الفصل السابع

قياس المسافات بواسطة الأجهزة الكهرومغناطيسية

(٧,١) مقدمة

كنا قد شرحنا في الفصل الثاني من هذا الكتاب طريقة القياس المباشر للمسافات و ذلك باستخدام الشريط والجونيو وكيفية استخدام تلك الطريقة في جمع البيانات عن التفاصيل الموجودة على سطح الأرض لعمل الخريطة المساحية. ومنذ بداية الخمسينات للقرن الماضي أصبح بالإمكان استخدام الأجهزة الإلكترونية أو الكهرومغناطيسية لقياس المسافات بسرعة فائقة و دقة عالية. وتعتمد نظرية استخدام الأجهزة الكهرومغناطيسية لقياس المسافة على سرعة الضوء أو الموجات الكهرومغناطيسية الثابتة (299792.48 كيلومتر في الثانية) وقياس الفترة الزمنية التي تستغرقها الموجة الكهرومغناطيسية في قطع المسافة المطلوب قياسها [١]، [١١].

إن سرعة ودقة أجهزة قياس المسافات الإلكترونية كانت عوامل مهمة للإقبال على استخدامها خصوصاً في أعمال مسح المناطق الشاسعة التي تتطلب قياس مكشف لمسافات طويلة.

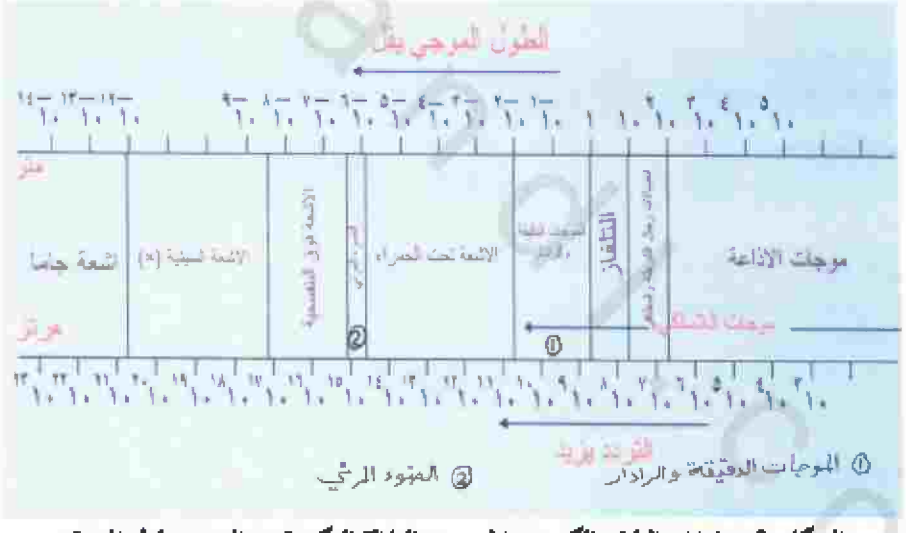
إن الموجات الكهرومغناطيسية ما هي إلا صورة اضطراب تنتشر بها الطاقة في الفراغ على شكل مجالين مترددين أحدهما مجال كهربائي والآخر مجال مغناطيسي. يتعامد

كل من هذين المجالين على بعضهما وكل منهما يتعامد مع اتجاه انتشار الموجة. وتتراوح أطوال الموجات للطاقة الشمسية التي تستقبلها الكرة الأرضية من الترددات المنخفضة ذات الطول العالي (10^{6} م) إلى الترددات المنخفضة ذات الطول القصير (10^{-6} م). ويوضح الشكل رقم (٧,١) العلاقة العكسية بين التردد وطول الموجة الكهرومغناطيسية.

وترتبط سرعة الموجة c بترددها f وطولها λ من خلال العلاقة التالية:

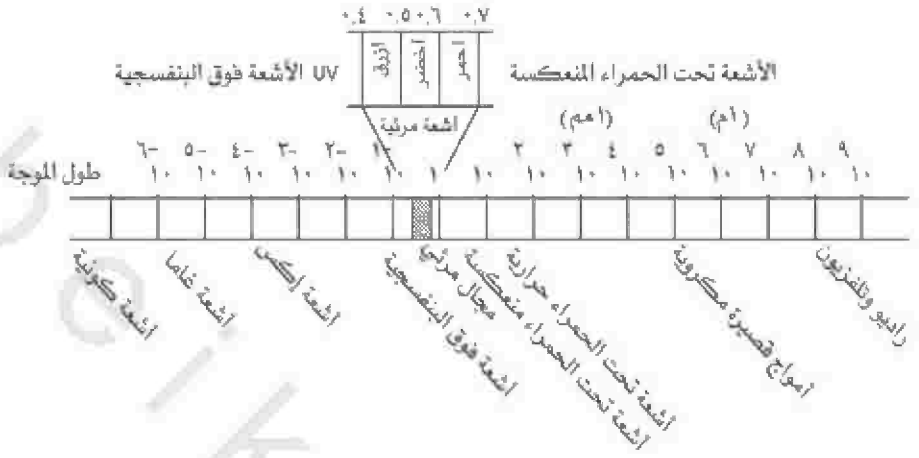
$$c = f * \lambda$$

وتجدر الإشارة إلى أن سرعة الموجة الكهرومغناطيسية في الفراغ ثابتة ولا تتغير بطول الموجة أو ترددها.



الشكل رقم (٧,١). الطيف الكهرومغناطيسي – العلاقة العكسية بين التردد وطول الموجة.

والجزء المهم جداً هو الجزء المرئي من الأشعة الشمسية و الذي يوضحه الشكل رقم (٧,٢) [١٢].



الشكل رقم (٧,٢). الطيف الكهرومغناطيسي ويظهر الجزء المرئي منه [١٢].

ويمكن تصنيف الأجهزة الإلكترونية لقياس المسافات على حسب مدى القياس أو على حسب طول الموجة المستخدمة.

(٧,٢) تصنيف الأجهزة الإلكترونية

هنالك نوعان رئيسيان من أنواع أجهزة قياس المسافات الكهرومغناطيسية:

١- الأجهزة الكهروضوئية والتي تستخدم الموجات الضوئية المعدلة والتي يتراوح طول الموجة فيها ما بين 0.4 إلى 1.2 ميكروميتراً وتشمل الموجات الضوئية المرئية المعدلة (طول الموجة 0.4 إلى 0.7 ميكروميتراً) و موجات الأشعة تحت الحمراء المعدلة (طول الموجة 0.7 إلى 1.2 ميكروميتراً) وهي أشعة غير مرئية تستخدم كموجات ناقلة في معظم أجهزة قياس المسافات القصيرة الكهرومغناطيسية.

٢- الأجهزة التي تعمل بالموجات الدقيقة. والتي طول الموجة فيها يتراوح بين 1 mm إلى 20 cm والموجات اللاسلكية (الراديوية) والتي يصل طول الموجة فيها إلى 1كم.

ويمكن تصنيف الأجهزة الإلكترونية على حسب مدى القياس إلى ثلاثة أنواع:

(٧,٢,١) أجهزة قياس المسافات قصيرة المدى

يمكن استخدام هذه الأجهزة لقياس مسافات في حدود الخمسة كيلومترات وتمتاز بأنها سهلة الاستعمال والقراءة و خفيفة الوزن. تعمل معظم هذه الأجهزة بإرسال الأشعة تحت الحمراء بطول موجة يتراوح بين 0.9 ميكروميتراً إلى 1 ميكروميتر. ولقياس مسافة أفقية بهذا الجهاز نحتاج إلى جهاز و عاكس. الجهاز يرسل الأشعة الكهرومغناطيسية ملحقاً به جهاز قياس الزوايا (الثيودليت) ومعالج إلكتروني صغير لحساب المسافة الأفقية وفرق الارتفاع وحلافه بالإضافة إلى بطارية كمصدر للطاقة لتشغيل الجهاز(الشكل رقم ٧,٣).

(ب) جهاز إلكتروني لقياس المسافات القصيرة HP 3808B [١٤].

(أ) جهاز قياس المسافة الكهرومغناطيسي على رأس جهاز قياس الزوايا [١٣].

الشكل رقم (٧,٣). نماذج من الأجهزة الإلكترونية الأولية لقياس المسافات القصيرة.

والعاكس مكون من منشور أو مجموعة مناشير عاكسة تقوم بعكس الموجات المرسلة من الجهاز الإلكتروني والذي يعمل كمرسل ومستقبل معاً (الشكل رقم ٧,٤). وهذه الأجهزة هي الأكثر استعمالاً في أعمال المساحة التفصيلية والطبوغرافية والعديد من التطبيقات الهندسية والتي لا يزيد فيها طول المسافة المطلوب قياسها على خمسة كيلومترات.

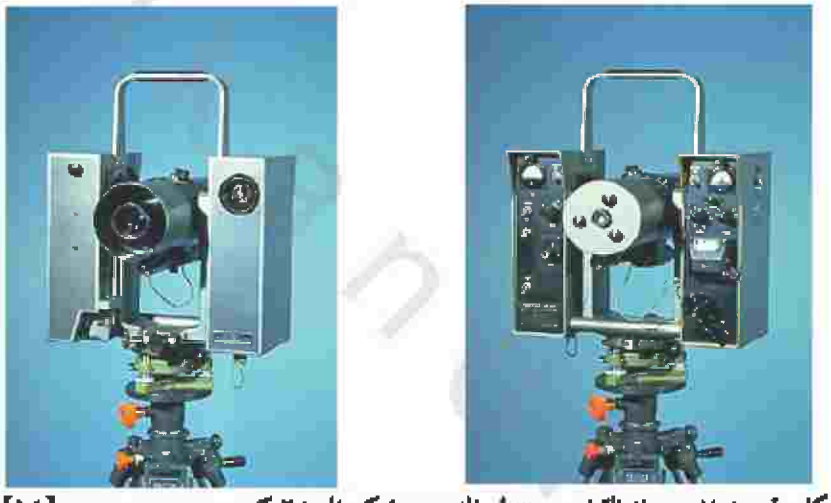
الشكل رقم (٧,٤). الوحدة العاكسة (العاكس) [١٣].

ومن الأمثلة لهذه الأجهزة جهاز الجيوديمتر Geodemeter 112 والذي يبلغ مدى القياس به 5.5 كيلومتر ويبلغ وزنه 2.6 كجم وتصل دقة القياس به (5mm + 5mm/km) ±. هذه الدقة تعني 5 مم خطأ ثابت إضافة إلى خطأ 5 مم في كل كيلومتر مقاس.

(٧,٢,٢) أجهزة قياس المسافات متوسطة المدى

يبلغ مدى هذه الأجهزة عشرات الكيلومترات وتعمل على أنواع مختلفة من الطاقة أكثرها استخداماً الموجات الدقيقة التي يتراوح طولها من 1 مم إلى 30 مم. إن بعض الأجهزة التي تعمل على الموجات الدقيقة تتألف من وحدتين متشابهتين ومنفصلتين

تحتوي كل منهما على الأدوات المطلوبة لعملية القياس مثل جهاز إرسال و جهاز استقبال وجهاز اتصالات هاتفية (الشكل رقم ٧,٥، والشكل رقم ٧,٦). يناسب هذا النوع من الأجهزة أعمال المساحة الجيوديسية وبعض المشاريع الهندسية. وكمثال لهذا الأجهزة يمكن أن نذكر جهاز MRA1 Tellurometer (الشكل رقم ٧,٧) والذي يتراوح مدى القياس به ما بين 300 متر كحد أدنى إلى 50 كيلومتر كحد أقصى ويبلغ وزنه 12 كيلوجراماً ودقة القياس به هي: (5mm + 10mm/km) ±.



الشكل رقم (٧,٥). جهاز القياس متوسط المدى (١٠ كم إلى ٢٥ كم) – Geodimeter 6A [١٤].

الشكل رقم (٧,٦). جهاز القياس متوسط المدى ، يقيس حتى ١٠ كم – Geodimeter 14 [١٤].

(٧,٢,٣) أجهزة قياس المسافات بعيدة المدى

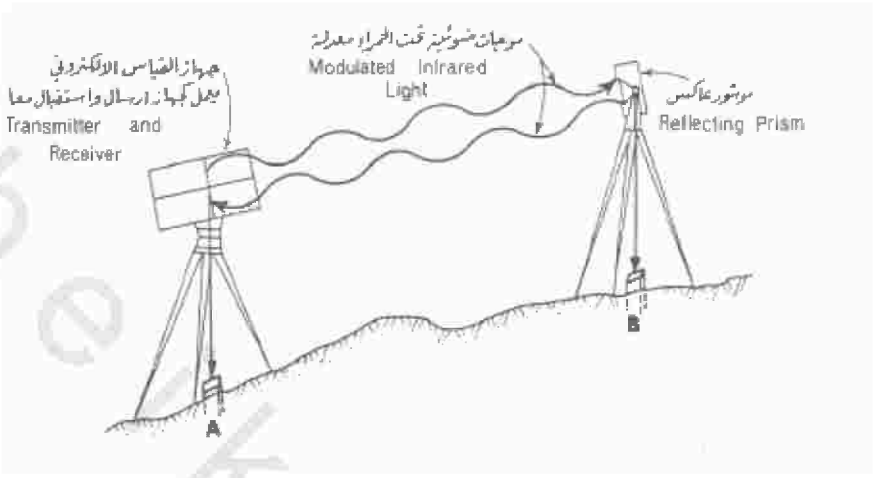
وهنالك من هذه الأجهزة ما يعمل بالموجات الدقيقة وتغطي قياس مسافات لعشرات الكيلومترات مثل جهاز التيلوميتر (الشكل رقم ٧,٤).

كما وأن هنالك منها ما يعمل بالموجات اللاسلكية (الراديوية) و يبلغ مدى القياس بهذه الأجهزة آلاف الكيلومترات و تعمل على الموجات اللاسلكية الطويلة والتي يبلغ طول الموجة منها 1كم أو أكثر. وغالباً ما تستعمل هذه الأجهزة في أعمال الملاحة الجوية والبحرية وبعض الأعمال التي تحتاج إلى قياس المسافات البعيدة. ومن الأمثلة نذكر جهاز Loran-C (لوران سي) والذي يبلغ مداه 2000 كيلومتر وجهاز Omega (أوميغا) والذي يبلغ مداه 8000 كيلومتر.

الشكل رقم (٧,٧). الجهاز الإلكتروني لقياس المسافات الطويلة 50 كم Telurometer MRA1 [١٤].

(٧,٣) مبدأ عمل الجهاز الإلكتروني لقياس المسافة

لقياس المسافة الأفقية بين النقطتين A و B يتم وضع الجهاز مع ملحقاته الأساسية من ثيودوليت وحاسب وبطارية على إحدى النقطتين، ولنفترض أنها النقطة A ويثبت العاكس على النقطة الأخرى B (الشكل رقم ٧,٨).



الشكل رقم (٧,٨). وضع الجهاز والعاكس لقياس المسافة الأفقية AB [١١].

يتم ضبط أفقية جهاز قياس المسافة الإلكتروني وجهاز قياس الزاوية (الثيودوليت) فوق النقطة A ومن ثم قياس ارتفاع مركز الجهاز فوق هذه النقطة A وقياس ارتفاع مركز العاكس فوق النقطة الأخرى B.

يتم رصد مركز العاكس بحيث تكون نقطة تقاطع الشعيرات الأفقية والرأسية لجهاز الثيودوليت منطبقة تماماً مع مركز العاكس.

بتشغيل جهاز القياس تطلق حزمة كهرومغناطيسية ذات تردد معدل باتجاه مركز العاكس الذي يقوم بعكس هذه الحزمة إلى الجهاز مرة أخرى فيستقبل الجهاز الحزمة المنعكسة من العاكس ويقوم بقياس الزمن الذي استغرقته الحزمة في قطع المسافة بين مركز الجهاز ومركز العاكس ذهاباً و إياباً (t) ثانية . فإذا افترضنا أن سرعة الحزمة الضوئية في الهواء هي v كيلومتر في الثانية فيمكن حساب المسافة S التي قطعتها الحزمة في مسيرها بين المركزين ، وهي المسافة الماثلة بين A و B ، من العلاقة التالية:

$$S = (1/2) * v * t \qquad (٧,١)$$

ومن المعلوم أن سرعة الموجة المغناطيسية في الفراغ قد تم حسابها بدقة عالية في المختبرات العلمية ، ووفقاً للاتحاد الدولي للجيوديسيا والجيوفيزيا فإن القيمة التي اعتمدت عام ١٩٥٧ لسرعة كل من الموجات الضوئية المرئية والموجات الدقيقة اللاسلكية في الفراغ هي: 0.4 ± 299792.5 كيلومتر في الثانية.

ولإيجاد سرعة الحزمة في الهواء فلا بد من القيام بتصحيح هذه السرعة على حسب تأثير العوامل الجوية (الحرارة والضغط الجوي و ضغط بخار الماء).

كما يتضح من العلاقة (٧,١) أنه لإيجاد المسافة بين المركزين لا بد من قياس الفترة الزمنية التي استغرقتها الحزمة في الذهاب والإياب بين المركزين (t) ، كما وأنه لا بد من مراعاة الدقة القصوى في قياس هذه الفترة الزمنية. وبما أن سرعة الحزمة عالية جداً فإنه من الصعوبة أن تقاس الفترة الزمنية بدقة عالية. ولذلك فإن معظم أجهزة قياس المسافات الإلكترونية تستخدم طرقاً غير مباشرة لقياس الفترة الزمنية تتلخص في قياس فرق الطور بين الموجات المرسلة و المستقبلة. ويمكن تعريف فرق الطور بأنه الفترة الزمنية، معبراً عنه بالدرجات الكهربائية، التي تتقدم أو تتأخر فيها موجة عن أخرى كما هو موضح في الشكل رقم (٧,٩).

الشكل رقم (٧,٩). فرق الطور بين الموجة المرسلة (الخط الثقيل) والموجة المستقبلة (الخط الخفيف) يقاس عند النقطة الإرسال A .

ويمكن تحويل فرق الطور الذي يسجله الجهاز بالدرجات إلى الفترة الزمنية t بالثواني ومن ثم حساب المسافة من العلاقة (7.1)، كما يمكن الرجوع إلى مراجع تهتم بالتفصيل في هذا الشأن مثل [١]، و[١١].

ولتحويل المسافة التي تم قياسها بين مركز الجهاز ومركز العاكس وهي المسافة المائلة بين النقطتين A و B إلى المسافة الأفقية بين النقطتين تظهر فائدة استخدام جهاز الثيودوليت في قياس الزاوية الرأسية بين خط الأفق و الخط المائل الذي يصل بين المركزين (α). وإذا افترضنا أن مركز الجهاز ينطبق على مركز الثيودوليت فإن المسافة الأفقية (D) بين النقطتين A و B تحسب من العلاقة التالية:

$$D = S * \cos \alpha \qquad (٧,٢)$$

وهنا تجب الإشارة إلى أن معظم أجهزة القياس الإلكتروني للمسافات تقوم بالجاز قياسات الطور لمختلف الترددات بشكل ذاتي و تظهر نتيجة القياس على شاشة خاصة بالجهاز بشكل نهائي و مباشر.

وقد تم دمج مكونات أجهزة القياس الإلكتروني السريع في جهاز واحد هو جهاز المحطة الشاملة Total Station (الشكل رقم ٧,١٠) والتي تستخدم لجمع بيانات تشتمل على مسافات أفقية و زوايا و فروق مناسيب و إحداثيات وتستخدم في تطبيقات عديدة مثل جمع البيانات لرسم الخرائط الطبوغرافية ولأعمال المساحة التفصيلية ولعمل النماذج الرقمية لسطح الأرض و لحساب كميات الحفر والردم في تشييد وتنفيذ المنشآت المختلفة وخاصة الطرق والخطوط الحديدية وقنوات الري.

(٧,٤) مصادر الأخطاء في القياس الإلكتروني

هنالك مصادر للأخطاء في قياس المسافة بالجهاز الإلكتروني نذكر منها:

١- عدم انطباق موقع نقطة انطلاق الحزمة الضوئية مع موقع نقطة مركز الجهاز وعدم انطباق مركز العاكس الفعلي (حيث تنعكس الحزمة) مع المركز النظري

(التصميمي) للعاكس. وبما أن هذا الخط يكون ثابتاً مهما كان طول المسافة التي يتم قياسها فيسمى الخطأ الثابت للجهاز constant error. وهذا الخطأ يمكن تصحيحه.

٢- إن تغير الظروف الجوية يؤثر على سرعة الحزمة الكهرومغناطيسية في الهواء. ولذلك يتم رصد درجة الحرارة والضغط الجوي. وتوجد مع الجهاز قائمة لتصحيح السرعة وبالتالي تصحيح المسافة المقيسة.

٣- عدم انطباق مركز الجهاز الإلكتروني مع مركز جهاز قياس الزاوية (الثيودوليت) واختلاف ارتفاع العاكس وارتفاع الهدف التي يصوب عليه من جهاز قياس الزوايا ، ولذلك يجب أخذ ذلك بعين الاعتبار عند تحويل المسافة المائلة إلى المسافة الأفقية بين النقطتين.

الشكل رقم (٧,١٠). جهاز المحطة الشاملة لشركة سوكيا SET2C [٢].

(٧,٥) مميزات القياس الإلكتروني مقارنة بالقياس بالشريط

يتميز القياس بالأجهزة الكهرومغناطيسية على القياس بالشريط أو الجنزير بـــأمور عديدة ، نذكر منها ما يلي:

١- سهولة استخدامها في قياس المسافات القصيرة والطويلة على حد سواء مهمـــا كان نوع تضاريس الأرض و خاصة عند وجود العوائق التي تـــشمل الأنهـــار والبحيرات والأودية والهضاب العالية وغير ذلك.

٢- سهولة تكامل الرصد بها مع استخدام الحاسوب في العمليات المساحية المختلفة.

٣- السرعة في استخراج المعلومات وإظهارها على شاشة الجهاز.

٤- سهولة تخزين البيانات وإجراء الحسابات.

٥- التصحيح الذاتي للكثير من مصادر الأخطاء.

٦- لا تحتاج لعدد كبير من العاملين في الميدان.

(٧,٦) تمارين

١- كيف تصنف أجهزة القياس الكهرومغناطيسي للمسافات؟

٢- أعط مثال لكل نوع من أجهزة القياس الكهرومغناطيسي.

٣- وضح النظرية التي بنيت عليها قياس المسافات بالأجهزة الكهرومغناطيسية.

٤- ما هي مكونات جهاز المحطة الشاملة الإلكتروني؟

٥- ما هي مصادر الأخطاء في قياس المسافات باستخدام الجهاز الكهرومغناطيسي؟ و كيف يمكن تصحيحها؟

٦- اذكر بعض مميزات القياس بالجهاز الكهرومغناطيسي مقارنة بالقياس بالـــشريط أو الجنزير.