أوتاد في النقاط A و B و C على هذه الاستقامة بحيث تكون الواحدة مرئية من الأخرى ، ثم يتم إسقاط الذروة F على الاستقامة EAB . إن عملية الإسقاط هذه يمكن أن تتم بواسطة مثلث ضوئي أو بأي طريقة أخرى مناسبة .

تقاس المسافتان ED و FD ، وبالتالي يمكن حساب الزاوية α من المثلث القائم EDF . لتجسيد الاستقامة المطلوبة يتم التمرکز فوق الذروة الأولى E والتسديد باتجاه الذروة D ، ووضع القراءة على القرص الأفقي 0.00^{gr} ، ومن ثم تدوير النظارة مع عقارب الساعة حتى تأخذ القراءة على القرص الأفقي قيمة الزاوية α ، أنظر الشكل رقم (1-16) . بذلك يصبح محور النظارة واقعاً ضمن

المستوي الشاقولي المار من الذروتين المذكورتين ، مما يسمح بتجسيد نقاط تقع على الاستقامة المطلوب تجسيدها .



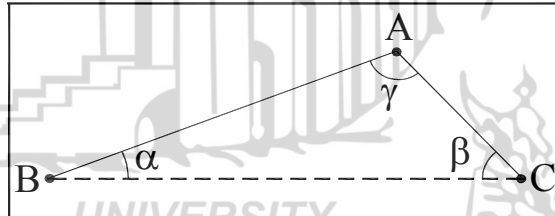
الشكل (1-16)

• الطريقة الرابعة

يمكن اختيار نقطة ما ، مثل النقطة A ، تقع خارج الاستقامة المطلوب تجسيدها ، بحيث تتحقق رؤية الذروتين B و C ، ثم تقاس المسافتان AB و AC والزاوية γ في A ، كما في الشكل رقم (1-17) . من علاقة التجيب في المثلث يحسب أولاً طول الاستقامة المجهولة BC ، كما يلي :

$$\overline{BC}^2 = \overline{AB}^2 + \overline{AC}^2 - 2\overline{AB} \cdot \overline{AC} \cdot \cos \gamma$$

تحسب بعد ذلك قيمة الزاويتين α و β ، وبهذا يمكن تجسيد نقاط واقعة على الاستقامة المجهولة بنفس الأسلوب المتبع في الطريقة الثالثة .



الشكل (1-17)

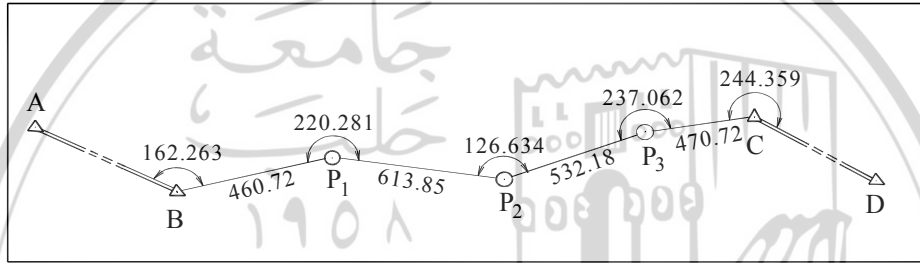
1.4 مسائل محلولة

مسألة (1)

ليكن لدينا المضلع المبين على الشكل رقم (1-18) ، والمؤلف من أربعة أضلاع وهو مجسد على الطبيعة ، حيث يبدأ بالنقطة المعلومة $B(X_b, Y_b)$ وينتهي بالنقطة المعلومة $C(X_c, Y_c)$.

المطلوب :

حساب الإحداثيات النهائية لرؤوس هذا المضلع إذا كانت الزوايا مقيسة بخطأ متوسط تربيع قدره $e = 10^{cc}$ ، المسافات مقيسة بخطأ متوسط تربيع نسبي قدره $1/5000$. نتائج القياسات مبينة على الشكل (1-18) .



الشكل (1-18)

والمعطيات مبينة في الجدول رقم (1-3) .

الجدول (1-3)

النقطة	$X(m)$	$Y(m)$
1	2	3
A	7960.56	8542.64
B	14695.30	6333.20
C	16395.45	7146.28
D	20459.22	6451.83

الحل :

تحسب السمات الاعتباريتان للضلعين AB و CD ، باستخدام الإحداثيات
المعلومة للنقاط : A ، B ، C ، D ، وذلك كما يلي :

- بالنسبة للضلع AB :

$$\Delta X = 673.74 \text{ m و } \Delta Y = -2209.44 \text{ m}$$

$$\text{tg} \varphi = \frac{|\Delta X|}{|\Delta Y|} = 3.048 \Rightarrow = 79.8189 \text{ gr}$$

ولكن باعتبار أن :

$$\Delta Y > 0 \text{ و } \Delta X > 0$$

فإن :

$$G_{ab} = 200 - \varphi = 200 - 79.8189 = 120.1810 \text{ gr}$$

- بالنسبة للضلع CD :

$$\Delta X = 4063.77 \text{ m و } \Delta Y = -694.45 \text{ m}$$

$$\text{tg} \varphi = \frac{|\Delta X|}{|\Delta Y|} = 5.852 \Rightarrow = 89.2250 \text{ gr}$$

ولكن باعتبار أن :

$$\Delta Y < 0 \text{ و } \Delta X > 0$$

فإن :

$$G_{cd} = 200 - \varphi = 200 - 89.2250 = 110.7750 \text{ gr}$$

بعد ذلك تحسب السموت الاعتبارية المؤقتة للأضلاع تباعاً ، والتي ستحمل
بشكل تراكمي أخطاء القياسات الزاوية ، والأغلاط إن وجدت :

$$G_{bp_1} = G_{ab} + 162.263 - 200 = 82.444 \text{ gr}$$

$$G_{p_1p_2} = G_{bp_1} + 220.281 - 200 = 102.725 \text{ gr}$$

$$G_{p_2p_3} = G_{p_1p_2} + 126.634 - 200 = 29.359 \text{ gr}$$

$$G_{p_3c} = G_{p_2p_3} + 237.062 - 200 = 66.421 \text{ gr}$$

$$G_{cd} = G_{p_3c} + 244.359 - 200 = 110.780 \text{ gr}$$

لحساب الإغلاق الزاوي ، يحسب المجموع النظري للزوايا بتطبيق العلاقة (1.3)

$$\Sigma \alpha_i = G_{cd} - G_{ab} + 200(n + 2) = 990.5940 \text{ gr}$$

ثم يحسب المجموع المقيس والذي يساوي:

$$\Sigma \alpha'_i = 990.5990 \text{ gr}$$

ويكون الإغلاق الزاوي :

$$f_a = \Sigma \alpha'_i - \Sigma \alpha_i = +50^{\circ}$$

يمكن إيجاد الإغلاق الزاوي بطريقة أخرى ، إذ إنه يساوي الفرق بين السمات الاعتباري المحسوب من الزوايا المقيسة والسمات الاعتباري المحسوب من الإحداثيات للاتجاه CD والذي يعتبر صحيحاً ، أي :

$$f_a = 110.7800 - 110.7750 = 50^{\circ}$$

وهي نفس النتيجة التي حصلنا عليها ، والتي يجب أن لا تتجاوز حد التساهل المحسوب كما يلي :

$$E\alpha = 2.5e\sqrt{n+2} = 2.5 \times 10\sqrt{5} = 55.9^{\circ}$$

نلاحظ بأن المتراجحة محققة ، والإغلاق الزاوي مفسراً بأخطاء القياس نقوم بتوزيع هذا الإغلاق على جميع الزوايا المقيسة بالتساوي وذلك باعتبار أن دقة قياسها واحدة . بتطبيق العلاقة (1.6) :

$$V\alpha_i = \frac{f_a}{n+2} = 10^{\circ}$$

يضاف الناتج لكل زاوية مقيسة إضافة جبرية فنحصل على الزوايا المعدلة ومن جديد تحسب السمات الاعتبارية النهائية فنحصل على النتائج التالية :

$$G_{bc_1} = 82.443 \quad G_{c_1c_2} = 102.723$$

$$G_{c_2c_3} = 29.356 \quad G_{c_3c} = 66.417$$

$$G_{cd} = 110.775$$

يمكن حساب إحداثيات ذروات المضلع باستخدام العلاقتين (1.8) و (1.9) :

$$x_{p1} = 14695.30 + 460.72 \sin 82.443 = 15138.61 \text{ m}$$

$$x_{p2} = 15138.61 + 613.85 \sin 102.723 = 15751.89 \text{ m}$$

$$x_{p3} = 15751.89 + 532.18 \sin 29.356 = 15988.69 \text{ m}$$

$$x_c = 15988.69 + 470.72 \sin 66.417 = 16395.42 \text{ m}$$

$$y_{p1} = 6333.20 + 460.72 \cos 82.443 = 6458.66 \text{ m}$$

$$y_{p2} = 6458.66 + 613.85 \cos 102.723 = 6432.41 \text{ m}$$

$$y_{p3} = 6432.41 + 532.18 \cos 29.356 = 6909.00 \text{ m}$$

$$y_c = 6909.00 + 470.72 \cos 66.417 = 7145.96 \text{ m}$$

تحسب قيمة الإغلاق الخطي بتطبيق العلاقات (1.12) ، (1.13) ، (1.14) :

$$f_x = x_c - X_c = 16395.42 - 16395.45 = -3 \text{ cm}$$

$$f_y = y_c - Y_c = 7145.96 - 7146.28 = -32 \text{ cm}$$

ويكون الإغلاق الخطي مساوياً :

$$f_s = \sqrt{f_x^2 + f_y^2} = \sqrt{(-3)^2 + (-32)^2} = 32.14 \text{ cm}$$

يجب أن يكون الإغلاق ضمن حدود التساهل أي :

$$\frac{f_s}{\sum Si} = \frac{32.14}{2077.47} \approx \frac{1}{6400} < \frac{1}{5000}$$

والإغلاق مفسراً بأخطاء القياسات الخطية والزاوية ، وبالتالي تعدل الإحداثيات المؤقتة من خلال توزيع قيمة الإغلاق على المحورين X و Y لمختلف رؤوس المضلع وذلك بعد حساب التصحيحات بالنسبة لـ ΔX_i و ΔY_i بين كل نقطتين متتاليتين بتطبيق العلاقات (1.17) ، (1.18) وإضافة الناتج إضافة جبرية على الإحداثي X_i

وعلى الإحداثي Y_i بالتتابع فنحصل على الإحداثيات النهائية لرؤوس المضلع

$$X_{p1} = 15138.62 \text{ m} \quad Y_{p1} = 6458.74 \text{ m} .$$

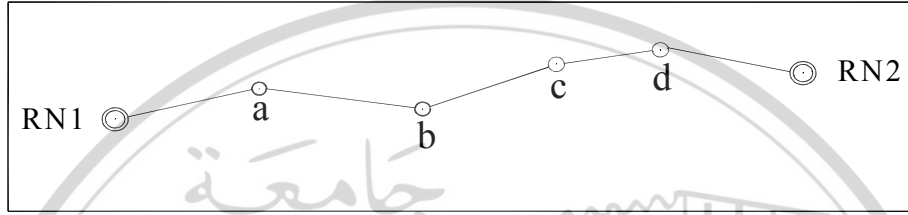
$$X_{p2} = 15751.91 \text{ m} \quad Y_{p2} = 6432.57 \text{ m} .$$

$$X_{p3} = 15988.72 \text{ m} \quad Y_{p3} = 6909.25 \text{ m} .$$

$$X_c = 16395.45 \text{ m} \quad Y_c = 7146.28 \text{ m} .$$

مسألة (2)

يراد تعيين الارتفاعات النهائية لرؤوس المضلع (a , b , c , d) ، المبيّن على الشكل رقم (1-19). ولهذا الغرض تم قياس فروق الارتفاعات بين رؤوس هذا المضلع بطريقة التسوية المباشرة ، ابتداءً من مرجع التسوية RN1 وانتهاءً بمرجع التسوية RN2 ، وذلك باستخدام جهاز تسوية دقته الكيلومترية $1cm$. علماً بأن $H_{RN1} = 419.057 m$ و $H_{RN2} = 429.482 m$ ، وأن نتائج القياسات مبينة في الجدول رقم (1-4)



الشكل (1-19)

الحل :

من الجدول رقم (1-4) نجد إن :

$\Sigma \Delta h_i = +10.388m$ - المجموع الجبري لفروق الارتفاعات المقاسة بين مرجعي التسوية RN1 و RN2 .

$\Sigma \Delta H_i = +10.425m$ - فرق الارتفاع النظري بين مرجعي التسوية RN1 و RN2 . المحسوب بالعلاقة رقم (1.19) العمود (2) .

يحسب الإغلاق الارتفاعي بتطبيق العلاقة رقم (1.18) فنجد إن :

$$f_h = 10.388 - 10.425 = -0.037m = -3.7 cm$$

الجدول (1-4)

الارتفاع المصحح (m)	فرق الارتفاع المصحح (m)	التصحيح (m)	فرق الارتفاع المقيس (m)	رقم النقطة
5	4	3	2	1
419.057				RN1
417.089	- 1.968	0.007	- 1.975	a
412.912	- 4.177	0.007	- 4.184	b
421.261	8.349	0.008	8.341	c
427.373	6.112	0.008	6.104	d
429.482	2.109	0.007	2.102	RN2
	10.425	0.037	10.388	Σ

نحصل على خطأ الإغلاق المسموح لهذا المضلع كما يلي :

$$E_h = 2.5e_h \sqrt{L}$$

حيث إن:

$$L = 3.3 \text{ km} - \text{الطول الكلي للمضلع .}$$

فيكون :

$$E_h = 2.5 \times 1 \times \sqrt{3.3} = 4.5 \text{ cm}$$

$$E_h < f_h : \text{محققاً لأن :}$$

يوزع الإغلاق الارتفاعي على فروق الارتفاعات بتطبيق العلاقة (1.22).

التصحيات مبينة في العمود رقم (3) ، و فروق الارتفاعات المصححة (أي بعد إضافة التصحيحات) مبينة في العمود رقم (4) .

بعد ذلك يتم حساب الارتفاعات النهائية لذروات المضلع المبينة في العمود

رقم (5) . وذلك بتطبيق العلاقة التالية :

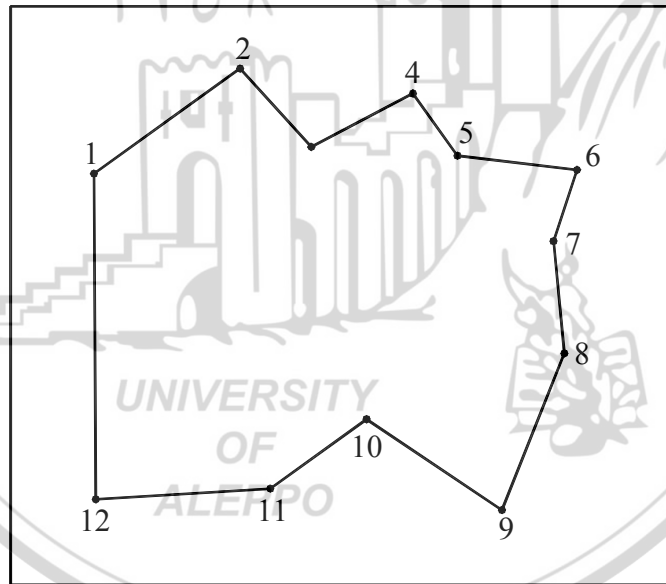
$$H_{i+1} = H_i + \Delta H_{i,i+1}$$

مسألة (3)

لتعيين موقع مناسب لبناء مزرعة حكومية تجريبية لإنتاج القطن المروي بالمياه منخفضة النوعية ، تم تحديد الموقع على مخططات طبوغرافية ذات مقياس $1/10000$. يحيطه المضلع المغلق المبين على الشكل رقم (1-20) . وقد تم استنتاج إحداثيات رؤوسه من المخطط مباشرة وهي مبينة في الجدول رقم (1-5) مع الحسابات اللازمة لتعيين المساحة .

المطلوب :

حساب كثافة المراصد التي تحقق دقة متجانسة لنقاط المسح التفصيلي في الموقع المدروس ، وذلك بفرض أن أبعد مسافة مسموحة بين هذه المراصد ونقاط المسح التفصيلي هي $d = 150 m$.



الشكل (1- 20)

الجدول (1-5)

رقم النقطة	الإحداثيات المحلية (km)		فرق الإحداثيات (km)		$Y_i (X_{i+1} - X_i)$	$\frac{1}{2} (X_{i+1} - X_i) (Y_{i+1} - Y_i)$
	X_i	Y_i	$(X_{i+1} - X_i)$	$(Y_{i+1} - Y_i)$		
1	2	3	4	5	6	7
1	0.07	4.71	+ 2.08	+ 1.68	+ 9.797	+ 1.747
2	2.15	6.39	+ 1.00	- 1.11	+ 6.390	- 0.556
3	3.15	5.28	+ 1.32	+ 0.74	+ 6.970	+ 0.488
4	4.47	6.02	+ 0.82	- 0.66	+ 4.936	- 0.271
5	5.29	5.36	+ 1.57	+ 0.01	+ 8.415	+ 0.008
6	6.86	5.37	- 0.31	- 1.38	- 1.665	+ 0.214
7	6.55	3.99	+ 0.24	- 1.57	+ 0.958	- 0.188
8	6.79	2.42	- 0.85	- 2.26	- 2.108	+ 0.960
9	5.94	0.16	- 1.00	+ 1.42	- 0.160	- 1.420
10	3.94	1.58	- 1.32	- 1.02	- 2.086	+ 0.674
11	2.62	0.56	- 2.45	- 0.08	- 1.372	+ 0.098
12	0.17	0.48	- 0.10	+ 4.23	- 0.048	- 0.212
1	0.07	4.71			+ 30.027	+ 1.541

الحل :

يحسب العامل K بتطبيق العلاقة (1.27) :

$$K = \frac{Y_{\max} - Y_{\min}}{4d} = \frac{6.39 - 0.16}{4 \times 0.15} = 11$$

وكذلك تحسب n كما يلي:

$$n = \frac{P}{F} = \frac{31.568}{0.312} = 102$$

فيكون الحد الأدنى N لعدد المراصد الواجب توافرها ضمن المنطقة المطلوب

بناء المشروع عليها هو :

$$N = 6n + K = 6 \times 102 + 11 = 623$$

ستكون كثافة المراسد المطلوبة في كل كيلومتر مربع ضمن المنطقة المدروسة ذات الشكل المحدد ، وبحسب العلاقة (1.28) هي :

$$M = \frac{N}{P} = \frac{623}{31.568} = 17$$





الفصل الثاني

تصميم المنحنيات الدائرية البسيطة وتجسيدها

إن المهمة الأساسية التي تواجه المهندس بعد تخطيط مسارات خطوط المواصلات وتجسيد أجزائها المستقيمة وذروتها على الطبيعة ، هي وصل هذه الاستقامات بواسطة منحنيات أفقية الهدف منها تجنب الانعطاف الحاد وتأمين الانتقال التدريجي عند تغيير اتجاه الحركة بمقدار زاوية الانحراف θ ، حيث تمثل هذه الزاوية مقدار التغير الكلي للاتجاه عند الانتقال من استقامة إلى استقامة أخرى تليها مباشرة ، تسمى اختصاراً زاوية تقاطع الاستقامتين . هناك أنواع كثيرة من المنحنيات الأفقية التي يمكن استخدامها لوصل الاستقامات المتقاطعة ، إلا أن هذا الفصل يتضمن تصميم وتجسيد المنحني الدائري البسيط على اعتباره أهم أنواع هذه المنحنيات وأكثرها انتشاراً .

2.1 المنحني الدائري البسيط

المنحني الدائري البسيط عبارة عن قوس دائري يتم تعريفه إما بنصف قطره R وإما بدرجة انحنائه . تعرف درجة الانحناء بأنها الزاوية المركزية المقابلة لوتر قوس دائري ذي طول معلوم ، هذا الطول يختلف من دولة إلى دولة أخرى وذلك تبعاً لتطور شبكة المواصلات فيها .

يمكننا اعتماد التعريف الأول للقوس الدائري ، وذلك نظراً لسهولة التعامل معه ولوجود علاقة رياضية تربط بين هذين العنصرين معاً ، بحيث معرفة أحدهما تؤدي إلى معرفة العنصر الآخر .

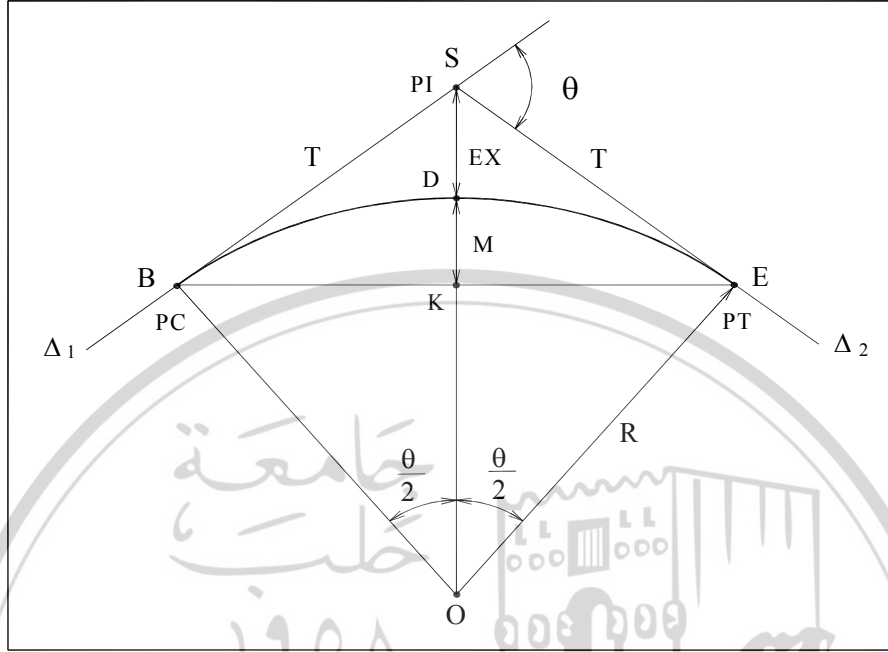
2.1.1 عناصر المنحني الدائري البسيط

يتألف المنحني الدائري البسيط كما في الشكل (2-1) من العناصر التالية

1. نقطة تقاطع الاستقامتين PI (Point of Intersection) أو S .
2. زاوية تقاطع الاستقامتين θ (Deflection Angle) .

3. بداية المنحني (نقطة التماس الأولى) B (Beginning of Curve) .

4. نهاية المنحني (نقطة التماس الثانية) E (End of Curve) .



الشكل (2-1)

5. الوتر الأعظمي الذي يصل بين نقطتي التماس LC (Long Chord) .

6. طول المنحني L (Length of Curve) .

7. المسافة الخارجية EX (External Distance) وهو يساوي المسافة بين نقطة التقاطع S ، والنقطة D منتصف المنحني الدائري .

8. سهم القوس M (Middle Ordinate) وهو يساوي المسافة بين نقطة منتصف المنحني وبين نقطة منتصف الوتر الأعظمي .

9. مركز المنحني O (Curve Center) .

10. المماسان T_1 , T_1 (The two Tangents) .

11. نصف القطر R (Radius) .

2.2 تصميم المنحني الدائري البسيط

لتصميم المنحني الدائري البسيط ، يكفي تعيين قيمة نصف القطر R ذلك لأن زاوية تقاطع الاستقامتين θ غالباً ما تكون معلومة ، إما بقياسها مباشرة على الطبيعة وإما على المخططات ، وإما باستنتاجها من خلال معرفتنا لإحداثيات نقطة التقاطع S ، وإحداثيات نقطتي تقاطع الذروتين السابقة واللاحقة ، ويعتبر نصف القطر من أهم عناصر المنحني الدائري البسيط ، حيث يقوم المصمم بتحديد استناداً إلى اعتبارات طرقية من أهمها :

■ خطر الانزلاق

تتعرض العربات لهذا الخطر ، عندما يكون عامل الاحتكاك بين دواليب العربة وسطح الطريق ليس كافياً لتثبيت العربة على الطريق ، ولتجنب هذا الخطر يعطى للطريق ميل عرضاني ، وباعتبار أن مختلف الأنظمة العالمية للطرق لا تسمح بميل عرضاني للطرق عند المنعطفات تزيد عن القيمة 10% ، يجب اختيار نصف قطر الانحناء الأصغر R في منعطف ما ، بما لا يقل عن القيمة المحسوبة بالعلاقة التالية :

$$R \geq \frac{V^2}{127} \frac{f \cdot \tan i}{\tan i + f} \quad (2.1)$$

حيث إن :

$\tan i$ - الميل العرضاني في المنعطف ، وتتراوح قيمته من (0.06) إلى (0.10) .

f - عامل الاحتكاك وقيمته 0.5 للطرق الجيدة و 0.25 للطرق المتوسطة .

V - السرعة في المنعطف وتساوي 0.8 من السرعة العظمى على الاستقامة وتقدر بـ km / hr .

■ خطر الانقلاب

ينشأ هذا الخطر نتيجة لظهور القوة النابذة F في المنعطفات ، فإذا ما ظهرت هذه القوة بقيمة كبيرة نتيجة لزيادة سرعة العربة V في المنعطف ، أو لأن نصف قطر الانحناء R كان صغيراً ، فإنها قد تؤدي إلى انقلاب العربة باتجاه مركز

الانحناء . يمكن تجنب هذا الخطر والتغلب عليه من خلال إعطاء ميل عرضاني للطريق عند المنعطفات ، وزيادة عامل الاحتكاك (f) ويمكن التغلب على هذا الخطر أيضاً بتجنب تصميم منحنيات أفقية ذات أنصاف أقطار صغيرة حيث أن نصف قطر الانحناء الأصغري اللازم لتجاوز خطر الانقلاب في منعطف ما ، يعطى بالعلاقة التالية :

$$R \geq \frac{V^2}{127} \frac{0.8 + 0.7 \tan i}{0.7 + 0.8 \tan i} \quad (2.2)$$

وباعتبار أن هذين الخطرين متعلقان بالسرعة ، فإنه يمكن إيجاد علاقة بين نصف قطر الانحناء والسرعة التصميمية للمركبات ، وذلك وفق صنف الطريق بحسب الجدول رقم (2-1) .

تعرف السرعة التصميمية ، بأنها السرعة القصوى التي يمكن أن يطبقها السائق دون خطر وذلك في ظل معطيات تصميمية محددة ، وفي ظل ظروف مناخية جيدة ، وهي تتفاوت من موقع لآخر ، وذلك تبعاً لحركة العربات ، وصنف الطريق وتضاريس المنطقة ، وتبعاً لتطور شبكة المواصلات في الدولة . فنجد أن السرعة التصميمية في ألمانيا مثلاً ، تزيد بمقدار 20 % عن السرعة التصميمية المبينة في الجدول رقم (2-1). من هذا الجدول نلاحظ أنه من أجل زيادة السرعة التصميمية يكفي زيادة أنصاف أقطار الانحناء . أما إذا كانت طبوغرافية الأرض لاتسمح بذلك ، عندها فلا بد من التقييد بالسرع التصميمية المفروضة .

يجب دراسة تعريض الطريق عند المنعطفات ، وضرورة إعطائه ميلاً عرضياً ثابتاً على طول المنعطف وباتجاه مركز الانحناء . يمكن استخدام العلاقة التقريبية التالية لتحديد قيمة الميل العرضي بدلالة نصف القطر R ، و السرعة التصميمية V .

$$I\% = \frac{V^2}{314R} \quad (2.3)$$

حيث إن :

R - نصف القطر بالمتري .

V - السرعة التصميمية km/hr .

الجدول (2-1)

نصف قطر الانحناء النظامي (m)	نصف قطر الانحناء الأصغري (m)	السرعة التصميمية km/hr	صنف الطريق
4	3	2	1
750	500	120	(دولي)
500	300	100	درجة أولى
300	200	80	درجة ثانية
200	125	60	درجة ثالثة
-	-	40	درجة رابعة

ينصح عملياً بأن لا يزيد الميل العرضاني عن 7 % وأن لا يقل عن 2 % . مع الأخذ بعين الاعتبار بأن الميل العرضاني في الجزء المستقيم من الطريق يتراوح بين 1 % إلى 3 % . باتجاه واحد أو باتجاهين ، وذلك لتأمين تصريف المياه السطحية للطريق .

يمكن تلخيص نتائج الدراسة ، من أجل إيجاد العلاقة بين نصف قطر الانحناء ، ومقدار تعريض الطريق عند المنعطفات وقيمة الميل العرضانية اللازمة بالجدول رقم (2-2).

الجدول (2-2)

نصف قطر الانحناء (R) (m)	200	300	500	750	>1000
1	2	3	4	5	6
الميل العرضاني %	7	6	5	4	-
مقدار التعريض (m)	0.7	0.6	0.5	0.4	-

أما إذا كانت أنصاف أقطار المنحنيات الأفقية كبيرة ($R > 1000 \text{ m}$) فلا ضرورة لدراسة توازن العربة في المنعطفات ضد خطر الانزلاق أو الانقلاب وتعتبر محققة ولا ضرورة لإعطاء الطريق ميل عرضاني ، ويكتفى بإعطاء ميل عرضاني صغير للطريق باتجاه المركز ($I = 0.03$) ، وكذلك لا داعي لتعريض الطريق عند هذه المنعطفات .

2.3 تجسيد نقاط المنحني الدائري البسيط الأساسية

تعتبر النقاط الأساسية للمنحني الدائري البسيط : نقطة البداية B ونقطة النهاية E ، ونقطة المنتصف D . لتجسيد هذه النقاط على الطبيعة يجب إجراء الحسابات اللازمة لإيجاد عناصر غرسها على الطبيعة أولاً وذلك كما يلي :

■ تعيين عناصر غرس النقطتين B و E وتجسيدهما على الطبيعة

لتعيين عناصر غرس نقطة التماس الأولى (بداية المنحني) ونقطة التماس الثانية (نهاية المنحني) . يتم حساب طول المماسين T_1 و T_2 . من الشكل رقم (2-1) ، نلاحظ أن الزاوية المركزية θ تساوي زاوية تقاطع هاتين الاستقامتين وأن الزاويتين SEB و SBE متساويتان وتساويان $\theta/2$ لأنهما زاويتان مماسيتان تحصران قوساً واحدة تحددها الزاوية المركزية θ ، وبالتالي يكون طول كل من المماسين المتساويين هو :

$$T_1 = T_2 = R \cdot \tan \theta/2 \quad (2.4)$$

بعد حساب طول المماسين T_1 و T_2 يمكن تجسيد نقطة التماس الأولى B ونقطة التماس الثانية E على الطبيعة ، وذلك باتباع الخطوات التالية :

- تركيز جهاز تيودوليت فوق الذروة S المجسدة على الطبيعة .
- التوجيه إلى نقطة ما ، تقع على الاستقامة الأولى Δ_1 .
- غرس نقطة التماس الأولى (بداية المنحني) B ، وذلك بقياس المسافة T_1 اعتباراً من الذروة S ، وباتجاه الاستقامة Δ_1 .
- غرس نقطة التماس الثانية (نهاية المنحني) E على الاستقامة الثانية Δ_2 يتم بنفس الأسلوب السابق .

■ تعيين عناصر غرس النقطة D وتجسيدها على الطبيعة

لتعيين عناصر غرس النقطة D الواقعة عند منتصف المنحني لأبد من إجراء الحسابات اللازمة لتحديد المسافة الخارجية EX . من الشكل (2-1) نجد إن :

$$EX = SO - R \quad (2.5)$$

ولكن من المثلث القائم SBO لدينا :

$$SO = \sqrt{T^2 + R^2}$$

بالتعويض في العلاقة (2.5) نجد :

$$EX = (\sqrt{T^2 + R^2}) - R \quad (2.6)$$

حيث إن :

T - طول المماس المحسوب بالعلاقة (2.4) .

يمكن حساب طول السهم M وذلك باعتبار أن النقطة K هي نقطة تقاطع SO (المنصف في S) مع الوتر الأعظمي BE كمايلي :

$$M = OD - OK = R - OK \quad (2.7)$$

ولكن :

$$OK = R \cos \theta/2$$

نعوض بالعلاقة (2.7) فنجد :

$$M = DK = R - R \cos \frac{\theta}{2} = R(1 - \cos \frac{\theta}{2}) = 2R \sin^2 \frac{\theta}{4} \quad (2.8)$$

يتم تجسيد النقطة D اعتباراً من الذروة S ، وذلك باتباع الخطوات التالية :

- تركيز جهاز تيودوليت فوق الذروة S والتوجيه باتجاه Δ_2 ، ووضع القراءة صفر على المقسم الأفقي .
- تدوير النظارة بالحركة الخاصة حتى قراءة الزاوية $\theta/2 - 100$ على المقسم الأفقي (بحسب تزايد تدريجات المقسم الأفقي) فيحدد الاتجاه SD .
- قياس المسافة $SD = EX$ باتجاه مركز الانحناء ، وغرس النقطة D .

يمكن تجسيد النقطة D منتصف المنحني استناداً إلى B نقطة التماس الأولى ، وذلك باعتبار عناصر الغرس هي الإحداثيات العمودية للنقطة D كما يلي :

- حساب طول الوتر الأعظمي L بالعلاقة التالية :

$$BE = L = 2R \cdot \sin(\theta/2) \quad (2.9)$$

- تجسيد النقطة K منتصف الوتر الأعظمي ، وذلك بالقياس المباشر للمسافة BK المحمولة على المحور X ، اعتباراً من مبدأ الإحداثيات B التي تساوي $BK = L/2$. بالاستعانة بشريط للقياس ومثلث ضوئي يتم غرس النقطة K وقياس المسافة $DK=M$ باتجاه الذروة S .

لتطبيق هذه الطريقة ، يشترط أن لا يكون طول الوتر الأعظمي L كبيراً .

من أجل التحقق من صحة تجسيد النقطة D ، يكفي أن تقع النقاط الثلاث S و D و K على استقامة واحدة ، وأن تكون المسافتان BK و KE متساويتين

2.4 تجسيد المنحنيات الدائرية البسيطة على الطبيعة

يقصد بتجسيد المنحنيات الدائرية البسيطة على الطبيعة ، غرس عدد من النقاط التي تقع على هذه المنحنيات ، وذلك اعتباراً من نقطة التماس الأولى B أو نقطة التماس الثانية E ، حيث يحسب أولاً الطول الكلي L للقوس الدائري بتطبيق العلاقة التالية :

$$L = R \cdot \theta \text{ (radians)} \quad (2.10)$$

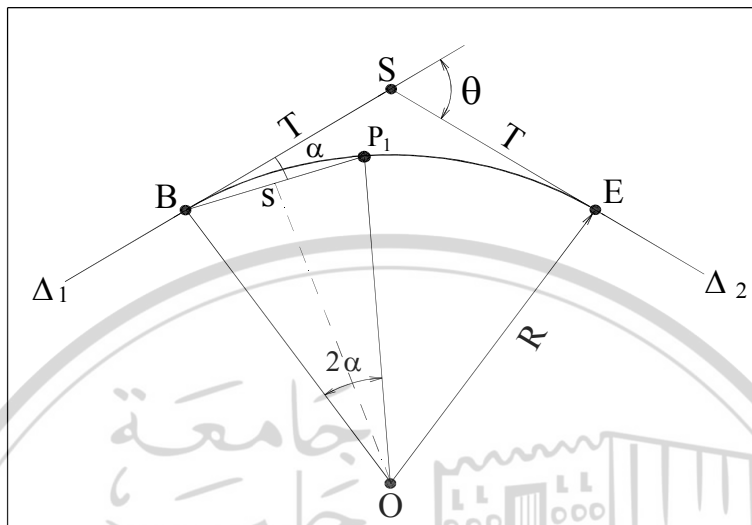
يقسم هذا المنحني إلى عدد من الأقواس الجزئية المتساوية بحيث يتم اختيار δ طولاً ثابتاً ومناسباً لها ، وينصح بأن لا يتجاوز هذا الطول ، المقدار $R/20$ وذلك لتقليل الفارق بين طول القوس الجزئي ووتره ، ويحسب طول القوس الجزئي الأخير C بالعلاقة التالية :

$$C = L - n \delta \quad (2.11)$$

حيث إن :

n - عدد الأقواس الجزئية المتساوية .

بعد اختيار قيمة التباعد المتساوي δ للنقاط المطلوب غرسها على القوس الدائري، يتم حساب الزاوية المركزية الجزئية المحددة لهذا القوس فمن الشكل رقم (2-2) ، يمكن استنتاج ما يلي:



الشكل (2-2)

$$2\alpha = \delta / R$$

تقدر الزاوية α بالراديان وتكون قيمتها بالград :

$$\alpha = (\delta/2R), \rho \quad (2.12)$$

حيث إن :

ρ - عامل التحويل من الراديان إلى الغراد ، وبتعويض قيمة ($\rho = 63.6620^{\text{gr}}$)

بالعلاقة (2.12) نجد إن :

$$\alpha = 31.831 \text{ } (\delta / R) \quad (2.13)$$

لحساب طول الوتر S المحدد للقوس δ ، كذلك من الشكل رقم (2-2) نجد

ان :

$$S = 2R \sin \alpha \quad (2.14)$$

لتجسيد النقاط على المنحني الدائري البسيط اعتباراً من بدايته B وحتى نهايته E ، توجد طرق عديدة ، ويمكن اختيار الطريقة المناسبة وذلك بحسب طول الوتر الأعظمي وبحسب الأجهزة المستخدمة للغرس ، وكذلك تلعب العوائق الطبيعية أو الاصطناعية التي يمكن مصادفتها ، دوراً مهماً في اختيار طريقة الغرس . نبين فيما يلي أهم طرق تجسيد النقاط على المنحني الدائري البسيط وذلك بحسب الأجهزة المستخدمة ، وسنبين أيضاً كيفية إجراء الحسابات اللازمة لتحديد عناصر الغرس المناسبة لكل طريقة .

2.4.1 تجسيد المنحني الدائري استناداً إلى الوتر الأعظمي باستخدام مثلث ضوئي

تعتبر هذه الطريقة ملائمة جداً للمنحنيات ذات أنصاف الأقطار الصغيرة وفي المناطق السهلة ، حيث تكون الرؤية واضحة ويمكن شدّ شريط القياس بشكل مستقيم وأفقي ، تعتمد هذه الطريقة على تعيين إحداثيات نقاط الغرس الواقعة على المنحني الدائري البسيط منسوبة إلى جملة إحداثيات محلية متعامدة BXY مبدؤها نقطة بداية المنحني B والمحور X ينطبق على الوتر الأعظمي BE وموجه باتجاه E نقطة التماس الثانية ، أما المحور Y فهو عمودي عليه . في هذه الحالة فإن مجموعة تعريف نقاط الغرس على المنحني الدائري البسيط ، هي إحداثياتها (X_i, Y_i) منسوبة إلى هذه الجملة ، وتعتبر هذه الإحداثيات عناصر غرس تلك النقاط . وبحسب الشكل (2.3) ، وبعد أخذ العلاقتين (2.13) و (2.14) بعين الاعتبار يمكن حساب إحداثيات النقطة P_1 في جملة الإحداثيات المحلية المعتبرة كما يلي

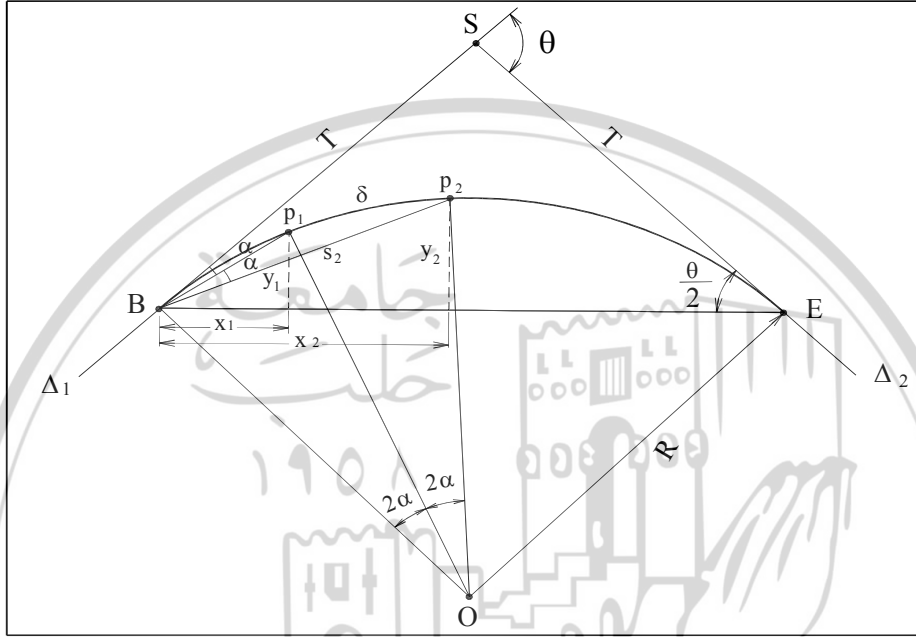
$$\left. \begin{aligned} X_{P1} &= 2R \sin \alpha \cdot \cos\left(\frac{\theta}{2} - \alpha\right) \\ Y_{P1} &= 2R \sin \alpha \sin\left(\frac{\theta}{2} - \alpha\right) \end{aligned} \right\} \quad (2.15)$$

لحساب عناصر غرس النقطة P_2 التي تبعد بالمسافة المنحنية 2δ فإن القوس BP_2 سيحدد زاوية مركزية قدرها 4α وستكون الزاوية المماسية SBP_2 مساوية 2α وطول الوتر $\overline{BP_2}$ مساوياً:

$$\overline{BP_2} = S = 2R \sin 2\alpha \quad (2.16)$$

والإحداثيات العمودية للنقطة P_2 :

$$\left. \begin{aligned} X_{p2} &= 2R \sin(2\alpha) \cdot \cos\left(\frac{\theta}{2} - 2\alpha\right) \\ Y_{p2} &= 2R \sin(2\alpha) \cdot \sin\left(\frac{\theta}{2} - 2\alpha\right) \end{aligned} \right\} \quad (2.17)$$



الشكل (3- 2)

وهكذا بالنسبة إلى بقية نقاط الغرس على المنحني ، يمكن حساب إحداثياتها بتعميم العلاقة (2.17) أي إن :

$$\left. \begin{aligned} X_{pi} &= 2R \sin(i\alpha) \cdot \cos\left(\frac{\theta}{2} - i\alpha\right) \\ Y_{pi} &= 2R \sin(i\alpha) \cdot \sin\left(\frac{\theta}{2} - i\alpha\right) \end{aligned} \right\} \quad (2.18)$$

وذلك من أجل $i = 1.2....n$

ينبغي الاستمرار في حساب الإحداثيات لنقاط الغرس على المنحني مادامت المتراجحة التالية محققة :

$$i\alpha \leq \theta/2 \quad (2.19)$$

وعندما لا تتحقق المتراجحة فهذا يعني أن طول القوس الجزئي الأخير أصبح أقل من طول الأقواس المتكررة δ .

بعد حساب عناصر النقاط اللازمة لتجسيد المنحني الدائري البسيط يتم الانتقال إلى تجسيدها على الطبيعة بالاستعانة بمثلث ضوئي وشاخص وشريط للقياس . تتم عملية التجسيد بحسب التسلسل التالي :

1. اعتبار الوتر الأعظمي قاعدة لعمليات التجسيد وتحديد فواصل النقاط X_{Pi} المحسوبة بالعلاقة (2.18) اعتباراً من مبدأ الإحداثيات الاعتباري B ، باتجاه النقطة E نهاية المنحني .

2. رفع أعمدة من هذه الفواصل بالاستعانة بمثلث ضوئي وشاخص وبواسطة الشريط ، تقاس على هذه الأعمدة التراتيب Y_{Pi} ، المحسوبة بالعلاقة (2.18) ستكون هذه النقطة هي إحدى نقاط المنحني الدائري .

وهكذا وباتباع نفس الأسلوب يمكن تجسيد جميع نقاط الغرس على الطبيعة . يمكن غرس النقاط القريبة من نهاية المنحني E من خلال طرح فواصل النقاط X_{Pi} المحسوبة بالعلاقة (2.18) من الطول الكلي L للوتر الأعظمي أي :

$$l_i = L - X_{Pi} \quad (2.19)$$

حيث إن :

L - الطول الكلي للوتر الأعظمي .

X_{Pi} - فاصلة النقطة P_i المحسوبة .

يمكن التحقق من صحة تجسيد هذه النقاط من خلال قياس المسافات الأفقية بينها ، حيث يجب أن تكون هذه المسافات متساوية وتساوي الطول K للوتر المتكرر ، وطبعاً ماعدا الوتر الأخير الذي سيكون حتماً أصغر .

2.4.2 تجسيد المنحني الدائري استناداً إلى المماسين باستخدام مثلث ضوئي

تستخدم هذه الطريقة في الأراضي السهلة ، وعندما يكون نصف قطر المنحني كبيراً وزاوية تقاطع الاستقامتين θ صغيرة . إن مبدأ هذه الطريقة لا يختلف كثيراً عن مبدأ الطريقة السابقة ، حيث تحسب عناصر غرس النقاط من المنحني ذات التباعد الثابت δ ، وهذه العناصر هي فواصل وتراتيب النقاط التي تقع على النصف الأول من المنحني منسوبة إلى جملة إحداثيات متعامدة BXY مبدؤها نقطة التماس الأولى B ، والمحور X ينطبق على المماس الأول ومنتجه نحو الذروة S ، والمحور Y عمودي عليه وباتجاه المنحني وأيضاً حساب فواصل وتراتيب النقاط التي تقع على النصف الثاني من المنحني منسوبة إلى جملة إحداثيات متعامدة EXY ، مبدؤها نقطة التماس الثانية E ، والمحور X ينطبق على المماس الثاني ومنتجه نحو الذروة S والمحور Y عمودي عليه وباتجاه المنحني .

يمكن حساب عناصر غرس النقاط التي تقع على النصف الأول من المنحني الدائري البسيط ، وذلك بعد أخذ العلاقتين (2.13) و(2.14) ، بعين الاعتبار.

لتعيين عناصر غرس النقطة P_1 الشكل رقم (2-4) ، تحسب إحداثياتها

$$\left. \begin{aligned} X_{P_1} &= 2R \sin \alpha \cdot \cos \alpha \\ Y_{P_1} &= 2R \sin^2 \alpha \end{aligned} \right\} \quad (2.20)$$

والتي يمكن كتابتها على الشكل التالي :

$$\left. \begin{aligned} X_{P_1} &= R \sin (2\alpha) \\ Y_{P_1} &= R [1 - \cos(2\alpha)] \end{aligned} \right\} \quad (2.21)$$

بنفس الطريقة يمكن حساب إحداثيات بقية النقاط اللازمة لغرس النقاط

P_1 و P_2 و P_3 ، وذلك بتعميم العلاقة (2.21) :

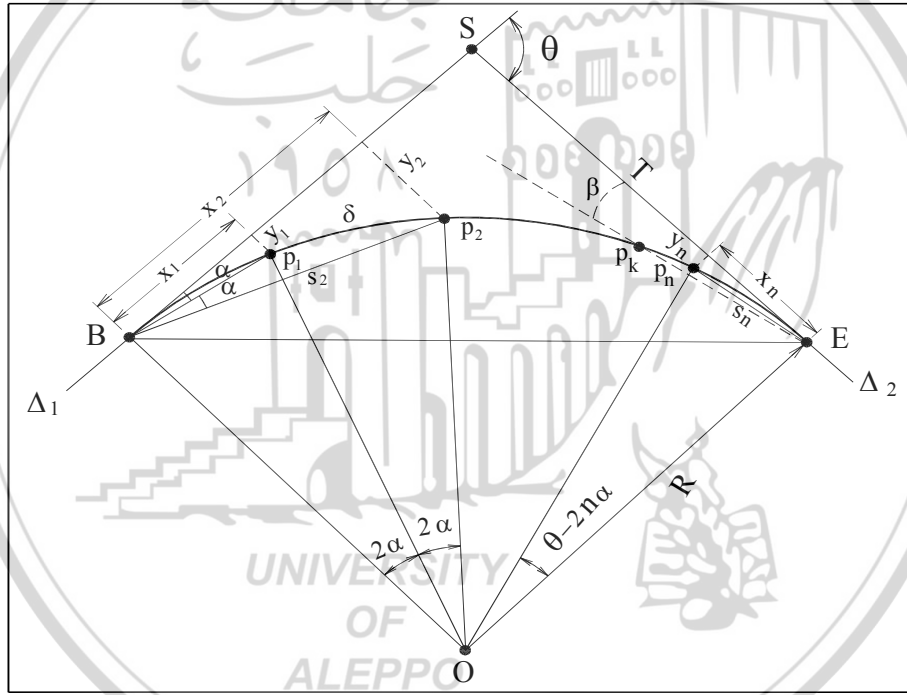
$$\left. \begin{aligned} X_{P_i} &= R \sin 2(i\alpha) \\ Y_{P_i} &= R [1 - \cos 2(i\alpha)] \end{aligned} \right\} \quad (2.22)$$

لتجسيد النقاط التي تقع على النصف الأول من المنحني الدائري البسيط
يجب أن تبقى المتراجحة التالية محققة :

$$2i\alpha \leq \theta/2 \quad (2.23)$$

وعند الوصول إلى القيمة $i = k$ التي لا تتحقق عندها المتراجحة (2.23) ننتقل لحساب عناصر الغرس للنقاط الواقعة على النصف الثاني من المنحني الدائري البسيط ، وهي في هذه الحالة فواصل وتراتيب تلك النقاط منسوبة إلى جملة الإحداثيات المتعامدة المحلية الثانية EXY ، وقبل إجراء هذه الحسابات تحسب الزاوية المماسية β ، التي تحدد القوس P_kE ، ومن الشكل رقم (2-4) نجد بسهولة أن قيمة الزاوية β تساوي :

$$\widehat{PES} = \beta = \frac{\theta}{2} - k\alpha \quad (2.24)$$



الشكل (2- 4)

تحسب إحداثيات النقطة P_k بتطبيق العلاقة (2.22) ، بعد أخذ العلاقات (2.13) و (2.14) و (2.24) ، بعين الاعتبار وذلك كما يلي :

$$\left. \begin{aligned} X_{pk} &= R \sin(2\beta) \\ Y_{pk} &= R [1 - \cos(2\beta)] \end{aligned} \right\} \quad (2.25)$$

أما حساب عناصر الغرس لبقية النقاط التي تقع على النصف الثاني من المنحني أي P_{k+1} ، P_{k+2} ، P_{k+j} . فيمكن تعميم العلاقة (2.25) واستبدال قيمة الزاوية β بالقيمة $\beta - J\alpha$ ، وحساب إحداثيات هذه النقاط بالعلاقين التاليين :

$$\left. \begin{aligned} X_{pk+j} &= R \sin 2(\beta - J\alpha) \\ Y_{pk+j} &= R [1 - \cos 2(\beta - J\alpha)] \end{aligned} \right\} \quad (2.26)$$

تسمح هاتان العلاقتان بتعيين فواصل وتراتيب مختلف نقاط الغرس التي تقع على النصف الثاني من المنحني ، منسوبة إلى جملة الإحداثيات المحلية المتعامدة EXY . نستمر في تطبيقهما من أجل $J = 0, 1, 2, \dots$ التي تبقى المتراجحة التالية محققة :

$$\beta - J\alpha \geq 0 \quad (2.27)$$

بعد الانتهاء من حساب عناصر الغرس لمختلف النقاط اللازمة لتجسيد المنحني الدائري البسيط ، يمكن غرس هذه النقاط على الطبيعة بنفس الأسلوب المستخدم في البند (2.4.1) . مع اعتبار المماس الأول قاعدة لعمليات غرس النقاط التي تقع على النصف الأول من المنحني ، واعتبار المماس الثاني قاعدة للعمليات من أجل غرس النقاط التي تقع على النصف الثاني من المنحني الدائري البسيط . يمكن التحقق من صحة غرس النقاط على المنحني بنفس الأسلوب الذي استخدمناه في البند (2.4.1) ، كما يمكن التحقق من طول القوس الجزئي الأخير من خلال قياسه على الطبيعة مباشرةً ومقارنته بالطول المحسوب بالعلاقة التالية :

$$C = BE - n\delta \quad (2.28)$$

حيث إن :

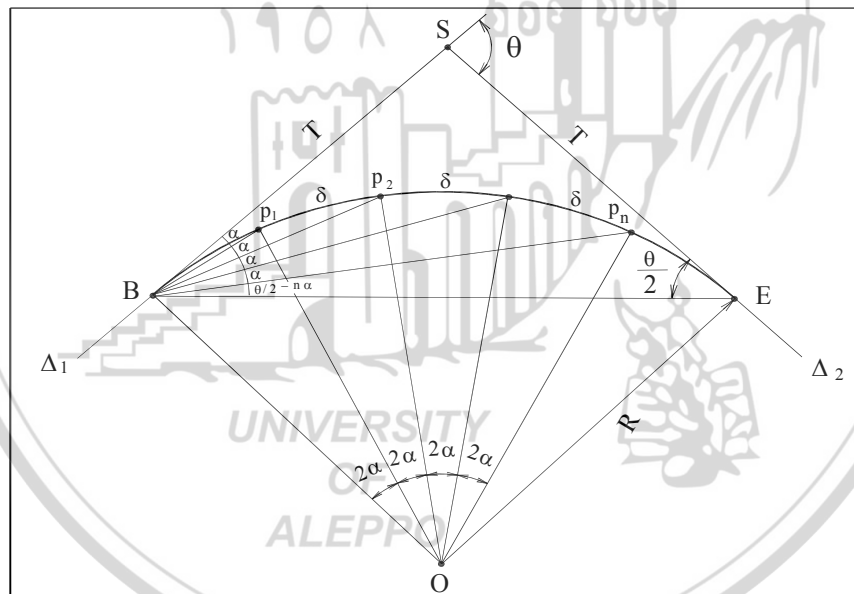
BE - طول القوس الكلي .

n - عدد الأقواس الجزئية المتساوية والمتكررة .

يجب أن يكون طول القوس الجزئي الأخير المحسوب بالعلاقة (2.28) مساوياً إلى القيمة المقيسة على الطبيعة مباشرة ، ويعتبر هذا العمل بمترلة تحقيق غير مباشر لصحة تجسيد المنحنى الدائري البسيط .

2.4.3 تجسيد المنحني الدائري باستخدام جهاز تيودوليت

تستخدم هذه الطريقة استخداماً أوسع من الطريقتين السابقتين ولا سيما في الأماكن الوعرة التي يصعب فيها شد الشريط ، وتحقيق استقامات أفقية طويلة . وتستخدم أيضاً عندما يكون طول المنحني الدائري كبيراً ، وبالتالي سيكون طول الوتر الأعظمي وطول المماسين كبيراً أيضاً ، الأمر الذي يقلل كثيراً من دقة غرس النقاط على هذا المنحني باستخدام الموشور الضوئي وإذا كانت عناصر الغرس في الطريقتين السابقتين هي الإحداثيات الديكارتية المنسوبة إلى جملة محلية اختيارية ، كما رأينا في البندين السابقين ، فإن عناصر غرس النقاط على المنحني الدائري في هذه الطريقة هي زوايا التماس α ، 2α ، $i\alpha$. وطول الوتر S الذي يحدد القوس المتكرر ، ذو الطول الثابت δ ، كما في الشكل رقم (5-2) .



الشكل (2-5)

يمكن غرس النقطة P_1 التي تبعد بعداً قوسياً مقداره δ ، عن بداية المنحني B بعد حساب عناصر الغرس اللازمة لذلك ، حيث يمكن حساب زاوية التماس α بتطبيق العلاقة (2.13) وحساب طول الوتر S بتطبيق العلاقة (2.14) أما عناصر غرس النقطة الثانية P_2 التي تبعد بالقوس 2δ عن بداية المنحني B فهي زاوية التماس 2α التي يصنعها المماس BS ، مع الوتر BP_2 والمسافة S ، ابتداءً من النقطة المغروسة P_1 ، وهكذا يتم حساب عناصر غرس باقي النقاط ، على أن تبقى المتراجحة (2.19) محققة . بعد تعيين عناصر الغرس لجميع النقاط نستطيع إجراء عمليات الغرس وذلك باتباع الخطوات التالية :

1. تركيز جهاز التيودوليت فوق نقطة التماس الأولى B ، وتوجيه النظارة نحو الذروة S ، وتدوير القسم المتحرك العلوي لجهاز التيودوليت وفق عقارب الساعة بمقدار الزاوية α .

2. بواسطة شريط القياس ، تقاس المسافة S ، اعتباراً من نقطة التماس الأولى B بحيث تقع نهايتها ضمن المستوي الشاقولي الذي يحدده التيودوليت

3. تدوير الجهاز بواسطة الحركة الخاصة مع تزايد تدريجات القرص الأفقي. تقاس المسافة S ، اعتباراً من النقطة P_1 المجسدة على الطبيعة ، ويجب أن تقع نهاية الشريط أيضاً ضمن المستوي الشاقولي الذي يحدده التيودوليت وبذلك يتم غرس النقطة P_2 ، وهكذا تغرس بقية النقاط .

عندما جسدنا النقاط على المنحني الدائري اعتباراً من نقطة التماس الأولى B . لاحظنا بأن المنحني يقع إلى يمين الراصد عندما يكون متجهاً باتجاه الذروة S وهذا يتوافق مع تزايد تدريجات القرص الأفقي. أما إذا أردنا تجسيد المنحني الدائري البسيط اعتباراً من نقطة التماس الثانية E ، فإننا سنلاحظ بأن تزايد تدريجات القرص الأفقي سيبقى مع عقارب الساعة إلا أن المنحني سيقع على يسار الراصد عندما يكون واقفاً فوق النقطة E ومتجهاً باتجاه الذروة S .



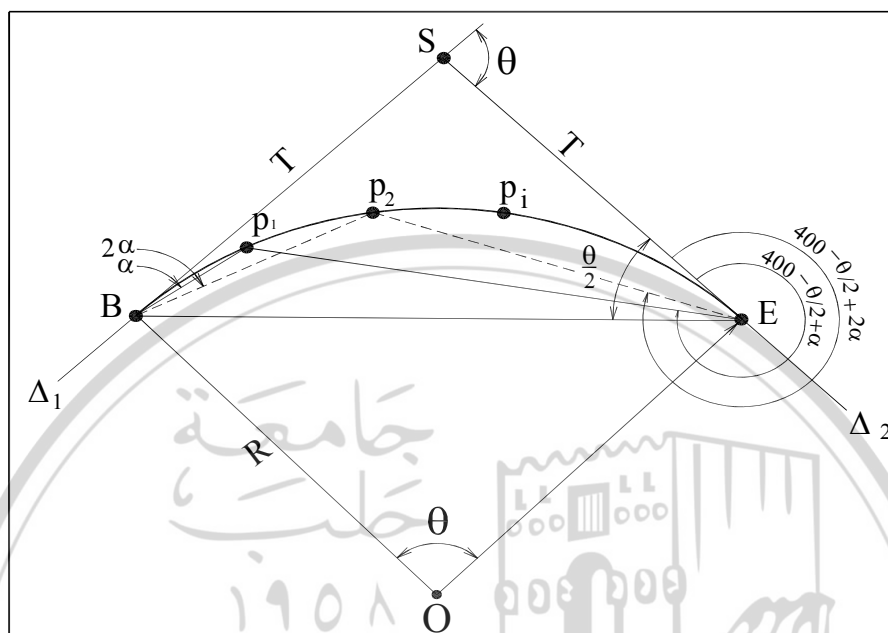
الشكل (6- 2)

في هذه الحالة ستكون عناصر غرس النقطة P_1 ، هي المسافة S والزاوية $[\alpha + (400 - \theta / 2)]$ ، وعناصر غرس النقطة P_2 هي المسافة S والزاوية $[(400 - \theta / 2) + 2\alpha]$ ، وأن عناصر النقطة P_i هي المسافة S والزاوية $[(400 - \theta / 2) + i\alpha]$. وهكذا تحسب عناصر الغرس لبقية النقاط التي تقع على المنحني كما في الشكل رقم (2-6) ، مادامت المتراجحة (2.19) محققة .

2.4.4 تجسيد المنحني الدائري باستخدام جهاز تيودوليت

تستخدم هذه الطريقة عندما لا يمكن قياس المسافات الأفقية بشكل مباشر بسبب وعورة الأرض أو وجود حفریات أو مستنقع أو أي عائق آخر يعوق القياس المباشر بواسطة الشريط ، في هذه الحالة فإنّ عناصر الغرس لجميع النقاط التي تقع على المنحني الدائري هي زوايا التماس . يمكن غرس النقطة P_1 بعد تحديد العناصر اللازمة لغرسها . بحسب الشكل رقم (7-2) حيث نجد أن هذه العناصر هي :

زاوية التماس الأولى α المحصورة بين اتجاه المماس الأول BS ، واتجاه الوتر BP_1 وزاوية التماس الثانية $[\alpha + (400 - \theta / 2)]$ المحصورة بين اتجاه المماس الثاني ES ، واتجاه الوتر EP_2 (وفق عقارب الساعة).



الشكل (2-7)

يتم غرس النقطة P_1 وفق المراحل التالية :

- تركيز جهاز تيودوليت فوق نقطة التماس الأولى B ، وتوجيه النظارة باتجاه الذروة S ثم تدوير النظارة بمقدار الزاوية α .
- تركيز جهاز تيودوليت آخر فوق نقطة التماس الثانية E ثم توجيه النظارة باتجاه الذروة S وتدوير الجهاز بواسطة الحركة الخاصة (مع عقارب الساعة) بمقدار الزاوية $[(400 - \theta / 2) + \alpha]$.
- إن تقاطع اتجاهي المحورين الضوئيين يحدد موقع النقطة P_1 .

إن عناصر غرس النقطة P_2 ، هي الزاوية 2α ، والزاوية $[(400 - \theta / 2) + 2\alpha]$
وعناصر غرس النقطة P_i هي الزاوية $i\alpha$ ، والزاوية $[(400 - \theta / 2) + i\alpha]$
نستمر في غرس النقاط على المنحنى الدائري مادامت المتراجحة (2.19) محققة.

نلاحظ أن تجسيد المنحني الدائري بهذه الطريقة سهل ومريح ، إلا أنه مكلف وذلك نظراً إلى حاجتنا إلى جهازي تيودوليت ومجموعتي عمل معاً .

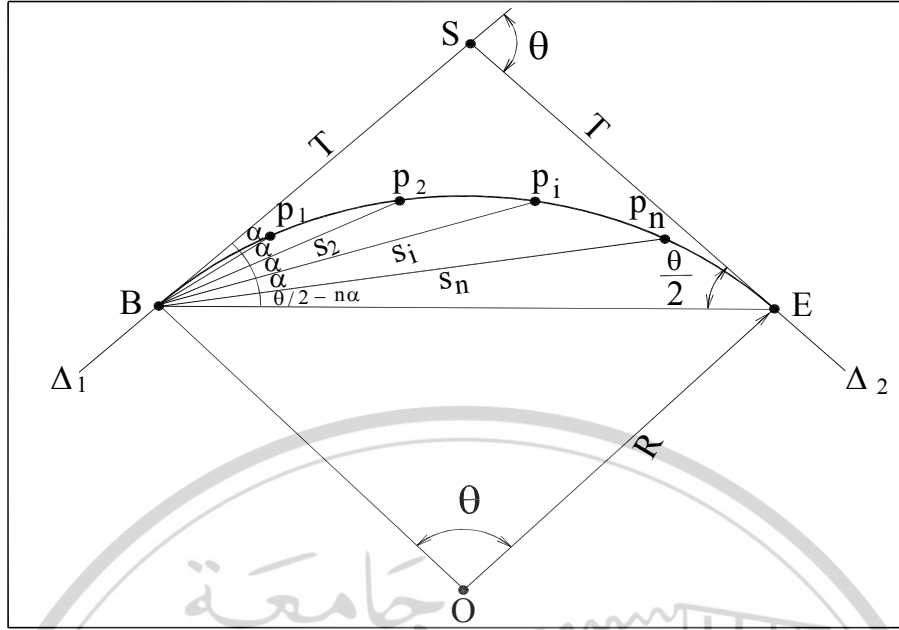
2.4.5 تجسيد المنحني الدائري باستخدام قانس المسافات الإلكتروني

تتميز أجهزة المحطات الشاملة ، بأنه يمكن قياس مسافة وزاوية في عملية رصد واحدة ، لذا فإن استخدام هذه الأجهزة من شأنه تسهيل عمليات تجسيد المنحنيات الدائرية مقارنة مع الطرق السابقة . وللاستفادة من ميزات هذه الأجهزة فإننا نعتبر عناصر غرس النقاط على المنحني الدائري في هذه الطريقة هي زوايا التماس $\alpha, 2\alpha, \dots, i\alpha$. وأطوال الأوتار $S_1, S_2, \dots, S_i$ التي بداياتها نقطة التماس الأولى B ، ونهاياتها النقاط : $P_1, P_2, \dots, P_i$ المطلوب غرسها .

يمكن غرس النقطة P_1 ، بعد تحديد العناصر اللازمة للغرس ومن الشكل رقم (2-8) نجد إن عناصر الغرس هي :

- زاوية التماس الأولى α المحصورة بين اتجاه التماس الأول BS ، والوتر BP_1 .
- الوتر S_1 الذي يحسب بالعلاقة (2.16) .

يتم غرس النقطة P_1 ، بتركيز جهاز المحطة الشاملة فوق نقطة التماس الأولى B ، وبواسطة عناصر الغرس (α_1, S_1) تغرس النقطة P_1 ، وكذلك تغرس النقطة P_i باستخدام عناصر غرسها (α_i, S_i) ، على أن تبقى المتراجحة (2.19) محققة . يمكن غرس نقاط المنحني الدائري اعتباراً من نقطة التماس الثانية E وذلك بعد إجراء حسابات عناصر الغرس بطريقة مشابهة تماماً لحساب عناصر الغرس اعتباراً من نقطة التماس الأولى B ، ويتم تجسيد نقاط المنحني باتباع الأسلوب السابق نفسه.



الشكل (2-8)

2.4.6 تجسيد المنحني الدائري استناداً إلى الأوتار المتتابة

قد لاتسمح الشروط الطبوغرافية والمكانية بتجسيد المنحنيات الدائرية البسيطة باتباع الطرق المشروحة في البنود المبينة أعلاه ، وذلك في حال كون المسافة بين محور الطريق وجانبيه محدودة وضيقة ، بسبب وجود عوائق طبيعية واصطناعية كثيرة ومتنوعة . إن الطريقة المناسبة التي يمكن اتباعها في مثل هذه الحالة ، هي طريقة تجسيد المنحني استناداً إلى الأوتار المتتابة . فإذا كان المطلوب وصل الاستقامتين Δ_1 و Δ_2 ، المتقاطعتين في الذروة S بواسطة منحني دائري بسيط نصف قطره R ، كما في الشكل رقم (2-9) . فإن العمليات الحسابية اللازمة لتعيين عناصر الغرس لبعض نقاط هذا المنحني تتم وفق التسلسل التالي :

1. حساب الطول الكلي L للقوس الدائري، بتطبيق العلاقة (2.10) .
2. تقسيم طول القوس الدائري، إلى أقواس جزئية متساوية الطول δ . بحيث يكون $\delta \leq R/20$ ، وذلك لإقلال من الفارق بين طول القوس ووتره .

4 . حساب زاوية التماس الأولى α بتطبيق العلاقة (2.12) .

5 . حساب زوايا التماس للأقواس الجزئية المتساوية وهي ثابتة وتساوي 2α .

6 . بعد إلباس طول الوتر بطول القوس ، يتم حساب مسافة الانزياح الأولى S_1 بتطبيق العلاقة التالية :

$$S_1 = AP_1 = \delta \cdot \alpha \quad (2.29)$$

حيث إن :

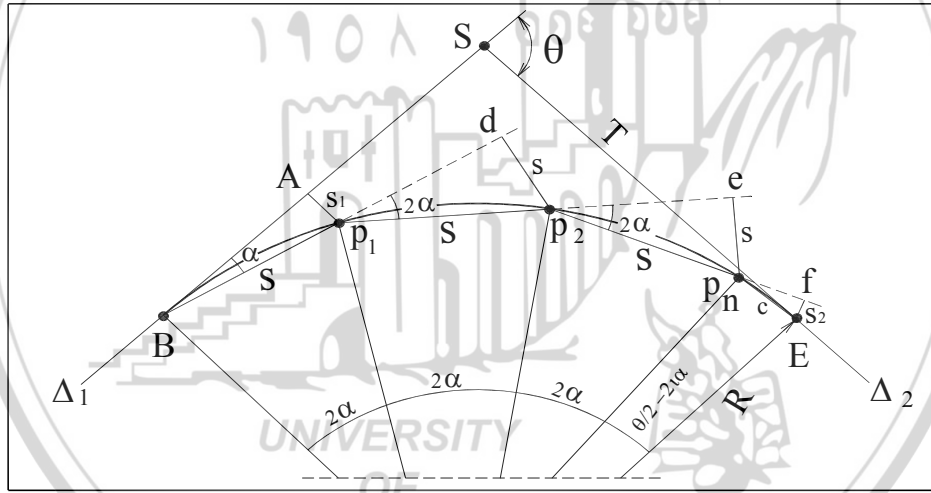
α - زاوية الانزياح الأولى مقدرة بالراديان .

ولكن بحسب العلاقة (2.12) لدينا :

$$\alpha = \frac{\delta}{2R}$$

نعوض في العلاقة (2.29) فنجد :

$$S_1 = \frac{\delta^2}{2R} \quad (2.30)$$



الشكل (2-9)

7 . حساب مسافة الانزياح المتكررة S . من الشكل (2-9) نلاحظ بسهولة أن

زوايا الانزياح المتكررة ، متساوية وثابتة وتساوي 2α ، وبالتالي يمكن كتابة :

$$S = \frac{\delta^2}{R} \quad (2.31)$$

8. حساب عناصر غرس نقطة التماس الثانية E . بعد حساب طول القوس الجزئي الأخير C ، نستطيع حساب مسافة الانزياح لهذه القوس ، فمن الشكل رقم (2-10) ، يمكننا كتابة :

$$S_2 = FE = FJ + JE \quad (2.32)$$

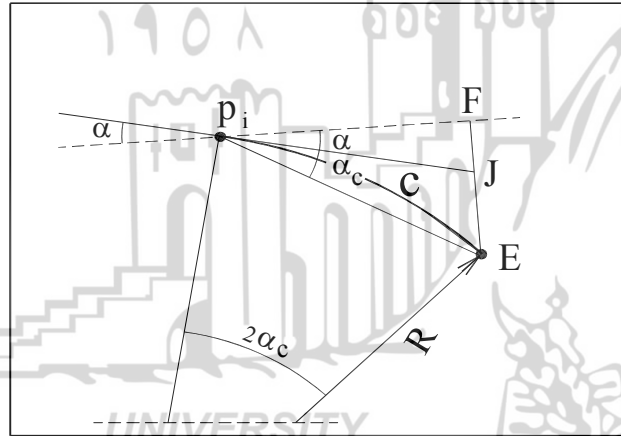
ولكن :

$$FJ = P_i.F.\alpha = C.\alpha = C \frac{\delta}{2R}$$

$$EJ = C.\alpha_c = C \frac{C}{2R} = \frac{C^2}{2R}$$

نعوض في العلاقة (2.32) فنجد إن :

$$S_2 = \frac{C}{2R}(\delta + C) \quad (2.33)$$



الشكل (2-10)

أما طريقة غرس هذه النقاط فيتم وفق التسلسل التالي :

- يتم غرس نقطة التماس الأولى B على الاستقامة Δ_1 ، استناداً إلى مسافتها التراكمية ، أو نسبة إلى نقطة ما مغروسة على الاستقامة Δ_1 ، لأننا لا نستطيع تجسيد المماسين T_1 و T_2 .
- نأخذ على الاستقامة Δ_1 وبنفس الاتجاه ، المسافة القوسية الجزئية δ اعتباراً من نقطة التماس الأولى B ، ونغرس وتداً A .
- ندور شريط القياس حول النقطة B مع المحافظة على الطول δ ، وفي نفس الوقت نعين على شريط قياس آخر المسافة S_1 ، المحسوبة بالعلاقة (2.30) وندوره حول النقطة A ، بحيث يكون تدوير هذين الشريطين باتجاه القوس الدائري .
- إن نقطة تلاقي هذين الشريطين وهما مشدودان جيداً تعين موقع النقطة الأولى P_1 التي تقع على المنحني وتبعد عن بدايته مسافة قوسية مقدارها δ .
- لتجسيد النقطة الثانية P_2 على المنحني الدائري نأخذ على استقامة الوتر BP_1 المسافة القوسية الجزئية δ ، اعتباراً من النقطة الأولى P_1 ونغرس وتداً d ومن ثم ندور شريط القياس حول النقطة P_1 مع المحافظة على الطول δ ، ثم نعين على شريط آخر المسافة S المحسوبة بالعلاقة (2.31) ، وندوره حول النقطة d . إن نقطة تلاقي هذين الشريطين وهما مشدودان جيداً تعين موقع النقطة P_2 من المنحني الدائري التي تبعد عن النقطة P_1 مسافة قوسية قدرها δ ، وهكذا نستمر في غرس كافة نقاط المنحني الدائري البسيط بما فيها نقطة التماس الثانية E .
- يمكن غرس النقاط على المنحني الدائري بواسطة جهاز تيودوليت وشريط للقياس وشاخص باتباع الطريقة المشروحة في البند (2.4.5) كما في المثال الأول ، مع فارق وحيد هو أن زوايا الانزياح يجب أن تبقى ثابتة وتساوي 2α لأننا دائماً نسدد باتجاه النقطة السابقة ، من أجل تجسيد النقطة اللاحقة أما لتجسيد نقطة التماس الثانية E ، فإن التيودوليت يكون متمركزاً فوق النقطة n وزاوية الانزياح الواجب تحقيقها هي : $[(\alpha + \theta / 2) - n\alpha]$.

2.5 مسائل محلولة

مسألة (1)

لدينا الاستقامتان Δ_1 و Δ_2 متقاطعتان في الذروة S ، وزاوية تقاطعهما $\theta = 18.4516^\circ$. يراد وصلهما بقوس دائري نصف قطره $R = 450.00 \text{ m}$ كما يراد تجسيد نقاط على هذا القوس ، اعتباراً من نقطة التماس الأولى B باستخدام جهاز تيودوليت وشواخص وشريط للقياس ، ويقع هذا القوس على يمين الراصد عندما يكون متجهاً نحو الذروة S ، ولا يمكن رؤية النقاط التي تقع على النصف الثاني من المنحني ، والمطلوب :

1. حساب طول كل من المماسين SE ، SB ، وطول القوس الدائري L وسهم القوس M والمسافة الخارجية EX .
2. حساب عناصر غرس النقاط على المنحني الدائري ذات التباعد الثابت $\delta = 20.00 \text{ m}$.
3. تجسيد هذه النقاط بالطريقة المطلوبة .

الحل :

لدينا من الشكل (2-11) .

طول المماسين SE و SB :

$$SB = SE = R \cdot \tan \frac{\theta}{2} = 450 \cdot \tan 9.2258 = 65.67 \text{ m}$$

طول القوس الدائري SE :

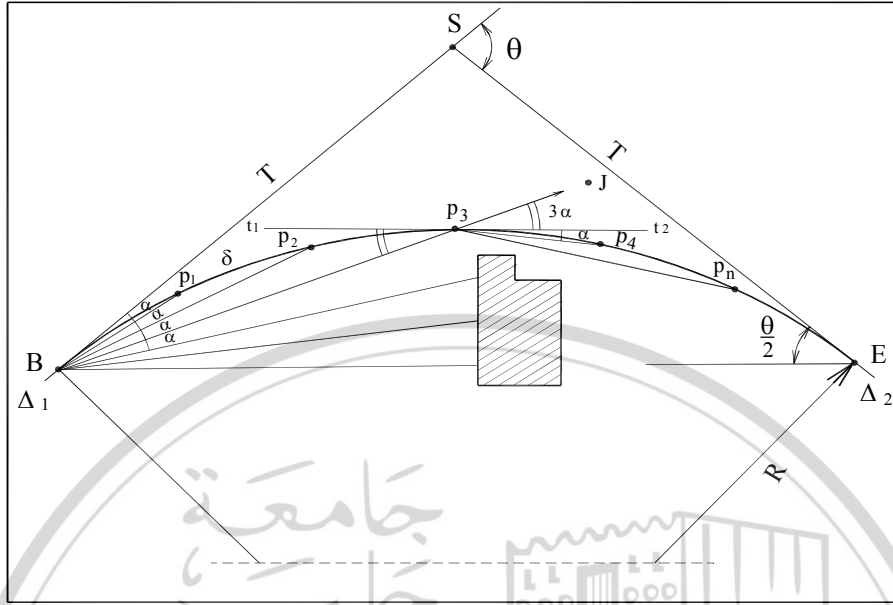
$$SE = \frac{R \cdot \theta}{\rho} = \frac{450 \times 18.4516}{63.6620} = 130.43 \text{ m}$$

المسافة الخارجية EX :

$$EX = (\sqrt{R^2 + T^2}) - R = (\sqrt{450^2 + 65.67^2}) - 450 = 4.77 \text{ m}$$

طول سهم القوس M :

$$M = R - R \cdot \cos \frac{\theta}{2} = 4 - 450 \cos 9.2258 = 4.72m$$



الشكل (2-11)

1. لدينا التباعد المتساوي $\delta = 20.00 m$ ، فتكون زاوية التماس α مساوية:

$$\alpha = \rho \frac{\delta}{2R} = 63.6620 \times \frac{20}{2 \times 450} = 1.4147 gr$$

وباعتبار أن $\delta = 20 < R/20$ ، فيمكننا إلباس القوس الجزئي بوتره ، أي أن $\delta \approx S$. إن عناصر غرس النقاط P_1 و P_2 و P_i ومن أجل $i\alpha \leq \theta/2$ مبينة في الجدول رقم (2-3) .

UNIVERSITY
OF
ALEPPO

الجدول (2-3)

i	iδ	iα
1	2	3
1	20	1.4147
2	40	2.8294
3	60	4.2441
4	80	5.6288
5	100	7.0735
6	120	8.4882

2. يتم تجسيد النقاط P_1 و P_2 و P_i بالطريقة المشروحة في البند (2.4.4) وباعتبار إنه لا يمكن تجسيد بقية النقاط التي تقع على النصف الثاني اعتباراً من نقطة التماس الأولى B لعدم رؤيتها ، وهذه الحالة تصادف كثيراً ، نظراً لوجود عوائق طبيعية أو اصطناعية في الموقع .

يمكن تجسيد النقاط P_4 و P_5 و P_6 بنفس الطريقة المشروحة في البند (2.4.4) ، وب نفس عناصر الغرس المحسوبة ، ولكن اعتباراً من النقطة P_3 التي أصبحت مجسدة على الطبيعة ، حيث ينقل جهاز التيودوليت إلى النقطة P_3 ويوجه المحور الضوئي باتجاه نقطة التماس الأولى B ، وتوضع القراءة على القرص الأفقي 200 gr ، ومن ثم يتم تدوير التيودوليت بواسطة الحركة الخاصة مع عقارب الساعة حتى تصبح القراءة على القرص الأفقي 0.00 gr فيكون المحور الضوئي موجهاً وفق امتداد الوتر BP_3 ، أي باتجاه النقطة J ويتابع تجسيد النقاط P_4 و P_5 و P_6 ، وذلك بتوجيه المحور الضوئي بواسطة الحركة الخاصة حتى تصبح القراءة 4α ، 5α ، 6α ، كما لو أن التيودوليت مازال فوق نقطة التماس الأولى . يمكن التحقق من ذلك بالرجوع إلى الشكل (2-11) ، حيث يتم إنشاء مماس t_1 t_2 ، للقرس الدائري عند النقطة P_3 فيكون لدينا الزاوية:

$$SBP_3 = BP_3T_1 = JP_3T_2 = 3\alpha$$

للحصول على الاتجاه P_3P_4 ، يكفي تدوير النظارة بالحركة الخاصة حتى قراءة الزاوية الأفقية 4α على القرص الأفقي . تجسّد النقطة P_4 بنفس الطريقة السابقة ، وهكذا بالنسبة إلى بقية النقاط .

مسألة (2)

استقامتان Δ_1 و Δ_2 مجسدتان على الطبيعة ، ولا يمكن تجسيد نقطة تقاطعهما S ، وذلك بسبب وجود عائق طبيعي . يراد وصل هاتين الاستقامتين بقوس دائري نصف قطره $R=200.00\text{ m}$.

والمطلوب :

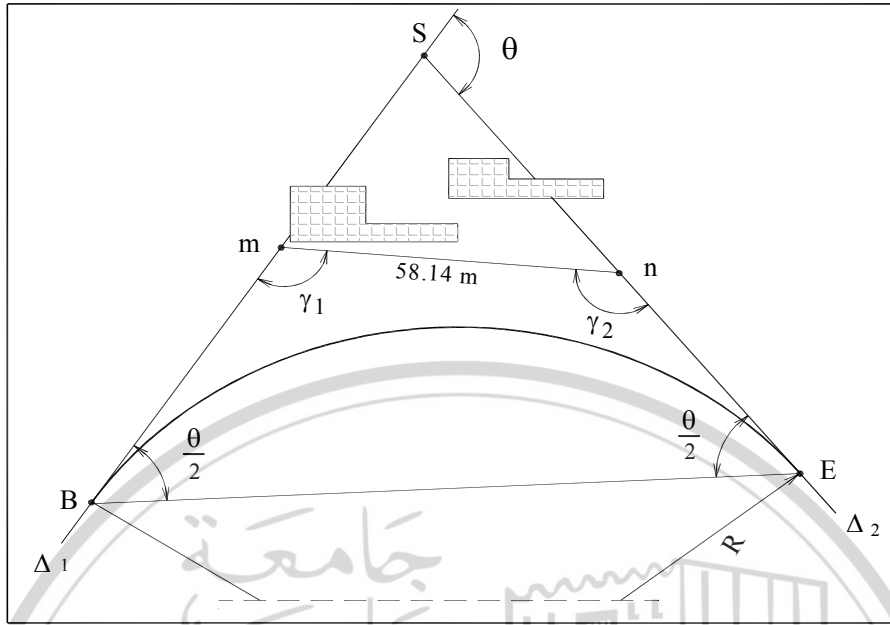
1. حساب زاوية التقاطع θ ، بفرض أنه تم قياس الزاوية $\gamma_1 = 178.4413$ والزاوية $\gamma_2 = 186.4517$ والمسافة الأفقية $mn = 58.1\text{ m}$
2. حساب طول كل من المماسين SB و SE ، وطول القوس الدائري L وطول الوتر الأعظمي LC .
3. حساب عناصر غرس نقاط من المنحني الدائري بتباعد قوسي متساو ، وقدره 25 m ، وذلك استناداً إلى الوتر الأعظمي أولاً ، واستناداً إلى المماسين ثانياً .
4. غرس هذه النقاط باستخدام مثلث ضوئي وشريط للقياس وشواخص .

الحل :

يصادف المهندس مثل هذه الحالة كثيراً ، ولا سيما عند تخطيط الطرق في المواقع التي تكثر فيها المنشآت الهندسية ، حيث يكون المطلوب الالتفاف حولها دون هدمها أو تخريبها ، أو يكون العائق طبيعياً يمنع الوصول إلى نقطة التقاطع وبالتالي عدم القدرة على تجسيدها أو حتى قياس زاوية الانعطاف θ ، كما في الشكل (2-12) .

1. لهذه الغاية يتم اختيار نقطة ما مثل m من الاستقامة Δ_1 ، ونقطة أخرى n من الاستقامة Δ_2 ، ومن ثم تقاس الزاويتان γ_1 و γ_2 ، والمسافة الأفقية mn ومن هذه القياسات يمكن حساب زاوية التقاطع θ ، كما يلي :

$$\theta = (200 - \gamma_1) + (200 - \gamma_2) = 400 - (186.4517 + 178.4413) = 35.107^{\circ}$$



الشكل (2-12)

2. طول المماسين SB و SE :

$$SB = SE = R \cdot \tan \frac{\theta}{2} = 200 \tan 17.5535 = 56.59 \text{ m}$$

طول القوس الدائرية L :

$$BE = \frac{R \cdot \theta}{\rho} = \frac{200 \times 35.107}{63.662} = 110.29 \text{ m}$$

طول الوتر الأعظمي LC :

$$\overline{BE} = 2R \cdot \sin \frac{\theta}{2} = 2 \times 200 \times \sin 17.5535 = 108.90 \text{ m}$$

3. حساب عناصر الغرس اللازمة للنقاط :

- استناداً إلى الوتر الأعظمي ، يتم بتطبيق العلاقتين التاليتين :

$$X_{pi} = 2R \sin(i\alpha) \cos\left(\frac{\theta}{2} - i\alpha\right)$$

$$Y_{pi} = 2R \sin(i\alpha) \sin\left(\frac{\theta}{2} - i\alpha\right)$$

وذلك من أجل $i = 1, 2, \dots$ و $i\alpha \leq \theta/2$ لهذه الغاية تحسب زاوية التماس α

$$\alpha = \rho \frac{\delta}{2R} = 63.662 \times \frac{25}{2 \times 200} = 3.9789^{gr}$$

ترتب نتائج الحسابات في الجدول التالي :

الجدول (2-4)

i	iδ	iα	θ/2 - iα	X _(m)	Y _(m)
1	2	3	4	5	6
1	25	3.9789	13.5746	24.42	5.29
2	50	7.9578	9.5957	49.30	7.49
3	75	11.9367	5.6168	74.27	6.57
4	100	15.9156	1.6379	98.93	2.55

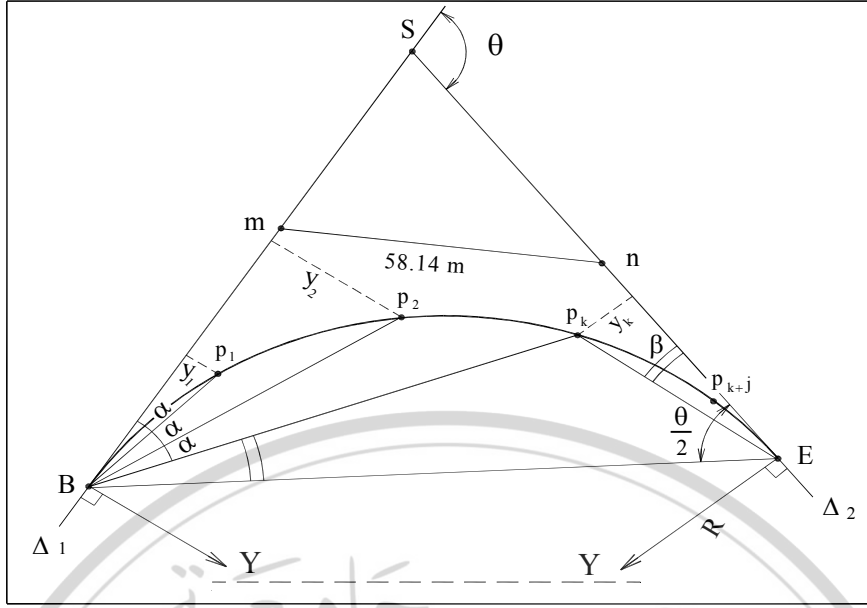
- استناداً إلى المماسين كما في الشكل رقم (2-13) ، يتم بتطبيق العلاقتين التاليتين :

$$X_{pi} = R \sin(2i\alpha)$$

$$Y_{pi} = R [1 - \cos(2i\alpha)]$$

وذلك بالنسبة إلى الجملة المحلية التي مبدؤها B ، نقطة التماس الأولى .

ومن أجل $i = 1, 2, \dots$ و $2i\alpha \leq \theta/2$



الشكل (2-13)

توضع نتائج الحسابات في الجدول التالي :

الجدول (2-5)

i	iδ	2iα	X _(m)	Y _(m)
1	2	3	4	5
1	25	7.9578	24.94	1.56
2	50	15.9156	49.48	6.21

لحساب عناصر غرس بقية النقاط بالنسبة إلى الجملة المحلية التي مبدؤها E نقطة التماس الثانية يجب حساب الزاوية β ، الشكل (2-13) .

$$\beta = \frac{\theta}{2} - k\alpha = \frac{\theta}{2} - 3\alpha = 17.5535 - 11.9367 = 5.6168^{gr}$$

بتطبيق العلاقتين التاليتين نجد :

$$X_{k+j} = R \sin 2(\beta - j\alpha)$$

$$Y_{k+j} = R [1 - \cos 2(\beta - j\alpha)]$$

$$\beta - J\alpha \geq 0$$

وذلك من أجل $J = 0, 1, 2, \dots$

ترتب الحسابات في الجدول رقم (2-6) التالي :

الجدول (2-6)

$3 + j$	$(3 + j)\delta$	$\beta - j\alpha$	$2(\beta - j\alpha)$	$X_{(3+j)}$	$Y_{(3+j)}$
1	2	3	4	5	6
3	75	5.6168	11.2336	35.11	3.11
4	100	1.6379	3.2758	10.29	0.26

1. يمكن غرس النقاط من المنحني الدائري ، استناداً إلى الوتر الأعظمي وفق الخطوات المبينة في الفقرة (2.4.1)، بحيث تكون نقطتا التماس الأولى B والتماس الثانية E ، مجسدتين على الطبيعة ، إلا أنه في هذه المسألة لا يمكن تجسيد المماسين وفق الفقرة (2.4.1) لأنه لا يمكن الوصول إلى الذروة S . يمكن تجسيد نقطة التماس الأولى B ، إذا حسبت المسافة Bm ، وتجسيد نقطة التماس الثانية E ، إذا حسبت المسافة En . من الشكل (2-13) نجد إن :

$$Bm = SB - Sm \quad \text{و} \quad En = SE - Sn$$

بتطبيق علاقة الجيوب في المثلث Smn نكتب :

$$\frac{mn}{\sin(200-\theta)} = \frac{Sm}{\sin(200-\gamma_2)} = \frac{Sn}{\sin(200-\gamma_1)}$$

ومنه نجد إن :

$$Sm = mn \frac{\sin \gamma_2}{\sin \theta} = 58.14 \frac{\sin 186.4517}{\sin 35.107} = 23.44 m$$

$$Sn = mn \frac{\sin \gamma_1}{\sin \theta} = 58.14 \frac{\sin 178.4413}{\sin 35.107} = 36.86 m$$

$$Bm = 56.59 - 23.44 = 33.15 m$$

$$En = 56.59 - 36.86 = 19.73m$$

يتم تجسيد نقطة التماس الأولى B ، بالقياس المباشر للمسافة التي حصلنا عليها $Bm = 33.15m$. اعتباراً من النقطة m ، وباتجاه بداية الاستقامة Δ_1 ، أما إذا كانت المسافة $Sm > SB$ فإن :

$$Bm = Sm - SB$$

والتجسيد يتم اعتباراً من النقطة m ، وذلك باتجاه نهاية الاستقامة Δ_1 وبمسافة قدرها Bm . يتم تجسيد نقطة التماس الثانية E ، بنفس الأسلوب المستخدم لتجسيد نقطة التماس الأولى B . أما تجسيد نقاط المنحني استناداً إلى المماسين في الحالة العامة فغير ممكن بالرغم من حساب العناصر اللازمة لغرس هذه النقاط ذلك لأنه لا يمكن استخدام كل من المماسين قاعدة لعمليات الغرس اللازمة نظراً لوجود العائق الذي لا يسمح بذلك . أما إذا كان العائق بسيطاً وبعيداً كافياً عن نقطة منتصف المنحني ، فيمكن تجسيد هذا المنحني بهذه الطريقة .

مسألة (3)

استقامتان متقاطعتان ، زاوية تقاطعهما $\theta = 12.246^\circ$. يراد وصلهما بقوس دائري نصف قطره $R = 400 m$. والمطلوب :
حساب عناصر الغرس اللازمة لنقاط من المنحني الدائري البسيط باستخدام طريقة الأوتار المتتابة .

الحل :

نحسب أولاً طول المنحني الدائري البسيط L :

$$L = \frac{R \cdot \theta}{\rho} = 400 \times \frac{12.246}{63.662} = 76.94m$$

وباعتبار أن مقدار المسافة القوسية الجزئية غير محدد ، فيمكننا فرض قيمة لهذه المسافة ، بحيث تبقى المتراحة التالية محققة:

$$\delta \leq \frac{R}{20} \leq \frac{400}{20} \leq 20m$$

وسنفرض أن $\delta = 15 \text{ m}$ ، وهي تحقق المتراجحة السابقة ويمكننا إلباس الأقواس الجزئية بأوتارها .

الجدول (2-7)

الانزياح (m)	طول القوس (m)	المسافة التراكمية (m)
3	2	1
0.28	15	5805
0.56	15	5820
0.56	15	5835
0.56	15	5850
0.56	15	5865
0.08	1.94	5866.94

نحسب طول القوس الجزئي الأخير C ، كمايلي :

$$C = L - i\delta$$

بفرض أن $i = S$ ستكون قيمة C :

$$C = 76.94 - (5 \times 15) = 1.94 \text{ m}$$

يتم ترتيب عناصر الغرس في الجدول (2-7) ، وذلك بفرض أنه تم غرس

نقطة التماس الأولى B وكانت مسافتها التراكمية مساوية 5790.00 m .

الفصل الثالث

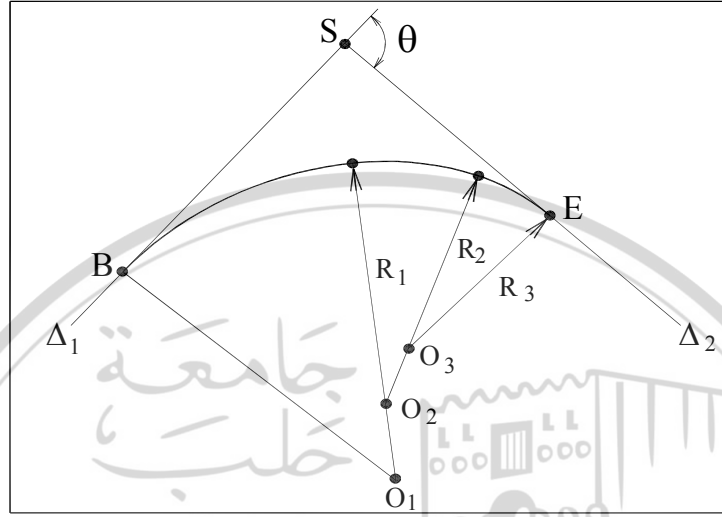
تصميم المنحنيات الدائرية المركبة والمتعاكسة وتجسيدها على الطبيعة

3.1 المنحنيات الدائرية المركبة

يتألف المنحني الدائري المركب من قوسين متماسّين (أو أكثر) ، نصفاً قطريهما غير متساويين ، ومركزاهما يقعان في نفس الجهة بالنسبة إلى القوسين . تستخدم المنحنيات الدائرية المركبة عند التقاطعات الكبيرة في المدن ، التي لا تسمح فيها مساحة التقاطع بتصميم منحنيات دائرية بسيطة ذات أطوال كبيرة . يتم وصل الاستقامات عند مثل هذه التقاطعات بواسطة مجموعة من الأقواس أنصاف أقطارها متدرجة ، أي بحدود 40 m عند الدخول و بحدود 30 m في الوسط ، و بحدود 20 m عند الخروج ، لتشكل هذه الأقواس معاً منحنيّاً دائريّاً مركباً يؤمن الانتقال التدريجي من الاستقامة الأولى إلى الاستقامة التي تليها مباشرة ، كما في الشكل رقم (3-1) .

يستخدم هذا النوع من المنحنيات أيضاً في شبكات الطرق التي تجتاز التجمعات السكانية حيث تكثر العوائق الطبيعية والاصطناعية ، والموزعة عشوائياً في الموقع ، وبالتالي ستكون المشكلة التي يواجهها المهندس المصمم مشكلة اختيار نصف قطر مناسب للمنحني الدائري البسيط فإن اختياره صغيراً قد يصطدم بعائق ما ، وإن اختياره كبيراً لتجنب ذلك العائق ، قد يصطدم بعائق آخر فالحل الأمثل في مثل هذه الحالات ، هو التفتيش عن تصميم منحني دائري مركب مؤلف من قوسين متماسّين (أو أكثر) واختيار نصف قطريهما بشكل يستطيع فيه المصمم تجاوز تلك العوائق التي لا يمكن تفاديها بواسطة منحني دائري بسيط ولا ينصح عملياً بهذا النوع من المنحنيات ضمن شبكة الطرق الرئيسية ، ذلك لأن الانتقال من منحن إلى منحن آخر يختلف عن الأول بطول نصف القطر ، سيولد قوة

نابذة مفاجئة تزعج السائق والركاب معاً ، وقد تؤدي إلى اختلال توازن العربة أو عدم قدرة السائق على السيطرة عليها. للتخفيف من حدة التغير الناتج عند الانتقال بين هذين القوسين ، يُنصح بأن تكون قيمة نصف القطر الصغير (R_1 مثلاً) محققة للمتراحة التالية :



الشكل (3-1)

$$R_1 \geq 2/3 R_2 \quad (3.1)$$

حيث إن:

R_2 - نصف القطر الكبير .

3.1.1 عناصر المنحني الدائري المركب

يتألف المنحني الدائري المركب الشكل رقم (3-1) ، من العناصر الأساسية التالية :

θ - زاوية تقاطع الاستقامتين Δ_1 و Δ_2 .

R_1 - نصف قطر القوس الأول ومركزه O_1 .

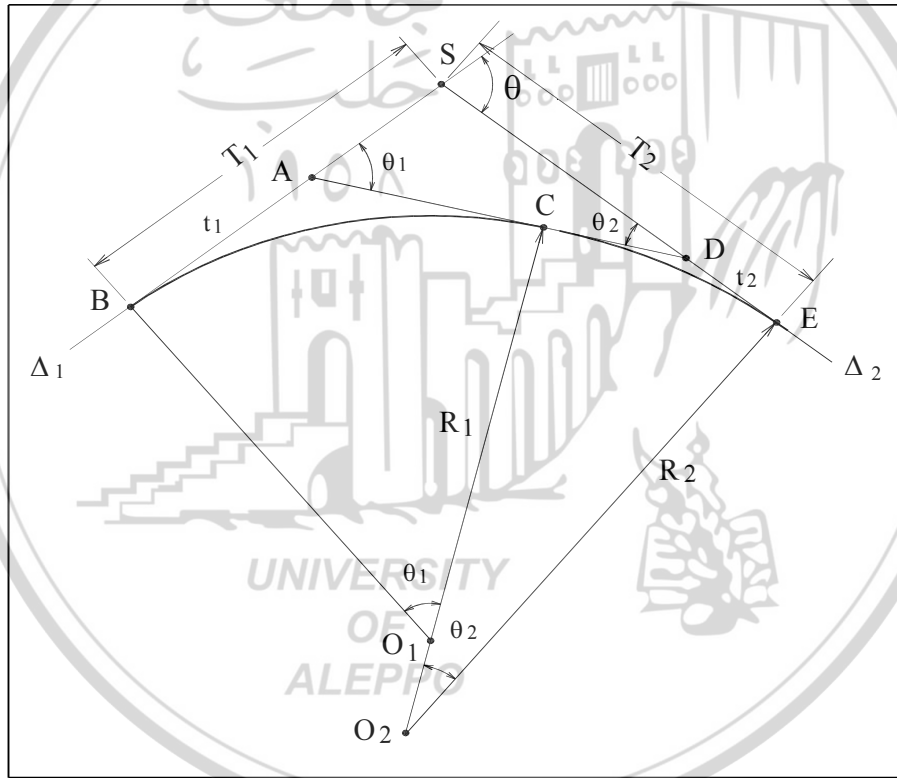
R_2 - نصف قطر القوس الثاني ومركزه O_2 .

T_1 - المماس الأول للقوس الأول عند نقطة بدايته B .

- T_2 - المماس الثاني للقوس الثاني عند نقطة نهايته E .
- θ_1 - زاوية تقاطع المماس المشترك C_1C_2 مع المماس الأول T_1 .
- θ_2 - زاوية تقاطع المماس المشترك C_1C_2 مع المماس الثاني T_2 .
- t_1 - طول مماس القوس الأول .
- t_2 - طول مماس القوس الثاني .

نلاحظ من الشكل ما يلي :

- $R_1 \neq R_2$ وإلا لأصبح منحنياً دائرياً بسيطاً .
- مركزا القوسين الدائريتين O_1 و O_2 ، يقعان على استقامة واحدة .
- $T_1 \neq T_2$ المماس الأول لا يساوي المماس الثاني .



الشكل (3-2)

لتعيين هذه العناصر نلاحظ بأن بعضها يرتبط مع بعض بعلاقات رياضية

حيث نجد من الشكل رقم (3-2) ما يلي :

- الزاوية θ زاوية خارجية في المثلث ASC أي أن :

$$\theta = \theta_1 + \theta_2 \quad (3.2)$$

- طول مماس القوس الأول t_1 :

$$AB = AC = t_1 = R_1 \cdot \tan \frac{\theta_1}{2} \quad (3.3)$$

- طول مماس القوس الثاني t_2 :

$$DE = CD = t_2 = R_2 \cdot \tan \frac{\theta_2}{2} \quad (3.4)$$

- مجموع طولي المماسين $t_1 + t_2$:

$$AC + CD = t_1 + t_2 = R_1 \cdot \tan \frac{\theta_1}{2} + R_2 \cdot \tan \frac{\theta_2}{2} \quad (3.5)$$

لحساب طول المماسين T_1 و T_2 . نحتاج إلى معرفة طول القطعتين المستقيمتين CD و AS ويتم ذلك من خلال تطبيق علاقة الجيوب في المثلث ASD :

$$DS = AD \frac{\sin \theta_1}{\sin \theta} = (t_1 + t_2) \frac{\sin \theta_1}{\sin \theta} \quad (3.6)$$

$$AS = AD \frac{\sin \theta_2}{\sin \theta} = (t_1 + t_2) \frac{\sin \theta_2}{\sin \theta} \quad (3.7)$$

ويكون طول المماس الأول T_1 ، مساوياً :

$$T_1 = AB + AS = t_1 + (t_1 + t_2) \frac{\sin \theta_2}{\sin \theta} \quad (3.8)$$

$$T_1 = R_1 \tan \frac{\theta_1}{2} + (R_1 \tan \frac{\theta_1}{2} + R_2 \tan \frac{\theta_2}{2}) \frac{\sin \theta_2}{\sin \theta}$$

وكذلك طول المماس الثاني T_2 ، يساوي :

$$T_2 = DE + DS = t_2 + (t_1 + t_2) \frac{\sin \theta_1}{\sin \theta}$$

$$T_2 = R_2 \tan \frac{\theta_2}{2} + (R_1 \tan \frac{\theta_1}{2} + R_2 \tan \frac{\theta_2}{2}) \frac{\sin \theta_1}{\sin \theta} \quad (3.9)$$

• ملاحظة

باستخدام العلاقتين المثلثيتين التاليتين :

$$\tan \frac{\theta_1}{2} = \frac{1 - \cos \theta_1}{\sin \theta_1} \quad ; \quad \tan \frac{\theta_2}{2} = \frac{1 - \cos \theta_2}{\sin \theta_2}$$

وبالتالي يمكن كتابة العلاقة (3.8) على الشكل التالي :

$$T_1 \sin \theta = R_1 \left(\frac{1 - \cos \theta_1}{\sin \theta_1} \right) \sin \theta + R_1 \left(\frac{1 - \cos \theta_1}{\sin \theta_1} \right) \sin \theta_2 + R_2 (1 - \cos \theta_2)$$

ومنه :

$$T_1 \sin \theta = R_1 \left(\frac{1 - \cos \theta_1}{\sin \theta_1} \right) (\sin \theta + \sin \theta_2) + R_2 (1 - \cos \theta_2)$$

من العلاقة (3.2) نجد إن :

$$\theta_2 = \theta - \theta_1$$

وبالتالي يمكن كتابة العلاقة السابقة على الشكل التالي :

$$T_1 \sin \theta = \frac{R_1}{\sin \theta_1} \left\{ \sin \theta - \sin \theta \cos \theta_1 + \sin (\theta - \theta_1) \right. \\ \left. - \sin (\theta - \theta_1) \cos \theta_1 \right\} + R_2 (1 - \cos \theta_2)$$

أو :

$$T_1 \sin \theta = \frac{R_1}{\sin \theta_1} (\sin \theta - \sin \theta \cos \theta_1 + \sin \theta \cos \theta_1 - \cos \theta \sin \theta_1 \\ - \sin \theta \cos^2 \theta_1 + \cos \theta \sin \theta_1 \cos \theta_1) + R_2 (1 - \cos \theta_2)$$

بالاختصار نجد إن :

$$T_1 \sin \theta = \frac{R_1}{\sin \theta_1} \left\{ \sin \theta (1 - \cos^2 \theta_1) - \cos \theta \sin \theta_1 \right. \\ \left. + \cos \theta \sin \theta_1 \cos \theta_1 \right\} + R_2 (1 - \cos \theta_2)$$

أو :

$$T_1 \sin \theta = R_1 \{ \cos(\theta - \theta_1) - \cos \theta \} + R_2 (1 - \cos \theta_2)$$

ومن العلاقة (3.2) أيضاً ، يمكن كتابة :

$$\theta_2 = \theta - \theta_1$$

وبالتالي فإن العلاقة الأخيرة تأخذ الشكل النهائي التالي :

$$T_1 \sin \theta = R_1 (\cos \theta_2 - \cos \theta) + R_2 (1 - \cos \theta_2) \quad (3.10)$$

من العلاقة (3.9) ، وباتباع نفس الأسلوب والخطوات السابقة نجد إن :

$$T_2 \sin \theta = R_2 (\cos \theta_1 - \cos \theta) + R_1 (1 - \cos \theta_1) \quad (3.11)$$

نلاحظ أن العلاقات الثلاث (3.2) و (3.10) و (3.11) ، تربط بين سبعة

عناصر تشكل مجموعة تعريف المنحني الدائري المركب .

لحل هذه المعادلات والحصول على قيم العناصر السبعة ، يحتاج المصمم إلى معرفة أربعة منها على الأقل . عملياً تكون الذروة S مجسدة على الطبيعة وكذلك الاستقامتان Δ_1 و Δ_2 ، وبالتالي يمكن قياس الزاوية θ وعادةً يمكن فرض قيم نصف القطرين R_1 و R_2 . أما العنصر الرابع فيتم اختياره أو تقديره بانتباه ، فإذا كانت بداية القوس الأولى B محددة فيمكن قياس الوتر T_1 على المخططات واعتباره عنصراً رابعاً معلوماً ، أما إذا كانت نقطة تلاقي القوسين معروفة فيمكن قياس الزاوية θ_1 ، أو قياس الزاوية θ_2 على الطبيعة أو قياسها على المخططات ويمكن قياس المماس t_1 أو المماس t_2 على الطبيعة أو على المخططات ومن ثم حساب قيمة الزاوية θ_1 من العلاقة (3.3) أو حساب الزاوية θ_2 من العلاقة (3.4) ومن المهم جداً الأخذ بعين الاعتبار ، أن المصمم قد لا يستطيع تفادي العوائق من خلال التصميم الأول ، وقد يحتاج إلى إعادة الفرضيات عدداً من المرات حتى يتوصل إلى الحل المناسب الذي يمكنه من اجتياز المواقع الحرجة بتصميم مقبول.

3.1.2 تجسيد المنحني الدائري المركب

يعني تجسيد المنحني الدائري المركب ، تجسيد قوسين متتاليين نصفاً

قطريهما R_1 و R_2 غير متساويين . يمكن اتباع الخطوات التالية :

1. اختيار إحدى طرق التجسيد المشروحة في بنود الفقرة (2.4) ، ويفضل طرق قياس زوايا التماس .

2. حساب عناصر الغرس اللازمة والمناسبة لطريقة التجسيد التي تم اختيارها لغرس النقاط على القوسين AC و CE بتباعد ثابت δ .

3. غرس النقطة A على الاستقامة Δ_1 ، وذلك بقياس المسافة t_1 من B وباتجاه نقطة تقاطع الاستقامتين S .

4. غرس النقطة D على الاستقامة Δ_2 ، وذلك بقياس المسافة t_2 ، اعتباراً من E وباتجاه S .

5. غرس النقطة C على الاستقامة AD ، وذلك بقياس المسافة $t_1 = AC$ والتحقق من خلال قياس المسافة CD التي يجب أن تساوي t_2 .

6. غرس النقاط التي تم حساب عناصر الغرس لها والتي تقع على المنحني المركب .

بعد الانتهاء من غرس النقاط A و C و D ، لدينا عدة طرق للتحقق من صحة هذا التجسيد من أهمها : قياس المسافة AD على الطبيعة ويجب أن تساوي المسافة المحسوبة $(t_1 + t_2)$ ضمن حدود الأخطاء المسموحة للقياس . وكذلك يجب أن تكون الزاويتان SAD و ADS المقاستان على الطبيعة مساويتين للزاويتين θ_1 و θ_2 على التوالي ضمن حدود الأخطاء المسموحة .

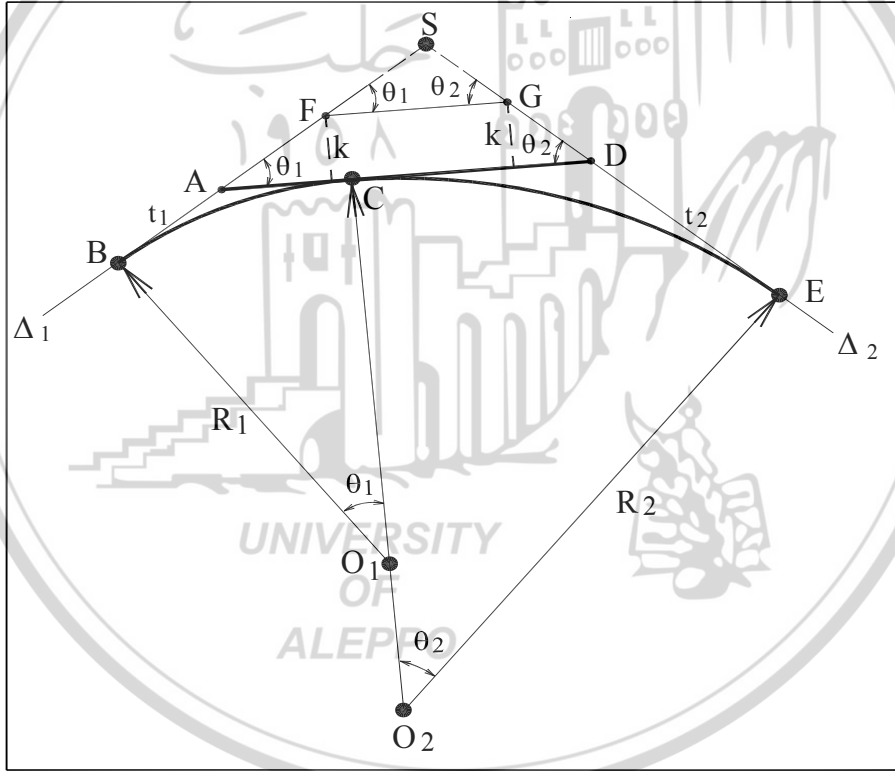
3.1.3 الصعوبات التي يمكن مواجهتها أثناء تجسيد المنحني الدائري المركب أولاً - عندما لا يمكن قياس الزاوية θ

بفرض أن نقطة تقاطع الاستقامتين S لا يمكن تجسيدها على الطبيعة وبالتالي لا يمكن قياس الزاوية الخارجية θ ، لهذا نقوم بغرس نقطة ما ، مثل F على الاستقامة الأولى Δ_1 ، ونقطة أخرى G ، على الاستقامة الثانية Δ_2 .

نقيس على الطبيعة الزاويتين θ_1 و θ_2 ، عند النقطتين المجسدتين F و G وبعد معرفة قيمة هاتين الزاويتين ، نحسب الكمية :

$$R_1 \tan \frac{\theta_1}{2} + R_2 \tan \frac{\theta_2}{2} = t_1 + t_2$$

التي يجب أن تساوي المسافة AD ، فيما إذا تم اختيار موقع النقطتين G و F بعناية كبيرة ، ويكون موقع النقطتين F و G هو على التوالي موقع النقطتين A و D تماماً ، أي إن المسافة المقيسة على الطبيعة FG ، هي نفسها المسافة المحسوبة AD ، وهذا عملياً لن يتحقق ، لذا نلجأ إلى تغيير موقع FG بحيث تبقى النقطة F على الاستقامة الأولى Δ_1 ، والنقطة G على الاستقامة الثانية Δ_2 وبطريقة نحصل فيها على المسافة FG مساوية طول المماس المشترك AD وأفضل طريقة هي تحريك القطعة المستقيمة FG ، على نحو تبقى فيه موازية لوضعيتها السابقة ، بشكل نحافظ فيه على قيمة الزاويتين θ_1 و θ_2 ، ومن الشكل رقم (3-3) . نلاحظ أنه يجب تحريك القطعة المستقيمة FG نحو الأعلى



الشكل (3-3)

(باتجاه الذروة) إذا كان $FG > AD$. أو بالعكس إذا كان $FG < AD$ وهكذا حتى يصبح فيه طول القطعة المستقيمة FG مساوياً طول المماس المشترك AD . يتطلب تحقيق هذا الشرط حساب مقدار الانزياح k العمودي على الاتجاه FG ، ومن الشكل رقم (3-3) يمكن كتابة :

$$AD = FG + k \cdot \cot \theta_1 + k \cdot \cot \theta_2 = t_1 + t_2$$

ومنه نجد :

$$k = \frac{(t_1 + t_2) - FG}{\cot \theta_1 + \cot \theta_2} \quad (3.12)$$

وذلك في الحالة : $FG < AD$

أما في الحالة الثانية : $FG > AD$ فإن :

$$k = \frac{FG - (t_1 + t_2)}{\cot \theta_1 + \cot \theta_2} \quad (3.13)$$

بعد حساب قيمة الانزياح k ، من إحدى العلاقتين (3.12) أو (3.13) يمكن حساب المسافتين AF و DG كما يلي :

$$AF = \frac{k}{\sin \theta_1} \quad \text{و} \quad DG = \frac{k}{\sin \theta_2}$$

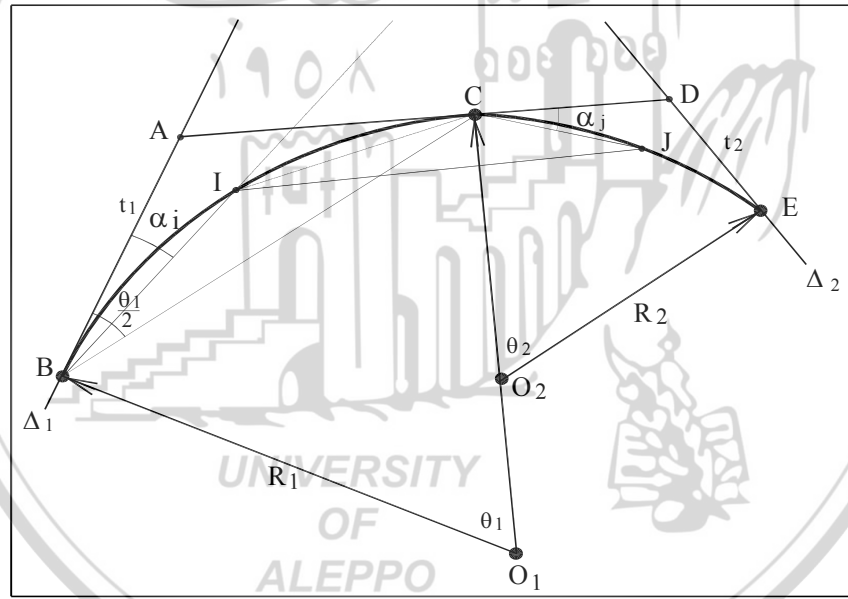
وبالتالي تحديد موقع النقطتين A و D بالنسبة للنقطتين F و G ، وذلك على الاستقامتين Δ_1 و Δ_2 على التوالي .

للتحقق من صحة العمل ، تقاس المسافة المجسدة على الطبيعة AD ، التي يجب أن تساوي المسافة المحسوبة $t_1 + t_2 = AD$ ، وكذلك تقاس الزاويتان عند النقطتين F و G ، واللذان يجب أن تساويا الزاويتين θ_1 و θ_2 .

يمكننا بعد ذلك تجسيد النقاط الأساسية للمنحني الدائري المركب ونقاطاً تقع على هذا المنحني وفق الطرق المشروحة في البند (3.1.2) .

ثانياً - عندما لا يمكن الوصول إلى إحدى نقاط التماس B أو C أو D

عند تعذر تركيز جهاز المساحة فوق إحدى نقاط التماس ، فإن تجسيد النقاط على القوس الدائري الأول ، أو القوس الدائري الثاني يمكن أن يتم وفق الطرق المتبعة في تجسيد النقاط على المنحني الدائري البسيط والمبينة في الفقرة (2.3) أما في حال تعذر الوصول إلى النقطة C والتمركز فوقها فإن تجسيد نقاط القوس الدائري الثاني ، يمكن أن يتم اعتباراً من نقطة التماس الأولى B ، أو من أية نقطة من القوس الأول . بفرض أن المطلوب تجسيد النقطة J التي تقع على القوس الثاني ، اعتباراً من النقطة I المجسدة على القوس الأول . يمكن حساب طول القوس IC كما يلي : $IC = BC - BI$ ، وذلك باعتبار أن طول القوس BC معلوم وكذلك طول القوس BI ، لأن النقطة I مجسدة على الطبيعة في مرحلة سابقة وزاوية انزياحها α_i معلومة . من الشكل رقم (3-4) ، يمكن حساب الزاوية المماسية ACI كما يلي :



الشكل (3-4)

$$\hat{ACI} = \frac{IC}{2R_1} = \frac{\theta_1}{2} - \alpha_i$$

بفرض أننا نريد تجسيد النقطة J من القوس الدائري الثاني ، ذات المسافة CJ المعلومة . من الشكل رقم (3-4) ، نلاحظ أن الزاوية DCJ مماسية وتساوي

$$\widehat{DCJ} = \frac{CJ}{2R_2} = \alpha_j$$

وهذه الزاوية ماهي إلا زاوية انزياح النقطة J على القوس الثاني . يمكن حساب طول كل من الوترين IC و CJ اعتباراً من النقطة C ، وذلك بتطبيق العلاقتين التاليتين :

$$\overline{CI} = 2R_1 \sin \widehat{ACI} = 2R_1 \sin \left(\frac{\theta_1}{2} - \alpha_i \right) \quad (3.14)$$

$$\overline{CJ} = 2R_2 \sin \widehat{DCJ} = 2R_2 \sin \alpha_j \quad (3.15)$$

تحتسب الزاوية ICJ ، من المثلث ICJ كما يلي :

$$\widehat{ICJ} = 200^{gr} - \widehat{ACI} - \widehat{DCJ} = 200^{gr} - \left(\frac{\theta_1}{2} + \alpha_i \right) - \alpha_j \quad (3.16)$$

بعد ذلك يحسب طول الوتر IJ ، من المثلث ICJ كما يلي :

$$\overline{IJ}^2 = \overline{CI}^2 + \overline{CJ}^2 - 2\overline{CI}\overline{CJ} \cos \widehat{ICJ} \quad (3.17)$$

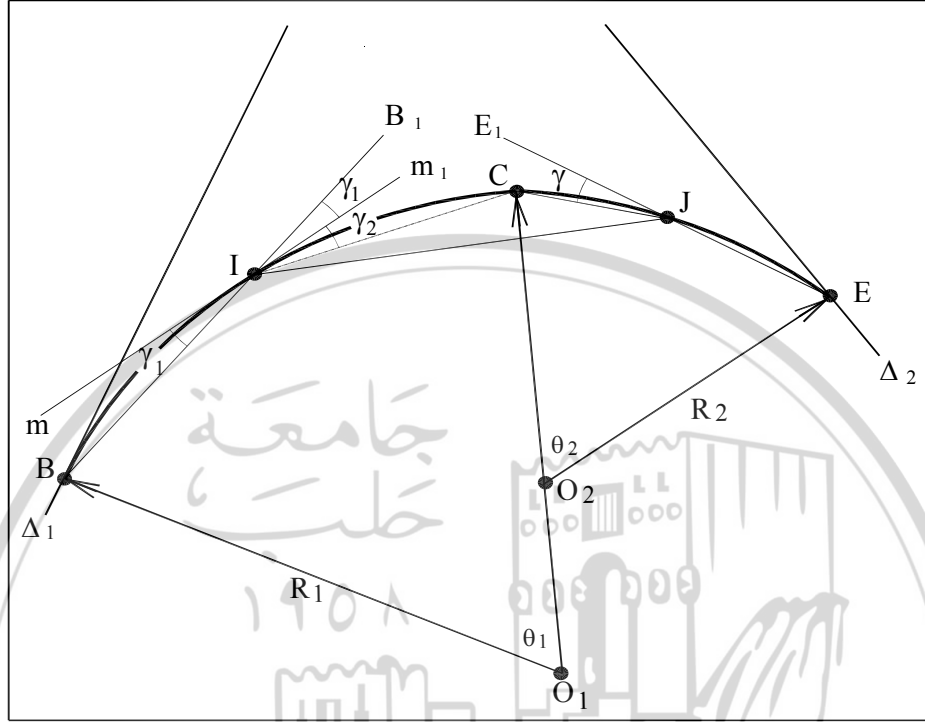
من علاقة الجيوب تحسب الزاويتان CIJ و CJI ، وكذلك لدينا من الشكل رقم (3-5) ، على اعتبار أن النقطة B_1 تقع على امتداد BC و mm_1 المماس في النقطة I ، يمكن كتابة :

$$\widehat{BIJ} = 200^{gr} - \widehat{B_1IC} - \widehat{CIJ} = 200^{gr} - \left(\gamma_1 + \gamma_2 \right) - \widehat{CIJ} \quad (3.18)$$

إلا أن الزاوية γ_1 مماسية وتقاس بنصف القوس BI ، وكذلك فإن الزاوية γ_2 مماسية أيضاً وتقاس بنصف القوس IC ، وبذلك يكون مجموع الزاويتين المماسيتين $\gamma_1 + \gamma_2$ مساوياً نصف القوس BC ، الذي يساوي $\theta_1/2$ ، وبالتالي يمكن كتابة العلاقة السابقة على الشكل التالي :

$$\widehat{BIJ} = 200^{gr} - \frac{\theta_1}{2} - \widehat{CIJ} \quad (3.19)$$

من خلال معرفة الزاوية BIJ والمسافة IJ ، يمكن بسهولة تجسيد النقطة باستخدام جهاز تيودوليت وشريط القياس أو باستخدام قانس المسافات الإلكتروني ، هذا ويمكن تدقيق عملية تجسيد النقطة J ، من خلال نقل



الشكل (3-5)

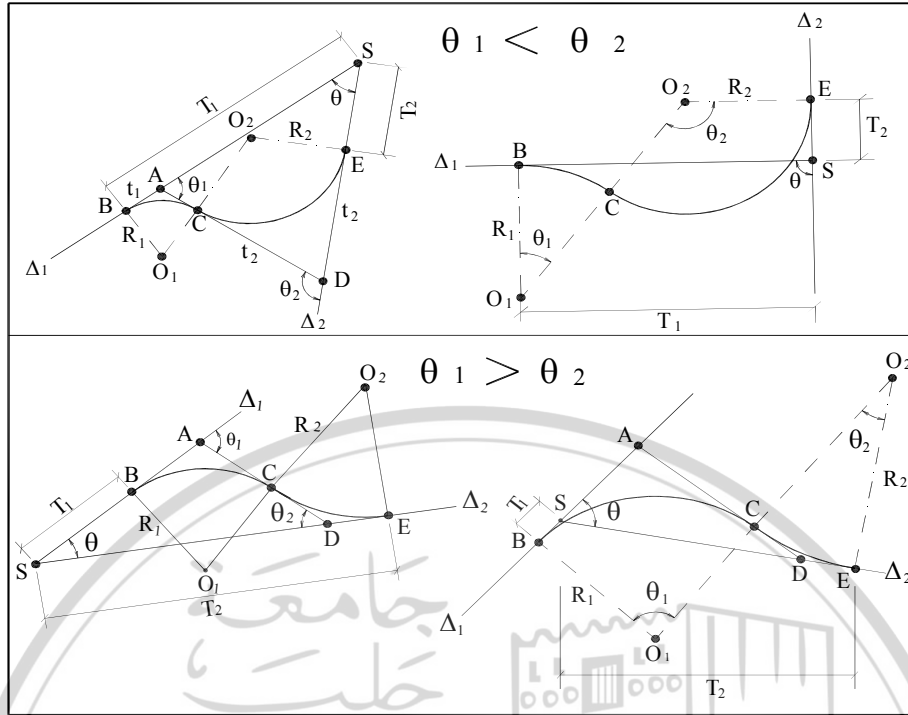
وتركيز جهاز التيودوليت فوق تلك النقطة وقياس الزاوية BIJ ، التي يجب أن تساوي القيمة المحسوبة من العلاقة التالية :

$$\hat{I}E = 200^{gr} - \frac{\theta_2}{2} - \hat{C}I$$

ذلك لأن الزاوية CIJ معلومة ، وكذلك الزاوية $\gamma = \theta_2/2$

3.2 المنحنيات الدائرية المتعاكسة

يسمى المنحني الدائري متعاكساً ، إذا كان هذا المنحني مؤلفاً من قوسين دائريين يقع مركزاهما في جهتين مختلفتين بالنسبة إلى المماس المشترك لهما أي أن جهتي تقوسهما متخالفتان .



الشكل (3-6)

إن تصميم عناصر المنحنيات الدائرية المتعاكسة لا يختلف كثيراً عن تصميم عناصر المنحنيات الدائرية المركبة المشروحة في الفقرة (3.1) ذلك لأن خصائصها الهندسية شبيهة بالمنحنيات المركبة مع وجود بعض الفوارق البسيطة . فمثلاً يمكن أن يكون نصف القطري القوسين المؤلفين للمنحني الدائري المتعاكس متساويين ، ويمكن أن تكون زاوية انحراف القوس الأول أكبر من زاوية انحراف القوس الثاني أو العكس ويمكن أن يكونا متساويين ، ويمكن أن تقع نقطة تقاطع الاستقامتين Δ_1 و Δ_2 التي يصل بينهما المنحني المتعاكس في طرف أو في الطرف الآخر بالنسبة للمماس المشترك للقوسين . الشكل رقم (3-6) يبين الحالات المختلفة لهذه المنحنيات ، حيث نجد لجميع الحالات أن :

$$R_1 \tan \frac{\theta_1}{2} , \quad R_2 \tan \frac{\theta_2}{2}$$

وكذلك فإن :

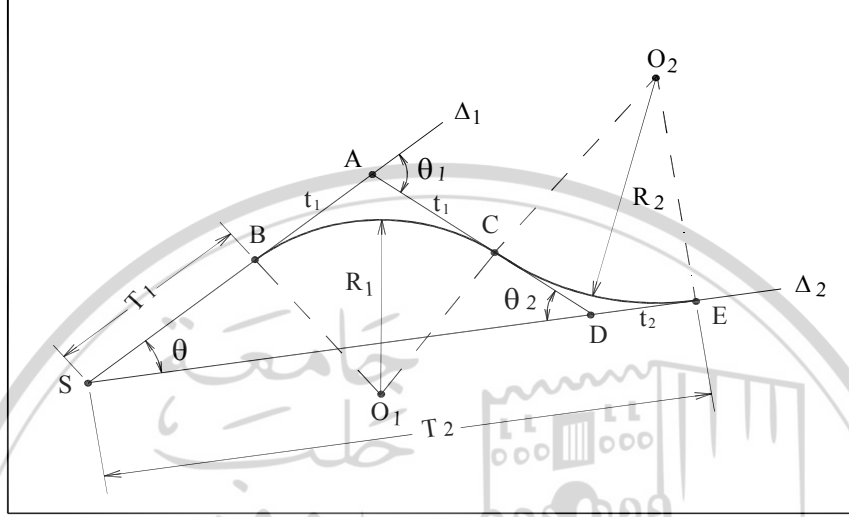
$$AD = AC + CD = t_1 + t_2$$

يتطلب تعيين العناصر الأساسية لهذه المنحنيات ، مناقشة الحالات الثلاث

التالية :

• الحالة الأولى

إذا كانت الزاوية $\theta_1 > \theta_2$ من الشكل رقم (3-7) يكون لدينا :



الشكل (3-7)

$$AS = (t_1 + t_2) \frac{\sin \theta_2}{\sin \theta}$$

$$\theta = \theta_1 - \theta_2 \quad (3.20)$$

وبالتالي فإن :

$$T_1 = AS - AB = AS - t_1$$

$$T_2 = DS + DE = DS + t_2 \quad (3.21)$$

وبالتالي يمكن كتابة :

$$T_1 = (R_1 \tan \frac{\theta_1}{2} + R_2 \tan \frac{\theta_2}{2}) \frac{\sin \theta_2}{\sin \theta} - R_1 \tan \frac{\theta_1}{2}$$

$$T_2 = (R_1 \tan \frac{\theta_1}{2} + R_2 \tan \frac{\theta_2}{2}) \frac{\sin \theta_1}{\sin \theta} + R_2 \tan \frac{\theta_2}{2}$$

باستخدام العلاقتين المثلثيتين التاليتين :

$$\tan \frac{\theta_1}{2} = \frac{1 - \cos \theta_1}{\sin \theta_1} \quad ; \quad \tan \frac{\theta_2}{2} = \frac{1 - \cos \theta_2}{\sin \theta_2}$$

باتباع نفس الخطوات الواردة في البند (3.1.1) ، وبعد الأخذ بعين الاعتبار

العلاقة رقم (3.20) ، والتعويض بفـس الأسلوب المتبع في استنتاج العلاقتين (3.10)

و (3.11) ، نجد مايلي :

$$T_1 \sin \theta = R_1 (\cos \theta - \cos \theta_2) + R_2 (1 - \cos \theta_2)$$

$$T_2 \sin \theta = R_2 (\cos \theta - \cos \theta_1) + R_1 (1 - \cos \theta_1)$$

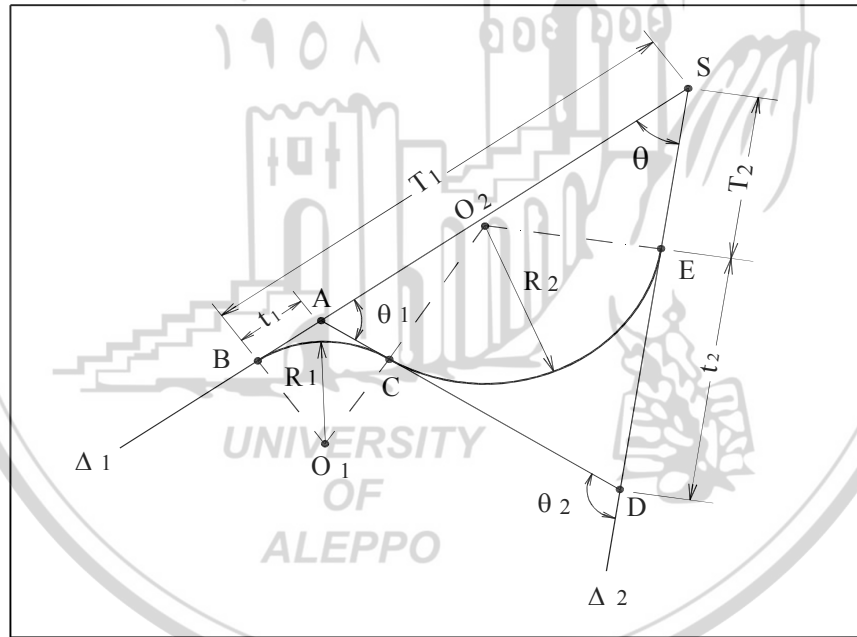
نلاحظ بأن هاتين المعادلتين تربطان بين سبعة عناصر ، لـحلـهما يكفي معرفة

أربعة عناصر فقط ، وذلك بعد أخذ العلاقة رقم (3.20) . بعين الاعتبار

عملياً يكون لدينا نصفاً قطري القوسين R_1 و R_2 والزاوية الخارجية θ وبالتالي

يكفي معرفة عنصر رابع من القياس على المخططات أو غير ذلك .

• الحالة الثانية



الشكل (3-8)

إذا كانت الزاوية $\theta_2 > \theta_1$ ، من الشكل رقم (3-8) يكون لدينا :

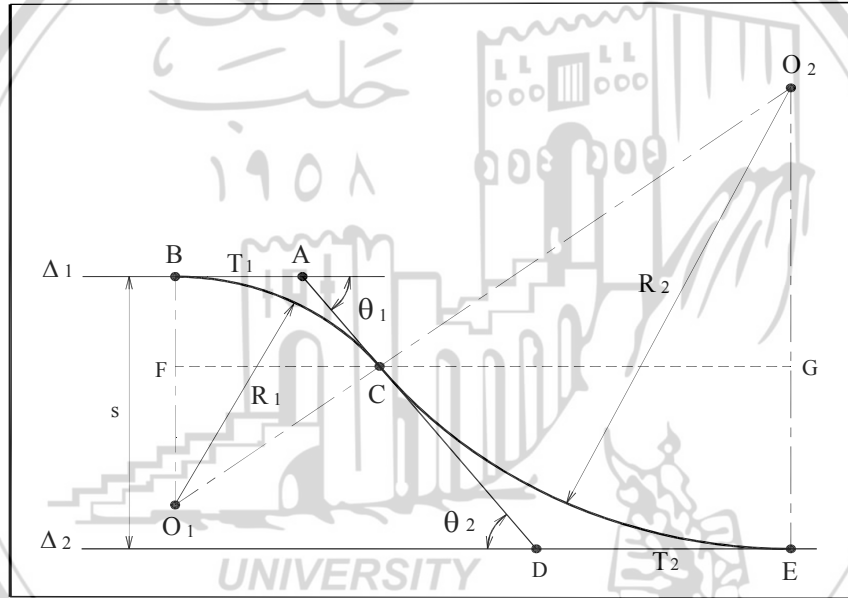
$$\theta = \theta_2 - \theta_1 \quad (2.22)$$

وكذلك نجد إن :

$$\left. \begin{aligned} T_1 &= AS + AB = AS + t_1 \\ T_2 &= DS - DE = DS - t_2 \end{aligned} \right\} \quad (2.23)$$

• الحالة الثالثة

إذا كانت الزاويتان $\theta_1 = \theta_2$ ، كما في الشكل رقم (3-9) لمّا كانت الاستقامتان متوازيتين فإنّ طولي المماسين T_1 و T_2 لا نهائي ، وإن زاوية تقاطعهما $\theta = 0$ ، وبذلك تكون الزاويتان θ_1 و θ_2 متساويتين مهما كان وضع المماس المشترك ، ومهما كانت قيمة نصفي القطرين R_1 و R_2 .



الشكل (3-9)

في مثل هذه الحالة يمكن الاستفادة من البعد S بين هاتين الاستقامتين لإيجاد العناصر الأساسية لهذا المنحني ، وذلك كما يلي :

- من نقطة تماس القوسين C ، ننشئ مستقيماً FG موازياً للاستقامتين فيكون لدينا :

$$S = BF + GE$$

إلا أن:

$$BF = R_1(1 - \cos\theta_1)$$

$$GE = R_2(1 - \cos\theta_1)$$

نعوض في قيمة S فنجد إن :

$$S = R_1(1 - \cos\theta_1) + R_2(1 - \cos\theta_1)$$

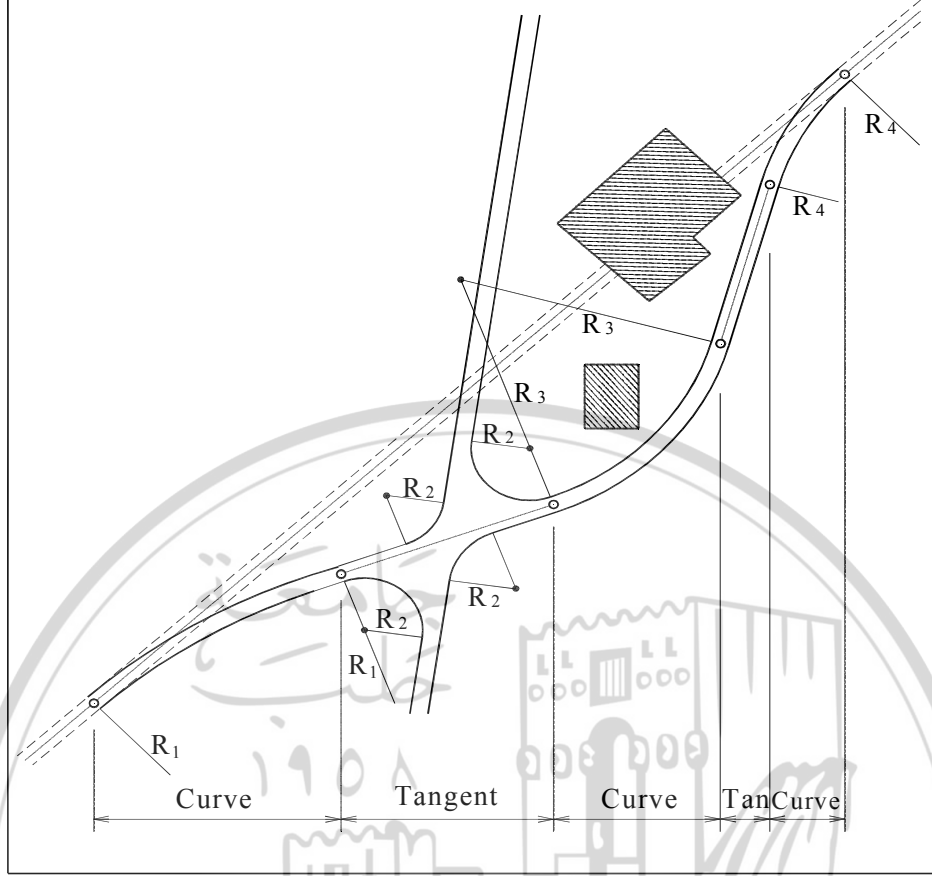
بترتيب العلاقة نحصل على الشكل النهائي التالي :

$$S = (R_1 + R_2) - (R_1 + R_2) \cos\theta_1 \quad (2.24)$$

ومنه نجد إن :

$$\cos\theta_1 = \frac{(R_1 + R_2) - S}{R_1 + R_2} \quad (2.25)$$

لا ينصح باستخدام المنحنيات الدائرية المتعاكسة ، حيث التغير المفاجئ في الانحناء غير مرغوب فيه ، ويتطلب وضع قيود كبيرة على السرعة ، كما أن التغير المفاجئ في الاتجاه بين القوسين المؤلفين للمنحني الدائري المتعاكس لا يسمح بزيادة الميل العرضاني ، ذلك لأن أحد القوسين يتطلب ميلاً عرضانياً معاكساً للميل العرضاني الذي يتطلبه القوس الثاني ، وهذا غير ممكن عملياً . لذلك وللتخفيف من تأثير القوة النابذة لابد من تحديد السرعة وتخفيفها عند تجاوز هذه المنعطفات . لا تستخدم المنحنيات المتعاكسة إلا عند الضرورة القصوى كالطرق الجبلية مثلاً ، أو لتجاوز عوائق طبيعية أو اصطناعية ، كما في الشكل رقم (10-3) وفي حال اللجوء إلى هذا النوع من المنحنيات ينصح باستخدام أنصاف أقطار كبيرة ، وينصح بوضع استقامة بين القوسين الدائريين ، إن سمحت الشروط الطبوغرافية والمكانية بذلك ، على أن لا يقل طول هذه الاستقامة عن $1.5 V$ ، حيث V السرعة التصميمية للعربات وتقدر بـ (m/sec) . أما بالنسبة إلى وصل خطوط السكك الحديدية فلا يسمح بتصميم منحنيات دائرية متعاكسة إلا بعد وضع استقامة بينهما لا يقل طولها عن $3 V$.



الشكل (3-10)

3.2.1 تجسيد المنحنيات الدائرية المتعاكسة

لتجسيد نقاط المنحني الدائري المتعاكس ، تستخدم العلاقات التي وردت في الفقرة (2.4) ، وذلك بعد حساب عناصر غرس نقاط من المنحنيين الدائريين البسيطين المشكلين للمنحني الدائري المتعاكس ، حيث تجسد نقاط المنحني الدائري البسيط الأول بشكل منفصل عن تجسيد نقاط المنحني الدائري البسيط الثاني .

3.3 مسائل محلولة

مسألة (1)

لدينا الاستقامتان Δ_1 و Δ_2 متقاطعتان في الذروة S ، وزاوية تقاطعهما $\theta = 145.3572gr$. يراد وصلهما بمنحن دائري مركب مؤلف من قوسين دائريين الأول يمس الاستقامة الأولى Δ_1 ، ونصف قطره $R_1 = 300 m$ والثاني يمس الاستقامة الثانية Δ_2 ، ونصف قطره $R_2 = 200 m$ ، وطول العمود النازل على الاستقامة الأولى Δ_1 ، اعتباراً من نقطة تماس القوسين C $mC = 154.33$ كما في الشكل رقم (3-11)

المطلوب :

1. حساب زاويتي المنحنيين θ_1 و θ_2 .
2. حساب طول كل من المماسين SE ، SB .
3. حساب طول القوس الدائري الأول L_1 ، وكذلك طول القوس الدائري الثاني L_2
4. حساب طول المسافتين الخارجيتين للقوس الأول والقوس الثاني .

الحل :

من الشكل رقم (3-11) يمكن كتابة :

$$AC = \frac{mC}{\sin \theta_1} \Rightarrow mC = AC \cdot \sin \theta_1 \quad (2.26)$$

ولكن :

$$AC = t_1 = R_1 \cdot \tan \frac{\theta_1}{2}$$

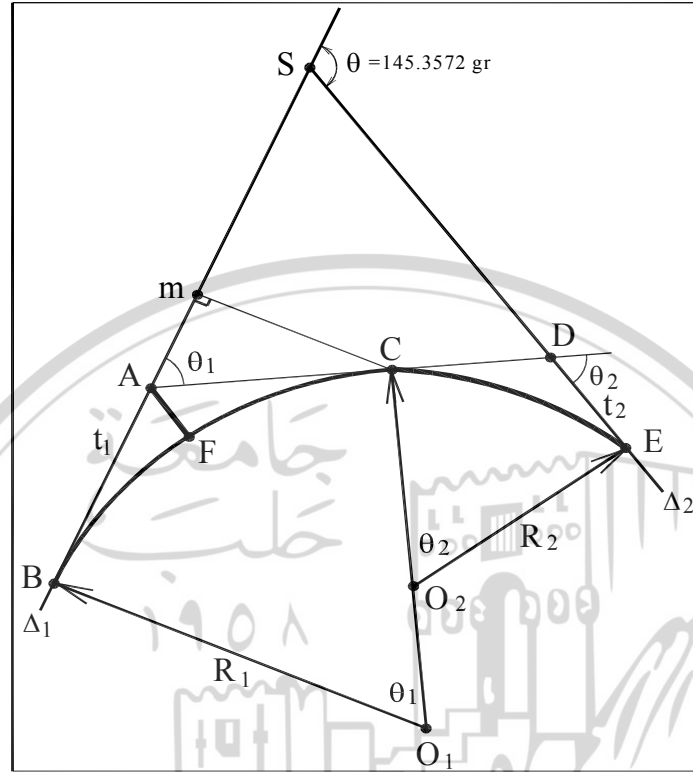
نعوض بالعلاقة رقم (2.25) فنجد إن :

$$mC = R_1 \cdot \tan \frac{\theta_1}{2} \sin \theta_1 = 2R_1 \frac{\sin \theta_1 / 2}{\cos \theta_1 / 2} \cdot \sin \frac{\theta_1}{2} \cos \frac{\theta_1}{2}$$

$$mC = 2R_1 \cdot \sin^2 \frac{\theta_1}{2} \Rightarrow \sin^2 \frac{\theta_1}{2} = \frac{mC}{2R_1} = \frac{154.33}{600}$$

ومنه نجد :

$$\sin \frac{\theta_1}{2} = 0.5072 \Rightarrow \theta_1 = 2 \arcsin 0.5072 = 67.723 \text{ gr}$$



شكل (3-11)

من العلاقة رقم (3.2) نستنتج قيمة الزاوية θ_2 أي أن :

$$\theta = \theta_1 + \theta_2 \Rightarrow \theta_2 = \theta - \theta_1 = 145.3572 - 67.723 = 77.635 \text{ gr}$$

حساب طول المماس BS

$$BS = AB + AS \quad (2.27)$$

إلا أن :

$$AB = t_1 = R_1 \tan \theta_1 / 2 = 300 \tan 33.866 = 176.57 \text{ m}$$

وأن :

$$DE = t_2 = R_2 \tan \theta_2 / 2 = 200 \tan 38.818 = 139.71 \text{ m}$$

$$AD = AC + CD = t_1 + t_2 = 308.79 + 71.15 = 316.28 \text{ m}$$

وكذلك يمكن حساب AS من خلال تطبيق علاقة الجيوب في المثلث ASD :

$$AS = \frac{AD}{\sin(200 - \theta)} = \frac{t_1 + t_2}{\sin 54.643} = \frac{316.28}{\sin 54.643} = 417.94 \text{ m}$$

نعوض قيمة AS و AB بالعلاقة رقم (2.27) فنجد إن :

$$BS = 417.94 + 176.57 = 594.51 \text{ m}$$

حساب طول القوس الأول :

$$L_1 = R_1 \cdot \theta_1(\text{radians}) = (300 \times 67.723) / 63.662 = 319.14 \text{ m}$$

حساب طول المسافة الخارجية EX ، للقوس الأول :

$$EX = (\sqrt{t_1^2 + R_1^2}) - R_1 = 48.1 \text{ m}$$

• ملاحظة : تحسب عناصر القوس الثاني بنفس الأسلوب

مسألة (2)

لدينا الاستقامتان Δ_1 و Δ_2 متوازيان الشكل (9-3) ، المسافة بينهما $S = 250 \text{ m}$ ، يراد وصلهما بمنحني دائري متعاكس مؤلف من قوسين دائريين نصف قطر القوس الأول $R_1 = 200 \text{ m}$ ونصف قطر القوس الثاني $R_2 = 300 \text{ m}$.

المطلوب :

1. تجسيد العناصر الأساسية لهذا المنحني على الطبيعة .
2. غرس نقاط على القوسين الدائريين بتباعد ثابت مقداره $\delta = 20 \text{ m}$.

الحل :

لما كانت الاستقامتان متوازيتين ، فإن طولي المماسين T_1 و T_2 لا نهائي وزاوية تقاطعهما $\theta = 0$ ، وإن الزاويتين θ_1 و θ_2 متساويتان مهما كان وضع المماس المشترك ومهما كانت قيمة نصفي القطرين R_1 و R_2 . في مثل هذه الحالة يمكن الاستفادة من البعد S ، بين هاتين الاستقامتين ، وذلك لإيجاد العناصر الأساسية لهذا المنحني ، كما يلي :

من نقطة تماس القوسين D ننشئ مستقيماً FJ موازياً للاستقامتين فيكون لدينا :

$$S = BF + EG$$

إلا أن :

$$BF = R_1(1 - \cos\theta_1)$$

$$EG = R_2(1 - \cos\theta_1)$$

نعوض في قيمة S فنجد :

$$S = R_1(1 - \cos\theta_1) + R_2(1 - \cos\theta_1)$$

$$S = (R_1 + R_2) - (R_1 + R_2) \cos\theta_1$$

ومنه نجد :

$$\cos \theta_1 = \frac{(R_1 + R_2) - S}{R_1 + R_2}$$

تسمح لنا هذه العلاقة بحساب قيمة الزاوية θ_1 :

$$\cos \theta_1 = \frac{(200 + 300) - 250}{500}$$

ومنه :

$$\theta_1 = \theta_2 = 29.5167 \text{ gr}$$

بعد حساب الزاوية θ_1 تحسب العناصر الأساسية التالية :

- طول المماس الأول t_1 :

$$t_1 = R_1 \tan \frac{\theta_1}{2} = 200 \times \tan 14.7584 = 47.21 \text{ m}$$

- طول المماس الثاني t_2 :

$$t_2 = R_2 \tan \frac{\theta_2}{2} = 300 \times \tan 14.7584 = 70.82 \text{ m}$$

لتجسيد النقطة B ، بداية المنحني الدائري المتعاكس يمكن تعيينها على المخطط مباشرة ، وذلك بالنسبة إلى نقطة ما مثل M من الاستقامة Δ_1 مجسدة على الطبيعة حيث تسمح المسافة BM المعينة من المخطط بتجسيد النقطة B ومن ثم يمكن تجسيد النقطة A ، وذلك بالقياس المباشر لمسافة مقدارها $t_1 = 47.21 \text{ m}$ على الطبيعة ، اعتباراً من النقطة B وفي نفس اتجاه الاستقامة Δ_1

ولتجسيد النقطتين D و C ، يتم تركيز جهاز تيودوليت فوق النقطة A والتسديد باتجاه الاستقامة Δ_1 ، ثم تدوير الجهاز وفق عقارب الساعة بمقدار الزاوية θ_1 ، أي $29.5167gr$. تقاس مسافة أفقية بواسطة الشريط مقدارها t_1 ، وتغرس النقطة C ولغرس النقطة D ، تقاس مسافة قدرها $t_2 = 70.82 m$ ، اعتباراً من النقطة D المغروسة وفي نفس اتجاه المحور الضوئي ، ولغرس النقطة E نهاية المنحني المتعاكس تقاس المسافة الأفقية t_2 اعتباراً من النقطة C وباتجاه الاستقامة Δ_2 . للتحقق من صحة تجسيد النقاط الرئيسية A و C و D و E . يجب أن تكون الزاوية المحصورة بين اتجاه الاستقامة Δ_1 والاتجاه BE مساوية القيمة $\theta/2$ ، وأن تقع النقاط B و C و E على نفس الاستقامة ، والمسافة BC مساوية طول الوتر الأعظمي للقوس الدائري الأول ، والمسافة CE مساوية طول الوتر الأعظمي للقوس الدائري الثاني .

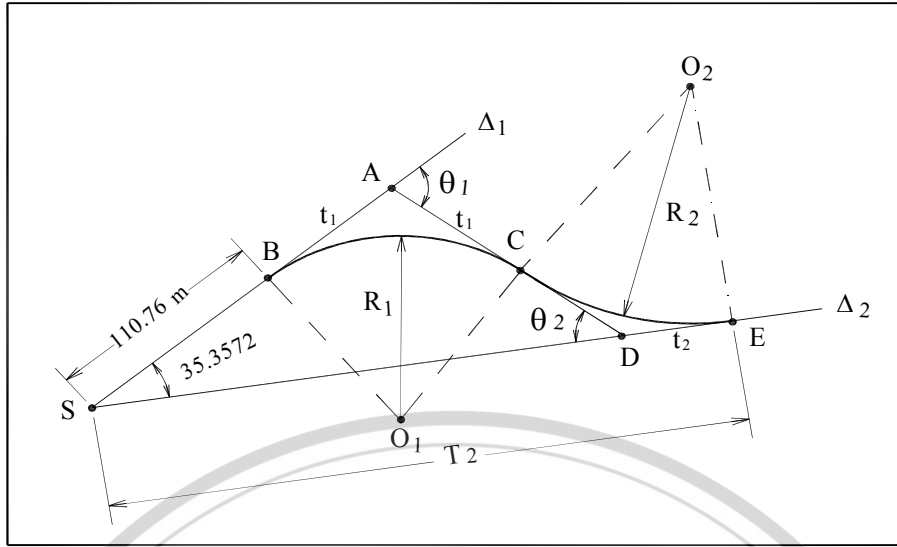
لغرس نقاط من المنحني الدائري المتعاكس ، يمكن اعتباره مؤلفاً من منحنيين دائريين بسيطين ، تحسب وتغرس نقاط كل منهما بشكل مستقل عن الآخر . باعتبار أن طريقة الغرس غير محددة ضمن نص المسألة فيمكن غرس هذه النقاط بإحدى الطرق المشروحة في الفقرة (2.4) وذلك بعد حساب عناصر غرس هذه النقاط بشكل يناسب الطريقة التي يتم اختيارها .

مسألة (3)

لدينا الاستقامتان Δ_1 و Δ_2 متقاطعتان في الذروة S . يراد وصلهما بمنحن دائري متعاكس مؤلف من قوسين دائريين ، نصف قطر القوس الأول $R_1 = 100 m$ ، ونصف قطر القوس الثاني $R_2 = 150 m$ ، وزاوية تقاطعهما $\theta = 35.3572gr$ وطول المماس الأول $T_1 = 110.76 m$. الشكل (3.12) .

المطلوب :

1. حساب كل من الزاويتين θ_1 و θ_2 .
2. حساب طول المماس الثاني T_2 .
3. حساب طول كل من المماسين t_1 و t_2 .



الشكل (3.12)

الحل :

من العلاقة :

$$T_1 \sin \theta = R_1 (\cos \theta - \cos \theta_2) + R_2 (1 - \cos \theta_2)$$

يمكن أن نكتب :

$$\cos \theta_2 = \frac{R_2 + R_1 \cos \theta - T_1 \sin \theta}{R_1 + R_2}$$

وبعد التعويض عن قيمة R_1 و R_2 و T_1 و θ نجد إن :

$$\theta_2 = 50.0744 \text{ gr}$$

ومن الشكل رقم (3.12) نجد إن :

$$\theta_1 = \theta + \theta_2 = 35.3572 + 50.0744 = 85.4316 \text{ gr}$$

ومن العلاقة التالية :

$$T_2 \sin \theta = R_2 (\cos \theta - \cos \theta_1) + R_1 (1 - \cos \theta_1)$$

وبعد تعويض قيم المتحولات التالية : R_1 و R_2 و θ_1 و θ نجد إن :

$$T_2 = 323.84 \text{ m}$$

لحساب طول كل من المماسين t_1 و t_2 نجد إن :

$$t_1 = R_1 \tan \theta_1/2 = 100 \tan 42.7158 = 79.38 \text{ m}$$

وكذلك :

$$t_2 = R_2 \tan \theta_2/2 = 150 \tan 25.0372 = 62.23 \text{ m}$$

وهو المطلوب .



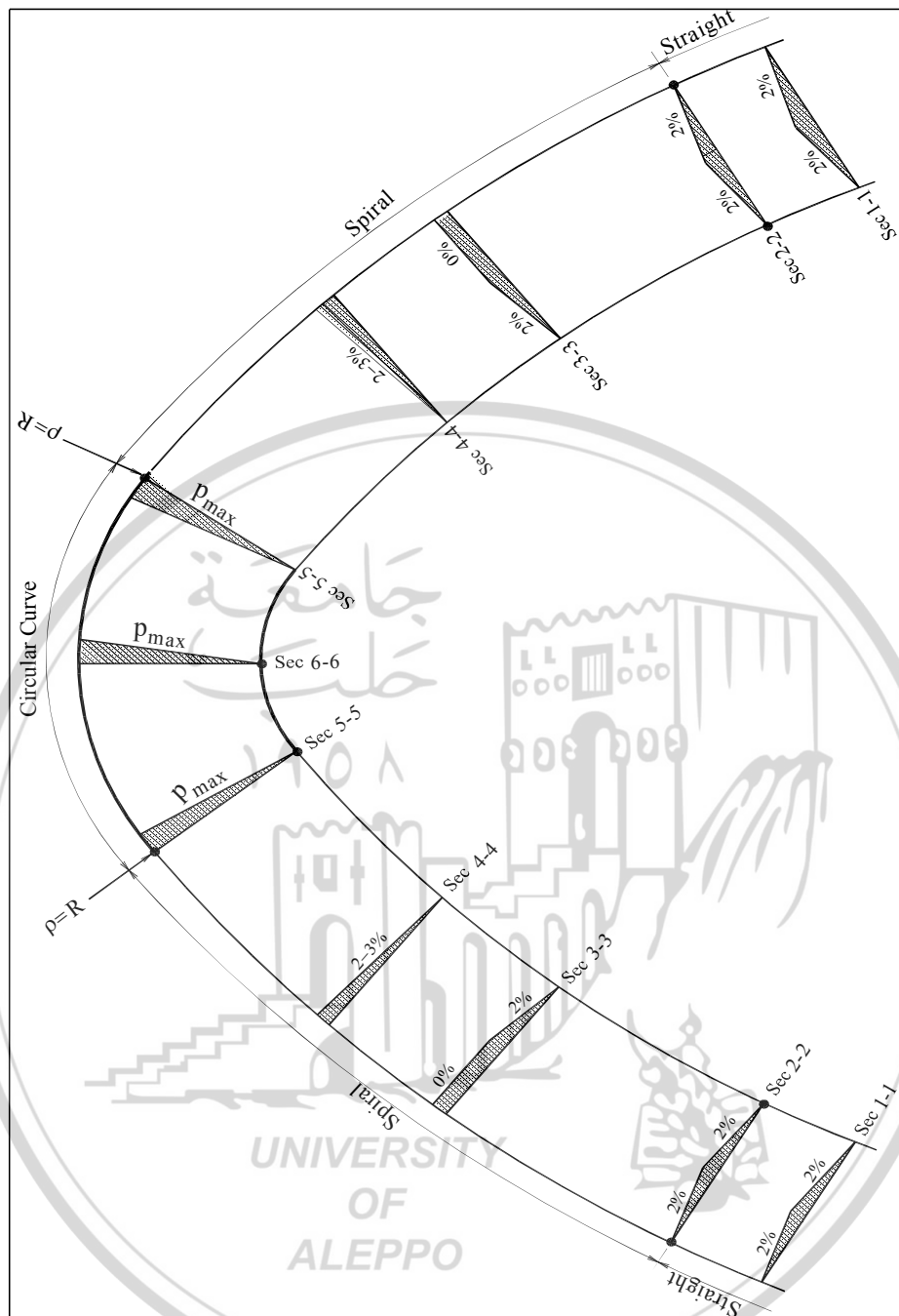


الفصل الرابع

منحنيات الوصل المتدرجة

4.1 المنحنيات الانتقالية

تسوء حركة العربات عند انتقالها من الاستقامات إلى المنعطفات الدائرية ولا سيما إذا كانت أنصاف أقطار هذه المنعطفات صغيرة ، حيث تتولد وبشكل مفاجئ قوة جانبية تدعى بالقوة النابذة . تعمل هذه القوة على إبعاد العربة عن مسارها الصحيح ، الأمر الذي يقلل من توازنها وقد يعرضها إلى خطر الانقلاب . للتخفيف من التأثير السلبي لهذه القوة في العربة ولكي لا تظهر بصورة مفاجئة ينصح بوضع منحنيات وصل متدرجة مابين الاستقامات ذوات أنصاف الأقطار اللانهائية (∞) ، والمنحنيات الدائرية ذوات أنصاف الأقطار الصغيرة والثابتة (R) مستفيدين بذلك من خصائص منحنيات الوصل المتدرجة التي يكون فيها نصف قطر الانحناء متغيراً ، حيث يبدأ من اللانهاية (∞) عند نقطة تماس هذا المنحني مع الاستقامة (نقطة بداية منحني الوصل المتدرج) ، ويتناقص نصف قطر الانحناء تدريجياً حتى يصل إلى قيمة نصف قطر القوس الدائري الذي يتألف منه المنحني الدائري البسيط ، وذلك عند نقطة تماسه معه (نهاية منحني الوصل) . كما تسمح منحنيات الوصل المتدرجة بالانتقال التدريجي من مقاطع عرضية ذات ميل عرضانية ثنائية ثابتة ومنتظمة باتجاه الجانبين في الأجزاء المستقيمة ، إلى مقاطع عرضية ذات ميل عرضاني أحادي باتجاه المركز وثابت على طول المنحني الدائري الغاية من هذا الميل ، مقاومة تأثير القوة النابذة في العربة ، كما في الشكل رقم (4-1) الذي يبين حالة الوصل .



الشكل (4-1)

توجد أنواع كثيرة من منحنيات الوصل المتدرجة ، من أهمها :

- الكلوتويد .
- ليمينسكات برنولي .
- القطع المكافئ المكعبي .

4.2 التعريف الهندسي والديناميكي للكلوتويد

يعتبر الكلوتويد من أفضل منحنيات الوصل المتدرجة ، ذلك لأنه يحقق ميزتين مهمتين أولهما هندسية ، وهي أنه في كل نقطة من نقاطه يكون حاصل جداء نصف قطر الانحناء ρ عند هذه النقطة بطول القوس S الذي يفصلها عن بداية الكلوتويد O ثابتاً . حيث O مبدأ قياس الأقواس أي إن :

$$\rho.S = C \text{ (Const)} \quad (4.1)$$

ونصف قطر الانحناء يتناقص بصورة مستمرة ، اعتباراً من اللانهاية نقطة انعطاف الكلوتويد O ، وحتى يصل إلى قيمة ثابتة $\rho = R$. أما الميزة الثانية التي يحققها الكلوتويد فهي ميزة حركية مهمة . يمكن استنتاجها من الشكل رقم (4-2) . لنعتبر مركبة كتلتها M تتحرك بسرعة V على مسار مستقيم وأفقي تخضع هذه المركبة إلى تأثير القوة النابذة عند دخولها المنحني ، وتكون قيمتها عند كل نقطة من المنحني :

$$F = \frac{M v^2}{\rho} \quad (4.2)$$

حيث إن :

v - سرعة المركبة في المنعطف وتساوي 80% من السرعة التصميمية V

المسموح بها .

ρ - نصف قطر الانحناء عند تلك النقطة .

من العلاقة (4.2) ، نلاحظ بأن القوة النابذة تتناسب طردياً مع كتلة العربة M ومع سرعتها في المنعطف v ، وتتناسب عكساً مع قيمة نصف قطر الانحناء ρ .

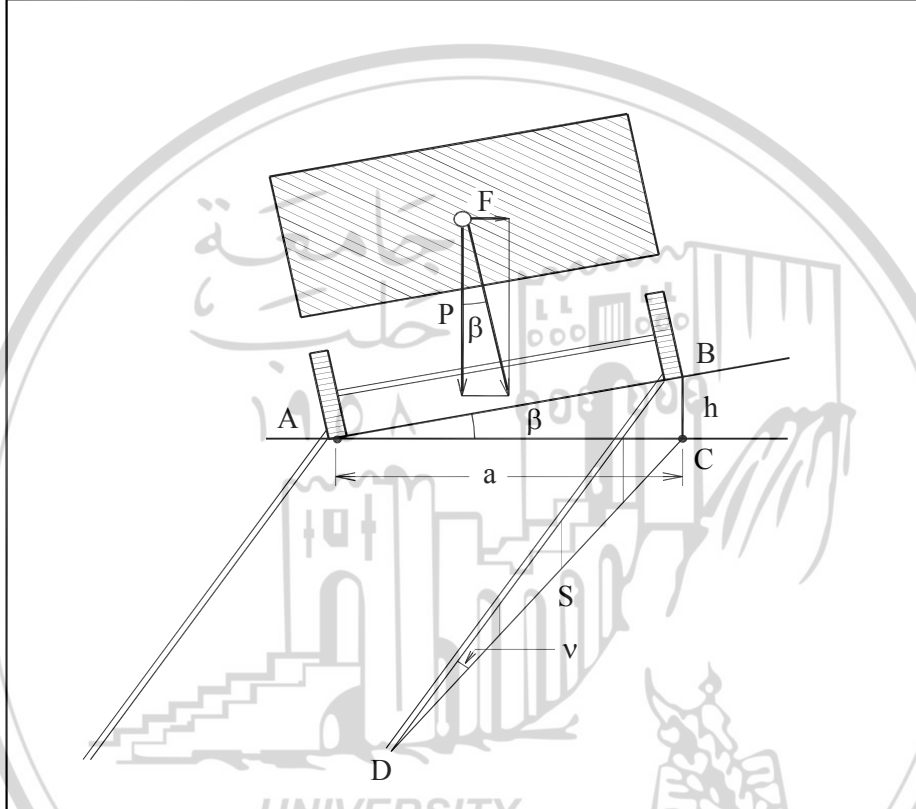
نعوّض في العلاقة (4.2) قيمة الكتلة $M = P/g$ فنجد إن :

$$F = \frac{P}{g} \cdot \frac{v^2}{\rho} \quad (4.3)$$

حيث إن :

P - وزن العربة .

g - تسارع الجاذبية الأرضية m / Sec^2



الشكل (4-2) .

وكذلك من الشكل (4-2) يمكن كتابة :

$$h = S \cdot \tan v = S I \quad (4.4)$$

حيث إن :

v - زاوية التعلية التي تغطي الطرف الخارجي للطريق . أو الميل الطولي

للمنحني المتدرج .

S - المسافة المنحنية اعتباراً من بداية المنحني ، وحتى النقطة ذات

الانحناء ρ .

I - الميل الطولي للمنحني المتدرج ($I = 0.001 - 0.002$) الناتج عن زيادة

تعلية الحافة الخارجية للطريق . وكذلك يمكن كتابة :

$$h = a \operatorname{tg} \beta = a \frac{F}{P} \quad (4.5)$$

حيث إن :

a - المسافة بين محوري الدولابين ، وتقدر بالمتري .

نعوض العلاقة (4.3) في العلاقة (4.5) ، فنحصل على :

$$h = \frac{av^2}{\rho \cdot g} \quad (4.6)$$

بمساواة العلاقتين (3.4) و (3.6) نجد إن :

$$SI = \frac{av^2}{\rho \cdot g} \quad (4.7)$$

ومنه :

$$\rho = \frac{av^2}{SIg} \quad (4.8)$$

ولكن :

$$\frac{av^2}{Ig} = C = \text{Const} \quad (4.9)$$

نعوض في العلاقة (4.8) فنجد إن :

$$\rho = \frac{C}{S} \quad (4.10)$$

ومنه :

$$\rho \cdot S = C = (\text{Const}) \quad (4.11)$$

نلاحظ أن العلاقة (4.11) هي نفس العلاقة (4.1). مما يؤكد أن الكلوتويد يحقق الميزتين الهندسية والحركية في آن واحد . ونلاحظ أيضاً من العلاقة (4.10) أن نصف قطر انحناء المنحني الانتقالي ρ ، يتناقص بازدياد طول هذا المنحني ، وعند نقطة تماسه مع القوس الدائرية تصبح قيمته مساوية إلى نصف قطر الدائرة R ، وكذلك يصبح الطول الكلي للمنحني الانتقالي مساوياً L في هذه الحالة الخاصة ، تكتب العلاقة (4.1) بالشكل التالي :

$$R \cdot L = C \quad (4.12)$$

نستبدل الرمز C في العلاقة (4.12) ، بالرمز A^2 لتتسجم هذه الرموز مع الرموز المعتمدة في أغلب المراجع المختصة . وبعد تعميم هذه العلاقة تصبح كالتالي :

$$R \cdot S = A^2 \quad (4.13)$$

حيث إن :

A - وسيط الكلوتويد .

يتراوح عادة طول المنحني الانتقالي L ، من 20 m وحتى 100 m ، ويتعلق بصنف الطريق ، وقيمة نصف قطر المنحني الدائري R .

4.2.1 المعادلات الوسيطة للكلوتويد

لتكن لدينا النقطة P تقع على المنحني المتدرج وعلى مسافة أفقية S اعتباراً من بدايته O ، حيث نصف قطر الانحناء عند هذه النقطة هو R ، والزاوية τ هي الزاوية التي يصنعها المماس للمنحني عند تلك النقطة مع المماس لنفس المنحني ولكن عند بدايته O . وهي تساوي الزاوية التي يصنعها نصف قطر الانحناء مع العمود على المماس عند النقطة P .

إنّ تغيراً جزئياً لـ S مقداره ds ، يقابله تغير جزئي في الزاوية المركزية τ مقداره $d\tau$ وبحسب الشكل رقم (4-3) يمكن كتابة :

$$ds = R d\tau \quad (4.14)$$

بإدخال قيمة R من العلاقة (4.13) نجد إن :

$$ds = \frac{A^2}{S} d\tau$$

ومنه :

$$d\tau = \frac{S}{A^2} ds$$

نكامل الطرفين :

$$\int_0^\tau d\tau = \int_0^s \frac{S}{A^2} ds$$

وبعد إجراء التكامل نجد :

$$\tau = \frac{S^2}{2A^2} + \tau_0$$

حيث إن :

τ_0 - ثابت التكامل ، يمكن تحديده من الشروط الابتدائية أي : من أجل $S = 0$ يكون لدينا $\tau = 0$ ، وبالتالي فإن $\tau_0 = 0$. فتأخذ العلاقة السابقة الشكل النهائي التالي :

$$\tau = \frac{S^2}{2A^2} \quad (4.15)$$

بإدخال قيمة ثابت الكلوتويد A^2 من العلاقة (4.13) ، فتصبح العلاقة (4.15) كالتالي :

$$\tau = \frac{S}{2R} \quad (4.16)$$

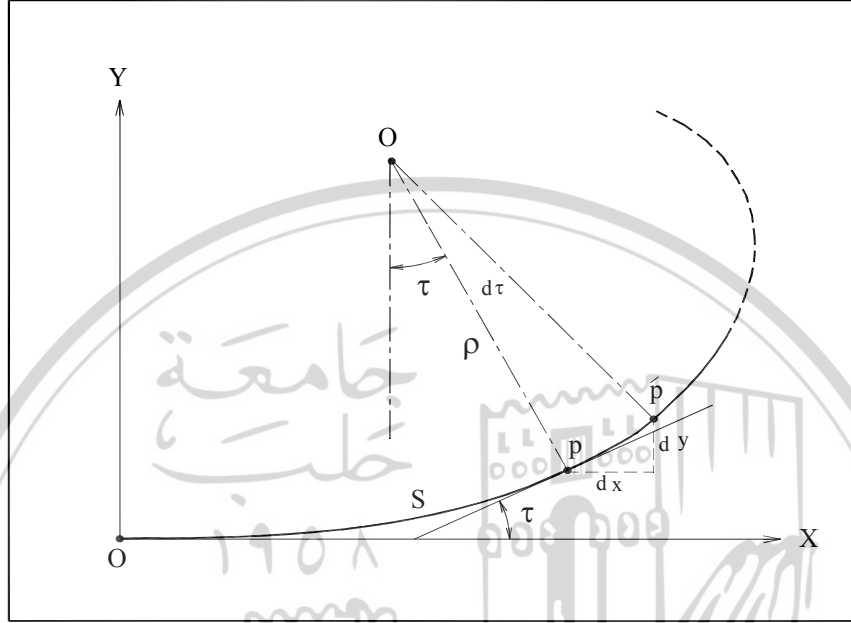
لنعتبر الشكل (4-3) منسوباً إلى جملة إحداثيات متعامدة مبدؤها O نقطة انعطاف الكلوتويد ، والمحور X مماس للكلوتويد عند النقطة O والمحور Y عمودي عليه ، ومتجهه بحسب الشكل .

بإسقاط التغير الجزئي ds على المحورين الإحداثيين نجد إن :

$$\left. \begin{aligned} dx &= ds \cos \tau \\ dy &= ds \sin \tau \end{aligned} \right\} \quad (4.17)$$

بنشر التابع $\cos \tau$ ، بحسب منشور تايلور وماك لوران نحصل على :

$$\begin{aligned}
f(x) &= \cos \tau & f(0) &= \cos(0) = 1 \\
f'(x) &= -\sin \tau & f'(0) &= -\sin(0) = 0 \\
f''(x) &= -\cos \tau & f''(0) &= -\cos(0) = -1 \\
f'''(x) &= \sin \tau & f'''(0) &= \sin(0) = 0
\end{aligned}$$



الشكل (4-3)

وبالمثل نشر التابع $\sin \tau$:

$$\begin{aligned}
f(x) &= \sin \tau & f(0) &= \sin(0) = 0 \\
f'(x) &= \cos \tau & f'(0) &= \cos(0) = 1 \\
f''(x) &= -\sin \tau & f''(0) &= -\sin(0) = 0 \\
f'''(x) &= -\cos \tau & f'''(0) &= -\cos(0) = -1
\end{aligned}$$

لإيجاد قيمة التابعين $\sin \tau$ و $\cos \tau$ ، نعوض في العلاقة العامة $f(x)$ لمنشور

تايلور ، وذلك كما يلي:

$$f(x) = f(x_0) + \frac{f'(x_0)}{1!} (x - x_0) + \frac{f''(x_0)}{2!} (x - x_0)^2 + \dots + \frac{f^n(x_0)}{n!} (x - x_0)^n$$

وبحسب ماك لوران فإن $x_0 = 0$ ، وبالتالي نستطيع بسهولة كتابة :

$$\left. \begin{aligned} \cos \tau &= 1 - \frac{\tau^2}{2!} + \frac{\tau^4}{4!} - \frac{\tau^6}{6!} + \dots \\ \sin \tau &= \tau - \frac{\tau^3}{3!} + \frac{\tau^5}{5!} - \frac{\tau^7}{7!} + \dots \end{aligned} \right\} \quad (4.18)$$

نعوّض في العلاقة (4.17) قيمة التابعين $\cos \tau$ و $\sin \tau$ ، فنجد :

$$\left. \begin{aligned} dx &= (1 - \frac{\tau^2}{2!} + \frac{\tau^4}{4!} - \frac{\tau^6}{6!} + \dots) ds \\ dy &= (\tau - \frac{\tau^3}{3!} + \frac{\tau^5}{5!} - \frac{\tau^7}{7!} + \dots) ds \end{aligned} \right\} \quad (4.19)$$

بتعويض قيمة τ في العلاقة (4.19) بقيمتها من العلاقة (4.15) ، نحصل على

$$\left. \begin{aligned} dx &= [1 - \frac{1}{2!}(\frac{S^2}{2A^2})^2 + \frac{1}{4!}(\frac{S^2}{2A^2})^4 - \dots] ds \\ dy &= [\frac{S^2}{2A^2} - \frac{1}{3!}(\frac{S^2}{2A^2})^3 + \frac{1}{5!}(\frac{S^2}{2A^2})^5 - \dots] ds \end{aligned} \right\} \quad (4.20)$$

نكامل بين O و S ، ونجري سلسلة من العمليات الحسابية لتبسيط هذه العلاقات فنحصل على المعادلات النهائية التالية :

$$\left. \begin{aligned} X &= A[\frac{S}{A} - \frac{1}{40}(\frac{S}{A})^5 + \frac{1}{3456}(\frac{S}{A})^9 - \dots] \\ Y &= A[\frac{1}{6}(\frac{S}{A})^3 - \frac{1}{336}(\frac{S}{A})^7 + \dots] \end{aligned} \right\} \quad (4.21)$$

تسمح هاتان العلاقتان بحساب إحداثيات أي نقطة تقع على منحنى الوصل المتدرج ، وذلك بعد معرفة مقدار مسافتها المنحنية التي تفصلها عن مبدأ الإحداثيات O . أما إذا كان المطلوب حساب إحداثيات نقطة تماس (تلاقي) منحنى الوصل المتدرج مع القوس الدائري ، فيكفي استبدال المتحول S في العلاقتين (4.2) ، بالطول الكلي L للكلوتويد .

4.2.2 الحالة العامة لوصل استقامتين

لتكن لدينا استقامتان Δ_1 و Δ_2 متقاطعتان في الذروة S ، ومجسدتان على الطبيعة وقد قيست زاوية تقاطعهما θ بشكل مباشر . لوصل هاتين الاستقامتين نفكر أولاً باختيار منحني دائري بسيط يكون فيه نصف القطر كبيراً $R \geq 1000$ m ذلك لأننا لا نحتاج إلى وضع منحني انتقالي في مثل هذه الحالة بين الاستقامة والقوس الدائري ، لأن القوة النابذة لن يكون لها تأثير ملموس في العربة أو في الركاب . كما أن اختيار منحنيات طويلة وذات أنصاف أقطار كبيرة من شأنه الإقلال من الطول الكلي لمسار الطريق وهذه ميزة أخرى . كما لا يحتاج المهندس المصمم إلى إجراء عمليات حسابية طويلة ، حيث تؤول المسألة إلى تصميم وتجسيد منحني دائري بسيط وفق الطرق المشروحة في الفصلين الثاني والثالث . أما إذا كانت الشروط الطبوغرافية والمكانية لا تسمح بذلك ، فلا بد من اللجوء إلى تصميم منحنيات دائرية بسيطة ، أطوال أنصاف أقطارها تتعلق بصنف الطريق ، على أن لاتقل عن الحدود المذكورة في الجدول رقم (1-2) ومن ثم توصل الاستقامتان Δ_1 و Δ_2 بكلوتويدين متناظرين بالنسبة إلى القوس الدائري إن نقطة تماس الاستقامة مع الكلوتويدي هي نقطة انعطاف لهذا الكلوتويدي ، هذا ويمكن أن يكون للكلوتويدين اللذين يصلان طرفي القوس الدائري بالاستقامتين طولان مختلفان ، إلا أن الحالة العامة هي أن لهما نفس الطول وأنهما متناظران بالنسبة للمنصف الداخلي للزاوية θ أنظر الشكل رقم (4-4) وبالتالي سيكون لهما نفس الوسيط A .

هناك عدد من الحالات الخاصة التي يصادفها المهندس عند تصميم منحنيات الوصل المتدرجة . سنبحث في المهم منها ويترك الباقي للاستنتاج . يتألف الشكل الهندسي الناتج ، وبحسب الشكل رقم (4-4) ، من العناصر الأساسية التالية :

- المماسان $SB_1 = SE_1$ للكلوتويدين ($T_1 = T_2$) .
- المماسان $S_1B_1 = S_1E_1$ للقوس الدائري عند النقطتين B_1 ، E_1 علماً بأن ($t_1 = t_2$) .

لحساب قيم العناصر الأساسية وتجسيدها على الطبيعة ، أي تجسيد نقطة التماس الأولى B_1 ، ونقطة التماس الثانية E_1 ، للكلوتويدات مع الاستقامتين Δ_1 و Δ_2 وتجسيد نقطة التماس الأولى B_1 ، ونقطة التماس الثانية E_1 للكلوتويدات مع القوس الدائرية ، وتجسيد الذروة S_1 ، نقطة تقاطع المماسين S_1B_1 و S_1E_1 وتجسيد المماسين S_1B_1 و S_1E_1 للقوس الدائرية عند النقطتين B_1 و E_1 . على المهندس القيام بسلسلة من العمليات الحسابية لتعيين قيم هذه العناصر أولاً ، ومن ثم تعيين عناصر الغرس الضرورية لتجسيد المسار وهي :

1- حساب وسيط الكلوتويد A :

يتم حساب وسيط الكلوتويد بتطبيق العلاقة (4.9) أو باستخدام إحدى العلاقتين التاليتين:

$$A = 1.543 \sqrt{0.018 v^3 - 23.33 v} \quad (4.22)$$

عندما يكون للطريق ميل عرضاني .

أو :

$$A = 0.207 \sqrt{v^3} \quad (4.23)$$

عندما لا يكون للطريق ميل عرضاني .

حيث إن :

v - في العلاقتين السابقتين ، السرعة في المنعطف مقدرة بـ km / hr .

في حالات خاصة ، يمكن حساب وسيط الكلوتويد بتطبيق العلاقة (4.13) عند النقطة B_1 ، حيث يكون لدينا نصف قطر الانحناء $R \equiv Rc$. وطول المنحني اعتباراً من بدايته O ، وحتى نقطة تماسه مع القوس الدائري $S = L$ ومنه :

$$Rc.L = A^2 \quad (4.24)$$

تستخدم هذه العلاقة في الحالة العامة لحساب طول الكلوتويد ، وذلك بعد معرفة وسيطه A ونصف قطر القوس الدائري Rc ، ويتم عادةً تدوير الطول المحسوب للمنحني المتدرج إلى أقرب $10 m$ بالزيادة .

2- حساب زاوية التماس τ_c ، التي يصنعها المماس عند النقطة B_1 مع الاستقامة Δ_1 ، وذلك بتطبيق العلاقة (4.16) عند النقطة B_1 :

$$\tau_c = \frac{L}{2Rc} \quad (4.25)$$

يمكن استخدام هذه العلاقة لحساب الزاوية التي يصنعها المماس الثاني عند النقطة E_1 مع الاستقامة Δ_2 .

3- حساب إحداثيات نقطة التماس الكلوتوييد الأول B_1 ، مع القوس الدائري Xb_1, Yb_1 ، وذلك من المعادلتين الوسيطيتين للكلوتوييد (4.21) المطبقتين عند النقطة B_1 . وبسبب التناظر يكون لدينا $(Xb_1 = Xe_1)$ و $(Yb_1 = Ye_1)$ بالقيمة فقط .

4- حساب الزاوية المركزية θ_1 للقوس الدائري :
باعتبار أن النقطة O هي مركز الدائرة وأن OB_2 عمودي على Δ_1 ، وأن OE_2 عمودي على Δ_2 سيكون لدينا بالتعامد :

$$B_2\hat{O}E_2 = \theta \quad ; \quad B_2\hat{O}B_1 = \tau_c \quad , \quad E_2\hat{O}E_1 = \tau_c$$

والزاوية المركزية θ_1 المحددة للقوس الدائري B_1E_1 تساوي :

$$\theta_1 = \theta - 2\tau_c \quad (4.26)$$

ويكون طول المماسين للقوس الدائري B_1S_1 و E_1S_1 :

$$B_1S_1 = E_1S_1 = R \cdot \tan \frac{\theta_1}{2} \quad (4.27)$$

أما طول القوس الدائرية B_1E_1 فيمكن حسابه بالعلاقة التالية :

$$B_1E_1 = R_c \frac{\theta_1}{\rho} \quad (4.28)$$

5- حساب طول المماسين $T_1 = T_2 = SB = SE$:

لدينا من الشكل رقم (3-4) :

$$T_1 = SB = BB_4 + B_4B_5 + B_5S \quad (4.29)$$

إلا أن :

$$BB_4 = X_{b1}$$

$$B_4B_5 = B_1S_1 \cos \tau_c$$

$$B_5S = B_5S_1 \tan \theta/2 = (Y_{b1} + B_1S_1 \sin \tau_c) \tan \theta/2$$

نعوض قيم BB_4 و B_4B_5 و B_5S في العلاقة (4.29) فنجد إن :

$$T_1 = X_{b1} + B_1S_1 \cos \tau_c + (Y_{b1} + B_1S_1 \sin \tau_c) \tan \theta/2 \quad (4.30)$$

6- حساب المسافة الخارجية EX :

$$EX = SS_1 + S_1D \quad (4.31)$$

إلا أن :

$$SS_1 = B_5S / \sin \theta/2$$

$$S_1D = (\sqrt{B_1S_1^2 + R^2}) - R$$

نعوض بالعلاقة (4.31) فنحصل على :

$$EX = SS_1 + S_1D = \frac{B_5S}{\sin \theta/2} + (\sqrt{B_1S_1^2 + R^2}) - R \quad (4.32)$$

7- حساب سهم القوس M :

$$M = DK = R(1 - \cos \frac{\theta_1}{2}) \quad (4.33)$$

8- حساب طول الوتر الأعظمي $\overline{B_1E_1}$ للقوس الدائري :

$$\overline{B_1E_1} = 2R \sin \left(\theta_1 / 2 \right) \quad (4.34)$$

9- حساب إحداثيات الذروة S_1 :

بملاحظة الشكل رقم (4-4) نجد ماييلي :

$$X_{S_1} = BB_4 + B_4B_5 \quad (4.35)$$

إلا أن :

$$BB_4 = X_{b1}; B_4B_5 = B_1S_1 \cos \tau_c$$

نعوّض في (4.35) فنحصل على :

$$X_{S_1} = X_{b_1} + B_1 S_1 \cos \tau_c \quad (4.36)$$

وكذلك بسهولة نجد إن :

$$Y_{S_1} = Y_{b_1} + B_1 S_1 \sin \tau_c \quad (4.37)$$

4.2.3 تجسيد الكلوتويد على الطبيعة

إن تجسيد الكلوتويد على الطبيعة يعني غرس عدد من النقاط التي تقع على هذا الكلوتويد بتباعد متساو وثابت قدره δ . حيث يقوم المهندس بتجسيد النقاط الأساسية للكلوتويد وللقوس الدائري على الطبيعة ، استناداً لعناصر الغرس المحسوبة في البند (4.2.2) التي تسمح بغرس النقاط B و B_3 و B_4 و B_5 على الاستقامة Δ_1 . وذلك بالقياس المباشر للعناصر المحسوبة اعتباراً من الذروة S ثم يقوم بغرس النقطة B_1 ، نقطة تماس الكلوتويد الأول مع القوس الدائري بالاستعانة بالموشور الضوئي ، ورفع عمود طوله Y_{b_1} المحسوب بالعلاقة (4.21) عند النقطة B_4 ، ويجسد الذروة S_1 برفع عمود أيضاً طوله Y_{S_1} ومحسوب بالعلاقة (4.37) عند النقطة B_5 وللتحقق من صحة التجسيد يجب أن تقع النقاط الثلاث S_1 و B_1 و B_3 على استقامة واحدة . يمكن حساب زاوية التماس بين الاستقامة Δ_1 والوتر BB_1 وذلك بالعلاقة التالية :

$$\text{tga} = \frac{Y_{b_1}}{X_{b_1}} \quad (4.38)$$

وكذلك يمكن حساب طول الوتر $\overline{BB_1}$ بالعلاقة التالية :

$$\overline{BB_1} = \sqrt{X_{b_1}^2 + Y_{b_1}^2} \quad (4.39)$$

يمكن استخدام هاتين القيمتين للتحقق من تجسيد النقطة B_1 . ويمكن استخدامهما أيضاً لغرس النقطة B_1 بواسطة تيودوليت وشواخص وشريط للقياس أو بواسطة قانس المسافات الإلكتروني وعاكس .

4.2.3.1 تجسيد الكلوتويد بواسطة مثلث ضوئي

بعد تجسيد النقاط والعناصر الأساسية للكلوتويد الأول والقوس الدائري يمكن تجسيد عدد من النقاط على الكلوتويد الأول باستخدام المثلث الضوئي والشواخص وشريط القياس ، واعتماد الاستقامة Δ_1 كقاعدة لعمليات الغرس . بدايةً تحسب عناصر غرس النقاط وهي : (X_i, Y_i) ، وذلك كما يلي :

لغرس النقطة P_1 ندخل قيمة δ بدلاً من S في المعادلتين الوسيطيتين (4.21) فنحصل على فاصلة وترتيب النقطة $P_1 (X_{P_1}, Y_{P_1})$ ، ولغرس النقطة P_2 ندخل قيمة 2δ بدلاً من S في المعادلتين الوسيطيتين (4.21) فنحصل على فاصلة وترتيب النقطة $P_2 (X_{P_2}, Y_{P_2})$ ، ولغرس النقطة P_i ندخل قيمة $i\delta$ بدلاً من S في المعادلتين الوسيطيتين للكلوتويد ، وهكذا بالنسبة لحساب عناصر بقية النقاط على أن تبقى المتراجحة التالية محققة :

$$i\delta \leq L \quad (4.40)$$

حيث إن :

L - طول الكلوتويد .

تجسد هذه النقاط بنفس الأسلوب المشروح في البند (2.4.2) ، ويتم تجسيد النقاط والعناصر الأساسية للكلوتويد الثاني ونقاط تقع على هذا الكلوتويد بتباعد ثابت قدره δ .

4.2.3.2 تجسيد الكلوتويد بواسطة جهاز تيودوليت

يتم تعيين عناصر الغرس لعدد من النقاط الواقعة على الكلوتويد الأول وذلك بحساب الإحداثيات القطبية (α_i, D_i) لها بنفس الطريقة المشروحة في الفقرة (4.2.3) ، حيث تحسب زوايا الانزياح لكل نقطة منها بواسطة العلاقة التالية

$$\tan \alpha_i = \frac{Y_i}{X_i} \quad (4.41)$$

ومنه :

$$\alpha_i = \arctan \frac{Y_i}{X_i} \quad (4.42)$$

تجسّد هذه النقاط على الطبيعة باستخدام تيودوليت وشريط وشواخص بنفس الطريقة المشروحة في البند (2.4.3).

4.2.3.3 تجسيد الكلوتويد باستخدام قانس المسافات الإلكترونية

عند استخدام جهاز المحطة الشاملة لغرس نقاط الكلوتويد الأول فإن عناصر الغرس لهذه النقاط هي :

- زوايا الانزياح α_i المحسوبة بالعلاقة (4.42) .
- أطوال الأوتار D_i التي تقاس بين نقطة التماس B ، (موقع الجهاز) والنقطة المجهولة من الكلوتويد ، ويتم حساب هذه المسافة بالعلاقة التالية :

$$D_i = \sqrt{X_i^2 + Y_i^2} \quad (4-43)$$

حيث إن :

X_i ، Y_i - الإحداثيات العمودية للنقطة P_i المحسوبة من المعادلات الوسيطة للكلوتويد . ولغرس هذه النقاط على الكلوتويد ، نتبع نفس الخطوات المشروحة في البند (2.4.5) .

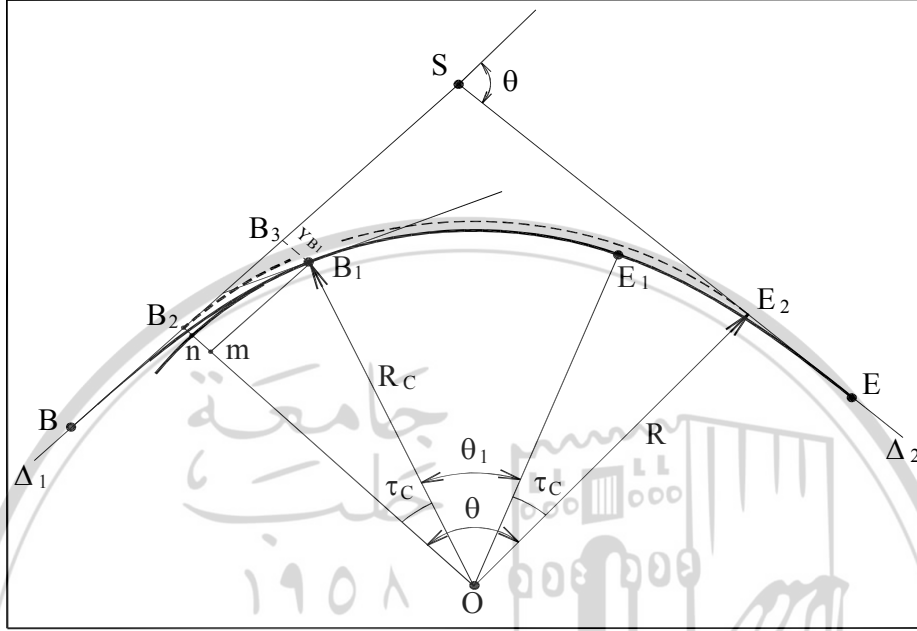
أما بالنسبة إلى تجسيد المنحني الدائري البسيط فيمكن اتباع الطرق المشروحة في البنود (2.4.1) ، (2.4.2) ، (2.4.3) ، (2.4.4) ، (2.4.5) ، وذلك بحسب توفر الأجهزة وبحسب الظروف المكانية .

4.2.4 الإزاحة في القوس الدائري والطول التقريبي للتماس

بفرض أن الاستقامتين Δ_1 و Δ_2 متقاطعتان في الذروة S ، وأن زاوية تقاطعهما هي θ ، وموصلتان بكلوتويد أول يمس الاستقامة الأولى وقوس دائري نصف قطره Rc ومركزه O ، وكلوتويد ثاني يمس الاستقامة الثانية Δ_2 ومناظر للكلوتويد الأول ، كما في الشكل رقم (4-5).

يراد استبدال طريقة وصل هاتين الاستقامتين بحيث يتم وصلهما بقوس دائري

نصف قطره R ، يمس الاستقامتين في النقطتين B_2 و E_2 مباشرة على أن يكون للقسين نفس المركز O . المطلوب إيجاد العلاقة بين نصفي قطري القوسين R و R_C .



الشكل (4-5)

نلاحظ أن نقطة التماس B قد أزيحت إلى النقطة B_2 ، وبالتالي فإن طول المماس T_1 قد تغير من SB إلى SB_2 وأصبح التماس بين الاستقامة Δ_1 والقوس الدائري مباشرة بدلاً من التماس بين الاستقامة Δ_1 والكلوتويد الأول ، ولإيجاد العلاقة بين R و R_C نقوم بمايلي :

نمدد القوس الدائري ذا نصف القطر R_C حتى تقاطعه في n مع العمود النازل من مركز الدائرة O على الاستقامة Δ_1 ، ومن الشكل نجد :

$$R = R_C + nB_2 \quad (4.44)$$

ولكن :

$$nB_2 = MB_2 - nM$$

إلا أن :

$$MB_2 = Y_{b1} ; \quad nM = Rc - Rc \cos \tau_c$$

ومنه :

$$nB_2 = Y_{b1} - Rc (1 - \cos \tau_c)$$

نعوض في العلاقة (3.44) فنحصل على :

$$R = Rc + [Y_{b1} - Rc (\cos \tau_c)] \quad (4.45)$$

لنرمز للقيمة :

$$m = Y_{b1} - Rc (1 - \cos \tau_c) \quad (4.46)$$

يطلق على القيمة m مقدار انزياح القوس الدائري ويمكن حسابه كما يلي:

لدينا من المعادلتين الوسيطيتين (4.21) :

$$Y_{b1} = \frac{L^3}{6A^2} \quad (4.47)$$

وذلك بإهمال اللامتناهيات في الصغر من الدرجة السابعة .

من العلاقة (4.24) لدينا :

$$Rc L = A^2$$

ومن العلاقة (4.25) لدينا :

$$\tau_c = \frac{L}{2Rc}$$

نعوض في (4.47) فنجد :

$$Y_{b1} = \frac{L^2}{6Rc} \quad (4.48)$$

نعوض قيمة Y_{b1} و τ_c في العلاقة (4.46) فيكون لدينا :

$$m = \frac{L^2}{6Rc} - Rc [1 - \cos(\frac{L}{2Rc})] \quad (4.49)$$

يمكن نشر التابع $\cos = (L / 2Rc)$ كما وجدنا سابقاً ، وتعويض قيمته

بالعلاقة رقم (4.49) ، وإجراء بعض الإصلاحات نحصل على قيمة m :

$$m = \frac{L^2}{24Rc} \quad (4.50)$$

وبالتالي فإن العلاقة المطلوب إيجادها بين نصف قطري القوسين R و Rc هي :

$$R = Rc + m$$

$$R = Rc + \frac{L^2}{24Rc} \quad (4.51)$$

لحساب القيمة التقريبية للمماس SB ، يمكننا من خلال ملاحظة الشكل رقم (4-5) كتابة :

$$SB = SB_2 + BB_2 \quad (4.52)$$

ونلاحظ أيضاً ومن الشكل رقم (4-5) أن القوسين $WB_1 = nB_1$ متساويان إلا أن :

$$nB_1 = Rc \cdot \tau_c$$

نعوض قيمة τ_c من العلاقة (4.25) فيكون لدينا :

$$nB_1 = \frac{L}{2}$$

وكذلك لدينا :

$$WB_1 = \frac{L}{2}$$

ولما كان الطول الكلي للكلوتويد هو L فإن :

$$BW = \frac{L}{2}$$

يمكننا بتقريب مقبول أن نكتب :

$$BB_2 = BW = \frac{L}{2} \quad (4.53)$$

وكذلك يمكن حساب SB_2 :

$$SB_2 = (Rc + m) \tan \frac{\theta}{2} \quad (4.54)$$

نعوض العلاقاتين (3.53) و(3.54) بالعلاقة (3.52) فنجد :

$$SB = \frac{L}{2} + (Rc + m) \tan \frac{\theta}{2} \quad (4.55)$$

4.3 مسائل محلولة

مسألة (1)

لتكن لدينا الاستقامتان Δ_1 و Δ_2 ، تنتميان إلى طريق من الدرجة الأولى متقاطعتان في الذروة S ، وزاوية تقاطعهما $\theta = 15.623 \text{ gr}$. يراد وصلهما بكلوتويد ودائرة نصف قطرها 600 m ، انظر الشكل (4-4) ، ثم كلوتويد مناظر للأول بالنسبة إلى الدائرة ، والمطلوب :

- حساب وسيط الكلوتويد .
- حساب طول كل من الكلوتويدين .
- حساب عناصر غرس نقطتي تماس الكلوتويدين مع الدائرة .
- حساب طول القوس الدائري ، وطول المماسين للدائرة عند نقطة تلاقي كل من الكلوتويدين مع الدائرة .
- حساب طول المماسين للكلوتويدين المتناظرين .
- حساب الإزاحة للقوس الدائري وحساب القيمة التقريبية لمماسي الكلوتويدين
- حساب عناصر غرس نقاط على الكلوتويد الأول بتباعد متساو ($\delta = 10 \text{ m}$) وذلك باستخدام قانس المسافات الإلكتروني .

الحل :

1- لحساب وسيط الكلوتويد A نحتاج بالإضافة إلى معرفة السرعة التصميمية للمركبات ، معلومات عن هذه المركبات وأبعادها والميل الطولي الإضافي الذي يجب أن يعطى للحافة الخارجية للطريق على طول المنحني الانتقالي ، وباعتبار أنها غير متوفرة لذلك نستطيع حساب هذا الوسيط بتطبيق إحدى العلاقاتين التقريبيتين (4.22) أو (4.23) وكذلك نحن لا نعلم من خلال نص المسألة ، إن كان للطريق ميل عرضاني أو لا. لهذا سنأخذ الحالة الأسوأ ونطبق العلاقة (4.23) التي تعطي

طولاً أكبر للمنحني الانتقالي من الطول الذي تعطيه العلاقة (4.22) :

$$A = 0.207 \sqrt{v^3}$$

حيث أن السرعة km/hr . وباعتبار أن الاستقامتين تنتميان إلى طريق من الدرجة الأولى فإن السرعة التصميمية المسموحة هي $120 km/hr$ ، وأن السرعة المسموحة للعربات في المنعطفات هي $96 Km/hr = 0.8 \times 120 = v$ فيكون لدينا :

$$A = 0.207 \sqrt{96^3} = 194.7$$

نأخذ $A = 200$

2- بتطبيق العلاقة (4.13) نجد إن :

$$R.S = A^2$$

ولكن عند نقطة تماس الكلوتويد مع الدائرة يكون لدينا :

$R = R_c$ و $S = L$ ، فتأخذ العلاقة (4.13) الشكل التالي :

$$R_c.L = A^2$$

ومنه :

$$L = A^2 / R_c = (200)^2 / 600 = 66.66$$

نأخذ قيمة $L = 70 m$

3- تحسب عناصر غرس نقطتي التماس الأولى والثانية للكلوتويد مع الدائرة بتطبيق المعادلتين الوسيطيتين (4-21)، وذلك بعد تعويض S في المعادلتين بالطول الكلي للكلوتويد $L = 70 m$ فنجد إن :

$$X_{b1} = 70 m ; Y_{b1} = 1.43 m .$$

أما عناصر غرس نقطة التماس الثانية للكلوتويد مع الدائرة فهي نفس القيم منسوبة إلى جملة إحداثيات محلية مبدؤها نقطة التماس الثانية E والمحور X ينطبق على الاستقامة الثانية Δ_2 ، ومتجه نحو الذروة S ، والمحور Y عمودي عليه ومتجه نحو المنحني .

4- لدينا من العلاقة (4.25) :

$$\tau_c = \rho \frac{L}{2 Rc} = 63.662 \times \frac{70}{1200} = 3.714 \text{ gr}.$$

ومنه :

$$\theta_1 = \theta - 2\tau_c = 15.623 - 2 \times 3.714 = 8.195 \text{ gr}$$

طول القوس الدائري :

$$B_1 E_1 = Rc . \theta_1 (\text{rad})$$

$$B_1 E_1 = 600 \times \frac{8.195}{63.662} = 77.24 \text{ m}$$

طول المماسين للدائرة :

$$B_1 S_1 = E_1 S_1 = Rc . \tan \frac{\theta_1}{2}$$

$$B_1 S_1 = E_1 S_1 = 600 . \tan \frac{8.195}{2} = 38.67 \text{ m}$$

5- لدينا من العلاقة التالية :

$$SB = X_{b1} + B_1 S_1 \cos \tau_c + (Y_{b1} + B_1 S_1 \sin \tau_c) \tan \frac{\theta_1}{2}$$

وبالتعويض في الطرف الثاني نحصل على :

$$T_1 = SB = SE = 108.78 \text{ m}.$$

6- لحساب قيمة انزياح القوس الدائرية m ، نطبق العلاقة (4.50) فنجد إن :

$$m = L^2 / 24 Rc$$

$$m = (70)^2 / 24 \times 600 = 0.34 \text{ m}$$

القيمة التقريبية لطول المماس SB هي :

$$SB = (Rc + m) \tan \frac{\theta}{2} + L / 2$$

$$SB = (600 + 0.34) \tan 7.8115 + 35 = 109.04 \text{ m}$$

وهي قيمة مقبولة مقارنة مع القيمة الصحيحة لطول المماس ويمكن الاستفادة منها

بمتربة تحقيق غير مباشر للحسابات .

7- باعتبار أن الغرس سيتم باستخدام قانس المسافات الإلكتروني ، فإن عناصر هذا الغرس ستكون زوايا الانزياح α_i الكائنة بين اتجاه الاستقامة الأولى واتجاه النقاط المجهولة :

$$\alpha_i = \arctg \frac{Y_i}{X_i}$$

وأيضاً المسافة D_i بين نقطة التماس الأولى B ، والنقاط المجهولة الأخرى P_i :

الجدول (4-1)

S_i	S_i/A (m)	X_i (m)	Y_i (m)	α_i (gr)	D_i (m)
1	2	3	4	5	6
10	0.05	10	0.005	0.0318	10
20	0.1	20	0.03	0.0955	20
30	0.15	30	0.11	0.2334	30
40	0.20	40	0.27	0.4297	40
50	0.25	50	0.52	0.6621	50
60	0.30	59.98	0.90	0.9552	60
70	0.35	69.97	1.43	1.3009	70

$$D_i = \sqrt{X_i^2 + Y_i^2}$$

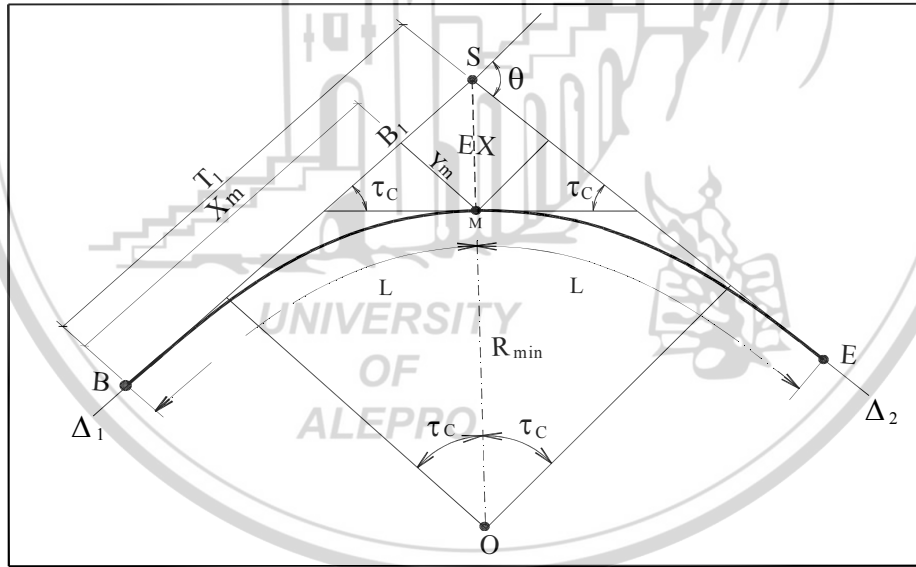
أي إن عناصر غرس النقاط المجهولة هي الإحداثيات القطبية لها (α_i, D_i) منسوبة إلى جملة الإحداثيات المحلية التي مبدؤها B .

نلاحظ من الجدول رقم (4-1) أنه لا توجد فروقات بين أطوال الأقواس الجزئية وأوتارها ، وبالتالي يمكننا استخدام المسافات القوسية S_i عند تجسيد نقاط الكلوتويد بواسطة قانس المسافات الإلكتروني ، وإن وجدت هذه الفروقات فإنها غالباً ما تكون صغيرة بحيث يمكن إهمالها .

مسألة (2)

لدينا الاستقامتان Δ_1 و Δ_2 متقاطعتان في الذروة S . زاوية تقاطعهما هي θ 22.158 gr = الشكل رقم (4-6). يراد وصلهما بكلوتويدين متناظرين بالنسبة إلى منصف الزاوية الداخلي في S . على أن يكون نصف قطر الانحناء الأصغري $R_{\min} = 600\text{ m}$ عند نقطة تماس الكلوتويدين أحدهما بالآخر ، والمطلوب حساب :

- طول كل من الكلوتويدين ووسيطهم .
- عناصر غرس النقطة M ، أي (X_m, Y_m) .
- طول المماسين ES و BS .
- طول المسافة الخارجية EX .



الشكل (4-6)

الحل :

تعتبر حالة الوصل هذه من الحالات الخاصة ، حيث يتم وصل استقامتين متقاطعتين بواسطة كلوتويدين متناظرين متماسين ، دون الحاجة إلى وضع قوس دائري بينهما ، يتم الانتقال من الكلوتويد الأول إلى الكلوتويد الثاني مباشرة .

1- لدينا من الشكل (4-6) :

$$\tau_c = \frac{\theta}{2} = \frac{22.158}{2} = 11.079 \text{ gr}$$

وبتطبيق العلاقة (4.25) نجد إن :

$$L = 2 \tau_c \cdot R_{\min} = \frac{2 \times 11.079}{63.662} \times 600 = 208.83 \text{ m}$$

أما وسيط كل من الكلوتويدين A فيساوي :

$$A = \sqrt{R \cdot L}$$

$$A = \sqrt{600 \times 208.83} = 353.97.$$

2- من المعادلتين الوسيطيتين للكلوتويد وبإبدال S بـ L نجد :

$$X_m = 208.20 \text{ m} ; \quad Y_m = 12.11 \text{ m}$$

3- لحساب طول المماسين نحسب أولاً B_1S حيث لدينا من الشكل (3-6) :

$$B_1S = Y_m \cdot \tan \tau_c = Y_m \cdot \tan \frac{\theta}{2}$$

$$B_1S = 12.11 \tan 11.079 = 2.13 \text{ m}$$

ويكون لدينا :

$$BS = BB_1 + SB_1$$

وإن :

$$BB_1 = X_m = 208.20$$

ومنه :

$$BS = 208.20 + 2.13 = 210.33 \text{ m} .$$

4- من الشكل (4-6)، يمكن حساب المسافة الخارجية EX :

$$B_1S = EX = \frac{Y_m}{\cos \tau_c}$$

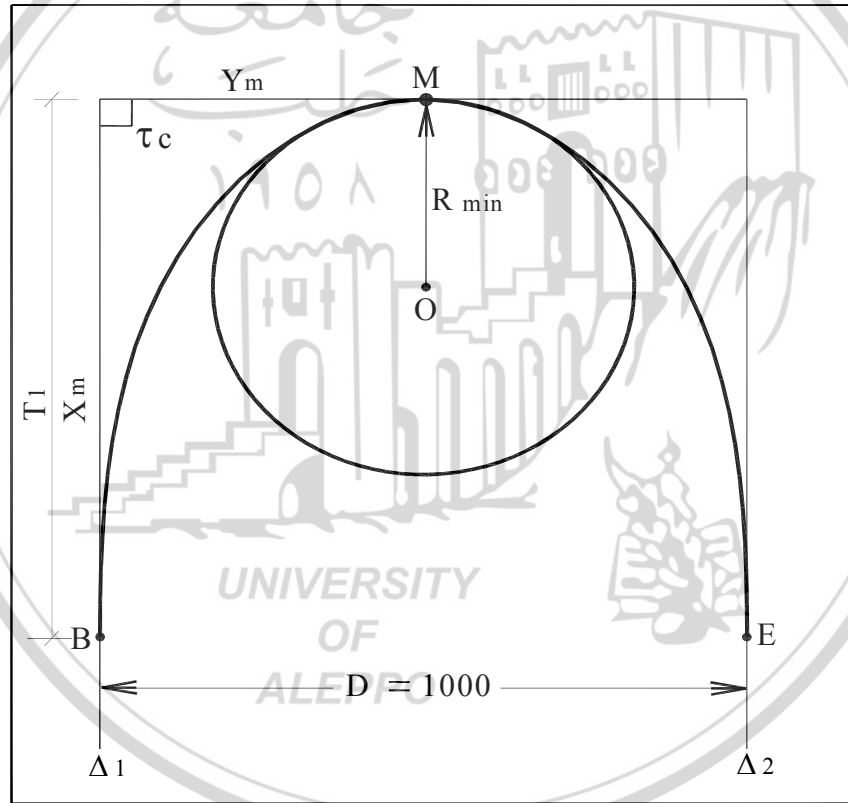
$$EX = \frac{12.11}{\cos 11.079} = 12.30m$$

مسألة (3) :

لدينا الاستقامتان المتوازيتان Δ_1 و Δ_2 . المسافة بينهما $D = 1000 \text{ m}$

الشكل (7- 4) يراد وصلهما بكلوتويدين متناظرين ، والمطلوب حساب :

- طول كل من الكلوتويدين .
- عناصر غرس نقطة تماس الكلوتويدين M .



الشكل (4-7)

الحل :

تعتبر حالة وصل هاتين الاستقامتين المتوازيتين ، من الحالات الخاصة أيضاً .
إذ نعتبر أن المسافة D بين هاتين الاستقامتين من المعطيات المعلومة .

1- من المعادلة الوسيطة الثانية للكلوتويد نكتب :

$$Y_m = \frac{L^3}{6A^2} - \frac{L^7}{336A^6} \quad (4-56)$$

ولكن من الشكل (4-7) نجد إن :

$$Y_m = D/2 = \frac{1000}{2} = 500.00m$$

ولدينا من العلاقة (4.15) :

$$\tau = \frac{S^2}{2A^2}$$

وتصبح في النقطة C ، بعد إبدال S بـ L ، و τ بـ τ_c :

$$L^2 = 2\tau_c \cdot A^2$$

ولكن من الشكل نجد إن :

$$\tau_c = \pi/2$$

فتصبح قيمة L مايلي :

$$L = A\sqrt{\pi}$$

نعوّض قيمة L :

$$Y_m = \frac{A}{6} \pi^{3/2} - \frac{A}{336} \pi^{7/2}$$

أو :

$$Y_m = 0.764 A$$

ومنه :

$$A = 0.654 D = 0.654 \times 1000 = 654$$

فيكون طول الكلوتويد L :

$$L = 654 \sqrt{3.14} = 1158.89 m.$$

2- عناصر غرس النقطة M نقطة تماس الكلوتويد هي (X_m, Y_m) ، إلا أن Y_m قد تم حسابها .

يمكن حساب X_m بتطبيق المعادلة الوسيطة الأولى للكلوتويد وذلك بعد أن تم إيجاد طول هذا الكلوتويد L ، وبذلك نحصل على :

$$X_m = 871.93 m$$





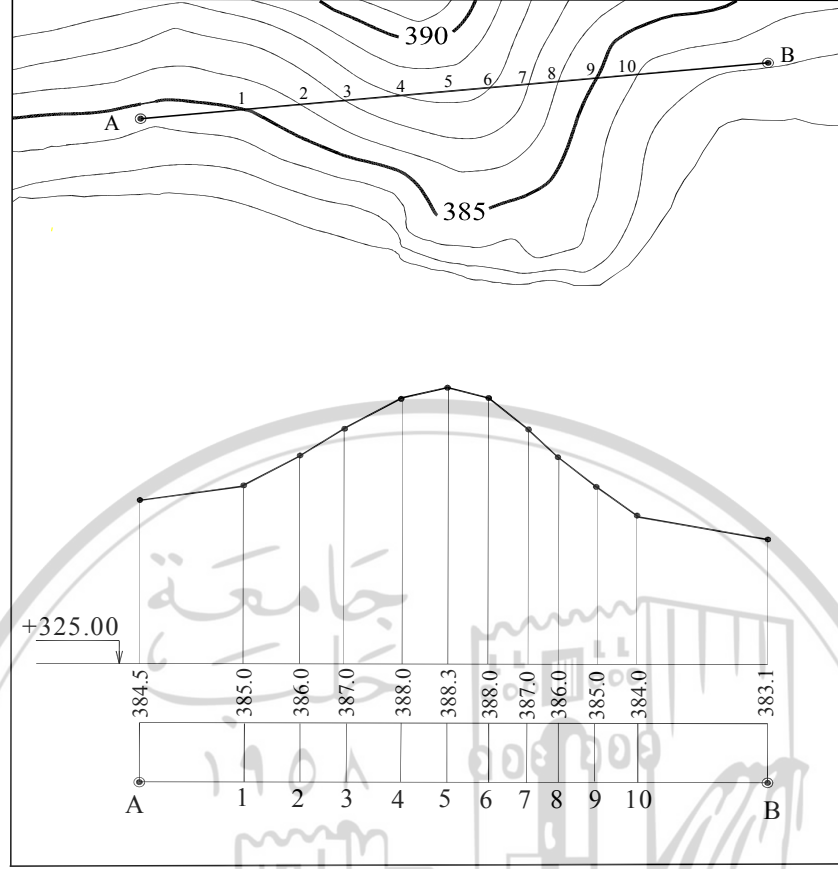
الفصل الخامس

التصميم الشاقولي لخطوط المواصلات

5.1 المقطع الطولي لسطح الأرض الطبيعية

عند تصميم وتنفيذ مشاريع الطرق وما شابهها هندسياً ، يحتاج المهندس دوماً إلى معرفة المقطع الطولي لسطح الأرض الطبيعية وفق محور المشروع الذي تم اختيار مساره في مراحل سابقة ، وتحديد استقاماته وتجسيده بدايته ونهايته وذرواته ومنعطفاته الأفقية على سطح الأرض الطبيعية. من أجل رسم المقطع الطولي لسطح الأرض الطبيعية ، يتم اختيار عدد كافٍ من النقاط التي تقع على المحور وتجسيدها بواسطة أوتاد خشبية متينة . على أن تغرس هذه الأوتاد عند أماكن تغير ميل سطح الأرض الطبيعية ، وبحيث لا تزيد المسافة بين كل وتدين متجاورين عن 50 m في المناطق السهلة ، وعن 20 m في المناطق الجبلية ، أو بحسب دفاتر الشروط المعتمدة من قبل الدوائر المختصة . ترقيم هذه الأوتاد تصاعدياً اعتباراً من الرقم 1 وحتى الرقم الأخير ، بالإضافة إلى وتد البداية S.P ، وتد النهاية F.P كما في الشكل رقم (5-1) . تقاس المسافات الأفقية بين هذه الأوتاد بطريقة القياسات المباشرة ، أو القياسات غير المباشرة ، باستخدام قوائس المسافات الإلكترونية ، أو غيرها من الأجهزة المتوفرة التي تحقق الغرض المطلوب ويمكن اختيار الطريقة الأسرع ، وذلك بحسب طبوغرافية سطح الأرض . كذلك تقاس فروق الارتفاعات بين الأوتاد المتتالية بالتسوية المباشرة أو بالتسوية غير المباشرة ، ومن ثم تحسب مناسيب سطح الأرض الطبيعية عند هذه الأوتاد استناداً إلى مراجع التسوية المتوفرة قرب المسار أو المغروسة في المراحل السابقة .

تسمح لنا هذه القياسات برسم المقطع الطولي لسطح الأرض الطبيعية كما في الشكل رقم (5-2) .



الشكل (5-2)

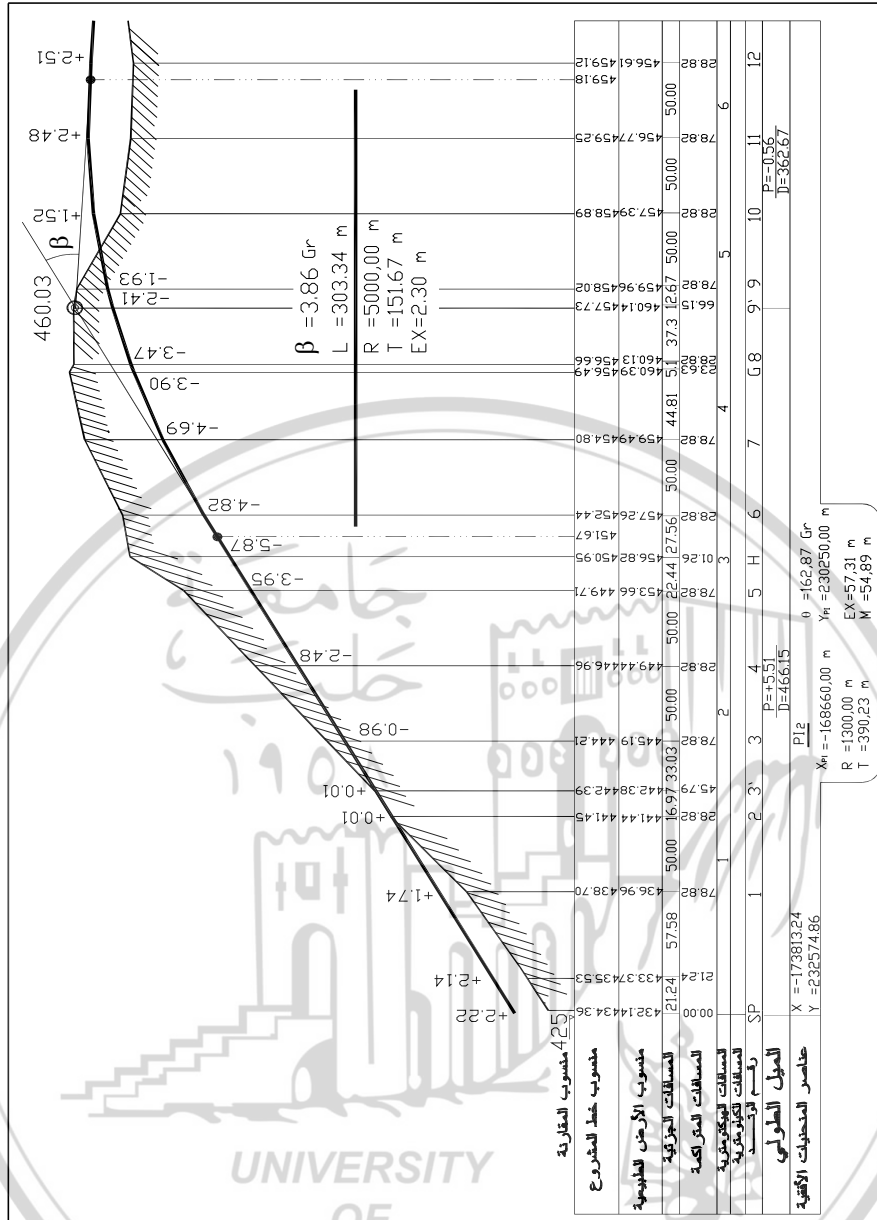
يتم تمثيل المسافات الأفقية بين مختلف نقاط المحور ، على مخطط بمقياس أفقي $1/500$ أو $1/1000$ أو $1/2000$ ، وذلك بحسب طول وأهمية المسار وتمثيل المسافات الشاقولية لهذه النقاط (الارتفاعات) بمقياس شاقولي $1/50$ أو $1/100$ أو $1/200$ ، وذلك اعتباراً من منسوب سطح سوية اعتباري يدعى منسوب المقارنة ، ويتم اختيار ارتفاع سطح السوية هذا ، بحيث تقع جميع نقاط المقطع الطولي لسطح الأرض الطبيعية ، ونقاط خط المشروع فوقه هذا ويجب تحديد مواقع ومنسوبات المنشآت الصناعية ، وتقاطعات الطرق ، والسكك الحديدية والمجاري المائية التي تعترض المسار على المقطع الطولي لسطح الأرض الطبيعية وكذلك منسوبات النقاط الثابتة التي يجب المرور منها أو المرور تحتها أو فوقها .

5.2 تصميم المقطع الطولي لخط المواصلات

بعد إنجاز المقطع الطولي لسطح الأرض الطبيعية وفق محور المشروع وتثبيت مواقع ومنسوبات النقاط الرئيسية الثابتة (جسور - عبارات - تقاطعات مختلفة) يقوم المهندس بتصميم خط المشروع ، حيث تتحكم طبوغرافية المنطقة والنقاط الثابتة الأخرى في تحديد المسار في الاتجاه الرأسي وبالتالي سيكون المقطع الطولي لهذا المسار مجموعة من القطع المستقيمة ذات ميول مختلفة تشكل خطأ منكسراً كما في الشكل رقم (3-5) ، وغالباً ما تكون ميول سطح الأرض الطبيعية أكبر من الميول المسموحة التي يمكن للسيارات أو القطارات أن تقطعها بشكل مريح فيلجأ المصمم في هذه الحالة إلى تخفيف الميل الطولي للطريق بقطع جزء من التربة عند المناطق العالية ودمها في الأماكن المنخفضة ، وتسمى المناطق التي يكون فيها سطح الطريق منخفضاً عن سطح الأرض بمناطق الحفر والمناطق التي يكون فيها سطح الطريق مرتفعاً عن سطح الأرض بمناطق الردم . يسمى الفرق بين منسوب سطح الأرض الطبيعية ومنسوب محور الطريق بالارتفاع الفعال ، حيث يحدد هذا الارتفاع ارتفاع الردميات أو عمق الحفريات . يوضح الشكل رقم (3-5) مقطعاً طوالياً لجزء من محور مشروع .

يتضمن الجدول عدداً من الأسطر التي تحتوي على نتائج القياسات الحقلية والحسابات المكتبية وهي كما يلي :

- 1- السطر الأول : يحتوي على مناسيب خط المشروع عند النقاط المحددة للمقطع الطولي ، وعند النقاط والمواقع المميزة .
- 2- السطر الثاني : يحتوي على منسوبات الأرض الطبيعية عند النقاط المحددة للمقطع الطولي ، وعند النقاط والمواقع المميزة.
- 3- السطر الثالث : يحتوي على المسافات الجزئية بين الأوتاد المغروسة عند نقاط المقطع الطولي .
- 4- السطر الرابع يتألف من المسافات الأفقية بشكل تراكمي ، وذلك اعتباراً من النقطة $S.P$ بداية المشروع .



الشكل (5-3)

5- السطر الخامس يتألف من المسافات الهيكلية التراكمية ، كل 100 m اعتباراً من بداية خط المشروع ، وذلك لتبسيط قراءة المسافات الأفقية على المخطط .

6- السطر السادس : يتألف من المسافات الكيلومترية التراكمية ، اعتباراً من بداية المشروع ، أي كل 1000 m . الغاية منها تبسيط قراءة المسافات الأفقية على المخطط ، وعدم تداخل الأرقام بعضها مع البعض .

7- السطر السابع : يحتوي على أرقام الأوتاد المغروسة ضمن الأرض الطبيعية عند نقاط المقطع الطولي .

8- السطر الثامن : يحتوي على المعلومات الخاصة بالميل الطولية للمشروع أي مقدار هذه الميول واتجاهاتها ، وأطوال المسافات الأفقية عند كل ميل .

9- السطر التاسع : يتضمن معلومات مختصرة عن مواقع المنحنيات الأفقية وقيم عناصرها الأساسية .

إضافة إلى هذه المعلومات ، يمكن أن يتضمن الجدول السابق سطرًا يحتوي على مواصفات التربة في المواقع التي يمر منها المشروع ، وسطرًا آخرًا يحتوي على معلومات وصفية للمزروعات والمنشآت الهندسية والوديان والأنهار التي يجتازها المشروع ، ومن المفيد جداً رسم كروكي لمسطح المشروع ضمن هذا السطر وكذلك ينبغي تثبيت مواقع التقاطعات والعبارات والجسور والأعمال الصناعية الأخرى على المقطع الطولي ، ويمكن أن يتضمن هذا المقطع معلومات إضافية مثل استعمالات الأراضي ، ونوع التربة ، ومعلومات عن المنحنيات الأفقية .

من الأهداف الرئيسية للتخطيط الشاقولي أيضاً ، الدراسة المتوازنة لكميات الأعمال الترابية ، الناتجة عن عمليات الحفر والردم وأن تكون أقل مايمكن وذلك لكي لا يضطر إلى التخلص من المواد الناتجة عن الحفر الزائد بنقلها خارج حدود المنطقة ، والاستغناء عن استخدام مواد للردم من خارج الموقع وبالتالي فإن أفضل مسار لخط المشروع هو ذلك المسار الذي يحاكي سطح الأرض الطبيعية ويعطي التضاريس بعد التصميم شكلاً معمارياً جميلاً ، ولكن وفي نفس الوقت على المصمم أن يأخذ بعين الاعتبار الابتعاد عن التقيد المطلق بتعرجات سطح الأرض الطبيعية ، بهدف الإقلال من كميات الحفر والردم ، فمن غير المرغوب تصميم مسار خط موصلات باستقامات قصيرة وميول مختلفة ، ومن المفضل الإقلال من نقاط تغير الميل لخط المشروع قدر الإمكان ، وخاصة

بالنسبة للطرق الرئيسية ذات السرعات التصميمية العالية وعلى المصمم تجنب تداخل مماسات المنحنيات الشاقولية المقعرة أو المحدبة ، ويفضل أن لا تقل المسافة بين نقطتي التماس للمنحنيين المتجاورين المقعر والمحدب ، عن 40 m وفي أسوأ الحالات يجب أن تؤخذ الأطوال الأصغرية المسموح بها ، كما في الشكل رقم (5-4) لأجزاء الطريق التي تحقق المتراجحة التالية :

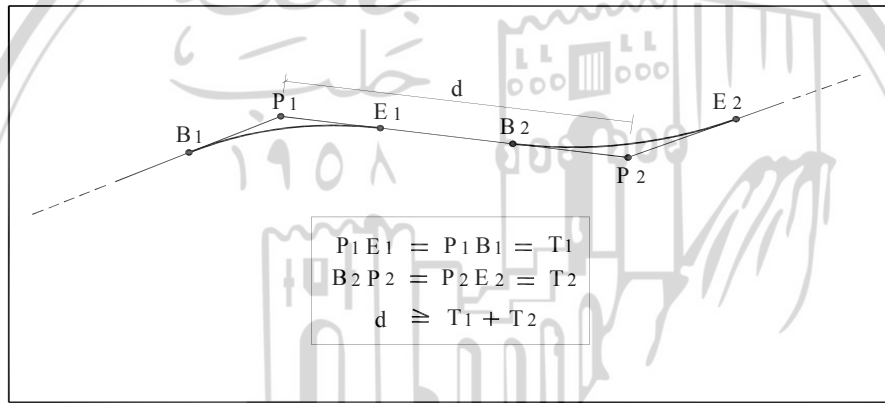
$$d \geq T_1 + T_2 \quad (5.1)$$

حيث إن :

d - المسافة بين ذروتين متتاليتين .

T_1 - طول مماس المنحني الأول .

T_2 - طول مماس المنحني الثاني .



الشكل (5-4)

من أجل تأمين انسيابية لخط المشروع ، يجب أن لا تقل المسافة بين رؤوس المنحنيات الشاقولية المتجاورة المحدبة والمقعرة عن القيم المبينة في الجدول رقم (5-1) ، وذلك وفقاً لصنف الطريق ، كما أنه من غير الاقتصادي تأمين مسافات طويلة ذات ميول ثابتة على حساب زيادة الأعمال الترابية . بالإضافة إلى المعايير المشروحة أعلاه يجب مراعاة الأسس المهمة التالية عند تصميم المقطع الطولي لمحور المشروع :

1- دراسة توافق منسوبات بداية ونهاية خط المشروع مع منسوبات المناطق المجاورة

- 2- دراسة ربط خط المشروع مع الطرق المتقاطعة معه ووضع منسوبات هذه التقاطعات ، وتثبيتها على المقطع الطولي لسطح الأرض الطبيعية .
- 3- دراسة مواقع الأعمال الصناعية (جسور - عبارات ..) ووضع منسوباتها التصميمية .
- 4- دراسة التصريف السطحي لمياه الأمطار وحماية خط المواصلات من المسيلات المائية التي تتقاطع معه .
- 5- دراسة توضع التقاطعات في عدة مستويات مع منسوباتها عند احتمال إنشائها .
- 6- في المناطق المستوية يجب أن يحاكي سطح الطريق سطح الأرض الطبيعية
- الجدول (5-1)

درجة	درجة	درجة	درجة	دولي	صنف الطريق
IV	III	II	I		
6	5	4	3	2	1
125	150	200	250	300	المسافة بين ذروتين متتاليتين (m)

أما خارج المدن ، فيجب رفع الطابق الترابي عن سطح الأرض الطبيعية بما يسمح بالتصريف السطحي لمياه الأمطار ، وتأمين جفاف التربة الموجودة تحت طبقات الرصف ، ولا سيما إذا كانت تربة الموقع غضارية ، إذ يكون صعود الماء بواسطة الشد الشعري كبيراً ، ويزداد الخطر فيما إذا كان منسوب المياه الجوفية في المنطقة مرتفعاً . تسمح هذه الدراسات للمصمم بوضع عدة حلول للخط التصميمي للمشروع ، على أن يأخذ بعين الاعتبار العوامل البيئية والهندسية والجمالية ، ومن ثم إجراء المقارنات بين هذه الحلول واختيار التصميم النهائي من بينها ، الذي يحقق غايات وأهداف المشروع الفنية والاقتصادية .

يُثبت هذا المحور على المخططات ويُرسم بخط سميك بمقدار ضعف سماكة خط الأرض الطبيعية ، كما هو مبين في الشكل رقم (5-3) .

5.3 المنحنيات الشاقولية

بعد تصميم المقطع الطولي لمحور المشروع الذي هو عبارة عن خط منكسر مؤلف من أجزاء مستقيمة متقاطعة وذات ميول مختلفة ، ومواقع تقاطع هذه الاستقامات غالباً ما تكون إما في المواقع المنخفضة أو المرتفعة ، فالمناطق المرتفعة تعوق الرؤية أثناء الحركة والمناطق المنخفضة تؤثر في حركة العربة . فضلاً عن أن مواقع التقعر والتحدب تشكل مناطق ارتجاج للعربات بسبب ظهور القوة النابذة في المستوى الشاقولي التي تؤثر في حركة العربة وتؤدي إلى إزعاج الركاب . من أجل تأمين انسيابية الحركة وتحقيق الرؤية ، يفضل تغليف مناطق تغير الميول بمنحنيات شاقولية ، حيث يمكن تصميم هذه المنحنيات من وجهة نظر هندسية بأي ميل كان ، إلا أن المصمم لا يمكنه قبول ميول كبيرة تعكر الرؤية وتعوق تقدم المركبات في الصعود ، كما أن مساوئ الميول الكبيرة لا تنحصر في الميول الصاعدة فقط ، وإنما في الميول النازلة أيضاً ، وبالتالي فإن هناك حدوداً عظيمة يفضل عدم تجاوزها ، ولا سيما لخطوط المواصلات التي تسير عليها قوافل مختلفة . يبين الجدول رقم (2-5) ، القيم العظمى المسموحة للميول الطولية وذلك بحسب طبوغرافية الأرض والسرعات التصميمية للمركبات . هذا ويمكن زيادة الميول النازلة عن القيم المبينة في الجدول (2-5) بمقدار 1% .

لتأمين التصريف السطحي لمياه الأمطار يجب أن لا تقل الميول الطولية لمختلف درجات الطرق عن القيمة 0.005 ، أما في داخل المدن وفي بعض الحالات الخاصة فيسمح حتى 0.003 ، ويمكن الاعتماد على الميول العرضانية لتأمين التصريف السطحي لمياه الأمطار فيما إذا كان مستحيلاً تحقيق ميل طولي لمحور المشروع في حدوده الدنيا . ولكن على المهندس المصمم البحث دائماً عن التصميم الأمثل .

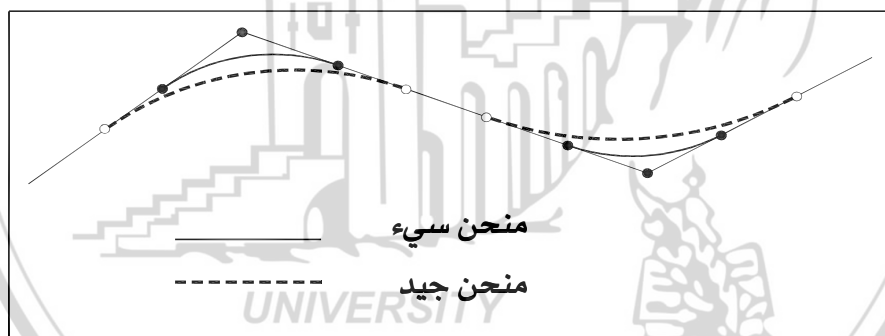
يجب اختيار أطوال المنحنيات الشاقولية المحدبة بحيث لا تقل عن القيم الأصغر التي تسمح بتحقيق الرؤية للتلاقي أو التوقف الآمن ، وذلك لكي لا تشكل مواقع هذه المنحنيات حواجز للرؤية ، وعادة يتم اختيار أطوال المنحنيات الشاقولية بحيث لا تقل عن m 60 ، ولا تزيد عن m 160 الشكل (5-5) ، أو عن المسافة

المسموحة التي تحقق الرؤية للتلاقي أو التوقف الآمن أيهما أكبر ، إذ أن مسافة

الجدول (5-2)

السرعة التصميمية <i>km/hr</i>	الميل الطولية المسموحة %		
	مناطق جبلية	مناطق متعرجة	مناطق سهلة
1	2	3	4
125	-	4	3
100	5	4	3
80	6	4	3
60	7	5	4
40	8	6	5

الرؤية تؤثر تأثيراً مباشراً في سلامة المرور وكذلك في سعة الطريق حيث تقل فرص تجاوز السيارات البطيئة مما يؤدي إلى إقلال سعة الطريق ، وقد يؤدي توفر مسافة رؤية كافية إلى وقوع حوادث مختلفة . لضمان سلامة المركبات لابد من توفر مدى رؤية كافية على جميع أجزاء الطريق في المقطع الطولي ، وفي المسقط الأفقي وهذه المسافة على نوعين :

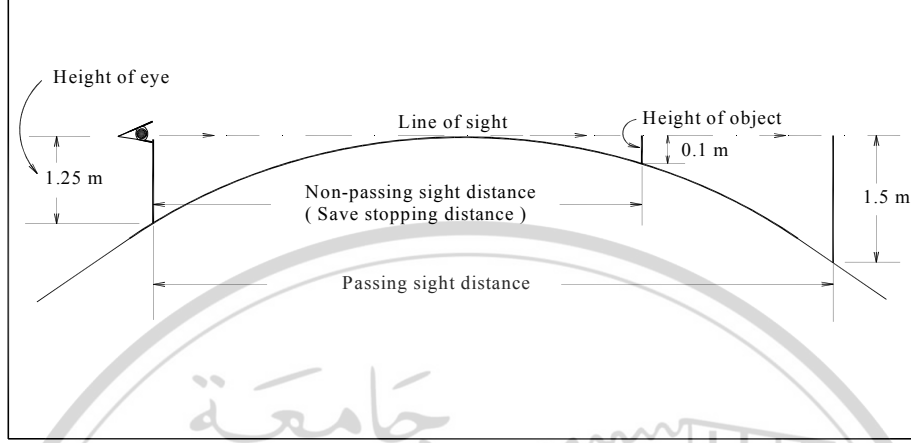


الشكل (5-5)

أولاً - مسافة التوقف الآمن

وهي أقل مسافة تمكن السائق من إيقاف عربته بأمان ، فيما إذا كانت تسير بالسرعة التصميمية المسموحة للطريق ، دون خطر الاصطدام بعائق ثابت

موجود على سطح الطريق ارتفاعه 10 cm ، وذلك بفرض أن ارتفاع عين السائق هي 1.25 m كما في الشكل رقم (5-6). عند حساب مسافة الرؤية للتوقف الآمن نميز ثلاث حالات :



الشكل (5-6)

1- الطريق أفقية :

$$S = \frac{V.t}{3.6} + \frac{V^2}{254f} \quad (5.2)$$

2- الطريق مائلة والعربة صاعدة :

$$S = \frac{V.t}{3.6} + \frac{V^2}{254(f + I\%)} \quad (5.3)$$

3 - الطريق مائلة والعربة نازلة :

$$S = \frac{V.t}{3.6} + \frac{V^2}{254(f - I\%)} \quad (5.4)$$

حيث إن :

V - في العلاقات (5.2) و (5.3) و (5.4) سرعة العربة km / hr .

f - عامل الاحتكاك السطحي للطريق ويأخذ قيمة وسطية 0.5 .

I % - الميل الصاعد أو النازل للطريق .

t - زمن رد الفعل عند السائق ويتراوح بين 1.5 إلى 3 ثانية .

ثانياً - مسافة التلاقي الآمن

في هذه الحالة فإن مسافة الرؤية ، تساوي تقريباً ضعف القيم التي حصلنا عليها في المعادلات (5.2) و (5.3) و (5.4) ، وذلك للحالات الثلاث المذكورة أعلاه يمكن استخدام جميع أنواع المنحنيات لوصل الاستقامات المتقاطعة وغالباً ما نعلم الأقواس الدائرية كمنحنيات وصل شاقولية . يتم اختيار أنصاف أقطارها بحيث تؤمن أطوالاً قوسية تحقق شروط أمان الحركة الجدول رقم (5-3) يبين أطوال أنصاف أقطار المنحنيات الشاقولية النظامية تبعاً للسرعة التصميمية ، وتبعاً لصنف الطريق .

الجدول (5-3)

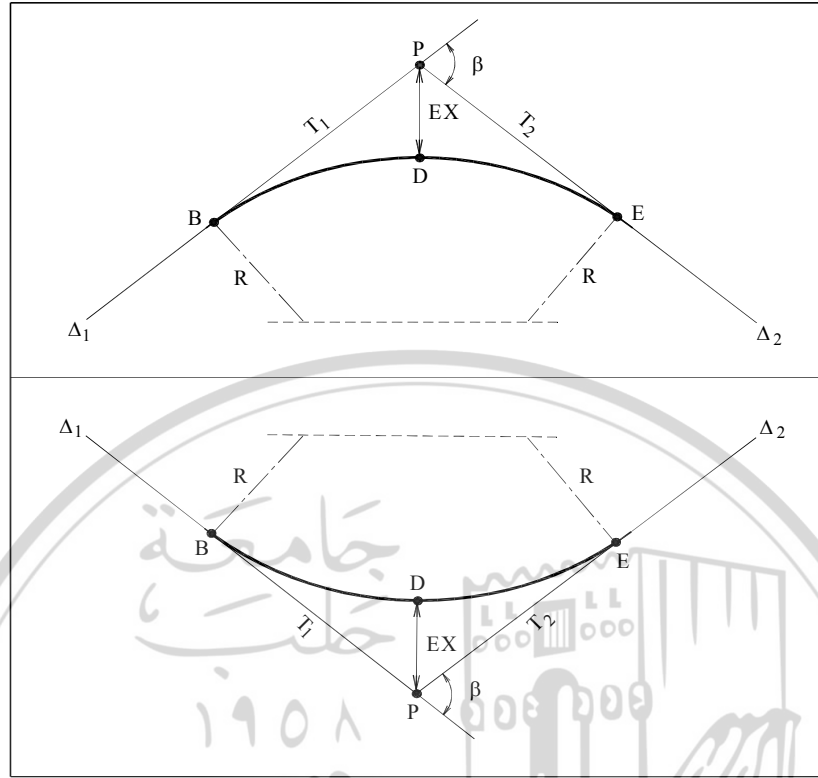
صنف الطريق	السرعة التصميمية km/hr	أنصاف أقطار المنحنيات النظامية (m)	
		مقعرة	محدبة
1	2	3	4
دولي	>120	5000	15000
درجة I	100	3000	10000
درجة II	80	2000	5000
درجة III	60	1500	3000
درجة IV	< 60	1200	2000

من خلال قيم أنصاف الأقطار النظامية للأقواس الدائرية المبينة في الجدول رقم (3-4) ، نلاحظ أنه لا حاجة إلى وضع منحنيات وصل متدرجة بين هذه الأقواس والاستقامات .

5.3.1 عناصر المنحنيات الشاقولية

تتألف المنحنيات الشاقولية ، كما في الشكل رقم (5-7) من العناصر

الأساسية التالية :



الشكل (5-7)

1- نقطة تقاطع الاستقامتين P . (Point of Intersection)

2- زاوية تقاطع الاستقامتين B . (Deflection Angle)

3- نقطة بداية المنحني (تماس أولى) B (Beginning of Curve) .

4- نقطة نهاية المنحني (تماس ثانية) E (End of Curve) .

5- المسافة الخارجية EX (External Distance) .

6- المماسان T_1 و T_2 (The two Tangents) .

7- طول المنحني L (Length of Curve) .

8- نصف القطر R (Radius) .

5.3.2 تصميم المنحنيات الشاقولية

إن تصميم المنحني الشاقولي يعني تعيين جميع عناصره الأساسية ، ومن أهم هذه العناصر نصف القطر R . حيث يقوم المهندس المصمم بتعيينه ، استناداً إلى اعتبارات طرقية من أهمها : تأمين طول كاف للمسافة القوسية التي تحقق شروط الرؤية للتلاقي والتجاوز والتوقف الآمن ، على أن لا تقل قيمة نصف قطر المنحني الشاقولي عن الحد الذي يمكن فيه تطبيق السرعة التصميمية المسموحة للعربات والمبينة في الجدول رقم (5-3) وكذلك استناداً إلى اعتبارات هندسية من خلال تحقيق انسيابية للمسار بحيث يكون مريحاً للعربات وللركاب معاً واعتبارات جمالية لتحقيق التكامل والتناسق والانسجام مع المحيط المجاور . أما زاوية تقاطع الاستقامتين β ، فلا يمكن قياسها على الطبيعة مباشرة كما هو الحال في المنحنيات الأفقية ، وإنما يتم حسابها من خلال معرفة الميل الطولي للاستقامة الأولى ، والميل الطولي للاستقامة الثانية ، حيث توجد عدة حالات لهذه الميول ومن الشكل رقم (5-8) نلاحظ مايلي :

$P\%$ - ميل الاستقامة الأولى وهو موجب عندما تكون الزاوية الشاقولية للاستقامة الأولى فوق الأفق .

$q\%$ - ميل الاستقامة الثانية وهو موجب عندما تكون الزاوية الشاقولية للاستقامة الثانية فوق الأفق .

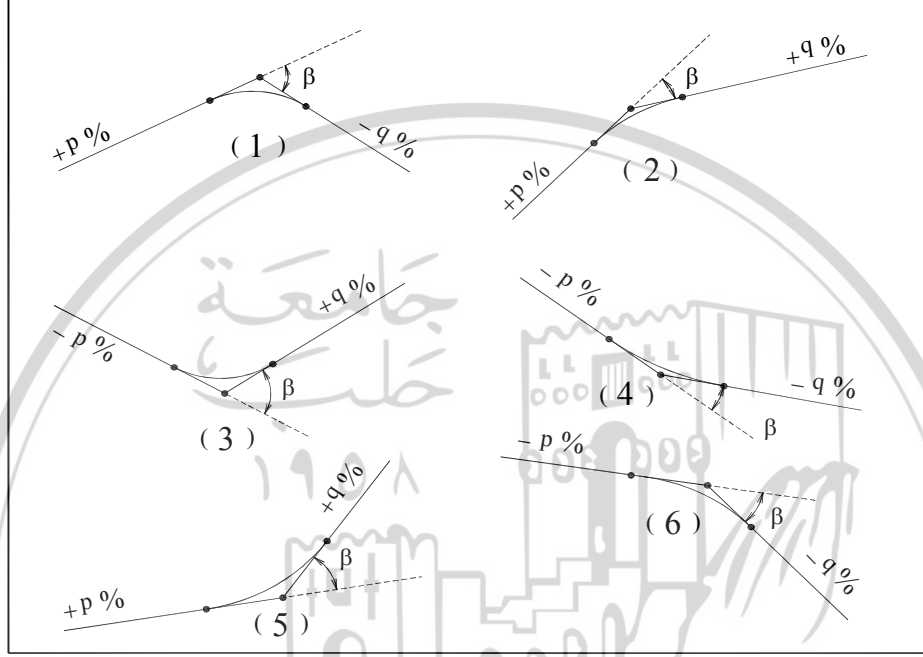
يمكن حساب زاوية تقاطع الاستقامتين β ، من خلال اختيار الحالة المناسبة على الشكل رقم (5-8) . وذلك بتطبيق العلاقة التالية :

$$\beta \text{ (rad)} = |p - q| \% \quad (5.5)$$

تؤخذ الميول بإشاراتها الجبرية ، وتعتبر العلاقة (5.5) مقبولة عندما لا يتجاوز ميل كل من الاستقامتين المتقاطعتين القيمة 4% ، أما إذا كان الميلان كبيرين فيجب تطبيق العلاقات التالية :

$$\tan \beta_1 = \frac{H_p - H_{p_1}}{L_p - L_{p_1}} \quad (5.6)$$

$$\tan \beta_2 = \frac{H_{p_2} - H_p}{L_{p_2} - L_p} \quad (5.7)$$



الشكل (5-8)

حيث إن:

β_1 , β_2 - زاويتا ميل الاستقامتين الأولى P_1P والثانية PP_2 على التوالي وهي معلومة .

H_{p_1} , H_p , H_{p_2} - مناسيب الذروات P_1 و P و P_2 على التوالي ، وهي معلومة.

L_{p_1} , L_p , L_{p_2} - المسافات الأفقية لهذه الذروات اعتباراً من P_1 ، وهي معلومة.

تسمح العلاقتان (5.6) و (5.7) بحساب الزاويتين β_1 و β_2 ، حيث تعتبر

الزاوية β_i موجبة ، إذا كان $\tan \beta_i > 0$ وسالبة إذا كان $\tan \beta_i < 0$.

يتم حساب زاوية تقاطع هاتين الاستقامتين بالعلاقة التالية :

$$\beta = |\beta_1 - \beta_2| \quad (5.8)$$

غالباً ما تكون ميول استقامات محور المشروع مثبتة على المخططات عندها

يمكن حساب زاوية ميل الاستقامتين P_1P و P_2P بالعلاقة التالية :

$$\left. \begin{aligned} \beta_1 &= \arctan (P \%) \\ \beta_2 &= \arctan (q \%) \end{aligned} \right\} \quad (5.9)$$

للحصول على الزاوية β ، زاوية تقاطع الاستقامتين نعوض قيمة الزاويتين β_1 و β_2

بالعلاقة (5.8) . بعد ذلك يتابع المهندس حساب العناصر الأساسية الأخرى

وبالرجوع إلى الشكل (5-7) نجد ما يلي :

1- طول المماسين T_1 و T_2 :

$$T = T_1 = T_2 = R \tan \beta / 2 \quad (5.10)$$

2 - المسافة الخارجية EX :

$$EX = OP - OD = OP - R \quad (5.11)$$

ولكن :

$$OP = \sqrt{R^2 + T^2}$$

نعوض في العلاقة (5.11) ، فنحصل على المطلوب .

الفصل السادس

تجسيد المنحنيات الشاقولية على الطبيعة

لتجسيد نقاط تقع على المنحني الشاقولي ، لابد من تجسيد النقاط الأساسية منه ، وهي هنا نقطتا التماس الأولى والثانية بين طريفي هذا المنحني والاستقامتين وبالتالي لابد من حساب العناصر الأساسية اللازمة لتجسيد هاتين النقطتين .

6.1 حساب ارتفاع نقطتي التماس الأولى والثانية

لتجسيد المنحنيات الشاقولية على الطبيعة ، يحتاج مهندس التنفيذ دوماً إلى معرفة ارتفاع نقطتي تماس المنحني الشاقولي (المحدث أو المقعر) مع الاستقامتين المتقاطعتين ، ليتمكن من غرسهما على الطبيعة ، وغرس عدد من النقاط التي تقع على هذا المنحني مباشرة أثناء التنفيذ ، وذلك لعدم قدرة المنفذ على تجسيد نقاط المنحني الشاقولي في وقت سابق ، لأنهما غالباً تقعان في مواقع الحفر أو الردم لحساب ارتفاع نقطة التماس الأولى B ، الشكل رقم (6-1) يمكن كتابة :

$$H_B = H_P - T \sin \beta_1 \quad (6.1)$$

حيث إن :

H_P - ارتفاع نقطة تقاطع الاستقامتين .

بالمثل يحسب ارتفاع نقطة التماس الثانية E :

$$H_E = H_P + T \sin \beta_2 \quad (6.2)$$

يمكن تطبيق هاتين العلاقتين في حالة الوصل الشاقولي المقعر أيضاً ولجميع حالات الميول الموجبة أو السالبة المبينة على الشكل (5-8) من الفصل الخامس على أن تؤخذ الإشارات الجبرية لـ $\sin \beta_1$ و $\sin \beta_2$. لغرس نقطتي التماس الأولى والثانية ، يحتاج المهندس المنفذ إلى حساب مسافتيهما التراكميتين

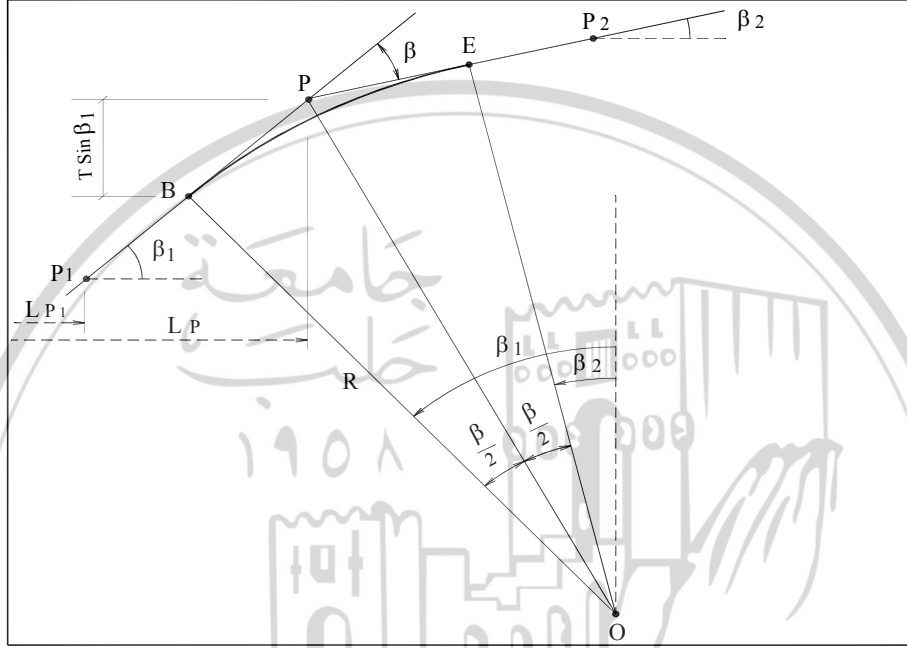
وبحسب الشكل رقم (6-1) نجد إن :

– المسافة التراكمية لنقطة التماس الأولى B :

$$L_B = L_P - T \cos \beta_1 \quad (6.3)$$

– المسافة التراكمية لنقطة التماس الثانية E :

$$L_E = L_P + T \cos \beta_2 \quad (6.4)$$



شكل (6-1)

6.1.1 حساب ارتفاع النقاط الواقعة على المنحني الشاقولي المحدب

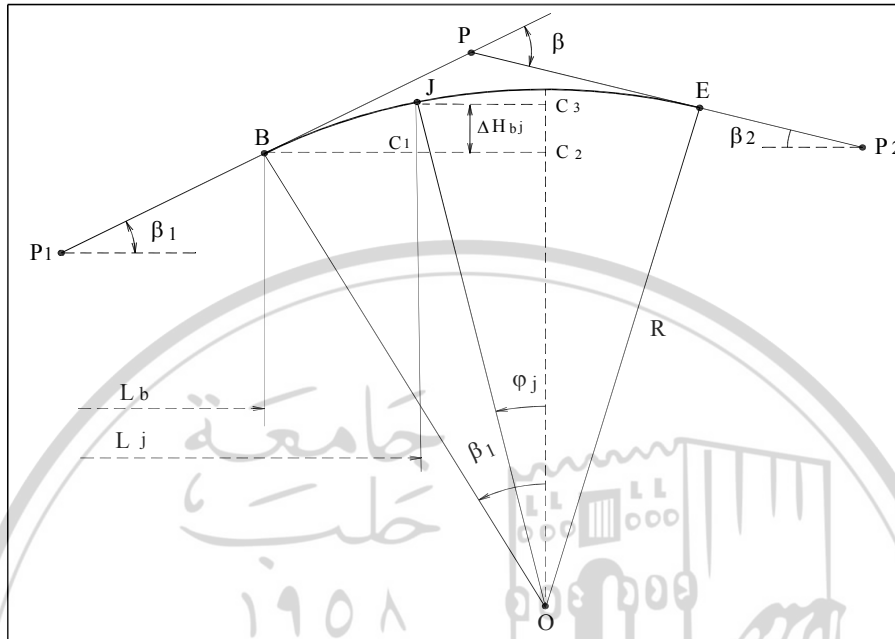
بغية تنفيذ المنحنيات الشاقولية المحدبة ، يحتاج المهندس إلى غرس عدد من النقاط الواقعة على هذه المنحنيات بتباعدات معلومة ومتساوية على الأغلب حيث إن عناصر الغرس في حالة المنحنيات الشاقولية هي ارتفاعات هذه النقاط بالإضافة إلى مسافات التراكمية . يمكن حساب ارتفاع أي نقطة ما ، مثل النقطة J الواقعة على المنحني الشاقولي المحدب إذا استطعنا حساب فرق الارتفاع ΔH_{BJ} بين هذه النقطة ونقطة التماس الأولى B ، حيث نجد من الشكل (6-2) أن :

$$\Delta H_{BJ} = C_2 C_3 = OC_3 - OC_2 \quad (6.5)$$

ولكن :

$$OC_2 = R \cos \beta_1$$

$$\text{OC}_3 = R \cos \varphi_J$$



الشكل (6-2)

نعوض في العلاقة (6.5) فنجد إن :

$$\Delta H_{BJ} = R \cos \varphi_J - R \cos \beta_1$$

أو :

$$\Delta H_{BJ} = R (\cos \varphi_J - R \cos \beta_1) \quad (6.6)$$

حيث إن :

β_1 - زاوية ميل الاستقامة الأولى P_1P مع الأفق وهي معلومة .

ϕ_j - الزاوية التي يصنعها نصف القطر OJ ، مع الشاقول المار من مركز دائرة

الوصل وهي مجهولة .

من الشكل رقم (2-6) ، يمكن حساب الزاوية φ_I ، وذلك كما يلي :

$$\sin \varphi_J = \frac{JC_3}{OJ} = \frac{JC_3}{R} = \frac{C_1 C_2}{R}$$

أو :

$$\sin \varphi_J = \frac{BC_2 - BC_1}{R} \quad (6.7)$$

ومنه :

$$\sin \varphi_J = \frac{BC_2}{R} - \frac{BC_1}{R} \quad (6.8)$$

ولكن لدينا من الشكل (6-2) :

$$\sin \beta_1 = \frac{BC_2}{R}$$

وكذلك لدينا :

$$BC_1 = L_J - L_b$$

فتصبح العلاقة (6.8) كالتالي :

$$\sin \varphi_J = \sin \beta_1 \frac{(L_J - L_b)}{R}$$

ومنه :

$$\varphi_J = \arcsin \left[\sin \beta_1 \frac{(L_J - L_b)}{R} \right] \quad (6.9)$$

يمكن حساب فرق الارتفاع ΔH_{bJ} ، من خلال تعويض قيمة الزاوية φ_J

بالعلاقة (6.6) والمحسوبة من العلاقة (6.9) ، فيكون ارتفاع النقطة J هو :

$$H_J = H_B + \Delta H_{bJ} \quad (6.10)$$

وبالتالي يمكن تجسيد النقطة J على الطبيعة ، وذلك بعد معرفة الارتفاع H_J

والمسافة التراكمية L_J .

يجب الانتباه إلى أن الزاوية φ_J ، تأخذ قيمها في المجال $[0 \text{ ر } \beta_1]$ ، وذلك

عند غرس النقاط الواقعة على المنحني الشاقولي المحدب ، وإلى يسار الشاقول

المار من مركز دائرة الوصل ، وتتناقص اعتباراً من القيمة $|\beta_1| = |\varphi_J|$ عندما $J = 0$ ، التي توافق غرس نقطة التماس الأولى B . يمكن الاستمرار بالحسابات اللازمة لغرس نقاط المنحني الشاقولي المحدب الواقعة إلى يسار الشاقول المار من مركز دائرة الوصل ، مادامت المتراجحة التالية محققة:

$$|\beta_1| \geq |\varphi_J| \geq 0 \quad (6.11)$$

تغرس النقاط الواقعة على المنحني الشاقولي المحدب وإلى يمين الشاقول المار من مركز دائرة الوصل باستخدام العلاقات السابقة وعلينا أن نلاحظ أيضاً بأن الزاوية φ_J تأخذ قيمها في المجال $[0, \beta_2]$ وهي تتزايد اعتباراً من القيمة $\varphi_J = 0$ وحتى القيمة $|\beta_2| = |\varphi_J|$ والتي توافق غرس نقطة التماس الثانية E . كذلك يمكن الاستمرار بالحسابات اللازمة لغرس النقاط الواقعة على المنحني الشاقولي المحدب وإلى يمين الشاقول المار من مركز دائرة الوصل مادامت المتراجحة التالية محققة :

$$0 \leq |\varphi_J| \leq |\beta_2| \quad (6.12)$$

المسافة التراكمية للنقاط الواقعة إلى يمين الشاقول المار من مركز دائرة الوصل تحسب كالسابق بالعلاقة التالية :

$$L_{J+1} = L_J + \delta \quad (6.13)$$

حيث إن:

δ - التباعد المتساوي بين النقاط المغروسة على المنحني الشاقولي ويفضل أن تكون : $\delta \leq R/20$

6.1.2 حساب ارتفاع النقاط الواقعة على المنحني الشاقولي المقعر

لحساب ارتفاع أي نقطة ما ، مثل J واقعة على منحني الوصل الشاقولي المقعر يجب أولاً حساب فرق الارتفاع ΔH_{BJ} بين هذه النقطة ونقطة التماس الأولى B ومن الشكل رقم (3-6) يمكن أن نكتب :

$$\Delta H_{BJ} = C_2 C_3 = OC_2 - OC_3 \quad (6.14)$$

ولكن :

$$OC_2 = R \cos \beta_1$$

$$OC_3 = R \cos \varphi_J$$

نعوض في العلاقة (6.14) فنجد إن :

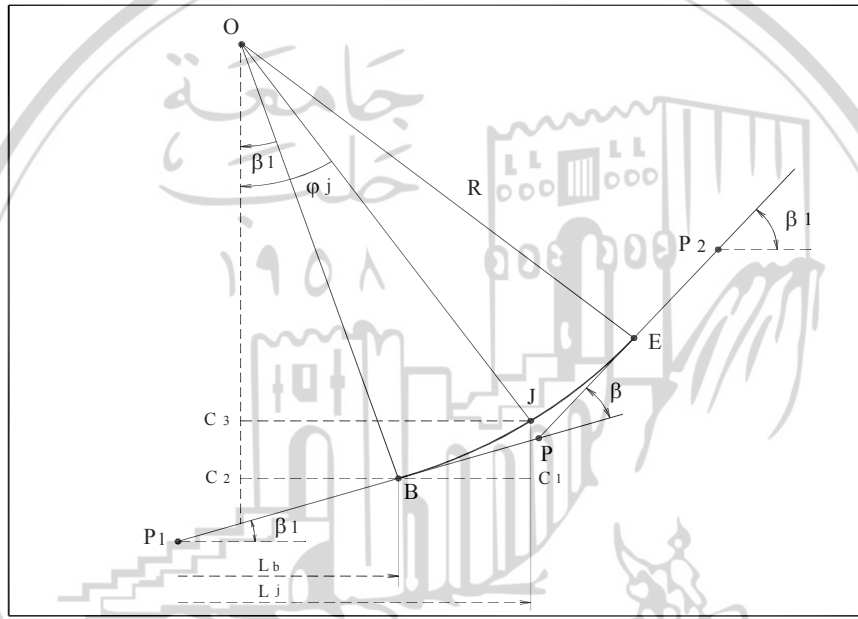
$$\Delta H_{BJ} = R \cos \beta_1 - R \cos \varphi_J$$

أو :

$$\Delta H_{BJ} = R (\cos \varphi_J - \cos \beta_1) \quad (6.15)$$

تُحسب الزاوية φ_J كما يلي :

$$\sin \varphi_J = \frac{JC_3}{JO} = \frac{JC_3}{R} = \frac{C_1C_2}{R} = \frac{BC_2}{R} + \frac{BC_1}{R} \quad (6.16)$$



الشكل (6-3)

ولكن :

$$\sin \beta_1 = \frac{BC_2}{R}$$

وكذلك لدينا :

$$BC_1 = L_J - L_b$$

فتمصبح العلاقة (6.16) على الشكل التالي :

$$\sin\varphi_J = \sin\beta_1 + \frac{(L_J - L_b)}{R}$$

ومنه :

$$\varphi_J = \arcsin\left[\sin\beta_1 + \frac{(L_J - L_b)}{R}\right] \quad (6.17)$$

يُحسب فرق الارتفاع ΔH_{BJ} ، من خلال تعويض قيمة الزاوية φ_J بالعلاقة (4.26) ، ويكون ارتفاع النقطة J :

$$H_J = H_B + \Delta H_{BJ} \quad (6.18)$$

حيث يؤخذ فرق الارتفاع ΔH_{BJ} بإشارته الجبرية.

لغرس النقاط الواقعة على المنحني الشاقولي المقعر ، يمكن اتباع نفس المناقشة التي أجريناها عند غرس نقاط المنحني الشاقولي المحدب .

6.2 تعيين موقع أعلى وأخفض نقطة من المنحني الشاقولي

يترافق مع أعمال تخطيط خطوط المواصلات وتصميمها ، بعض المنشآت الهندسية الملحقة ، التي تخدم غايات وأهداف المشروع ، فمثلاً عندما تتقاطع خطوط المواصلات مع المسيلات المائية ، فإننا نعمل إلى تصميم عبارات ذات أشكال وأبعاد مناسبة لتصريف المياه السطحية . لذا نقوم بتنفيذها في المواقع المنخفضة من المسار . كذلك عندما يراد إنشاء الجسور ، فإننا نحاول أيضاً إيجاد المواقع المرتفعة من المسار . ولهذه الأسباب وغيرها فإن البحث عن موقع أعلى أو أخفض نقطة واقعة على المنحني الشاقولي يعتبر أمراً ضرورياً ومهماً . يمكن تعيين ارتفاع أي نقطة ما ، مثل النقطة i ، بتطبيق العلاقة (6.10) :

$$H_i = H_B + R (\cos \varphi_i - \cos \beta_1)$$

وباعتبار أن H_B و R و $\cos \beta_1$ قيم ثابتة ، فإن أكبر قيمة يأخذها الارتفاع H_i كما هو موضح في الشكل رقم (4-6) هي عندما يكون لدينا :

$$\cos \varphi_i = \max$$

وإن أعلى قيمة يأخذها التابع $\cos \varphi_i$ هي :

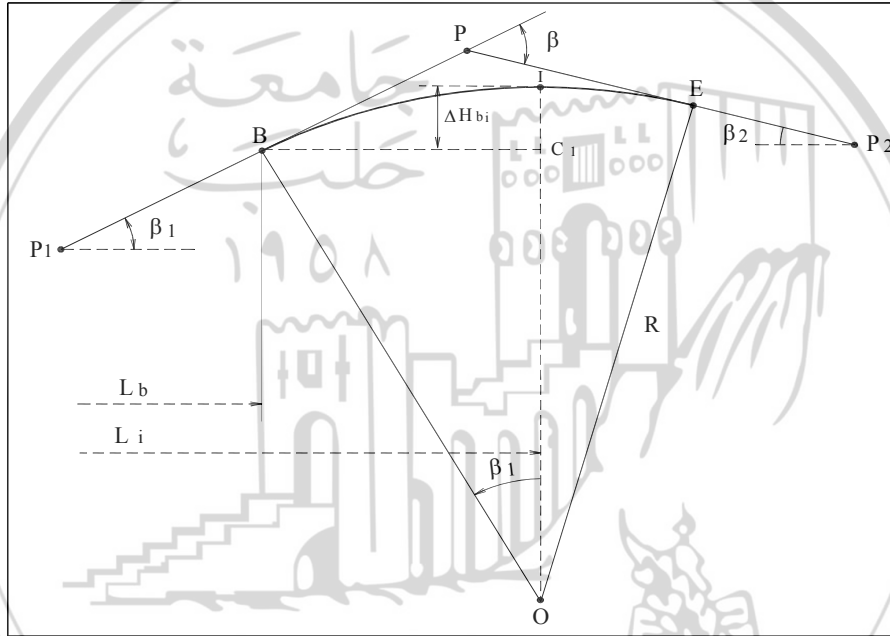
$$\cos \varphi_i = \max = 1$$

أي :

$$\varphi_i = 0$$

إن أعلى نقطة تقع على المنحني الشاقولي المحدب ، هي نقطة تقاطع هذا المنحني مع الشاقول المار من مركز دائرة الوصل حيث $\varphi_i = 0$ ويُحسب ارتفاع هذه النقطة بالعلاقة :

$$H_i = H_B + R (1 - \cos \beta_1) \quad (6.19)$$



الشكل (6-4)

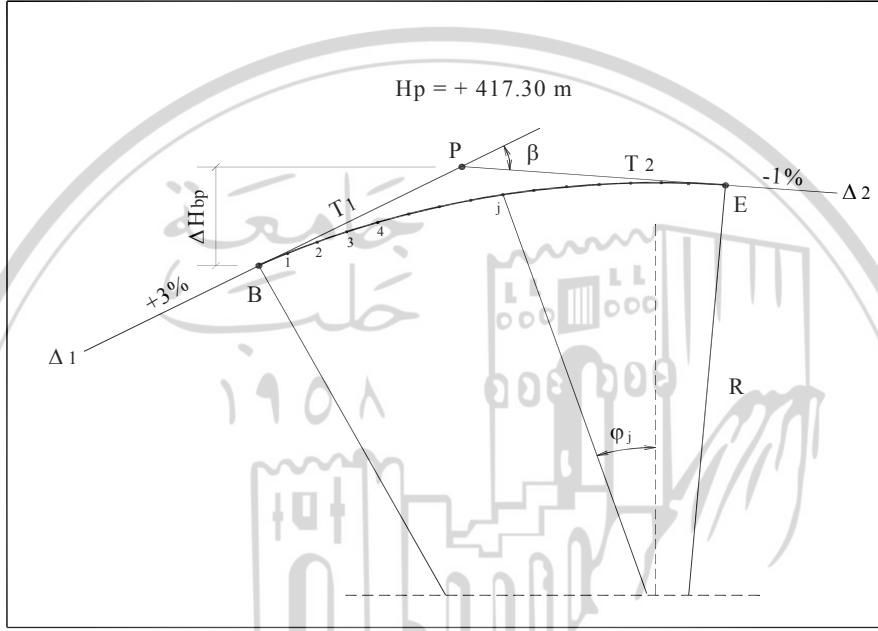
باتباع نفس الأسلوب من المناقشة ، نستنتج بأن أخفض نقطة تقع على المنحني الشاقولي المقعر هي نقطة تقاطع هذا المنحني مع الشاقول المار من مركز دائرة الوصل حيث إن $\varphi_i = 0$ ، ويُحسب ارتفاع هذه النقطة بالعلاقة التالية :

$$H_i = H_B + R (1 - \cos \beta_1) \quad (6.20)$$

6.3 مسائل محلولة

مسألة (1)

استقامتان Δ_1 و Δ_2 تنتميان إلى طريق من الدرجة الأولى ، متقاطعتان في الذروة P ، ميل الاستقامة الأولى $\% + 3 = P$ ، وميل الاستقامة الثانية $\% - 1 = q$ ، ومنسوب نقطة تقاطع هاتين الاستقامتين $H_p = + 417.30 \text{ m}$ كما في الشكل رقم (5-6) .



الشكل (5-6)

المطلوب :

- تصميم منحنى شاقولي محدب مناسب لوصل هاتين الاستقامتين .
- حساب عناصر غرس نقاط تقع على المنحنى الشاقولي المحدب ، ذات تباعد ثابت قدره $(\delta = 25.00 \text{ m})$.

الحل :

إن تصميم المنحنى الشاقولي المحدب ، يعني تعيين نصف القطر R والزوايا المركزية β المحددة للقسوس الدائرية (وهي نفسها زاوية تقاطع الاستقامتين)

وكذلك تعيين طول هذه القوس L .

- تعيين نصف القطر R .

باعتبار أن الاستقامتين تنتميان إلى طريق من الدرجة الأولى ، فإن السرعة التصميمية المسموحة للعربات على هذا الطريق هي : 100 km / hr ونصف القطر النظامي الموافق لهذه السرعة هو $R = 10000 \text{ m}$.

- تعيين الزاوية المركزية β المحددة للقوس الدائرية BE .

باعتبار أن ميلي الاستقامتين صغير ، فإننا نستطيع أن نكتب :

$$\beta = |p - q| \% = |3 + 1| \% = 0.04 \text{ (radians)}$$

أو :

$$\beta = 0.04 \times 63.6620 = 2.5465 \text{ gr}$$

- حساب طول القوس L :

$$L = R \cdot \beta \text{ (radians)}$$

$$L = 10000 \times 0.04 = 400 \text{ m}$$

- حساب طول المماسين $BP = PE$:

$$T = R \tan \beta / 2 = 10000 \tan 1.2733 \approx 200.00 \text{ m}$$

باعتبار أن الميول صغيرة فإن المساواة التالية صحيحة :

$$T = \overline{BE} / 2 = \overline{BE} / 2$$

- حساب منسوب نقطة التماس الأولى B :

$$H_P = H_B + \Delta H_{BP}$$

ومنه :

$$H_B = H_P - \Delta H_{BP}$$

ولكن :

$$\Delta H_{BP} = T \cdot P \% = 200.00 \times 0.03 = 6.00 \text{ m}$$

أي أن :

$$H_B = 417.30 - 6.00 = 411.30 \text{ m}$$

- حساب منسوب نقطة التماس الثانية E :

$$H_E = H_B + \Delta H_{PE}$$

ولكن :

$$\Delta H_{PE} = T.q \% = 200 \times 0.01 = -2.00 \text{ m}$$

أي إن :

$$H_E = 417.30 - 2.00 = 415.30 \text{ m}$$

2 - حساب عناصر غرس النقاط التي تقع على المنحني الشاقولي المحدب وذات التباعد الثابت ($\delta = 25.00 \text{ m}$).

إن عناصر غرس هذه النقاط هي مسافات التراكمية :

$$L_J = L_B + J.\delta$$

حيث إن :

$J = 0, 1, 2 \dots n$ - أرقام النقاط .

L_B - المسافة التراكمية لنقطة التماس الأولى .

تُحسب فروق الارتفاعات بين هذه النقاط ، ونقطة التماس الأولى بتطبيق

العلاقة (6.6) .

$$\Delta H_{BJ} = R (\cos \varphi_J - \cos \beta_1)$$

حيث إن :

$$\beta_1 = P \% = 0.03 \text{ (radians)}$$

أي :

$$\beta_1 = 1.9093^{\text{gr}}$$

وأن :

$$\varphi_J = \arcsin \left[\sin \beta_1 - \frac{(L_J - L_b)}{R} \right]$$

الجدول (6-1)

J	$(L_J - L_b) (m)$	$(\phi_J) \text{ gr}$	$\Delta H_J (m)$	$H_J (m)$
1	2	3	4	5
0	0	1.9093	0	411.3
1	25	1.7501	0.72	412.02
2	50	1.5909	1.37	412.67
3	75	1.4317	1.97	413.27
4	100	1.2725	2.50	413.80
5	125	1.1133	2.97	414.27
6	150	0.9541	3.37	414.67
7	175	0.7949	3.72	415.02
8	200	0.6358	4.00	415.30
9	225	0.4766	4.22	415.52
10	250	0.3175	4.37	415.67
11	275	0.1583	4.47	415.77
12	300	0.0000	4.50	415.80
13	325	- 0.1600	4.47	415.77
14	350	- 0.3192	4.37	415.67
15	375	- 0.4783	4.22	415.51
16	400	- 0.6375	4.00	415.30

نرتب الحسابات وفق الجدول رقم (1-6) ، ويمكن ملاحظة مايلي :

عندما $J = 0$ نحصل على ارتفاع نقطة التماس الأولى H_B .

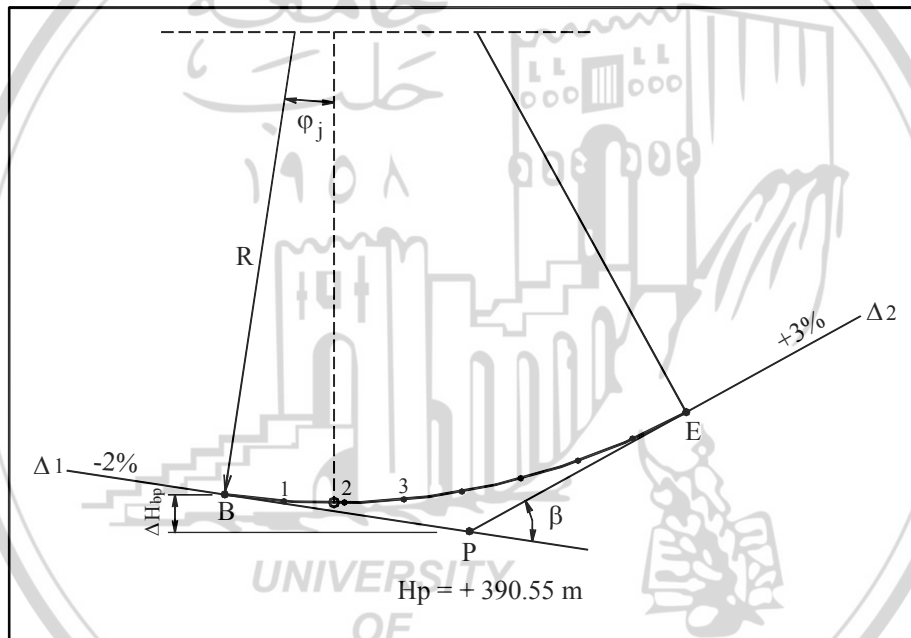
عندما $J = 16$ نحصل على ارتفاع نقطة التماس الثانية H_E .

وإن الزاوية φ_J تتغير ضمن المجال $[0, \beta_1]$ ، والمجال $[0, \beta_2]$ ، وأن موقع أعلى نقطة تقع على المنحني الشاقولي المحدب هي نقطة تقاطع هذا المنحني مع الشاقول المار من مركزه دائرة الوصل ، أي عندما $\varphi_J = 0.0000 \text{ gr}$.

مسألة (2)

استقامتان Δ_1 و Δ_2 تنتميان إلى طريق من الدرجة الأولى ، متقاطعتان في

الذروة P . ميل الاستقامة الأولى $P \% = 2 \%$ وميل الاستقامة الثانية $q \% = +3 \%$



الشكل (6-6)

ومنسوب نقطة تقاطع هاتين الاستقامتين هو $H_p = + 390.55 \text{ m}$ ، كما في

الشكل رقم (6-6) والمطلوب :

تصميم منح شاقولي مقعر مناسب لوصل هاتين الاستقامتين .

• حساب عناصر غرس نقاط تقع على المنحني الشاقولي المقعر ، ذات تباعد ثابت قدره ($\delta = 25.00 \text{ m}$) .

• تعيين موقع وارتفاع أخفض نقطة تقع على هذا المنحني.

الحل :

إن تصميم المنحني الشاقولي المقعر ، يعني تحديد نصف القطر R وزاوية تقاطع استقامتيه β ، وطول القوس الدائرية L

1- تعيين نصف القطر R :

باعتبار أن الطريق من الدرجة الأولى ، فإن السرعة التصحيحية المسموحة وبحسب الجدول رقم (5-1) هي 100 km / hr ، ونصف القطر الموافق لهذه السرعة هو:

$$R = 3000.00 \text{ m}$$

- تعيين الزاوية المركزية β (زاوية تقاطع الاستقامتين):

باعتبار أن ميلي الاستقامتين صغيران ، فيمكن أن نكتب :

$$\beta (\text{rad}) = |p - q| \% = |-2 - 3| \% = 0.05 (\text{rad})$$

أو :

$$\beta \times 63.6620 = 3.1831 \text{ gr}$$

- حساب طول القوس L :

$$L = R \beta (\text{rad}) = 3000 \times 0.05 = 150.00 \text{ m}$$

- حساب طول المماسين: $BP = PE = T$

$$T = R \tan \beta / 2 = 3000 \times \tan 1.5916 = 75.00 \text{ m}$$

- حساب منسوب نقطة التماس الأولى H_b :

$$H_B = H_P - \Delta H_{BP}$$

ولكن :

$$\Delta H_{BP} = T.P \% = 75.00 \times -0.02 = -1.50 \text{ m}$$

أي أن :

$$H_B = 390.55 + 1.50 = 392.05 \text{ m}$$

1- حساب منسوب نقطة التماس الثانية :

$$H_E = H_P + \Delta H_{PE}$$

ولكن :

$$\Delta H_{PE} = \times 0.03 = +2.25 \text{ m}$$

$$T.q \% = 75.0$$

أي أن :

$$H_E = 390.55 + 2.25 = 392.80 \text{ m}$$

2- حساب عناصر غرس النقاط التي تقع على المنحني الشاقولي المقعر وتتبع

ثابت قدره $(\delta = 25.00 \text{ m})$:

- يتم حساب المسافات التراكمية لهذه النقاط بالعلاقة التالية :

$$L_J = L_B + J. \delta$$

حيث إن :

$J = 0, 1, 2, \dots n$ - أرقام النقاط المطلوب غرسها .

- ويتم حساب ارتفاعات هذه النقاط وذلك بعد حساب فروق الارتفاعات بينها وبين نقطة التماس الأولى وذلك بتطبيق العلاقة التالية :

$$\Delta H_{BJ} = -R (\cos \varphi_J - \cos \beta_1)$$

حيث إن :

$$\beta_1 = P \% = -0.02 (\text{rad}) = -1.2732 \text{ gr}$$

وإن :

$$\varphi_J = \arcsin \left[\sin \beta_1 + \frac{(L_J - L_b)}{R} \right]$$

ننظم الحل وفق الجدول التالي :

الجدول (4-2)

J	(L _J - L _b) (m)	(φ _J) gr	ΔH _{bJ} (m)	H _J (m)
1	2	3	4	5
0	0	0	0	392.05
1	25	- 0.7426	- 0.39	391.66
2	50	- 0.2121	- 0.58	391.47
3	75	0.3184	- 0.56	391.49
4	100	0.8490	0.33	391.72
5	125	1.3796	+ 0.10	392.15
6	150	1.9103	+ 0.75	392.80

3 - حساب موقع ومنسوب أخفض نقطة تقع على المنحني الشاقولي المقعر :
 لحساب موقع أخفض نقطة من المنحني الشاقولي المقعر ، نعلم جيداً بأنها النقطة
 التي يكون فيها $\phi_J = 0$ أي :

$$\phi_J = \arcsin \left[\sin \beta_1 + \frac{(L_J - L_b)}{R} \right]$$

أي إن :

$$\sin \beta_1 + \frac{(L_J - L_b)}{R} = 0$$

ومنه

$$L_J - L_B = -R \sin \beta_1$$

$$L_J - L_B = -3000 \sin (-1.2732) = 60.00m$$

هذا يعني أن :

$$L_J = L_B + 60.00 m$$

لحساب ارتفاع النقطة J ، يُحسب أولاً فرق الارتفاع بينها وبين نقطة التماس الأولى
 وذلك بعد تعويض قيمة $\phi_J = 0$ بالعلاقة (6.15) :

$$\Delta H_{BJ} = -R (1 - \cos \beta_1)$$

$$\Delta H_{BJ} = -3000 [1 - \cos (-1.2732)]$$

$$\Delta H_{BJ} = -0.60 \text{ m}$$

وبالتالي سيكون ارتفاع النقطة J هو :

$$H_J = H_B + \Delta H_{BJ}$$

$$H_J = 392.05 - 0.60 = 391.4 \text{ m}$$

وهو منسوب أخفض نقطة تقع على المنحني الشاقولي المقعر .



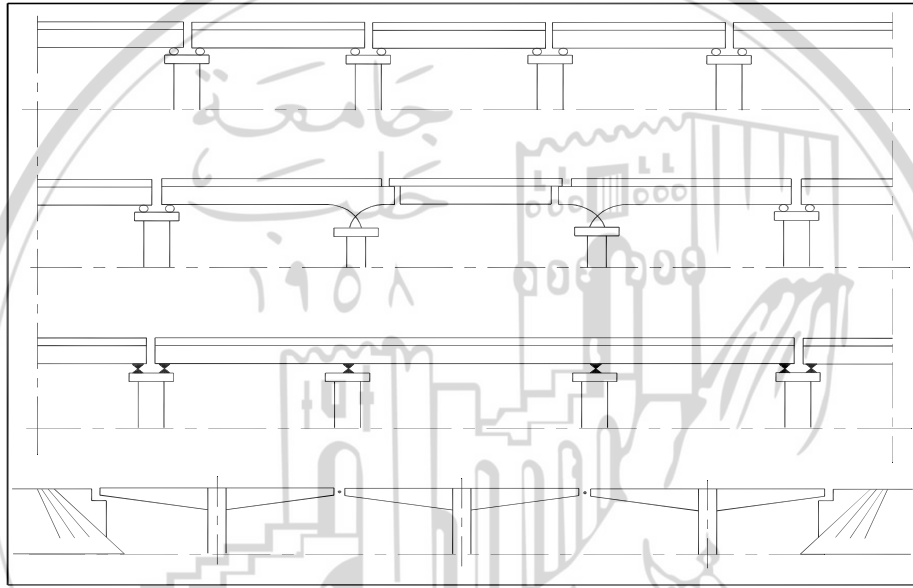


الفصل السابع

المنشآت الهندسية الملحقة بالطرق

7.1 الجسور

تعتبر الجسور من المنشآت الهندسية المهمة التي تصادف غالباً عند تقاطعات الطرق والسكك الحديدية مع المجاري المائية ، كالأنهار والوديان العميقة والعوائق الأخرى المشابهة ، وذلك لتأمين الاتصال بين أطراف تلك المجاري والوديان .



الشكل (7-1)

للجسور أشكال وأنواع متعددة ، إلا أنها جميعاً تتألف بشكل أساسي من بلاطات تستند على جوائز حاملة ، وهذه الجوائز تستند بدورها استناداً بسيطاً أو موثقاً مع الركائز ، الشكل رقم (7-1) يبين عدداً من هذه النماذج .

يتطلب إنشاء الجسور إنفاقاً مالياً ضخماً ، إلا أن هذا الإنفاق له ما يبرره ويتلاشى مع مرور الزمن ، وذلك من خلال الفوائد والخدمات العظيمة التي تؤديها الجسور في مختلف المجالات الاقتصادية والاجتماعية وغيرها. وفي بعض الأحيان

يصبح تشييد الجسور ضرورة لاغنى عنها .

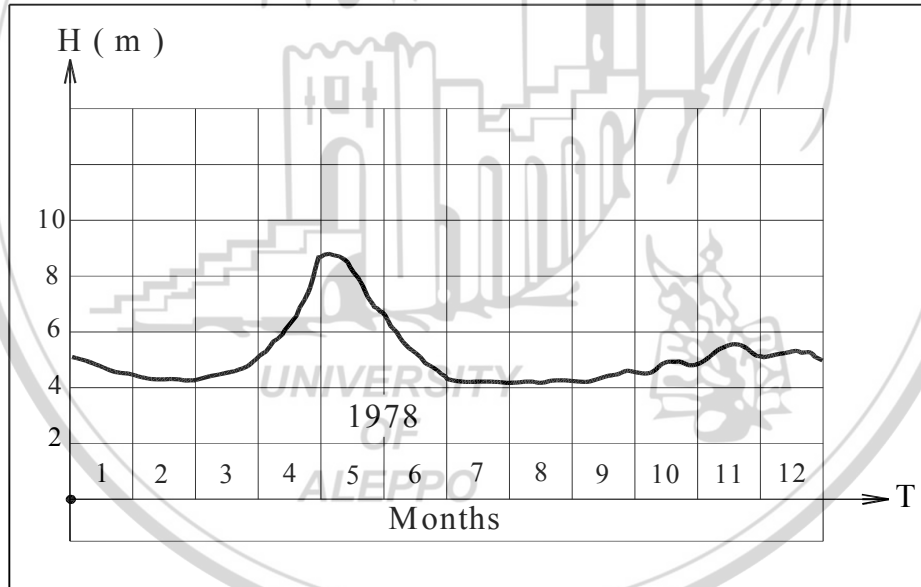
7.1.1 اختيار مواقع الجسور

يتطلب اختيار مواقع الجسور ، البحث عن الأمكنة المناسبة لبنائها وذلك من خلال دراسة خصائص الأمكنة المقترحة لها من النواحي الجيولوجية والهيدرولوجية والطبوغرافية ، وإجراء التحريات الضرورية ووضع مخططات طبوغرافية ومقاطع جيولوجية للمنطقة ، وإجراء القياسات الهيدرولوجية لتحديد سرعة واتجاه الجريان ، والمنسوب الأعظمي الذي يمكن أن يصل إليه الماء في المجرى المائي ، ورسم مقاطعه الطولية والعرضية في المواقع المقترحة لإنشاء الجسور ، والقيام بالأعمال المساحية اللازمة للحصول على مخططات طبوغرافية مقياس $1/5000$ ، للأنهار أو المجاري المائية المتوسطة (عرض النهر أو المجرى المائي أقل من $500m$) ومقياس $1/10000$ للأنهار أو المجاري المائية العريضة (أكبر من $500m$) تبين هذه المخططات الوضع الراهن للمنطقة والتفصيلات الطبيعية والاصطناعية بما فيها تفصيلات سرير النهر (أو الوادي) في الموقع المدروس وتمثيل تضاريس سطح الأرض بواسطة منحنيات تسوية ذات تباعدات مناسبة لكل المقياسين ، ومن ثم توضع عدة حلول للمواقع التي تحقق أهداف المشروع ، ليتم اختيار الموقع الأفضل من بينها لإنشاء الجسر ، بحيث تراعى العوامل التالية :

- أن يكون محور الجسر عمودياً على اتجاه الجريان .
- أن تكون ضفتا النهر مستقيمتين ومتوازيتين ، ولم يطرأ عليهما تبدلات ملحوظة عبر السنين التي مرت ، بالرغم من تغيرات منسوب الماء في النهر .
- أن لا تكون جوانب النهر ذات انحدار شديد.
- أن يكون النهر ضيقاً عند الموقع المدروس .
- أن لا يقع ضمن الأراضي الخصبة غالية الثمن ، أو المواقع ذات الكثافة السكانية العالية والإقلال من الهدر قدر الإمكان .

7.2 القياسات المائية

يتطلب بناء الجسور على المجاري المائية ، تقديم مجموعة من الدراسات الإحصائية والقياسات المائية لفترات زمنية كافية ، وإن معرفة خصائص هذه المجاري ولا سيما الأنهار دائمة الجريان ، ومراقبة نظام الجريان فيها ، ومعرفة تغيرات منسوب مياه الأنهار التي ستبنى عليها هذه الجسور وتغيرات منسوب مياه الأنهار المجاورة ، ضروري جداً بهدف توفير المعلومات اللازمة لتخطيط الجسور وتصميمها . ولما كانت الأنهار تتغذى بالمياه السطحية الناتجة عن هطل الأمطار وذوبان الثلوج بالإضافة إلى المياه الجوفية ، فإن الحالة العامة للتغذية غير مستقرة والتغيرات التي تطرأ عليها خلال أيام السنة يرافقها تغيرات مباشرة في ارتفاع أو انخفاض منسوب الماء في النهر حيث يمكن تمثيل هذه العلاقة بواسطة منحنيات بيانية كما هو موضح في الشكل رقم (7-2) ، الذي يبين تغيرات منسوب سطح الماء في النهر خلال أشهر السنة ، ذلك لأن معرفة المنسوب الأعظمي الذي يمكن أن تصل إليه المياه في النهر ضرورية جداً ، لتحديد الأماكن التي ينبغي بناء الجسر فيها .



الشكل (7-2)

إلا أن هذه المنحنيات ليست ثابتة ، بل هي متغيرة من عام إلى آخر ، وذلك بحسب

تغيرات تغذية تلك الأنهار ، وبالتالي فإن دراسة نظام جريان هذه الأنهار بشكل دقيق يتطلب تحديد خصائصها أولاً ، وهنا يكمن الدور المهم للأعمال المساحية ، من خلال إجراء القياسات الدورية اللازمة ، لتحديد سرعة الجريان وتحديد منسوبات قاع المجاري المائية ، وكذلك تحديد المنسوبات المميزة الأعظمية والوسطية والأصغرية لسطح الماء فيها . بغية رسم المقاطع الطولية والعرضية لهذه المجاري .

7.2.1 التحديد الارتفاعي لنقاط قاع الأنهار

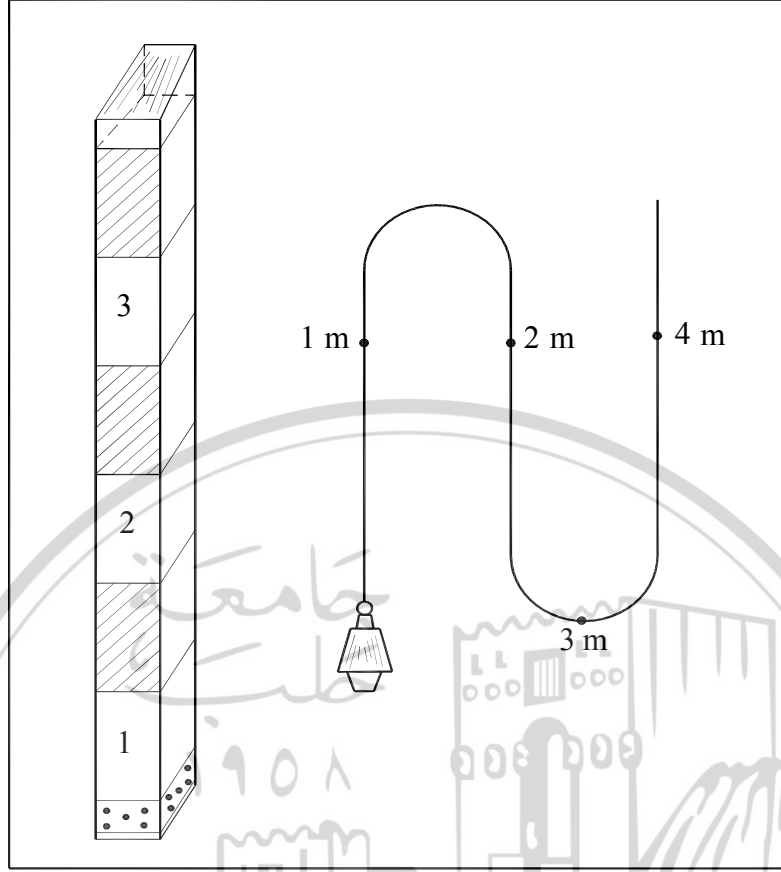
يتطلب رسم المقاطع العرضية للمجاري المائية ، إجراء قياسات مساحية لتحديد منسوبات عدد كاف من نقاط قاع المجرى في المواقع المقترحة لإنشاء الجسر ، منسوبة إلى سطح سوية مرجعي ثابت (مستوى سطح البحر) وتحديد ارتفاع المياه في المجرى عند تلك النقاط ، تستخدم هذه القياسات لأغراض مختلفة من أهمها :

- رسم المقطع العرضي .
 - حساب مساحة المقطع العرضي .
 - قياس سرعة الجريان .
 - تحديد تدفق المجرى المائي .
- يقاس ارتفاع الماء في المجرى عند نقاط المقطع العرضي بعدة وسائل من أهمها :
- أولاً - الوسائل البسيطة

هي الوسائل التي تناسب الأعماق التي لا تتجاوز 8 m ، من أهمها :

• السلك المثقل

السلك المثقل : عبارة عن سلك معدني مصنوع من خليطة معدنية جيدة لا تتأثر بالرطوبة ولا تصدأ ، ومدرج بتدرجات معلومة ، ويحمل في نهايته ثقلاً مناسباً . وكذلك يمكن استخدام المسطرة الشاقولية المدرجة ، التي تشبه الميرا لقياس أعماق المياه ، كما في الشكل رقم (7-3) .



الشكل (7-3)

ثانياً - الوسائل المتطورة

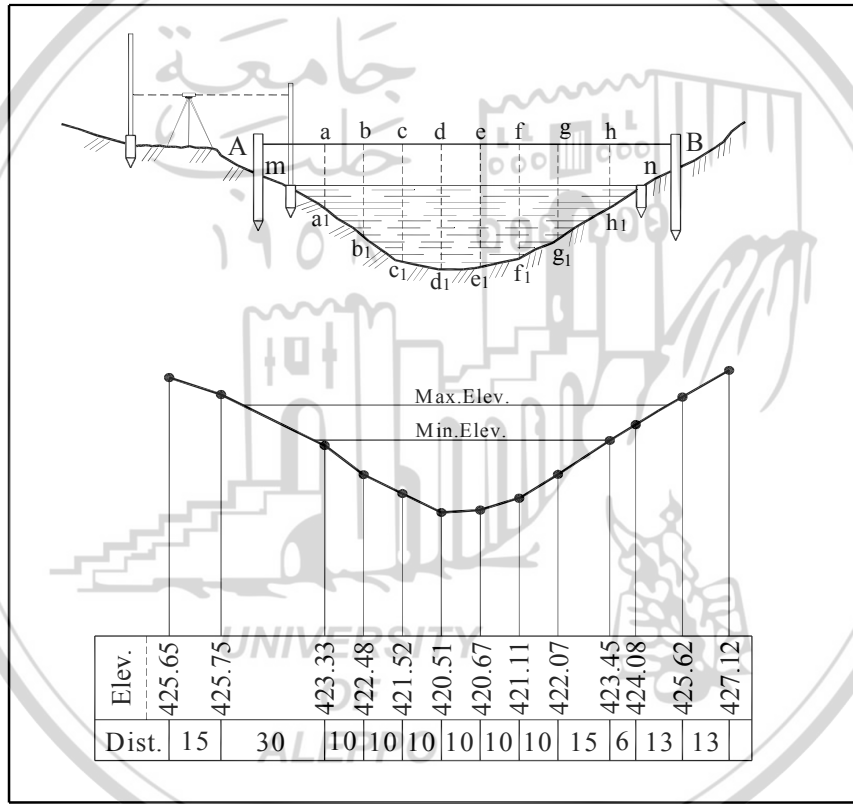
الوسائل المتطورة هي الوسائل التي تناسب الأعماق التي تزيد عن 8 m وتدعى بالأجهزة المسجلة للأعماق ، حيث يتم تعيين تغيرات ارتفاع الماء آلياً وباستمرار ، وذلك باستخدام الأمواج فوق الصوتية . تصلح هذه الطريقة لقياس جميع الأعماق ، حيث توضع هذه الأجهزة على قارب عائم ، وتصدر أمواجاً فوق صوتية باتجاه القاع ، ثم يجري استقبال المرتد من هذه الأمواج ، بحسب الفارق الزمني بين لحظة صدور واستقبال الأمواج ويستنتج منه عمق الماء في النهر . يتم تسجيل نتائج القياسات آلياً على ورق خاص ملفوف على بكر مثبت مع الجهاز . تتراوح الدقة المطلقة لقياس أعماق الأنهار بهذه الطريقة ما بين $(5-15\text{ cm})$.

7.2.2 التعيين المستوي لنقاط قاع الأنهار

لرسم المقاطع العرضية للأنهار ، يحتاج المصمم إلى التعيين المستوي لعدد من نقاط قاع النهر الواقعة في الأمكنة المقترحة ، وحساب المسافات الأفقية بينها بالإضافة الى التعيين الارتفاعي لهذه النقاط ، ويتم اختيار طريقة القياس بحسب عرض النهر ، وذلك كما يلي :

أولاً - المسافة بين ضفتي النهر لا تتجاوز 100 m

في هذه الحالة يشد حبل متين بين وتدين كبيرين مغروسين بالأرض بشكل جيد على ضفتي النهر ، ومدرج بإشارات خاصة بحيث يكون التباعد بين هذه الإشارات متساوياً .



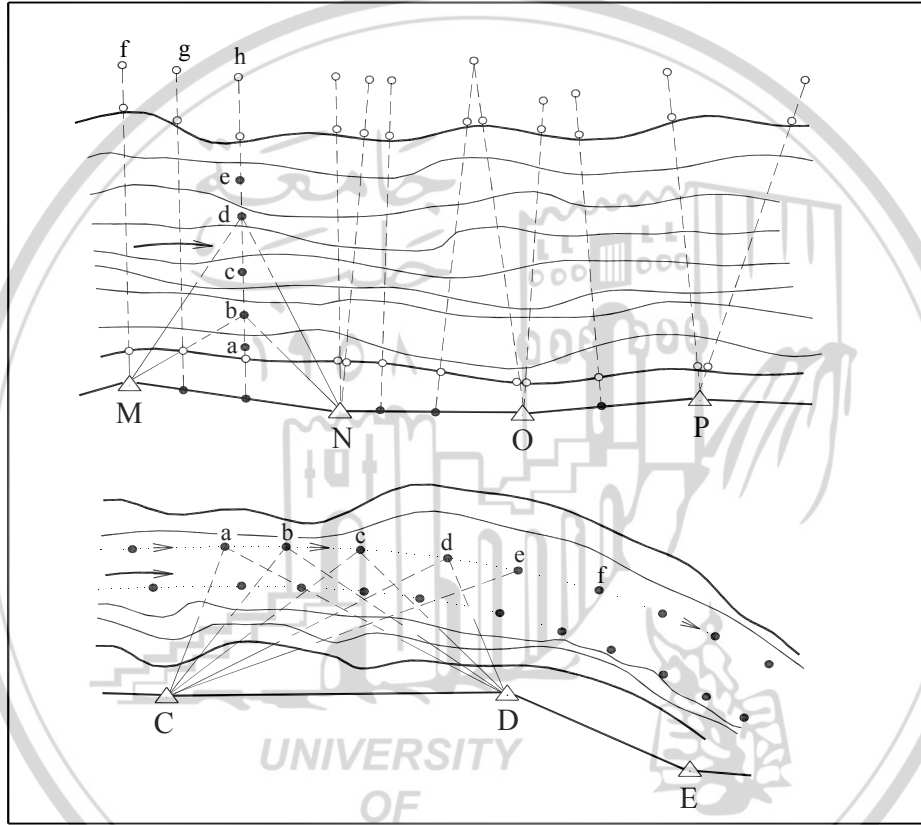
الشكل (7-4)

تقاس المسافات الأفقية بين النقاط الواقعة على المقطع العرضي ، استناداً إلى

تدرجات هذا الحبل ، كما هو مبين على الشكل رقم (7-4) .

ثانياً - المسافة بين ضفتي النهر كبيرة

يلجأ المهندس في هذه الحالة إلى تجسيد استقامات المقاطع العرضية بين ضفتي النهر ، باستخدام شاخصين متناظرين ، الرؤية بينهما محققة . وباستخدام قارب يحمل على متنه مساعداً وبيده شاخص أو أي وسيلة قياس أخرى ، حيث يتم توجيه المساعد حتى تقع الوسيلة التي بيده تماماً على الاستقامة المجسدة ، وأنذاك يتم تعيين النقاط ارتفاعياً بالطريقة المبينة في البند (7.2.1) .



الشكل (7-5)

أما من أجل التعيين المستوي لهذه النقاط وقياس المسافات الأفقية فيما بينها فيستخدم جهاز تيودوليت كما في الشكل رقم (7-5) . الذي يبين بعض الحالات الممكنة .

يقدر الخطأ المطلق في وضع الشاخص على محور الاستقامة المجسدة بـ (0.5 m) ، وللتخفيف من هذا الخطأ ، وزيادة الأمان والدقة في العمل يفضل أن يكون القارب المستخدم قارباً آلياً وثقيلاً .

تتعلق التباعدات الأفقية بين النقاط المراد تعيينها بالعرض الوسطي للنهر كما هو مبين في الجدول رقم (7-1) .

الجدول (7-1)

العرض الوسطي للنهر (m)	25	35	50	70	90	150	250	400	650	>650
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
التباعد الوسطي بين النقاط (m)	2	3	4	6	8	10	20	30	40	50

ثالثاً - قانس المسافات الإلكترونية

من أجل الإقلال من حجم الأعمال المساحية ورفع سوية دقة هذه الأعمال واختصار الزمن اللازم لتنفيذها ، تستخدم قانس المسافات الإلكترونية . في هذه الطريقة يتم اختيار نقطة معلومة الإحداثيات والارتفاع واقعة على إحدى ضفتي النهر ويفضل أن تكون على استقامة المقطع العرضي للنهر إن أمكن والتمركز فوقها . بعد ذلك يتم توجيه مساعد يجلس في قارب ويحمل بيده عاكساً حتى يقع على استقامة المقطع العرضي ، ثم يتم رصد العاكس ، وغالباً يستعمل القانس الإلكتروني بنمط القياسات المتكررة ، من أجل قراءة المسافة الأفقية عدداً من المرات على شاشة الجهاز مباشرة ، وذلك نظراً لصعوبة تثبيت العاكس في الماء . تقاس فروق الارتفاعات بين الجهاز والعاكس الموصول بحبل مدرج (أو مسطرة مدرجة) ، بالإضافة إلى قياس المسافات الأفقية . لتعيين ارتفاع النقطة المرصودة B ، الشكل رقم (7-6) ، نطبق العلاقة التالية :

$$H_b = H_a + \Delta H_{ab} + J - (S + L) \quad (7.1)$$

حيث إن :

H_b - ارتفاع النقطة المجهولة B .

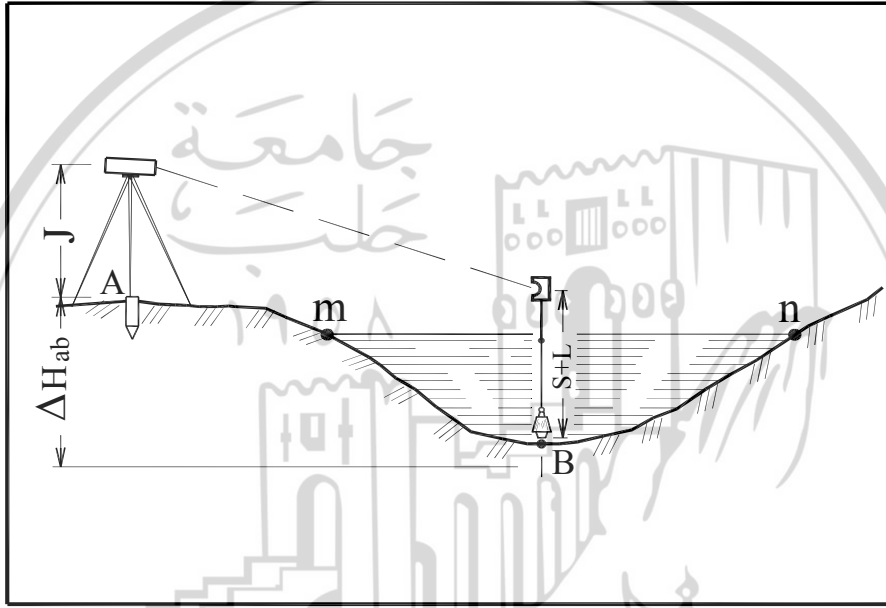
H_a - ارتفاع النقطة المعلومة A .

J - ارتفاع الجهاز .

L - طول الحبل المدرج اعتباراً من قاع النهر ، وحتى نقطة تثبيته بالعصا الحاملة للعاكس ، وهو متغير من نقطة إلى أخرى .

S - طول عصا العاكس ، اعتباراً من نقطة تثبيته مع الحبل المدرج .

ΔH_{ab} - فرق الارتفاع بين النقطتين A و B ، المقروءة على الشاشة مباشرةً .



الشكل (7-6)

7.2.3 قياس السرعة السطحية للجريان في الأنهار

من أجل حساب تدفق الأنهار لابد من تحديد سرعة الجريان الوسطية حيث

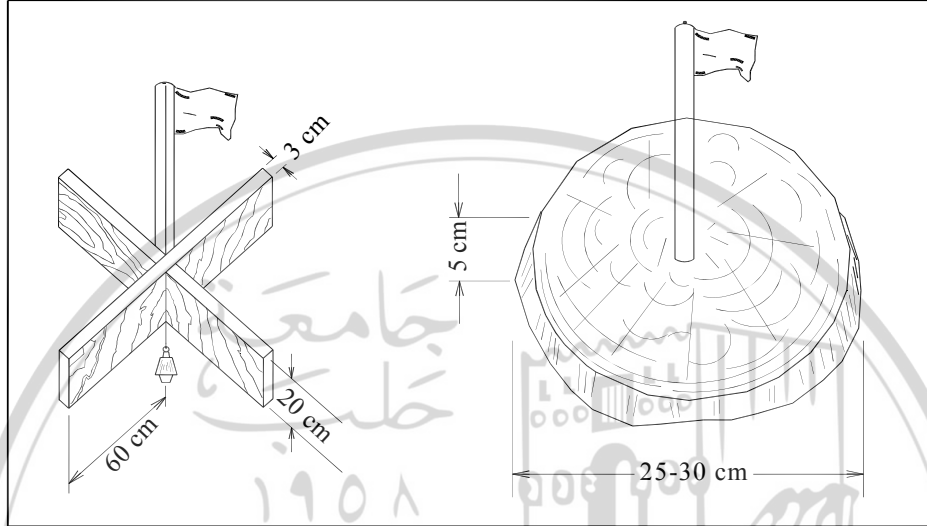
تستخدم لهذا الغرض عدة طرق من أهمها :

أولاً - الطوافة

الطوافة عبارة عن قطعة خشبية مصنوعة من الخشب الجاف أو من جذوع

الأشجار الضخمة وذات أشكال وأبعاد مختلفة كما في الشكل رقم (7-7) .

تستخدم الطوافة لقياس السرعة السطحية للماء ، حيث تطفو على سطحه ومن خلال معرفة الزمن اللازم لقطع مسافة محددة يمكن حساب السرعة السطحية للماء ، ومن خلال تكرار التجربة عدداً من المرات يمكن استنتاج السرعة الوسطية للجريان ، التي تساوي تقريباً إلى 0.85 من السرعة السطحية للماء .

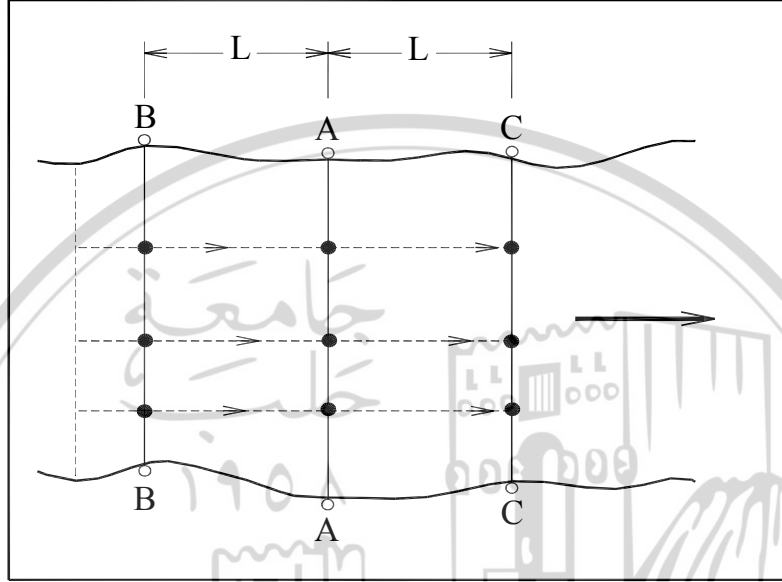


الشكل (7-7)

تستخدم الأجسام الطافية عموماً عندما لا يمكن استخدام طرق أدق منها لذا يجب إعادة القياسات عدداً من المرات واعتماد القيمة الوسطية لها ويفضل إجراء القياسات في الأحوال المناخية الجيدة ، وفي ساعات الصباح أو المساء حيث يكون الجو هادئاً و سطح الماء مستقراً . يتم في هذه الطريقة إنشاء محور عرضي رئيسي $A-A$ ومحورين آخرين ثانويين موازيين له المسافات بينهما متساوية . يسمى المحور الأول $B-B$ أمامياً والمحور الثاني $C-C$ خلفياً . تؤخذ المسافة بين كل محورين متجاورين بحيث تقطعها الطوافة في زمن يتراوح من 30 إلى 40 ثانية الشكل رقم (7-8) .

عدداً من المرات ثم تعتمد القيمة الوسطية لهذه القراءات ، ويتم تكرار قياس الزمن عدداً من المرات حتى يتم الحصول على دقة مطلقة في تعيين الزمن في حدود

0.1 sec . ومن أجل الأنهار العريضة فإن مراقبة تقاطع الطوافة مع المحاور المجسدة يتم باستخدام أجهزة التيودوليت . أما إذا كان عرض النهر لا يزيد على 100 m فإن المحاور المذكورة تجسّد بغرس وتدين متناظرين على ضفتي النهر ، وتشد بينهما حبال مدرجة بتدرجات محددة ، على أن تكون هذه الحبال مرتفعة قليلاً فوق سطح الماء .



الشكل (7-8)

ثانياً - البرّامة المائية

البرّامة المائية عبارة عن دولاب مركب عليه عداد كهربائي ومجموعة ريش تدور تحت تأثير مرور التيار المائي وتتناسب سرعة الدوران مع السرعة الخطية لجريان الماء ، لذا فهي تستخدم لقياس سرعة جريان الماء في الأنهار من خلال معرفة عدد دورات البرّامة التي يسجلها العداد الكهربائي تستخدم البرّامة المائية أيضاً لقياس تدفق المياه في المجاري المائية التي تزيد تدفقاتها على متر مكعب واحد في الثانية ، وتزيد أعماقها على قطر عنفة البرّامة . ولإجراء القياس يجب اختيار جزء مستقيم نسبياً من المجرى المائي حيث تقاس السرعة في عدد كاف من نقاط المقطع العرضي وعلى أعماق مختلفة ، الشكل رقم (7-9)، تستخدم هذه

القياسات لإيجاد العلاقة التي تربط بين السرعة الخطية للجريان وعدد دورات البرّامة المائية بالعلاقة ذات الشكل العام التالي :

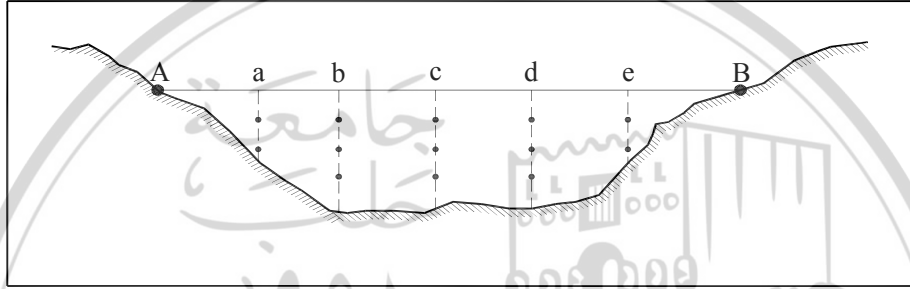
$$V = aK + b \quad (7.2)$$

حيث أن :

V - سرعة الجريان مقدرة بـ m / sec .

K - عدد الدورات في الثانية .

a, b - ثوابت يمكن إيجادها من خلال معالجة المعطيات والقياسات الفائضة وفق نظرية التربييعات الصغرى .



الشكل (7-9)

7.3 الأعمال المساحية في الجسور

بعد اختيار المواقع المناسبة لتنفيذ الجسور ، استناداً إلى المعطيات المذكورة في البند (7.1.1) والفقرة (7.2)، يحتاج تخطيط هذه الجسور إلى مخططات طبوغرافية مقياس $1/2000$ أو $1/1000$ على أن تتضمن هذه المخططات جميع التفاصيل الطبيعية والاصطناعية للموقع المدروس والمعالم الأساسية المهمة لسطح الأرض حول سرير النهر (جرف - مسيل - أثر منسوب الماء عبر السنين - ارتفاع ضفتي النهر - منشآت حيوية - مباني مهمة). وتمثيل تضاريس سطح الأرض بواسطة منحنيات تسوية ذات تباعد $(1-2 m)$. لإعداد مثل هذه المخططات نحتاج إلى تأسيس شبكة مستوية من الدرجة الرابعة مؤلفة من عدد مناسب من المثلثات ، بحيث تتوضع ذرواتها بالقرب من ضفتي النهر ، وفي المواقع الجافة والمستقرة ، وتثبت جيداً في الأرض بشكل نضمن بقاؤها . تقاس

جميع زوايا المثلثات وأضلاعها بأجهزة قياس مساحية دقيقة ، وتعالج هذه القياسات وتعدّل وفق نظرية التربيعة الصغرى ، ومن ثم الحصول على إحداثيات نهائية لرؤوس المثلثات ، ثم تكثف هذه المثلثات بشبكة من المضلعات حيث توزع نقاطها لتغطي مساحة الموقع المدروس بشكل منتظم ، وأن تكون كثافة هذه النقاط كافية لتنفيذ أعمال المسح المستوي ، كذلك الأمر تؤسس شبكة تسوية تستند نقاطها إلى مراجع التسوية الحكومية المتوفرة ضمن الموقع المدروس هذا ويجب تعيين منسوبات المراصد (رؤوس المضلعات) للاستناد إليها في تنفيذ عمليات المسح الارتفاعي . على هذه المخططات يتم اقتراح عدد من الحلول التي تحقق أهداف وغايات المشروع ، ثم تناقش هذه الحلول فنياً واقتصادياً ليصار إلى اختيار الحل الأمثل لموقع الجسر ، بحيث يكون طول الجسر أقصر ما يمكن والإقلال من هدر الأراضي الزراعية الغنية والأراضي الثمينة وتجنب هدم المنشآت الهندسية المهمة ذات القيمة الإنشائية أو المعمارية أو التاريخية . بعد تثبيت الحل النهائي لموقع محور الجسر على المخططات الطبوغرافية ، يعطى لوناً مميزاً ويعتمد من قبل الجهات المختصة ، ثم تبدأ المباشرة بالأعمال المساحية اللازمة لإنتاج المخططات الطبوغرافية (لزوم الأعمال التنفيذية) للشريط الذي سيمر منه محور الجسر بمقياس ($1/1000$ أو $1/500$) ، وتبعد بين خطوط التسوية مقداره 0.5 m . على هذه المخططات يتم تحديد بداية ونهاية الجسر والمسافات الأفقية بين مراكز الركائز وتحديد المنشآت الملحقة به والمجاورة له وموقع المنشآت الداعمة للشاطئ (جدران استنادية مثلاً) وغير ذلك .

7.3.1 تجسيد الجسور على الطبيعة

إن تجسيد الجسور يعني غرس محاورها الطولية ، ومواقع محاور الركائز وأبعادها ، وتوقيع منسوبات أجزائها المختلفة على الطبيعة مباشرة حيث يحدد اتجاه الجسر بغرس نقطتين A و B تقعان على استقامة هذا المحور ، وذلك من خلال القياس المباشر على المخططات الطبوغرافية لعناصر غرس هاتين النقطتين استناداً إلى نقاط التثليث أو نقاط المضلعات المثبتة على المخطط بإحداثياتها المعلومة والمجسدة على الطبيعة ، بالقرب من موقع الجسر ، ولتجسيد ركائز

الجسور ومحاورها العرضية نميز بين حالتين.

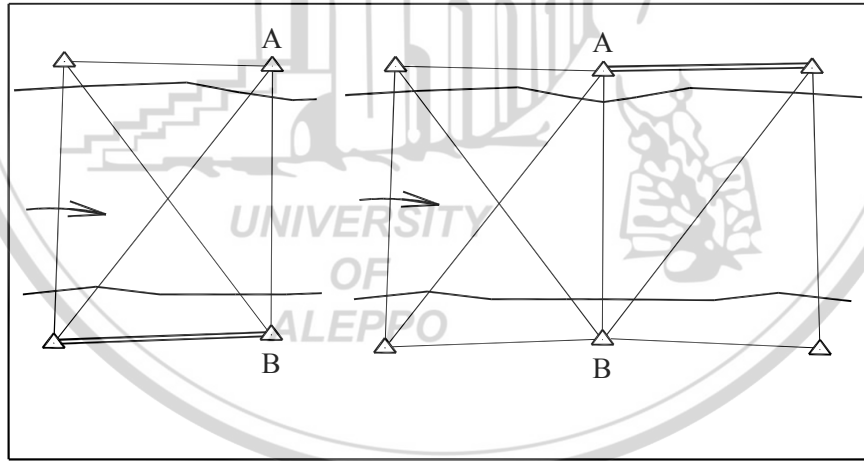
أولاً - عندما تكون فتحة الجسر صغيرة

يمكن تجسيد كافة مراكز الركائز بإجراء القياسات المباشرة اعتباراً من إحدى النقطتين A أو B المجسدين على طرفي النهر ، حيث يشد حبل فولاذي مدرّج بين هاتين النقطتين ، ويدقق وقوعه على الاستقامة AB بواسطة جهاز تيودوليت متمركز فوق إحدى النقطتين A أو B وبواسطة المسافات المعلومة بين الركائز ، تغرس مراكز هذه الركائز ، من خلال وضع إشارات أو علامات خاصة على جسر خشبي يصنع لهذه الغاية .

تجسّد المحاور العرضية لركائز الجسر باستخدام جهاز تيودوليت أو مثلث ضوئي أو أية وسيلة أخرى .

ثانياً - عندما تكون فتحة الجسر كبيرة

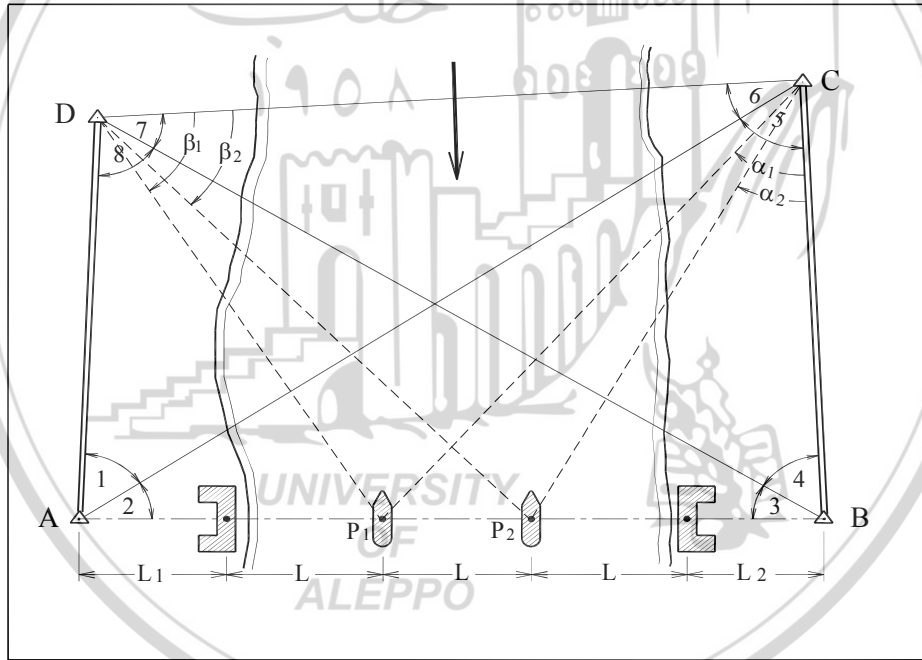
يمكن اللجوء في هذه الحالة إلى عمليات التثليث حيث تؤسس شبكة من المثلثات منسوبة إلى جملة الإحداثيات العامة ، أو إلى جملة إحداثيات محلية وتتألف هذه الشبكة غالباً من شكل رباعي منفرد أو شكلين رباعيين الشكل (7-10) بحيث يكون المحور AB ، أحد أضلاع الشكل الرباعي المنفرد ، أو الضلع المشترك بين الشكلين الرباعيين .



الشكل (7-10)

يتم اختيار الأشكال الرباعية بحسب الشروط المكانية والطبوغرافية ولكن من أجل الحصول على أشكال رباعية شبه منتظمة ، يجب المحاولة عند اختيار رؤوس هذه الأشكال على ضفتي النهر بحيث تتوضع بترتيب جيد. تقاس جميع الأضلاع والأقطار بواسطة قانس المسافات الإلكترونية ، وتقاس الزوايا باستخدام جهاز تيودوليت دقيق ، وذلك بتطبيق إحدى طرق قياس الزوايا المشروحة في كتاب المساحة (٣) ، وبأربع سلاسل على الأقل ، ومن ثم تعدل هذه القياسات وفق نظرية التربيعة الصغرى وتحسب الإحداثيات النهائية لرؤوس هذه الأشكال .

لتجسيد نقاط مراكز ركائز الجسور ، تستخدم طريقة التقاطع (تقاطع الاتجاهات) وذلك باستخدام أجهزة تيودوليت دقيقة . بواسطة المسافات المعلومة بين النقطة A ومراكز ركائز الجسر P_1 و P_2 والقياسات التي أجريت نستطيع حساب الزوايا α_1 و α_2 ، β_1 و β_2 الشكل رقم (7-11) .



الشكل (7-11)

يتم تركيز جهاز تيوموليت فوق النقطة A والتسديد باتجاه علامة (مارك) موضوعة فوق النقطة B على الضفة المقابلة من النهر (أو بالعكس) ، وتركيز جهاز تيوموليت آخر فوق النقطة C (مثلاً) والتسديد باتجاه مراكز الركائز مستفيدين من الزوايا المحسوبة α_1 و α_2 الموافقة للنقاط P_1 و P_2 . وبالتالي تتعين مراكز الركائز المجهولة من خلال تقاطع هذين الاتجاهين. لتدقيق صحة تجسيد هذه الركائز ، يستخدم جهاز تيوموليت ثالث يتمركز فوق النقطة D وباستخدام الزاويتين المحسوبتين β_1 و β_2 نستطيع التوجيه وفق اتجاه المراكز P_1 و P_2 . إن حاصل تقاطع الاتجاهات الثلاثة يعطي الموقع المطلوب .

أما إذا كانت فتحة الجسر كبيرة وأنشئ شكلان رباعيان فإن استخدام جهازي تيوموليت آخرين متمركزين فوق نقطتين من الرباعي الثاني من شأنه تجسيد مراكز الركائز بدقة أكبر .

7.3.2 تعيين فرق الارتفاع بين نقطتين تقعان على ضفتي نهر

يحتاج تنفيذ عناصر الجسور وفق المنسوبات التصميمية ، إلى تعيين ارتفاع عدد من النقاط المرجعية التي تقع على طرقي النهر أو الوادي ، والقريبة من موقع الجسر . ونظراً لصعوبة تركيز جهاز التسوية عند منتصف المسافة بين نقطتين متقابلتين على طريقي النهر ، لابد من اللجوء إلى استخدام طريقة الرصد المتعاكس أو طريقة التسوية المثلثاتية لحساب فرق الارتفاع بين هاتين النقطتين .

أولاً - طريقة الرصد المتعاكس

تستخدم هذه الطريقة عندما لا يكون عرض الوادي أو النهر كبيراً حيث يتم تركيز جهاز التسوية في الموقع 1 الشكل رقم (7-12) ، وبعد ضبط زبقياته جيداً تؤخذ القراءة الخلفية a_1 على الميرا المثبتة شاقولياً فوق النقطة A ، والقراءة الأمامية b_1 على الميرا المثبتة شاقولياً فوق النقطة B فيكون فرق الارتفاع بين النقطتين A و B مساوياً :

$$\Delta H_1 = R_1 - V_1 = a_1 - b_1 \quad (7.3)$$

ثم ينقل جهاز التسوية إلى الطرف الثاني من النهر أو الوادي ، وبعد تركيزه جيداً

فوق النقطة 2 . تؤخذ القراءة الخلفية a_2 على الميرا المثبتة شاقولياً فوق النقطة A وتؤخذ القراءة الأمامية b_2 على الميرا المثبتة شاقولياً فوق النقطة B فيكون فرق الارتفاع بين النقطتين A و B مساوياً:

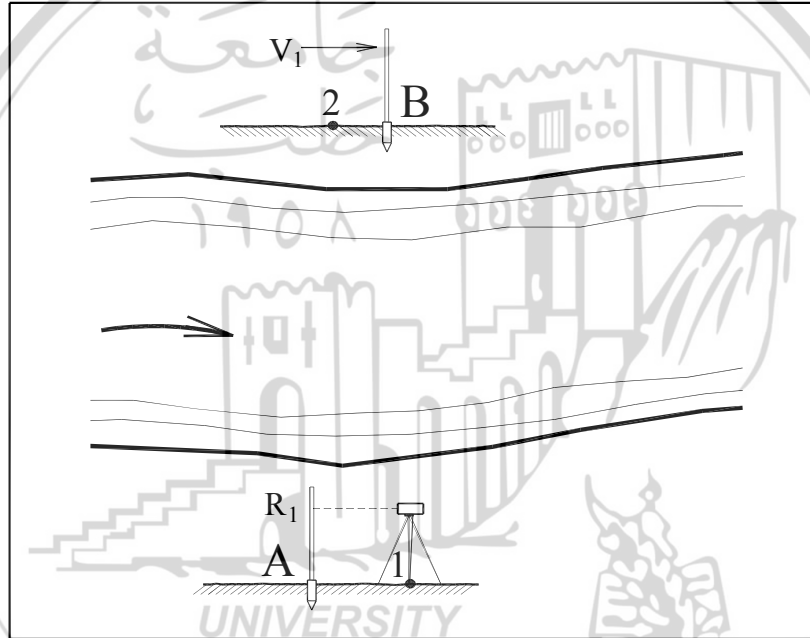
$$\Delta H_2 = R_2 - V_2 = a_2 - b_2 \quad (7.4)$$

يحسب وسطي فرق الارتفاع بالعلاقة التالية :

$$\Delta H = \frac{\Delta H_1 + \Delta H_2}{2} = \frac{(a_1 - b_1) + (a_2 - b_2)}{2} \quad (7.5)$$

وبالتالي يكون ارتفاع النقطة B مساوياً :

$$H_b = H_a + \Delta H \quad (7.6)$$



الشكل (7-12)

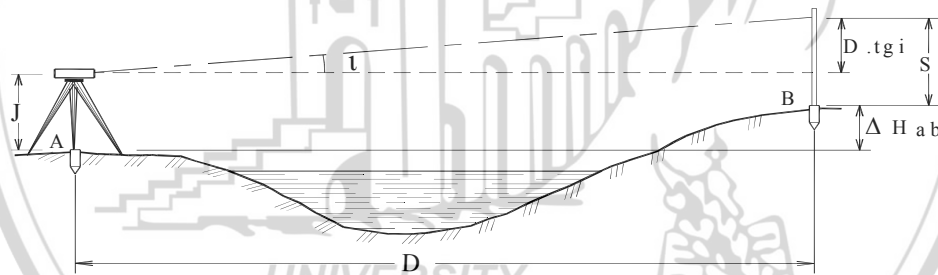
للحصول على نتائج دقيقة عند قياس فرق الارتفاع بين النقطتين A و B يجب أخذ كافة الاحتياطات والتدابير التي من شأنها الإقلال من ارتكاب الأخطاء العشوائية وحذف الأخطاء النظامية ، أي يجب أن لاتزيد المسافة بين نقطة تركيز الجهاز I والنقطة A على خمسة أمتار ، وكذلك المسافة بين الجهاز المثبت فوق

النقطة 2 والنقطة B ، وأن لا يقل ارتفاع خط الرصد عن المترين فوق سطح الماء والتوقف عن عمليات الرصد أثناء الحر الشديد وعند هبوب الرياح القوية ، وأن يقاس فرق الارتفاع بين النقطتين A و B تحت ظروف جوية متشابهة ، ويستحسن استخدام جهاز تسوية بدلاً من استخدام جهاز تسوية واحد ، على أن تكون دقتهما متقاربة . إن استخدام طريقة الرصد المتعاكس من شأنها حذف خطأ التوجيه الشاقولي في حال وجوده في الأجهزة المستخدمة ، وحذف الخطأ الناتج عن انحناء سطح الأرض وانكسار الأشعة .

ثانياً - طريقة التسوية المثلثاتية

تستخدم هذه الطريقة عندما يكون عرض الوادي أو النهر كبيراً وبعد التمركز بشكل جيد بواسطة جهاز تيودوليت عالي الدقة فوق النقطة A . تؤخذ القراءة على الميرا المثبتة شاقولياً فوق النقطة B ، كما في الشكل رقم (7.13) ، وقراءة الزاوية الشاقولية γ الكائنة بين خط الرصد والأفق ويكون فرق الارتفاع بين النقطتين A و B مساوياً :

$$\Delta H_1 = D \tan \gamma_1 + J_1 - S_1 \quad (7.6)$$



الشكل (7-13)

حيث إن :

J - ارتفاع الجهاز فوق النقطة A .

D - المسافة الأفقية بين النقطتين A و B .

S_1 - القراءة على الميرا الشاقولية .

γ_1 - الزاوية الشاقولية المحصورة بين خط النظر والمستوي الأفقي .

ثم ينقل جهاز التيودوليت إلى الطرف الثاني من النهر أو الوادي ، وبعد تركيزه فوق النقطة B ، تؤخذ القراءة S_2 على الميرا المثبتة شاقولياً فوق النقطة A ، و قراءة الزاوية الشاقولية γ_2 الكائنة بين خط الرصد باتجاه النقطة A والأفق ، ويكون فرق الارتفاع بين النقطتين A و B مساوياً :

$$\Delta H_2 = D \tan \gamma_2 + J_2 - S_2 \quad (7.7)$$

بهذه الطريقة يتم الحصول على فرقي الارتفاع ΔH_1 و ΔH_2 بإشارتين متعاكستين ، وبالتالي فإن فرق الارتفاع الوسطي ΔH يساوي :

$$\Delta H = \frac{\Delta H_1 + \Delta H_2}{2} \quad (7.8)$$

ومنه :

$$\Delta H = D \left(\frac{\tan \gamma_1 - \tan \gamma_2}{2} \right) + \left(\frac{J_1 - J_2}{2} \right) - \left(\frac{S_1 - S_2}{2} \right) \quad (7.9)$$

إن إشارة فرق الارتفاع في هذه العلاقة هي من إشارة ΔH_1 وبالتالي يمكن حساب ارتفاع النقطة B ، كما يلي :

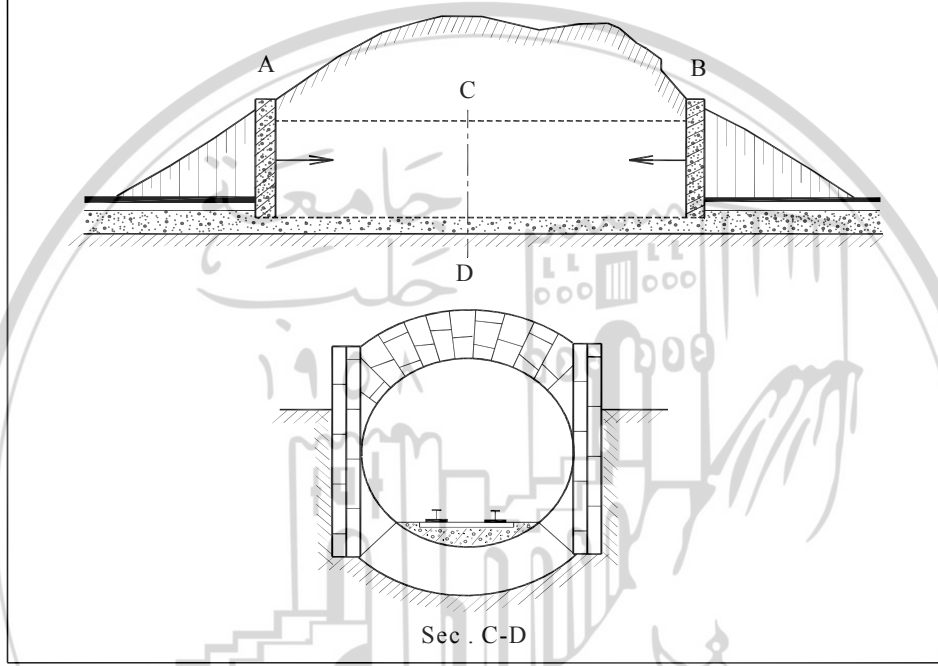
$$H_b = H_a + \Delta H \quad (7.10)$$

للحصول على نتائج دقيقة يجب اتخاذ نفس الاحتياطات والتدابير المذكورة في الطريقة الأولى . نظراً للإنتشار الواسع لمحطات الرصد المتكاملة في الوقت الحالي فإنه يمكن استخدام هذه الأجهزة لحساب فرق الارتفاع بين نقطتين تقعان على طرفين متقابلين من نهر أو واد ، بسرعة كبيرة ودقة أفضل ، على أن تؤخذ الاحتياطات اللازمة ، وذلك من أجل الإقلال من تأثير الأخطاء العشوائية على القياسات وحذف الأخطاء النظامية إن وجدت.

7.4 الأنفاق

تعتبر الأنفاق من المنشآت الهندسية المهمة التي تصادف غالباً ضمن شبكات الطرق وشبكات الخطوط الحديدية ، وخطوط المترو داخل المدن .

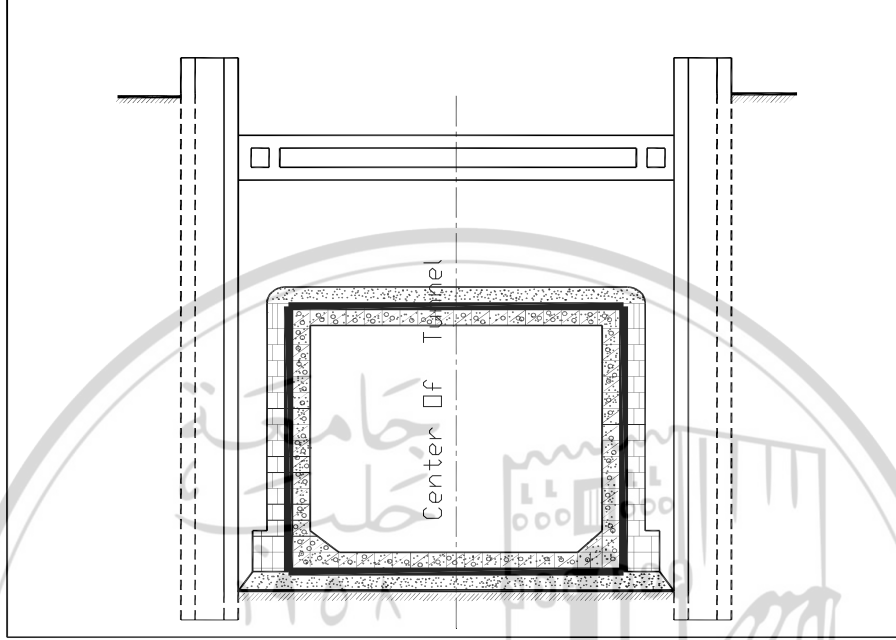
إن الغاية من بناء الأنفاق اجتياز الأنهار العريضة فيما إذا كانت نفقات إنشاء الجسور فوقها مكلفة ، أو إذا كانت الشروط الجمالية والمكانية والطبوغرافية لموقع المشروع تفرض ذلك . وأيضاً اجتياز الجبال عندما تكون تكاليف الالتفاف حولها أثناء التنفيذ ، أو مع مرور الزمن مرتفعة ، أو تكون شروط المرور غير آمنة واحتمال حدوث انهيارات وانزلاقات تتذر دائماً بخطر إغلاق الطريق لفترات طويلة الشكل (7-14) . كذلك يمكن استخدام الأنفاق أيضاً لأغراض وخدمات أخرى متنوعة ، ولا سيما في المدن الكبرى .



الشكل (7-14)

تتفد الأنفاق عادة وسط الشوارع العريضة في المدن ، حيث تحفر على شكل خنادق مفتوحة ، وعند الانتهاء من تنفيذ مختلف الأعمال الإنشائية وأعمال العزل المائي ، والأعمال المدنية الأخرى ، يردم النفق من جانبيه في وقت واحد وذلك لتجنب حصول أي انزلاق ، أو أي انزياح في الهيكل الإنشائي للنفق إلى جهة واحدة كما في الشكل رقم (7-15) ، الذي يبين مقطعاً عرضياً نموذجياً للنفق ، بعد تنفيذ الأعمال البيتونية وجدران الحماية وأعمال العزل المائي للنفق .

وفي حال مرور مسارات الأنفاق وسط الشوارع الضيقة وبالقرب من أساسات المباني السكنية والمنشآت الهندسية ، فيجب اتخاذ الاحتياطات الكافية لتجنب خطر حدوث أي انهيار أو انزلاق لهذه الأساسات ، وذلك بتدعيم الجدران الجانبية للأنفاق



الشكل (7-15)

والإسراع بتنفيذ الأعمال الإنشائية لجسم النفق على شكل أجزاء مؤلفة من قطع قصيرة ، حيث تردم مباشرة حتى الوصول إلى المنسوب المطلوب ، ومن ثم المباشرة بأعمال الحفريات اللازمة لتنفيذ الجزء التالي ، وهكذا ...

7.4.1 الأنفاق السطحية

لا يحتاج تخطيط وتجسيد محاور وعناصر الأنفاق السطحية ، إلى أعمال مساحية معقدة ، ويكتفى بإنشاء مضلعات مشدودة تحاكي مسار النفق لتأمين غرس عناصره الأساسية أفقياً ، وكذلك إنشاء مسارات تسوية تسامر مسار النفق لتأمين غرس عناصره المميزة ارتفاعياً . تنفذ الأعمال المساحية المستوية والارتفاعية ، وفق الأسس المشروحة في الفصل الأول من هذا الكتاب وكذلك تخضع دقة هذه القياسات إلى الشروط والقواعد المذكورة في ذلك الفصل .

7.4.2 تخطيط الأنفاق العميقة

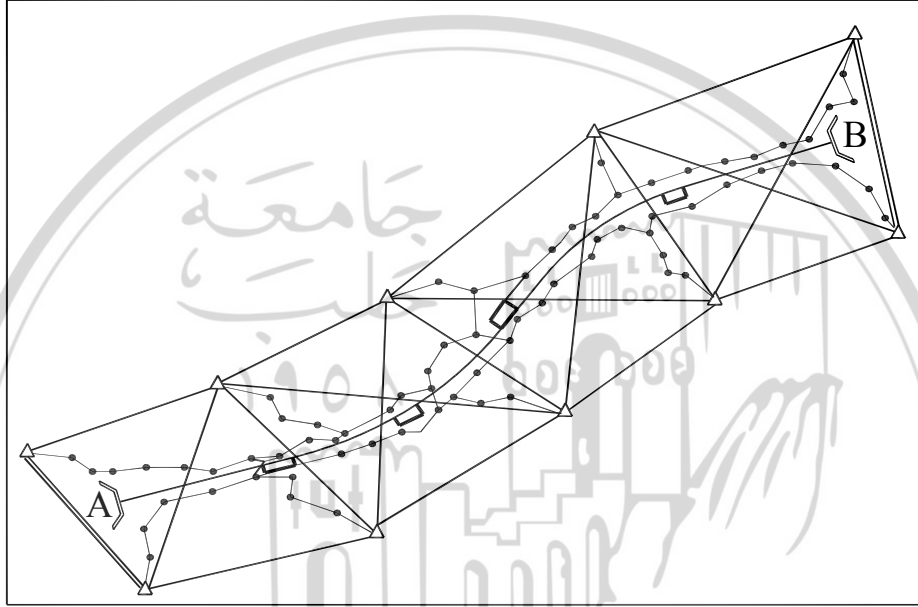
تعتبر الأنفاق عميقة إذا تجاوزت أعماقها الـ 20 m ، وتسمى بالأنفاق الطويلة والعميقة إذا تجاوزت أطوال مساراتها الـ 500 m .

تستخدم هذه الأنفاق غالباً لاجتياز الأنهار العريضة ، أو السلاسل الجبلية الطويلة ، وعند بناء مترو الأنفاق في المدن تمر وسط الشوارع وتحت الساحات العامة وأحياناً تحت الأبنية السكنية ، وفي هذه الحالة يجب أن تكون على أعماق كافية ولا بدّ من تدعيم جدران وسقف النفق وخاصة إذا كانت التربة ضعيفة أو مفككة وذلك لتجنب الانهيارات والحوادث المفاجئة .

إن الأعمال المساحية اللازمة لتخطيط الأنفاق لا تختلف كثيراً من حيث المبدأ عن تلك الأعمال المطلوبة لتخطيط شبكات المواصلات ، إذ لا بدّ من إجراء عمليات استطلاع شاملة وجمع المعلومات الأولية لتحديد عدد من المسارات الممكنة ، واختيار المسار الأفضل من بينها الذي يحقق غايات وأهداف المشروع . تبدأ عمليات التفتيش عن النقاط الجيوديزية المتوفرة ضمن المنطقة أو القريبة منها والتأكد من صحة معطياتها ، وتكثيف هذه النقاط كما رأينا سابقاً حتى الوصول إلى الكثافة المناسبة التي تلبي احتياجات التخطيط وغايات التنفيذ . أما إذا كان عدد النقاط الجيوديزية المتوفرة قليلاً ، فمن الأفضل إنشاء شبكة تثليث مستوية ومن درجة مناسبة على أن تأخذ شكل المسار المقترح حيث تغرس نقاط هذه الشبكة على المرتفعات بشكل يضمن بقاءها ويحقق الرؤية المتبادلة لعدد من النقاط المتجاورة ، وتوضع بطاقات وصف لها . يتم تكثيف شبكة التثليث بشبكة من المضلعات بحيث تتوضع ذرواتها أقرب ما يمكن إلى مسار النفق إن سمحت طبوغرافية الأرض بذلك . كما هو موضح بالشكل (7-16) .

يجب الانتباه إلى أن اختيار المسار المناسب للنفق لا يتعلق فقط بشكل الأرض وطبيعة التضاريس ، وهناك أسباب جيولوجية وهيدرولوجية وغيرها تلعب أيضاً دوراً مهماً . في تحديد المسار الأفضل .

باعتبار أن مسارات الأنفاق تأخذ شكلاً خطياً فيمكن استبدال شبكة التثليث ، بإنشاء مضلعات مشدودة تتوضع ذرواتها بالقرب من مسار النفق قدر الإمكان ، على أن تخضع هذه المضلعات لنفس الشروط والقواعد التي تخضع لها شبكة التثليث من حيث أطوال الأضلاع وقواعد قياس المسافات والزوايا ، وأن يكون لها نفس الدقة ، ويتم تكثيفها بعدد من المضلعات الأقل مرتبة ضمن الشريط المقترح لمرور المسار وحول مواقع المنشآت الهندسية الملحقة بالنفق .
تغرس هذه النقاط وتثبت بشكل يضمن بقاءها وتوضع بطاقات وصف لها .



الشكل (7-16)

تتخذ أعمال المسح التفصيلي والتعيين المستوي والارتفاعي للمعالم الطبيعية والاصطناعية ضمن الشريط المقترح وفق الطرق والأساليب والأسس المشروحة في الفصل الأول .

يتم إنتاج مخططات طبوغرافية بمقاييس صغيرة ($1/5000$ - $1/10000$) وتباعدها مناسب بين خطوط التسوية وبحسب شدة انحدار سطح الأرض ، يثبت مسار النفق على هذه المخططات ، وتغرس ذرواته على الطبيعة ومن ثم تبدأ عمليات المسح التفصيلي اللازمة لإنتاج مخططات طبوغرافية بمقاييس كبيرة

($1/2000 - 1/1000$) ، وتبعد بين خطوط التسوية من m إلى $2m$ وذلك للاستفادة من هذه المخططات لأغراض تنفيذية ، ومن ثم يتم ربط النقاط المميزة من مسار النفق بإحداثيات نقاط التثليث أو نقاط المضلعات الموجودة قرب المسار .

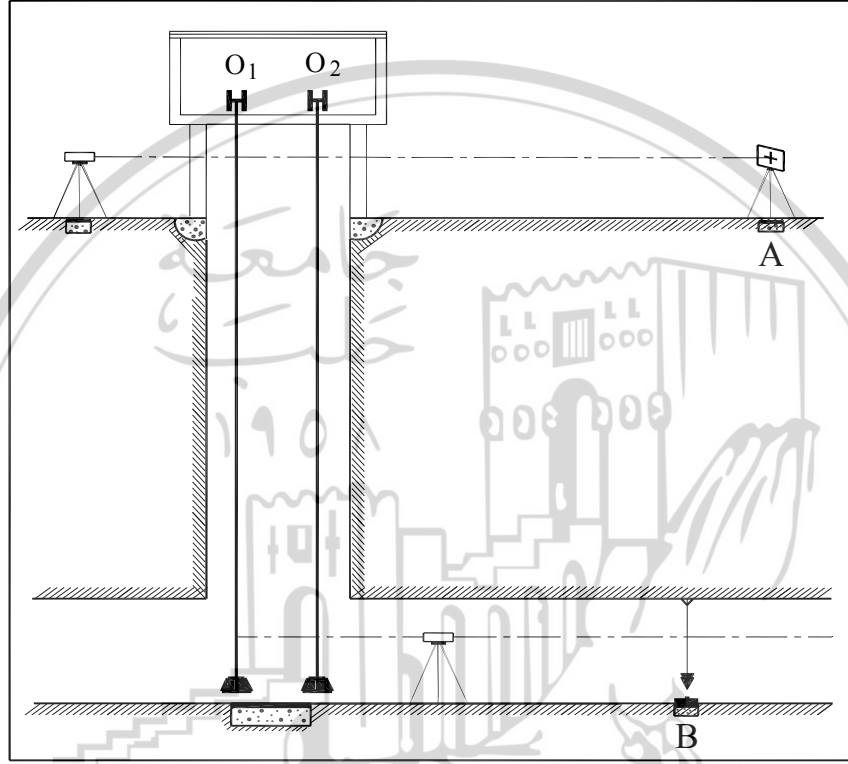
7.4.3 توجيه الأنفاق أفقياً

إن توجيه مسار النفق أفقياً ، يعني جعل اتجاهات أجزائه المستقيمة والمنحنية تحت سطح الأرض وفق الاتجاهات التصميمية لها فوق سطح الأرض أي أن يكون لها نفس السموت الاعتبارية . هناك عدد من الطرق لتوجيه مسار النفق في المستوى الأفقي باستخدام مختلف الأجهزة المساحية . سنبيّن فيما يلي إحدى طرق توجيه المسار أفقياً ، وتتلخص من خلال الإسقاط العمودي لنقطتين من مسار النفق حيث تعتبر هذه الطريقة سهلة التطبيق ولا تحتاج إلى تجهيزات معقدة وذات دقة كافية ، كما أنها أعطت نتائج تجريبية جيدة . يعتمد مبدأ هذه الطريقة الشكل (7-17) على مايلي :

بواسطة جهاز تيودوليت يتم التمرکز فوق نقطة ما من مسار النفق فوق سطح الأرض ، ومن ثم التسديد على شاخصة (مارك) تقع فوق نقطة ثانية من المسار فتكون استقامة هذا الجزء من النفق واقعة في المستوى الشاقولي الذي يمسحه المحور الضوئي لنظارة التيودوليت ، بعد ذلك يتم تحريك بكرتين واقعتين فوق بئر محفورة لهذه الغاية ، ويتدلى من كل منهما سلك معدني يحمل في نهايته ثقلاً مناسباً . حتى يقع هذان السلكان على استقامة واحدة (الاستقامة I - II) المجسدة بواسطة التيودوليت .

عند ذلك تثبت البكرتان بشكل جيد وينقل جهاز التيودوليت إلى داخل النفق أو باستخدام جهاز تيودوليت آخر حيث يتم تحريكه يميناً أو يساراً مع ثلاثية الأرجل ، حتى ينطبق السلكان مع الخط الشاقولي للمحكم بشكل تقريبي تثبت ثلاثية الأرجل جيداً ويحل برغي تثبيت الجهاز على القاعدة وتثبت الحركة الأفقية الخاصة والعامّة وتحرر الحركة الشاقولية وتدوير النظارة حول محورها الأفقي بمقدار 200° ، يصبح اتجاه المحور الضوئي وبحسب الشكل (7-17) باتجاه مسار النفق ، عندها تغرس نقطة أخرى من المسار وذلك بتوجيه مساعد يحمل

خيط مطمار أو شاخصاً حتى ينطبق مع الخط الشاقولي للمحكم ، وبذلك يكون نقل الاستقامة من فوق سطح الأرض إلى داخل النفق قد تحقق . يمكن وضع الجهاز في الجهة المقابلة من النفق وأنداك لا لزوم لتدوير النظارة حول محورها الأفقي وإنما الاتجاه الذي يصنعه السلكان هو الاتجاه المباشر لمسار النفق . بعد ذلك يتابع المهندس قياس المسافات والزوايا وحساب إحداثيات النقاط المميزة ونقاط الانعطاف كما لو أن العمليات المساحية انتقلت من سطح الأرض إلى داخل النفق .



الشكل (7-17)

يمكن التحقق من صحة تقدم الأعمال المدنية وفق المسار التصميمي للنفق وضبط خطأ الانحراف عن هذا المسار وتجنب الوقوع بالأغلاط بواسطة تكرار عملية توجيه النفق أفقياً ، خلال مسافات محددة (كل 500 m) تباعدها تتعلق بأهمية النفق وبالدقة المطلوبة في تجسيد عناصره ، أو يمكن حفر أبار وإسقاط نقطة واحدة إلى داخل النفق على الأقل ، فتكون هذه النقطة عبارة عن نقطة ضبط

للعمليات المساحية . تسمى هذه الآبار بآبار المراقبة المساحية .

تتعلق دقة توجيه النفق بهذه الطريقة ، بشكل كبير بدقة جهاز التيودوليت المستخدم وخبرة الراصد ، ومقدار تذبذب الأسلاك المعدنية ، ولإقلال من قيمة الخطأ الناتج عن تذبذب هذه الأسلاك يفضل أن تكون مصنوعة من خلائط معدنية جيدة ، وتعليق ثقل في نهاية كل منها بحيث يكون مقدار الثقل وقطر السلك متناسبين طردياً مع عمق النفق ، والجدول رقم (6-1) يوضح العلاقة بين قطر السلك والعمق والثقل المعلق .

الجدول (6-1)

قطر السلك . mm	الوزن المعلق . kg	عمق البئر . m
3	2	1
0.3	10	20
0.4	15	40
0.5	25	60
0.6	35	80
0.7	50	100
0.8	65	150

باعتبار أن المسافات داخل النفق غالباً ما تكون قصيرة ولا سيما في حال وجود منعطفات فإن تأثير الأخطاء الزاوية سيكون كبيراً ولا سيما خطأ التمرکز الذي يلعب دوراً كبيراً في دقة قياس الزوايا ، وللتخفيف من هذه الأخطاء لا يكفي فقط استخدام أجهزة عالية الدقة وإنما يجب اتخاذ كافة الاحتياطات الممكنة من خلال تكرار القياسات والتمرکز الدقيق وضبط شاقولية الشواخص المرصودة ، والتسديد الدقيق على هذه الشواخص والاهتمام بتقدير أجزاء الثواني بشكل صحيح عند قراءة الزوايا .

7.4.4 توجيه الأنفاق شاقولياً

يقصد بتوجيه الأنفاق في المستوي الشاقولي ، نقل المنسوب التصميمي

لمحاورها وعناصرها الأخرى من سطح الأرض إلى داخل هذه الأنفاق ، وذلك استناداً إلى منسوبات مراجع التسوية القريبة من المسار على سطح الأرض ، أو منسوبات ذروات المضلعات الموجودة أيضاً بالقرب من المسار . حيث تعتبر هذه المناسيب المعطيات الأساسية لتوجيه النفق شاقولياً . هناك عدة طرق لإنجاز هذا العمل ، وسنبين إحدى هذه الطرق ، وهي لا تحتاج إلى تقنيات عالية ، وقد تم اختبارها تجريبياً فكانت نتائجها ذات دقة جيدة . نقوم بتثبيت بكرة يتدلى منها شريط معدني مدرج تتزايد تدريجاته اعتباراً من الأسفل إلى الأعلى ، داخل بئر محفورة إلى عمق قريب جداً من العمق التصميمي . يربط بهذا الشريط ثقل مناسب لمنع اهتزازه بحيث يكون الوزن متناسباً طرداً مع طول الشريط كما وجدنا في البند السابق ثم نضع الميرا مدرجة فوق أقرب مرجع تسوية ، أو ذروة مضلع على سطح الأرض وتضبط شاقوليتها بشكل جيد ، كما في الشكل (7-18) وبواسطة جهاز نيفو تؤخذ القراءة a على الميرا المدرجة والقراءة ℓ_1 على تدريجات الشريط .

باستخدام جهاز نيفو آخر موضوع داخل النفق تؤخذ القراءة b ، على ميرا موضوعة بشكل شاقولي فوق نقطة ما من النفق ، والقراءة ℓ_2 على الشريط المعدني المدرج . بملاحظة الشكل رقم (5-6) ، نستطيع إيجاد ارتفاع النقطة b وذلك كمايلي :

$$\Delta H_{ab} = a - (\ell_1 - \ell_2) - b \quad (7.11)$$

ولكن :

$$H_b = H_a + H_{ab}$$

ومنه :

$$H_b = H_a - (\ell_1 - \ell_2) + (a - b) \quad (6.2)$$

حيث إن :

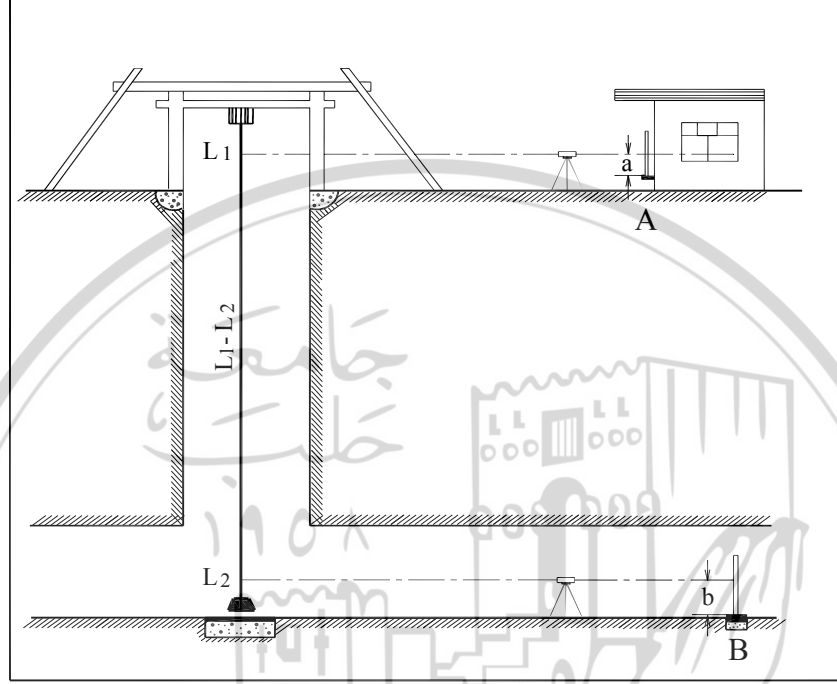
H_a - ارتفاع مرجع التسوية R_a .

a - القراءة على الميرا الموضوعة فوق مرجع التسوية R_a فوق الأرض .

b - القراءة على الميرا الموضوعة فوق النقطة B داخل النفق .

($\ell_1 - \ell_2$) - فرق القراءتين على الشريط المعدني المدرج .

يتأثر حساب منسوب النقطة B ، بالتفاوت الذي يمكن أن يحصل للشريط المعدني نتيجة لارتفاع درجة الحرارة تحت سطح الأرض ، ونتيجة للثقل المعلق بهذا الشريط وللاقلال من تأثير هذين الخطأين ، يفضل أن يكون الشريط مصنوعاً من خليطة



الشكل (7-18)

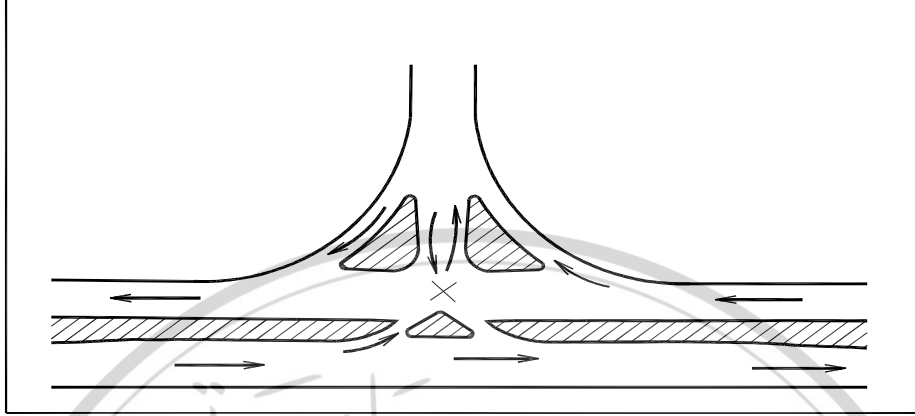
معدنية جيدة، ويفضل أن تؤخذ القراءة داخل النفق في الوقت نفسه الذي تؤخذ فيه القراءة فوق سطح الأرض وإجراء عدد من القراءات واعتماد القيمة الوسطية .

7.4.5 تجسيد المنحنيات الأفقية داخل الأنفاق

نظراً لأن المسافة بين محاور الأنفاق وجانبيها محدودة فإن القيود التي تفرضها الشروط المكانية قد لا تسمح بتجسيد المنحنيات الأفقية كما جاء في الطرق المشروحة في الفقرة (2.4) . والطريقة المناسبة التي يمكن اتباعها في هذه الحالة هي طريقة تجسيد المنحني الدائري استناداً إلى الأوتار المتتالية ، أنظر البند رقم (2.4.6) ، لأنها الطريقة المناسبة لتجسيد نقاط المنحنيات داخل الأنفاق

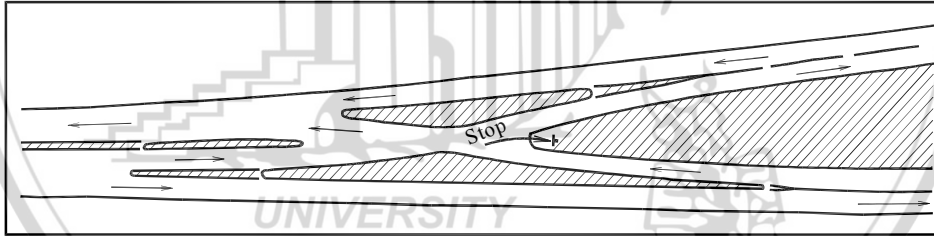
7.5 التقاطعات الطرقية

تتشكل عقد المواصلات من جراء تقاطع مسارين على الأقل ، ونتيجة لتوزيع تيارات حركة المرور عند هذه التقاطعات إلى عدد من الاتجاهات ، كما في



الشكل (5-19)

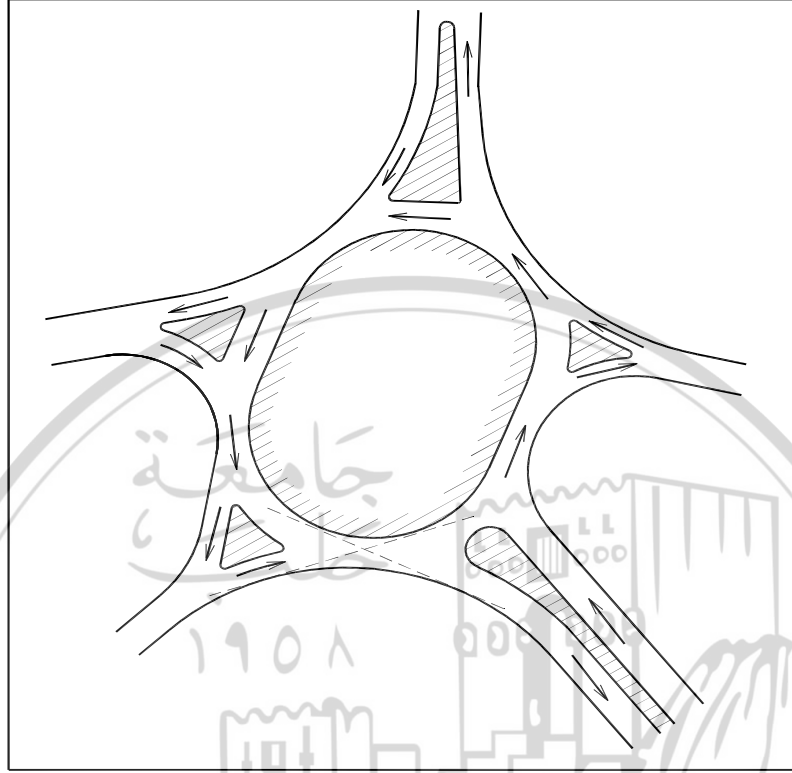
الشكل رقم (5-19) ، وبالتالي سوف تتولد نقاط تصادم متعددة بين العربات فيما بينها ، أو بين العربات والمشاة ، مما يؤدي إلى وقوع حوادث مرورية مختلفة . يتعلق تنظيم الحركة عند هذه التقاطعات بكثافة المرور ، حيث يتم تنظيم المرور عند التقاطعات البسيطة ذاتياً ، وقد يتطلب الأمر في بعض الأحيان استخدام إشارات ضوئية كما في الشكل رقم (4-20) .



الشكل (4-20)

ولكن إذا تجاوزت كثافة المرور حداً معيناً يصبح معه تنظيم الحركة ذاتياً بواسطة الدورات أمراً صعباً ، سواء أكان ذلك ذاتياً أم باستخدام شاخصات الدلالة وأنشد يجب التدخل وتنظيم هذه الحركة بواسطة الإشارات الضوئية . أما إذا كان التقاطع حاصلًا من جراء تقاطع أكثر من طريقين فإن مسألة

تنظيم حركة المرور تصبح أكثر صعوبة ولا بد من تنظيم هذه الحركة بواسطة الدورات ولكن دون استخدام الإشارات المرورية الشكل رقم (4-21) .



الشكل (4-21)

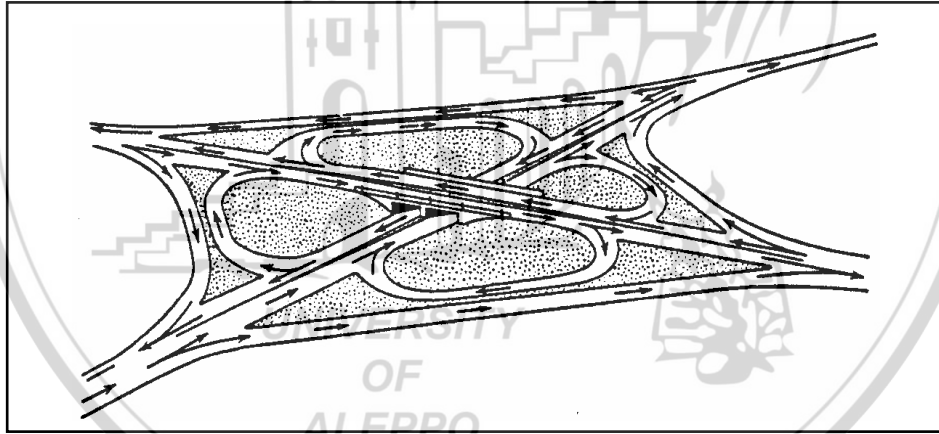
إلا أن زيادة غزارة حركة المرور وعدد نقاط التصادم في بعض التقاطعات وتأخير فترات المرور وهبوط السرعة أدت جميعها إلى التفكير بإيجاد طرق جديدة لتنظيم الحركة بشكل متكامل وفعال ، وخاصة عند العقد التي تصل فيها الحركة المرورية إلى مرحلة الأزمة ، فالحل الأفضل لتأمين سلامة المرور ، وحل الأزمات المرورية يتم عن طريق زيادة سرعة الحركة وتواصلها ، وذلك بإلغاء نقاط التصادم نهائياً ، وفصل العربات التي تتعارض عند التقاطعات بمستوى واحد ، من خلال تنظيم هذه الحركة في مستويات متعددة .

إن تصميم التقاطعات الطرقية ذات المستويات المتعددة ، يأخذ أشكالاً هندسية ونماذج متنوعة ، وذلك تبعاً لطبيعة تنظيم الحركة ، وتبعاً للشروط

الطبوغرافية والمكانية والمساحات المتوفرة المخصصة لإنشاء هذه التقاطعات .
هناك عدد كبير من النماذج لهذه التقاطعات ، ولكل نموذج سلبياته وإيجابياته ، حيث يبدو أحد هذه النماذج مناسباً جداً من النواحي الفنية والاقتصادية في موقع ما ، لكنه غير مقبول في ظروف أو مواقع أخرى ، وإن اختيار نموذج التقاطع يجب أن يتوافق مع المخطط العام للحركة في منطقة التقاطع وفي التقاطعات المجاورة ، لذا يتوجب دراسة العوامل التي تلعب دوراً أساسياً في اختيار نموذج التقاطع وذلك من حيث وجود المساحات الكافية في الموقع المدروس والإقلال قدر الإمكان من هدر المساحات ، وهدم المنشآت الهندسية والمباني السكنية .

تتألف هذه التقاطعات بشكل عام كما في الشكل رقم (4-22) من الأجزاء الرئيسية التالية :

- 1 - وصلات الانعطاف نحو اليمين .
- 2 - حلقات الانعطاف نحو اليسار .
- 3 - الحركة الأمامية .



الشكل (7-22)

من المفيد جداً معرفة خصائص شبكات المرافق العامة وإمكانية تصريف المياه السطحية ، ودراسة الخصائص الطبوغرافية للموقع حيث أن تضاريس سطح

الأرض تؤثر كثيراً في اختيار موقع التقاطع وشكل الأعمال الصناعية ، ومن المهم عند تصميم التقاطعات الطرقية دراسة إمكانية تصميم عناصر التقاطع ، من منحنيات أفقية وشاقولية ، واختيار أنصاف أقطار هذه المنحنيات ، واختيار الميول الطولية والعرضية وفق الأسس والمعايير والاعتبارات والقواعد اللازمة لتأمين سلامة المرور ، والأخذ بعين الاعتبار إمكانية تجسيد هذه العناصر على الطبيعة . كذلك يجب دراسة إمكانية الاستفادة من مساحة التقاطع لأغراض أخرى متنوعة . لتحقيق متطلبات الدقة في تصميم عناصر التقاطع ، وتجسيدها على الطبيعة يحتاج المهندس المصمم والمنفذ ، إلى مخططات طبوغرافية ذات مقياس كبير في حدود 1/500 ، وتباعدات بين منحنيات التسوية يتراوح من 0.25 m إلى 0.5 m وإنشاء مسارات تسوية عند محاور وأطراف الطرق المتلاقية ، على أن لا تتجاوز المسافة بين كل نقطتين متجاورتين من هذه المسارات 10 m . وتختصر إلى 5 m عند مركز التقاطع .

يتم غرس عناصر المنحنيات الأفقية استناداً إلى عدد من النقاط المعلومة الإحداثيات ، وإلى مراجع التسوية المتوفرة ضمن منطقة التقاطع ، وتستخدم طرق وأساليب التجسيد نفسها المشروحة في الفصلين الثاني والثالث ، وكذلك يتم إنشاء ورسم المقطع الطولي ، وتصميم المنحنيات الشاقولية ، وتجسيد عناصر هذه المنحنيات وفق الأسس والمبادئ والطرق المبينة في هذا الفصل . أما رسم المقاطع العرضية وحساب كميات الحفر والردم فيتم وفق الطرق المشروحة في الفصل اللاحق .

الفصل الثامن

قياس المساحات وحساب الحجوم والكميات

يعتبر حساب كميات الأتربة الناتجة عن الحفر، أو اللازمة للردم من أهم الأعمال في مشاريع الطرق وما يماثلها هندسياً، لأنها تؤثر بشكل مباشر في كلفة إنشاء تلك المشاريع. تستند طرق حساب الكميات بشكل أساس على تقسيم الحجم الكلي المطلوب تعيينه إلى عدد من الأجسام الفراغية بواسطة مستويات المقاطع العرضية، وعلى اعتماد فرضية ما لشكل الجسم الفراغي الناتج.

8.1 قياسات المقاطع العرضية

يعتمد حساب كميات الحفر والردم على معرفة شكل المقاطع العرضية على طول محور المشروع وحساب مساحات تلك المقاطع. بعد غرس النقاط المحددة للمقطع الطولي على الطبيعة بواسطة أوتاد خشبية وتعيين منسوباتها (كما جاء في الفصل الخامس)، يقوم المهندس بتحديد مقاطع عرضية عمودية على محور المشروع عند تلك النقاط، ثم يتم تحديد نقاط على هذه المقاطع بتباعدات تتعلق بطبيعة تضاريس سطح الأرض الطبيعية وبالدرجة المطلوبة في تعيين الحجوم علماً بأن أطوال المقاطع العرضية، أي امتدادها على يمين ويسار المحور الطولي مرتبط بأكبر أهمية المشروع، على أن لا يقل طول كل منها بأي حال من الأحوال عن مرة ونصف عرض الطريق. تقاس المسافات الأفقية وفروق الارتفاعات بين نقاط المقطع العرضي بالأساليب والأجهزة المستخدمة في تعيين المقطع الطولي وبواسطة هذه القياسات ترسم المقاطع العرضية لسطح الأرض الطبيعية مثبتاً عليها المقطع النموذجي للمشروع بمقياس أفقي يتراوح ما بين (1/50 و 1/200) ومقياس شاقولي يماثله. يؤخذ المقياس الكبير إذا كانت الدقة المطلوبة في تعيين الحجوم عالية، إلا أن هذا المعيار قد فقد أهميته نتيجة للتطور الحاصل في حقل العلوم والأجهزة والبرامج المساحية، وأصبح التعامل مع المعطيات الطبوغرافية رقمياً باستخدام الحاسوب ممكناً، وتعطي الأجهزة المساحية الحديثة نتائج الأرصاد

بشكل رقمي . تدوّن المسافات الأفقية على المقاطع العرضية اعتباراً من محور المشروع ، وبالمثل تدوّن ارتفاعات نقاط المقطع العرضي منسوبة إلى ارتفاع نقطة المحور التي تم عندها إنشاء المقطع كما في الشكل رقم (8-1) .

يتعلق رسم المقاطع العرضية ومعرفة ارتفاعات الردم ، أو أعماق الحفر وعرض الطريق المطلوب تنفيذه ، وميول جوانب الحفر أو الردم ، بنوعية التربة المحفورة ، أو المستعملة للردم ، وميول سطح الأرض الطبيعية باتجاه المقاطع العرضية من جهة ، ويفيدنا في حساب مساحات هذه المقاطع وتعيين مواقع الأعمال الصناعية ، وتثبيت حدود الاستملاك ، ودراسة تأثير المشروع على الجوار من جهة ثانية.

8.2 حساب مساحات المقاطع العرضية

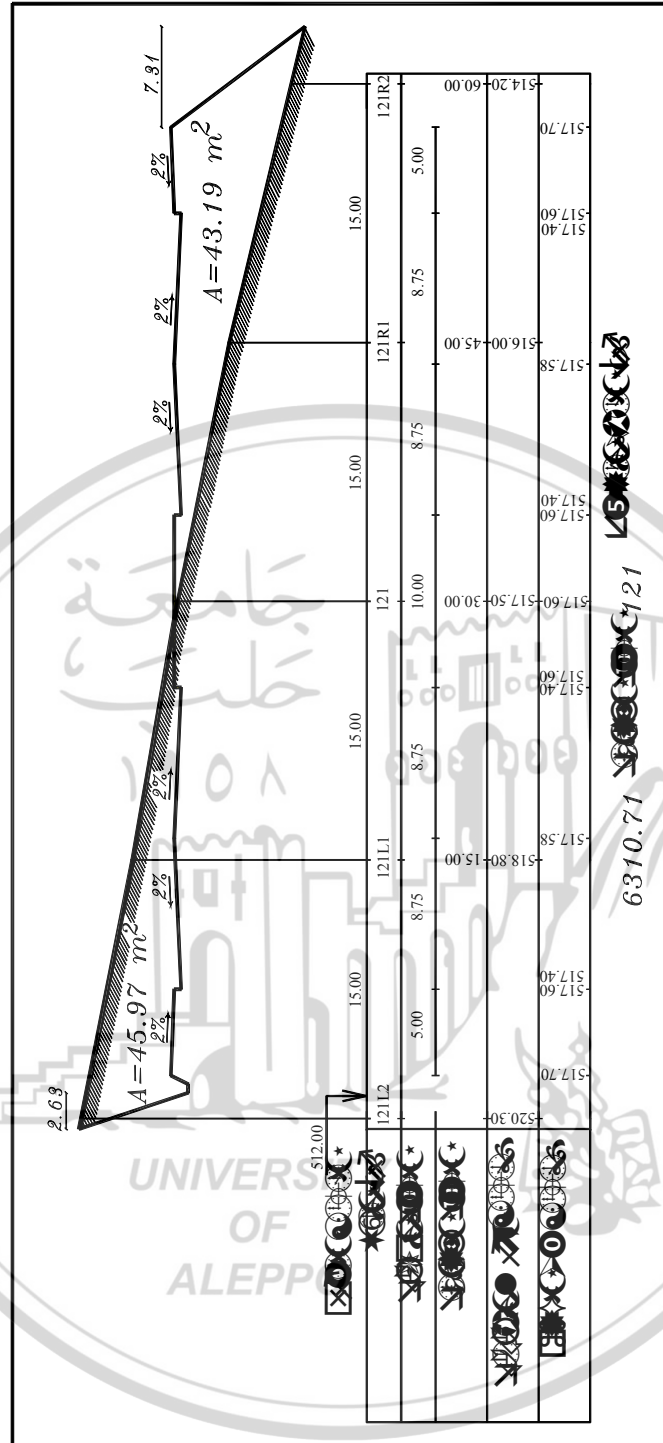
يعتبر حساب مساحات الأشكال مدخلاً لحساب الحجم وكميات الأتربة الناتجة عن الحفر ، ولحساب هذه الكميات لابد من حساب مساحات المقاطع العرضية أولاً ، ويتم ذلك بعدة طرق من أهمها :

• الطريقة التحليلية

ينسب كل مقطع عرضي إلى جملة إحداثيات محلية ، وغالباً يتم اختيار مركز هذه الجملة نقطة تقاطع محور الطريق مع المقطع العرضي حيث تحسب إحداثيات ذروات المضلع المغلق الناتج عن تقاطع سطح الأرض الطبيعية مع المقطع النموذجي للمشروع ، منسوبة إلى جملة الإحداثيات المحلية ، وبذلك نستطيع حساب مساحة أي مضلع مغلق بتطبيق إحدى العلاقات التالية :

$$A = \sum_{i=1}^{i=n} Y_i (X_{i+1} - X_i) + \frac{1}{2} \sum_{i=1}^{i=n} (X_{i+1} - X_i)(Y_{i+1} - Y_i) \quad (8.1)$$

$$A = \frac{1}{2} \left\{ \begin{aligned} &(Y_1 X_2 + Y_2 X_3 + \dots + Y_{n-1} X_n + Y_n X_1) \\ &- (X_1 Y_2 + X_2 Y_3 + \dots + X_{n-1} Y_n + X_n Y_1) \end{aligned} \right\} \quad (8.2)$$



الشكل (8-1)

• الطريقة الهندسية

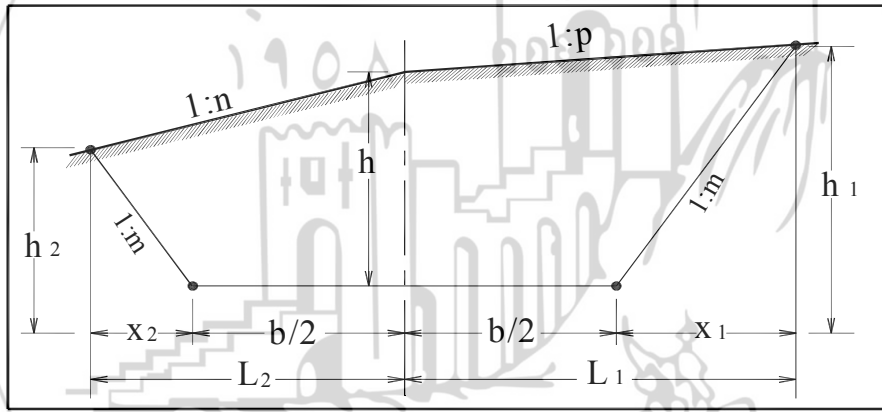
يعتمد مبدأ هذه الطريقة على تقسيم المضلع المغلق إلى عدد من الأشكال الهندسية البسيطة والشهيرة (مثلثات ، أشباه منحرفات مستطيلات) ، حيث يمكن قياس عناصرها على المخططات بسهولة وبالتالي حساب مساحتها بسهولة أيضاً .

• الطريقة الميكانيكية

يستخدم في هذه الطريقة جهاز البلانيمتر الميكانيكي أو الإلكتروني وهو أداة تستخدم لتعيين مساحة أي شكل هندسي مرسوم على مخطط ، بطريقة ميكانيكية ، ولأي شكل مغلق أضلاعه غير منتظمة .

• الطريقة الحسابية

لحساب مساحة المقطع العرضي المبين على الشكل رقم (8-2) ينبغي تعيين العناصر الأساسية التالية :



الشكل (8-2)

b - عرض المشروع .

h - المسافة الشاقولية من قاعدة المشروع حتى سطح الأرض الطبيعية عند المحور .

h_1, h_2 - المسافتان الشاقوليتان من قاعدة المشروع حتى تقاطع الجوانب المائلة للمقطع النموذجي مع الأرض الطبيعية .

e - ميل جوانب المشروع في المقطع النموذجي ويعطى على الشكل m : 1 حيث m يمثل طولاً أفقياً يقابل متراً شاقولياً واحداً .

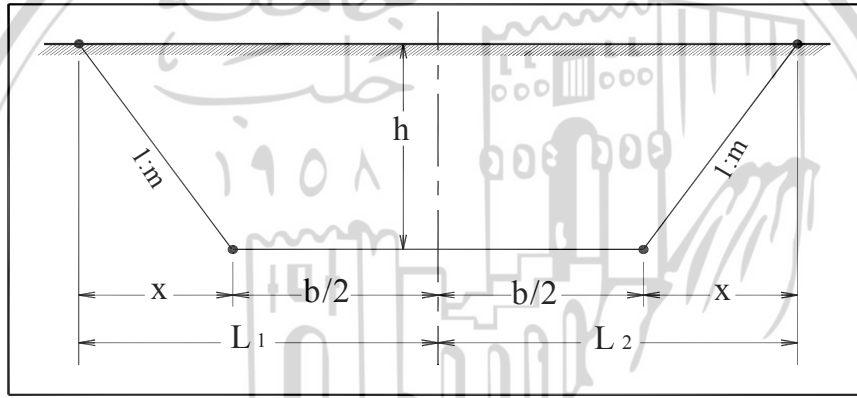
ℓ_1 , ℓ_2 - المسافتان الأفقيتان بين المحور ونقطتي تقاطع الميول الجانبية للحفر أو الردم مع الأرض الطبيعية .

i_1 - ميل الأرض الطبيعية إلى يمين المحور ويرمز له على الشكل P : 1 .

i_2 - ميل الأرض الطبيعية إلى يمين المحور ويرمز له على الشكل n : 1 .

يتم حساب مساحة المقاطع العرضية ، بحسب شكلها المحصور بين سطح الأرض الطبيعية ، و سطح الإنشاء ، والميول الجانبية ، وغالباً يصادف في الحياة العملية إحدى الحالات الأربعة المبينة في البنود التالية :

8.2.1 مقطع سطح الأرض الطبيعية أفقي



الشكل (8-3)

يبين الشكل رقم (8-3) مقطعاً عرضياً في منطقة حفر ، حيث يأخذ فيه سطح الأرض الطبيعية شكلاً أفقياً . تساوي مساحة المقطع العرضي في هذه الحالة مساحة شبه المنحرف المبين على الشكل رقم (8-3) حيث نجد إن :

$$L_1 = L_2 = \frac{b}{2} + x = \frac{b}{2} + m.h \quad (8.1)$$

وكذلك فإن :

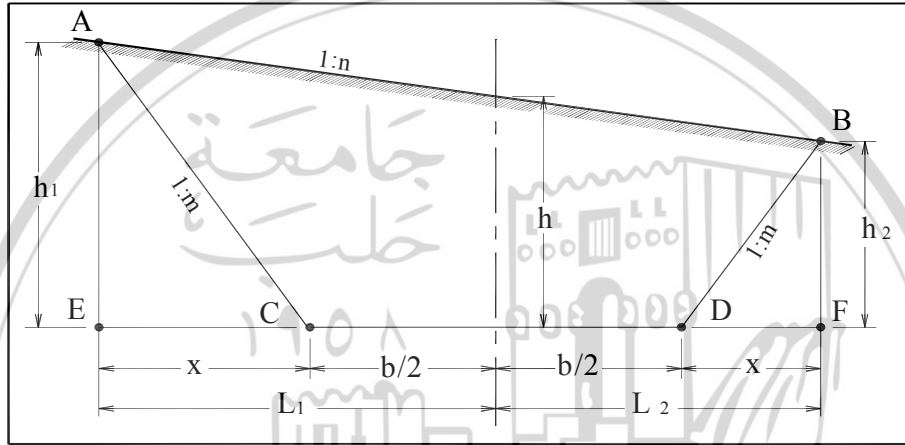
$$h = h_1 = h_2 = \frac{L_1 - b/2}{m} \quad (8.2)$$

وبالتالي ستكون مساحة المقطع مساوية :

$$A = \frac{1}{2}h(L_1 + L_2 + b) \quad (8.3)$$

8.2.2 مقطع سطح الأرض الطبيعية ذو ميل ثابت

يبين الشكل رقم (8-4) مقطعاً عرضياً في منطقة حفر ، حيث يأخذ فيه سطح الأرض الطبيعية ميلاً ثابتاً . تساوي مساحة المقطع العرضي في هذه الحالة مساحة شبه المنحرف المبين على الشكل رقم (8-4) حيث نجد من المثلث AEC إن :



الشكل (8-4)

$$\frac{h_1}{EC} = \frac{1}{m} \Rightarrow h_1 = \frac{EC}{m} = \frac{L_1 - b/2}{m} \quad (8.4)$$

كذلك :

$$\frac{h_1 - h}{L_1} = \frac{1}{n} \Rightarrow h_1 = h + \frac{L_1}{n} \quad (8.5)$$

من العلاقتين (8.4) و (8.5) يمكن كتابة :

$$\frac{L_1 - b/2}{m} = h + \frac{L_1}{n} \Rightarrow h = \frac{L_1}{m} - \frac{b}{2m} - \frac{L_1}{n}$$

ومنه :

$$L_1 \left(\frac{n-m}{n.m} \right) = h + \frac{b}{2m}$$

أي أن:

$$L_1 = \left(h + \frac{b}{2m} \right) \left(\frac{n-m}{n.m} \right) \quad (8.6)$$

كذلك من المثلث BDF ، وباتباع نفس الخطوات السابقة نجد :

$$\frac{h_2}{L_1 - b/2} = \frac{1}{m} \Rightarrow h_2 = \frac{L_2 - b/2}{m} \quad (8.7)$$

أيضاً :

$$\frac{h - h_2}{L_2} = \frac{1}{n} \Rightarrow h_2 = h \frac{L_2}{n} \quad (8.8)$$

من العلاقتين (8.7) و (8.8) نكتب :

$$\frac{L_2 - b/2}{m} = h - \frac{L_2}{n} \Rightarrow L_2 \left(\frac{m+n}{m.n} \right) = h + \frac{b}{2m}$$

ومنه :

$$L_2 = \left(h + \frac{b}{2m} \right) \left(\frac{n.m}{n+m} \right) \quad (8.9)$$

ومساحة المقطع تساوي :

$$A = \frac{h_1 + h_2}{2} (L_1 + L_2) - \frac{(L_1 - b/2)h_1}{2} - \frac{(L_2 - b/2)h_2}{2} \quad (8.10)$$

8.2.3 مقطع سطح الأرض الطبيعية ذو ميلين مختلفين

هذه الحالة تماثل الحالة السابقة ، ويمكن تطبيق القوانين ذاتها مع تعويض

الميل $1/s$ ، وذلك عند حساب h_2 و L_2 بالقيمة $1/p$ ، فتصبح العلاقات السابقة

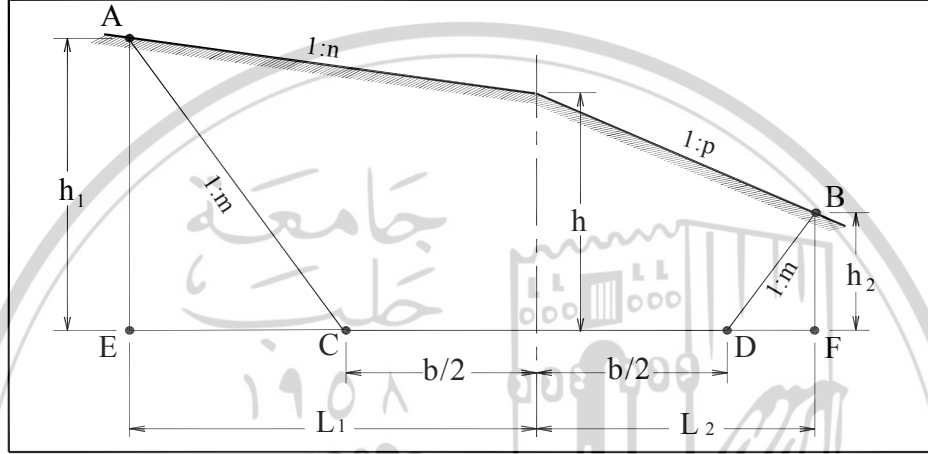
وبحسب الشكل رقم (8-5) كما يلي:

$$L_1 = \left(h + \frac{b}{2m}\right) \left(\frac{nm}{n-m}\right) \quad (8.11)$$

$$L_2 = \left(h + \frac{b}{2m}\right) \left(\frac{m \cdot p}{m+p}\right) \quad (8.12)$$

$$h_1 = \frac{L_1 - b/2}{m} = h + \frac{L_1}{n} \quad (8.13)$$

$$h_2 = \frac{L_2 - b/2}{m} = h + \frac{L_2}{p} \quad (8.14)$$



الشكل (8-5)

ومساحة المقطع تحسب بالعلاقة :

$$A = \left(\frac{h+h_1}{2}\right)L_1 - \frac{(L_1 - b/2)h_1}{2} + \left(\frac{h+h_2}{2}\right)L_2 - \frac{(L_2 - b/2)h_2}{2} \quad (8.15)$$

8.2.4 المقطع مختلط

بفرض أن المحور موجود في منطقة الردم ، وهي حالة المقطع المبين على

الشكل رقم (8-6) ، سيكون لدينا :

$$\left. \begin{aligned} d_1 &= \frac{b}{2} - n.h \\ d_2 &= \frac{b}{2} + n.h \end{aligned} \right\} \quad (8.16)$$

وأن :

$$\frac{h_1}{L_1 - b/2} = \frac{1}{m_1} \Rightarrow h_1 = \frac{L_1 - b/2}{m_1} \quad (8.17)$$

وكذلك :

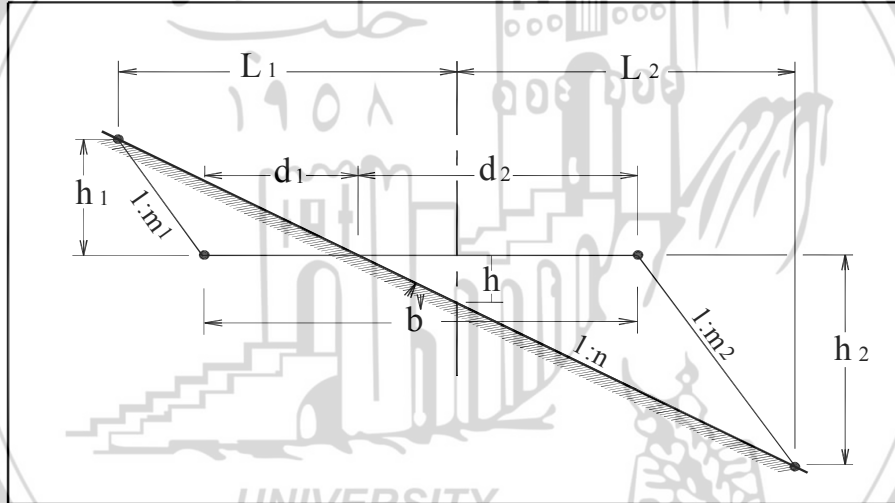
$$\frac{h_1}{\lambda_1 - n.h} - \frac{1}{n} \Rightarrow h_1 = \frac{\lambda_1 - n.h}{n} \quad (8.18)$$

من العلاقتين (8.17) و (8.18) نكتب :

$$\frac{L_1 - b/2}{m_1} = \frac{L_1 - n.h}{n}$$

ومنه :

$$L_1 = \left(\frac{b}{2m_1} - h \right) \left(\frac{n.m_1}{n - m_1} \right) \quad (8.19)$$



الشكل (8-6)

وتكون مساحة مقطع الحفر :

$$A_1 = \left(\frac{b}{2} - n.h \right) \frac{h_1}{2} \quad (8.20)$$

بالمثل نجد :

$$d_2 = \frac{b}{2} + n.h \quad (8.21)$$

وإن :

$$\frac{h_2}{L_2 - b/2} = \frac{1}{m_2} \Rightarrow h_2 = \frac{L_2 - b/2}{m_2} \quad (8.22)$$

وكذلك :

$$\frac{h_2}{L_2 + n.h} = \frac{1}{n} \Rightarrow h_2 = \frac{L_2 + n.h}{n} \quad (8.23)$$

من العلاقتين (8.22) و (8.23) نجد إن :

$$\frac{L_2 - \frac{b}{2}}{m_2} = \frac{L_2 + n.h}{n}$$

ومنه :

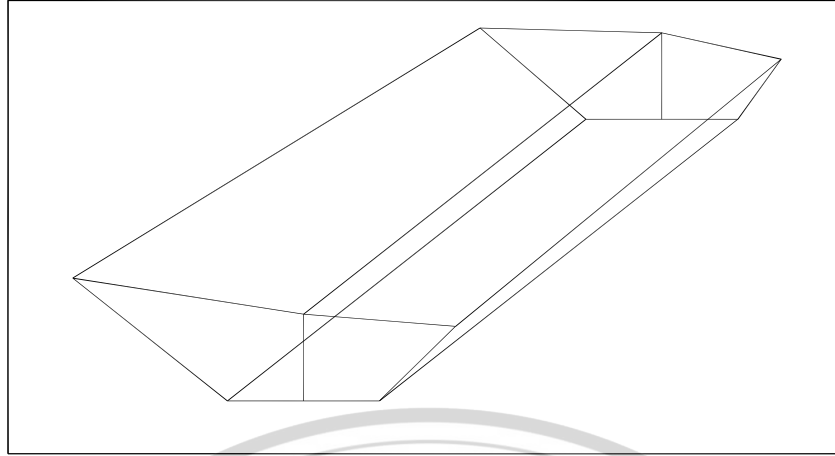
$$L_2 = \left(\frac{b}{2m_2} + h \right) \frac{n.m_2}{n - m_2} \quad (8.24)$$

وبالتالي ستكون مساحة مقطع الردم هي :

$$A_2 = \left(\frac{b}{2} + n.h \right) \frac{h_2}{2} \quad (8.25)$$

8.3 حساب كميات الحفر والردم باستخدام قانون حجم الجسم شبه الموشوري

الجسم شبه الموشوري هو شكل فراغي له وجهان واقعان في مستويين متوازيين وكل منهما مؤلف من مضلع مغلق، كما في الشكل رقم (7-8) وليس بالضرورة أن يكون لكل من الوجهين نفس عدد الأضلاع. يسمى هذان الوجهان بقاعدتي الجسم شبه الموشوري، أما الأوجه التي تصل بين هاتين القاعدتين فهي سطوح مستوية تسمى بالأوجه الجانبية للجسم شبه الموشوري. لحساب كميات الحفر والردم باستخدام قانون حجم الجسم شبه الموشوري يمكن اتباع إحدى الطريقتين التاليتين :



الشكل (8-7)

8.3.1 طريقة حساب الحجم باعتماد قانون سمسون للحجوم

لحساب حجم الجسم الفراغي بين المقاطع العرضية باستخدام قانون حجم الجسم شبه الموشوري ، نفترض بأن لهذا الجسم شكلاً هندسياً وأن القاعدتين واقعتان في مستويين متوازيين ، وهذا محقق على طول مسار المشروع المستقيم وغير محقق في حال وجود المنحنيات ، والحساب يعطي خطأ صغيراً يمكن إهماله ولا سيما عندما تكون هذه المنحنيات ذات أنصاف أقطار كبيرة ، وكذلك يجب أن تكون الأوجه الجانبية مستوية وهذا محقق في أغلب الحالات ، وإن لم يكن محققاً ، فالخطأ الناتج عن ذلك يمكن إهماله ، ولا سيما إذا كانت المسافات الجزئية بين المقاطع العرضية صغيرة . يحسب حجم الجسم الموشوري بالعلاقة :

$$V = L.a \quad (8.26)$$

حيث إن:

L - ارتفاع الموشور .

a - مساحة قاعدة الموشور .

لنرمز بـ a_1 لمساحة القاعدة الأولى للموشور ، وبـ a_3 لمساحة قاعدته الثانية وبـ a_2 لمساحة مقطع مواز لمستوي القاعدتين واقع في منتصف المسافة بينهما وموازي لمستوي كل من القاعدتين ، ويسمى بالمقطع الوسطي وبالتالي يمكن كتابة العلاقة (8.26) على الشكل التالي :

$$L.a_1 = \frac{L}{6}(6a_1) = \frac{L}{6}(a_1 + 4a_2 + a_3) \quad (8.27)$$

باستخدام الرموز الكبيرة للمتحويلات ، تأخذ العلاقة رقم (8.27) الشكل النهائي التالي :

$$V = \frac{L}{6}(A_1 + 4A_2 + A_3) \quad (8.28)$$

حيث إن :

V - حجم الجسم شبه الموشوري .

ويكون حجم الجسم شبه الموشوري الأخير ذو المقطعين النهائيين

A_{n-2} و A_n ، والمقطع الوسطي A_{n-1} :

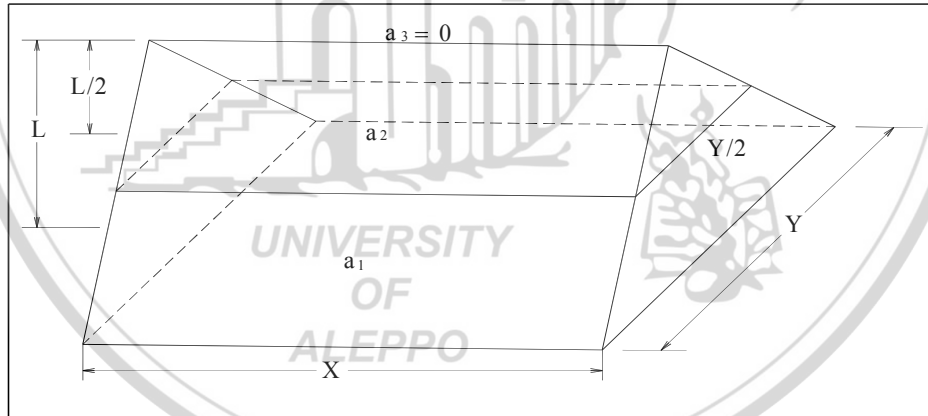
$$V = \frac{L}{6}(A_{n-2} + 4A_{n-1} + A_n) \quad (8.29)$$

لحساب كميات الحفر والردم باستخدام قانون حجم الجسم شبه الموشوري نقوم

بجمع هذه الحجوم فنحصل على الحجم الكلي التالي :

$$V = \frac{L}{6}(A_1 + A_n + 4 \sum_{i=2.5}^{n-1} A_i + 2 \sum_{i=2.5}^{n-2} A_i) \quad (8.30)$$

تسمى العلاقة (8.30) بقانون سمسون لحساب الحجوم ، ويستثنى من هذه



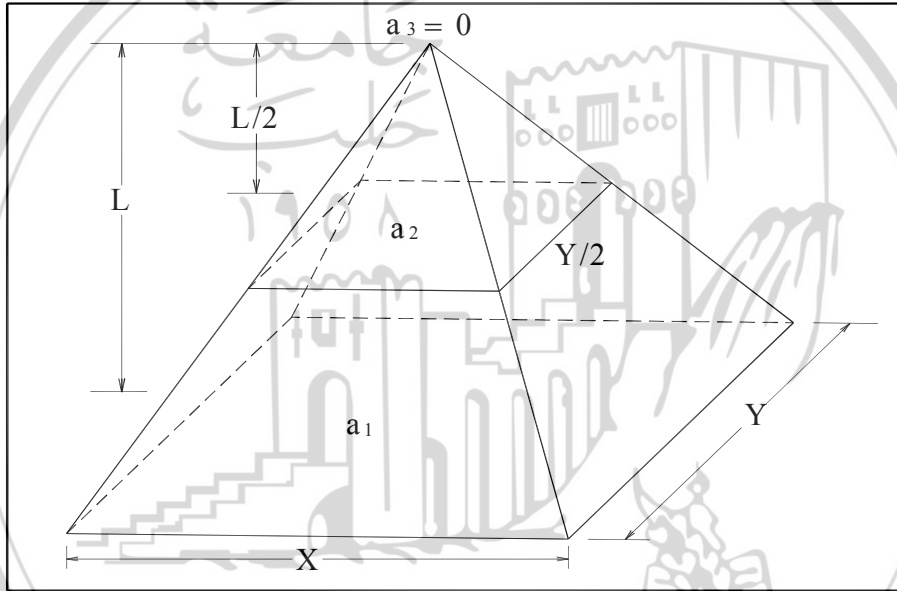
الشكل (8-8)

الطريقة في حساب حجم الجسم شبه الموشوري الحالة التي يكون فيها هذا الجسم
 ذا حرف كما في الشكل رقم (8-8) ، ففي مثل هذه الحالة يكون لدينا :
 نعوض بالعلاقة (8.28) ، فيصبح لدينا :

$$V = \frac{L}{6}(A_1 + 2A_1) = \frac{1}{2}LA_1 \quad (8.31)$$

كذلك تستثنى الحالة التي يكون فيها الجسم شبه الموشوري هرمياً ، كما في
 الشكل رقم (8-9) ، ففي هذه الحالة يكون لدينا ، وذلك بعد التعويض بالعلاقة
 (8.28) ، فنحصل على مايلي :

$$V = \frac{L}{6}(A_1 + A_1) = \frac{1}{3}LA_1 \quad (8.32)$$



الشكل (8-9)

8.3.2 طريقة حساب الحجم باعتماد المقاطع النهائية

نظراً لصعوبة تعيين المقاطع الوسطية ، إلا بإجراء قياسات مساحية إضافية وهذا يزيد من حجم الأعمال المساحية التي لا تعطي فائدة ملموسة أو بواسطة التوسط الداخلي ، وهي طريقة طويلة . لذا يمكن استخدام قانون تقريبي لحساب حجم الجسم الفراغي بين مقطعين عرضيين A_1 و A_2 باعتماد مساحة المقطع الوسطي للجسم شبه الموشوري ، تساوي تقريباً المتوسط الحسابية لمساحة المقطعين النهائيين (القاعدتين) ، وبذلك تأخذ العلاقة (8.28) الشكل التالي :

$$V = \frac{L}{2}(A_1 + A_2) \quad (8.33)$$



المراجع العربية

- ١- د. سامح جزماتي - الأعمال المساحية في الطرق ، كلية الهندسة المدنية جامعة حلب - ١٩٩٠.
- ٢- د. سامح جزماتي - المساحة (٣) ، كلية الهندسة المدنية - جامعة حلب ١٩٩٣.
- ٣- د. سامح جزماتي - المساحة (٤) ، كلية الهندسة المدنية - جامعة حلب ١٩٩٤.
- ٤- د. سامح جزماتي - الإحصاء و الأخطاء (١) ، كلية الهندسة المدنية - جامعة حلب - ١٩٩٣.
- ٥- د. يوسف صيام - أصول في المساحة ، كلية الهندسة - الجامعة الأردنية عمان - ١٩٨٣.
- ٦- د. يوسف صيام - مساحة المسارات ، كلية الهندسة - الجامعة الأردنية عمان - ١٩٩٢.
- ٧- د. يوسف مصطفى صيام ، د. عبد الله بن محمد القربي ، د. سعد بن عبد الرحمن القاضي - تغطية مساحية للطرق ، دار مجدلاوي للنشر ، عمان - ١٩٩٩.
- ٨- د. عبد الكريم الحلبي - الطرق ، كلية الهندسة المدنية - جامعة حلب ١٩٨١.
- ٩- د. سليمان الشامي - هندسة الطرق و الشوارع في المدينة ، كلية الهندسة المدنية - جامعة دمشق - ١٩٩٠.
- ١٠- د. محمد زهري جبوس - الطرق و المطارات ، كلية الهندسة المدنية جامعة دمشق - ١٩٧٨.
- ١١- د. حنايني - ميكانيك التربة ، كلية الهندسة المدنية - جامعة دمشق ١٩٩٧.

- ١٢- د. محمود فيصل الرفاعي - الهيدرولوجيا (١) ، كلية الهندسة المدنية
جامعة حلب - ١٩٩٠.
- ١٣- د. علي محمد الأسعد - الهيدرولوجيا (١) ، كلية الهندسة المدنية - جامعة
تشرين - ١٩٩٣.
- ١٤- د. عبد الكريم الحلبي - دليل الأساليب الحديثة لتصميم وإنشاء الطرق
مطبوعات جامعة حلب - ٢٠٠٣.
- ١٥- د. معن حبيب ، د. أنور الصيفي - المساحة لهندسة الري و الصرف
مطبوعات جامعة دمشق ٢٠٠٠.



المراجع الأجنبية

REFERENCES

- 1- Thomas F. Hickerson – Route Surveys and Design
- 2- Uren J. and Price W.F. Surveying for Engineers 1985.
- 3- Lefchoc G.P.– Nofak B.E., Lebedef N.N., Prekladnoy geodesy Moscow, 1983.
- 4- Klushen E.B., Mekelef D.SH.- Engenerna geodesya Moscow, 1990.
- 5- Lefchoc G.P., Nofak B.E., Gonosof B.G., Perkladnoy geodesya asnofnoy metod uprensepe ingenerna geodesecheske rabot – Moscow, 1981.
- 6- Lefchoc G.P. Cors Ingenernoy gedesy . Moscow 1987.
- 7- Poklad G.G. – Geodesya – Moscow, 1988.
- 8- Klemof O.D., Pesarenko B.K. – Practecom po prekladnoy geodesy – Moscow, 1991.
- 9- Rodion B.I. – Geodesya – Moscow, 1987.
- 10- David A.Brannan, Matthew F.Esplen, Jeremy J.gray – Engineering
- 11- Barry F.Kavanagh, S.J. Glenn Bird – Surveying principles and Applications.
- 12- Roger L.Brockenbrouth, Kenneth J.Boedecker, JR – Highway engineering hand book – Building and Rehabilitating the infrastructure.

UNIVERSITY
OF
ALEPPO



المصطلحات العلمية (عربي - إنكليزي)

- أ -

Direction	اتجاه
Coordinates	إحداثيات
Local Coordinates	إحداثيات محلية
Altitude ; Leight	ارتفاع
Slope	انحدار
Shift	انزياح
Refraction	انكسار
Reconnaissance	استطلاع
Derivation	اشتقاق
Closure	إغلاق
Railroad	السكة الحديدية
Curvature	انحناء
Standard deviation	انحراف معياري
Signal , survey mark	إشارة
Alignment	استقامة

- ٢٣٣ -

- ب -

Planimeter

بلانيمتر

- ت -

Contour interval

تباعد متساوي

Triangulation

تثليث

Setting out

تجسيد

Slope staking

تجسيد أوتاد الميول

Ordinate

تراتب

Tolerance

تساهل

Levelling

تسوية

Trigonometric leveling

تسوية غير مباشرة

Direct leveling

تسوية مباشرة

Deformation

تشوه

Minor Control

تضليع

Adjustment

تعديل

Detail

تفاصيل

Intersection

تقاطع

Resection

تقويم

Reiteration

تكرار

Interpolation

توسط داخلي

Extrapolation

توسط خارجي

Pointing

توقيع

Theodilite

تيودوليت

- ث -

Sentesimal second

ثانية مئوية

Tripod

ثلاثية أرجل

Level

جهاز تسوية

Volume

حجم

Temperature

حرارة

Cut

حضر

Catchment area

حوض ساكب

Conture line

خط تسوية

Map

خريطة

Topographic map	خريطة مساحية
Watershed line	خط الذرا
Line of slope	خط الميل
Error	خطأ
Random error	خطأ عرضي
Angular error	خطأ زاوي
Maximum error	خطأ أعظمي
Systematic error	خطأ نظامي
Standard error , standard deviation	خطأ متوسط التربيع
Absolute error	خطأ مطلق
Pipe line	خط أنابيب
Plumbline	خيوط مطمار
Divided circle	دائرة مقسمة
Degree	درجة
Centesimal minute (centigrade)	دقيقة مئوية
Degree of curvature	درجة الإنحناء
Vertex	ذروة (قمة)

Fill	ردم
Sight	راصد
Sight , shot	رصد
For word sight	رصد أمامي
Back word sight	رصد خلفي
Visibilisation	رؤية
Pier	ركيزة

Horizontal Angle	زاوية أفقية
Vertical Angle	زاوية شاقولية
Angle of sight	زاوية ارتفاع (ميل)
Deflection Angle	زاوية انزياح
Zenith Angle	زاوية سمتية
Nadir Angle	زاوية نظيرية

Sounding	سبر
Surface	سطح
Level surface	سطح سوية

Set

سلسلة

Zenith

سمت

Grid bearing

سمت اعتباري

- ش -

Pole , flag

شاخص

Vertical

شاقول

Network

شبكة

Steel tape

شريط فولاذي

Grid north

شمال الخريطة

Reflector

عاكس

Setting out

غرس (تجسيد)

- ف -

Abscissa

فاصلة

Difference in level

فرق تسوية

- ق -

Redundant observations

قياسات فائضة

Direct observations

قياسات مباشرة

Clothoid

كلوتويد

Interval

مجال - تباعد

Topographic plan

مخطط مساحي

Bench Mark

مرجع تسوية

Water ways

مسالك مياه

Topographer

مساح طبوغرافي

Ground survey

مساحة أرضية

Photogrammetry

مساحة تصويرية

Terrestrial photogrammetry

مساحة تصويرية أرضية

Aerial photogrammetry

مساحة تصويرية جوية

Arial survey	مساحة جوية
Vision distance	مسافة الرؤية
Horizontal distance	مسافة أفقية
Cumulative distance	مسافات تراكمية
Survey by bearing and distance	مسح بالإشعاع
Detail survey	مسح تفصيلي
Parcel	مَقْسَم
Cut section	مقطع حفر
Fill section	مقطع ردم
Mixed section	مقطع مختلط
Longitudinal profile	مقطع طولي
Transverse profile	مقطع عرضي
Scale	مقياس
For word tangent	مماس أمامي
Back tangent	مماس خلفي
Common tangent	مماس مشترك
Vertical curve	منحني رأسي
Horizontal curve	منحني أفقي
Circular curve	منحني دائري
Compound curve	منحني مركب
Reverse curve	منحني متعاكس
Transition curves	منحني وصل
Elevation	منسوب

Staff , sight pole

ميرا

- ن -

Radius of curvature

نصف قطر انحناء

Sexagesimal system

نظام (جملة) ستيني

Sentesimal system

نظام (جملة) مئوي

Inflection point

نقطة انعطاف

Tangent point

نقطة تماس

Geodetic point

نقطة جيوديزية

Digital terrain model

نموذج أرضي رقمي

Chord

وتر

Stake

وتد

Parameter

وسيط

Ranging

وضع الشواخص على الاستقامة

UNIVERSITY
OF
ALEPPO



تم تدقيق الكتاب علمياً من قبل :

الدكتور المهندس	الدكتورة المهندسة	الدكتور المهندس
محمد واصل نجم	صونيا سركييس	ابراهيم عثمان

تم تدقيق الكتاب لغوياً من قبل :

الأستاذ الدكتور عصام قصبجي

" حقوق الطبع والترجمة والنشر محفوظة لمديرية الكتب والمطبوعات "



