المساحة والتوثيق المعماري

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

منشورات جامعة دمشق
كلية الهندسة المعمارية

المساحة والتوثيق المعماري

الدكتور
بشّار دحدل
مدرس في قسم الطبوغرافية
كلية الهندسة المدنية

الدكتور
سمير سلّوم
مدرس في قسم علوم البناء والتنفيذ
كلية الهندسة المعمارية

جامعة دمشق
1442 – 1443 هـ
2020 – 2021 م

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

الفهرس

الفصل الأول: مقدمة في المساحة	13
1–1 مقدمة	13
1–2 تعريف علم المساحة	15
1–3 أقسام المساحة	16
1–4 الشكل الهندسي للأرض	19
1–5 الجيوئيد	19
1–6 الإهليلج	20
1–7 المرجع الجيوديزي المحلي	23
1–8 نظم الإحداثيات	26
1–9 إسقاط الخرائط	30
1–10 أنواع الإسقاط	32
1–11 إسقاط ميركاتور العالمي (UTM)	34
1–12 نظم الإحداثيات المستوية	36
الفصل الثاني: قياس المسافات	**39**
2–1 أنواع القياسات الطولية	39
2–2 طرائق قياس المسافات	39
2–3 استعمال شريط القياس بالقياسات المباشرة	41
2–4 الأخطاء النظامية الناجمة عن استعمال شريط القياس	43
2–5 قائس المسافات الإلكتروني (EDM)	45
2–6 أجهزة القياس الكهروبصرية	47
2–7 أجهزة القياس بالموجات الدقيقة	48
2–8– تأثير انحناء الأرض في قياس الأطوال عند مستوى سطح البحر	50
2–9 تأثير الارتفاع في قياس الأطوال	52
2–10 مسائل عامة على أخطاء قياس المسافات	53
الفصل الثالث: القياسات والاخطاء	**57**

3–1 نظرية الأخطاء	57
3–2 أنواع القياسات	57
3–3 نظرية الأخطاء	58
3–4 تصنيف الأخطاء حسب مقدارها وقانون حدوثها	58
3–5 حساب قانون المتوسط اعتماداً على نظرية الأخطاء	60
3–6 معايير دقة القياسات المساحية: المتوسط والتشتت والانحراف المعياري	61
3–7 الفرق بين الدقة والصحة	65
3–8 مبدأ الوزن بالقياسات المساحية	67
3–9 نظرية استقلال الأخطاء	74
3–10 قانون انتشار الأخطاء متوسطة التربيع	74
3–11 تطبيقات على قانون انتشار الأخطاء متوسطة التربيع	75
3–12 مسائل على قانون انتشار الأخطاء متوسطة التربيع	76
الفصل الرابع: التسوية وقياسات الارتفاعات	**83**
4–1 تعريف التسوية	83
4–2 أنواع التسوية	84
4–3 مفهوم التسوية المباشرة	85
4–4 ملاحظات بالتسوية	90
4–5 جهاز النيفو وملحقاته	91
4–6 أنواع أجهزة النيفو	93
4–7 مسطرة التسوية (الميرا)	97
4–8 مراحل العمل على جهاز النيفو	101
4–9 أنواع مسالك (مسارات) التسوية	103
4–10 الخطأ الأعظمي المسموح (حد التساهل)	106
4–11 طرائق توزيع خطأ الإغلاق وتعديل مسارات الشبكة	107
4–12 أمثلة تطبيقية	108
4–13 شبكات التسوية الجيوديزية الهندسية	113
4–14 أخطاء التسوية المباشرة	115

4–15 تعديل شبكات التسوية وحيدة العقدة والتوزيع الموزون للخطأ	120
4–16 التسوية غير المباشرة	121
4–17 مسائل عامة بالتسوية	124
الفصل الخامس: المخططات الطبوغرافية وخطوط الكنتور	**137**
5–1 أنواع الخرائط	137
5–2 الخرائط والمخططات الطبوغرافية	137
5–3 الرموز والمصطلحات للمخططات الطبوغرافية	138
5–4 تمثيل التضاريس وخطوط الكنتور	139
5–5 رسم خطوط الكنتور	144
5–6 العوامل المؤثرة في اختيار القفزة الكنتورية	146
5–7 مقياس إنتاج خرائط الرفع والتصوير الطبوغرافية ومخططاتها	147
5–8 حساب ارتفاع نقطة ما على مخطط طبوغرافي	148
5–9 تعيين أماكن خطوط الكنتور على اللوحة	149
5–10 حساب مكعبات الحفر والردم (Cutting and Filling volume	151
الفصل السادس: أجهزة قياس الزوايا والاتجاهات	**155**
6–1 جهاز الثيودوليت	155
6–2 تصنيف الثيودوليت حسب طريقة رصد القراءة	156
6–3 تصنيف الثيودوليت حسب الدقة	157
6–4 أنواع محاور الثيودوليت	159
6–5 وصف جهاز الثيودوليت وأجزائه	161
6–6 العناية بجهاز الثيودوليت	168
6–7 مراحل العمل على جهاز الثيودوليت	169
6–8 أوضاع الرصد بجهاز الثيودوليت	179
6–9 رصد الزوايا الأفقية بطريقة الاتجاهات (طريقة قفل الأفق) أو (طريقة السلاسل)	180
6–10 رصد الزوايا الأفقية لمضلع مغلق	183
6–11 رصد الزوايا الشاقولية	184

6–12 الثيودوليت الرقمي	187
6–13 أجزاء الثيودوليت الرقمي	188
6–14 مصادر الأخطاء في قياسات الزواية	190
6–15 الأخطاء النظامية لقياسات الثيودوليت	190
6–16 أمثلة تطبيقية على الأخطاء النظامية لقياسات الثيودوليت	197
6–17 جهاز المحطة المتكاملة (Total Station)	201
6–18 أنواع أجهزة المحطة المتكاملة	203
6–19 الأجزاء الرئيسة لأجهزة المحطة المتكاملة على اختلاف أنواعها وملحقاتها	208
6–20 بعض المصطلحات المستعملة ببرامج بعض أجهزة المحطة المتكاملة	214
6–21 بعض البرامج المستعملة في أجهزة المحطة المتكاملة	218
6–22 مراحل العمل بأجهزة المحطة المتكاملة	219
6–23 التطبيقات غير المباشرة باستعمال المحطة المتكاملة	220
6–24 تأثير انحناء الأرض في قياس الزوايا	223
الفصل السابع: المساحة المستوية والاتجاهات	**225**
7–1 مقدمة بالمساحة المستوية	225
7–2 أنواع العمل المساحي المستوي	225
7–3 التعيين المستوي للنقاط	227
7–4 انواع الشمال والسموت	230
7–5 العلاقة بين الانحراف المختصر والانحراف الدائري (السمت)	233
7–6 السمت والسمت المعاكس	236
7–7 المسألة المساحية الأولى والمسألة المساحية الثانية (العكسية)	239
7–8 حساب إحداثيات مسقط أفقي لبناء	240
7–9 حساب إحداثيات مسقط شاقولي لواجهة بناء	244
7–10 حساب إحداثيات مضلع مغلق باستعمال طريقة السمت المعاكس	253
7–11 طرائق التعيين المستوي للنقاط: طريقة حل المثلث	255
7–12 طريقة التقاطع	259

7–13 طريقة التقويم	262
7–14 مسائل عامة في حساب الإحداثيات	268
الفصل الثامن : حساب المضلّعات (Traverse)	**275**
8–1 أنواع المضلّعات	275
8–2 الأعمال الحقلية لإنشاء مضلّع بالطبيعة (Traversing Fieldwork)	276
8–3 حساب السموت وفق الزوايا اليمينية واليسارية	278
8–4 خطوات تعيين إحداثيات نقطة مجهولة بطريقة المضلّعات	279
8–5 مسائل عامة في حساب الإحداثيات بطريقة المضلّعات	281
الفصل التاسع : قياس المساحات والحجوم	**293**
9–1 مقدمة	293
9–2 الطرائق الرياضية لايجاد المساحة	294
9–3 الطرائق التخطيطية لحساب المساحات	300
9–4 الطريقة الآلية لحساب المساحات	302
9–5 الطريقة التحليلية لايجاد المساحة	306
9–6 تقدير حساب مكعبات الحفر والردم للقطاعات الطولية والعرضية	311
9–7 معطيات المقاطع العرضية النموذجية	311
9–8 طرائق تقدير مساحة المقاطع العرضية	312
9–9 حساب مساحة المقطع العرضي بالطريقة التحليلية	320
9–10 حساب حجم الموشور	322
9–11 طرائق تقدير حساب كميات الحفر والردم للمقاطع الطولية	324
9–12 تقدير حساب كميات الحفر والردم اعتماداً على التسوية الشبكية	331
9–13 حساب كميات الحفر والردم اعتماداً على منحنيات التسوية	333
9–14 أمثلة تطبيقية على حساب الحجوم	335
الفصل العاشر : التوثيق المعماري والأنظمة المساحية المتقدمة	**357**
10–1 مفهوم التوثيق والحفاظ والترميم	357
10–2 دور المساحة المتقدمة بالتوثيق المعماري	359
10–3 تعريف نظم المعلومات الجغرافية	360

10–4 طرائق تمثيل المعطيات المكانية	368
10–5 عملية تكوين التفاصيل الطبولوجية	374
10–6 نمذجة البيانات	375
10–7 الاستفسار والتحليل	376
10–8 المسح الليزري	376
10–9 تعريف علم المساحة التصويرية	384
10–10 المساحة التصويرية الجوية	389
10–11 خصائص الصور الجوية	402
10–12 شروط الرؤية المزدوجة وأجهزة الإبصار المجسم	405
10–13 مقياس الصورة	406
10–14 بعض المصطلحات المهمة في المساحة التصويرية	408
10–15 الخطوات المتبعة في تخطيط رحلات الطيران	409
10–16 عناصر تفسير الصور الجوية	421
10–17 الإزاحة الناشئة عن التضاريس	426
10–18 أهمية الصور الجوية	429
10–19 المساحة التصويرية الأرضية	430
10–20 توجيه الكاميرا ضمن هندسة الرؤية الواحدة	438
10–21 مراحل المسح التصويري الأرضي الثابت	439
10–22 أوجه القصور في تقنية المسح التصويري	456
المصادر والمراجع	459
ملحق	463

المقدمة

هذا الكتاب مخصّص لطلاب الهندسة المعمارية –السنةالثالثة– ويمكن أن يكون مرجعاً يستفيد منه طلاب الهندسة المدنية والزملاء المهندسون المدنيون و الطبوغرافيون والمسَّاحون والعاملون بمجال الآثار والمهتمون في مجال المساحة والتوثيق المعماري. أمّا الهدف منه فهو تقديم مرجع علمي يسمح بفهم أعمق للمواضيع ذات العلاقة بالمساحة ، سواءٌ منهاالهندسية أم التطبيقية، وذلك بالشقين النظري والعملي.

لقد حاولنا عرض المواضيع المطروحة بهذا الكتاب عرضاً ينطلق من العمومية إلى التخصص الدقيق في كلِ مجال من مجالات المساحة، مراعين أمرين اثنين أولهما الحداثة في المواضيع، و ثانيهما تسهيل المواضيع لتلائم طلاب الهندسة المعمارية بمايسهل عليهم دراسته والحصول على زبدته دون إسهاب لا لزوم له، وأكثرنا من المسائل المحلولة لتسَهل للطالب فهمه للمساحة وأقسامها نظرياً وعملياً.

يتألف هذا الكتاب من عشرة فصول رئيسة وهي :

الفصل الأول: يقدم تعريف ومقدمة عن علم المساحة وأقسام المساحة، ويتطرق للشكل الهندسي للأرض وتعريف الجيوئيد والإهليلج ولمحة عن نظم الإحداثيات وطرائق اسقاط الخرائط وأنواعها.

الفصل الثاني: يتناول أنواع القياسات الطولية وطرائق قياسها باستعمال شريط القياس وقائس المسافات الإلكتروني إضافة للأخطاء المرتكبة بقياس المسافات.

الفصل الثالث: خُصّص لموضوع نظرية الأخطاء وتصنيف الأخطاء، ومعايير تقييم دقة القياسات المساحية ونظرية استقلال الأخطاء، وقانون انتشار الأخطاء متوسطة التربيع.

الفصل الرابع: تعرض التسوية وأنواعها، ومفهوم التسوية المباشرة وغير المباشرة، وأنواع المسالك وأخطاء التسوية وطرائق توزيع الخطأ، كما تم تقديم شرح لجهاز النيفو (الميزانية) وأنواعه، ومراحل العمل عليه مع إدراج مجموعة من التمارين والمسائل النظرية .

الفصل الخامس: يتناول هذا الفصل أنواع الخرائط والمخططات الطبوغرافية ومقاييس إنتاج الخرائط والمخططات الطبوغرافية وتعريف بخطوط الكنتور والعوامل المؤثرة في اختيار التباعد الشاقولي المتساوي بين خطوط الكنتور، وكيفية رسم هذه الخطوط بالطرائق التقليدية وبالطرائق الآلية الحديثة وتمثيل التضاريس بالشكل ثلاثي الأبعاد بالبرمجيات الحاسوبية المتطورة، إضافة إلى شرح عن كيفية رسم المقاطع الطولية والعرضية .

الفصل السادس: يقدم الجزء الأول من هذا الفصل شرحاً عن جهاز الثيودوليت وأنواعه وأجزائه الرئيسة ومراحل العمل عليه، والأخطاء المرتكبة أثناء قراءة الزوايا الأفقية مع أمثلة تطبيقية عن الأخطاء النظامية لقياسات الثيودوليت. أما الجزء الثاني فيقدّم شرحاً مفصّلاً عن جهاز المحطة المتكاملة وأنواعها والأجزاء الرئيسة فيه، ومراحل العمل عليه مع تقديم شرح ميسر لبعض البرمجيات والرموز والمصطلحات المستعملة لبعض أنواع هذه الأجهزة.

الفصل السابع: يتناول المساحة المستوية، والتعيين المستوي للنقاط مع شرح لأنواع الشمال والسموت، وكيفية حساب إحداثيات المساقط الأفقية والشاقولية بالطريقة القطبية، وحساب سموت مضلّع بطريقة السمت والسمت المعاكس . إضافة إلى ذلك شرح طرائق التعيين المستوي للنقاط باستعمال طريقة حل المثلث، وطريقتي التقاطع والتقويم مع أمثلة ومسائل محلولة.

الفصل الثامن: خُصّص لموضوع حساب المضلّعات وأنواعها وطرائق حساب السموت عن طريق الزوايا اليمينية واليسارية، وخطوات تعيين احداثيات نقطة مجهولة بطريقة المضلّعات مع تقديم مجموعة مختلفة من التمارين والمسائل النظرية على حساب المضلّعات المفتوحة والمغلقة.

الفصل التاسع: تطرق بجزئه الأول لطرائق حساب المساحات مستعرضاً الطرائق الرياضية و التخطيطية والتحليلية والميكانيكية مع بعض الأمثلة والمسائل النظرية حول حساب المساحات. أما الجزء الثاني فتطرق لحساب مكعبات الحفر والردم، وتقدير هذه الكميات للمقاطع الطولية والعرضية وحساب حجم الموشور، وتقدير حساب كميات الحفر والردم اعتماداً على التسوية الشبكية أو منحنيات التسوية، مع مسائل وأمثلة تطبيقية على حساب الحجوم.

الفصل العاشر: استعرض مفهوم التوثيق المعماري، ودور المساحة المتقدمة بالتوثيق المعماري مع شرح ميسر للمساحة الحديثة المتقدمة المتمثلة بنظم المعلومات الجغرافية (GIS)، والمسح الليزري وأنواعه وعناصره ومميزاته، ومراحل المسح الليزري الجوي والأرضي الثابت القريب. كما عرض هذا الفصل للمساحة التصويرية، مع شرح لأهم أنواعها مع التركيز على المساحة الجوية، والمساحة التصويرية القريبة المدى واستعمالها بالتوثيق المعماري للحصول على النماذج ثلاثية الأبعاد مع ذكر خصائص الرؤية المجسمة ومراحل العمل بالمسح التصويري قريب المدى.

في الختام نرجو أن نكون قد وفقنا في هذا الكتاب ليحقق الغاية المرجوة.

دمشق في شباط 2020.

المؤلفان

الفصل الأول

مدخل إلى علم المساحة

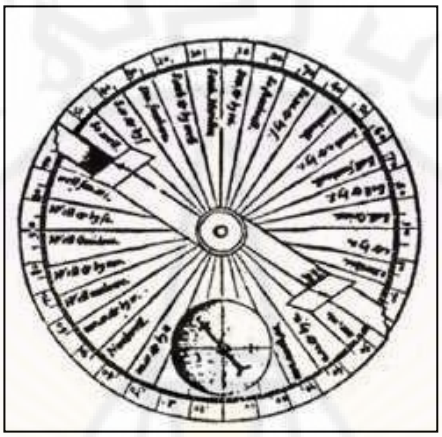
1–1 مقدمة

ترجع بدايات علم المساحة إلى آلاف السنيين حيثُ وجدت آثار تدلُّ على أن قدماء المصريين (1500 قبل الميلاد) استعملوا المساحة في قياس الملكيات الزراعية وتحديدها بهدف حساب مساحات الأراضي الزراعية لتقدير الضرائب لها، وأيضا لتثبيت حدود الملكيات بعد فيضانات نهر النيل (الشكل 1–1). استعمل المصريون أدوات سهلة لقياس المسافات، واخترعوا وحدات لها، وكان يطلق على المسّاحين اسم (شادي الحبال) (Rope stretchers) حيث كانوا يستعملون الحبال في قياس المسافات. تثبت الخصائص الهندسية لأهرامات الجيزه بمصر (تساوي الاضلاع بدقه، والتوجيه الدقيق لجهة الشمال) وكذلك اختيار موقع معبد ابو سمبل في جنوب مصر (بحيث تتعامد أشعة الشمس على وجه تمثال الملك تحديدا في يوم عيد ميلاده) أن المصريين القدماء كانت لديهم خبرة جيده باعمال المساحة.

الشكل 1– 1 قياسات مساحية في عهد قدماء المصريين

من أشهر التجارب المساحيه في ذلك العصر ما قام به العالم الإغريقي ارسطوستنيس Eratosthenes عام 200 قبل الميلاد في مدينة الإسكندرية بمحاولة حساب محيط الأرض والتي كانت بداية علم المساحة الجيوديزيه. تلا ذلك ابتكار اليونانيين والرومان لعدد من الأجهزة المساحية لعمل التوجيه والتسويه. يُعدّ العالم اليوناني هيرون Heron في عام 120 قبل الميلاد الرائد الأول في المساحة الذي حولها إلى علم متخصص يحتاج للدراسه والتدريب. اضاف العلماء

المسلمون إضافات علمية قويه لعلم المساحة فقد ابتكروا أجهزة قياس الزوايا والتوجيه مثل جهاز الإسطرلاب (الشكل 1–2). والأجهزة الدقيقه للتسوية. كما برعوا في الرياضيات التي يقوم عليها علم المساحة، مثل العالم الكبير الخوارزمي الذي أنشأ أول خريطه دقيقه للعالم عرفت باسم خريطة المأمون.



الشكل 1– 2 جهاز الإسطرلاب لقياس الزوايا

مع بداية القرن الثامن عشر الميلادي بدأ إنشاء شبكات الثوابت الأرضيه في أوروبا بهدف إقامة العلامات المساحية التي تسمح بالتحديد الدقيق للمواقع لكل دولة، مستخدمين أجهزة مساحية اكثر تطوراً في ذلك الوقت (الشكل 1–3).

الشكل 1– 3 نماذج لأحهزة ثيودوليت قديمة لقياس الزوايا

تطور علم المساحة بدرجة هائله في القرن العشرين الميلادي مع ابتكار أجهزة قياس المسافات بالليزر وإطلاق الأقمار الصناعية واختراع الحاسبات الآلية. مع تعدد تطبيقات علم المساحة في المجالات المدنية والعسكرية في تخصصاتها كافة، بدأ بعضهم يطلق أسماء جديدة على هذا العلم، مثل علم الجيوماتكس (Geomatics) ليكون تعبيرا شاملا عن التكامل بين المساحة الأرضية، والمساحة الفضائية، والاستشعار عن بعد، ونظم المعلومات الجغرافية (الشكل 1–4).

الشكل 1– 4 أجهزة مساحية حديثة

1–2 تعريف المساحة

يدرس علم المساحة طرائق تحديد شكل الأرض وأبعادها، وتمثيل سطحها ككل أو أجزاء منه على الخرائط والمخططات الطبوغرافية، ويدرس أيضاً طرائق القياس الضرورية لحل المسائل المتنوعة التي تظهر عند دراسة المنشآت الهندسية المختلفة وتخطيطها وتنفيذها.

تجري الدراسة المساحية لسطح الأرض بإجراء قياسات معينة عليه بوساطة أجهزة خاصة معدة لهذا الغرض، وبطرائق متعددة، ويعبر عادة عن تلك القياسات بالأرقام (زوايا أفقية، وزوايا شاقوليه، بالإضافة إلى المسافات، وفروق الارتفاعات) وبالمعالجة الرياضية لتلك النتائج، ومن ثم الرسم نحصل على المخطط أو الخارطة. إن مسح جزء من سطح الأرض وتمثيله على المخططات المساحية والخرائط يعني تمثيل هذا الجزء في المستويين الأفقي والشاقولي (الرأسي) ومن ثمَّ إظهار كامل التضاريس و التفاصيل الطبيعية والاصطناعية كافة.

تستند المساحة في قيامها بهذا الدور على أعمال حقلية بالاستناد إلى نقاط مساحية ثابتة من سطح الأرض تحدد العلاقة بين مواقع هذه النقاط بالنسبة إلى جمل إحداثيات مستوية وارتفاعية

مسبقاً. والقياسات المتبعة لهذا الهدف تُقسَم إلى قياسات أفقية، وقياسات ارتفاعية، فالمساحة هي فنّ وعلم قياس المسافة، والزاوية، وتحديد المواقع للظواهر الطبيعية والبشرية على أو فوق أو تحت سطح الأرض، وتمثيل هذه الظواهر على خرائط تقليديه (ورقية) أو رقمية (باستعمال الحاسوب).

ويمكن تعريف المساحة بأنها العلم الذي يبحث في الطرائق المناسبة لتمثيل سطح الأرض على خرائط. هذا التمثيل يشمل جميع المحتويات الموجوده على سطح الأرض سواء أكانت طبيعية أم صناعية، وكذلك حدود الملكيات الخاصة والعامة. ومن الضروري أن تكون الخريطة صورة صادقةً مصغرةً عن الطبيعة التي تمثلها، وأن تؤدي الغرض الذي رُسمت لأجله. ويُعرّف علم المساحة أيضاً بأنه علم يهتم بتمثيل قطعة من الأرض، أي تحديد شكلها، وأبعادها، وكيفية تمثيلها على مخطط بمقياس معيّن.

عند بداية المشروع لا يبدأ المهندس والمكتب الدّارس بتصميمٍ على أرض الواقع مباشرةً، وإنما يُطلَب صورة مُصغّرة عن أرض المشروع ليجري الدراسات عليها، ومَهمّة الطبوغرافي الأساسيّة تأمين هذه الصورة، وكلما كان الطبوغرافي ذو خبرة أكبر، كان قادراً على رسم الصورة المطلوبة بدقّة حقيقيّة عالية.

إن علم المساحة له أهمية كبرى ولاسيما مع تعدد تطبيقاته وتطورها، والتي أصبح جزء منها متداولا في حياة الإنسان اليومية ولكن سنذكر بعض الجوانب المهمة، منها:

1- المساحة أساس مهم جداً في معظم المشاريع الهندسية.
2- يندر أن يستغني عنها من يعمل في مجال تطبيقات الهندسة المدنية والمعمارية.
3- فوائدها عديدة في مجالات الحياه المختلفه مثل تقسيم الأراضي وتحديد المواقع.
4- المساحة هي الأساس لعمل الخرائط في مختلف الأغراض.

1-3 أقسام المساحة

يقسم علم المساحة إلى قسمين أساسيين هما:

1- المساحة العادية (أو الطبوغرافية) TOPOS–GRAPHOS : وتعني رسم المكان، وندعوها بالمساحة المستوية .

2- المساحة العالية (أو الجيوديزيا العالية) GEODESY : وتعني باليونانية أقسام الأرض، وندعوها الجيوديزيا اختصاراً.

1–3–1 المساحة الجيوديزية GEODETIC SURVEYING

تهتم بطرائق قياس مساحات شاسعة من سطح الأرض وتمثيلها، مع ضرورة الأخذ بعين النظر تأثير انحناءالأرض. أحد أهم المسائل في الجيوديزيا هو تحديد شكل الأرض وأبعادها، كما تهتم بدراسة حركة القشرة الأرضية، وحركة الأقمار الاصطناعية، وتحديد مسارات المركبات الفضائية، ومسائل أخرى نظرية. إن النقاط المحددة إحداثياتها بوساطة الجيوديزيا تُسمى النقاط الجيوديزية الأساسية، أو نقاط المثلثات TRIANGULATION POINTS وهذه النقاط تشكل بمجموعها ما يسمى الشبكة الجيوديزية العامة، أو شبكة المثلثات TRIANGULATION NETWORK.

1–3–2 المساحة المستوية PLANE SURVEYING

الفرع المسؤول عن القياسات التفصيلة اللازمة للرفع التفصيلي والطبوغرافي والأعمال الهندسية لمساحة صغيرة من الأرض. تهتم المساحة المستوية بقياس مساحات صغيرة من سطح الأرض وتمثيلها، وفيها يهمل تأثير انحناء سطح الأرض، وتُعَد سطح الأرض مستوية في المناطق المراد مسحها (تمثيلها، رفعها) أوعند توقيع (تنزيل، تجسيد) المشاريع الهندسية من المخطط أو الخريطة على سطح الأرض، لذلك فإن غالبية أعمال المسح الطبوغرافي هي من نوع المساحة المستوية، لكن أعمال قياس الارتفاعات لابد أن تأخذ بعين النظر انحناء الأرض، وتتطلب المساحة المستوية إلماماً جيداً بالهندسة المستوية، والتحليلية، والجبر، وحساب المثلثات .

وهنالك عدة فروع للمساحة يمكن اختصارها بالآتي:

1. المساحة الهندسية (ENGINEERING SURVEYS)

وهي تتعلق بالأعمال المساحية المستعملة لأغراض التصميم لأي مشروع هندسي (تحرٍ، استطلاع، تخطيط، تنفيذ) لمختلف المشاريع الهندسية.

2. المساحة التصويرية (الفوتوغرامتري) PHOTOGRAMMETRY

تدرس طرائق الحصول على المخططات والخرائط بالتصوير الأرضي أو الجوي.

3. الكارتوغرافيا (CARTOGRAPHY)

يبحث في طرائق تشكيل الخرائط المختلفة وإنتاجها.

4. المساحة العقارية (CADASTRAL SURVEY)

من دون القياسات المساحية لا يمكن القيام بعمليات الفرز والتحديد للملكيات العامة والخاصة ولملكيات المواطنين عموماً.

5. مساحة الأبنية والمنشآت (CONSTRACTION SURVEY)

يدخل في هذا المجال تخطيط مواقع النقاط اللازمة لإقامة أي مشروع هندسي وتحديدها، وأيضاً تحضير المخططات والمقاطع المختلفة التي تخدم أغراض المباني والمنشآت الهندسية المختلفة.

6. المساحة الطبوغرافية (TOPOGRAPHIC SURVEY)

تهتم بإظهار تضاريس الأرض والتفاصيل الطبيعية (جبال، سهول، أنهار، بحيرات، غابات، هضاب، ...) والتفاصيل الصنيعة (قرى، مدن، طرق، جسور، أبنية، ...) على المخططات والخرائط.

7. مساحة المدن (CITY SURVEY)

لا يمكن أن يتم تخطيط المناطق السكنية أو توسع هذه المناطق، والتي تشمل أعمال تخطيط (شوارع المدينة، شبكات الصرف الصحي، الحدائق، الملاعب، شبكات المواصلات وغيرها)، من دون مخططات وخرائط مساحية تندرج ضمن ما يسمى "مساحة المدن".

8. أنظمة الاستشعار عن بعد (REMONT SENSING)

يُستفاد منها بمراقبة التطور العمراني وتحديد أنسب الأماكن لبناء المطارات والمرافئ البحرية وتحديد المسطحات المائية وغير ذلك من التطبيقات.

9. المساحة الفضائية باستعمال أنظمة تحديد المواقع عن طريق الأقمار الصناعية (SATELLITE POSITION FIXING SYSTEM)

ومن أهم تطبيقات جيوديزيا الأقمار الصناعية دراسة شكل الأرض وأبعادها، ومسألة الجاذبية، وحركة سطح البحر، والجيوئيد.

10. المساحة البحرية (MARITIME SURVE)

وتعنى بالخرائط والمخططات المساحية لقيعان البحار والمحيطات ودراسة الثروات فيها.

11. المساحة الهيدرولوجية (HYDROGRAPHIC SYRVEY)

تهتم بتعيين خطوط الشواطئ وأعماق الممرات المائية (أنهار، بحيرات، جداول)، كما تهتم بقياس منسوب سطح الماء وكميات التصريف للأودية والأنهار.

12. مساحة المناجم والمصادر الطبيعية (MINING AND NATURAL RESOURCESSURVEY)

تهتم بدراسة مواقع المناجم ومختلف الإنشاءات داخل المنجم وتحديد مختلف التفاصيل للأنفاق وحساب الكميات.

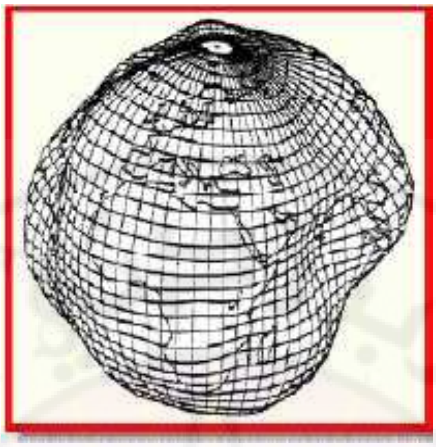
1–4 الشكل الهندسي للأرض

تبلغ مساحة سطح الأرض 510 km^2 مليون تغطي اليابسة % 29 منها والباقي % 71 مياه. بما أن القياسات المساحية تجري على سطح الأرض لذا لابد من أن تكون لها علاقة وثيقة بسطح الأرض. لقد كان تحديد شكل الأرض عبر العصور معقداً، ومن المستحيل تمثيله أو التعبير عنه رياضيا بدقة، ففي الزمن القديم أُعتبر مستوياً، وبعد ذلك كروياً، وفي وقت متأخر أُعتبر إهليجياً، وأخيراً جيوئيد.

في بداية المعرفة البشريه ظن الانسان أن الأرض قرصٌ صلبٌ يطفو فوق سطح الماء. وبالقرن السادس قبل الميلاد افترض العالم اليوناني فيثاغورث Pythagors أن الأرض كروية الشكل. أول محاولات العلماء لتقدير حجم محيط الكرة الأرضية أو محيطها هي تجربة العالم الإغريقي أرتوستين، وفي القرنين الخامس والسادس عشر أيد كلّ من الرحالة كولمبوس Columbus وماجلان Magellan فكرة كروية الأرض من خلال رحلاتهما الشهيرة بالدوران حول الأرض. وفي عام 1687 طوّر العالم الشهير نيوتن Newtown مبادئ عده نظرية و علمية، وكان من أهمها: أن الشكل المتوازن لكتلة مائعة متجانسة خاضعة لقوانين الجذب وتدور حول محورها ليس هو شكل الكرة كاملة الاستدارة، لكنه شكل مفلطح قليلا باتجاه القطبين. وفي عام 1735 قامت أكاديمية العلوم الفرنسيه بتنظيم بعثتين لإجراء القياسات اللازمه للتأكد من هذه الفرضية، وأثبتت النتائج فعلاً أن الأرض مفلطحة وليست كروية الشكل تماما.

1–5 الجيوئيد (Geoid)

لتحديد أي موقع على الأرض لابد من تعريف هذا السطح، وشكله وحجمه. إن شكل الأرض بما يضمه من قارات ومحيطات وجبال ووديان ليس شكلاً سهلاً وليس منتظماً لكي يمكن التعبير عنه بسهوله. بحث العلماء عن شكل افتراضي آخر للأرض يكون أقل تعقيداً واعتماداً على فكرة أن مساحة الماء في المحيطات والبحار تشكل 70% من مساحة الأرض فإن شكل الأرض يكاد يكون هو الشكل المتوسط لسطح الماء ((Mean Sea Level (MSL) وذلك بإهمال حركة سطح الماء بسبب التيارات البحرية، والمدّ والجزر. إذا مدد هذا السطح تحت اليابسه فسينتج شكل متكامل يكون أقرب ما يكون للشكل الحقيقي للأرض، وتم اطلاق اسم الجيوئيد (Geoid) على هذا الشكل الافتراضي المبين بالشكل التقريبي بالشكل (1–5).



الشكل 1– 5 شكل تقريبي للجيوئيد

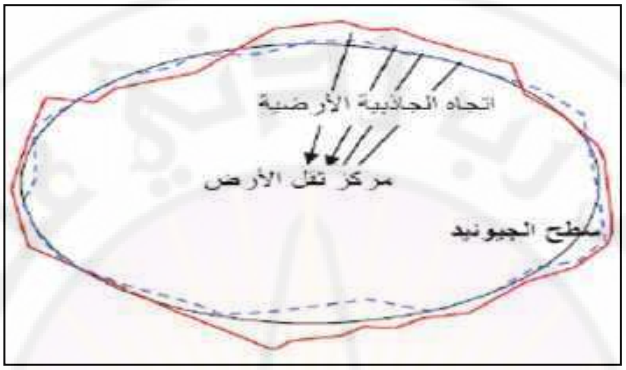
يجب ملاحظة أن ثمة فرقاً في حدود متر واحد فقط بين كل من مستوى سطح البحر (MSL) والجيوئيد، إلا أنه في معظم التطبيقات الهندسية تتغاضى عن هذا الفرق ونعد أن كلا الشكلين أو المصطلحين يشير إلى الجسم نفسه.

طبقاً لمبدأ نيوتن فإن شكل هذا الجيوئيد لن يكون منتظماً، لأن سطح الجيوئيد يتعامد مع اتجاه قوة الجاذبية الأرضية، وأيضاً يخضع لقوة الطرد المركزية الناتجه عن دوران الأرض حول محورها (الشكل 1–6)، وكلتا القوتين تختلفان من مكان لآخر على سطح الأرض، بسبب عدم توزع الكثافة بانتظام (اختلاف سمك قشرة الأرض). نتصور سطحاً مطابقا لسطح البحار والمحيطات بالحالة الهادئة الخالية من المد والجزر والأمواج، نسمي هذا السطح بسطح السوية وهو سطح أفقي، أي إنه في كل نقطة من نقاطه عمودي على اتجاه الشاقول، وهو ممتد نظرياً عبر اليابسة، وهو سطح غير منتظم لاختلاف توزع الكتل والكثافات على سطح الأرض، أي هو سطح فيزيائي معقد يستحيل تمثيله رياضياً، ويصعب تمثيله بمعادلات رياضية تمكننا من رسم الخرائط وتحديد المواقع عليه.

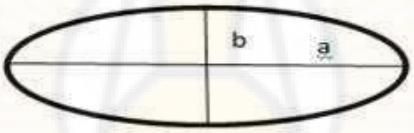
1–6 الإهليلج الدوراني (Ellipsoid)

نظرا إلى صعوبة تمثيل الجيوئيد بمعادلات رياضية، اتجه العلماء إلى البحث عن أقرب الأشكال الهندسية المعروفة، فوجدوا أن القطع الناقص أو الإهليلج (الأليبسEllips) هو الأقرب، فإذا دار هذا الإهليلج حول محوره كما بالشكل (1–7) فسينتج مجسم القطع الناقص الدوراني، أو

الإهليلج الدوراني، أو الاليبسويد Ellipsoid، أو الشكل البيضاوي، بينما يعرف سطح الكرة باسم الأسفرويد Spheroid .



الشكل 1– 6 الجيوئيد والشكل الحقيقي للأرض



الشكل 1– 7 المحاور الرئيسة للقطع الناقص

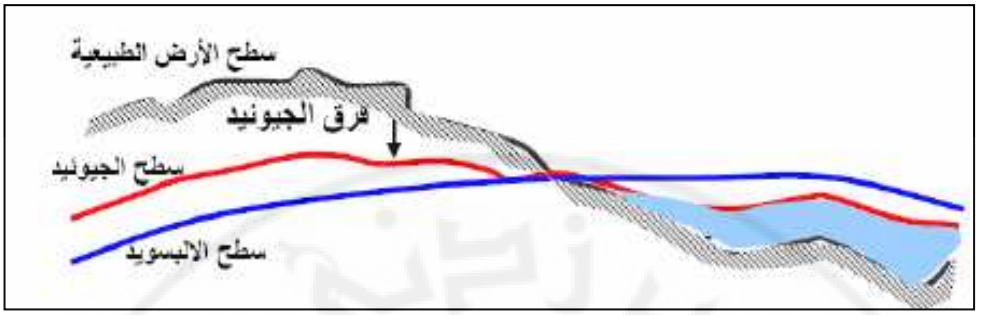
الفرق بين الإهليلج الدوراني والكرة يتمثل بأن الإهليلج مفلطح قليلاً عند القطبين بعكس الكرة التي تكون كاملة الاستدارة تماما. أيضاً الكرة لها قطر واحد له القيمة نفسها في جميع الاتجاهات، بينما الإهليلج له محوران مختلفان. للتعبير عن الإهليلج يلزمنا معرفة عنصرين (القطر الكبير والقطر الصغير) في حين يعبر عن الكرة بعنصر واحد فقط هو نصف قطرها.

يتمثل القطع الناقص الدوراني(الإهليلج) بالمعادلة الرياضية: $\frac{Z^2}{B^2} + \frac{x^2+y^2}{A^2} = 1$ حيث:

A : نصف المحور الكبير (المحور في مستوي خط الاستواء)

B : نصف المحور الصغير (المحور بين القطبين)

نتيجة لاختلاف توزع الكتل فإن الفرق بين سطح الجيوئيد الفيزيائي وسطح الإهليلج الدوراني الرياضي لا يزيد على 100 m± ويُعرف بأسم تعرجات الجيوئيد، أو ارتفاع الجيوئيد (الشكل 1–8). بينما الفرق بين الجيوئيد والكرة يصل أحيانا 21 كم .



الشكل 1– 8 الفرق بين الجيوئيد والإهليلج وسطح الأرض الطبيعي

إن تفلطح الإهليلج الدوراني قليل $f = \frac{a-b}{a} = \frac{1}{298}$، ومن ثمَّ فإنه في حال إجراء قياسات للمسافات على مساحة من الأرض لا تتجاوز 400 km² يمكن استبدال الإهليلج بالكرة الملاصقة له. أي نعد أن سطح الأرض في تلك المنطقة كروياً، ويحدد نصف قطرها بالعلاقة

$$\frac{4}{3}\pi R^3 = \frac{3}{4}\pi a^2 b$$

سطح الكرة — سطح المجسم — R=6371.11 km

جدول 1 بعض الأهاليلج والبلدان المستعملة بها

الأليبسويد	نصف المحور الأكبر a (m)	نصف المحور الأصغر b (m)	الدولة التي تستعمله
Airy 1830	6377563	6356257	بريطانيا
Bassel 1841	6377397	6356079	وسط أوروبا
Clarke 1866	6378274	6356651	أمريكا الشمالية– سورية
Helmert 1906	6378200	6356818	مصر
WGS72	6378135	6356750	عالمي
WGS84	6378137	6356752	عالمي

في حالة المساحات الصغيرة، والتي لا تتجاوز 50 km2 يمكن استبدال الإهليلج بمستو وعند ذلك لا يؤخذ انحناء الأرض بعين النظر، ونفترض بأن خطوط الإسقاط الرأسية متوازية وعمودية على مستوى الإسقاط .

1–7 المرجع الجيوديزي المحلي (geodetic Datum)

كانت كل دولة تختار أحدث إهليلج كسطح مرجعي لنظام خرائطها عند بدء إقامة الهيكل الجيوديزي أو المساحي لها بغرض البدء في انتاج الخرائط. فإذا ظهر بعد عدة سنوات إهليلج آخرمناسباً أكثر، فلن يكون ممكناً لأسباب مادية وتقنية أن تقوم هذه الدولة بتغيير السطح المرجعي لها وإعادة إنتاج خرائطها كلها من جديد وطباعتها.

من المعروف أن الإهليلج يكون أقرب ما يمكن لتمثيل سطح الأرض على المستوى العالمي، أي ان الفروق بينه وبين الجيوئيد تختلف من مكان لمكان على سطح الأرض لكنها أقل ما يمكن على المستوى العالمي. لكن كل دولة عندما تعتمد على إهليلج معين تريد ان يكون الفرق بينه وبين الجيوئيد أقل ما يمكن في حدودها ولا تهتم إن كانت هذه الفروقات كبيرة في مناطق أخرى من العالم.

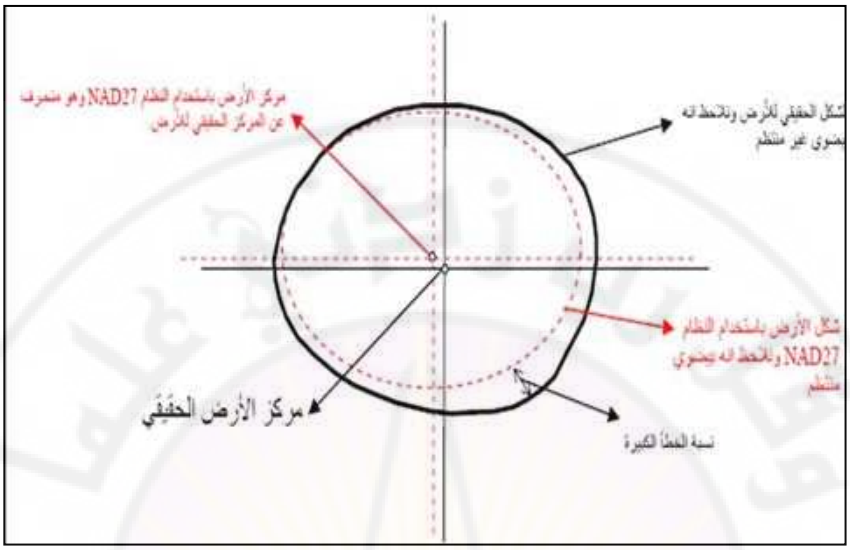
لذلك كانت كل دولة تلجأ لتعديل وضع الإهليلج المرجعي قليلا Re–Position لكي يحقق هذا الهدف. في هذه الحالة، اي بعد إجراء هذا التعديل البسيط، فلن يعد هذا الإهليلج كما كان في الأصل ولكن اصبح بوضع مختلف يطلق عليه اسم المرجع الجيوديزي أو المرجع الوطني واختصاراً باسم مرجع (A geodetic Datum /A local Datum)، أي أن المرجع الوطني لأي دولة ما هو إلا إهليلج عالمي قد تم تعديل وضعه بصورة أو بأخرى ليناسب هذه الدولة ويكون أقرب تمثيلاً لشكل الجيوئيد (الشكل الحقيقي للأرض) عند هذه الدولة. يجب الملاحظة إلى انه كلما قلت الفروق بين المرجع الوطني لدولة ما والجيوئيد كلما زادت دقة الخرائط المرسومة اعتماداً على هذا المرجع.

قام بعض المساحين الأميركيين عام 1927 بمسح الأرض لرسم خريطة للعالم وتحديد حجم الأرض وشكلها وذلك بحساب طول خط الاستواء (محيط الأرض الأفقي) وكذلك طول خط الزوال (محيط الأرض العمودي) باستعمال أجهزة قياس بصرية لإيجاد الاتجاهات والمسافات، وداروا حول الأرض وقاموا بجمع البيانات وباشروا بإجراء الحسابات مستخدمين علم الجيوديزيا.

لقد أيدت نتائج عملهم فكرة الشكل البيضوي المنتظم للأرض (لكن هذا الشكل غير منتظم، ولذلك فعملهم لم يكن دقيقا) خلافا للاعتقاد سابقاً وهو أن الأرض كروية، وقامو برسم خارطة للعالم على أساس تلك النتائج. كانت هذه الخارطة من أدق خرائط العالم في ذلك الوقت، لهذا استخدمت دول كثيرة النتائج نفسها التي حصل عليها الأميركيين لرسم خرائطهم مستخدمين المرجع الجيوديزي لشمال أميركا المحسوب عام1927(North American Datum 1927). أصبحت عبارة NAD27 للدلالة على النظام المستعمل لتحديد شكل الأرض البيضوي وحجمها، وليفهم المستعمل أن هذه الخارطة رُسمت اعتماداً على نتائج المساحين الأميركيين عام 1927.

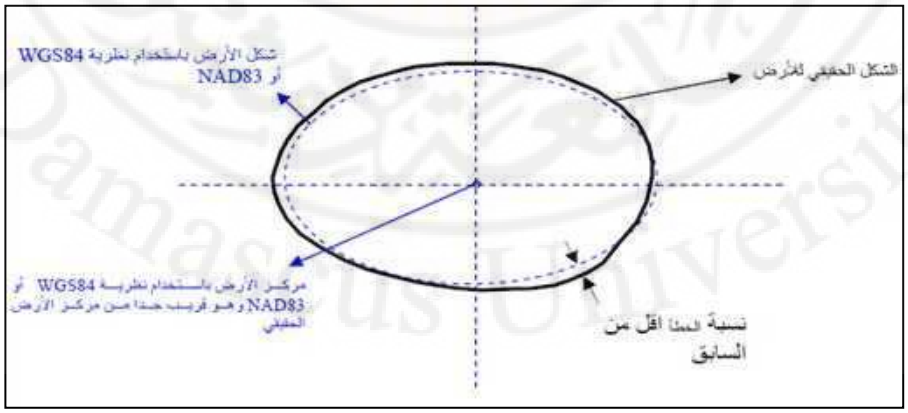
بعد اكتشاف حقيقة أن الأرض غير منتظمة الشكل صار النظام الجيوديزي (اختصاراً ندعوه عملية التحويل) يشير إلى عملية تحويل سطح الأرض من البيضوي غير المنتظم إلى البيضوي المنتظم، وكذلك تحديد شكل الأرض وحجمها. لذلك فما قام به الأميركان عام 1927 كان إهمال عملية التحويل، ومن ثم قاموا مباشرة بتحديد شكل الأرض وحجمها، وهذا ولد نسبة خطأ أولية (الشكل 1–9). وبسبب أجهزة القياس القديمة والحسابات اليدوية حصلت نسبة خطأ أخرى أيضاً كانت نتيجتها تقلص حجم العالم تقلصاً كبيراً. لهذا السبب كانت نسبة الخطأ في هذا النظام كبيرة، حيث يظهر واضحاً بالشكل (1–9) المقدار الذي تقلص به حجم الأرض.

مع تطور الأقمار الصناعية قامت أميركا بتصوير سطح الأرض رادارياً للحصول على صورة ثلاثية الأبعاد دقيقة جدا، ومن ثم قاموا باستعمال حاسوب متطور، فيه برامج تقوم بتحويل شكل الأرض غير المنتظم إلى أفضل شكل منتظم مستعملاً معادلات رياضية معقدة Curve–fitting ومن ثم ولد الجيل الجديد من أنظمة التحويل، والتي خفضت نسبة الخطأ إلى أقل مقدار ممكن، وهذا هو أساس النظامين North American Datum1983 (NAD83) والنظام World Geodetic System 1984 (WGS84).



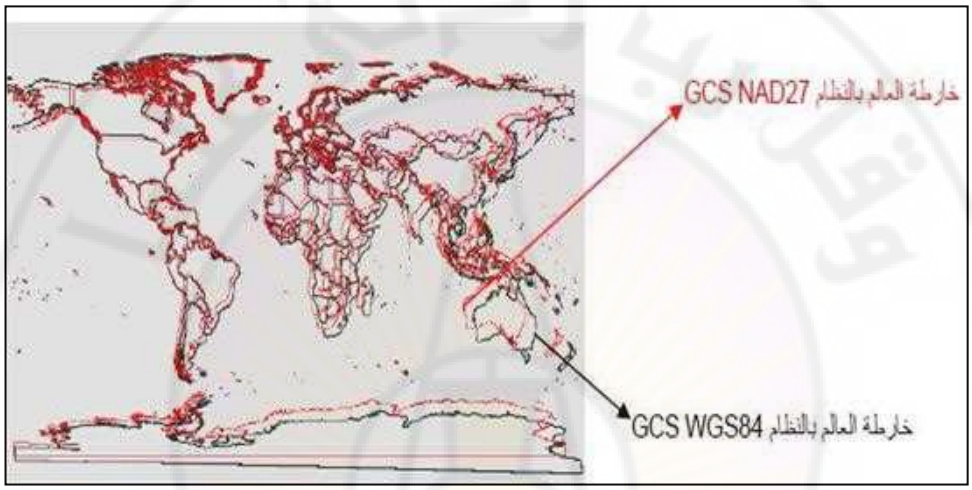
الشكل 1– 9 نظام الإهليلج NAD27

حيث يتم في هذين النظامين الأخذ بعين الاعتبار تحويل شكل الأرض إلى أفضل شكل منتظم ومن ثم تحديد شكل الأرض البيضوي وحجمها باستعمال علم الجيوديزيا كما هو مبين بالشكل(1–10).



الشكل 1– 10 شكل الأرض حسب الإهليلج WGS84

إن المشكلة الحقيقية التي يمكن أن تواجهنا هي محاولة استعمال خرائط ورقية تستعمل نظام إحداثيات قديم مع خرائط جديدة أو صور فضائية أو احداثيات مأخوذة بنظام التموضع العالمي (GPS) والتي تستعمل أهاليج عالمية حديثة، كنظام (WGS84) حيث سنلاحظ اختلافاً بين الاثنين كما يظهر بالشكل (1–11). لذلك هنالك طرائق تحويل من إهليلج لآخر يمكن استعمالها، ومتوفرة ببرمجيات كبرمجيات نظم المعلومات الجغرافية (GIS).



الشكل 1– 11 الفرق بالخرائط المعتمدة على أهاليج مختلفة

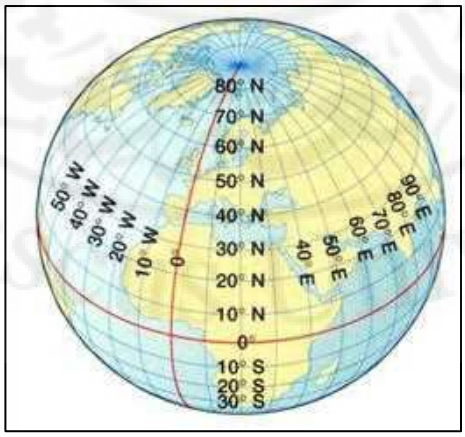
1–8 نظام الإحداثيات

هو النظام الذي نستعمله لتحديد موقع كل جسم على سطح الأرض حيث تُعدُّ الإحداثيات Coordinates القيم التي نعبر بها عن موقع معين على سطح الأرض أو على الخارطة.

تتعدد أنظمة الإحداثيات تبعاً لاختلاف السطح المرجعي الذي تُمثَّلُ المواقع عليه، فعند اختيار المستوي سطحاً مرجعياً (مثل الخارطة) تكون الاحداثيات إحداثياتٍ مستوية أو مسقطة أو ثنائية الأبعاد (2D) Two Dimensional Coordinates، ولتمثيل كل نقطة – على الخريطة مثلاً– يلزمها قيمتين لتحديد موقعها، مثلاً A (X,Y)، وعند اعتماد الكرة أو الإهليلج سطحاً مرجعياً، يتم التعامل مع نوع من الإحداثيات الفراغية أو الإحداثيات ثلاثية الأبعاد (Three–Dimensional Coordinates (3D))، حيث يجب إضافة ارتفاع النقطة عن سطح المرجع بوصفها بُعداً ثالثاً لتحديد موقعها الدقيق، أي إننا بحاجة إلى معرفة ثلاث قيم لكل موقع A(X,Y,Z).

في حالة الكُرة تسمّى الإحداثيات باسم الإحداثيات الكروية (Spherical Coordinates)، وفي حالة الإهليلج تُسمّى بالإحداثيات الجيوديزيه (Geodetic Coordinates)، أو الإحداثيات الجغرافية (Geographic Coordinates). أيضاً توجد إحداثيات أحادية البعد(One Dimensional (1D) Coordinates) وهي تعبر غالباً عن ارتفاع النقطة عن سطح الشكل المرجع المستعمل فقط. في التطبيقات الجيوديزية أو الجيوفيزيقية عالية الدقة توجد إحداثيات رباعية الأبعاد (Four Dimensional (4D) Coordinates)، حيث يُحدَّد موقع النقطة في زمن محدد بحيث تصبح الإحداثيات A(X,Y,Z,t) حيث البعد الرابع (t) يعبر عن زمن قياس هذه الإحداثيات لهذا الموقع.

بعد اكتشاف كروية الأرض أُضيفت خطوط الطول والعرض، لتحديد موقع الأجسام إذ أُعْتقد أن الأرض كروية الشكل، ولها نصف قطر ثابت، فاستُعمِل نظام الدرجات الستينية لأنه يتلائم مع السطح الكروي المنتظم، وسُمّي هذا النظام نظامَ الإحداثيات الجغرافية (Geographic Coordinate System). فقُسِّمَ خط الاستواء إلى مئة وثمانون درجة شرق (East) خط الزوال المار بمدينة غرينتش ببريطانيا، ومئة وثمانون درجة غرب خط الزوال (West)، ومن ثمَّ يتم إلحاق الأحرف (E/W)، لعدد الدرجات لتحديد اتجاها شرقاً أو غرباً. أما خط الطول فقد قُسِمَ إلى تسعين درجة شمال خط الاستواء (North) ، وتسعون درجة جنوب خط الاستواء (South)، وتُلْحَق الأحرف (N/S) بعدد الدرجات لتحديد الاتجاه شمالاً أو جنوباً (الشكل 1–12). لكن بعد اكتشاف تفلطح الأرض، أصبح نظام الإحداثيات الجغرافية (نظام الدرجات الطولية والعرضية) يشير إلى إحداثيات النقط على الجيوئيد او مجسم القطع الناقص الدوراني (الإهليلج).



الشكل 1– 12 خطوط الطول والعرض للشكل الكروي

1–8–1 جملة الإحداثيات الجغرافية

يُمثَّل موقع أي نقطة في هذا النظام بثلاث قيم أو ثلاث إحداثيات (3D). تحدد جملة الإحداثيات الجغرافية بمستويين هما مستوى الاستواء ومستوى الزوال الابتدائي المار بخط غرينتش. يتعين موضع نقطة ما (K) على سطح الجيوئيد بزاوية العرض الجغرافية θ وزاوية الطول الجغرافية λ.

زاوية (خط) العرض الجغرافية Latitude (φ) (تنطق فاي) لنقطة K هي الزاوية في المستوى الرأسي والتي يصنعها الاتجاه العمودي المار بالنقطة K (الشاقول) مع مستوى دائرة الاستواء وتُقاس هذه الزاوية من الصفر عند خط الاستواء وحتى 90^o شمالاً وجنوباً (الشكل 1–13).

$\varphi = 0^o$ عند خط الاستواء

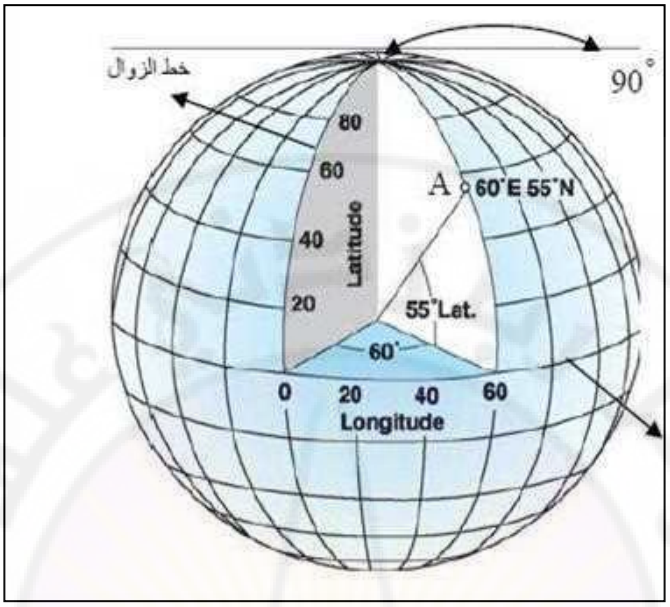
$\varphi = +90^o$ عند القطب اشمالي

$\varphi = -90^o$ عند القطب الجنوبي

الاتجاه العمودي على سطح الأليبسويد (الشاقول) لا يمر بمركز الأليبسويد عكس حالة الكرة حيث يمر الاتجاه العمودي عى سطح الكرة بمركزها.

زاوية (خط) الطول الجغرافية Longitude(λ) (ينطق لامدا) لنقطة K: وهي الزاوية المقيسة في مستوى دائرة الاستواء بين مستوى الزوال الابتدائي المار بخط غرينتش (خط غرينتش) (والذي اصطلح دولياً على أن يكون رقم صفر) ومستوى الزوال (خط الطول) المار في النقطة K وتقاس λ بدءاً من الصفر عند خط غرينتش وتتزايد شرقاً وغرباً حتى 180^o.

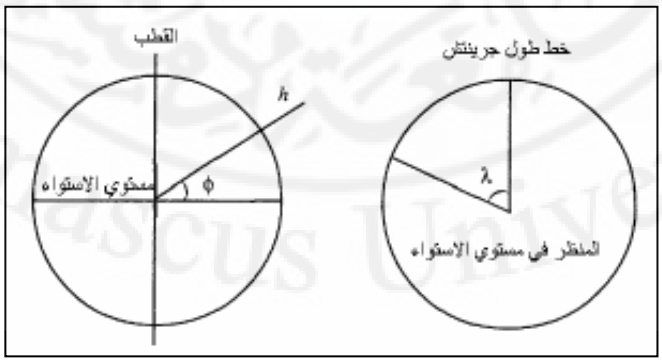
الارتفاع عن سطح الإهليلج ويرمز له بالرمز h ويُسمَّى الارتفاع الجيوديزي أو ارتفاع الإهليلج (Geodetic or Ellipsoidal Height).



الشكل 1– 13 جملة الإحداثيات الجغرافية

1–8–2 جملة الإحداثيات الكروية

يشبه تظام الإحداثيات الكروية (Spherical Coordinates)، نظامَ الإحداثيات الجيوديزيه أو الجغرافية ويختلف عنه في أن السطح المرجعي هنا هو الكرة وليس الإهليلج. يلاحظ في الشكل (1–14) (خاصة لقياس دائرة العرض φ) أن الاتجاه العمودي على سطح الكرة يمر بمركزها بخلاف حالة الإهليلج حيث لا يمر العمودي على سطح الأليبسويد بمركزه.



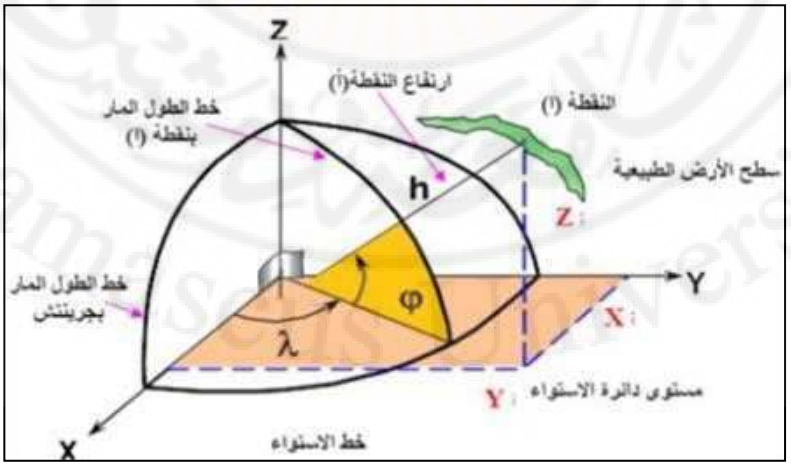
الشكل 1– 14 الإحداثيات الكروية

1–8–3 جملة الإحداثيات الجيوديزية الكارتيزية أو الديكارتية أو الفراغية

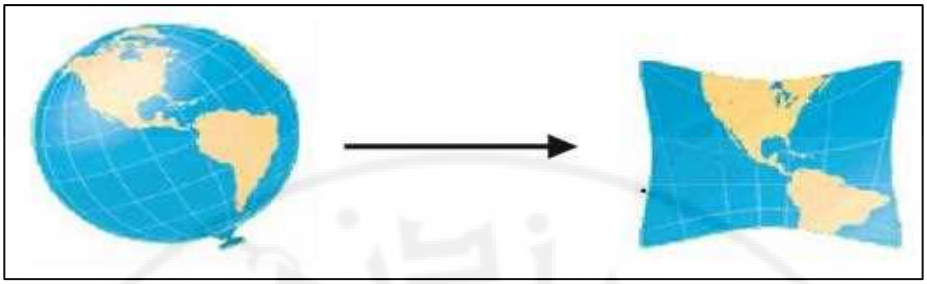
هو نظام إحداثيات مشابه تماماً في تعريفه لنظام الإحداثيات الجيوديزية إلا أنّه يتميز بأن إحداثياته الثلاث تكون طولية (أي بالمتر أو الكيلومتر) وليست منحنية (بالدرجات)، مما يجعله أسهل بالتعامل وخاصة بالحسابات. ابتكره العالم الفرنسي الشهير ديكارت بالقرن السابع عشر. نقطة الأصل لنظام الإحداثيات الجيوديزية الكارتيزية هي مركز الأرض ومحوره الأول (X) ينشأ من تقاطع مستوي خط الطول المار بجرينتش مع مستوى دائرة الاستواء ومحوره الثاني (Y) هو العمودي على المحور(X)، بينما المحور الثالث الرأسي (Z) هو محور دوران الأرض الذي يمر بمركز الأرض وكلا القطبين. يُعبَر عن موقع كل نقطة بثلاثة إحداثيات: X)،Y ،(Z كما هو موضح بالشكل (1–15).

1–9 اسقاط الخرائط

إن استعمال الخرائط بالمخطوطات والكتب أظهرت الحاجة إلى عملية تسقيط الخرائط وتحويلها من السطح الكروي إلى السطح المستوي وذلك مع اكتشاف كروية الأرض وبعد تحديد نظام جغرافي يستعمل الدرجات، حيث أصبح ممكناً رسم خارطة العالم على سطح مستو من معرفة إحداثيات كل نقطة على سطح الأرض وتسقيطها على السطح المستوي الذي يُقسم إلى خطوط طول وعرض مشابهة لخطوط الطول والعرض لسطح الأرض (الشكل 1–16). سُمّي تحويل شكل سطح الأرض إلى المستوي بهذه الطريقة: تسقيط الخرائط (Map Projection)، وكانت هذه الطريقة هي أول اسلوب اتُّبع لتسقيط الخرائط بالاعتماد على الإحداثيات الجغرافية.



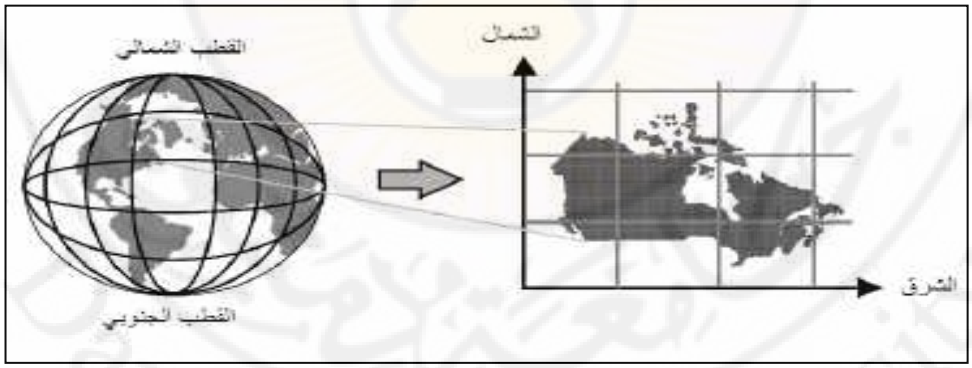
الشكل 1– 15 الإحداثيات الجيوديزية الكارتيزية



الشكل 1– 16 إسقاط الخرائط

إسقاط الخرائط هو العملية الرياضية التي تساعدنا على تحويل الإحداثيات على مجسم الأرض (سواء كان الشكل المرجعي الذي يمثل الأرض هو الكرة أو الإهليلج أي إحداثيات ثلاثية الأبعاد)، إلى إحداثيات ممثلة على سطح مستوٍ وهو الخارطة (أي: إحداثيات ثنائية الأبعاد أو شبكية Grid coordinates).

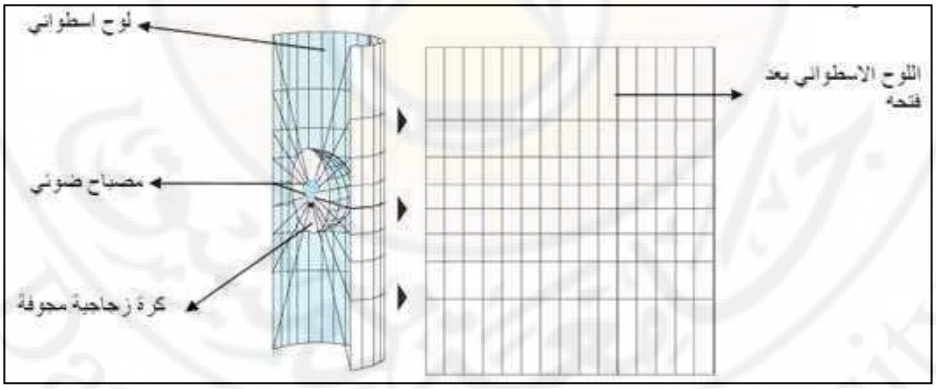
أو بمعنى آخر: هو العملية التي تمكننا من تحويل قيم خط الطول ودائرة العرض لموقع ما إلى الإحداثي الشرقي والإحداثي الشمالي المطلوبين لتوقيع هذا الموقع على الخريطة. يسمى الشكل الناتج عن عملية الإسقاط بالمسقط (الشكل 1–17).



الشكل 1– 17 عملية اسقاط الخرائط

يمكن فهم معنى تسقيط الخرائط من تخيل وضع مصباح ضوئي داخل كرة زجاجية مجوفة ترسم على غشائها الخارجي خارطة العالم وتوضع هذه الكرة داخل لوح أسطواني، وبعد تشغيل المصباح سنلاحظ ظهور خارطة العالم على الجدار الداخلي للوح الأسطواني، وبذلك يمكن رسمها ومن ثم نفتح اللوح الأسطواني ليصبح مستوياً (الشكل 1–18).

لايمكن بأي حال من الأحوال أن تتم عملية تحويل الشكل المجسم للأرض إلى شكل مستوٍ (خارطة) تحويلاً تاماً ولكن سيكون هنالك ما نسمّيه "التشّوه"(Distortion) في أي طريقة من طرائق إسقاط الخرائط، تحاول الطرائق المختلفة لإسقاط الخرائط أن تحافظ على واحدة أو أكثر من الخصائص التالية بين الهدف الحقيقي على الأرض وصورته على الخريطة (انتبه: لا يمكن تحقيق كل الخصائص مجتمعة): تطابق في المساحات، تطابق في المسافات، تطابق في الاتجاهات، تطابق في الزوايا (معظم الإسقاطات السورية تعتمدها) و تطابق في الأشكال. لكن هنالك بعض أنواع الإسقاطات التي تحافظ على المسافات وتُسمّى مساقط المسافات المتساوية Equidistance Projection وأنواع تحافظ على الأشكال والزوايا معا لكن في مساحات محدودة وتسمى مساقط التماثل Conformal Projection (وهي الأقرب للاستعمال في التطبيقات المساحية) وأنواع أخرى تحافظ على المساحات وتسمى مساقط المساحات المتساوية Equal–Area projection .



الشكل 1– 18 الإسقاط باستعمال مصباح ضوئي ولوح اسطواني

1–10 أنواع الإسقاط

وتنقسم مساقط الخرائط إلى أربع مجموعات رئيسة:

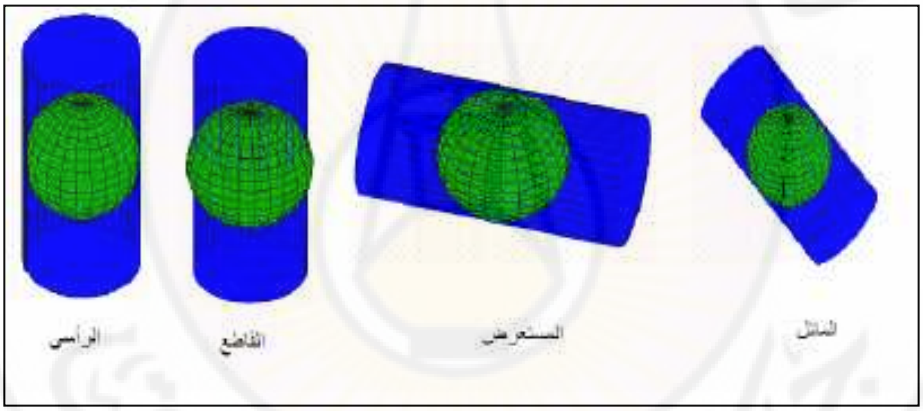
1– المساقط الأسطوانية Cylindrical Projection: تنشأ من إسقاط سطح الأرض على أسطوانة وقد تمس الأرض رأسياً أو تقطعها أو تمسها عرضياً أو بصورة مائلة (الشكل 1–19).

2– المساقط المخروطية Conical Projection: وتنشأ من إسقاط سطح الأرض على مخروط الذي إما يمس الأرض رأسياً وإما يقطعها (الشكل 1–20).

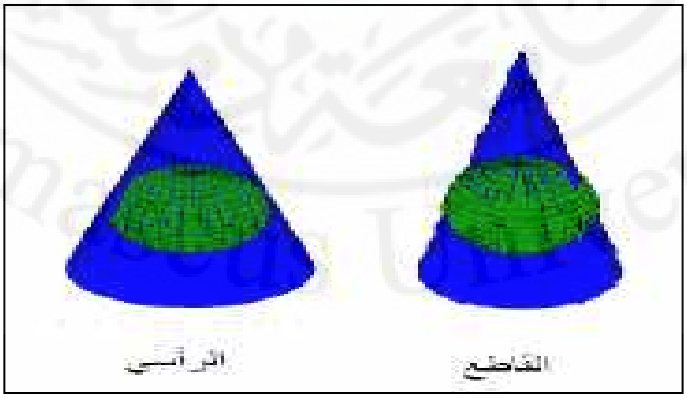
3– المساقط السمتية أو المستوية أو الاتجاهية Azimuthal Projection: وتنشأ من إسقاط سطح الأرض على مستوى يمس الأرض إما رأسياً عند نقطة محددة أو يقطعها في دائرة (الشكل 1–21).

4– مساقط أخرى خاصة

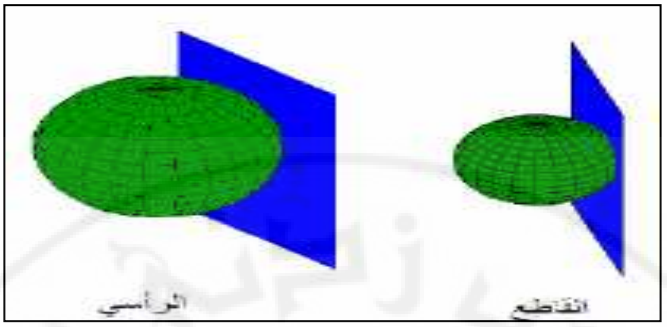
يؤثر شكل المنطقة الجغرافية المطلوب إسقاطها تأثيراً مهماً في تحديد طريقة الإسقاط المناسبة. مثلاً نختار طريقة إسقاط سمتية إذا كانت المنطقة شبه دائريه وطريقة الإسقاط الأسطوانية للمناطق شبه المستطيلة وطريقة الإسقاط المخروطية للمناطق شبه المثلثية.



الشكل 1– 19 بعض طرائق الإسقاط الأُسطواني



الشكل 1– 20 بعض طرائق الإسقاط المخروطي

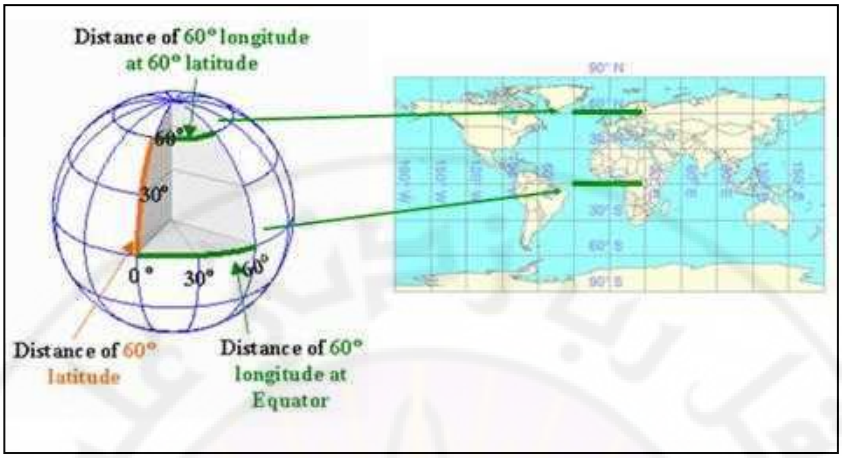


الشكل 1– 21 بعض طرائق الإسقاط السمتي أو المستوي

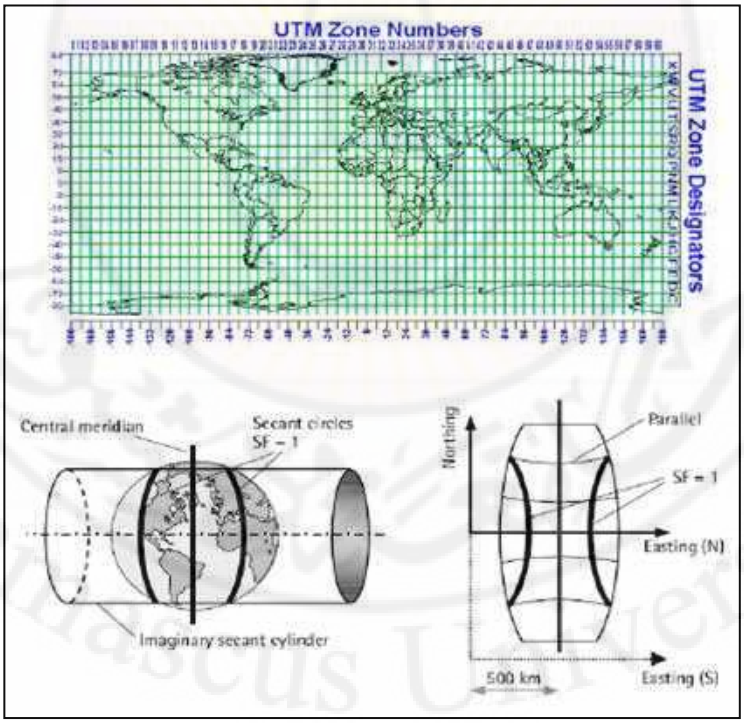
لم تتمكن أي من نظريات التسقيط من الحفاظ على المُواصفات الأربع الخاصة بالطريقة وهي الشكل، والمساحة، والمسافة والاتجاه حيث إن كل نظام إحداثيات يعمل على ضبط بعض المواصفات وهذا يؤدي إلى تشوه المواصفات الأخرى. مثلاً نظام الإحداثيات الجغرافية (GCS)، نلاحظ فيه أن الشكل والمساحة والمسافة بالقرب من القطبين قد تشوهت تشوهاً كاملاً، ونلاحظ أن مساحة جزيرة غرينلاند تظهر أكبر من مساحة البرازيل، وهذا غير صحيح لأن مساحة البرازيل أكبر بكثير من مساحة غرينلاند. سبب ذلك أننا لو تخيلنا أن الكرة الأرضية مثلثات مقوسةْ قاعدتُها خط الاستواء، ورأسُها أحد القطبين لقام نظام الإحداثيات الجغرافية (GCS) بتحويل كل مثلث إلى مستطيل بفتح رأس المثلث مع تثبيت قاعدته، لذلك كلما فتحنا رأس المثلث ازداد حجم الأجسام التي تقع بالقرب منه، مثل جزيرة غرينلاند، في حين الأجسام القريبة من قاعدة المثلث (أي: خط الاستواء) على الحجم نفسه تقريباً، مثل البرازيل (الشكل 1–22).

1–11 اسقاط ميركاتور العالمي المستعرض (UTM)

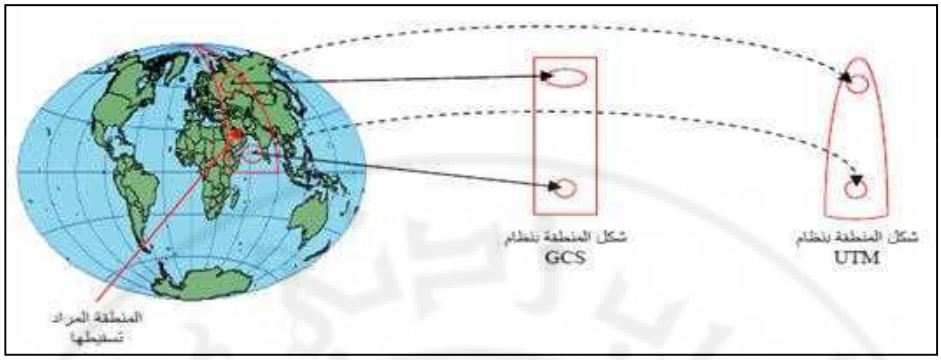
إن أحدث نظرية لتسقيط الخرائط هي نظرية ميركاتور، نسبة للعالم الشهير ميركاتر Universe Transverse Mercator (UTM)، اعتمدت على المعادلات الرياضية المعقدة (الشكل1–23) . يتم يقسم بها العالم إلى مناطق (Zones) كل منها على شكل مثلث منحني، قاعدته على خط الاستواء (Central Meridian)، طولها ستة درجات، ورأسُه على أحد القطبين. كل منطقة تحول إلى سطح مستوٍ تحويلاً مستقلاً، ولا تحول إلى مستطيل، مثل نظام الإحداثيات الجغرافية (GCS)، بل إلى شكل أشبه بالمثلث، وبذلك ستكون نسبة الخطأ في تلك المناطق أقل ما يمكن. يبين الشكل (1–24) تأثير كلا النظامين UTM و GCS على دائرتين، الأولى قريبة من خط الاستواء والثانية قريبة من القطب الشمالي.



الشكل 1– 22 التشوه نتيجة توازي خطوط الطول والعرض وتساوي الأبعاد بينها



الشكل 1– 23 شرائح مسقط ميركاتور المستعرض العالمي



الشكل 1– 24 مقارنة بين تاثر النظامين UTM و GCS على الإسقاط

1–12– نظم الإحداثيات المسقطة أو المستوية

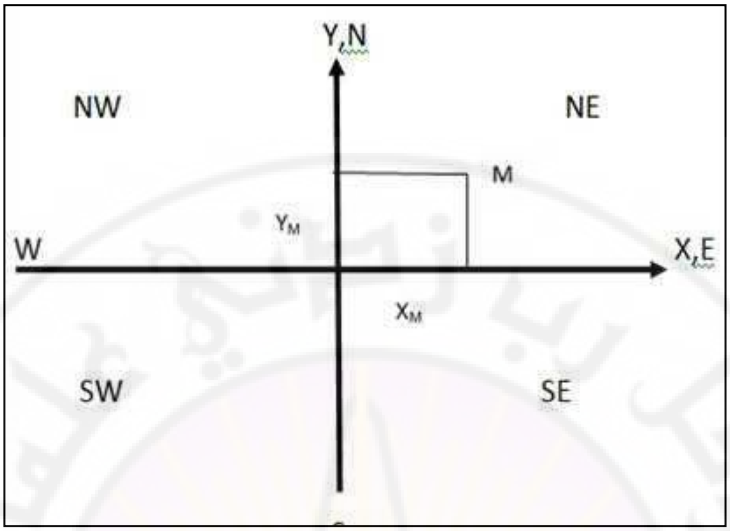
بعد أن اصبحت الخرائط تُرّسَم على سطح مستوٍ، ظهَر نظام جديد سُمّي نظامَ الإحداثيات المسقط (Projected Coordinated System) واستعمل وحدات قياس الطول، مثل المتر، أو القدم بدلاً من الدرجات. الإحداثيات المسقطة هي الإحداثيات المستوية ثنائية الأبعاد 2D الناشئة من تطبيق إحدى طرائق إسقاط الخرائط، أي هي إحداثيات أي نقطة على الخريطة وليس على سطح الأرض. غالباً ما يرمز لها بالإحداثي الشرقي (Easting)، واختصاراً E والإحداثي الشمالي (Northing) أو اختصاراً N (يُخطئ بعضهم باستعمال الرمزين (Y،X) اللذين اصبحا يعرفان بالدلالة على الإحداثيات الجيوديزية الكارتيزية).

وبهذا أصبح ممكناً قياس المسافات بين النقاط على الخريطة بالإضافة إلى مواقع النقاط بعد أن كان استعمال الخرائط يقتصر على ايجاد مواقع النقاط فقط. فعند وضع المخططات اللازمة في الأعمال الهندسية تستعمل بالدرجة الأولى جملة الإحداثيات المستوية المتعامدة حيث الاتجاه الموجب للمحور Y نحو الشمال والمحور X نحو الشرق كما بالشكل (1–25).

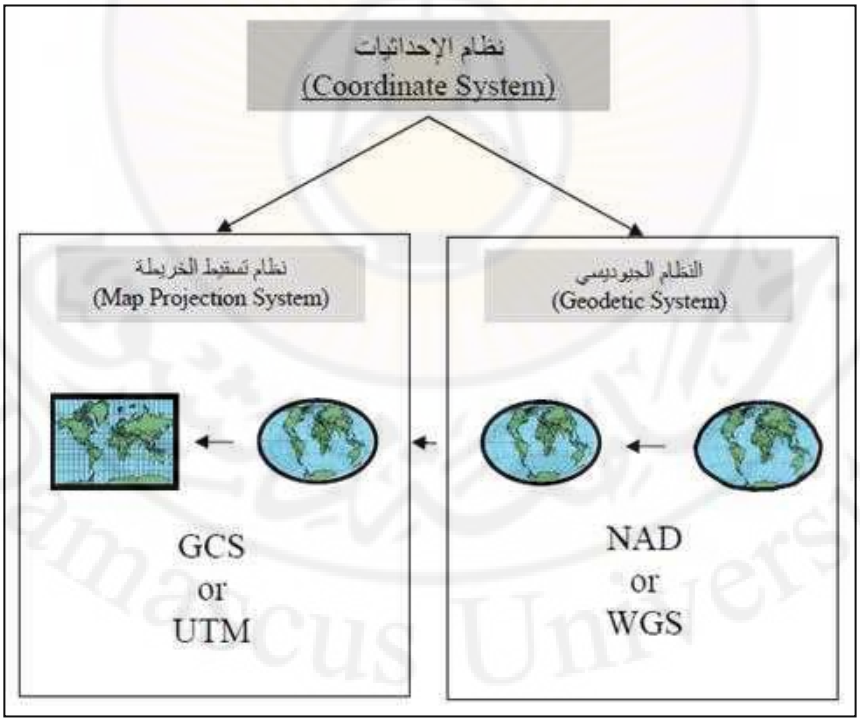
ومن ثمَّ أصبحت تعطى إحداثيات النقطة A (X1,Y1) والنقطة B (X2,Y2) بواحدات الطول: (متر، قدم، ميل، ...)، لذلك يمكن أن نستعمل المعادلة الآتية لحساب المسافة بين نقطتين

المسافة بين النقطتين: $D = \sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2}$

إن ناتج هذه المعادلة لا يساوي البعد الحقيقّي بين النقطتين على سطح الأرض، لأنّ المعادلة السابقة تفترض أن السطح مستوٍ وتقل نسبة الخطأ كلما كانت المسافة التي نقيسها أقل. الشكل (1–26) يقدم ملخصاً للنظام الجيوديزي ونظم تسقيط الخرائط.



الشكل 1– 25 جملة الإحداثيات المستوية



الشكل 1– 26 نظام الإحداثيات

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

الفصل الثاني

قياس المسافات

ينصب العمل المساحي على إجراء قياسات طولية (مسافات) وزوايا في الطبيعة وحساب المساحات، لذلك فمن المهم لدارس علم المساحة أن يلم بأنواع القياسات المساحية المختلفة والتي تتشكل من نوعين أساسيين يتفرع عنهما العديد من القياسات، وهما:

أولاً: قياسات خطية: وهي عبارة عن قياس مسافات أفقية وقياس مسافات رأسية (شاقولية). إن المسافة بين نقطتين على مخطط أو خريطة هي نفسها المسافة الأفقية بين هاتين النقطتين بغض النظر عن ارتفاعهما، أما المسافة الرأسية (الشاقولية) بين نقطتين فهي عبارة عن فرق الارتفاع (المنسوب) بين هاتين النقطتين.

ثانياً: قياسات زاوية : وتشمل قياس زوايا أفقية وقياس زوايا شاقولية.

2-1 أنواع القياسات الطولية

يعتبر قياس المسافات (الأطوال) بين النقاط المختلفة من سطح الأرض من الأعمال المساحية المهمّة، وتتوقف دقّة المخططات المنجزة على دقّة قياس المسافات، وكذلك تتوقف دقّة المشاريع الهندسية على المكان المحدد في الدراسة. من المعروف أننا نقوم بقياس المسافة المائلة (المباشرة أو الفراغية) في الطبيعة ثم نحولها، حسابياً، إلى المسافة الأفقية التي يتم توقيعها في الخرائط.

تقسم المسافات المقيسة إلى ثلاثة أقسام:

1- المسافة المائلة (S) Slope / slant Distance

2- المسافة الأفقية (D) Horizontal Distance

3- المسافة الرأسية (H) Vertical Distance أو فرق الارتفاع Difference in Elevation

2-2 طرائق قياس المسافات

تُقاس المسافات الأفقية بطريقتين رئيسيتين:

1- الطريقة المباشرة Direct Method:

يقصد بها قياس المسافات مباشرة باستعمال أداة القياس، كالشريط الفولاذي مثلاً وفق خطوط أفقية، ويتم ذلك بإجراء القياس من النقطة الأولى إلى النقطة الأخيرة ثم بالعكس، أو

باستعمال الأجهزة الإلكترونية كقائس المسافات الإلكتروني (**Electronic Distance Measurement (EDM)** وهو ما سنتحدث عنه بالتفصيل لاحقاً.

2– الطريقة غير المباشرة Indirect Method:

وهي تعيين مسافة ما دون الانتقال بجهاز القياس على طول هذه المسافة أو يتم تعيين المسافة المائلة والزاوية الرأسية ثم تشتق المسافة الأفقية منها.

ملاحظة: المسافة بين نقطتين يقصد بها المسافة الأفقية عامّةً، وهي التي تستعمل في الحسابات ورسم الخرائط والتصميم. أحياناً يصعب قياس مسافة بين نقطتين، وأحياناً يستحيل إجراء القياس، مثلاً قياس مسافة تجتاز وادي عميق أو وجود عائق بين نقطتين. في مثل هذه الحالات نعتمد طرائق هندسية أو مثلثية تساعد على إيجاد المسافة المطلوبة.

الطرائق الهندسية لقياس المسافات بشكل غير مباشر

يتم البحث في هذه الطرائق عن إيجاد علاقات هندسية تربط بين المسافة المطلوب قياسها وأطوال أخرى يمكن قياسها مباشرة.

مثال: عائق ما يقع بين النقطتين A و B (نهر مثلاً). والمطلوب: قياس المسافة AB

يتم اختيار نقطة مساعدة M تقع على الاستقامة AB. من M ننشأ عمود بطول h أي MN=h

بعد ذلك نقيس الأطوال AN=a و BN=b وتكون المسافة :

$$AB = D = \sqrt{a^2 - b^2} + \sqrt{b^2 - h^2}$$

الطرائق المثلثية لقياس المسافات بشكل غير مباشر

تستعمل الطرائق المثلثية للحصول على المسافات بين نقاط معلومة بشكل غير مباشر، ولهذا الغرض تقاس مباشرة أطوال وزوايا ترتبط مع المسافة المجهولة بعلاقات مثلثية، وبحل هذه العلاقات يمكن حساب المسافة المجهولة.

مثال: المطلوب إيجاد المسافة AB=D نختار نقطة C على الطبيعة ونقيس المسافة AC=a وكذلك نقيس الزاويتان α_1 و α_3 وبحسب خاصة الجيوب في المثلث لدينا

$$\alpha_2 = 200 - (\alpha_1 + \alpha_3)$$

$$\sin\alpha_2 = \sin(\alpha_1 + \alpha_2)$$

$$AB = D = \frac{\alpha \times \sin\alpha_3}{\sin(\alpha_1 + \alpha_2)}$$

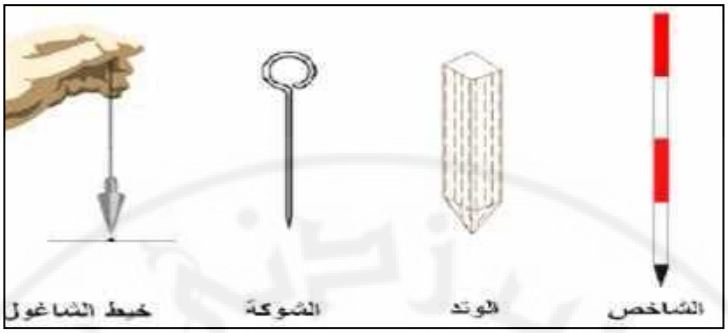
2–3 استعمال شريط القياس بالقياسات المباشرة

يستعمل فيها الشريط أو بكرة القياس Tape، بكرة القياس هي شريط من الكتان أو الفولاذ والشريط الفولاذي Steel Tape الأكثر استعمالاً. أطوال الشريط المتوفرة (10m–20 m– 25m –30 m–50 m–100 m) وهي مقسمة إلى أمتار وديسيمترات وسنتيمترات، ذات عرض يتراوح بين 10 mm و 15 mm وسماكة 0.6 mm –0.25 يُلّف الشريط على بكرة تنتهي بمقبض. إن استعمال الشريط الفولاذي لقياس المسافات يعطي دقة بحدود 1/4000 أي 2.5 Cm لكل 100 m. تصنع الشرائط من الصلب أو من مادة الكتان أو التيل،في حين يستعمل شريط الأنفار (35% نت مادة التيل و 65% من الحديد) للقياسات الدقيقة حيث لا يتأثر كثيراً بالحرارة إلّا أنه أغلى سعراً من كلا النوعين السابقَيْن (الشكل 2–1).

الشكل 2– 1 بعض أنواع شريط القياس

2–3–1 أدوات مساعدة لشريط القياس

عند قياس المسافات بالشريط وفي حال كانت المسافة المطلوب قياسها أكبر من طول الشريط نفسه توجد عدة أدوات مساعدة تشمل: الشواخص، والشوك، والأوتاد، وخيط ثقالة الشاقول كما هو موضح بالشكل (2–2).



الشكل 2– 2 أدوات مساعدة لشريط القياس

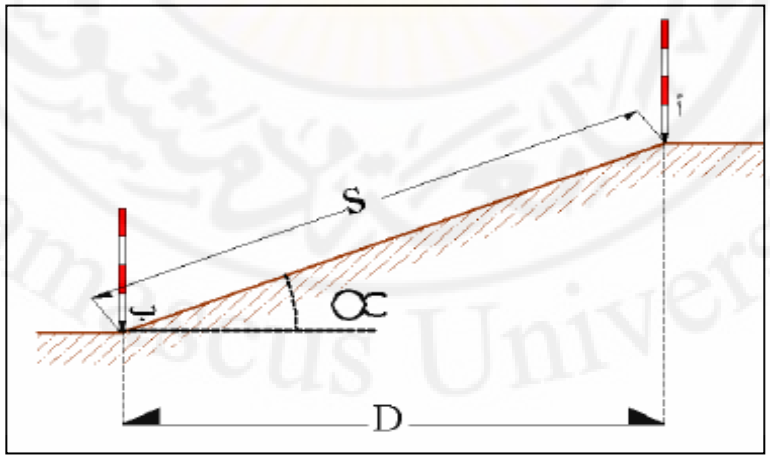
2–3–2 طرائق القياس بالشريط

1– **بحالة الأرض الأفقية** أو الأرض المائلة ميلاً منتظماً لا يزيد ميلها عن (2%). تُعد المسافة المقيسة S على أرض أفقية أو ذات ميل لا تتجاوز 2% مساوية للمسافة الأفقية (D) حيث:

$i < 2\%$ $\quad D \cong S$ كما بالشكل (2–3).

2– **حالة أرض ذات ميل منتظم:** تعطى قيمة المسافة الأفقية (D) من المسافة المائلة (S) بالنظر إلى أن α زاوية الميل بالعلاقة: $D = S\cos\alpha$ المسافة الأفقية.

3– **حالة أرض مائلة بشكل غير منتظم:** تجري القياسات مباشرة على مراحل عدة بحيث يكون الشريط دائماً في وضع أفقي، ويستعان بالشاقول لتحديد موضع القراءة على الأرض.



الشكل 2– 3 قياس المسافات على أرض منتظمة الميل

2–3–3 شروط القياس بالشريط

1– يجب معايرة الشريط قبل الاستعمال وتحديد خطأ التمدد بالحرارة.

2– يُجرى القياس والشريط في وضع أفقي ومشدود جيداً.

3– أن يقوم بعملية القياس شخصان مدربان.

4– تقاس المسافة مّرتين على الأقل ذهاباً وإياباً.

5– ان يتّم القياس بشكل مستقيم.

2–3–4 مصادر الأخطاء في قياس المسافات بالشريط

1– أخطاء مصنعيه تعود للشريط نفسه.

2– أخطاء طبيعية تنجم عن الوسط المحيط في أثناء القياس.

3– أخطاء شخصية متعلقة بالشخص الذي يقوم بعملية القياس.

يتم الكشف عن الأغلاط بإعادة القياس مرتين على الأقل، والقياسات التي تحمل أغلاطاً يجب استبعادها وحذفها من نتائج القياسات.

2–4 الأخطاء النظامية الناجمة عن استعمال شريط القياس

وهي تؤثر في الاتجاه نفسه وتظهر الإشارة نفسها وهي تؤثر في الطول الإجمالي إما زيادة وإما نقصاناً ومن أهم هذه الأخطاء:

1– خطأ المعايرة أو التعيير (e1)

وهو ناشئ عن استعمال شريط بطول خاطئ عندما يكون الشريط الحقيقي المستعمل أطول أو أقصر من الطول الأسمي للشريط ويعطى بالعلاقة الآتية:

$$e_1 = L - L0$$

حيث:

L0 الطول المعياري (الأسمي) للشريط ، **L** طول الشريط المستعمل (الطول الفعلي)

ومن ثمَّ يكون الخطأ الكلي على المسافة المقيسة E1

$$E_1 = n \times e_1$$

حيث إن **n** – عدد مرات استعمال الشريط أثناء القياس.

$$n = \frac{D}{L} \approx \frac{D}{L0}$$

2– خطأ ناشئ عن تغيرات درجات الحرارة في أثناء القياس (e_2)

$$e_2 = \gamma \times L0\ (t - t0)$$

حيث إن :

Y– عامل تمدد معدن الشريط. فمثلا $\gamma = 0.011$ mm/m.c° =γ

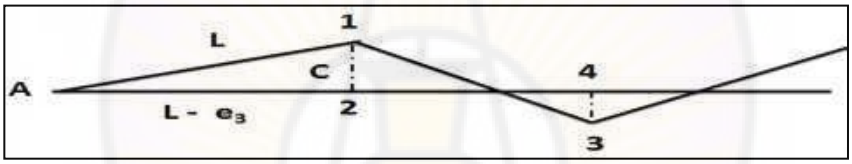
t– درجة حرارة الجو في أثناء القياس.

to– درجة حرارة تصنيع الشريط.

فيكون الخطأ الكلي: $E_2 = n \times e_2$

3– خطأ الانحراف عن الاستقامة (e_3)

على الشكل(2–4) وحسب فيثاغورث المثلث (A،1،2) نجد :



الشكل 2– 4 خطأ الانحراف عن الأستقامة

$$L^2 = (L - e_3)^2 + C^2$$

$$L^2 = L^2 - 2e_3L + e_3^2 + C^2$$

$$e3 = \frac{C^2}{2L}$$

حيث إن C مقدار الانحراف عن الأستقامة. هذا الخطأ دائماً يطرح لأن الانحراف عن الاستقامة يؤدي إلى قياس مسافة أكبر من المسافة الحقيقية.

4–خطأ عدم أفقية شريط القياس (e_4)

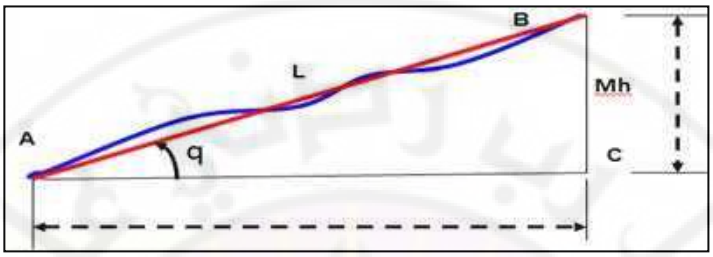
على الشكل(2–5) وحسب فيثاغورث المثلث (C،B،A)

$$L^2 = (L - e_4)^2 + Mh^2$$

$$L^2 = L^2 - 2e_4L + e_4^2 + Mh^2$$

$$e4 = L - L' = \frac{M_h^{\ 2}}{2L}$$

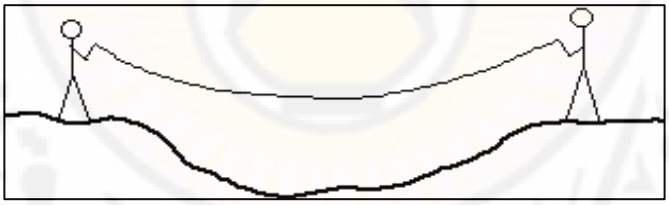
حيث إن Mh مقدار الانحراف عن الأفق. هذا الخطأ دائماً يطرح لأن الانحراف عن الأفق يؤدي إلى قياس مسافة أكبر من المسافة الحقيقية.



الشكل 2– 5 خطأ عدم أفقية الشريط

5–خطأ ارتخاء الشريط (sag):

وهو ناشيء عن انحناء الشريط في اثناء القياس (على شكل قوس mechanical determined curve(Catenary) وهذا يعطي طولاً أكبر من الطول الحقيقي للمسافة المقيسة. ولوزن الشريط أثرٌ مهمّ بهذا الخطأ (weight of the tape) فإذا لم يكن الشريط مشدوداً جيداً فسيتدلى تحت تاثير الجاذبية الأرضية كما يظهر بالشكل(2–6).



الشكل 2– 6 خطأ ارتخاء الشريط

2–5 قائس المسافات الإلكتروني (EDM)

بدأ إنتاج أجهزة المسافات الإلكترونية (Electronic Distance Measurement) منذ بداية الخمسينات من القرن العشرين، وكانت أجهزة منفصلة، تركب فوق أجهزة قياس الزوايا (الثيودوليت) وتقاس الزوايا والمسافات في الوقت نفسه.تُعد الطرائق الإلكترونية لقياس المسافات في الوقت الحالي من المتطلبات الضرورية لأعمال الجيوديزيا والمساحة (الشكل 2–7). وتتعدد أنواع الأشعة المستعملة في قياس المسافات الإلكترونية حيث يمكن تمييز الأنواع الآتية:

1– موجات الراديو والمايكرويف: تُستعمل في قياسات المسافات الطولية حتى50–60 كيلومتراً وخاصة بأنظمة الاستشعار عن بعد.

2– الموجات تحت الحمراء Infra red: وهي الاكثر استعمالاً الآن في أجهزة المحطات الشاملة Total Station وتستعمل لقياس المسافات 10–30 كيلومتراً.

3– الموجات الضوئية المرئية: تُستعمل لقياس المسافات الأقل من 10 كيلومتر.

4– الليزر المرئي للمسافات متناهية الصغر والتي تبلغ عشرات الأمتار.

ومن ثمَّ يمكن تقسيم طرائق القياس الإلكترونية للمسافات تبعاً للنظريات المستعملة في القياس إلى ثلاثة أقسام رئيسة:

1– القياس بالأجهزة الكهرضوئية Electro–Optical.

2– القياس بالأجهزة التي تستعمل موجات الراديو Radio –Wave.

3– نظام القياس بالراديو جيوديزي Radio–Geodesy.

معظم أجهزة المساحة لقياس المسافات إلكترونياً تعتمد على وجود عاكس Reflector أو منشور عاكس Prism يقوم بعكس الموجة إلى جهاز الاستقبال مرة أخرى. يتكون العاكس من منشور الزجاج النقي المطلي بمادة الفلوريسنت، لزيادة قوة انعكاس الأشعة، يوضع غالباً داخل بلاستيك ملوّن لِسهولة رؤيته من مسافات كبيرة. وقد يوضع العاكس على حامل ثلاثي لضمان وقوعه رأسياً أعلى النقطة المتمركز عليها بالضبط (للقياسات المساحية الدقيقة) أو يوضع أعلى عصا Pole يمسكها الراصد بيده. أيضا توجد أهداف عاكسة Reflective Sheet يمكن استعمالها بدلاً من العاكس وهي عبارة عن ألواح رقيقة يتم طلاؤها بمادة الفلوريسنت العاكسة للأشعة. تستعمل الأهداف العاكسة في الطبيعة للمواقع التي لا يمكن تثبيت العاكس عندها مثل الجدران والأعمدة الخرسانية.

الشكل 2– 7 بعض أنواع قائس المسافات الإلكتروني

توجد أجهزة مساحية يمكنها قيـــاس المسافات إلكترونياً مـــن دون عاكـس Reflector–Less (للمسافات القصيرة وحتى مئات الأمتار) وذلك باستعمال موجات تتميّز بخاصية الانعكاس عند اصطدامها بأي هدف. وبذلك هذه النوعية من الأجهزة المساحية تمكّننا من قياس المسافات دون الحاجة إلى احتلال نقطة نهاية الخط، أي: يمكنها قياس المسافة إلى أعلى قمة برج أو إلى خط تيار كهربائي.....الخ. بعض أجهزة قياس المسافات إلكترونياً (باستعمال موجات الليزر المرئي) مخصصة للأعمال الهندسية البسيطة (غير المساحية) حيث أصبحت هذه الأجهزة محمولاً يدوياً hand–held ليتم استعمالها بصورة سريعة وبسيطة (داخل المنشأت والمباني مثلا) لقياس المسافة الصغيرة وبدقة سنتيمرات.

6–2 أجهزة القياس الكهروبصرية (Electro–Optical Instruments)

وهو أقدم نوع، وسمي أول جهاز جيوديمتر Geodimeter الذي اخترعه العالم السويدي أرك بيرغستران. يعتمد مبدأ قياس المسافات إلكترونياً على المعادلة الرياضية التي تجمع كلاً من المسافة والسرعة والزمن:

المسافة (D) = السرعة (V) x الزمن (t)

فإذا تمكننا من قياس سرعة الشعاع أو الموجة الكهروبصرية electro–optical (وبأنواع أخرى تستعمل الموجات الكهرومغناطيسّية electromagnetic) في أثناء انتقاله بين نقطتين وقمنا بقياس الزمن الذي استغرقته هذه الموجة للسفر بين كلا النقطتين فيمكننا حساب المسافة بينهما.
بدأ تطبيق هذا المبدأ في مجال المساحة وذلك عن طريق إطلاق موجة من جهاز (عند النقطة الأولى من الخط المطلوب قياسه) إلى النهاية الثانية للخط حيث يوجد جهاز عاكس يقوم بعكس هذه الموجه في مسارها نفسه. ويقوم الجهاز المرسل بقياس الفترة الزمنية التي استغرقتها هذه الموجة منذ إطلاقها:

الفترة الزمنية (t) = وقت الاستقبال – وقت الإرسال

لكن هذه الفترة الزمنية المقيسة هي الزمن الذي استغرقته الموجة منذ صدورها من الجهاز المرسل حتى وصولها للعاكس ثم عودتها مرة أخرى للجهاز المرسل، أي: إنها ضعف الفترة الزمنية بين المرسل والعاكس لذلك المسافة المحسوبة ستعادل ضعف المسافة بين جهازي المرسل والعاكس:

$$S = \frac{1}{2} \times V \times t$$

حيث إن سرعة الضوء (v) هي: V=300000 km/h=299792.458 km/sec

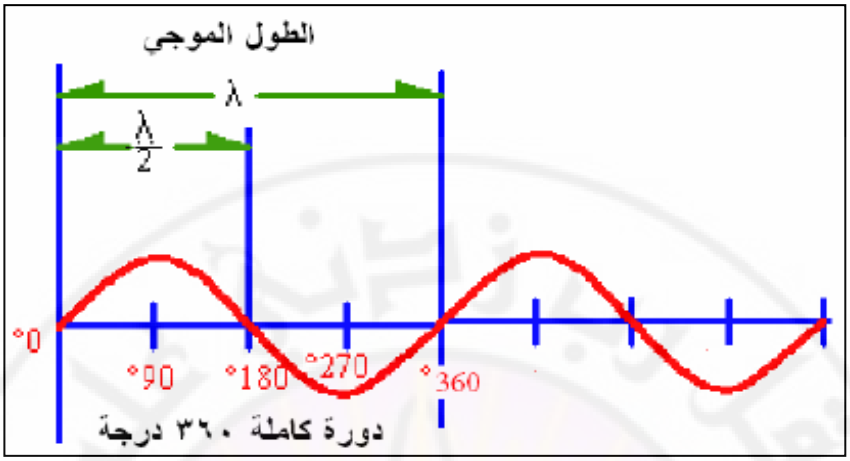
2–7 أجهزة القياس بالموجات الدقيقة (راديو ومايكروويف وتحت الحمراء)

عندما يتدفق تيار كهربائي متناوب ((Alternating Current (AC) عبر دارة مفتوحة كالهوائي مثلاً، تتولد حقول كهربائية ينشأ عنها إشعاعات في الفضاء على شكل موجات كهرومغناطيسية (الشكل 2–8) . من بين هذه الموجات المنبعثة الموجات الضوئية والراديوية، وكلاهما له السرعة نفسها في الفراغ، وهي V=300000 km/h=299792.458 km/sec.

تنتشر هذه الموجات الكهرومغناطيسية على هيئة منحني أقرب لمنحني جيب الزاوية (Sinusoidal curve) المعروف الذي يحدد طول الموجة الواحدة (Wavelength) ونرمز لها بالرمز (λ) وزاوية الطور (Phase angle) التي تبلغ 2π درجة للدورة الكاملة ونرمز لها بالرمز (θ) كما يظهر بالشكل (2–9). يعرف طول الموجة λ بأنّه المسافة التي تقطعها نقطة نتيجة حركة ترددية مقدارها دورة واحدة.

الشكل 2– 8 حزمة الموجات الدقيقة

F التردد الموجي وواحدته هي sec^{-1} وتعرف بالهرتز (Hertz)، فإذا ذكر أن تردّد الموجة هو واحد هرتز، فهذا يعني أن الدورة (Cycle) الواحدة تستغرق ثانية واحدة.



الشكل 2– 9 انتشار الضوء

والعلاقة التي تربط بين طولة الموجة (λ) وترددها (F) وسرعتها (V) هي :

$$F = V / \lambda$$

للوصول لدقة عالية في قياس المسافات إلكترونياً لابد من قياس فرق الزمن للموجة الكهرومغناطيسية بدقة عالية جداً وذلك للسرعة الهائلة للموجة الكهرومغناطيسية، وهذا يتطلب وجود ساعة ذرية، وهذا سيجعل سعر الجهاز عالياً جّداً، بدلاً من ذلك تعتمد أجهزة EDM طرائق غير مباشرة لقياس المدة الزمنية التي تستغرقها الموجة ذهاباً وإياباً. تتلخص هذه الطرائق غير المباشرة لقياس الفترة الزمنية بقياس فرق الطور (Phase Difference).

إن فرق الطور هو عبارة عن الزمن معبراً عنه بالدرجات الكهربائية التي تتقدم أو تتأخر فيه موجة عن أخرى. إن طريقة قياس فرق الطور (Phase Difference) تعتمد على مقارنة الطول (λ) لتحديد المسافة بين النقطتين حيث يُقاس فيها عدد الدورات الكاملة فضلاً عن جزء الدورة الأخيرة للموجة المرسلة من جهاز الإرسال وحتى وصولها إليه مرة أخرى بعد انعكاسها من العاكس الموضوع في النهاية الثانية للخط المطلوب قياسه حيث يُقارن طور الموجة المرسلة والمرتدة. تُحسبُ المسافة وفق مايأتي:

$$D = \frac{1}{2}(n\lambda + p)$$

حيث إن:

D: المسافة المطلوب قياسها.

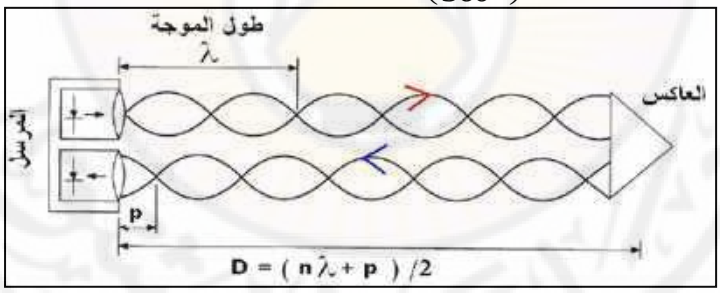
n: عدد الموجات الصحيحة أو الكاملة.

λ: الطول الموجي أو طول الموجة.

p: طول جزء الموجة المتبقية.

إنَّ فرق الطور بين الموجتين(Phase difference) يمثل الجزء من طول الموجة الذي تزيد فيه ضعف المسافة المقيسة عن عدد صحيح من الموجات. فرق الطور ممكن قياسه باستعمال كاشف طور كهربائي مبني ضمن وحدة القياس في الجهاز. إن المسافة ذهاباً وإياباً تتكون من عدد صحيح n من طول الموجة λ (لتحديده يجب حل الغموض resolving the ambiguity) التي تتم بعدة طرائق تبعاً للجهاز المستعمل) إضافة إلى جزء من طولها Δλ متناسب مع فرق الطور. تتوقف المسافة المقيسة على طول الموجات المستعملة وسرعة انتقال هذه الموجات في الهواء في أثناء الرصد. تحسب عادة سرعة الموجات ضمن شروط نظامية من حيث درجة الحرارة الهواء، والضغط الجوي، والضغط الجزئي لبخار الماء في الجو الذي يعتمد على درجة الحرارة والرطوبة النسبية. يُحسبُ طول جزء الموجة المتبقية بنسبة قيمة زاوية الطور له (θ) إلى 2π من طول الموجة الكاملة كالاتي:

$$P = \left(\frac{\theta}{360^{\circ}}\right)\lambda$$



الشكل 2– 10 قياس المسافات إلكترونياً بالموجات الكهرومغناطيسية

2–8 تأثير انحناء الأرض في قياس الأطوال (عند سطح البحر)

لتكن النقطة M منتصف الجزء الذي تجري عليه القياسات الأفقية أو بمعنى أدق المسقط كما يظهر بالشكل (2–11). وإذا حددنا الفرق الحاصل بين طول القوس على الجيوئيد AB=S وطول المماس A´B´=T

من المثلث OA'M أو من المثلث OB'M نجد أن :

$$\tan\frac{\varphi}{2} = \frac{T/2}{R} \Rightarrow T = 2R\tan\frac{\varphi}{2}$$

إن هذه الدراسة كافية لنقبل أن شكل الأرض كرويٌ ولنعتمد نصف قطر الكرة R=6370 km وطول أي قوس من دائرة S يمكن حسابه من العلاقة:

$$S = R \times \varphi \Rightarrow \varphi = \frac{S}{R}$$

ومن ثمّ يظهر تأثير انحناء الأرض بواسطة الفرق بين القوس والمماس لهذا القوس وفق العلاقة:

$$\Delta = T - S = 2R\tan\frac{\varphi}{2} - R\varphi$$

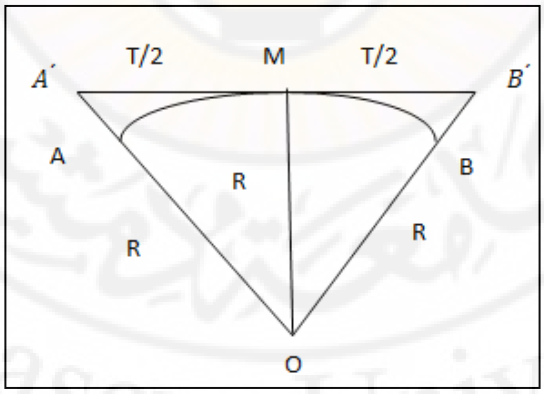
وبنشر قيمة ظل الزاوية نجد: $\Delta = 2R(\frac{\varphi}{2} + \frac{1}{3}\frac{\varphi^3}{8} + \ldots\ldots\ldots..) - R\varphi$

وبأخذ الجزأين الأول والثاني من النشر وإهمال باقي الحدود لصغرها يمكن التعبير عن العلاقة السابقة بالآتي:

$$\Delta = R \times \varphi + \frac{R\varphi^3}{12} - R \times \varphi$$

ومن ثمَّ تكون قيمة تأثير انحناء الأرض على المسافات المقيسة عند مستوى سطح البحر وفق العلاقة :

$$\Delta = \frac{R(S/R^3)}{12} \Rightarrow \Delta = \frac{S^3}{12R^2}$$



الشكل 2– 11 تأثير انحناء الأرض في قياس الأطوال عند سطح البحر

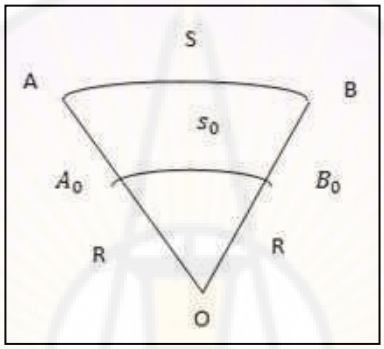
ومن ثمَّ يمكن الحصول على هذا التأثير مباشرة اذا اعتبرنا نصف قطر الأرض R=6370 km

$$S = 10km \Rightarrow \Delta = 0.21cm$$
$$S = 50km \Rightarrow \Delta = 26cm$$

إذاً يمكن إهمال تأثير انحناء الأرض حتى مساحة مقدارها 400 km.

2–9 تأثير الارتفاعات في قياس الأطوال

إذا فرضنا أنه قيست مسافة S_0 بين النقطتين A_0 و B_0 على سطح الجيوئيد (مستوى سطح البحر) ، وقيست المسافة S بين النقطتين A و B على ارتفاع h من مستوى سطح البحر، فإن الفرق بين قياس المسافتين سوف يُظهر تأثير الارتفاع في قياس الأطوال كما يظهر في الشكل (2–12).



الشكل 2– 12 تأثير الارتفاعات في قياس الأطوال

باستعمال مبرهنة النسب الثلاث المتساوية يمكن أن نكتب:

بطرح المقام من البسط في كل كسر: $\frac{S}{S_0}=\frac{R+h}{R}$

$$\frac{S-S_0}{S_0}=\frac{h}{R}$$

فإذا رمزنا للنسبة بين الارتفاع h ونصف قطر الأرض بالرمز N

$$\Delta_2=\frac{h}{R}\times S_0=N\times S_0$$

ومنه يمكن حساب تأثير الارتفاع في قياس المسافات الطولية بواسطة حساب الفرق بين المسافتين المقيستين ($\Delta_2=S-S_0$) كما يلي:

$$\frac{\Delta}{S_0}=\frac{h}{R}\Rightarrow\Delta_2=\frac{h}{R}\times S_0$$

ومن ثمَّ يمكن حساب تأثير ارتفاع مقداره 500 m في مسافة مقيسة عند سطح الأرض S_0=1 km وباعتبار نصف قطر الأرض R=6370 km

$$S = 1000m, h = 500m \Rightarrow \Delta_2 = 8cm$$

وتكون المسافة المقيسة عند الارتفاع h=500 m هي S=1000.08 m

لكن إذا قيست المسافة S=100.08 m على ارتفاع h=500 m وطُلِب حساب المسافة على مستوى سطح البحر نكتب:

$$\Delta_2 = N \times S_0$$
$$\Delta_2 = N \times (S - \Delta_2) = (N \times S) - (N \times \Delta_2)$$
$$\Delta 2 + N\Delta_2 = NS$$
$$\Delta_2(1+N) = NS$$
$$\Delta_2 = \frac{NS}{1+N}$$

وبالتعويض نجد:

$$N = \frac{0.5}{6370} = 0.000078$$
$$\Delta_2 = \frac{0.000078 \times 1000.08}{1.000078} = 0.08m$$

2–10 مسائل عامة لأخطاء شريط القياس

المسألة الأولى: قسنا المسافة المائلة بين النقطتين A و B بشريط قياس بلغ طوله بعد المعايرة L=49.985 m، وبلغت حرارة الجو أثناء القياس t=35 C° .

المطلوب: احسب المسافة الأفقية المصححة بين النقطتين بفرض

S=1462.428 m المسافة المقيسة.

$t_o = 20c°$ درجة حرارة تصنيع الشريط.

$\gamma = 0.011mm/m * c°$ عامل تمدد معدن الشريط.

$\mu = 30\%$ ميل قطعة الأرض.

الحل:

خطأ المعايرة

$$e_1 = L - L_0 = 49.428 - 50.000 = -0.015m$$

خطأ الحرارة

$$e_2 = \gamma \times L_0 \times (t - t_0)$$
$$e_2 = 0.011 \times 50(35 - 20) = 8.3mm = 0.008m$$

عدد مرات استعمال الشريط

$$n = \frac{D}{L} \cong \frac{D}{L_0} = \frac{1462.428}{49.985} \cong \frac{1462.428}{50} = 29.26 \cong 29.25$$

المسافة المائلة المصححة

$$D'_C = D' + n(e_1 + e_2) = 1462.428 + 29.26(-0.015 + 0.008) = 1462.223m$$

$$D'_C = D' + n(e_1 + e_2) = 1462.428 + 29.25(-0.015 + 0.008) = 1462.223m$$

حساب زاوية الميل والمسافة الأفقية المصححة

$$D = D'_C \times \cos\alpha$$
$$\alpha = \tan^{-1}(0.3) = 18.5547\,gr$$
$$D = D'_C \times \cos\alpha = 1462.221 \times \cos(18.5547) = 1400.554m$$
$$D = D'_C \times \cos\alpha = 1462.223 \times \cos(18.5547) = 1400.556m$$

مسألة (2)

احسب المسافة بين النقطتين A و B قيست بجهاز EDM يعتمد على إرسال موجة كهرومغناطيسية، يبلغ طول موجتها 20 m، وزاوية الطور '42 ° 115، إذا كان عدد الموجات الصحيحة 9 موجات.

الحل:

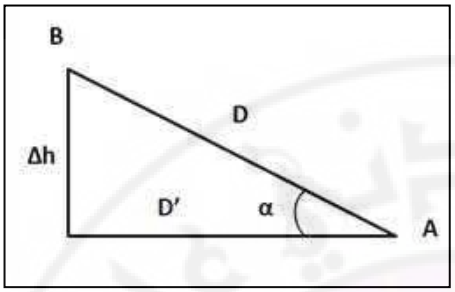
أولاً نحسب طول جزء الموجة المتبقي:

$$P = (\frac{\theta}{360^\circ})\lambda$$
$$= \left[(115^\circ 42') / 360^\circ\right] \times 20 = 6.428$$

ومنه تكون المسافة:

$$D = \frac{1}{2}(n\lambda + p) = \frac{1}{2}((9 \times 20) + 6.428) = 93.214m$$

مسألة (3)



قسنا المسافة المائلة (D) بين النقطتين A و B بشريط قياس بلغ طوله بعد المعايرة L=49.980 m وبلغت حرارة الجو أثناء القياس t=30 C°.

المطلوب: احسب المسافة الأفقية المصححة (D') بين النقطتين بفرض D=1025.00 m المسافة المائلة المقيسة ومقدار الانحراف عن الأفق Mh= 40 cm، علماً أن :

درجة حرارة تصنيع الشريط t=20 C°

γ =0.03 mm/m* c° عامل تمدد معدن الشريط

α=20 Gr زاوية ميل قطعة الأرض

مسألة (4)

قسنا المسافة المائلة D بين النقطتين A و B بشريط قياس وذلك على أرض مائلة بانتظام فكانت D=712.53 m، وبعد معايرة الشريط تبين أنه ينقص 3 cm عن طوله الإسمي البالغ L0=20 m، وكانت درجة حرارة الجو أثناء القياس t=35C°، ومقدار الانحراف عن الاستقامة C = 40 cm.

المطلوب: احسب المسافة الأفقية المصححة (D') بين النقطتين إذا علمت أن:

t0= 20c° درجة حرارة تصنيع الشريط

γ=0.03 mm/m* c° عامل تمدد معدن الشريط

α=20 Gr زاوية ميل قطعة الأرض

وقل رب زدني علما
Damascus University

الفصل الثالث

القياسات والأخطاء

3–1 نظرية الأخطاء

يعتمد علم المساحة على الأرصاد (القياسات) والتي مهما بلغت دقة قياسها فلن تعطي نتائج صحيحة بصورة مطلقة بل سيكون بها خطأ مهما كان صغيراً جداً. فعلى سبيل المثال إذا استعمل راصد ذو خبرة كبيرةٍ جهاز النيفو لقياس فرق الارتفاع بين نقطتين على مسار ما عدداً من المرات فلن يكون فرق الارتفاع هو ذاته في كل هذه القياسات. لذلك من الضروري على دارس المساحة أن يحيط بمصادر الأخطاء وأنواعها وكيفية التغلب عليها، إن أمكن، أو كيفية التعامل معها حسابياً للوصول إلى قيمة أقرب إلى الصحة (مسافة أو زاوية أو فرق منسوب ...) للمساحة المقيسة. يُعدُّ كل شيء مقيس متحولاً في علم المساحة، ويختلف علم المساحة عن الرياضيات في هذا المجال، فمثلاً مساحة الدائرة تعطى بالعلاقة (πr^2) حيث π ثابت، ويعدّ r ثابت بمسائل الرياضيات إذا أعطي قيمة، لكن في المساحة فهو مقدار مقيس ومن ثمَّ هو متحول.

3–2 أنواع القياسات

3–2–1 القياسات متساوية الدقة

وهي القياسات التي تحدث ضمن الظروف نفسها (الوقت ودرجة الحرارة والضغط وغيره) والجهاز والقياس نفسه والشخص الذي يقيس نفسه (القياس). وعند تكرار عملية القياس عدداً من المرات تكون أقرب قيمة إلى القيمة الحقيقية (في هذا النوع من القياس) هي المتوسطة الحسابية، إذ تحسب من القانون الآتي:

$$\overline{X} = \frac{\sum_{i=1}^{n} X_i}{n}$$

N: عدد القياسات

X_i: كمية القياس

3–2–2 القياسات غير متساوية الدقة

وهي القياسات التي لا تجري ضمن نفس الظروف ونفس جهاز القياس ونفس الشخص الذي يقيس (القياس). تكون القيمة الأقرب للقيمة الحقيقية في هذا القياس هي المتوسطة الموزونة والتي تعطى بالقانون:

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^{n} X_i P_i}{\sum_{i=1}^{n} P_i}$$

N: عدد القياسات

X_i: كمية القياس

P_i: الوزن وهو المعيار لإظهار أهمية القياس

3–3 نظرية الأخطاء

عند إجراء جميع القياسات المساحية وباستعمال أدق الأجهزة وأمهر المساحين، في أفضل ظروف القياس ستحدث أخطاء (Errors) أو فروق، وستكون نتائج القياس حكماً حاملة أخطاءً. لا يمكن تحديد قيم هذه الأخطاء لعدم إمكانية تحديد القيم الحقيقية للكميات أو العناصر المقيسة، لأنها مقادير فيزيائية متغيرة مع الزمن. إن نظرية الأخطاء (**Theory of Errors**) تبين طرائق تحديد القيمة الأكثر احتمالاً للقيم المقيسة كما تحدد دقة هذه القيم.

3–4 تصنيف الأخطاء حسب مقدارها وقانون حدوثها

3–4–1 الأغلاط (الأخطاء الفادحة) Mistake or Blunder or Gross Errors :

هو قيمة شاذة تجعل القيم المرصودة غير متجانسة مع بقية الأرصاد المماثلة. تحصل نتيجة قلة خبرة الراصد وإهماله أثناء القياس أو أثناء الحسابات أو كليهما معاً، وتتميز بكبر قيمتها مقارنة ببقية الأخطاء ومن ثمَّ يكون الغلط بالقياسات غير مقبول وعلينا إعادة عملية القياس. يُكتشف الغلط إما من خلال محاكاة النتيجة (منطقية أم لا)، فمثلاً إذا بلغ مجموع زوايا مثلث 205 غراد فلابد من وجود غلط أو من خلال مقارنة الخطأ مع القيمة المسموح بها (الخطأ المسموح)، فإن كانت أصغر من المسموح نسمّي هذه الكمية خطأً وإن كانت أكبر نسمّيها غلطاً.

3–4–2 الخطأ المنتظم Systematic Error

يظهر عند إجراء القياسات نتيجة تأثير منتظم لعامل أو عدة عوامل، إما عن أسباب داخلية تابعة لجهاز المستعمل أو عن أسباب خارجية، كتأثير العوامل الطبيعية مثل الحرارة والرطوبة وانكسار الأشعة. أي أن الخطأ النظامي هو خطأ معروف القيمة والإشارة (دائماً موجب أو دائماً سالب) أثناء عملية القياس ومن ثمَّ يمكن حذف هذا الخطأ، ومثال على ذلك تمدد شريط القياس الفولاذي أثناء عملية قياس المسافات.

قد يختلف الخطأ المنتظم في قيمته وإشارته خلال مراحل العمل الحقلي، فمثلاً تأثير عوامل الطقس كالحرارة والرطوبة على قياسات الزوايا أو المسافات المقيسة إلكترونياً بأجهزة التوتال ستشن او EDM لذلك توجد معادلات رياضية لحساب قيمة هذا الخطأ المنتظم بناء على قيم درجات الحرارة والرطوبة المقيسة أثناء كل مرحلة من مراحل عملية الرصد (قد تزداد الحرارة أو تنخفض بنفس اليوم). ويجب التغلب على هذه الاخطاء وتصحيحها قبل استعمال الأرصاد بالعمليات الحسابية المساحية.

3–4–3 الأخطاء العرضية أو العشوائية Accidental Or Random Error

وهو خطأ متغير غير ثابت لا في القيمة ولا في الإشارة ولا يمكن التنبؤ به ولا معرفة مصدره الرئيسي، لذلك سمي بالعشوائي أو العارض ومن ثمَّ لا يمكن حذفه من نتيجة القياس. هذه الأخطاء – مهما صغرت قيمتها – موجودة بكل القياسات، ويتعامل معها بطرائق رياضية لمحاولة الوصول إلى القيمة الأكثر احتمالاً للكميات المطلوب حساب قيمتها الدقيقة . هذا هو موضوع نظرية الأخطاء (Theory of Errors) أو عملية الضبط (Adjustment). تقسم الأخطاء العرضية إلى نوعين : الخطأ الحقيقي والأخطاء الظاهرية أو الرسوبية.

1– الخطأ الحقيقي (True Error)

هو خطأ عرضي، يساوي الفرق بين القيمة الحقيقية للعنصر (المقدار) المقيس وبين قيمة القياس، ويعطى بالعلاقة :

$$W_i = X - X_i$$

حيث إن:

W_i: الخطأ الحقيقي

X: القيمة الحقيقية للمقدار المقيس

X_i: قيمة القياس

ولأن القيمة الحقيقية لا يمكن معرفتها في معظم الأحيان فإن الخطأ الحقيقي أيضاً لا يمكن معرفته. لكن في بعض الحالات يمكن معرفة الخطأ الحقيقي بواسطة مواصفات أو قواعد هندسية معلومة. فمثلاً عند قياس الزوايا الثلاث لمثلث يجب أن تساوي مجموع الزوايا 200 غراد، وفي هذه الحال يكون الخطأ الحقيقي هو ناتج طرح مجموع الزوايا المقيسة من 200.

ملاحظة: الخطأ بمجموع قياس زوايا المثلث خطأ حقيقي أما بقياس زوايا المثلثات الكروية فيكون خطأ ظاهرياً، لأن الزوايا تتغير من منطقة لأخرى على سطح الكرة.

2– الخطأ الظاهري أو الرسوبي (Residual Error)

من الصعب، إن لم يكن من المستحيل، معرفة القيمة الحقيقية لأي كمية مقيسة لوجود أخطاء في القياس مهما كانت قيمة هذه الأخطاء صغيرة جداً. إن كانت الأرصاد مستقلة ولا تعتمد على بعضها بعضاً، وقمنا بتكرار القياس عدة مرات فإن قيمة المتوسط الحسابي ستمثل القيمة الأكثر احتمالاً (Most–Probable Value) أو الأكثر توقعاً أو الأكثر قرباً للقيمة الحقيقية.

المتوسط الحسابي= مجموع الأرصاد/عدد الأرصاد

لكي نحدد مقياساً للدقة تقارن القيمة الأكثر احتمالاً (المتوسط) بقيمة المسافة التي قيست بطرائق أدق، فمثلاً نقارن متوسط المسافات المقيسة بالشريط مع قيمة المسافة المقيسة بالتوتال ستيشن او بقائس المسافات الإلكتروني، ونقارن متوسط الزوايا المقيسة بالثيودوليت مع قيمة الزاوية المحسوبة من أرصاد ال GPS وهكذا. ومن ثمَّ إنَّ الخطأ الظاهري (الرسوبي) هو خطأ عرضي ويساوي الفرق بين القيمة الأكثر احتمالاً للعنصر المقيس وبين قيمة القياس، ويعطى بالعلاقة:

$$V_i = X_0 - X_i$$

حيث إن:

V_i: الخطأ الظاهري أو الرسوبي.

X_0: القيمة الأكثر احتمالاً للعنصر أو للمقدار المقيس.

X_i: قيمة القياس.

تدعى الفروق أو الخطأ المتبقي (أو الباقي) (Residuals Or Discrepancies) هو الفرق بين القيمة المرصودة وبين القيمة الحقيقية لها والتي يستعاض عنها بالقيمة الأكثر أحتمالا.

الفرق (V) = القيمة الأكثر احتمالا – القيمة المرصودة

3–5 حساب قانون المتوسط الحسابي اعتماداً على نظرية الأخطاء

لنفرض اننا اجرينا n قياس لعنصر ما X فيكون لدينا:

$$V1 = X_0 - X_1$$
$$V_2 = X_0 - X_2$$
$$V_3 = X_0 - X_3$$
.....

وبالجمع وبالاعتماد على أنه عند تكرار القياسات مرات كثيرة بالدقة نفسها وللعنصر نفسه سيكون مجموع الأخطاء العرضية مقسوماً على عددها ينتهي إلى الصفر

$$Vn = X_0 - X_n$$
$$\sum V_n = nX_0 - \sum X_i = 0$$
$$\Rightarrow X_0 = \frac{\sum X_i}{n}$$

حيث إن:

n: هي عدد مرات القياس أو عدد الأرصاد.

نلاحظ أن المتوسطة الحسابية بالقياسات متساوية الدقة والمتوسطة الموزونة بالقياسات غير متساوية الدقة تمثل القيمة الأكثر أحتمالاً لأي عنصر مقيس ويرمز لها ب X_o .

3–6 معايير دقة القياسات المساحية

3–6–1 الخطأ المتوسط أو الخطأ المطلق (E) The Average Error: هو متوسط عددي بالقيمة المطلقة للأخطاء الحقيقية أو الظاهرية (الرسوبية)

$$E = \pm\frac{\sum|W_i|}{n} = \pm\frac{\sum|V_i|}{n-1}$$

3–6–2 الخطأ المحتمل (Q) The Probable Error: نرتب الأخطاء تصاعدياً من الأصغر إلى الأكبر بالقيمة المطلقة، فالخطأ المحتمل تمثله القيمة الوسطى:

$$|V_1| \le |V_2| \le |V_3| \le |V_4| \le |V_5| \Rightarrow Q = \pm V_3$$
$$|V_1| \le |V_2| \le |V_3| \le |V_4| \le |V_5| \le |V_6| \Rightarrow Q = \pm\frac{|V_3| + |V_4|}{2}$$

وفي حال كان عدد الأخطاء زوجياً نأخذ وسطي القيمتين المتوسطتين.

3–6–3 التباين Variance:

هو مؤشر إحصائي يحدد مدى تباين أو انتشار أو تشتت مجموعة من الأرصاد حول القيمة الحقيقية لها أو القيمة الأكثر احتمالاً لها، ولذلك يوجد نوعان من التباين:

1– تباين المجتمع Population Variance:

أذا قيست كل الأرصاد الممكنة للقيمة المطلوبة فإن تباين المجتمع يساوي مجموع مربعات الأخطاء الحقيقية مقسوما على عدد الأرصاد:

$$S^2 = \frac{\sum_{i-1}^{n} W_i^2}{n}$$

W_i: الخطأ الحقيقي لكل رصدة وهو كما ذكرنا غير معلوم لأن القيمة الحقيقية غالباً غير معلومة.

2– تباين العينة Sample Variance: إذا قيست عينة أو مجموعة من الأرصاد للقيمة المطلوبة فإن تباين هذه العينة يساوي مجموع مربعات الأخطاء المتبقية (الظاهرية أو الرسوبية) (وليست الأخطاء الحقيقية) مقسوماً على عدد الأرصاد ناقصاً واحداً :

$$\sigma^2 = \frac{\sum_{i-1}^{n} V_i^2}{n-1}$$

V_i: الخطأ الظاهري أو الرسوبي أو الفرق لكل رصدة.

أي أننا في حسابات المساحة نتعامل مع تباين العينة وليس مع تباين المجتمع، لأن حساب تباين المجتمع يطلب معرفة القيمة الحقيقية، وهي غير معلومة، ومن ثمَّ لا يمكننا معرفة قيم الأخطاء الحقيقية بالإضافة إلى أننا لا نستطيع قياس كل الأرصاد الممكنة للقيمة المطلوب قياسها.

3–6–4 الخطأ المعياري Standard Error:

هو الجذر التربيعي لقيمة تباين المجتمع :

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i-1}^{n} W_i^2}{n}}$$

3–6–5 الانحراف المعياري (أو الخطأ متوسط التربيع) Standard Deviation:

يسمى بالخطأ متوسط التربيع (Mean Square Error) أو الخطأ التربيعي المتوسط أو يسمى: التشتت:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i-1}^{n} V_i^2}{n-1}}$$

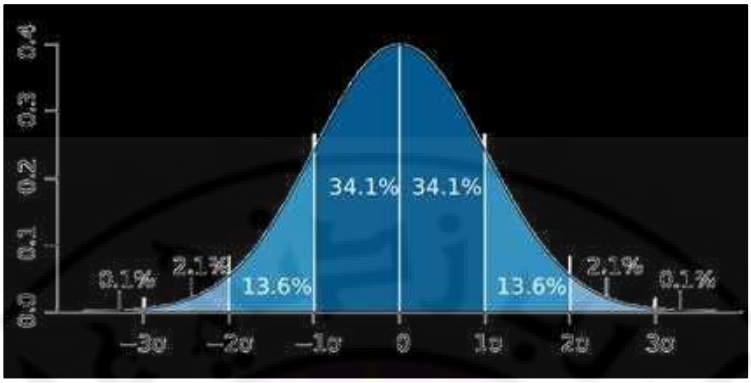
ويعبر عن مدى انحراف (ابتعاد أو أقتراب) القيمة المقيسة عن القيمة الأكثر احتمالاً لها وقيمته تساوي الجذر التربيعي لقيمة تباين العينة. وضعنا (n–1) بدلا من (n) لأنه على افتراض أننا أجرينا قياساً واحداً فعندئذ ستكون قيمة هذا القياس هي المتوسطة الحسابية، ومن ثم نجد أنَّ :

$$V_i = X_0 - X_i = 0$$

لأن $X_o=X_i$ فإذا قسمنا على عدد القياسات الذي هو (n=1) سنجد أن S=0، أي أن الخطأ المتوسط التربيع يساوي الصفر، ومن ثمَّ القياس صحيح والدقة عالية ولا يحمل أي خطأ وهذا شيئ غير منطقي لذلك استبدلت (n) ب (n–1) لنحصل في حالة القياس الواحد على عدم التعيين، وهذا يفسر أنه لايمكننا معرفة دقة القياس من قياس واحد فقط. $\frac{0}{0}$

كلما صغر الخطأ المتوسط التربيع زادت دقة القياس. كما يجب ملاحظة أن الخطأ متوسط التربيع ليس خطأ نظامياً أو عرضياً بل هو قيمة لتحديد دقة القياس. ترجع أهمية قيمة الانحراف المعياري إلى أنه بنسبة 68.3% فإن القيمة الحقيقية ستقع في مدى يتراوح بين (المتوسط + الانحراف المعياري) و (المتوسط – الانحراف المعياري) واحتمال بنسبة 95.4% فإن القيمة الحقيقية ستقع في مدى يتراوح بين (المتوسط + 2*الانحراف المعياري) و (المتوسط – 2*الانحراف المعياري) واحتمال بنسبة 99.7% فإن القيمة الحقيقية ستقع في مدى يتراوح بين (المتوسط + 3*الانحراف المعياري) و (المتوسط –3* الانحراف المعياري) (التوزيع الطبيعي) (الشكل 3–1).

مثال: إذا كان متوسط عدد من القياسات لمسافة ما يساوي 53.21 متراً، وكان الانحراف المعياري للقياسات يساوي 0.03m± فإن القيمة الحقيقية لهذه المسافة ستقع باحتمال 68% بين (53.21+0.03) و (53.21–0.03) أي بين 53.24 و 53.19 متراً، بمعنى آخر يمكن القول إن 68% من القياسات أو الأرصاد يحتمل أن يكون بها خطأ قيمته تساوي قيمة الانحراف المعياري سواء بإشارته الموجبة أم السالبة. وكلما صغرت قيمة الانحراف المعياري صغرت حدود هذه الفئة، مما يدل على أن القياسات أقرب ما تكون للقيمة الحقيقية. والعكس صحيح، فكلما كبرت قيمة الانحراف المعياري زادت حدود الفئة مما يعطي انطباعاً أن القياسات أو الارصاد بعيدة عن القيمة الحقيقية.



الشكل 3– 1 العلاقة بين المتوسط الحسابي والانحراف المعياري

3–6–6 الانحراف المعياري للمتوسط الحسابي Standard Deviation of the Mean:

هو حاصل قسمة الانحراف المعياري للعينة على الجذر التربيعي لعدد الأرصاد ويسمى standard error of the mean:

$$\sigma_{\bar{x}} = \pm \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$$

3–6–7 الخطأ النسبي لواحدة القياس The Relative Error (Mx):

هو معيار لتحديد دقة الأطوال ويعرف بأنه النسبة بين الخطأ المتوسط التربيع (σ) إلى جذر المتوسط الحسابي لطول القياس

$$M_x = \frac{\sigma}{\sqrt{X_0}}$$

Xo: وسطي المقدار المقيس.

3–6–8 الخطأ الأعظمي أو حد التساهل (Δ) Max Error:

هو القيمة التي تشكل الحد الفاصل بين الأخطاء والأغلاط أو بين القياسات المقبولة وغير المقبولة

$$\Delta = \pm 2.5\sigma$$

إن أي قيمة للخطأ أكبر من حد التساهل Δ يجب رفضها.

3–7 الفرق بين الدقة (Accuracy) والصحة (Precision)

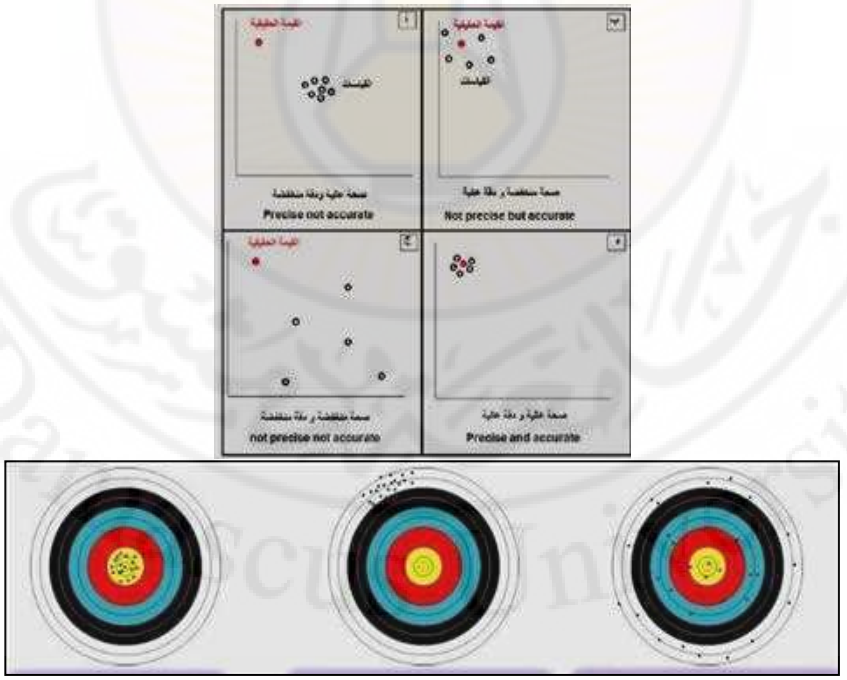
هناك خلط أحياناً بين مفهوم الصحة ومفهوم الدقة بتقييم نتائج القياسات المساحية. لتوضيح الفرق بين المفهومين، يبين الشكل (3–2) والشكل (3–3) أربع حالات للفرق بين الدقة والصحة:

1– إذا كانت القياسات متقاربة جداً من بعضها بعضاً لكنها في الوقت نفسه بعيدة عن القيمة الحقيقية فهنا تكون الصحة عالية لكن الدقة منخفضة.

2– إذا كانت القياسات متباعدة عن بعضها بعضاً لكنها في الوقت نفسه قريبة من القيمة الحقيقية فهنا تكون الصحة منخفضة لكن الدقة عالية.

3– اذا كانت القياسات متباعدة عن بعضها بعضاً وبعيدة أيضاً عن القيمة الحقيقية فهنا تكون الصحة منخفضة والدقة منخفضة أيضاً.

4– أما إذا كانت القياسات متقاربة جداً من بعضها بعضاً وفي الوقت نفسه قريبة من القيمة الحقيقية فهنا تكون الصحة عالية والدقة عالية ايضاً.



الشكل 3– 2 الفرق بين الصحة والدقة

تمرين(1)

قسنا المسافة بين النقطتين A، B خمس مرات وكانت النتائج:

X1 =	1240.860
X2 =	1240.855
X3 =	1240.866
X4 =	1240.850
X5 =	1240.859

و المطلوب: قيم دقة القياسات السابقة

الحل:

1- حساب المتوسط الحسابي:

$$X_0 = \frac{\sum X_i}{5} = \frac{X_1 + X_2 + X_3 + X_4 + X_5}{5} = 1240.858m$$

2- حساب الرواسب:

$$V_i = X_0 - X_i$$

$$V1 = X_0 - X_1 = -0.002m = -2mm$$
$$V_2 = X_0 - X_2 = +0.003m = 3mm$$
$$V_3 = X_0 - X_3 = -0.008m = -8mm$$
$$V_4 = X_0 - X_4 = +0.008m = 8mm$$
$$V_5 = X_0 - X_5 = -0.001m = -1mm$$

وللتأكد من الحل يجب أن يكون: $\sum V_i = 0$

$$\sum_{i-1}^{n} V_i^2 = (-2)^2 + (3)^2 + (-8)^2 + (8)^2 + (1)^2 = 142$$

3- حساب التباين والخطأ متوسط التربيع

$$\sigma^2 = \frac{\sum_{i-1}^{n} V_i^2}{n-1} = 36mm \qquad \sigma = \pm\sqrt{\frac{142}{5-1}} = \pm 6mm$$

4– الخطأ المتوسط أو الخطأ المطلق E:

$$\sum|V_i| = 2+3+8+8+1 = 22$$

$$E = \pm\frac{\sum|V_i|}{n-1} = \pm\frac{22}{5-1} = \pm 5.5mm$$

5– الخطأ المحتمل Q: $1 < 2 < 3 < 8 \leq 8$

نأخذ القيمة الوسطى: Q=±3 mm

6– الخطأ النسبي Mx لواحدة الطول 1 m:

$$M_x = \pm\frac{\sigma}{\sqrt{X_0}} = \pm\frac{6}{\sqrt{1240.858}} = \pm 0.17mm$$

7– الخطأ الأعظمي (حد التساهل) :

$$\Delta = \pm 2.5\sigma = \pm 2.5 \times 6 = \pm 15mm$$

3–8 مبدأ الوزن بالقياسات المساحية

افترضنا بحساب المتوسط والانحراف المعياري أن القياسات متساوية الدقة والأهمية. لكن ماذا لو أن هذه القياسات غير متساوية بالدقة؟ فمثلاً قيست بعض المسافات بشريط القياس وبعضها الآخر قيس بقائس المسافات الإلكتروني، فهل ستكون كل القياسات متساوية في الأهمية وفي مقدار الثقة بها؟.

هنا يأتي دور الوزن Weight ليكون مفهوماً يعبر عن مدى اختلاف الأهمية أو الثقة في بعض القياسات. فكلما كانت الثقة في الرصدة كبيرة يكون وزنها (أهميتها النسبية) كبيراً، والعكس صحيح، كلما كانت الثقة ضعيفة في رصدة معينة يجب أن يكون وزنها أقل. على سبيل المثال، إذا قمنا برصد زاوية معينة باستعمال التوتال ستيشن دقته 1 ثانية غرادية ورصدناها ثانيةً بجهاز ثيودوليت دقته 5 ثانية غرادية فإن وزن الزاوية الأولى يجب أن يكون أكبر من وزن الزاوية الثانية.

بناءً على مبدأ الوزن (أو الأهمية النسبية) إن طريقة حساب المتوسط ستتغير ليصبح اسمها المتوسط الموزون Weighted Mean للتفريق بينها وبين المتوسط العادي للقياسات متساوية الدقة، وتعطى بالعلاقة:

المتوسط الموزون = مجموع (حاصل ضرب كل قياس بوزنه)/مجموع الأوزان

$$\overline{X} = \frac{\sum_{i=1}^{n} X_i W_i}{\sum_{i=1}^{n} W_i}$$

X_i: القياس

W_i: الوزن والذي يمكن أن يؤخذ بوصفه مقلوب للمسافة (أو المسافة نفسها) أو عدد مرات القياس أو القيمة المطلقة لفروق الارتفاع (بالتسوية) أو القيمة المطلقة لفرق الإحداثيات (بالمضلّعات) أو أي قيمة أخرى تعكس أهمية القياس.

كما ستتغير أيضاً طريقة حساب الانحراف المعياري عند وجود أوزان مختلفة للقياسات، وذلك بحساب الجذر التربيعي لقيمة الناتج من قسمة مجموع حاصل ضرب (مربع الخطأ المتبقي لكل قياس في وزن القياس) على عدد القياسات ناقصاً واحداً، كما يعبر عنه بالعلاقة الآتية:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n} V_i^2 W_i}{n-1}}$$

كذلك ستتغير معادلة حساب الانحراف المعياري للمتوسط لتصبح ناتج قسمة الانحراف المعياري على الجذر التربيعي لمجموع الأوزان:

$$\sigma_{\overline{X}} = \pm \frac{\sigma}{\sqrt{\sum W_i}}$$

ولتوضيح الفرق سوف نقوم بحل التمرين الآتي بطريقتين، إحداهما بدون استعمال الأوزان (القياسات متساوية الدقة)، والثانية باستعمال الأوزان (القياسات غير متساوية الدقة).

تمرين (2)

قيست المسافة بين نقطتين A، B ست مرات وكانت الأرصاد كالآتي:

والمطلوب: احسب القيمة الأكثر احتمالا للمسافة بين هاتين النقطتين.

المسار	المسافة L (m)
1	51.12
2	51.14
3	51.18
4	51.19
5	51.22
6	51.16

الحل:

1 – نحسب المتوسط الحسابي:

$$X_0 = \frac{\sum X_i}{5} = \frac{X_1 + X_2 + X_3 + X_4 + X_5 + X_6}{6} = \frac{307.01}{6} = 51.17m$$

2– الرواسب:

$$V_i = X_0 - X_i$$

$$V_1 = 51.17 - 51.12 = 0.05m$$
$$V_2 = 51.17 - 51.14 = 0.03m$$
$$V_3 = 51.17 - 51.18 = -0.01m$$
$$V_4 = 51.17 - 51.19 = -0.02m$$
$$V_5 = 51.17 - 51.22 = -0.05m$$
$$V_6 = 51.17 - 51.16 = 0.01m$$

الرصدة	المسافة L (m)	V	V^2
1	51.12	0.05	0.0025
2	51.14	0.03	0.0009
3	51.18	−0.01	0.0001
4	51.19	−0.02	0.0004
5	51.22	−0.05	0.0025
6	51.16	0.01	0.0001
Σ	307.01		0.0065
المتوسط الحسابي	51.17		

4- نحسب الخطأ متوسط التربيع:

$$\sigma = \pm\sqrt{\frac{0.0065}{6-1}} = \pm 0.036m$$

5- الانحراف المعياري للمتوسطة الحسابية:

$$\sigma_{\bar{x}} = \pm\frac{\sigma}{\sqrt{n}} = \frac{0.036}{\sqrt{6}} = 0.0147m$$

6- الخطأ المطلق:

$$\sum|V_i| = 0.17$$

$$E = \pm\frac{\sum|V_i|}{n-1} = \pm\frac{0.17}{6-1} = \pm 0.034m$$

7- الخطأ المحتمل: $0.01 \le 0.01 < 0.02 < 0.03 < 0.05 \le 0.05$

نأخذ وسطي القرائتين الوسيطيتين: $Q = \pm 0.025$ m

8– الخطأ النسبي لواحدة الطول (1 m) :

$$M_x = \pm\frac{\sigma}{\sqrt{X_0}} = \pm\frac{0.036}{\sqrt{51.17}} = \pm 0.005m$$

9– الخطأ العظمي (حد التساهل):

$$\Delta = \pm 2.5\sigma = \pm 2.5 \times 0.036 = \pm 0.09m$$

تمرين (3)

قيست المسافة بين نقطتين A، B ست مرات وكانت الأرصاد وأوزانها موضحة بالجدول.

والمطلوب: احسب القيمة الأكثر احتمالا للمسافة المقيسة

المسار	المسافة (L (m))	وزن المسار
1	51.12	6
2	51.14	5
3	51.18	3
4	51.19	1
5	51.22	1
6	51.16	3

الحل:

1– نحسب مجموع الأوزان: $\sum W_i = 6+5+3+1+1+3 = 19$

2– نحسب حاصل كل رصدة بوزنها

3– نحسب مجموع جداء الأرصاد بأوزانها

4– نحسب المتوسط الحسابي الموزون بتقسيم مجموع جداء الأوزان بأوزانها على مجموع الأوزان

$$L_0 = \frac{\sum_{i=1}^{n} L_i W_i}{\sum_{i=1}^{n} W_i} \qquad L_0 = \frac{971.850}{19} = 51.150m$$

5– نحسب الأخطاء الرسوبية التي هي حاصل طرح فرق المناسيب المقيسة من المتوسط الموزون لفرق المناسيب:

$$V_1 = 51.15 - 51.12 = 0.03m$$
$$V_2 = 51.15 - 51.14 = 0.01m$$
$$V_3 = 51.15 - 51.18 = -0.03m$$
$$V_4 = 51.15 - 51.19 = -0.04m$$
$$V_5 = 51.15 - 51.22 = -0.07m$$
$$V_6 = 51.15 - 51.16 = -0.01m$$

ثم نحسب تربيعات الأخطاء وجداء هذه التربيعات بالوزن لكل مسار على حدة كما هو مبين بالشكل:

المسار	المسافة L (m)	الوزن W	L x W	V	V^2	W x V^2
1	51.12	6	306.72	0.030	0.000900	0.005400
2	51.14	5	255.70	0.010	0.000100	0.000500
3	51.18	3	153.54	–0.030	0.000900	0.002700
4	51.19	1	51.19	–0.040	0.001600	0.001600
5	51.22	1	51.22	–0.070	0.004900	0.004900
6	51.16	3	153.480	–0.010	0.00010	0.00030
Σ	307.01	19	971.85		0.00850	0.01540
الموزون	51.150					

6– حساب الانحراف المعياري: ويساوي الجذر التربيعي لقيمة الناتج من قسمة مجموع حاصل ضرب (مربع الخطأ المتبقي لكل قياس في وزن القياس) على عدد القياسات ناقصاً واحداً.

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n} V_i^2 W_i}{n-1}} = \sqrt{\frac{0.0154}{6\text{-}1}} = 0.055m$$

7– حساب الانحراف المعياري للمتوسط لتصبح ناتج قسمة الانحراف المعياري على الجذر التربيعي لمجموع الأوزان

$$\sigma_{\bar{X}} = \pm\frac{\sigma}{\sqrt{\sum W_i}} = \frac{0.055}{\sqrt{19}} = 0.0127$$

8– فتكون القيمة الأكثر احتمالاً لفرق المنسوب:

$$L = 51.15 \pm 0.013m$$

نلاحظ أن قيمة المتوسطة الموزون (51.15 m) تختلف عن المتوسط الحسابي العادي (51.17 m). كما نلاحظ أن قيمة الانحراف المعياري للمتوسطة الموزونة (± 0.013 m) أقل من قيمة الانحراف المعياري للمتوسطة الحسابية العادية (± 0.015 m). يرجع سبب هذا الاختلاف إلى أننا تعاملنا بالمثال الأول مع كل الأرصاد بقيمة الوزن نفسها أو الأهمية أو مقدار الثقة نفسها، بينما استطعنا التفرقة بين الأرصاد الموثوق بها (صاحبة الوزن الكبير) والأرصاد قليلة الثقة أو قليلة الأهمية (صاحبة الوزن الصغير) مما يجعل قيمة المتوسط الموزون تكون أقرب للأرصاد الموثوق بها .

المسار	المسافة L (m)	الوزن W	L x W	V	V^2	W x V^2
1	51.12	6	306.72	0.009	0.000900	0.005400
2	51.14	5	255.70	−0.011	0.000100	0.000500
Σ	102.26	11	562.42		0.000202	0.001091
الموزون	51.129					
تباين					0.00004	0.000218
الانحراف المعياري						0.015
الانحراف المعياري						0.004

3–9 نظرية استقلال الأخطاء

تظهر في المساحة التطبيقية بعض المسائل حيث تُحدَد كمية أو عنصر ما (F) من قيم أخرى مقاسة (Z،Y،X) أي أن (F) قياس غير مباشر وهو مجهول تابع للمتحولات (Z،Y،X) بحيث يكون:

$$F = f(X, Y, Z, ...)$$

ولنفرض أن (dZ،dY،dX) هي الأخطاء في قياسات (Z،Y،X) على الترتيب ومنه يكون الخطأ في (F) هو (dF) حسب نظرية استقلال الأخطاء:

$$dF = \left(\frac{\delta F}{\delta X}\right)\sigma_X + \left(\frac{\delta F}{\delta Y}\right)\sigma_Y + \left(\frac{\delta F}{\delta Z}\right)\sigma_Z + ...$$

3–10 قانون انتشار الأخطاء متوسطة التربيع (Low of the propagation of errors)

بتربيع هذه الأخطاء وتقسيمها على عددها n إذا كانت أخطاء حقيقية أو على n–1 إذا كانت أخطاء ظاهرية وبإهمال الحدود من الدرجة الثانية يكون:

$$\frac{\sum(\delta F_i)^2}{n} = \left(\frac{\delta F}{\delta x}\right)^2 \frac{\sum(\delta x_i)^2}{n} + \left(\frac{\delta F}{\delta y}\right)^2 \frac{\sum(\delta y_i)^2}{n} + \left(\frac{\delta F}{\delta z}\right)^2 \frac{\sum(\delta z_i)^2}{n}$$

لكن لدينا:

$$M_x{}^2 = \frac{\sum(\delta x_i)^2}{n}, M_y{}^2 = \frac{\sum(\delta y_i)^2}{n}, Mz^2 = \frac{\sum(\delta z_i)^2}{n}$$

ومن ثمَّ الخطأ المتوسط التربيع للتابع F يعطى بالعلاقة:

$$\sigma_F^2 = \left(\frac{\delta F}{\delta X}\right)^2 \sigma_X^2 + \left(\frac{\delta F}{\delta Y}\right)^2 \sigma_Y^2 + \left(\frac{\delta F}{\delta Z}\right)^2 \sigma_Z^2 + ...$$

أي أن الخطأ المتوسط التربيع لتابع يساوي حاصل جداء مربع التفاضل الجزئي بالنسبة لكل متحول منه، بمربع الخطأ المتوسط التربيع للمتحول.

3–11 تطبيقات على قانون انتشار الأخطاء المتوسطة التربيع

- **الخطأ المتوسط التربيع لمجموع**

ليكن لدينا التابع $F=X+Y+Z$

المشتقات الجزئية لهذا التابع $\frac{\delta F}{\delta X}=\frac{\delta F}{\delta Y}=\frac{\delta F}{\delta Z}=1$

وبالتعويض في العلاقة(1) نجد $\sigma_F^2=\sigma_X^2+\sigma_Y^2+\sigma_Z^2$

في حال القياسات متساوية الدقة:

$$\sigma_X=\sigma_Y=\sigma_Z=\sigma$$
$$\Rightarrow \sigma_F^2=n\sigma^2 \Rightarrow \sigma_F=\pm\sigma\sqrt{n}$$

حيث n عدد حدود التابع.

- **الخطأ المتوسط التربيع لجداء**

بفرض التابع $\mathrm{F}=\mathrm{K}\times\mathrm{X}$

بفرض K عدد ثابت.

$$\frac{\delta F}{\delta X}=K$$

بالتعويض في العلاقة (1)

$$\sigma_F^2=K^2*\sigma_X^2 \Rightarrow \sigma_F=\pm K*\sigma_X$$

- **الخطأ المتوسط التربيع لتابع خطي**

ليكن التابع $F=K_1*X_1+K_2*X_2+K_3*X_3+.....K_n*X_n$

K1, K2,K3,….Kn أعداد موجبة أو سالبة.

بالتعويض في العلاقة (1)

$$\sigma_F^2=K_1^2\sigma_{X_1}^2+K_2^2\sigma_{X_2}^2+K_3^2\sigma_{X_3}^2+.....+K_n^2\sigma_{X_n}^2$$

- **الخطأ المتوسط التربيع للمتوسطة الحسابية**

إن علاقة المتوسطة الحسابية:

$$X_0 = \frac{\sum X_i}{n} = \frac{X_1}{n} + \frac{X_2}{n} + \frac{X_3}{n} + ... + \frac{X_n}{n}$$

بفرض: $\sigma_{X_1} = \sigma_{X_2} = \sigma_{X_3} = ... = \sigma_{X_n} = \sigma$

$$\left(\frac{\delta X_0}{\delta X_1}\right) = \left(\frac{\delta X_0}{\delta X_2}\right) = \left(\frac{\delta X_0}{\delta X_3}\right) = ... = \left(\frac{\delta X_0}{\delta X_n}\right) = \frac{1}{n}$$

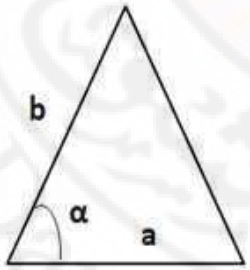
نعوض في علاقة قانون انتشار الأخطاء متوسطة التربيع:

$$\sigma_{X_0}^2 = \left(\frac{1}{n}\right)^2 \sigma^2 + \left(\frac{1}{n}\right)^2 \sigma^2 + ... + \left(\frac{1}{n}\right)^2 \sigma^2$$

$$\Rightarrow \sigma_{X_0}^2 = n * \left(\frac{1}{n}\right)^2 \sigma^2 = \frac{\sigma^2}{n} \Rightarrow \sigma_{X_0} = \pm \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$$

12–3 مسائل عامة عن تطبيقات قانون انتشار الأخطاء متوسطة التربيع

<u>مسألة (1)</u>



يبين الشكل قطعة أرض مثلثة الشكل قيست فيها الأضلاع (a)،(b) والزاوية (α)

والمطلوب:

1–أوجد مساحة قطعة الأرض

2– أوجد الخطأ متوسط التربيع على هذه المساحة

الحل:

نحسب مساحة المثلث: $S = 0.5 \times a \times b \times \sin\alpha = 34691.28 m^2$

نطبق قانون انتشار الأخطاء متوسطة التربيع:

$$\sigma_S^2 = \left(\frac{\delta S}{\delta a}\right)^2 \sigma_a^2 + \left(\frac{\delta S}{\delta b}\right)^2 \sigma_b^2 + \left(\frac{\delta S}{\delta \alpha}\right)^2 \sigma_\alpha^2 .....(1)$$

$$\frac{\delta S}{\delta a} = \frac{1}{2} b \sin\alpha = 109.34m$$

$$\frac{\delta S}{\delta b} = \frac{1}{2} a \sin\alpha = 137.23m$$

$$\frac{\delta S}{\delta \alpha} = \frac{1}{2} ab \cos\alpha = 20121.16m^2$$

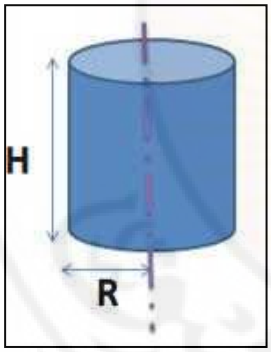
مسألة (2)

خزان أسطواني الشكل نصف قطر قاعدته R=20 m وارتفاعه H=45 m.

والمطلوب:

1–احسب حجم الخزان

2– احسب الخطأ المتوسط التربيع على حجم هذا الخزان



المعطيات:

الخطأ المتوسط التربيع على نصف القطر $\sigma_R = \pm 5cm$

الخطأ المتوسط التربيع على ارتفاع الخزان $\sigma_H = \pm 8cm$

الحل:

حجم الخزان $V = \pi R^2 \times H = (3.14) \times (20)^2 \times 45 = 56520m^3$

نطبق قانون انتشار الأخطاء متوسطة التربيع:

$$\sigma_V^2 = \left(\frac{\delta V}{\delta R}\right)^2 \sigma_R^2 + \left(\frac{\delta V}{\delta H}\right)^2 \sigma_H^2$$

$$\frac{\delta V}{\delta R} = 2\pi RH = 5652m^2$$

$$\frac{\delta V}{\delta H} = \pi R^2 = 1256\,m^2$$

$$\sigma_V^2 = (2\pi RH)^2 \times \sigma_R^2 + (\pi R^2)^2 \times \sigma_H^2$$

$$\sigma_V^2 = (5652)^2 \times (0.05)^2 + (1256)^2 \times (0.08)^2$$

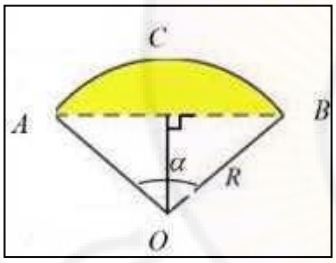
$$\sigma_V^2 = 89958.99 m^6$$

$$\Rightarrow \sigma_V = \pm 299.93 m^3$$

ومن ثمَّ فالقيمة الأكثر احتمالاً لحجم الخزان

$$V_0 = V \pm \sigma_V = 56520 \pm 299.93 m^3$$

مسألة (3)



اذا كان لدينا قطعة أرض فيها ABC قوس دائرة نصف قطرها R وفيها $A\hat{B}C=\alpha$ الزاوية المركزية للقوس.

المطلوب:

1– احسب مساحة قطعة الأرض واحسب الخطأ المتوسط التربيع لهذه المساحة

المعطيات:

R=50 m و $M_R=\pm 0.2cm$

$\alpha=60.1234$ Grad و $M\alpha=20^{cc}$

الحل:

إن مساحة قطعة الأرض هي حاصل طرح مساحة المثلث AOB من مساحة القطاع الدائري الذي قطراه OA، OB والمحدد بالزاوية المركزية α.

لحساب مساحة القطاع الدائري (S1):

كل (2π) الزاوية المركزية للدائرة كاملة تقابلها مساحة (πr^2)

كل (α) الزاوية المركزية للقطاع الدائري التي تقابلها مساحة (x)

$$S_1 = \frac{\alpha \pi r^2}{2\pi} = \frac{ar^2}{2}$$

لحساب مساحة المثلث (S_2)علينا ايجاد طول القاعدة والارتفاع. إن نصف القطر الذي يمر من منتصف الوتر في دائرة يكون محوراً ومن ثمَّ:

الارتفاع $$ON = R\cos\frac{\alpha}{2}$$

القاعدة: $$AB = 2R\sin\frac{\alpha}{2}$$

$$S_2 = \frac{1}{2}AB \times ON = R^2 \sin\frac{\alpha}{2}\cos\frac{\alpha}{2}$$

$$Sin\alpha = 2\sin\frac{\alpha}{2}\cos\frac{\alpha}{2}$$

$$\Rightarrow S_2 = \frac{1}{2}R^2 \sin\alpha$$

ومنه تكون مساحة قطعة الأرض:

$$S = S_1 - S_2 = \frac{\alpha R^2}{2} - \frac{R^2}{2}\sin\alpha = 167.228m^2$$

لاحظ أنه يجب علينا تحويل الزاوية من الغراد إلى الراديان:

$$\alpha = \frac{60.1234 \times \pi}{200} = 0.944rad$$

لحساب الخطأ المتوسط التربيع للمساحة نطبق قاون انتشار الأخطاء متوسطة التربيع

$$\sigma_S^2 = \left(\frac{\delta S}{\delta R}\right)^2 \sigma_R^2 + \left(\frac{\delta S}{\delta \alpha}\right)^2 \sigma_\alpha^2$$

$$\sigma_S^2 = (R(\alpha - \sin\alpha))^2 \times \sigma_R^2 + (\frac{R^2}{2}(1-\cos\alpha))^2 \times \sigma_\alpha^2$$

نعوض عددياً بعد تحويل دقة قياس الزاوية من الميليغراد(الثانية الغرادية) إلى الغراد ثم إلى الراديان

$$\sigma_\alpha = \frac{20\times10^{-4}\times\pi}{200} = \pi\times10^{-5}\,rad = 0.0000314rad$$

$$\sigma_S^2 = (50(0.944-\sin 0.944))^2\times(2\times10^{-3})^2 + (\frac{(50)^2}{2}(1-\cos 0.944))^2\times(3.14\times10^{-5})^2$$

$$\sigma_S^2 = 86030232.37\times10^{-10} + 0.28407798\times10^{-10} = 860.0232.66\times10^{-10}$$

$$\Rightarrow \sigma_S = 927525\times10^{-7}\,m^2$$

<u>مسألة (4) غير محلولة:</u>

لحساب فرق الارتفاع (Δh) بين النقطتينA، B قيست المسافة بينهما (D=712.53 m)، وكذلك قياس زاوية الميل (α=20 grad) والمطلوب:

1– احسب فرق الارتفاع Δh بين النقطتينA، B

2– احسب الخطأ المتوسط التربيع على فرق المنسوب Δh المحسوب إذا علمت أن

الخطأ المتوسط التربيع على المسافة المائلة المقيسة $\sigma_D = \pm 3cm$

الخطأ المتوسط التربيع على زاوية الميل $\sigma_\alpha = \pm 0.01gr$

تذكرة بقواعد الأشتقاق:

الدالة العدديـة	قاعدة الإشـتقاق
$f(x) = a$	$f'(x) = 0$
$f(x) = a\,x + b$	$f'(x) = a$
$f(x) = x^n$	$f'(x) = n\,x^{n-1}$
$f(x) = [g(x)]^n$	$f'(x) = n\,[g(x)]^{n-1} \cdot g'(x)$
$f(x) = \sin x$	$f'(x) = \cos x$
$f(x) = \sin[g(x)]$	$f'(x) = g'(x).\cos[g(x)]$
$f(x) = \cos x$	$f'(x) = -\sin x$
$f(x) = \cos[g(x)]$	$f'(x) = -g'(x).\sin[g(x)]$
$f(x) = \tan x$	$f'(x) = \frac{1}{\cos^2 x}$
$f(x) = \tan[g(x)]$	$f'(x) = \frac{g'(x)}{\cos^2[g(x)]}$
$f(x) = \cot x$	$f'(x) = -\frac{1}{\sin^2 x}$
$f(x) = \cot[g(x)]$	$f'(x) = -\frac{g'(x)}{\sin^2[g(x)]}$
$f(x) = e^x$	$f'(x) = e^x$
$f(x) = e^{g(x)}$	$f'(x) = g'(x)\,e^{g(x)}$
$f(x) = \ln x$	$f'(x) = \frac{1}{x}$
$f(x) = \ln[g(x)]$	$f'(x) = \frac{g'(x)}{g(x)}$

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

الفصل الرابع

التسوية وقياس الارتفاعات

(levelling measurements)

4–1 تعريف التسوية

إن التسوية Leveling هي العلم الذي يسمح بقياس وتعيين مناسيب ارتفاعات وانخفاضات النقاط وذلك بالنسبة لمستوٍ مرجعي ثابت. أو هي مجموعة العمليات والقياسات التي تحسب بواسطتها أو تقاس فروق الارتفاعات أو المناسيب بين مجموعة من نقاط سطح الأرض. يعرّف المنسوب Elevation (ارتفاع نقطة) أنه المسافة الرأسية بين هذه النقطة من سطح الأرض الطبيعية ومن سطح السوية المرجعي (سطح المقارنة). يؤخذ عادة الجيوئيد Geoid بوصفه سطحاً مرجعياً، حيث إن الجيوئيد هو سطح السوية المار بالمستوي الوسطي للبحار. أهم ميزة من ميزات سطح المقارنة أن الناظم والشاقول منطبقان على بعضهما بعضاً في أي نقطة من نقاطه. لأن الجيوئيد ليس له علاقه رياضية محددة لذلك استعضنا عنه بالإهليلج حيث وُجد ان الدراسة عليه صعبة أيضاً فاستبدل بالكرة ثم نقلت الأعمال بالنهاية للمستوي، لأنه الأسهل من حيث التعامل، لذلك نعدّ في التسوية المباشرة سطوح التسوية مستويات أفقية.

تُعدّ أعمال التسوية من الأعمال المساحية الهامة والضرورية لمختلف المشاريع الهندسية المدنية والمعمارية والزراعية وللمشاريع كافة التي لها علاقة بالتضاريس. تمكن التسوية من قياس مناسيب مختلف النقاط والتفاصيل والمنشآت وحسابها بالنسبة لبعضها بعضاً، وبالنسبة لمستويات مرجعية معينة. كما تسمح بتنفيذ المنشآت والمشاريع المختلفة وفق المناسيب المصححة والميول المدروسة. تُعد أعمال التسوية ضرورية جداً في إنجاز الخرائط والمخططات الطبوغرافية لتمثيل تضاريس الأرض كما أنها ضرورية في مراحل تصميم وتنفيذ المشاريع العمرانية (الشوارع، الحدائق، مشاريع المياه، المجاري وأقنية الري والسدود، مشاريع الطرق والسكك الحديدية والمطارات، والساحات وغيرها من المشاريع).

إن القياسات التي تهدف إلى تعيين فروق المناسيب (أو فروق الارتفاعات)،ومن ثمَّ تعيين منسوب (أو ارتفاع) النقاط تسمى التسوية أو قياس الارتفاعات. توجد طرائق مختلفة للتسوية تتعلق بالمبدأ الذي يعين به فرق الارتفاع وهذه الطرائق تتفاوت من حيث الدقة وسرعة القياس والتكاليف.

4–2 أنواع التسوية:

هناك أنواع عدة للتسوية يمكن تلخيص أهمها كما يأتي:

1–التسوية التفاضلية أو المباشرة أو الهندسية.

Differential Leveling Or Leveling Or Direct Leveling

2–التسوية غير المباشرة أو التسوية المثلثاتية.

Indirect Leveling Or Trigonometric Leveling

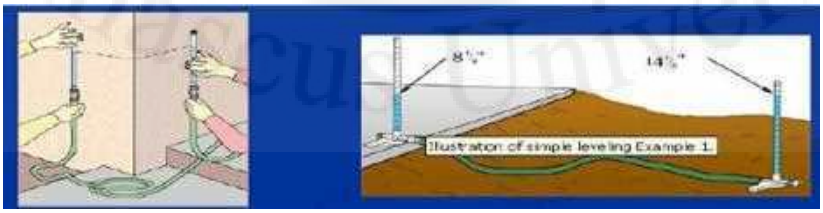
3–التسوية البارومترية. Barometric Leveling

4–التسوية الهدروستاتيكية. Hydrostatic Leveling

تعتمد التسوية البارومترية على مبدأ أن الضغط الجوي يتناسب عكساً مع الارتفاع فوق مستو سطح البحر. إذا تمكنا من قياس فرق الضغط الجوي بين نقطتين (باستعمال جهاز البارومتر)(الشكل 4–1) فيمكن تحويله حسابياً إلى فرق المنسوب بين هاتين النقطتين. تُعد دقة التسوية البارومترية منخفضة ولا تستعمل إلا في أعمال الاستكشاف.

الشكل 4– 1 أجهزة التسوية البارومترية

تعتمد التسوية الهيدروستاتيكية على نظرية الأواني المستطرقة إذا وضعنا أسطوانتين زجاجتيين مملوئتين بسائل (على نقطتين) وبينهما أنبوب من المطاط ويوجد تدريج على جدار كل منهما فإن فرق قراءة هذين التدريجتين يعبر عن فرق المنسوب بين كلتا النقطتين. ينحصر استعمال التسوية الهيدروستاتيكية في المسافات القصيرة جداً حيث أن طول الأنبوب الواصل بين كلا الزجاجتين لا يكون طويلاً بصفة عامة، كما يظهر بالشكل (4–2). تستعمل هذه الطريقة للحصول على نقاط بالسوية ذاتها، وهو ما يطلق عليه عادة اسم (الشقله).



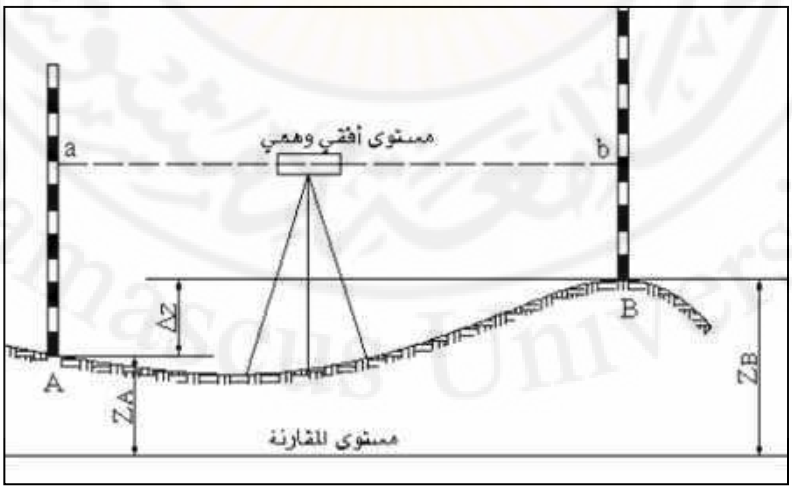
الشكل 4– 2 التسوية الهيدروستاتيكية

تعتمد التسوية غير المباشرة (المثلثية) على قياس الزاوية الرأسية بين نقطتين (باستعمال الثيودوليت مثلا) ثم قياس المسافة المائلة بينهما (بالشريط أو باستعمال EDM) ثم حساب فرق الارتفاع بين النقطتين. حديثاً تقاس فروق الارتفاع بين النقاط باستعمال تقنية نظام التموضع العالمي (GNSS) ثم تحول حسابياً إلى فرق المنسوب بين هذه النقاط.

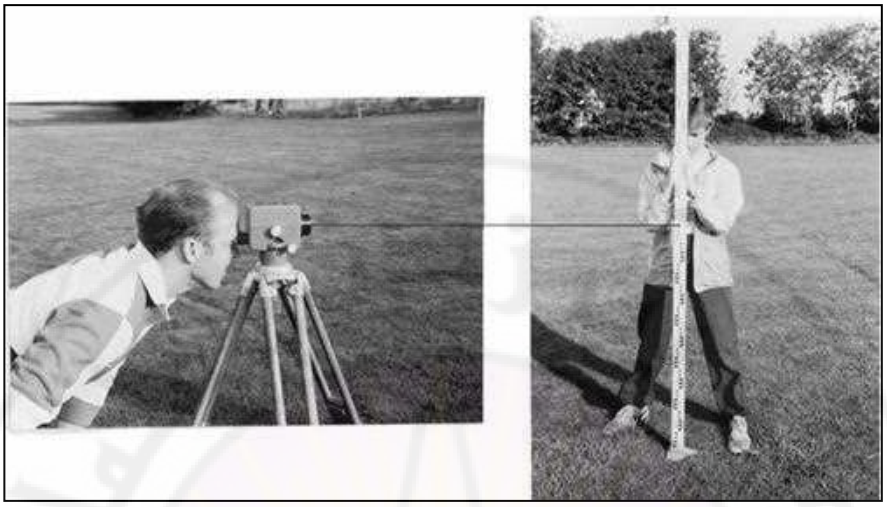
3–4 مفهوم التسوية المباشرة (Direct or Spirit levelling)

تستند هذه الطريقة إلى استعمال جهاز تسوية وميرا (مسطرة شاقولية) مدرجة، وهذه الطريقة هي الأكثر استعمالاً في المشاريع الهندسية لذلك تدعى التسوية الهندسية. تعرف التسوية الهندسية أو المباشرة بأنها القياسات التي تمكننا من تعيين فروق الارتفاعات بين نقطتين بواسطة جهاز مساحي يدعى النيفو Niveau. من أهم مميزات جهاز النيفو أنه، كيفما تحرك، سيرسم مستوياً أفقياً وأن هذا المستوي الأفقي الذي سيرسمه الجهاز سيقطع الميرا بنقاط تعطي قراءات تمثل ارتفاع الجهاز بالإضافة إلى فرق الارتفاع بين نقطة تموضع الجهاز ونقطة تموضع الميرا (الشكل 4–3).

الميرا (القامة) هي عبارة عن مسطرة خشبية طولها إما، 4m، 3m،2 m ، مقسمة بالسنتيمترات وتقدر عليها القراءة بدقة الميليمترات، وتوضع الميرا بشكل شاقولي باستعمال زئبقية مزودة بها (الشكل 4–4). شعاع الرؤية هو شعاع ضوئي يمر من عين الراصد إلى العدسة العينية ثم العدسة الجسمية ثم إلى الهدف المطلوب ويكون أفقيا بمساعدة الزئبقية الأفقية والحلقية.



الشكل 4– 3 مبادئ التسوية المباشرة



الشكل 4– 4 التسوية المباشرة

لتعيين فرق الارتفاع بين نقطتين A و B نضع جهاز النيفو في منتصف المسافة بين هاتين النقطتين ونضبط أفقية الجهاز، بعد ذلك نسدد على ميرا موضوعة بشكل شاقولي فوق النقطة A ونأخذ قراءة ندعوها قراءة خلفية ونرمز لها بالحرف R (Back Sight)، بعد ذلك نسدد على ميرا موضوعة بشكل شاقولي فوق النقطة B ونأخذ قراءة ندعوها قراءة أمامية ونرمز لها بالحرف V(For Sight).

القراءة الخلفية ((Back of Sight (BS)، وهي أول قراءة تؤخذ على الميرا بعد تثبيت النيفو بأي نقطة.

القراءة الأمامية ((FS) For Sight): وهي آخر قراءة تؤخذ على الميرا قبل نقل النيفو إلى النقطة الآتية.

القراءة المتوسطة ((Intermediate Sight (IS): هي كل قراءة تؤخذ على الميرا بين أول قراءة خلفية وآخر قراءة أمامية .

نقطة الدوران أو التحول (Turning Point): هي النقطة التي يؤخذ عندها على الميرا قراءة خلفية أو قراءة أمامية .

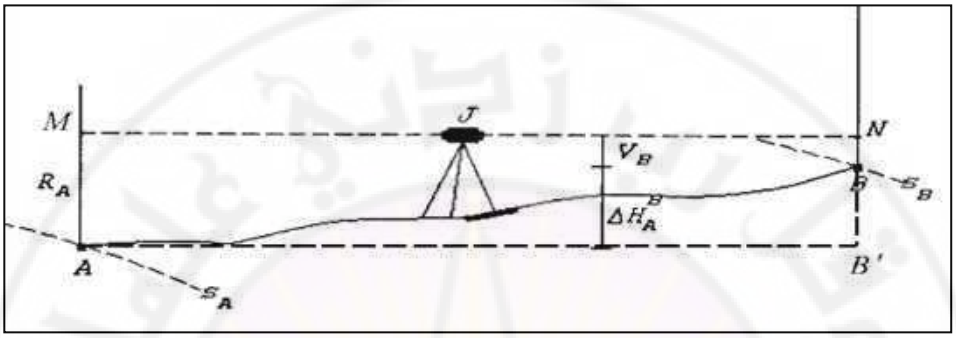
لحساب فرق الارتفاع بين النقطتين A، B بالشكل (4–5) سنلاحظ أن :

من المستطيل 'AMNB لحساب Δh_A^B نستعمل العلاقة الآتية:

$$\Delta h_A^B = H_A - H_B = AM - NB = R_A - V_B$$

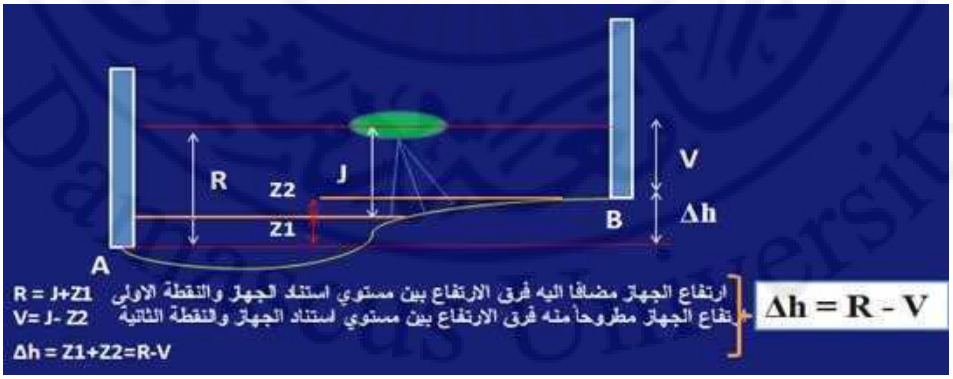
حيث إن: R_A القراءة الوسطى الخلفية على الميرا الخلفية

V_B القراءة الوسطى الأمامية على الميرا الأمامية



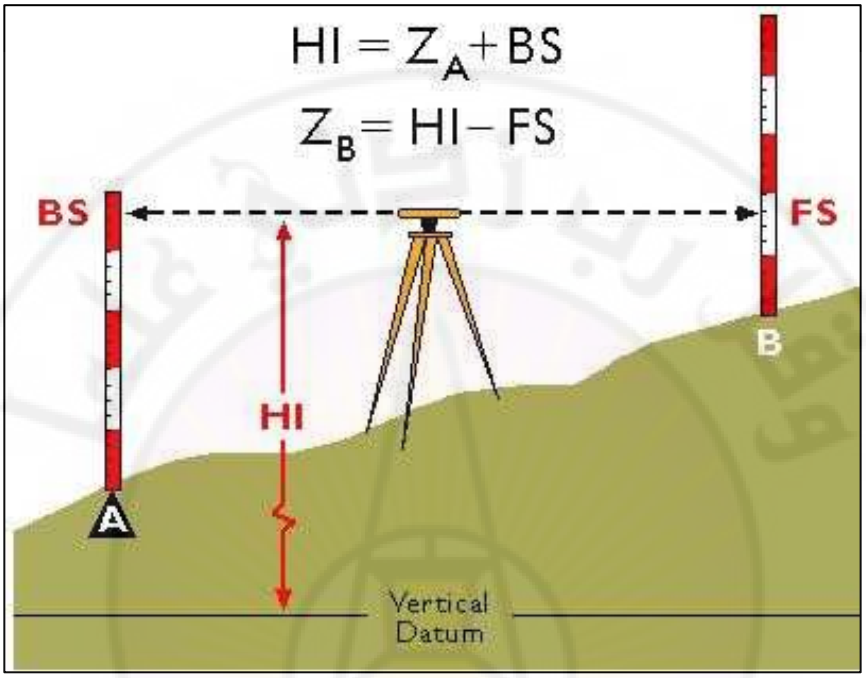
الشكل 4– 5 حساب فرق ارتفاع بين نقطتين

ويمكن البرهنة على أن فرق الارتفاع هو حاصل طرح القراءة الخلفية من القراءة الأمامية من خلال الشكل (4–6). فالقراءة على الميرا بالنقطة A هي ارتفاع الجهاز مضافاً اليه فرق الارتفاع بين مستو استناد الجهاز والنقطة الأولى، أما القراءة بالنقطة B فهو ارتفاع الجهاز مطروحاً منه فرق الارتفاع بين مستوي استناد الجهاز والنقطةB، ومن ثمَّ سيعطي طرح هاتين القرائتين مجموع فروق الارتفاع التي تمثل فرق الارتفاع بين النقطتين.



الشكل 4– 6 فرق الارتفاع والقرائتين الخلفية والأمامية

ويمكن ملاحظة ذلك ايضاً من خلال الشكل (4–7).



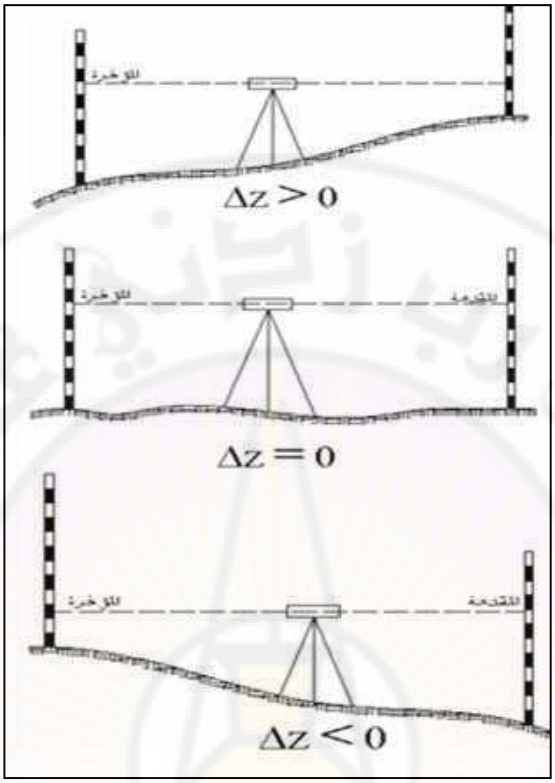
الشكل 4– 7 الحصول على الارتفاعات من القراءات الخلفية والأمامية

ومنه سيكون لفرق الارتفاع (Z=Δh) الاحتمالات الآتية كما يظهر بالشكل (4–8).

إذا كان $\Delta h_A^B > 0 \Rightarrow R > V$ هذا يعني أن النقطة B أعلى من النقطة A (صعود).

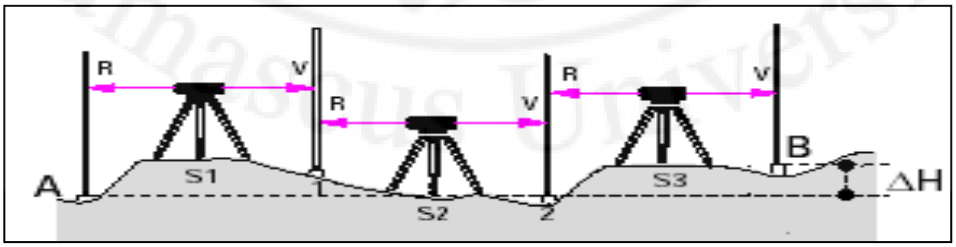
أما إذا كان $\Delta h_A^B < 0 \Rightarrow R < V$ هذا يعني أن النقطة B أخفض من النقطة A.

أما إذا كان $\Delta h_A^B = 0 \Rightarrow R = V$ هذا يعني أن النقطتين لهما السوية نفسها.



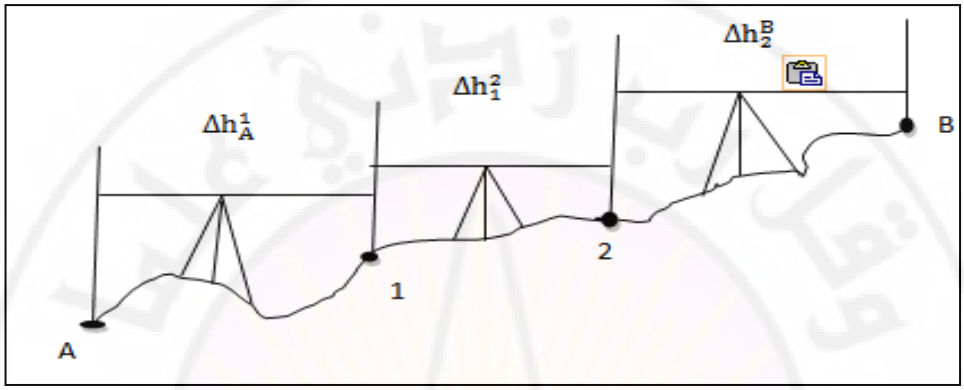
الشكل 4– 8 احتمالات قيم فروق الارتفاعات

يمكن قياس فرق الارتفاع بين النقطتين A وB إذا كانت المسافة بينهما لاتزيد عن 100m وفرق الارتفاع عن 3.5m. أما إذا كانت المسافة بين النقطتين A وB كبيرة ولا يمكن إنجاز العملية بوقفة واحدة للجهاز، أو فرق الارتفاع بينهما كبير، فعندها نلجأ إلى تقسيم المسافة إلى أجزاء أو استعمال نقاط مساعدة كما هو موضح بالشكل (4–9) حيث يكون للنقطة الأولى قراءة خلفية واحدة وللنقطة الأخيرة قراءة أمامية واحدة أما النقاط المساعدة (نقاط المسلك) فيكون لكل نقطة قراءتان أمامية وخلفية.



الشكل 4– 9 النقاط المساعدة للمسافات الطويلة

ويحسب فرق الارتفاع بين النقطتين كمجموع لفروق الارتفاعات الجزئية كما هو موضح بالشكل (10–4).



الشكل 4– 10 فروق الارتفاعات الجزئية

ومن الشكلين السابقيين يكون لدينا:

$$\Delta h_A^B = \Delta h_A^1 + \Delta h_1^2 + \Delta h_2^B$$

$$\Delta h_A^B = (R_A - V_1) + (R_1 - V_2) + (R_2 - V_B)$$

$$\Delta h_A^B = \Sigma R_i - \Sigma V_i$$

وبفرض أن النقطة A معلومة الارتفاع، يمكن حساب ارتفاع النقطة B: $H_B = H_A + \Delta h_A^B$

بأعمال التسوية المباشرة يجب ألا تزيد المسافة بين جهاز النيفو والميرا عن 75–100 متر بحيث تُعد سطوح التسوية مستويات أفقية ويتجاهل خطأ تأثير انحناء سطح الأرض على نتائج التسوية وللتقليل من خطأ انكسار الأشعة وعدم أفقية شعاع الرؤية مع الأنتباه إلى تموضع الميرا فوق النقاط بشكل شاقولي .

4–4 ملاحظات بالتسوية

1– فرق الارتفاع بين نقطتين= القراءة الخلفية – القراءة الأمامية

2– منسوب النقطة الأمامية = منسوب النقطة الخلفية + فرق الارتفاع بينهما

3– مجموع فروق الارتفاعات = مجموع القراءات الخلفية – مجموع القراءات الأمامية

4– مجموع فروق الارتفاعات = منسوب آخر نقطة – منسوب أول نقطة

5– يوضع جهاز النيفو في منتصف المسافة بين النقطتين لحذف خطأ كروية الأرض وخطأ انكسار الأشعة

6– اذا قسنا فرق الارتفاع من النقطة Aإلى B فيعبر عن ذلك بالرمز Δh_A^B

اما اذا قسنا فرق الارتفاع من B إلى A فيعبر عنه ب Δh_B^A

ويكون : $\Delta h_A^B = -\Delta h_B^A$

4–5 جهاز النيفو(الميزانية) وملحقاته

جهاز النيفو(الميزانية) هو الجهاز المستعمل لقياس فروق الارتفاعات بين النقاط ومن ثمَّ تحديد منسوب أو ارتفاع هذه النقاط. يوضع الجهاز عادة على ركيزة ارجل وبشكل أقرب ما يكون مستوياً لتسهيل عملية ضبط الجهاز لاحقاً. يفضل أن تكون ارجل الركيزة متباعدة فيما بينها بزاوية 60 درجة لتحقق استقرار الجهاز على الركيزة كما هو موضح بالشكل (4–12). يجب ان يكون ارتفاع الركيزة لمستوى صدر الراصد لسهولة العمل والرصد، كما يجب تثبيت الجهاز على الركيزة من خلال فتحة حلزونية موجودة أسفل الجهاز يدخل فيها قطعة معدنية حلزونية ايضاً موجودة بأعلى الركيزة .

أجهزة النيفو متعددة باختلاف الشركات المصنعة لها وكذلك متباينة من حيث الدقة وجودة التصنيع وتعدد الأغراض. ويتألف جهاز النيفو بشكل عام من الأجزاء الآتية كما هو مبين من الأشكال (4–12) و (4–13):

الشكل 4– 11 ركيزة جهاز النيفو

1– عدسة الرؤية أو النظارة.

2– محور لتوضيح خطوط المحكمة يكون على شكل إطار حول العدسة العينية.

3– الزئبقية الحلقية.

4– مفتاح ضبط الزئبقية الحلقية غالباً ما يكون من الأسفل من جهة العدسة العينية.

5– في بعض الأجهزة هناك نظارة تظهر جزئي قطع مكافيء، وهي مرتبطة بتوازن الزئبقية الحلقية وتكون غالباً بجانب العدسة العينية، وتظهر بشكل قطع مكافئ كامل بحال توازن الزئبقية الحلقية.

6– الزئبقية الكروية.

7– بزالات ضبط افقية الجهاز(ثلاث بزالات تكون حاملة للجهاز فوق الركيزة).

8– مفتاح الحركة البطيئة، وغالباً ما يكون من الأسفل إلى الأمام من جهة النظارة.

9– مفتاح توضيح الرؤية، يكون من الأعلى بجسم الجهاز.

10– في بعض الأجهزة يوجد بزال لوقف الحركة الأفقية (أجهزة زايس).

الشكل 4– 12 جهاز نيفو من نوع ويلد

الشكل 4– 13 جهاز نيفو من نوع زايس

4–6 أنواع أجهزة النيفو

يوجد هنالك عدة أنواع لأجهزة الميزانية (النيفو) نستعرض أهمها كما يأتي:

1–أجهزة دمبي (Dumpy Level):

تُعد من أقدم الأجهزة المساحية التي مانزال متوافرة، وتتنوع بالشكل والحجم والدقة، كما يظهر بالشكل (4–14). تستخدم النسخ الجديدة منها تنفيذ المشاريع الهندسية وإنشاء المباني. تتميز هذه الأجهزة بأن المنظار والمحور الرأسي (الدائرة الأفقية) بالجهاز متصلان بجسم واحد، وأن قاعدتها مؤلفة من لوحين : الأعلى يتصل بالمنظار، بينما الأسفل يتصل بحامل الجهاز (الركيزة).

الشكل 4– 14أجهزة النيفو من نوع دومبي

2– أجهزة الأمالة (الحركة الرأسية) (Tilting Level):

تدعى أيضاً أجهزة الميزانية الهندسية وتختلف هذه الأجهزة عن أجهزة دمبي بأن المنظار والدائرة الأفقية فيها غير متصلين ببعضهما بعضاً بل منفصلان. ويمكن تحريك منظارها أو إمالته قليلاً عن الوضع الأفقي بواسطة بزال موجود على جسم الجهاز، كما هو موضح بالشكل (4–15). تحتوي هذه الأجهزة على فقاعتين: الفقاعة الدائرية التي تقوم بتوازن الجهاز أفقياً، وتضبط بواسطة بزالات التوازن الثلاث. أما الفقاعة الثانية فهي فقاعة المنظار وهي الفقاعة التي توضع في وسط الأنبوبة الأسطوانية (الفقاعة الأسطوانية) وتضبط قبل كل قراءة بواسطة بزال (مسمار) موضوع على جسم الجهاز .

الشكل 4– 15 أجهزة النيفو الهندسية ذات الأمالة

3– الأجهزة الدقيقة (Precise Level):

تسمى أجهزة التسوية الجيوديزية بسبب استعمالها في القياسات الجيوديزية الدقيقة ولاسيما نقاط الشبكة الجيوديزية المثلثاتية من الدرجة الأولى، وبحساب هبوط المنشآت الهندسية وغيرها من التطبيقات التي تحتاج لدقة عالية والتي قد تصل 0.5 مم بالكيلومتر الواحد. تصنع هذه الأجهزة من مواد قوية ومقاومة للظروف الجوية حيث تمتلك مثلاً سترة لحماية الجهاز من التغيرات في درجات الحرارة المحيطة مما يقلل الخطأ في القياس كما تمتلك بزالات وفقاعات تسوية حساسة ودقيقة (الشكل 4–16). عدسات التكبير بهذه الأجهزة تصل إلى أكثر من 44 مرة، وهذا ما يساعدها على توضيح تقسيمات الميرا بشكل جيد ومن ثمَّ اجراء القراءة بدقة عالية. تستعمل أجهزة النيفو الدقيقة أنواعاً خاصة من الميرا وذات دقة عالية وذات تقسيمات تصل إلى 0.5 سم ومصنوعة من مواد خشبية قوية ومزودة بشريط أنفار من أجل التقليل من الانزياحات

بين التقسيمات المرسومة على الميرا، والتي يجري عليها القياس. هذه الأجهزة مزودة بميكرومتر ذي لوح متوازٍ يسمح بإجراء القياس على الميرا بدقة تصل إلى 0.05 مم (جدول 4–1).

الشكل 4– 16 جهاز النيفو الدقيق

جدول 4 – 1 دقة بعض أنواع أجهزة النيفو الدقيق

الجهاز	الدقة (±mm/ Km)
Leica NAK2	0.3–0.7
Leica NA2	0.3–0.7
Leica GPM3 Parallel Plate Micrometer	0.01–0.1
Leica N3 Optical Tilting	0.2

4– أجهزة النيفو ذات الضبط التلقائي (الاتوماتيكيه) (Automatic Level):

تتميز عن باقي أجهزة النيفو السابقة بأنها تمتلك نظاماً داخلياً يعرف باسم نظام الضبط الذاتي، ووظيفته المحافظة المستمرة أثناء العمل على أفقية خط النظر (المنظار) في كل الاتجاهات وذلك بعد الضبط الأفقي المبدئي (التقريبي) للجهاز بمساعدة ميزان التسوية الدائري (الفقاعة الدائرية). انتشرت هذه الأجهزة بكثرة لسهولة وسرعة التعامل معها، ودقتها الجيدة وميزة الضبط التي تتمتع بها (جدول 4–2)، حيث يمكن استعمالها داخل الأبنية أو على مستوى واسع من الأعمال المساحية المختلفة (الشكل 4–17).

الشكل 4– 17النيفو ذو الذبط التلقائي الاتوماتيكي

– النيفو الرقمي (Digital Level):

تتميز هذه الأجهزة بلوحات إلكترونية تعطي المنسوب بشكل رقمي (الشكل 4–18) وغالبا ما تكون دقة هذه الأجهزة متعلقة بالمسافة التي يبعد عنها الهدف وتتراوح بين 1.5 مم/كم إلى 0.3 مم / كم، كما هو موضح بالجدول (4–3).

جدول 4 – 2 دقة بعض أنواع أجهزة النيفو ذات الضبط التلقائي

الجهاز	الدقة (±mm/km)
Leica NA720	1.5–2.5
Leica NA728	1–1.5
Leica NA730	1.2
Leica NA320/24/32	–2.5–1.51.8
Leica NA520/24/32	2.5–1.9–1.6
Sokkia B20	0.5–0.7

الشكل 4– 18النيفو الرقمي

جدول 4 – 3 دقة بعض أجهزة النيفو الرقمية

الجهاز	الدقة (±mm/km)
Leica Sprinter 150 –M– 250M	1.5 0.7–1
Sokkia SDL30M	0.4
Leica LS10 –LS15	0.3

6– ميزان الليزر (Laser Level):

يحتوي على مصدر ينتج شعاع ليزر أفقياً دواراً لتكوين مستوٍ أفقي ورأسي يستقبل على وحدة خاصة تابعة للجهاز، تقوم بإظهار المعلومات والبيانات الخاصة بالمنسوب أو الميل (الشكل 4–19). يحتاج هذا الجهاز لراصد واحد. تستعمل هذه الأجهزة عادة لتحديد سطوح سوية منسوب ما ويمكن استعمالها لتحديد سوية الواجهات أو في عمليات الإكساء: كتحديد ارتفاعات الابواب والنوافذ أو تركيب السيراميك والبلاط وغيرها من التطبيقات.

الشكل 4– 19الميزانية الليزرية

4–7 الميرا (القامة)

أما الميرا (القامة) (Staff) أو مسطرة التسوية فهي عبارة عن مسطرة خشبية أو معدنية تكون مدرجة عادة من كلا الوجهين إلى أمتار وديسيمتر وسنتيمتر كما يظهر بالشكل (4–20). لأخذ قراءة الميرا عند نقطة، يوجّه جهاز النيفو إلى تلك النقطة والميرا فوقها في وضع رأسي تماماً حيث تحوي بعض أنواع الميرا على فقاعة لضبط شاقوليتها أثناء الرصد كما يوجد خطاف لتثبيت جزئي الميرا بشكل شاقولي ويمنع عودة أحد الجزئين بشكل خاطىء قد يؤثر على سلامة الراصد. يجب الانتباه لوضع صفر الميرا من الأسفل عند وضعها بالشكل الشاقولي. كما يلاحظ وجود بعض أنواع الميرا التي تكون أرقامها مقلوبة وهي مخصصة لبعض الأجهزة التي تحتوي على عدسات تعطي أشكالاً مقلوبةً ومن ثمَّ يمكن الحصول على صورة صحيحة باستعمال هذه الميرا كما هو موضح بالشكل (4–21). يمنع وضع الميرا على الأرض الرخوة أو المنزلقة ولاسيما عند نقاط الدوران، ويفضل وضع قاعدة حديدية توضع عليها الميرا في مثل هذه الحالات.

توضع الميرا إما على الروبير(الشكل 4–22) أو على قاعدة دائرية تسمح بثبات الميرا على الأرض الرخوة، أو توضع على سطح الأرض مباشرة مع مراعاة عدم تغيير مكانها عند دورانها خلال أخذ القرائتين الخلفية والأمامية عليها.

الشكل 4– 20 حزام تثبيت الميرا وفقاعة التوازن

الشكل 4– 21 ميرا بأرقام مقلوبة

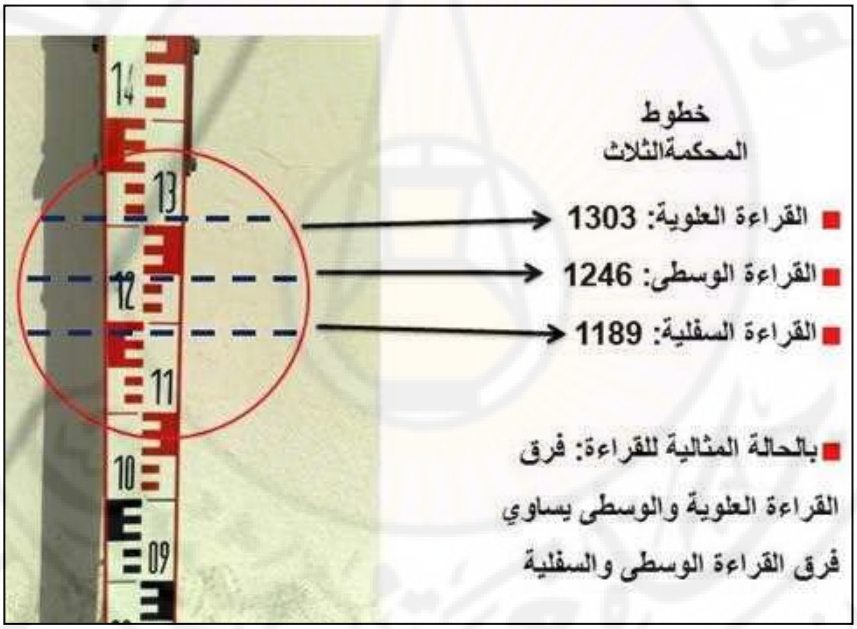
الشكل 4– 22 طرائق وضع الميرا على الروبير

بالنظر من جهاز النيفو نلاحظ وجود ثلاثة خطوط للمحكمة، وهذه الخطوط تتقاطع مع الميرا. لذلك نقوم بتسجيل ثلاث قراءات ندعوها القراءات العلوية، الوسطى، والسفلية .

عند حساب فروق الارتفاعات بطرح القراءة الخلفية من الأمامية نستعمل هنا فقط القراءة الوسطى. أما القراءات العلوية والسفلية (الشكل 4–23) فتستعمل لغرضين أساسيين هما:

1– عند إجراء عدد كبير من القياسات، وبفرض أننا وجدنا قيمة ما شاذة تحوي غلطاً بالقراءة يمكن الرجوع للقراءات العلوية والسفلية لحساب القراءة الوسطى، حيث تسجل القراءة الوسطى بوصفها وسطاً بين القرائتين العلوية والسفلية.

2– تستعمل القراءات العلوية والسفلية لحساب المسافات بشكل تقريبي.



الشكل 4– 23 تدريجات الميرا

ويمكن حساب المسافات الأفقية بشكل تقريبي بين المحطات والنقاط المرصودة انطلاقا من العلاقة:

$$L = K^{*} (L_{Ri} + L_{Vj})$$

حيث إن:

L_{ri}: الفرق بين القرائتين العلوية والسفلية للنقطة الخلفية.

L_{Vj}: الفرق بين القرائتين العلوية والسفلية للنقطة الأمامية.

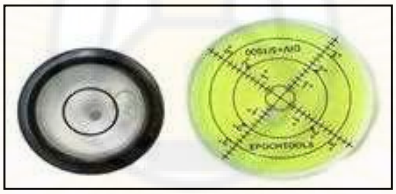
ثابت الجهاز: **K= 100**

4–8 مراحل العمل على جهاز النيفو

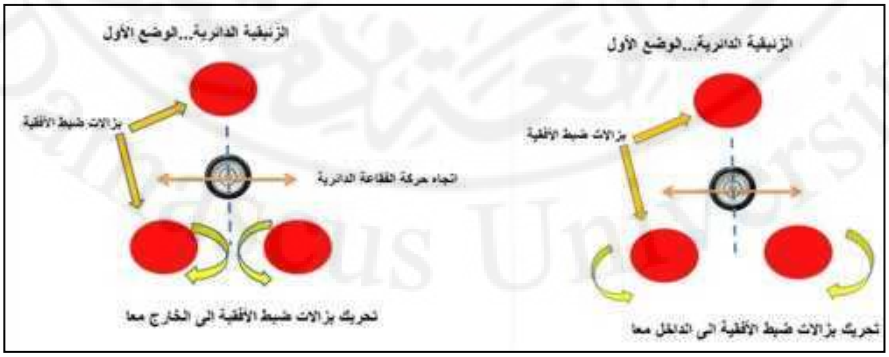
1–التمركز: نضع الجهاز بمنتصف المسافة بين نقطتين. يمكن تحديد هذه المسافة بشكل تقريبي بحساب عدد الخطوات أو باستعمال شريط القياس.

2–التوازن: يوجد مرحلتان للتوازن: توازن الزئبقية الكروية، وتوازن الزئبقية الحلقية.

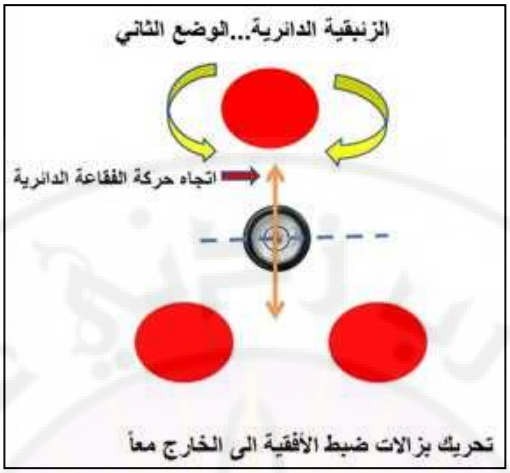
1"– يحدث توازن الزئبقية الكروية (الشكل 4–24) بواسطة بزالات ثلاث حاملات للجهاز فوق الركيزة. نضع الجهاز موازياً لاثنين من البزالات ونحرك البزالين معاً إما نحو الداخل أو نحو الخارج حتى تصل الفقاعة الكروية لمنتصف دائرة التوازن (الشكل 4–25). عندها ندير الجهاز بشكل عامودي على البزالين السابقين، ونقوم بتحريك البزال الثالث فقط حتى يضبط التوازن (الشكل 4–26). تكرر هذه العملية اكثر من مرة حتى تثبت الفقاعة ضمن دائرة التوازن عند تحريك الجهاز بالاتجاهين.



الشكل 4– 24 الزئبقية الكروية



الشكل 4– 25 الزئبقية الكروية بالوضع الأول



الشكل 4– 26 الزئبقية الكروية بالوضع الثاني

2"– يحدث توازن الزئبقية الحلقية بواسطة مفتاح خاص موجود على جسم الجهاز من الناحية السفلية القريبة من العدسة العينية.

ملاحظة: في بعض الأجهزة ترتبط الزئبقية الحلقية بنافذة تظهر طرفي قطع مكافئ، وعند توازنها يظهر هذا القطع المكافئ مكتملاً غير مجتزأ.

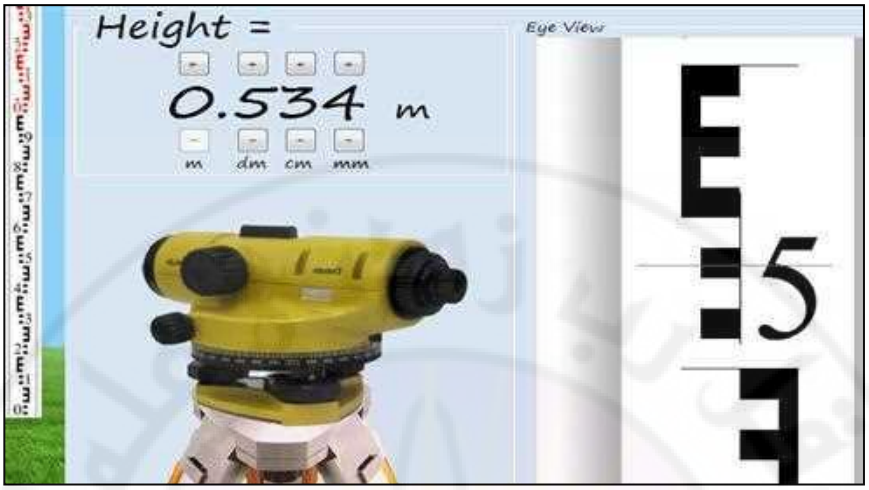
3– التسديد: هنالك التسديد التقريبي السريع والتسديد الدقيق البطيء.

A– يتم التسديد السريع بالنظر من خلال شعيرة التسديد نحو الميرا بشكل تقريبي. ببعض الأجهزة يمكن تثبيت حركة الجهاز ومنعه من الحركة.

B– التسديد الدقيق يتم باستعمال بزال خاص للحركة البطيئة موجود على الجزء السفلي الامامي من الجهاز من جهة النظارة.

توضح الرؤية من خلال مفتاح خاص موجود على الجزء العلوي من جسم الجهاز، أما خطوط المحكمة فتوضح من خلال تدوير إطار يدور حول عدسة التسديد يستعمل لتوضيح هذه الخطوط.

4– القراءة: باعتبار الميرا مدرجة إلى أمتار وديسمتر وسنتيمتر وأحيانا إلى ميلمتر فإن القراءة على الميرا تؤخذ عادة بدقة الميلمتر. الميرا مرقمة بالمتر و بالديسمتر كأرقام صحيحة، وأما المربعات فيمثل كل مربع سنتيمتراً واحداً، أما الميلمتر فيقدر بشكل تقريبي ضمن أجزاء المربع الواحد وبدقة ±1 ميلمتر وهي تعبر عن دقة القراءة على الميرا كما هو موضح بالشكل (4–27).



الشكل 4– 27 القراءة على الميرا

4–9 أنواع مسالك (مسارات) التسوية

1– **مسالك مفتوحة** : وتتميز هذه المسالك بأن بداية المسلك ونهايته نقاط معلومة المناسيب كما هو موضح بالشكل (4–28).

الشكل 4– 28 مسلك مفتوح

وغالباً ما تكون الخطوط مكونة من قطع مستقيمة تشكل مضلّعات بين النقاط المعلومة المنسوب. يجب ألا تتجاوز أطوال الأضلاع 150 متراً بالتسوية غير المباشرة، أما بالتسوية المباشرة فهي تتبع لطبيعة الأرض والميل فقد تصل إلى 25 متراً عندما يكون الميل 10/1، أما بالأرض السهلية المنبسطة فقد تصل إلى 200 متراً كحد أقصى للحد من تأثير انحناء سطح الأرض وانكسار شعاع الرؤية في نتائج التسوية. وبحالة القياسات المثالية يجب أن يكون فرق الارتفاع بين نقطة نهاية المسلك وبدايته يساوي مجموع فروق الارتفاعات على طول المسلك والتي يعبر عنها بالعلاقة الآتية :

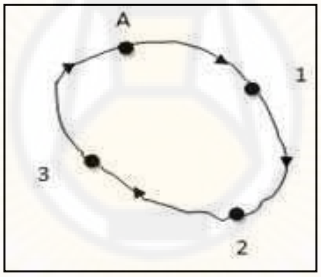
$$H_B - H_A = \Sigma \Delta h_A^B$$

أما إذا لم تتحقق هذه المساواة فنطلق على الفرق بين فرق الارتفاع بين نقطة نهاية المسلك وبدايته و مجموع فروق الارتفاعات على طول المسلك خطأ الإغلاق أو التسكير(Actual Misclosure) ويحسب من العلاقة الآتية:

$$f_h = (H_B - H_A) - \Sigma \Delta h_A^B$$

من الطرائق المستعملة للتحقق من نتائج أعمال التسوية طريقة الذهاب والإياب، فعند الوصول لنهاية المسلك نقوم بعمليات التسوية إياباً للوصول لنقطة بداية المسلك، وفي هذه الحالة نحصل على قيمتين لفروق الارتفاعات بإشارات متعاكسة، ويجب أن يكون الفرق بالقيمة المطلقة بين فروق الارتفاعات مقبولاً ومفسراً بأخطاء القياسات، وعندها نعتبر القيمة الوسطية قيمة نهائية لفرق الارتفاع.

2– **مسالك مغلقة:** تتميز بأن بداية المسلك ونهايته هي نقطة وحيدة معلومة الارتفاع، كما هو حال النقطة (A) بالشكل (4–29).



الشكل 4– 29 مسار التسوية المغلق

وبحالة القياسات المثالية يجب أن يكون فرق الارتفاع بين نقطة نهاية المسلك وبدايته (وبحالتنا هذه هي نفس النقطة) يساوي مجموع فروق الارتفاعات على طول المسلك ويساوي الصفر وهو ما يعبر عنه بالعلاقة الآتية :

$$H_A - H_A = \Sigma \Delta h_A^A$$

ومن ثمَّ فان: $$\Sigma \Delta h_i = 0$$

أما إذا لم تتحقق هذه المساواة فنطلق على مجموع فروق الارتفاعات على طول المسلك وبإشارة معاكسة خطأ الإغلاق أو التسكير(Actual Misclosure)، كما يظهر من العلاقة الآتية:

$$f_h = (H_A - H_A) - \Sigma \Delta h_i$$

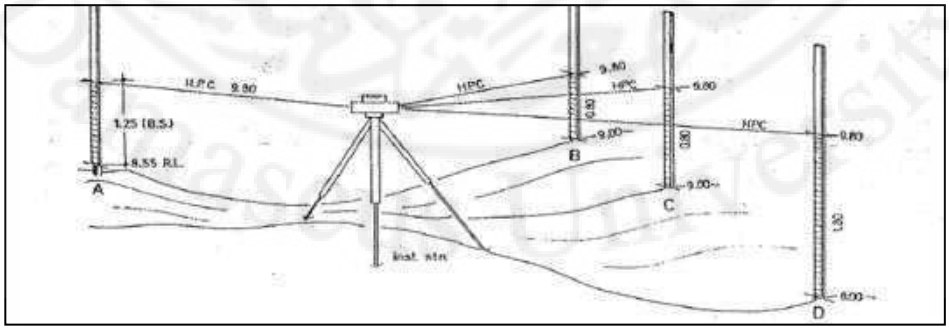
$$f_h = 0 - \Sigma \Delta h_i$$

أي أن إشارة خطأ الإغلاق أو التسكير تكون معاكسة لإشارة مجموع فروق الارتفاعات للمسلك المغلق.

3– الطريقة الشعاعية

نضع النيفو في منطقة بحيث يمكننا رؤية أكبر عدد من النقاط المجهولة المنسوب، والتي يطلب حساب منسوبها كما هو موضح بالشكل (4–30). في أي عمل تسوية يجب أن نبدأ العمل من نقطة معلومة المنسوب (نقطة مرجعية) معروفة بارتفاعها (منسوبها) عن المستوي الوسطي للبحار(الجيوئيد). نقف عند هذه النقطة بالميرا، ونأخذ قراءة خلفية ونثبت الجهاز وننقل الميرا على النقاط المجهولة الارتفاع ونأخذ عليها قراءات أمامية فيصبح فرق المنسوب لكل نقطة هو طرح القراءة الخلفية للنقطة المعلومة المنسوب من قراءة النقاط الأمامية. بعد الحصول على فرق المنسوب (الارتفاع) نضيف إليه منسوب النقطة الخلفية المعلوم لنحصل على مناسيب النقاط المجهولة.

تستعمل هذه الطريقة في الحالات التي من الصعب فيها وضع النيفو بين النقطة المعلومة والمجهولة كدراسة ومراقبة تشوهات الأبنية حيث من الصعب وضع النيفو بين أساسات البناء. عند حساب الارتفاعات بالنسبة إلى نقطة مفروضة من قبلنا تكون الارتفاعات المحسوبة نسبية وتتحول إلى ارتفاعات مطلقة عند ربط تلك النقاط بشبكة التسوية الحكومية.



الشكل 4– 30 الطريقة الشعاعية بالتسوية

4- 10 الخطأ الأعظمي المسموح به (حد التساهل) (Allowable Misclosure)

بالعودة لبحث الأخطاء بالفصل السابق نجد أن الفرق بين الخطأ والغلط يحدد غالباً بحد التساهل، حيث يجب أن يكون خطأ الإغلاق أقل من الخطأ الأعظمي المسموح به:

$$f \le \pm F\max$$

ومن ثمَّ فخطأ الإغلاق الذي حُسِبَ سواءً أكان المسلك مفتوحاً أم مغلقاً يجب أن يقارن بخطأ الإغلاق المسوح به، والذي يعطى إما بواسطة استعمال المسافات أو بواسطة اعتماد عدد وقفات الجهاز(عدد المحطات) حسب العلاقة الآتية :

$$F\max(mm) = \pm 2.5 \times m_h \times \sqrt{2N}$$

$$F\max(mm) = \pm 5 \times \sqrt{2N}$$

حيث إن N عدد المحطات (عدد وقفات الجهاز)، يساوي عدد القراءات الخلفية ويساوي أيضاً عدد القراءات الأمامية.

m_h هو الخطأ المتوسط التربيع لفرق المنسوب بين نقطتين، ويساوي الخطأ المتوسط التربيع للقراءة على الميرا، ويعطي عادة ما بين (1.1 mm > 2 mm)، وتُستعمل القيمة العظمى لمسارات الشبكات من الدرجة الرابعة وما فوق.

ويعطى الخطأ متوسط التربيع لمجموع فروق المناسيب بين نقاط مسار تسوية طويل يقدر طوله ب 1 كم (1 km) بالعلاقة:

$$m_{h(km)} = \pm m_h \sqrt{N}$$

وحسب نظرية الأخطاء فإن الخطأ الأعظمي المسموح به أو حد التساهل كما وجدنا ببحث الأخطاء يعطى بالعلاقة:

$$F\max(mm) = \pm(2 >> 3) m_{h(km)}$$

(2>>3) أي تقع القيمة بين هاتين القيمتين.

ومن ثمَّ يعطى الخطأ الأعظمي المسوح به لمسار تسوية باستعمال طول المسلك الكلي على أن يكون الطول مقدراً بالكيلو متر (km) بواسطة العلاقة التالية :

$$F\max(mm) = \pm 3 \times m_{h(km)} \sqrt{L_{(km)}}$$

أو:

$$F\max(mm) = \pm 2 \times m_{h(km)} \sqrt{L_{(km)}}$$

ومن ثمَّ فخطأ الإغلاق لمسارات التسوية يعطى بالعلاقة

$$F\max(mm) = (12 >> 24) \times m_h \times \sqrt{L_{(km)}}$$

(12>>24) اي تقع القيمة بين هاتين القيمتين حسب درجة الشبكة حسب الجدول التالي:

جدول 4 – 4 حد التساهل حسب درجة شبكة التسوية

	درجة أولى	درجة ثانية	درجة ثالثة	درجة رابعة
خطأ الإغلاق الأعظمي المسموح به (حد التساهل)	$3\sqrt{L}$	$5\sqrt{L}$	$10\sqrt{L}$	$15\sqrt{L}$

4–11 طرائق توزيع خطأ الإغلاق

بعد مقارنة خطأ الإغلاق مع الخطأ الأعظمي المسموح به والتأكد من أنه أصغر أو يساويه يجب توزيع هذا الخطأ على كامل نقاط مسار التسوية. عادة يعد توزيع الخطأ بالتساوي الطريقة التي يمكن التفكير فيها وذلك بتقسيم الخطأ على عدد الوقفات. هذه الطريقة صحيحة من الناحية المنطقية الرياضية، ولكنها غير صحيحة من الناحية المساحية، فلابد لتوزيع الخطأ أن يشمل مبدأ " العدالة" بالتوزيع. فمن غير المنطقي أن يكون الخطأ المرتكب على طول 500 متر هو ذاته المرتكب على 5 كم مثلاً، أو من غير المعقول أن الخطأ المرتكب عند استعمال 3 وقفات للجهاز هو نفسه المرتكب عند استعمال 10 وقفات للجهاز. لذلك فالصيغة الأكثر مصداقية وعدالة لتوزيع الخطأ هو استعمال طريقة "**النسبة والتناسب**"، وذلك حسب الأطوال وعدد وقفات الجهاز، وحسب القيم المطلقة لفروق الارتفاع.

4–11–1 توزيع الخطأ حسب القيم المطلقة لفروق الارتفاع

يرتكب الخطأ F_h على كامل المسار الذي مجموع فروق ارتفاعاته بالقيمة المطلقة هو $\sum|\Delta h_i|$

بينما يرتكب الخطأ V_1 على المسار الذي فرق ارتفاعه بالقيمة المطلقة هو $|\Delta h_1|$

بينما يرتكب الخطأ V_2 على المسار الذي فرق ارتفاعه بالقيمة المطلقة هو $|\Delta h_2|$

ومن ثمَّ تعطى قيمة التصحيح لكل فرق ارتفاع بالقيمة المطلقة حسب القانون التالي:

$$V_h = \frac{f}{\Sigma|\Delta h_i|} \times |\Delta h_i|$$

4–11–2 توزيع الخطأ حسب المسافات

يرتكب الخطأ F_h على كامل المسار الذي مجموع طول مساره هو $\sum l_i$

بينما يرتكب الخطأ V_1 على المسار الذي طوله هو l_1

بينما يرتكب الخطأ V_2 على المسار الذي طوله هو l_2

ومن ثمَّ تعطى قيمة التصحيح لكل طول منأطوالالمسار حسب القانون التالي:

$$V_i = \frac{f}{\Sigma l_i} \times l_i$$

4–11–3 توزيع الخطأ حسب عدد المحطات (عدد وقفات الجهاز)

يرتكب الخطأ F_h على كامل المسار الذي مجموع عدد وقفات الجهاز فيه هو $\sum N$

بينما يرتكب الخطأ V_1 على المسار الذي عدد وقفاته هو N_1

بينما يرتكب الخطأ V_2 على المسار الذي عدد وقفاته هو N_2

ومن ثمَّ تعطى قيمة التصحيح لكل عدد وقفات لجزء من المسار حسب القانون الآتي:

$$V_i = \frac{f}{\Sigma N_i} \times N_i$$

4–12 أمثلة تطبيقية

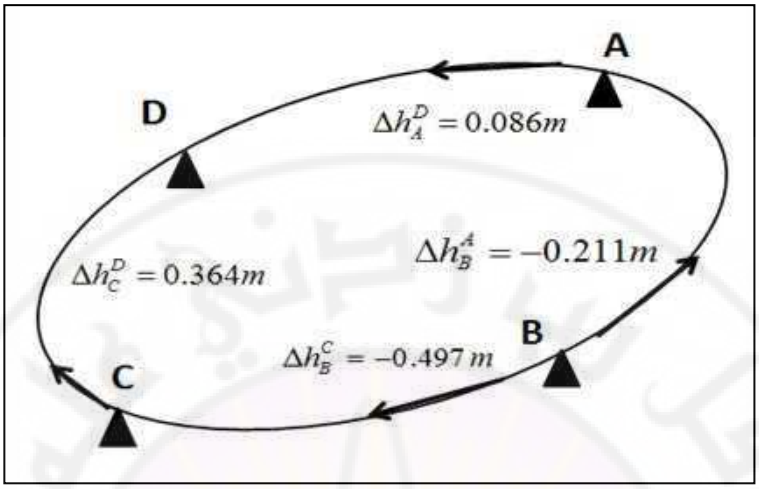
<u>1– مثال تطبيقي على مسلك مغلق</u>

لدينا مسلك التسوية المغلق حيث منسوب النقطة A هو HA=100.000 m وفروق الارتفاعات والمسافات قيست (بالمتر) ووضعت بالجدول، والمطلوب:

1– احسب المناسيب التقريبية (قبل التصحيح) للنقاط C،B ، D

2– احسب خطأ الإغلاق وقارنه بحد التساهل وقم بتوزيع الخطأ حسب القيم المطلقة لفروق الارتفاع

3– احسب المناسيب المصححة للنقاط C،B ، D



النقاط	Δh (m) فرق الارتفاع بين النقاط
A	0.211
B	–0.497
C	0.364
D	–0.086
A	

الحل:

1– نحسب المناسيب (الارتفاعات) التقريبية:

$$HB = HA + \Delta h_A^B = 100 + 0.211 = 100.211m$$
$$HC = HB + \Delta h_B^C = 100.211 - 0.497 = 99.714m$$
$$HD = HC + \Delta h_C^D = 99.714 + 0.364 = 100.078m$$
$$HA = HD + \Delta h_D^A = 100.078 - 0.086 = 99.992m$$

2– نحسب خطأ الإغلاق Fh ونقارنه مع حد التساهل Fmax:

$$Fh = (HA - HA) - (\Delta h_A^B + \Delta h_B^C + \Delta h_C^D + \Delta h_D^A) = 0 - (-0.008) = 0.008m$$
$$Or: Fh = HA - HA' = 100.000 - 99.992 = 0.008m = 8mm$$
$$Fmax = \pm 5\sqrt{2N} = \pm 5\sqrt{2 \times (4)} = \pm 14.1mm$$
$$\Rightarrow Fh < F\max$$

3– نحسب قيمة التصحيحات Vh:

$$Vh1 = \frac{Fh}{\sum \overline{\Delta h}} \times \overline{\Delta h_1} = \frac{0.008}{1.158} \times 0.211 = 0.001m = 1.5mm$$

$$Or: Vh1 = \frac{Fh}{\sum \overline{\Delta h}} \times \overline{\Delta h_1} = \frac{0.008}{1158} \times 211 = 0.00145m = 1.5mm$$

$$Vh2 = \frac{Fh}{\sum \overline{\Delta h}} \times \overline{\Delta h_2} = \frac{0.008}{1158} \times 497 = 0.003m = 3.4mm$$

$$Vh3 = \frac{Fh}{\sum \overline{\Delta h}} \times \overline{\Delta h_3} = \frac{0.008}{1158} \times 364 = 0.003m = 2.5mm$$

$$Vh4 = \frac{Fh}{\sum \overline{\Delta h}} \times \overline{\Delta h_4} = \frac{0.008}{1158} \times 86 = 0.001m = 0.6mm$$

4– نحسب قيمة فروق الارتفاعات المصححة:

$$\Delta h_A^B{}' = \Delta h_A^B + Vh1 = 0.211 + 0.001 = 0.212m$$
$$\Delta h_B^C{}' = \Delta h_B^C + Vh2 = -0.497 + 0.003 = -0.494m$$
$$\Delta h_C^D{}' = \Delta h_C^D + Vh3 = 364 + 0.003 = 0.367m$$
$$\Delta h_D^A{}' = \Delta h_D^A + Vh4 = -0.086 + 0.001 = -0.085m$$

5– نحسب قيمة المناسيب المصححة النهائية:

$$HB' = HA + \Delta h_A^B{}' = 100 + 0.212 = 100.212m$$
$$HC' = HB + \Delta h_B^C{}' = 100.212 - 0.494 = 99.718m$$
$$HD' = HC + \Delta h_C^D{}' = 99.718 + 0.367 = 100.085m$$
$$HA' = HD + \Delta h_D^A{}' = 100.085 - 0.085 = 100.000m$$

المحطة	النقطة	القراءات على الميرا (mm)		Δh (mm)	absΔh	Vh (mm)	ΔH (mm)	المنسوب H(m)
		خلفية R	امامية V					
A–B	A	1892		211	211	1.5	212.5	100.000
		1746						
		1599						
B–C	B	1417	1688	−497	497	3.4	−493.6	100.212
		1042	1535					
		667	1383					
C–D	C	2185	1925	364	364	2.5	366.5	99.719
		2011	1539					
		1836	1153					
D–A	D	2141	1829	−86	86	0.6	−85.4	100.085
		1795	1647					
		1449	1465					
	A		2254					100.000
			1881					
			1508					
∑				−8	1158	8	0	

2– مثال تطبيقي على مسلك مفتوح

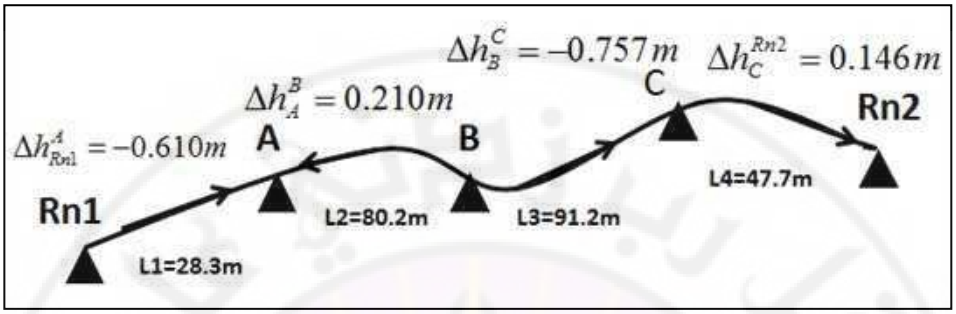
لدينا مسلك التسوية المفتوح الموضح بالشكل حيث منسوب النقطة1 هو H_{Rn1}=738.520 m ومنسوب النقطة 2 هو H_{Rn2}=737.085 m وفروق الارتفاعات والمسافات قيست ووضعت بالشكل أو بالجدول الملحق، والمطلوب:

1– احسب المناسيب التقريبية للنقاط A، B، C.

2– احسب خطأ الإغلاق وقارنه بحد التساهل وقم بتوزيع الخطأ حسب المسافات

مسار التسوية	Δh (m) فرق الارتفاع بين النقط	L (m) المسافة بين النقط
Rn1→A	−0.610	028.3
A→B	−0.210	80.20
B→C	−0.757	91.20
C→Rn2	0.146	47.70

3– احسب المناسيب المصححة للنقاط A،B ، C



الحل:

1– نحسب المناسيب (الارتفاعات) التقريبية:

$$HA = HRN2 + \Delta h_{RN2}^{A} = 738.520 - 0.610 = 737.910m$$
$$HB = HA + \Delta h_{A}^{B} = 737.910 - 0.21 = 737.700m$$
$$HC = HB + \Delta h_{B}^{C} = 737.700 - 0.757 = 736.943m$$
$$HRN1 = HC + \Delta h_{C}^{RN1} = 736.943 + 0.146 = 737.089m$$

2– نحسب خطأ الإغلاق Fh ونقارنه مع حد التساهل Fmax:

$$Fh = (HR_{N1} - HR_{N2}) - (\Delta H_{R_{N1}}^{A} + \Delta H_{A}^{B} + \Delta H_{B}^{C} + \Delta H_{C}^{R_{N2}})$$
$$= -1.435 - (-1431) = -0.004m = -4mm$$
$$Or: Fh = HR_{N1} - HR_{N1}' = 737.085 - 737.089 = -0.004m = -4mm$$
$$Fmax = \pm 20\sqrt{L} = \pm 20\sqrt{(28.3 + 80.2 + 91.2 + 47.7)/1000} = \pm 9.9mm$$
$$\Rightarrow Fh < F\max$$

3– نحسب قيمة التصحيحات Vh

$$Vh1 = \frac{Fh}{\sum Li} \times l1 = \frac{-0.004}{247.4} \times 28.3 = -0.001m = -0.5mm$$
$$Vh2 = \frac{Fh}{\sum Li} \times l2 = \frac{-0.004}{247.4} \times 80.2 = -0.001m = -1.3mm$$
$$Vh3 = \frac{Fh}{\sum Li} \times l3 = \frac{-0.004}{247.4} \times 91.2 = -0.002m = -1.5mm$$
$$Vh4 = \frac{Fh}{\sum Li} \times l4 = \frac{-0.004}{247.4} \times 47.7 = -0.001m = -0.8mm$$

4– نحسب قيمة فروق الارتفاعات المصححة:

$$\Delta h_{R_{N2}}^{A}{}' = \Delta h_{R_{N2}}^{A} + Vh1 = -0.610 - 0.001 = -0.611m$$
$$\Delta h_{A}^{B}{}' = \Delta h_{A}^{B} + Vh2 = -0.210 - 0.001 = -0.211m$$
$$\Delta h_{B}^{C}{}' = \Delta h_{B}^{C} + Vh3 = -0.757 - 0.002 = -0.759m$$
$$\Delta h_{C}^{R_{N1}}{}' = \Delta h_{C}^{R_{N1}} + Vh4 = 0.146 - 0.001 = 0.145m$$

5– نحسب قيمة المناسيب المصححة النهائية:

$$HA = HRN2 + \Delta h_{RN2}^{A} = 738.520 - 0.611 = 737.909m$$
$$HB = HA + \Delta h_{A}^{B} = 737.909 - 0.211 = 737.698m$$
$$HC = HB + \Delta h_{B}^{C} = 737.698 - 0.759 = 736.939m$$
$$HRN1 = HC + \Delta h_{C}^{RN1} = 736.939 + 0.145 = 737.084m$$

4–13 شبكات التسوية الجيوديزية الهندسية

يؤمن لنا المسح الجيوديزي تعيين عدد من النقاط الثابتة المجسدة على الطبيعة والمعروفة بارتفاعاتها المنسوبة إلى المستوى الوسطي للبحار، والتي تسمى نقاط التسوية العامة وتشكل مجتمعة ما يسمى شبكات التسوية. تُعد شبكات التسوية القاعدة الأساسية لحساب ولإنشاء وإنتاج الخرائط الطبوغرافية لمختلف المقاييس، كما تُعد أساساً ومرجعاً لمختلف المشاريع الهندسية. تقسم شبكات التسوية إلى شبكات رئيسة وشبكات ثانوية. تتحدد شبكات التسوية الرئيسة بواسطة قياسات التسوية الهندسية الدقيقة وتعدل وفقاً لمبدأ التربيعات الصغرى. الشبكات الحكومية تكون ذات ارتفاعات مطلقة لأنها منسوبة إلى سطح البحر ويجب على الدولة تغطية أراضيها بشبكات التسوية حيث تقسم هذه الشبكات حسب درجة الدقة إلى الدرجة الأولى والثانية والثالثة والرابعة.

4–13–1 الشبكة الحكومية ذات الدرجة الأولى: يكون التباعد بين نقاط هذه الشبكات 20 km>> 25km، وتتميز هذه النقاط بدقتها العالية وبالوقت والجهد الكبيرين لأنجازها وتزرع هذه النقاط في أماكن واضحة للقياس في جوانب الاتوستراد والسكك الحديدية وأبنية الحكومة ويعطى خطأ الإغلاق الأعظمي لهذه الشبكات بالعلاقة: $F\max = 3\sqrt{L}$

حيث إن:

L: طول المسار أو محيط الحلقة مقدراً بالكيلومتر (km).

يُعتمد على هذه الشبكات بإجراء الدراسات العلمية المتعلقة بسطح الأرض أو سطوح البحار والمحيطات أو دراسة الحركات الشاقولية للقشرة الأرضية نتيجة الزلازل أو حركات الأرض الداخلية.

4–13–2 الشبكات الحكومية ذات الدرجة الثانية: تنشأ هذه الشبكات بين مسارات الشبكة ذات الدرجة الأولى ومهمتها تكثيف تلك الشبكات، وتكون دقتها أقل من دقة الدرجة الأولى ويكون التباعد بين هذه الشبكات 8 km>>12km، ويعطى خطأ الإغلاق الأعظمي المسموح لهذه الشبكات بالعلاقة:

$F\max = 5\sqrt{L}$ ، وتنشأ على شكل حلقات مغلقة او مسارات مفتوحة قد يصل طولها او محيط الحلقة إلى 500 km .

4–13–3 الشبكة الحكومية ذات الدرجة الثالثة: وتنشأ لتكثيف الشبكات ذات الدرجة الأولى والثانية ويكون التباعد فيما بينها 4km>8km ويعطى خطأ الأغلاق فيها $F\max = 10\sqrt{L}$ ويصل محيط الحلقة أو طول المسار فيها إلى 150 km.

4–13–4 الشبكة الحكومية ذات الدرجة الرابعة: وتنشأ لتكثيف الشبكات ذات الدرجة الثالثة فقط ويعطى خطأ الإغلاق فيها بالعلاقة: $F\max = 15\sqrt{L}$

حيث L: مقدرة بالكيلومتر (km) بينما الخطأ المسوح Fmax مقدر بالميلمتر (mm) بكل العلاقات السابقة.

إن دقة نقاط شبكات التسوية الهندسية المقامة والمنشأة في المدن والتجمعات السكانية والصناعية المختلفة وكثافها(الشكل 4–31)، تتعلق بدقة أعمال التجسيد والرفع الطبوغرافي المطلوبة، وكذلك تتعلق أيضاً بحجم المنطقة المدروسة ومساحتها. إن كافة الأعمال الهندسية الجيوديزية تعتمد وتستند على شبكات التسوية الحكومية بجميع درجاتها من الدرجة الأولى حتى الرابعة، المنتشرة والممتدة على كامل مساحة القطر. النقطة المرجعية في شبكة التسوية في سوريا من الدرجة الأولى موجودة في رأس البسيط، حيث توجد صبة بيتونيه ضخمة ومنسوبها0)،0،(0. غُطيت 50% إلى 60% من أراضي الجمهورية العربية السورية بشبكات تسوية، وهذه المناطق المغطاة هي الجهة الشمالية والجنوبية والغربية باتجاه الساحل، لكن عند الشرق والاقتراب من البادية لاتوجد نقاط تسوية. 99% من العمل في مشاريع السكك الحديدية والري والصرف هو عمل طبوغرافي لما يتطلبه العمل من دقة عالية، حيث يعاد المسار ذهاباً وإياباً عدداً من المرات .

الشكل 4– 31 شبكة تسوية

4–14 أخطاء التسوية المباشرة

الأخطاء النظامية: تشمل:

– تأثير خطأ كروية الأرض (انحناء سطح الأرض).

– تأثير خطأ انكسار شعاع الرؤية.

– تأثير خطأ عدم أفقية شعاع الرصد (شعاع الرؤية) لحظة أخذ القراءة.

الأخطاء العرضية: تشمل

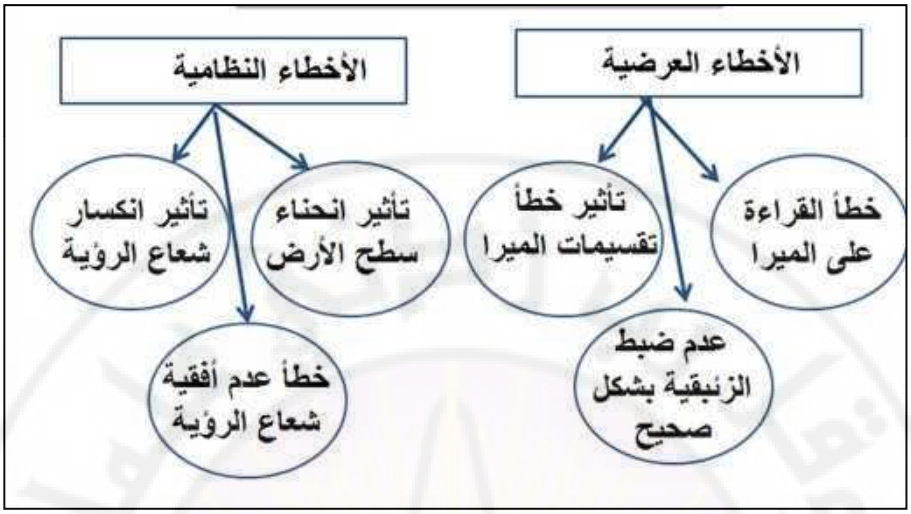
– خطأ القراءة على الميرا.

– الخطأ الناتج عن تقسيمات الميرا.

– الخطأ الناتج عن عدم شاقولية الميرا أثناء القراءة.

– الخطأ الناتج عن عدم ضبط فقاعة الزئبقية ضبطاً كافياً أثناء القراءة.

– الخطأ الناتج عن انخفاض أو هبوط التربة تحت الجهاز والميرا.



الشكل 4– 32 أخطاء التسوية المباشرة

4–14–1 تأثير انحناء سطح الأرض في نتائج أعمال التسوية المباشرة:

نضع جهاز النيفو في نقطة J حيث يمر محور جهاز النيفو من مركز الأرض، ونضع الميرا في النقطة M على بعد 100 m من جهاز النيفو، وهذا البعد يعد صغيراً بالنسبة إلى نصف قطر الأرض Ro=6400 km كما بالشكل(4–33) فيكون:

$JM = \overset{\frown}{JM} = JK$ اي ان المماس = القوس = الوتر

وإن شعاع الرؤية يجب أن يمر من K، لكن نتيجة لانحناء الأرض يمر من M.

نسمي القطعة MK ب Q هي تأثير انحناء سطح الأرض في نتائج أعمال التسوية المباشرة.

من المثلث OJK وهو مثلث قائم فحسب فيثاغورث نجد:

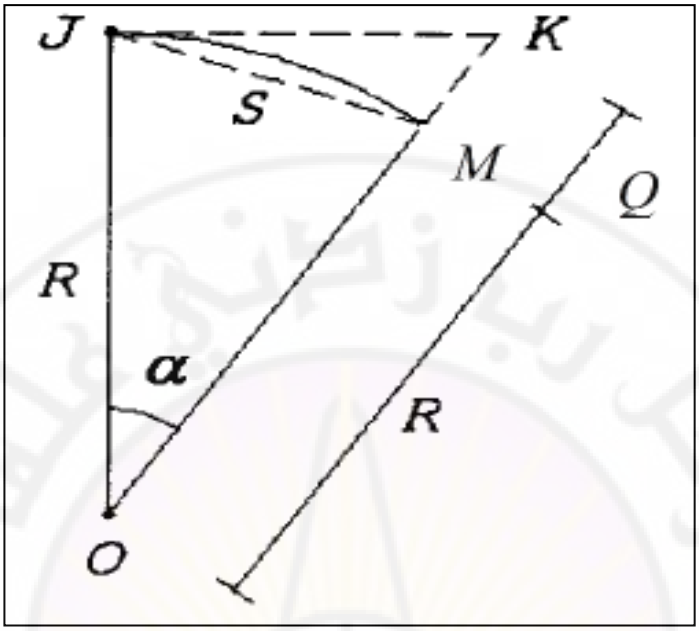
$$(R+Q)^2 = R^2 + S^2$$

$$\Rightarrow R^2 + Q^2 + 2RQ = R^2 + S^2$$

$$\Rightarrow Q = \frac{S^2}{2R}$$

اهملنا Q2 لان Q صغيرة، وعندما نربعها تصغر اكثر فنهملها. فيكون تأثير انحناء سطح الأرض في الميرا الخلفية:

$$Q1 = \frac{S_1^{\,2}}{2R}$$



الشكل 4– 33 تأثير انحناء سطح الأرض

ويكون تأثير انحناء سطح الأرض في الميرا الأمامية:

$$Q2 = \frac{S_2^{\,2}}{2R}$$

ومنه نستنتج أن:

$$\Delta Q = Q2 - Q1 = \frac{S_1^{\,2} - S_2^{\,2}}{2R}$$

$$= \frac{(S_1 - S_2)(S_1 + S_2)}{2R}$$

لكن:

$$S_1 - S_2 = \Delta S$$

والمسافة الكلية:

$$S_1 + S_2 = D$$

فيصبح لدينا:

$$\Delta Q = \frac{D}{2R}\Delta S$$

فإذا كانت المسافة الأمامية مساوية للمسافة الخلفية يكون : $\Delta S = 0 \Rightarrow \Delta Q = 0$

ومنه يصبح تأثير انحناء سطح الأرض معدوماً.

4–14–2 تأثير انكسار شعاع الرؤية في نتائج أعمال التسوية المباشرة:

نتيجة لتغير كثافة الهواء تتغير قرينة الانكسار للهواء، فينحرف شعاع الرؤية عن مساره الصحيح، إما للأعلى أو للأسفل، وهذا ما يسمى بالانكسار. في الأوساط المثالية يجب ألا يحدث الانكسار في شعاع الرؤية، لكن هذه الأوساط لا تتوفر، لأننا أثناء عملنا نواجه بيئات عدة منها الزراعية ومنها الإسفلتيه وغيرها، ونتيجة التغير في البيئة التي يقف عليها النيفو تتغير الكثافة وينكسر شعاع الرؤية.

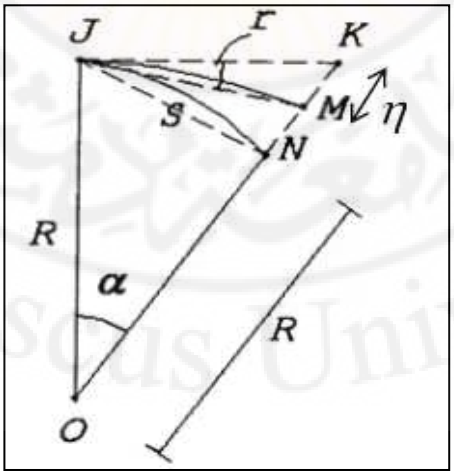
سنرمز ب **η** لتأثير انكسار شعاع الرؤية في نتائج أعمال التسوية المباشرة.

سنرمز ب **r** لزاوية انكسار شعاع الرؤية، وهي زاوية محيطية (تذكر أن: الزاوية المحيطية تساوي نصف الزاوية المركزية المشتركة معها بنفس القوس الدائري) كما بالشكل (4–34).

المسافة بين الميرا والنيفو 100 m، وهي صغيرة بالنسبة إلى نصف قطر الأرض، فتهمل، ونعد المماس والقوس و S متساوية من حيث الأطوال، ومنه:

$$r = k\frac{\alpha}{2}$$

حيث إن k هي قرينة انكسار الوسط الذي يمر فيه شعاع الرؤية و α الزاوية المركزية.



الشكل 4– 34 تأثير انكسار شعاع الرؤية

من المثلث kJN نجد أن: $\eta = rS$

من المثلث OJM : $JN = JK = J\widehat{M} = S$

$$S = R\alpha \Rightarrow \alpha = \frac{S}{R}$$

لاحظ أن الزاوية يجب ان تكون بالراديان، ومنه نعوض:

$$\eta_i = SK\frac{\alpha}{2} = \frac{1}{2R}(S_1^2K_1 - S_2^2K_2)$$

ونجد أن:

$$\eta_1 = \frac{1}{2R}(S_1^2K_1), \eta_2 = \frac{1}{2R}(S_2^2K_2)$$

$$\Rightarrow \Delta\eta = \eta_1 - \eta_2 = \frac{1}{2R}(S_1^2K_1 - S_2^2K_2)$$

4–14– 3 تأثير عدم أفقية شعاع الرؤية في نتائج أعمال التسوية المباشرة :

نتيجة عدم ضبط فقاعية شعاع الرؤية بشكل دقيق جداً عند لحظة أخذ القراءة فإنه ينتج لدينا خطأ في القراءة، فنقرأ عند K بدلاً من القراءة عند M بالشكل (4–35)، ويعطى الخطأ بالعلاقة:

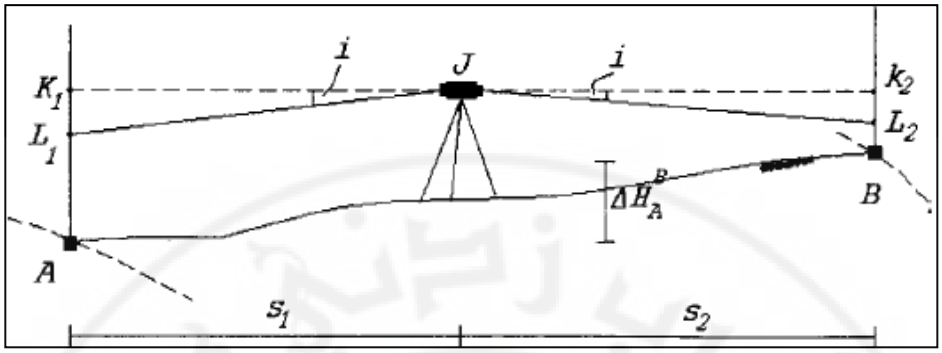
$$\varepsilon = S_i \tan i \Rightarrow \Delta\varepsilon = \varepsilon 1 - \varepsilon 2 = \frac{i}{\rho}(S_1 - S_2)$$

حيث إن:

i هو زاوية صغيرة فنلبس الزاوية ب tan

و ρ معامل التحويل إلى الراديان.

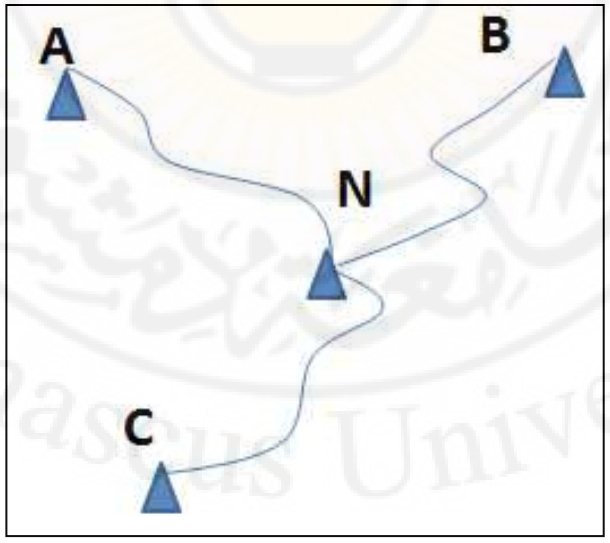
لاحظ أنه في حال تمركز النيفو في منتصف المسافة بين القرائتين الخلفية والأمامية فإن تأثير عدم أفقية شعاع الأرض يكون مهملاً.



الشكل 4– 35 تأثير عدم أفقية شعاع الرؤية

4–15 تعديل شبكات التسوية وحيدة العقدة والتوزيع الموزون للخطأ

عندما يلتقي اكثر من مسارين من مسارات شبكات التسوية بنقطة، تُدعى هذه النقطة بالعقدة، حيث تستند هذه المسارات على نقاط لشبكات تسوية من درجة أعلى. ليكن لدينا مسارات التسويةAN،BN ، CN حيث النقاط A، B، C معلومة المناسيب، ويبدأ مسار التسوية من النقطة المعلومة المنسوب دوماً، ونريد حساب منسوب النقطة N المعدل، أي توزيع الأخطاء في القياسات على كامل المسارات كما يتضح بالشكل (4–36).



الشكل 4– 36 تعديل شبكات التسوية وحيدة العقدة

يمكن حساب منسوب N إما من جهة A أو من جهة B أو من جهة C كما يلي:

من A $$H_N^{'} = H_A + \sum_{i=A}^{N} h_i$$

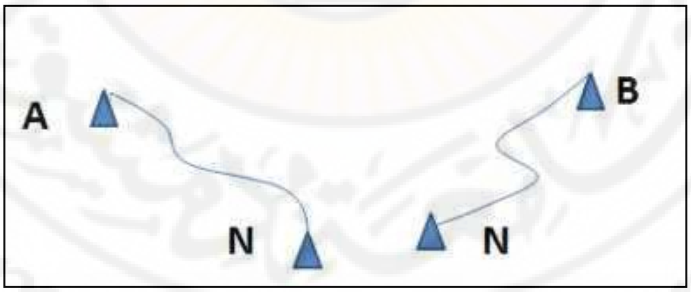
من B $$H_N^{''} = H_B + \sum_{i=B}^{N} h_i$$

من C $$H_N^{'''} = H_C + \sum_{i=C}^{N} h_i$$

نأخذ المتوسطة الموزونة للقياسات السابقة لان كل مسار مختلف عن الآخر لذلك فهي تُعد من القياسات غير متساوية الدقة. الوزن (P) يستعمل لإظهار أهمية القياس، ويؤخذ عادة إما مقلوب المسافة أو مقلوب عدد المحطات (عدد وقفات الجهاز)، ومن ثمَّ تصبح العلاقة:

$$H_N = \frac{H_N^{'} P_1 + H_N^{''} P_2 + H_N^{'''} P_3}{P_1 + P_2 + P_3}$$

بعد حساب منسوب N المعدل تصبح المسألة كأنها مجموعة من 3 مسارات مستقلة، وكل مسار منها معلوم فيه منسوب بدايته ونهايته، ويوزّع الخطأ عليها كما ذكرنا سابقاً (الشكل 4–37).



الشكل 4– 37 تجزئة العقدة لمسارات منفصلة

4–16 التسوية غير المباشرة (المثلثية)

يقصد بالتسوية غير المباشرة الوصول لقيمة المسافة الشاقولية (فرق الارتفاع) بين نقطتين عن طريق قياس مجموعة من العناصر ترتبط فيما بينها بعلاقات رياضية (علاقات مثلثية على

الأغلب لذلك تدعى التسوية المثلثية)، ونستعمل أجهزة المحطة المتكاملة أو الثيودوليت أو التاكيومتر في هذا النوع من التسوية.

4–16–1 التسوية غير المباشرة باستعمال جهاز الثيودوليت والميرا

نتمركز بجهاز الثيودوليت فوق النقطة A ونسدد على شارة أو جالون موضوع بشكل شاقولي فوق نقطة B ونقيس الزاوية الشاقولية Z، كذلك نقيس أرتفاع الجهاز J

J: ارتفاع جهاز الثيودوليت.

M: القراءة على الميرا للخط المتوسط بين الخطين الستاديومتريين.

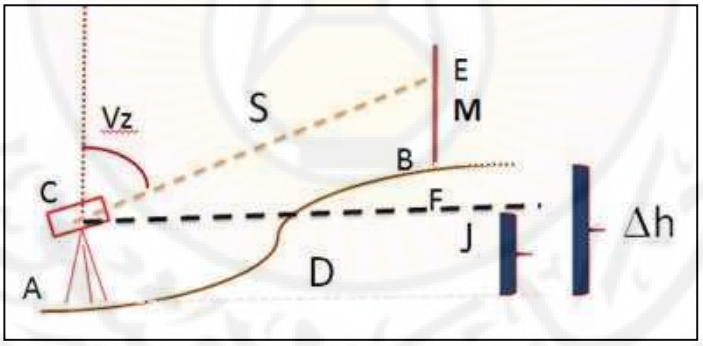
K=100 ثابت الجهاز.

Vz: الزاوية الشاقولية.

L: فرق القرائتين العلوية والسفلية عالميرا الماخوذتين من الخطين الستاديومتريين.

من الشكل لدينا: $\vec{AB} = \vec{AC} + \vec{CE} + \vec{EB}$

بإسقاط هذه الألشعة على الشاقول: $\Delta h_A^B = J + FB$



الشكل 4–38 التسوية الغير مباشرة باستعمال جهاز التيودوليت والشاخص

الحالة (1): المسافة الأفقية(D) معلومة

من المثلث القائم CEF لدينا : FB=EF–EB=D Cot Vz–M نعوض بالعلاقة السابقة:

$$\Delta h_A^B = D \times \cot Vz + J - M$$

لكن

$$D = K \times L \times \cos Vz^2$$

$$\Delta h_A^B = K \times L \times \cos Vz \times \sin Vz + J - M$$

الحالة (2): المسافة المائلة (S) معلومة

من المثلث القائم CEF لدينا: FB=EF–EB=(Sx cos Vz)–M نعوض بالعلاقة السابقة:

$$\Delta h_A^B = S \times \cos Vz + J - M$$

لكن

$$D = K \times L \times \cos Vz^2$$

$$S = \frac{D}{\sin Vz} = \frac{K \times L \times SinVz^2}{\sin Vz}$$

$$S = K \times L \times \sin Vz$$

$$\Delta h_A^B = (\mathrm{K} \times \mathrm{L} \times \sin(\mathrm{Vz}) \times \cos(\mathrm{Vz})) + \mathrm{J} - \mathrm{M}$$

4–16–2– التسوية الغير مباشرة باستعمال جهاز المحطة المتكاملة

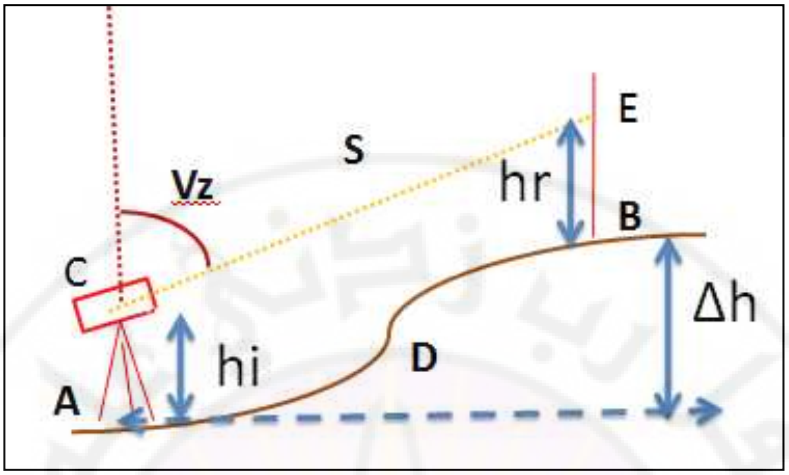
نتمركز بجهاز المحطة المتكاملة فوق النقطة A بحيث يكون ارتفاع الجهاز hi ونسدد على العاكس الموضوع بشكل شاقولي فوق نقطة B، والذي ارتفاعه hr، ونقيس الزاوية الشاقولية Vz، والمسافة المائلة S، كما هو موضح بالشكل (4–39).

S: المسافة المائلة.

Vz: الزاوية الشاقولية.

hi: ارتفاع الجهاز.

hr: ارتفاع العاكس الموشوري.



الشكل 4–39 التسوية غير المباشرة باستعمال جهاز المحطة المتكاملة

من الشكل لدينا: $A\vec{B} = A\vec{C} + C\vec{E} + E\vec{B}$

بإسقاط هذه الأشعة على الشاقول:

$$\Delta h_A^B = h_i + FB$$

$$FB = S \times \cos(v) - hr$$

$$\Delta h = S \times \cos(v) + (hi - hr)$$

4–17 مسائل عامة بالتسوية

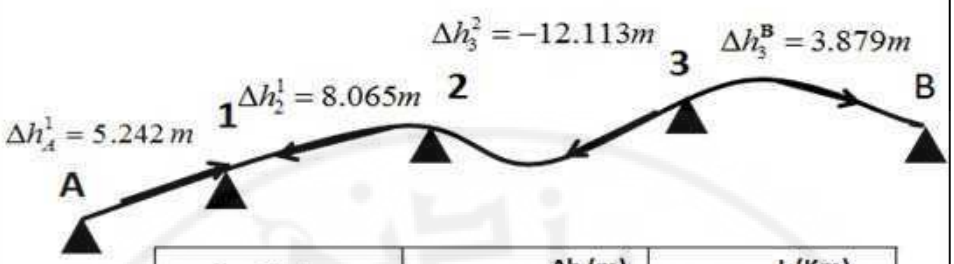
مسألة 1

لدينا مسلك التسوية المفتوح الموضح بالشكل حيث منسوب النقطة A هو H_A=100.000 m، ومنسوب النقطة B هو H_B=113.100 m وفروق الارتفاعات والمسافات قيست ووُضعت بالشكل أو بالجدول الملحق، والمطلوب:

1– احسب المناسيب التقريبية (قبل التصحيح) للنقاط 2،1 ، 3

2– احسب خطأ الإغلاق، وقارنه بحد التساهل، وقم بتوزيع الخطأ حسب المسافات.

3– احسب المناسيب المصححة للنقاط 2،1 ، 3



مسار التسوية	Δh (m) فرق الارتفاع بين النقط	L (Km) المسافة بين النقط
A→1	5.242	1.5
1→2	-8.065	2.8
2→3	12.113	3.7
3→B	3.879	5.0

الحل:

1– نحسب المناسيب (الارتفاعات) التقريبية:

$$H1 = HA + \Delta H_A^1 = 100 + 5.242 = 105.242m$$
$$H2 = H1 + \Delta H_1^2 = 105.242 - 8.065 = 97.177m$$
$$H3 = H2 + \Delta H_2^3 = 97.177 + 12.113 = 109.290m$$
$$HB = H3 + \Delta H_3^B = 109.29 + 3.876 = 113.169m$$

2– نحسب خطأ الإغلاق Fh ونقارنه مع حد التساهل Fmax:

$$Fh = (HB - HA) - (\Delta H_A^1 + \Delta H_1^2 + \Delta H_2^3 + \Delta H_3^B) = -0.069m = -69mm$$
$$Or: Fh = HB - HB' = 113.100 - 113.169 = -0.069m = -69mm$$
$$Fmax = \pm 20\sqrt{L} = \pm 20\sqrt{1.5 + 2.8 + 3.7 + 5} = \pm 72.1mm$$
$$\Rightarrow Fh < F\max$$

3– نحسب قيمة التصحيحات Vh

$$Vh1 = \frac{Fh}{\sum Li} \times l1 = \frac{-0.069}{13} \times 1.5 = -0.008m = -8mm$$
$$Vh2 = \frac{Fh}{\sum Li} \times l2 = \frac{-0.069}{13} \times 2.8 = -0.015m = -15mm$$
$$Vh3 = \frac{Fh}{\sum Li} \times l3 = \frac{-0.069}{13} \times 3.7 = -0.020m = -20mm$$
$$Vh4 = \frac{Fh}{\sum Li} \times l4 = \frac{-0.069}{13} \times 5 = -0.026m = -26mm$$

4- نحسب قيمة فروق الارتفاعات المصححة:

$$\Delta h_A^1{}' = \Delta h_A^1 + Vh1 = 5.242 - 0.008 = 5.234m$$
$$\Delta h_1^2{}' = \Delta h_1^2 + Vh2 = -8.065 - 0.015 = -8.080m$$
$$\Delta h_2^3{}' = \Delta h_2^3 + Vh3 = 12.113 - 0.020 = 12.093m$$
$$\Delta h_3^B{}' = \Delta h_3^B + Vh4 = 3.879 - 0.026 = 3.853m$$

5- نحسب قيمة المناسيب المصححة النهائية:

$$H1' = HA + \Delta h_A^1{}' = 100 + 5.234 = 105.234m$$
$$H2' = H1 + \Delta h_1^2{}' = 105.234 - 8.080 = 97.154m$$
$$H3' = H2 + \Delta h_2^3{}' = 97.154 + 12.093 = 109.247m$$
$$HB' = H3 + \Delta h_3^B{}' = 109.247 + 3.853 = 113.100m$$

<u>طريقة ثانية للحل (توزيع الخطأ بشكل تراكمي):</u>

3- نحسب قيمة التصحيحات Vh

$$Vh1 = \frac{Fh}{\sum Li} \times l1 = \frac{-0.069}{13} \times 1.5 = -0.008m = -8mm$$
$$Vh2 = \frac{Fh}{\sum Li} \times (l1 + l2) = \frac{-0.069}{13} \times (1.5 + 2.8) = -0.023m = -23mm$$
$$Vh3 = \frac{Fh}{\sum Li} \times (l1 + l2 + l3) = \frac{-0.069}{13} \times (1.5 + 2.8 + 3.7) = -0.0424m = -42mm$$
$$Vh4 = \frac{Fh}{\sum Li} \times (l1 + 12 + l3 + l4) = \frac{-0.069}{13} \times (1.5 + 2.8 + 3.7 + 5) = -0.069m = -69mm$$

4- نحسب قيمة المناسيب المصححة النهائية:

$$H1' = H1 + Vh1 = 105.242 - 0.008 = 105.234$$
$$H2' = H2 + Vh2 = 97.177 - 0.023 = 97.154$$
$$H3' = H3 + Vh3 = 109.290 - 0.042 = 109.248$$
$$HB' = HB + Vh4 = 113.169 - 0.069 = 113.100$$

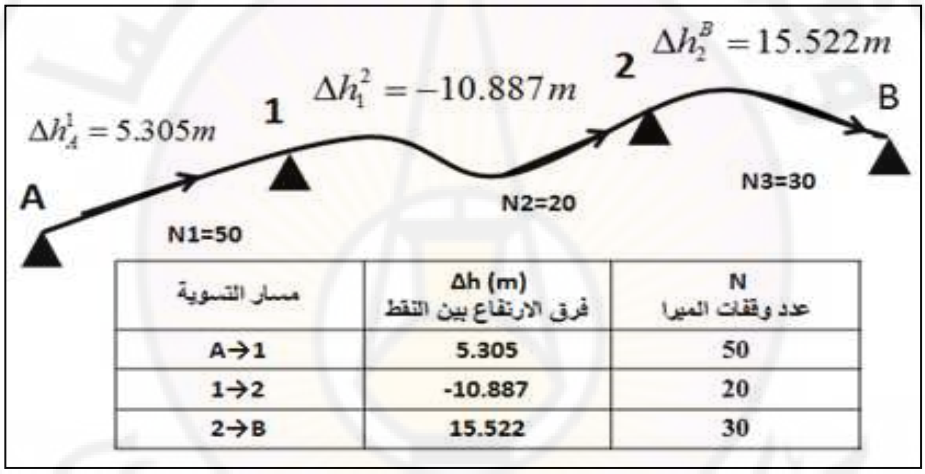
مسألة 2

لدينا مسلك التسوية المفتوح الموضح بالشكل حيث منسوب النقطة A هو H_A=10.000 m ومنسوب النقطة B هو H_B=10.000 m وفروق الارتفاعات والمسافات قيست ووُضعت بالشكل أو بالجدول الملحق، والمطلوب:

1- احسب المناسيب التقريبية (قبل التصحيح) للنقاط 1،2

2- احسب خطأ الإغلاق، وقارنه بحد التساهل، وقم بتوزيع الخطأ حسب المسافات.

3- احسب المناسيب المصححة للنقاط1، 2



مسار التسوية	Δh (m) فرق الارتفاع بين النقط	N عدد وقفات الميرا
A→1	5.305	50
1→2	-10.887	20
2→B	15.522	30

الحل

1- نحسب المناسيب (الارتفاعات) التقريبية:

$$H1 = HA + \Delta H_A^1 = 00.000 + 5.305 = 05.305m$$
$$H2 = H1 + \Delta H_1^2 = 05.305 - 10.887 = -5.582m$$
$$HB = H2 + \Delta H_2^B = -5.582 + 15.522 = 09.940m$$

2- نحسب خطأ الإغلاق Fh ونقارنه مع حد التساهل Fmax:

$$Fh = (HB - HA) - (\Delta H_A^1 + \Delta H_1^2 + \Delta H_2^B) = 0.06m = 60mm$$
$$Or: Fh = HB - HB' = 10.000 - 9.940 = 0.06m = 0.60mm$$
$$Fmax = \pm 5\sqrt{2N} = \pm 5\sqrt{2(50+20+30)} = \pm 5\sqrt{200} = \pm 70.7mm$$
$$\Rightarrow Fh < F\max$$

3- نحسب قيمة التصحيحات Vh

$$Vh1 = \frac{Fh}{\sum Ni} \times N1 = \frac{0.06}{100} \times 50 = 0.030m = 30mm$$

$$Vh2 = \frac{Fh}{\sum Ni} \times N2 = \frac{0.06}{100} \times 20 = 0.012m = 12mm$$

$$Vh3 = \frac{Fh}{\sum Ni} \times N3 = \frac{0.06}{100} \times 30 = 0.018m = 18mm$$

4- نحسب قيمة فروق الارتفاعات المصححة:

$$\Delta h_A^1 ' = \Delta h_A^1 + Vh1 = 5.305 + 0.030 = 5.335m$$

$$\Delta h_1^2 ' = \Delta h_1^2 + Vh2 = -10.887 + 0.012 = -10.875m$$

$$\Delta h_2^B ' = \Delta h_2^B + Vh3 = 15.522 + 0.018 = 15.540m$$

5- نحسب قيمة المناسيب المصححة النهائية:

$$H1' = HA + \Delta h_A^1 ' = 00.000 + 5.335 = 05.335m$$

$$H2' = H1 + \Delta h_1^2 ' = 05.335 - 10.875 = -5.540m$$

$$HB' = H2 + \Delta h_2^B ' = -5.540 + 15.504 = 10.000m$$

<u>طريقة ثانية لتوزيع الخطأ بشكل تراكمي:</u>

3- نحسب قيمة التصحيحات Vh

$$Vh1 = \frac{Fh}{\sum Ni} \times N1 = \frac{0.06}{100} \times 50 = 0.030m = 30mm$$

$$Vh2 = \frac{Fh}{\sum Ni} \times (N1 + N2) = \frac{0.06}{100} \times (50 + 20) = 0.042m = 42mm$$

$$Vh3 = \frac{Fh}{\sum Ni} \times (N1 + N2 + N3) = \frac{0.06}{100} \times (30 + 50 + 20) = 0.060m = 60mm$$

4-نحسب قيمة المناسيب المصححة النهائية:

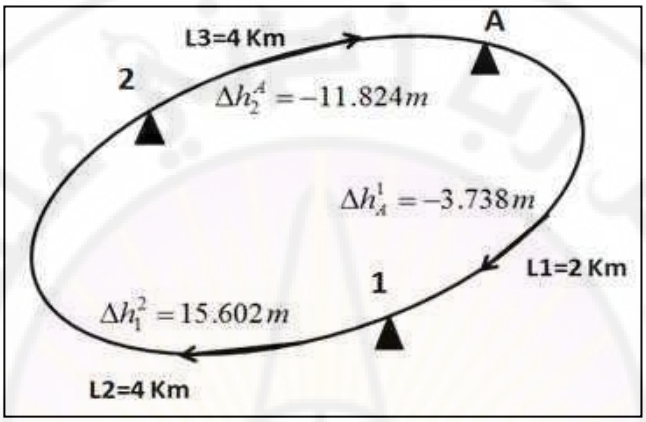
$$H1' = H1 + Vh1 = 05.305 + 0.030 = 05.335m$$

$$H2' = H2 + Vh2 = -5.582 + 0.042 = -5.540m$$

$$HB' = HB + Vh3 = 9.940 + 0.060 = 10.000m$$

مسألة 3

لدينا مسلك التسوية المغلق حيث منسوب النقطةA هو H_A=100.00 m وفروق الارتفاعات والمسافات قيست (بالمتر) كما هو موضح بالشكل.



احسب المناسيب التقريبية و المناسيب المصححة للنقاط1 ،2 مستخدماً طريقة توزيع الخطأ حسب المسافات.

نص السؤال بصيغة أخرى

لدينا مسلك تسوية مغلق يحتوي النقاط A،1، 2 حيث منسوب النقطة A هو H_A=100.000 m وفروق الارتفاعات والمسافات قيست (بالمتر) على الشكل التالي:

$$\Delta h_1^A = 12.640m, \Delta h_1^2 = 2.208m, \Delta h_2^A = 10.462m$$

$$L_A^1 = 3km, L_1^2 = 5km, L_2^A = 2km$$

احسب المناسيب التقريبية و المناسيب المصححة للنقاط1 ، 2 مستخدما طريقة توزيع الخطأ حسب المسافات.

الحل:

1- نحسب المناسيب (الارتفاعات) التقريبية:

$$H1 = HA + \Delta H_A^1 = 10.000 - 3.738 = 6.262m$$

$$H2 = H1 + \Delta H_1^2 = 6.262 + 15.602 = 21.864m$$

$$HB = H2 + \Delta H_2^B = 21.964 - 11.824 = 10.040m$$

2- نحسب خطأ الأغلاق Fh ونقارنه مع حد التساهل Fmax:

$$Fh = (HA - HA) - (\Delta h_A^1 + \Delta h_1^2 + \Delta h_2^A) = -0.04m = 40mm$$

$$Or: Fh = HA - HA' = 10.000 - 10.040 = -0.04m = 40mm$$

$$Fmax = \pm 20\sqrt{L_{(km)}} = \pm 20\sqrt{(2+4+4)} = \pm 63.2mm$$

$$\Rightarrow Fh < F\max$$

3- نحسب قيمة التصحيحات Vh

$$Vh1 = \frac{Fh}{\sum Li} \times L1 = \frac{-0.04}{10} \times 2 = -0.008m = -8mm$$

$$Vh2 = \frac{Fh}{\sum Li} \times L2 = \frac{-0.04}{10} \times 4 = -0.016m = -16mm$$

$$Vh3 = \frac{Fh}{\sum Li} \times L3 = \frac{-0.04}{10} \times 4 = -0.016m = -16mm$$

4- نحسب قيمة فروق الارتفاعات المصححة:

$$\Delta h_A^1{}' = \Delta h_A^1 + Vh1 = -3.738 - 0.008 = -3.746m$$

$$\Delta h_1^2{}' = \Delta h_1^2 + Vh2 = 15.602 - 0.016 = 15.586m$$

$$\Delta h_2^B{}' = \Delta h_2^B + Vh3 = -11.824 - 0.016 = -11.840m$$

5- نحسب قيمة المناسيب المصححة النهائية:

$$H1' = HA + \Delta h_A^1{}' = 10.000 - 3.746 = 6.254m$$

$$H2' = H1 + \Delta h_1^2{}' = 6.254 + 15.586 = 21.840m$$

$$HB' = H2 + \Delta h_2^B{}' = 21.840 - 11.840 = 10.000m$$

<u>طريقة ثانية لتوزيع الخطأ بشكل تراكمي:</u>

3- نحسب قيمة التصحيحات Vh

$$Vh1 = \frac{Fh}{\sum Li} \times L1 = \frac{-0.04}{10} \times 2 = -0.008m = -8mm$$

$$Vh2 = \frac{Fh}{\sum Li} \times (L1 + L2) = \frac{-0.04}{10} \times (2+4) = -0.024m = -24mm$$

$$Vh3 = \frac{Fh}{\sum Li} \times (L1 + L2 + L3) = \frac{-0.04}{10} \times (2+4+4) = -0.040m = -40mm$$

4– نحسب قيمة المناسيب المصححة النهائية:

$$H1' = H1 + Vh1 = 6.262 - 0.008 = 6.254m$$
$$H2' = H2 + Vh2 = 21.864 - 0.024 = 21.840m$$
$$HB' = HB + Vh3 = 10.040 - 0.040 = 10.000m$$

مسألة 4

لدينا مسلك التسوية المغلق حيث منسوب النقطة A هو H_A=100.000 m وفروق الارتفاعات والمسافات قيست (بالمتر) ووضعها بالجدول، والمطلوب:

1– احسب المناسيب التقريبية (قبل التصحيح) للنقاط1، 2

2– احسب خطأ الإغلاق، وقارنه بحد التساهل، وقم بتوزيع الخطأ حسب عدد وقفات الجهاز (N).

3– احسب المناسيب المصححة للنقاط1، 2

	Δh (m) **فرق الارتفاع بين النقاط**	**N** **عدد وقفات الجهاز**
A→1	2.032	20
1→2	17.180–	40
2→A	15.118	40

الحل:

1– نحسب المناسيب (الارتفاعات) التقريبية:

$$H1 = HA + \Delta H_A^1 = 100.000 + 2.032 = 102.032m$$
$$H2 = H1 + \Delta H_1^2 = 102.032 - 17.180 = 84.852m$$
$$HB = H2 + \Delta H_2^B = 84.852 + 15.118 = 99.97m$$

2– نحسب خطأ الإغلاق Fh ونقارنه مع حد التساهل Fmax:

$$Fh = (HA - HA) - (\Delta h_A^1 + \Delta h_1^2 + \Delta h_2^A) = 0.03m = 30mm$$
$$Or: Fh = HA - HA' = 100.000 - 99.97 = 0.03m = 30mm$$
$$Fmax = \pm 5\sqrt{2N} = \pm 5\sqrt{2(20 + 40 + 40)} = \pm 5\sqrt{200} = \pm 70.7mm$$
$$\Rightarrow Fh < F\max$$

3– نحسب قيمة التصحيحات Vh

$$Vh1 = \frac{Fh}{\sum Ni} \times N1 = \frac{0.03}{100} \times 20 = 0.006m = 6mm$$

$$Vh2 = \frac{Fh}{\sum Ni} \times N2 = \frac{0.03}{100} \times 40 = 0.012m = 12mm$$

$$Vh3 = \frac{Fh}{\sum Ni} \times N3 = \frac{0.03}{100} \times 40 = 0.012m = 12mm$$

4– نحسب قيمة فروق الارتفاعات المصححة:

$$\Delta h_A^1{}' = \Delta h_A^1 + Vh1 = 2.032 + 0.006 = 2.038m$$

$$\Delta h_1^2{}' = \Delta h_1^2 + Vh2 = -17.180 + 0.012 = -17.168m$$

$$\Delta h_2^B{}' = \Delta h_2^B + Vh3 = 15.118 + 0.012 = 15.130m$$

5– نحسب قيمة المناسيب المصححة النهائية:

$$H1' = HA + \Delta h_A^1{}' = 100.000 + 2.038 = 102.038m$$

$$H2' = H1 + \Delta h_1^2{}' = 102.038 - 17.168 = 84.870m$$

$$HB' = H2 + \Delta h_2^B{}' = 84.870 + 15.130 = 100.000m$$

طريقة ثانية لتوزيع الخطأ بشكل تراكمي:

3– نحسب قيمة التصحيحات Vh

$$Vh1 = \frac{Fh}{\sum Ni} \times N1 = \frac{0.03}{100} \times 20 = 0.006m = 6mm$$

$$Vh2 = \frac{Fh}{\sum Ni} \times (N1 + N2) = \frac{0.03}{100} \times (20 + 40) = 0.018m = 18mm$$

$$Vh3 = \frac{Fh}{\sum Ni} \times (N1 + N2 + N3) = \frac{0.03}{100} \times (20 + 40 + 40) = 0.030m = 30mm$$

4— نحسب قيمة المناسيب المصححة النهائية:

$$H1' = H1 + Vh1 = 102.032 + 0.006 = 102.038m$$

$$H2' = H2 + Vh2 = 84.852 + 0.018 = 84.870m$$

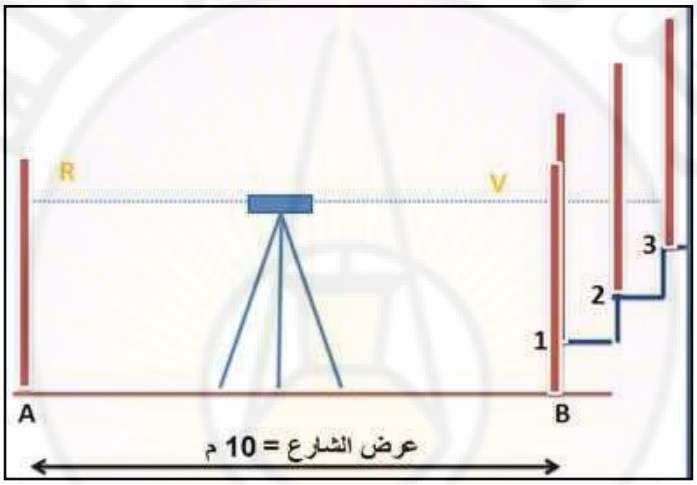
$$HB' = HB + Vh3 = 99.970 + 0.030 = 100.000m$$

مسألة 5

أُجريت تسوية بالطريقة الشعاعية لشارع ولدرجات بناء مجاور للشارع، فإذا علمت أن عرض الشارع 10 متر، وأن النقطة المرجعية تقع على طرف الشارع ومنسوبها HA=100.000 m، وأن قراءات النيفو حسب الجدول. والمطلوب:

1- احسب ميل الشارع.

2- احسب ارتفاع الدرجات 1، 2، 3



خلفي R_A (mm)	النقط	أمامي V (mm)
1543	B	1542
	1	1242
	2	0944
	3	0645

الحل:

ميل الطريق: $M = \frac{\Delta h}{L} = \frac{0.001}{10} = 0.01\%$

النقط	Δh'	H' (m)	ارتفاع الدرجة
B	1.5	100.002	0.300
1	301.5	100.302	0.298
2	599.5	100.6001	0.300
3	898.5	10.900	

مسألة 6

أُجريت تسوية بالطريقة الشعاعية لجسر سكة قطار، حيث أخذت القراءات بجهاز النيفو لبداية ونهاية كل مجاز حامل كما هومبين بالشكل، فإذا علمت ان منسوب النقطة B1 هو (0.000،000)

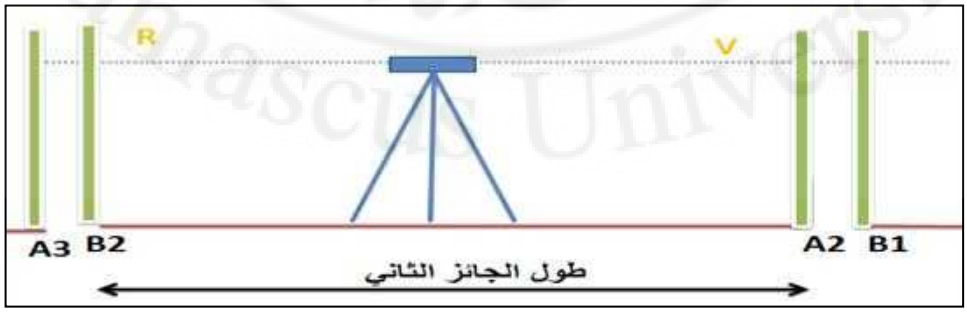
فالمطلوب:

1- احسب فرق الارتفاع بين النقطتين A2،B1 .

2- أوجد فرق الارتفاع بين النقطتين A2، B2 ، واحسب المسافة بينهما.

3- أوجد فرق الارتفاع بين النقطتين A3،B2 .

4- أوجد فرق الارتفاع بين النقطتين A3،B1



النقطة	القراءات على الميرا ((mm	
	خلفية R	امامية V
B1	1181	
	1081	
	980	
A2	1183	
	1083	
	983	
B2		1179
		1079
		979
A3		1185
		1085
		985

الحل:

النقطة	القراءات على الميرا (mm)		Δh (mm)	المسافة L (m)	المنسوب H(m)
	خلفية R	امامية V			
B1	1181		−2	40.000	0.000
	1081				
	980				
A2	1183		+4		−0.002
	1083				
	983				
B2		1179	−6		0.002
		1079			
		979			
A3		1185			−0.004
		1085			
		985			

$$\Delta h_{B1}^{A2} = -0.002m \quad \Delta h_{B2}^{A3} = -0.006m \quad \Delta h_{B1}^{A3} = -0.004m$$

وقل رب زدني علما
Damascus University

الفصل الخامس

المخططات الطبوغرافية وخطوط الكنتور

5–1 أنواع الخرائط

تقسم الخرائط الجغرافية حسب محتواها إلى نوعين أساسيين :

1– الخرائط الجغرافية العامة (General maps).

2– الخرائط الجغرافية الموضوعية أو الخاصة (Thematic or special maps).

1– الخرائط الجغرافية العامة: هي الخرائط التي ترسم سطح الأرض بما عليه من عناصر مختلفة، كالمياه والتضاريس والنباتات والتجمعات البشرية وطرق المواصلات والتقسيمات الإدارية، بالإضافة إلى بعض المظاهر الطبيعية والاقتصادية والثقافية الأخرى.

تصنف الخرائط حسب مقاييسها إلى ثلاثة أنواع رئيسة:

1– الخرائط ذات المقاييس الكبيرة (أكبر من 1/200000)، هي ما يطلق عليها اسم الخرائط الطبوغرافية.

2– – الخرائط ذات المقاييس المتوسطة (اصغر من 1/200000 و أكبر من 1/1000000).

3– – الخرائط ذات المقاييس الصغيرة (اصغر من 000 1/1000).

5–2 الخرائط والمخططات الطبوغرافية

المخططات والخرائط الطبوغرافية هي المنتجات المساحية الرئيسة التي تمثل فيها تفاصيل الطبيعة وتضاريسها على لوحات بمقياس محدد، وضمن جملة الإحداثيات المعتمدة ومن خلال المصطلحات والرموز الطبوغرافية التي تعبر عنها، وبما يتناسب مع المقياس التي أنجزت له، وبما يحقق الغرض من وضعها ومجالات استثمارها واستعمالاتها.

تستعمل في الجمهورية العربية السورية تعابير مخطط للمقاييس الكبيرة بدءاً من مقياس (1:500) وصولاً إلى المقياس (000 1:10)، والتي تتوافر بينها المقاييس التالية: (1:1000) ، (1:2000)،

(1:5000)، وفي دول أخرى قد تستعمل مقاييس أخرى مثل (2500 :1)، بينما تدخل المقاييس الأكبر من (1:500) ضمن تصنيف المخططات التفصيلية والمعمارية حيث تستعمل المقاييس (1:250)، (1:200)، (1:100)، (1:50)، (1:20) وحتى (1:10).

وتُعد خارطة المقاييس الصغيرة بدءاً من مقياس (1:25000) وحتى مقياس (1:1000000) والتي تتوفر بينها المقاييس التالية: (1:50000)، (1:100000)، (1:200000)، (1:250000)، (1:500000)، (1:750000). وتدخل الخرائط ذات المقاييس الأصغر أو يساوي (1:100000) ضمن تصنيفات الأطلس.

3-5 الرموز والمصطلحات للمخططات الطبوغرافية

تُعد المخططات والخرائط الطبوغرافية المصدر الأساسي والمهم للمعلومات المختلفة اللازمة للدراسة وتصميم أي مشروع من المشاريع، كالمعلومات الطبيعية والاجتماعية والاقتصادية وتوزع الأبنية والخدمات والمنشآت الصناعية ...إلخ. بالاستناد لهذه الخرائط يمكننا الحصول على المعلومات التفصيلية الأولية للمنطقة المعتبرة من حيث الدراسة الجيوديزية للمنطقة، شكل وخصائص خطوط التسوية، الغطاء النباتي،الدراسة الهيدرولوجية ،...إلخ.

تُعد الخرائط الطبوغرافية أساساً لعمل الخرائط التفصيلية ذات المقياس الأكبر، وتساعد على التعرف على تضاريس سطح الأرض (مستوي، تل، جبل، وادي)، وتعيين انحدار الأرض بين نقطتين على الخريطة، ودراسة المشروعات الهندسية، بتحديد مناسيب أرض نقاط معينة من المشروع أو برسم القطاعات التضاريسية مما يمكننا من معرفة شكل الأرض على مسار محور أي مشروع هندسي، ومن الأمثلة عن المشاريع الهندسية:

1- دراسة المسار الأنسب لمحاور الطرق والسكك الحديدية بما يحقق أقل كلفة.
2- دراسة المسار الأنسب لمحاور توزع الخزانات وشبكة إمدادات المياه بحيث تكون الخزانات بالأماكن المرتفعة لتقليل الارتفاع التصميمي والمصارف بالأماكن المنخفضة.
3- دراسة المواقع المناسبة للمخططات السكنية بحيث تكون في الأماكن المنبسطة.
4- تحديد مواقع السدود بحيث يكون السد عمودياً على اتجاه الوادي في أضيق مكان فيه.

إن كل ما تم ذكره أعلاه من معلومات يشكل محتوى الخارطة (أو المخطط الطبوغرافي) أو مضمونها. هذا المضمون يجب أن يمثل على الخارطة بشكل رموز ومصطلحات مع بعض الشروحات المختصرة لتلك المصطلحات والرموز، ومن ثمَّ يمكننا أن نقسم المصطلحات والرموز المستعملة في المخططات والخرائط الطبوغرافية إلى قسمين:

1- الرموز والمصطلحات ذات المقياس (الحقيقية).
2- الرموز والمصطلحات التمثيلية (بدون مقياس).

1– الرموز والمصطلحات ذات المقياس (الحقيقية):

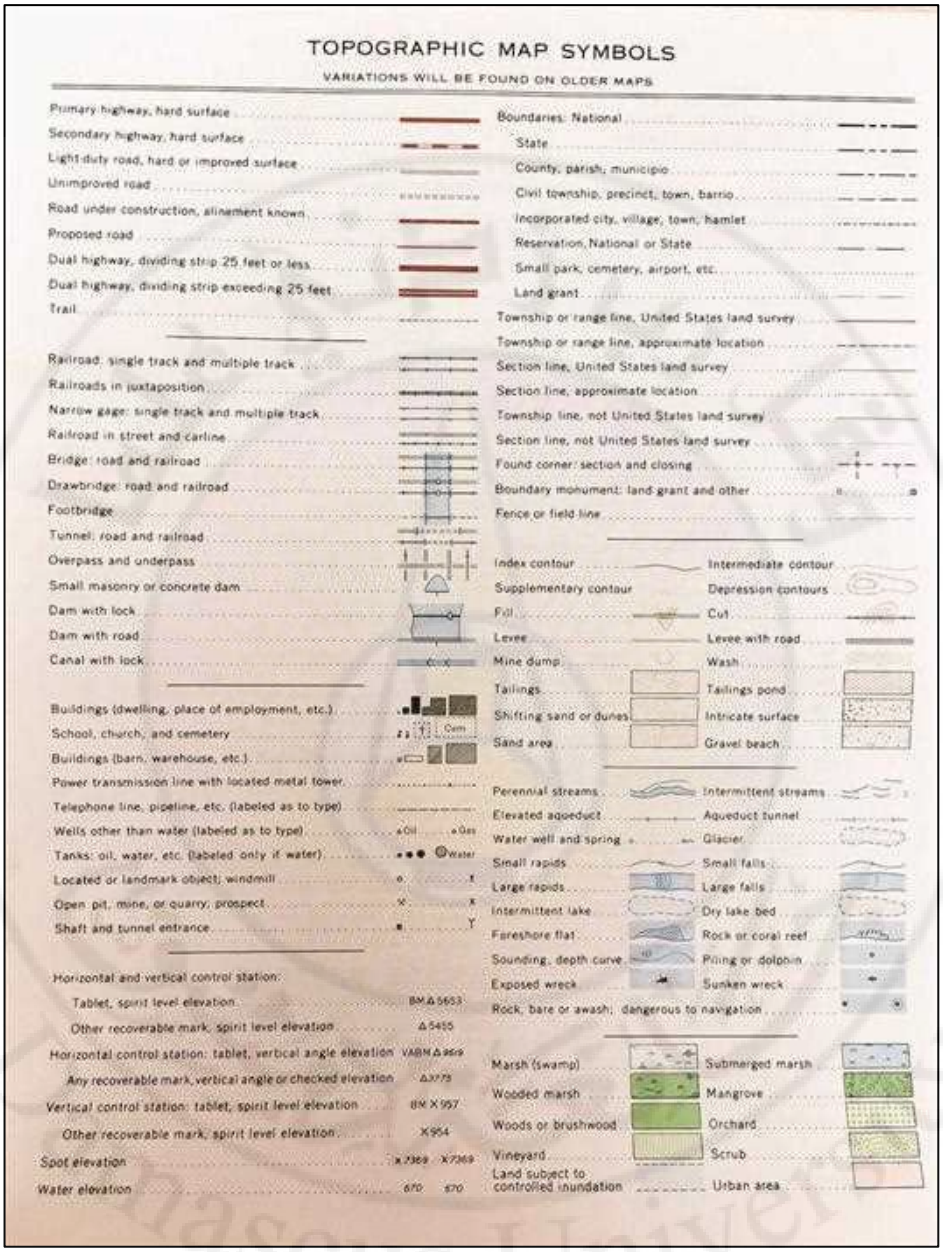
هي الرموز التي يمكن رسمها وتمثيلها على الخارطة أو المخطط بنفس مقياس الخريطة مع المحافظة على التناسب بين شكلها الحقيقي وشكلها المرتسم على الخريطة أو المخطط الطبوغرافي، كالغابات والبحيرات والاراضي الزراعية ....إلخ.

2– الرموز والمصطلحات التمثيلية (من غير مقياس):

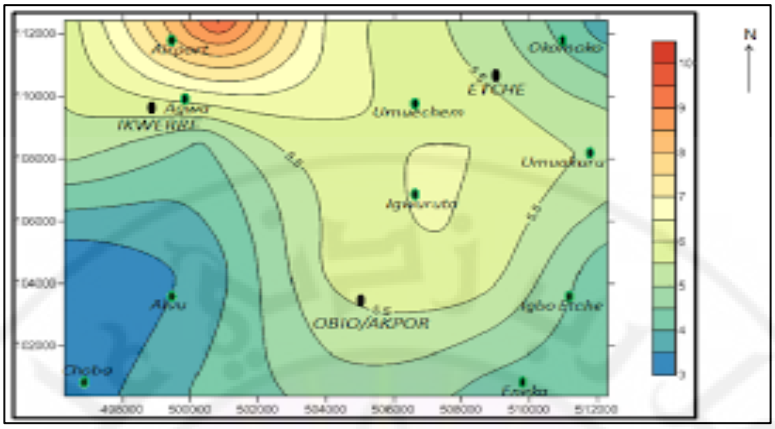
هي الرموز والمصطلحات الممثلة أو المعبرة عن المعالم الطبيعية والاصطناعية التي يمكن تمثيلها على الخرائط والمخططات الطبوغرافية وفق مقياس ذلك المخطط لصغر حجمها وأبعادها، كالجسور والنقاط الجيوديزية، كما يظهر بالشكل (5–1).

5–4 تمثيل التضاريس وخطوط الكنتور

غالبا ما تحتوي الخريطة على تفاصيل تضاريس المنطقة أي على شكل المنطقة من ناحية الارتفاعات ومن ثمَّ يتم تظهر فروق الارتفاعات على المخططات والخرائط المستوية، حيث يمثل البعد الثالث وهو الارتفاع بطرائق عدة منها التضليل أو التهشير أو الألوان أو خطوط التسوية (**contour map**). (**Isohypses**) أو بواسطة طرائق مشتركة، مثل الألوان وخطوط التسوية مثلاً (الشكل 5–2). تمثل تضاريس الطبيعة من خلال منحنيات التسوية التي تظهر تجعدات القشرة الأرضية، والتي هي عبارة عن مساقط الفصول المشتركة بين مستويات أفقية وهمية بتباعدات رأسية ثابتة مع الطبيعة على سطح الإسقاط المعتمد، وتعرف خطوط التسوية بأنها الخطوط التي تمر من نقاط ذات ارتفاع واحد عن سطح السوية. يتوصل لمنحنيات التسوية باستعمال طريقة النسبة والتناسب التي تعتمد على نقاط مميزة بمواقعها ومناسيبها على الطبيعة يكون الميل متناسباً بينها دون أي تبدل. ونستنتج مواقع النقاط التي تمر منها منحنيات التسوية بطريقة النسبة والتناسب.

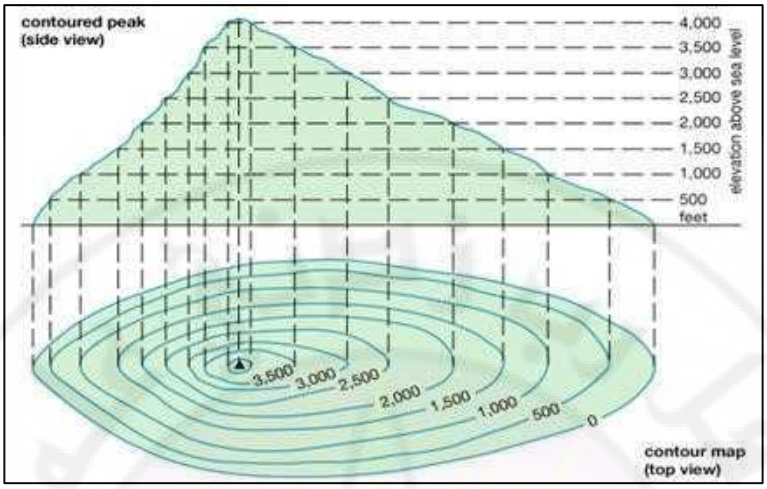


الشكل 5– 1 بعض الرموز المساحية الطبوغرافية



الشكل 5– 2 خطوط التسوية مع الألوان لتمثيل التضاريس

ان الخط الكنتوري Contour line هو خط يرسم على مستوي يصل بين جميع النقاط على ذلك المستوي التي تحمل قيمة ارتفاع واحدة (متساوية) عن سطح البحر (الجيوئيد). تعتمد طريقة خطوط الكنتور على قطع الأرض بمستويات أفقية وهمية ذات مناسيب مختلفة ثم رسم خطوط تقاطع هذه المستويات مع سطح الأرض. الخطوط الناتجة عن هذا التقاطع تسمى خطوط الكنتور (Contour Line) لها نفس مناسيب المستويات القاطعة (Index Contour)، كما يظهر بالشكل (5–3) الذي يوضح خطوط التسوية (الكنتور) لمنطقة جبلية. يعتمد إنشاء خطوط التسوية بين نقاط من المستوي حددت مواقعها بطرائق مختلفة، كما حددت مناسيبها بأعمال التسوية سواء بطرائق التضليع أو بطريقة الإشعاع. كل النقاط على نفس الخط لها نفس الارتفاع والقيمة. ترمز خطوط الكونتور التي تتساوى بينها المسافات إلى ميول منتظمة كما يظهر بالشكل (5–4)، أما الخطوط التي تغلق على نفسها، فإما أن تكون قمة أو منخفض.

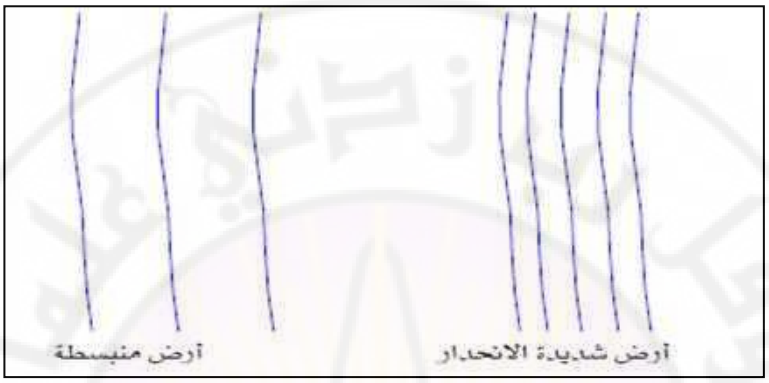


الشكل 5– 3 تشكيل خطوط التسوية

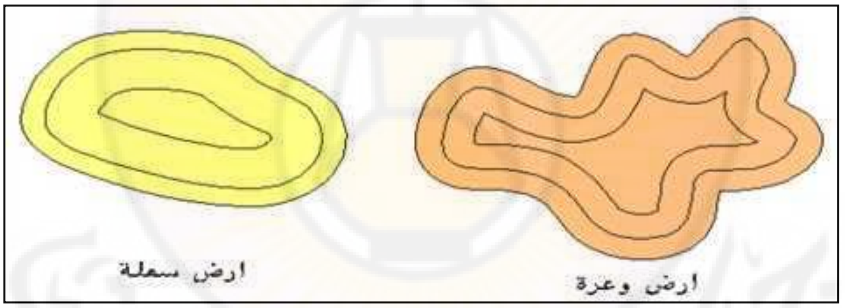
الشكل 5– 4 تعبير خطوط التسوية عن ميل الأرض

عـادة لا تتقـاطع خطـوط الكونتـور إلا بحالـة الجسـور والجسـور المعلقـة والكهـوف والأنفـاق والعبارات، ويجب أن تقفل خطوط الكنتور على نفسها أو على حافة اللوحة. لرسم خطوط التسوية لابـد مـن اختيـار قيمـة التباعـد المتسـاوي بـين خطـوط التسـوية والتـي تسـمى (الفتـرة الكونتوريـة) أو(الفاصل) (Contour Interval) والذي يمثل المسافة الشاقولية الثابتة التي تفصل بين خطوط التسوية والتي يتعلق اختيارها بمقياس الخريطة أو حسب طبيعة الأرض أو حسب الدقة المطلوبة للمشروع. خطـوط الكنتـور التـي تتباعـد عـن بعضـها بعضـاً تـدل علـى منطقـة شـبه مسـتوية بينمـا

خطوط الكنتور التي تتقارب من بعضها ترمز لميول شديدة، كما يظهر بالشكل (5–5)، وكلما كانت خطوط الكنتور شديدة التعاريج دل ذلك على وعورة الأرض (الشكل 5–6).

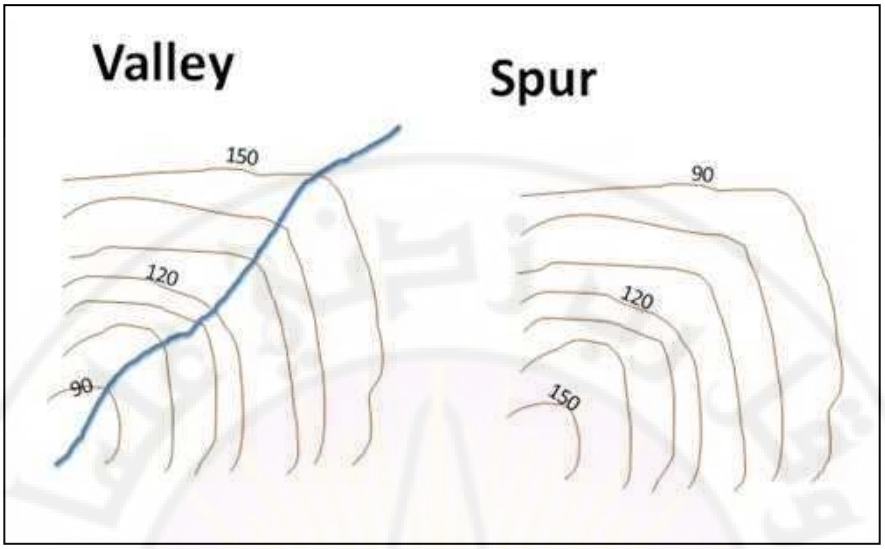


الشكل 5– 5 تعبيرخطوط التسوية عن مدى انبساط أو انحدار الأرض

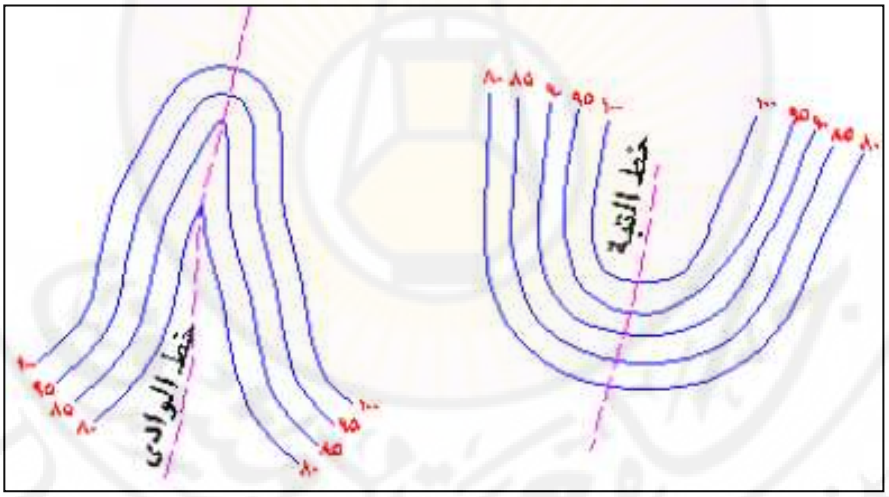


الشكل 5– 6 تعبيرخطوط التسوية عن مدى وعورة الأرض

في حالة التضاريس المحدبة، تظهر خطوط الكنتور متباعدة عن بعضها بعضاً في أعلى التحدب وتتقارب كلما اتجهنا إلى أسفل التحدب. أما في حالة التضاريس المقعرة، تظهر خطوط الكنتور متقاربة مع بعضها بعضاً في أعلى التقعر وتتباعد كلما اتجهنا إلى أسفل التقعر(الشكل 5–7). في حال الأودية تكون خطوط الكنتور على شكل حرف (V) ويكون التقعر للأسفل وفي حال القمم تكون على شكل حرف (U) ويكون التقعر للأعلى كا يظهر بالشكل (5–8). خط الكنتور لا يتفرع ابدا وبين الحين والأخر قد تجد خطي كنتور بنفس القيمة جنبا إلى جنب. أشد منطقة ميولاً بين أي خطي كنتور هي المنطقة التي بها أقصر مسافة بينهما، وتموج خطوط الكنتور يدل على سلسلة من الارتفاعات والانخفاضات.



الشكل 5– 7 الفرق بين الأودية والمرتفعات



الشكل 5– 8 تعبيرخطوط التسوية عن التحدب والتقعر

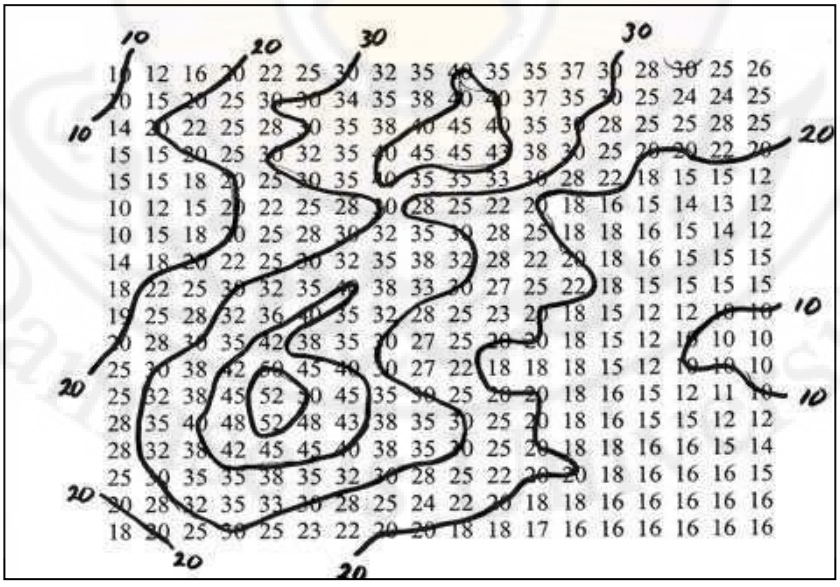
5–5 رسم خطوط التسوية (الكنتور)

ترسم خطوط الكنتور بطريقتين:

1– **الطريقة التقليدية:** باستعمال نقاط المناسيب (Spot hights) الناتجة عن عمليات المساحة الأرضية. حيث تُعيّن نقاط الارتفاعات على سطح الأرض باستعمال أجهزة مساحية دقيقة، مثل النيفو أو التوتال ستيشن، ومن ثم تحديد أعلى منسوب وأدنى منسوب كما في الشكل (5–9)،

ومن ثم تُحدد قيمة التباعد المتساوي بين خطوط التسوية (الفتره) الكنتوريه مثلاً كل m 100، وتوصل النقاط المتساوية الارتفاع بفاصل m 100. في بعض الأحيان قد لا نجد نقاطاً كافية لتمثيل خط كنتور معين، لذلك نلجأ إلى **طريقة الحشو الإدراج**، وهي عملية تقدير لنقاط متوسطة تقع بين نقطتين معلومتين. بعد الأنتهاء من توصيل جميع الخطوط، وحشوها نحصل على خريطة كنتوريه.

2– **الطريقة الآلية:** بسبب تقدّم العلم الحديث أصبحنا قادرين على رسم خريطة كنتورية بواسطة المرئيات (الصور) الجوية والفضائية Satellite image ومختلف أجهزة الاستشعار عن بعد المحمولة على متن الطائرات والأقمار الصناعية، ومن ثمَّ الحصول على معلومات متنوعة من سطح الأرض بما فيها الارتفاعات. يحسب ارتفاع النقاط ويحدد من الصور الجوية والفضائية عن طريق برامج خاصة مثل برامج تحليل الصور الفضائية مثلERDAS، ENVI ، وبرامج نظم المعلومات الجغرافية GIS. توجد صور فضائية خاصة لتحديد ارتفاع النقاط على سطح الأرض وتسمى نموذج الارتفاع الرقمي DEM (الشكل 5–10)، وهي على شكل بيانات خلوية أو شبكية Raster تحوي على ارتفاعات جميع نقاط سطح الأرض في المنطقة الجغرافية المصورة، ويمكن تمثيل ارتفاعات هذه النقط بأشكال أخرى كخطوط الكنتور والهيبسومتريا.



الشكل 5– 9 رسم خطوط الكنتور يدوياً

الشكل 5– 10 الشكل المجسم ثلاثي الابعاد

5–6 العوامل التي يتوقف عليها اختيار قيمة التباعد الشاقولي المتساوي بين خطوط التسوية (القفزة الكنتورية)

1– **طبيعة الأرض:** تكون القفزة الكنتورية كبيرة كلما كانت الأرض ذات طبوغرافية شديدة، وتصغر القفزة الكنتورية كلما قلت طبوغرافية الأرض.

2– **مقياس رسم الخريطة:** تكبر القفزة الكنتورية كلما كان مقياس رسم الخريطة صغيراً، وتصغر القفزة الكنتورية كلما كان مقياس رسم الخريطة كبيراً كما يظهر بالجدول (5–1).

3– **الدقة المطلوبة:** تكبر القفزة الكنتورية كلما قلت الدقة المطلوبة وتصغر القفزة الكنتورية كلما كانت الدقة المطلوبة عالية.

4– **الوقت والتكاليف:** كلما صغرت القفزة الكنتوريه كلما زادت التكاليف والوقت المخصص للمشروع وكلما كبرت القفزة الكنتورية قل الوقت والتكاليف.

جدول 5– 1 تأثيرالمقياس وطبيعة الأرض على الفاصل الكنتوري

مقياس رسم الخريطة	طبيعة الأرض	الفاصل الكنتوري (m)
كبير (أقل من 1/10000)	منبسطة	0.2–0.5
	متوسطة	0.5 – 1
	مرتفعة	1 – 2
متوسط (من 1/10000 إلى 1/100000)	منبسطة	0.5 – 1.5
	متوسطة	1.5 – 2
	مرتفعة	2 – 3
صغير (أكبر من 1/100000)	منبسطة	1 – 3
	متوسطة	3 – 5
	مرتفعة	5 – 10
	سلاسل جبلية	10 – 25 – 50

5–7 مقياس انتاج خرائط الرفع والتصوير الطبوغرافية ومخططاتها:

إن مقاييس الرسم في انتاج مخططات الرفع والتصوير الطبوغرافية الهندسية الأكثر استعمالا هي:

1– المقياس 1/10000 بتباعد شاقولي متساوي بين خطوط التسوية m (1–2)=e، ويستعمل هذا المقياس في إنتاج خرائط المراحل التصميمة للمشاريع المختلفة، كاختيار الاتجاه التصميمي لمسارات الطرق والسكك الحديدية، ووضع المخططات الإقليمية، وحساب الأحواض الصبابة للسدود والمنشأت المائية... الخ.

2– المقياس 1/5000 بتباعد شاقولي متساوي بين خطوط التسوية m (0.5–1)=e، ويستعمل هذا المقياس في إنتاج الخرائط أو وضع المخططات الرئيسة للمدن والمناطق الصناعية والسكنية، وكذلك وضع المخططات التصميمية لأعمال الري والصرف.

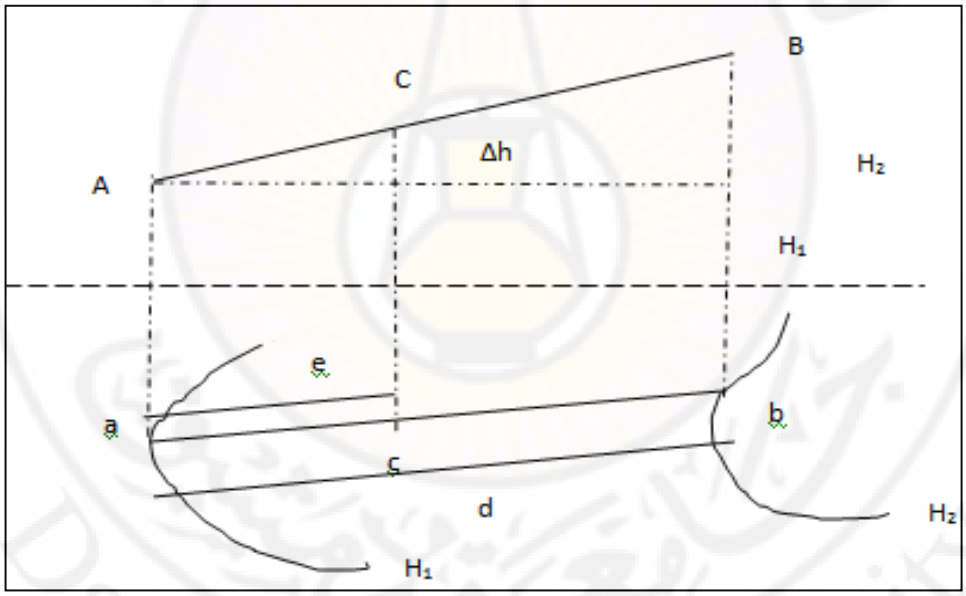
3– المقياس 1/2000 بتباعد شاقولي متساوي بين خطوط التسوية m (0.5–1)=e، ويستعمل هذا المقياس في إنتاج المخططات التصميمية للمشاريع الصناعية والهيدروليكية والمنشات الخطية كالطرق والسكك الحديدية وخطوط نقل الطاقة الكهربائية والشبكات الهندسية والمخططات التنفيذية لشبكات الري والصرف.

– المقياس 1/1000 بتباعد شاقولي متساوي بين خطوط التسوية m (0.5)=e، ويستعمل هذا المقياس لوضع المخططات العامة للمناطق السكنية والصناعية وإنتاجها.

5– المقياس 1/500 بتباعد شاقولي متساوي بين خطوط التسويةm (0.5)=e، ويستعمل هذا المقياس لوضع المخططات التنفيذية للمناطق السكنية والصناعية وشبكات الصرف الصحي وإنتاجها.

5–8 حساب ارتفاع نقطة ما على مخطط طبوغرافي

ليكن المطلوب حساب ارتفاع النقطة C المبينة على الشكل والواقعة بين خطي أو منحني التسويةH2،H1



الشكل 5– 11 حساب ارتفاع نقطة ما على مخطط طبوغرافي

نقوم بإنشاء خط مستقيم يمر بالنقطة المعتبرة C، ويتعامد مع منحني التسوية السابق واللاحق أو منحني التسوية المحاذيين للنقطة المعتبرة. يسمى هذا الخط بخط الميل الأعظم. تقاس المسافتان d،e ومن ثمَّ نحصل على منسوب النقطة C(H_C) من النسبة والتناسب بين المسافات وفروق المناسيب وفق المعادلة التالية:

$$H_C = H_1 + \Delta h$$

$$\frac{\Delta h}{H_2 - H_1} = \frac{e}{d} \Rightarrow \Delta h = \frac{e}{d} \times (H_2 - H_1)$$

e: المسافة الجزئية بين النقطة والمنسوب الأقل وفق خط الميل الأعظم.

d: المسافة الكلية بين منحني التسوية وفق خط الميل الأعظم.

H2–H1: فرق المنسوب بين منحني التسوية.

5–9 تعيين أماكن خطوط الكنتور على اللوحة

أيضاً تعتمد على النسبة والتناسب بين المسافات والمناسيب. يُحسب بعد خط الكنتور المتوقع عن أي من النقطتين (عادة يحسب البعد عن النقطة ذات المنسوب الأقل) وفق القانون:

$$\frac{\Delta h}{H_2 - H_1} = \frac{e}{d} \Rightarrow e = \frac{d}{H_2 - H_1} \times \Delta h$$

المسافة الجزئية (e): هي بعد خط الكنتور عن النقطة ذات المنسوب الأقل.

المسافة الكلية (d): هي المسافة بين النقطتين المعلومتين.

الفرق الكلي ($H_2–H_1$): هو فرق المنسوب بين النقطتين المعلومتين.

الفرق الجزئي (Δh): هو فرق المنسوب بين خط الكنتور المطلوب والنقطة ذات المنسوب الأقل.

تقاس المسافات وتوقع مباشرة بالمسطرة دون النظر لمقياس الرسم ثم تقرب قيمة المسافة الجزئية الناتجة إلى أقرب رقم عشري واحد لأن دقة المسطرة لا تزيد عن (1) ملم، أما المسافات الجزئية كلها تقاس من النقطة ذات المنسوب الأقل.

5–9–1 <u>تمرين</u>

بقياس طول الخط بالمسطرة نجد ان المسافة الكلية : (d=8 cm)

فرق المنسوب الكلي بين طرفي الخط : H2–H1=50.72–45.18=5.54 m

الفرق الجزئي لخط الكنتور (46.00 m): 46.0–45.18=0.82 m

المسافة الجزئية للكنتور (46):

$$e = \frac{d}{H_2 - H_1} \times \Delta h \qquad \Rightarrow e(46) = \frac{8}{5.54} \times 0.82 = 1.18cm$$

نقيس من النقطة ذات المنسوب الأقل بالمسطرة مسافة 1.2 cm فنحصل على نقطة مرور الخط الكنتوري ذي المنسوب 46.00 m. نكرر الخطوات السابقة نفسها للخطوط: 47:،48 ، 50،49

$$e(47) = \frac{8}{5.54} \times (47.0 - 45.18) = 2.63cm$$

نقيس من النقطة ذات المنسوب الأقل بالمسطرة مسافة2.6 cm، فنحصل على نقطة مرور الخط الكنتوري ذي المنسوب 47.00 m

$$e(48) = \frac{8}{5.54} \times (48.0 - 45.18) = 4.07cm$$

نقيس من النقطة ذات المنسوب الأقل بالمسطرة مسافة 4.1 cm، فنحصل على نقطة مرور الخط الكنتوري ذي المنسوب 48.00 m

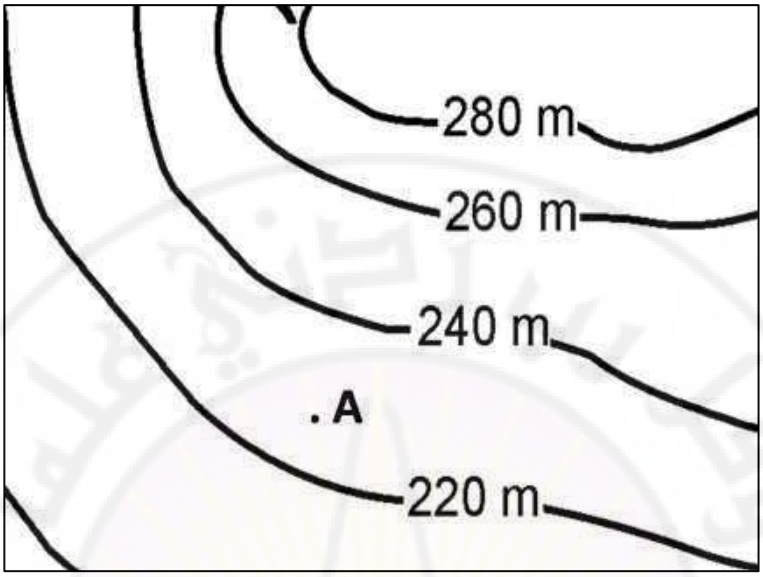
$$e(49) = \frac{8}{5.54} \times (49.0 - 45.18) = 5.52cm$$

$$e(50) = \frac{8}{5.54} \times (50.0 - 45.18) = 6.96cm$$

نقيس من النقطة ذات المنسوب الأقل بالمسطرة مسافة 5.52 cm و 7.0 cm فنحصل على نقطة مرور الخط الكنتوري ذي المنسوب 49.00 m و 50.0

5–9–2 تمرين غير محلول:

أوجد منسوب النقطة (A) (بدقة السنتيمتر) من الجزء التالي لمخطط طبوغرافي بالشكل (5–12)، ثم ارسم خط التسوية ذي المنسوب 230 m



الشكل 5– 12 حساب منسوب نقطة من مخطط

5– 10 حساب مكعبات الحفر والردم (Cutting and Filling volume)

تطلب معظم المشاريع الهندسية حساب حجم كميات الحفر والردم (**Excavation and embankment**) لمناطق مطلوب حفرها أو حُفرت لمتطلبات أعمال مشروعات تمديدات كابلات الهاتف والكهرباء وخطوط المياه والصرف الصحي وإنشاء الجسور والطرق ووضع قواعد المنشآت وغيرها من المشاريع الهندسية الممتدة طولياً وعرضياً كما يظهر بالشكل (5–13). وفي أحيان كثيرة تكون هذه الأعمال الحفرية على شكل متطابق مع أحد أشكال المجسمات الهندسية المنتظمة مثل المكعب، متوازي المستطيلات والموشور والاسطوانة والهرم والمخروط والكرة، بينما تاخذ بعض الحفريات أشكالاً هندسية غير منتظمة. سوف نستعرض بالفصل التاسع بشرح مفصل طرائق حساب المساحات والحجوم.

توجد طرق عدة مستخدمة لإيجاد الكميات والأحجام ويمكن إجمالها فيما يلي:

1– أحجام الأشكال المنتظمة كما في المنشآت والمباني.

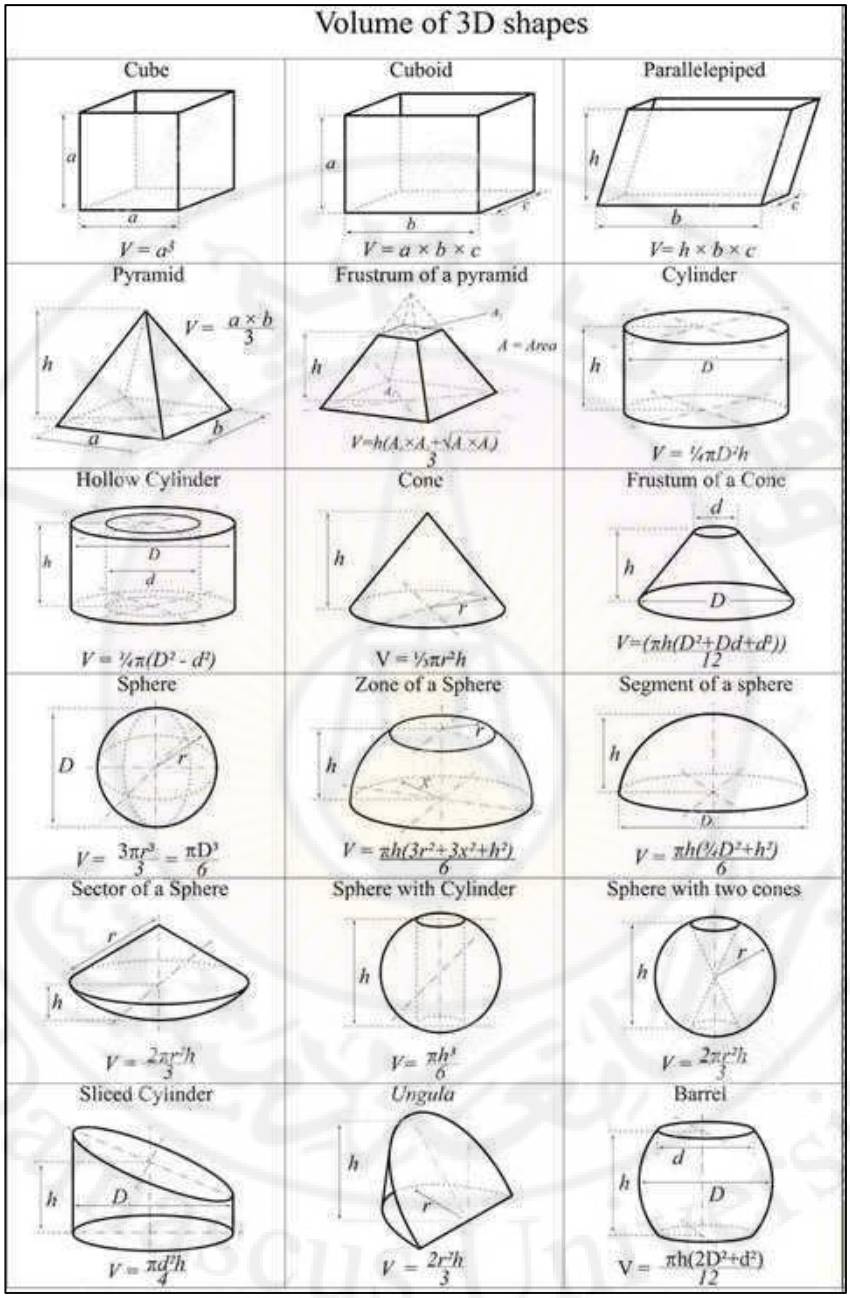
2– أحجام القطاعات العرضية والطولية، كما في مشروعات الطرق وتمديد خطوط الخدمات ومشروعات الري والصرف.

3– الأحجام من مناسيب النقاط كما في مشروعات تسوية الأراضي.

4– الأحجام من خطوط التسوية (الكنتور)، كما في عمليات تسوية الأراضي وحساب أحجام البحيرات أمام السدود.

الشكل 5– 13 أعمال الحفر والردم

وتعطى أحجام بعض المجسمات الهندسية المنتظمة وفق الشكل (5–14).



الشكل 5– 14 بعض أحجام المجسمات الهندسية المنتظمة

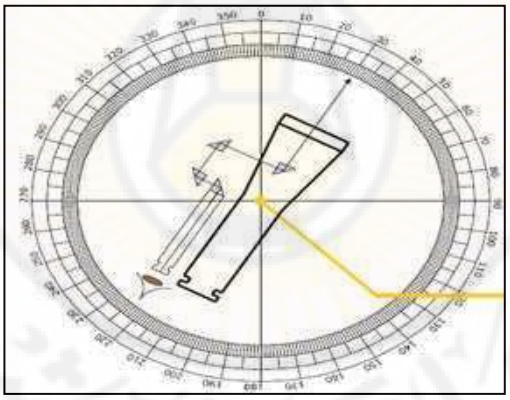
وقل رب زدني علما
Damascus University

الفصل السادس

أجهزة قياس الزوايا والاتجاهات

6–1 جهاز الثيودوليت (Theodolite)

يعد جهاز الثيودوليت من أدق الأجهزة المستعملة وأفضلها في رصد الزوايا وتوقيعها في المستويات الأفقية والرأسية. يحتوي الجهاز على منقلة أفقية دائرية (الشكل 6–1)، و ومنقلة شاقولية دائرية وتكونان مقسمتين ومدرجتين إلى 400 غراد او 360 درجة. يتحرك الاليداد حركة دائرية أفقية وشاقولية والمجموعة كلها مركبة على حامل. يعطي قياس الزوايا بالجهاز دقة الثانية الغرادية (cc). أول صناعة للثيودوليت كان في انجلترا في القرن السابع عشر بواسطة رام سدن Ram sden، ولا يزال أول جهازين استعملا موجودين في متحف العلوم بلندن وفي الجمعية الملكية .



الشكل 6– 1 منقلة الثيودوليت

يستعمل جهاز الثيودوليت في كثير من التطبيقات المساحية، نذكر بعضاً منها:

1– عمليات الأرصاد الفلكية.

2– أعمال التسوية المثلثية (الجيوديزية).

3– أرصاد الشبكات المثلثية بدرجاتها المختلفة.

4– توقيع محاور الطرق وانابيب المياه والصرف الصحي والمنحنيات.

5– تخطيط المنشآت الهندسية المختلفة.

2–6 تصنيف الثيودوليت حسب طريقة رصد القراءة على الدائرة الأفقية أو الرأسية

1–الثيودوليت ذو الورنية، وقد قل استعماله.

2– الثيودوليت البصري، حيث يتم التمركز به بشكل بصري، أو بواسطة عامود الشاغول، أو بواسطة الليزر، وهو مزود بميكرومتر لقراءة الدائرة الأفقية والرأسية (الشكل 6–2).

3– الثيودوليت الرقمي: حيث تظهر القراءة مباشرة على شاشة مزود بها الجهاز (الشكل 6–3).

الشكل 6– 2 نماذج لبعض أجهزة الثيودوليت الضوئي

الشكل 6– 3 الثيودوليت الرقمي

6–3 تصنيف الثيودوليت حسب الدقة

1– **ثيودوليت ذو دقة عالية:** يستعمل في الأرصاد الفلكية، وفي رصد شبكات المثلثات من الدرجة الأولى والثانية. يظهر الجدول (6–1) قائمة ببعض أنواع هذه الأجهزة حسب الشركات المصنعة وحسب الدقة.

جدول 6– 1 بعض انواع الثيودوليت عالي الدقة

اسم الثيودوليت	صناعة	قطر الحافة (مم)		قوة التكبير للمنظار	الوزن (كجم)	أصغر قراءة على الدائرة الأفقية/ الرأسية	قراءة الميكرومتر على الدائرة الأفقية/ الرأسية
		الأفقية	الرأسية				
T4 Wild	فيلد –سويسرا	240	135	70	50.0	2˝	0.20˝ / 0.10˝
DKM3 Kern	كيرن–يسويسر	100	100	45	12.2	10˝	0.50˝
Micro ptic 3	أوتيس –إنجلترا	98	76	40	8.0	10˝	0.20˝
Tpr	إسكانيافبرك– برلين	200	140	80	32.0	10˝	0.50˝
T3	الاتحاد السوفيتي	135	90	40	11.0	8˝ / 4˝	0.20˝

2– **ثيودوليت دقيق:** تستعمل في رصد زوايا شبكات مثلثات الدرجتين الثالثة والرابعة، وفي المشاريع الهندسية التي تتطلب دقة عالية. يظهر الجدول (6–2) قائمة ببعض أنواع هذه الأجهزة حسب الشركات المصنعة وحسب الدقة.

جدول 6– 2 بعض انواع الثيودوليت عالي الدقة

اسم الثيودوليت	صناعة	قطر الحافة (مم)		قوة التكبير للمنظار	الوزن (كجم)	أصغر قراءة على الدائرة الأفقية/ الرأسية	قراءة الميكرومتر على الدائرة الأفقية/ الرأسية
		الأفقية	الرأسية				
T2 Wild	فيلد – سويسرا	90	70	28	5.5	20"	1"
DKM2 Kern	كيرن – سويسرا	75	70	30	3.6	10"	1"
Theo 010	زايس بينا – ألمانيا	84	60	31	5.3	20"	1"
Th2	زايس ألمانيا	90	70	30	5.5	20"	1"
FT2	فينيل – ألمانيا	90	70	30	6.5	10"	1"
Te- B1 MOM	موم – المجر	91	60	30	6.5	10"	1"
T2	الاتحاد السوفيتي	90	65	25	5.2	20"	1"
Microptic 2	أوتيس – إنجلترا	98	76	28	6.3	10"	1"
TG 1B	إيطاليا	90	90	29	2.5	10"	1"
TM 1A	سوكيشا – اليابان	94	80	30	6.0	10"	1"

اسم الثيودوليت	صناعة	قطر الحافة (مم)		قوة التكبير للمنظار	الوزن (كجم)	أصغر قراءة على الدائرة الأفقية/ الرأسية	قراءة الميكرومتر على الدائرة الأفقية/ الرأسية
		الأفقية	الرأسية				
Theo 020	زايس بينا ألمانيا	96	74	25	4.3	1"	1"
T 5	الاتحاد السوفيتي	95	70	27	3.6	1"	1"
Te – D2	موم – المجر	84	76	25	4.8	1"	1"
T 16	فيلد – سويسرا	79	79	28	4.7	1"	1"
Th 4	أوبتون – ألمانيا	98	85	30	4.3	1"	1"
4150-NE	إيطاليا	90	70	30	4.9	1"	1"
T 60 D	سوكيشا اليابان	95	90	30	5.2	1"	1"
Theo 120	زايس بينا – ألمانيا	62	62	16	3.4		1"

3– **ثيودوليت متوسط وعادي الدقة:** تستعمل في أعمال المضلّعات وفي التطبيقات الهندسية المختلفة. يظهر الجدول (6–3) قائمة ببعض أنواع هذه الأجهزة حسب الشركات المصنعة وحسب الدقة.

جدول 6– 3 بعض انواع الثيودوليت متوسط وعادي الدقة

اسم الثيودوليت	صناعة	قطر العافة (مم)		قوة التكبير للمنظار	الوزن (كجم)	أصغر قراءة على الدائرة الأفقية/ الرأسية	قراءة الميكرومتر على الدائرة الأفقية/ الرأسية
		الأفقية	الرأسية				
DKM-1Kern	كيرن سويسرا	50	50	20	1.8	20	10
K1-RA Kern	كيرن سويسرا	89	70	28	4.2	1	20
T1-A Wild	فيلد سويسرا	73	65	27	5.0	1	20
Th3	زايس ألمانيا	78	70	25	3.5	1	30
Tt	إسكانيا فيركا –برلين	90	70	30	4.6	1	20
Te-E6 MOM	موم –المجر	80	40	20	2.6	20	10
TT4	الاتحاد السوفيتي	70	55	25	3.9	20	10
Microptic 1	أوتيس –إنجلترا	89	64	25	4.5		20
41994	إيطاليا	90	90	30	4.4		30
TM6	سوكيشا – اليابان	80	70	30	5.3		6
TM 10	سوكيشا اليابان	80	70	30	5.2	10	10
TM 20	سوكيشا اليابان	80	70	30	5.00		20
T- 205	فوجي – اليابان	80	70	28	4.5	1	10

6–4 أنواع محاور الثيودوليت

للثيودوليت أربعة محاور رئيسة إما متوازية أو متعامدة مع بعضها البعض وهي التي بني عليها الثيودوليت نظريته. وهذه المحاور هي:

1– المحور الرأسي (VV): يمر بمركز الدائرة الأفقية، ويمر أيضاً بنقطة التقاء المحور الثانوي مع النظارة، ويدور حوله الجهاز في مستوي أفقي.

2– المحور الثانوي (المحور الأفقي لدوران النظارة) (HH): يمر بمركز الدائرة الرأسية ويدور حوله الجهاز في مستوى رأسي.

3– محور ميزان التسوية الطولي (LL): هو الخط المستقيم المماس لميزان التسوية الطولي عند المنتصف.

4– محور خط النظر (ZZ): هو الخط الواصل بين نقطة تقاطع حامل الشعيرات للعدسة العينية والمركز الضوئي للعدسة الشيئية وامتداده (الشكل 6–4).

الشكل 6– 4 محاور جهاز الثيودوليت

ولكي يكون الثيودوليت في حاله مضبوطة وسليمة دائمة يجب أن يحقق الثيودوليت الأوضاع الآتية علي الترتيب االتالي :

1– يجب تعامد المحور الرأسي (وهو محور خيط الشاغول المعلق في قاعدة الثيودوليت في بعض الأجهزة) مع المحور الأفقي لميزان التسوية الطولي الموجود بين الحاملين الرأسيين للأليداد .

2– يجب تعامد خط النظر(محور خط الانطباق الخاص بالمنظار) مع محور دوران المنظار الأفقي.

3– يجب تعامد محور دوران المنظار الأفقي مع المحور الرأسي .

4– يجب أن يكون المحور الأفقي لصفر الدائرة الرأسية موازياً لمحور خط النظر عندما يكون أفقياً .

6–5 وصف جهاز الثيودوليت وأجزائه

يوضع الجهاز بحقيبة (**Shipping case**) مصنوعة من مادة عالية المقاومة غير قابلة للكسر وعازلة ضد الماء والغبار كما موضح بالشكل (6–5).

الشكل 6– 5 حقيبة الجهاز

يوضع الجهاز على ركيزة ثلاثية الأرجل (Tripod) (الشكل 6–6)، وتكون مصنوعة عادة من الخشب أو الألمنيوم، ولها ثلاث أرجل انزلاقية (ينزلق جزئيها أحدهما داخل الآخر) لتغيير ارتفاعها. تنتهي كل رجل من الأرجل الثلاث بطرف معدني مدبب ليسهل غرسه في الأرض. وأعلى القاعدة عبارة عن قاعدة تسمى الترابيرخ (Tribrach)، مزودة بمسمار حلزوني لتثبيت الثيودوليت وربطه بها، ويسمح هذا المسمار بحركة انزلاقية أفقية تسهل إجراء عملية التسامت.

الشكل 6– 6 ركيزة الجهاز

يمكن تقسيم الجهاز إلى الجزئين الرئيسين التاليين:

1– الترييراخ (Tribrach) والجزء السفلي: تُعد الترابيرخ قاعدة الجهاز، وقد تكون منفصلة عن الجزء السفلي، أو يشكلان كلاهما الجزء السفلي وهي مزودة بالتالي:

– ثلاث مسامير (بزالات) تسوية (Three leveling /foot screws) لضبط رأسية المحور الرأسي للجهاز (ضبط أفقية الجهاز).

–عدسة التمركز الضوئي (منظار التسامت الضوئي) لتسامت أو تمركز الجهاز فوق نقطة محطة الرصد.

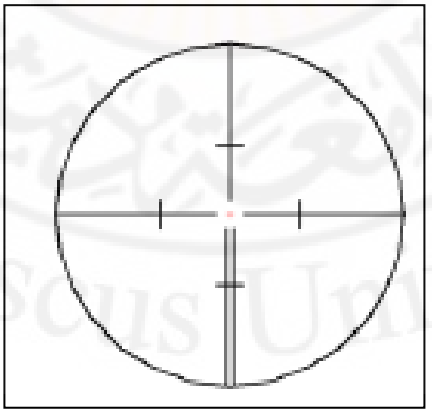
– فقاعة دائرية (Circular bubble) (ميزان تسوية دائري) لضبط الأفقية تقريباً .

– بزال لربط الجهاز بالترييراخ، ويكون هذا البزال مغلقاً عندما يكون اتجاه السهم المرسوم عليه للأسفل، والعكس عندما يكون اتجاه السهم للأعلى.

ويحتوي الجزء السفلي أيضاً ببعض الأجهزة على جزء أنبوبي معدني لتثبيت خيط الشاغول او محور الشاغول (موجودان ببعض الأجهزة التي لا تحوي على منظار تسامت (عدسة تمركز ضوئي).

2– الجزء العلوي: يسمى بالأليداد (Alidade)، وهو الجزء العلوي والذي يدور حول المحور الرأسي ويشمل:

–المنظار (Telescope eyepiece): هو عبارة عن منظار مساحي يدور أفقيا وشاقولياً وتظهر به صورة الأهداف المرصودة. يحمل المنظار على سطحه مؤشراً للتسديد، وهو مزود بمسمارين عبارة عن أنبوبين معدنيين أسطوانيين: الأول لتوضيح الرؤية، والثاني لتوضيح حامل الشعيرات (توضيح خطوط المحكمة) (Focusing ring)، ويكون حامل الشعيرات مزود بشعرتي استاديا ذات ثابت K=100 لقياس المسافات ضوئياً بشكل غير مباشر وتقريبي، كما يظهر بالشكل (6–7).



الشكل 6– 7 حامل الشعيرات (خطوط المحكة)

– المنظار، والميكرومتر لقراءة الدائرتين الأفقية والشاقولية (لأخذ القراءات) وهما مركبان على المحور الأفقي الواصل بين أعلى القائمين الرأسيين.

– الدائرة الأفقية (المنقلة): يمكن إدارتها باستعمال بزال (مسمار) حركة الدائرة الأفقية والذي يطلق عليه عادة اسم بزال التصفير لكونه يستعمل لإعطاء قيمة اتجاه ما، قيمة الزاوية الصفرية، تسهيلاً للعمل، ولا يستعمل إلا لتحريك الدائرة الأفقية، ولا يستعمل للدائرة الشاقولية. تكون الدائرة الأفقية مزودة بمرآة لعكس الإضاءة لتوضيح حجرة القراءة .

– الدائرة الرأسية: مركبة بمكان خاص بالقائم الرأسي. وهي مزودة بمرآة لإدخال الضوء المنعكس منها للدائرة الرأسية.

– ميزان التسوية الطولي (الزئبقية الحلقية أو الأسطوانية) (Plate\Tube bubble) لضبط أفقية الجهاز، أي لجعل المحور الرأسي للجهاز رأسياً تماماً.

– مؤشر لعكس خيال الفقاعة الشاقولية (طرفي القطع الناقص).

– الزئبقية الشاقولية (القطع).

– مسمار لضبط الفقاعة الشاقولية (القطع).

– بزال تثبيت الحركة الافقية (Horizontal clamp).

– مسمار (بزال) تثبيت الحركة الشاقولية (Vertical clamp).

– مسمار (بزال) الحركة الأفقية البطيئة (Horizontal circle tangent screw).

– مسمار (بزال) الحركة الشاقوليه البطيئة (Vertical circle tangent screw).

– مسمار لاختيار وضع الزاوية الأفقية أو الشاقولية (Inverter knob).

– بزال المطابقة (الفرنيه) (Micrometer knob).

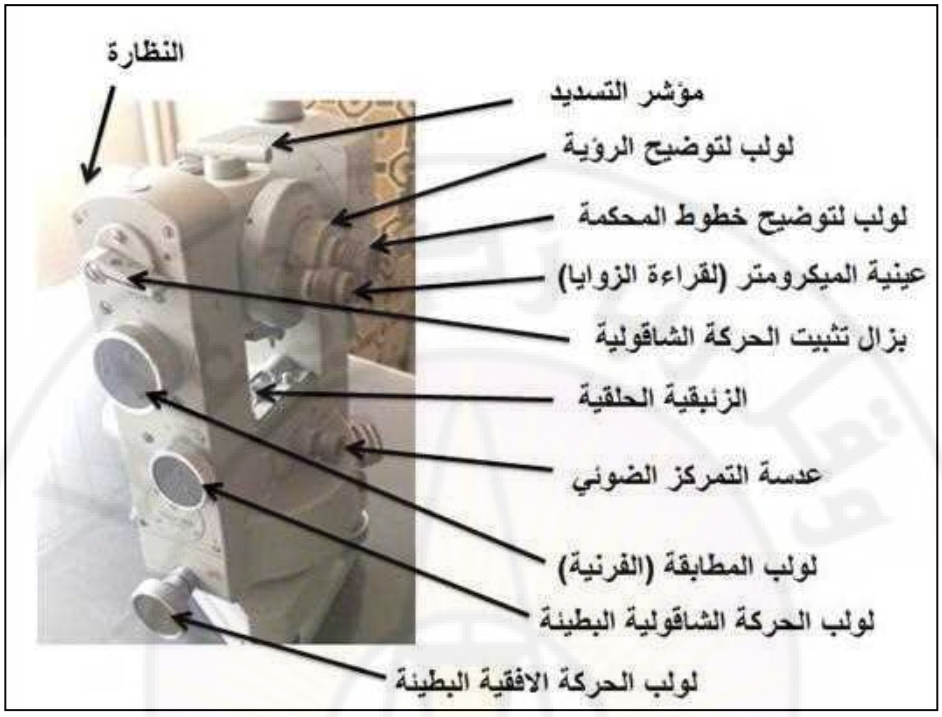
وتمثل الأشكال من الشكل (6–8) إلى الشكل (6–15) بعض أجزاء الجهاز لنماذج مختلفة من أجهزة الثيودوليت.

الشكل 6– 8 بعض أجزاء جهاز الثيودوليت من نوع زايس (Zeiss)

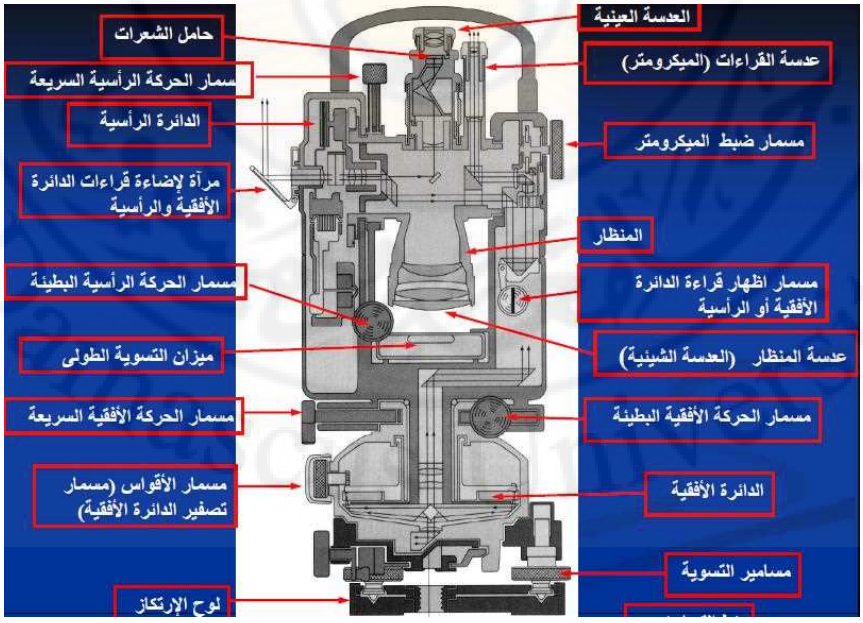
الشكل 6– 9 بعض أجزاء جهاز الثيودوليت من نوع كيرن (Kern)

الشكل 6– 10 بعض أجزاء جهاز الثيودوليت من نوع ويلد (Wild)

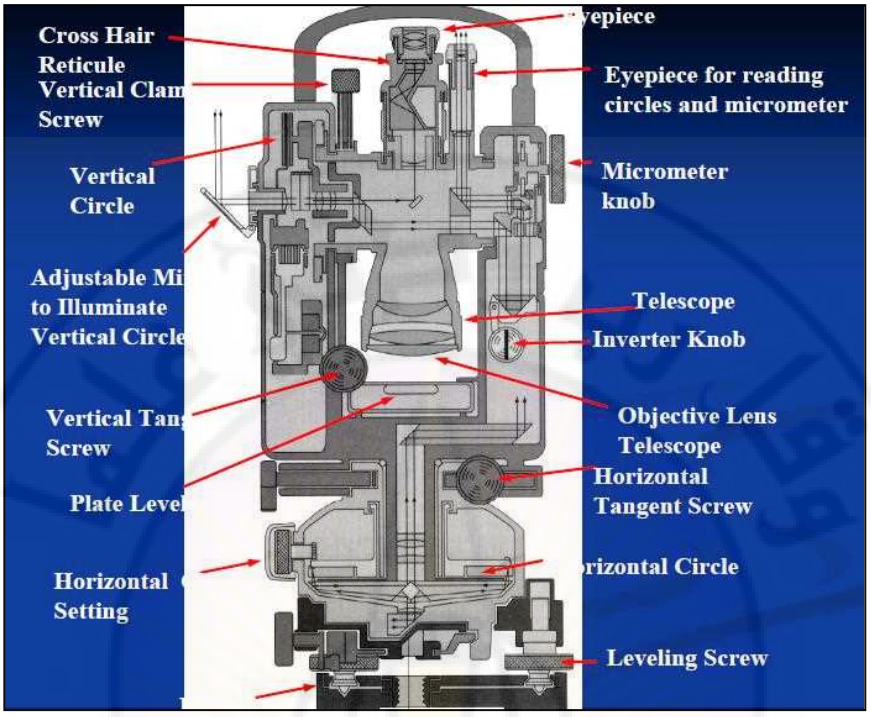
الشكل 6– 11 بعض أجزاء جهاز الثيودوليت من نوع زايس



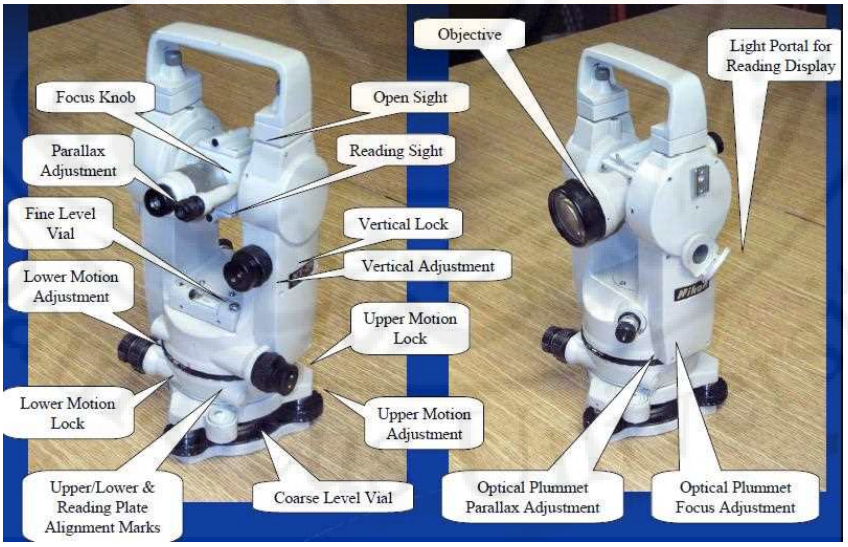
الشكل 6– 12 بعض أجزاء جهاز الثيودوليت من نوع زايس من الناحية الأمامية



الشكل 6– 13 أجزاء الثيودوليت



الشكل 6– 14 أجزاء جهاز زايس



الشكل 6– 15 أجزاء جهاز الثيودوليت نوع نيكون (Nikon)

6–6 العناية بجهاز الثيودوليت

للعناية بجهاز الثيودوليت عند الاستعمال أو الحمل يجب اتباع التعليمات التالية:

1– التأكد من ربط الحركة الانزلاقية لأرجل الركيزة بشكل آمن قبل وضع الركيزة على الأرض.

2– عدم وضع أرجل الركيزة بالقرب من بعضها بعضاً، ويفضل أن تكون الزاوية بين الأرجل 60 درجة لضمان ثبات الجهاز أثناء العمل كما يظهر بالشكل (6–16).

3– إخراج الجهاز من العلبة بشكل حذر وإعادته بنفس الطريقة.

4– التأكد من ربط الجهاز جيداً بالحامل الثلاثي أعلى الركيزة عبر المسار الحلزوني.

5– تجنب تحريك المسامير (البزالات) أكثر من الحد المسموح للحركة نظراً لحساسيتها وسرعة عطبها. 6– تجنب لمس الجهاز بعد التسامت والتوازن قدر الإمكان وتجنب كثرة الحركة حول الجهاز.

7– عدم ترك الجهاز فوق الحامل والذهاب بعيداً سواءً على الرصيف أو بموقع العمل ولاسيما بالمناطق المكتظة بالناس والمناطق المعرضة للرياح لحمايته من الاهتزاز أو السقوط.

8– تجنب تعريض الجهاز للشمس بدرجات حرارة عالية أو تعريضه للأمطار، ويفضل استعمال مظلة في هاتين الحالتين، ويجب عدم تعريضه لاختلاف مفاجيء بدرجات الحرارة .

9– الانتباه عند حمل الجهاز والتنقل به، وضرورة وضع اليد على الجهاز بدلاً من الركيزة أثناء الحمل والتنقل.

10– يجب فحص الجهاز بصورة عامة وبشكل دوري وإيقاف العمل بالجهاز عند حدوث أي عطل لأي جزء من أجزائه وإرساله للصيانة.

الشكل 6– 16 معايير استعمال ركيزة الأرجل

6–7 مراحل العمل على جهاز الثيودوليت

6–7–1 التمركز أو التسامت (Centering)

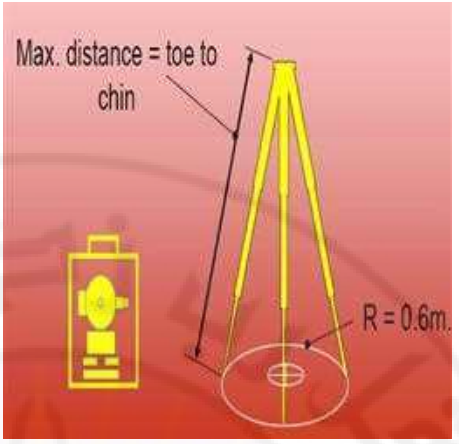
تُفتح أرجل الركيزة على مستوى نظر الراصد و ضمن دائرة لايزيد نصف قطرها عن 60 سم كما يظهر بالشكل (6–17). ويجب أن يكون ارتفاع الركيزة لمستوى صدر الراصد.

يتم التسامت بعدة طرائق حسب نوع الجهاز نذكر منها:

– التمركز باستعمال خيط الشاغول وثقله (Center with the plumb Bob) ولم تعد مستخدمة لندرة هذه الأجهزة.

– التمركز باستعمال قضيب التسامت (Centering with the centering Rod): حيث يتكون قضيب التسامت من قضيبين أسطوانيين ينزلق أحدهما داخل الآخر. القسم السفلي منه ذو طرف مدبب ومزود بميزان تسوية دائري (فقاعة دائرية) كما يظهر بالشكل (6–18). يتم وضع الطرف المدبب لقضيب التسامت على نقطة المحطة المرصودة ويتم ضبط الفقاعة الدائرية عبر تحرير مسمار ربط الجهاز بالحامل وتحريك الجهاز.

الشكل 6– 18 قضيب التسامت



الشكل 6– 17 وضعية أرجل ركيزة الجهاز

– التسامت باستعمال التسامت الضوئي (Centering with the optical plummet):
نمسك برجلين من أرجل الركيزة وننظر من خلال المنظار باسفل الإليداد نحو النقطه المراد التمركز فوقها، (نستعين بمقدمة أرجلنا للمساعدة على سرعة رؤية النقطة)، ونقوم بتحريك أرجل الركيزة حتى تقع نقطة محطة الرصد ضمن دائرة التمركز التي تظهر عند النظر من خلال المنظار الخاص بالتسامت. يحتوي منظار التسامت على بزال لضبط وضوح الرؤية، ووضوح دائرة وشعيرات التسامت.

6–7–2 التوازن (ضبط أفقية الجهاز) (Levelling)

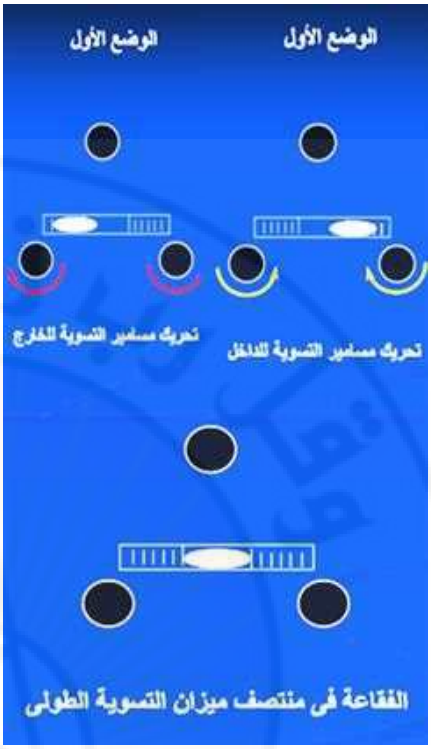
1– يتم توازن الزئبقيه الكروية من خلال أرجل الركيزة. نقوم بتحريك رجل الركيزة من جهة الفقاعة برفعها او خفضها. دائماً يتم تحريك الرجل حتى تكون الفقاعة من جهة أحد الارجل وصولاً لدخول الفقاعه ضمن الدائرة.

يحدث توازن الزئبقية الحلقية بواسطة بزالات ثلاث حاملة للجهاز فوق الركيزة. نضع الجهاز موازياً لاثنين من البزالات ونحرك البزالين معاً إما نحو الداخل أو نحو الخارج حتى تصل الفقاعة لمنتصف اسطوانة التوازن، كما يظهر بالشكلين (6–19) و (6–20). عندها ندير الجهاز بشكل عامودي على البزالين السابقين فيختل توازن الفقاعة، ونقوم بتحريك البزال الثالث فقط حتى يضبط التوازن (الشكل 6–21). تكرر هذه العملية أكثر من مره حتى تثبت الفقاعة ضمن حدي التوازن الحلقي عند تحريك الجهاز بالاتجاهين.

الشكل 6– 19 توازن الزئبقية الحلقية

6–7–3 التسديد (Focusing)

يتم التسديد عادة على اسفل نقطة بالشاخص عبر مرحلتين: تسديد تقريبي وتسديد دقيق. بالتسديد التقريبي توجّه النظارة نحو النقطة المرصودة، يحدث ذلك باستعمال عدسة التسديد بأعلى المنظار ثم تثبيت الحركتين الشاقولية والأفقية، وبعدها يُسدد بدقة باستعمال بزال الحركة الافقية البطيئة والشاقولية البطيئة حتى توضع النقطة المرصودة عند تقاطع شعيرات التسديد (الشكل 6–22). يحدث الرصد عادةً مع عقارب الساعة من اليسار إلى اليمين، ويعاد الرصد من اليمين لليسار بالوضع الثاني لتلافي خطأ القياس نتيجة التواء الجهاز أو حامله نتيجة الحرارة .



الشكل 6– 20 الوضع الأول لتوازن الزئبقية الحلقية

الشكل 6– 21 الوضع الثاني لتوازن الزئبقية الحلقية

الشكل 6– 22 الأشكال المختلفة لحامل الشعيرات

عند توجيه المنظار نحو أي هدف يجب أن تكون صورته واضحة للناظر في العدسة العينية وأن تكون صورة الهدف عند مستوى حامل الشعرات تماماً. لذلك يجب ضبط العدسة العينية بحيث تقع بؤرتها على مستوى حامل الشعيرات. وأي خلل في الحصول على الشروط السابقة يسمى بخطأ الوضع أو البارالاكس ، ولإجراء تصحيح خطأ الوضع يتم توضيح حامل الشعيرات

(Reticle Cross Hairs) من خلال بزال (مسمار) خاص موجود على منظار التسديد. ومن ثم توضيح صورة الهدف (Target Image Focusing) من خلال مسمار (بزال) توضيح الرؤية حتى تتضح رؤية الهدف تماماً.

6–7–4 قراءة الزوايا باستعمال جهاز الثيودوليت

I. قراءة الدائرة الأفقية (Horizontal Circle Reading)

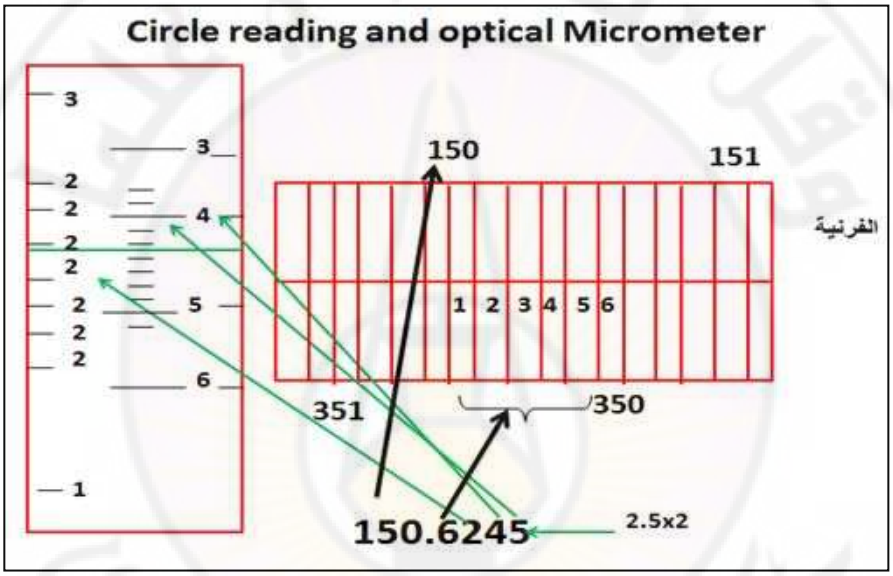
يجب الانتباه أولاً أن يكون مسمار وضعية القراءة محدداً على الوضع الأفقي. تُفتح مرآة إضاءة الدائرة الأفقية وتدار باتجاه الضوء لينعكس منها لإضاءة مجال رؤية منظار القراءة. تُحرك العدسة العينية لمنظار القراءة حتى مشاهدة خطوط تقسيم الدائرة بوضوح. يظهر بالأعلى خطوط تقسيم الميكرومتر (الفرنية)، والذي يتم تطابق خطوط تقسيماته من خلال بزال (مسمار) ضبط الميكرومتر(optical Micrometer). تتم القراءة بدقة الثانية الغرادية (اربعة ارقام بعد الفاصلة) وذلك حسب نوع الجهاز وفق الحالات التالية :

1– جهاز زايس (Zeiss Theodolite/ 010/ 020) :

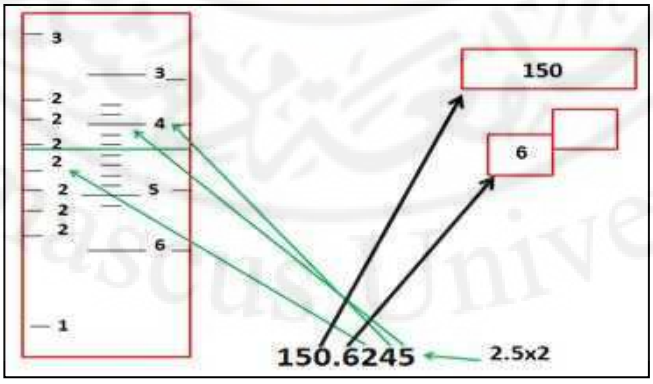
في البداية تُضبط خطوط الفرنية لتكون خطوط تقسيم الميكرومتر مستقيمة كما يظهر بالشكل (6–23). يتم تدريج الجزء العلوي من اليسار إلى اليمين، ويمثل تدريجات الغراد للزاوية بينما نجد أنه من الأسفل يأخذ قيم التدريجات العليا مضافاً إليها أو مطروحاً منها 200 غراد. دائماً نأخذ قيم الزاوية للقيم العليا كقيمة للعدد الصحيح من الغرادات التي تمثل قياس الزاوية. أما القيمة العشرية للدقائق الغرادية (السنتيغراد)، وهو أول رقم بعد الفاصلة، فيمثل عدد الفراغات بين الرقم العلوي ومقابله (200±) بالأسفل (في مثالنا 6 فراعات تفصل بين 150 و 350). لاحظ أن عدد الفراغات يجب ألا يزيد عن 9 فراغات. أما رقم آحاد الدقائق الغرادية (الرقم القاني بعد الفاصلة) فيؤخذ من المسطرة الشاقولية على اليسار، ويمثل الرقم الذي يقطعه المؤشر على يسار المسطرة (بمثالنا الرقم 2). أما الرقم العشري للثواني الغرادية فيمثل الرقم الذي يقع على يسار المسطرة فوق خط المؤشر (بمثالنا الرقم 40 هو عدد الثواني الغرادية ويؤخذ 4 كتعبير عن القيمة العشرية للثواني) بينما الرقم الأخير المعبر عن آحاد الثواني الغرادية فيمثل عدد الخطوط بين الرقم العشري للثواني الغرادية (40) وبين خط المؤشر مضروباً بالعدد 2 (تم الضرب بالعدد 2 لأن هناك خمسة تقسيمات تمثل 10 ثواني غرادية، أي أن كل تقسيمة تمثل 2 ثانية غرادية)، بمثالنا هناك تدريجتان ونصف، ومن ثمَّ تصبح القراءة : 150.6245

2– جهاز زايس آخر من نوع (Zeiss theo 020a):

يشابه الجهاز السابق، لكن يختلف عنه أن قراءة العدد الصحيح من الغرادات والعدد العشري للدقائق الغرادية تعطى مباشرةً دون حساب، ويظهر العدد الصحيح من الغرادات ضمن مستطيل (الشكل 6–24)، أما العدد العشري للغرادات فيظهر ضمن مربعين متراكبين فوق بعضهما، أحدهما مخصص للقيم الفردية والآخر للقيم الزوجية. أما باقي القراءة فتكون كما شرحنا سابقاً تماماً.



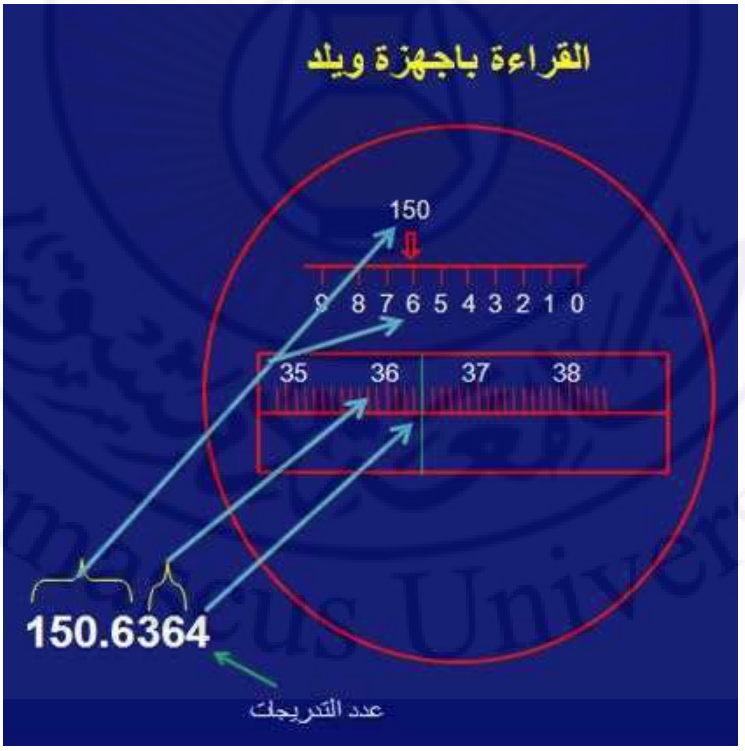
الشكل 6– 23 القراءة بجهاز زايس نوع (010) أو (020)



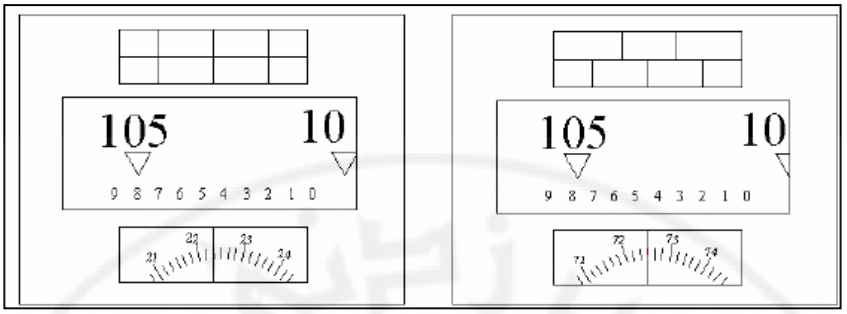
الشكل 6– 24 القراءة بجهاز زايس نوع (020a)

3– القراء لأجهزة ويلد (Wild Theodolite)

بالنظر بعينية القراءة بعد التوجيه على الهدف يلاحظ أن خطوط التقسيم لن تكون متطابقة . يحرك بزال الميكرومتر حتى تتطابق خطوط التقسيم تماماً. بعدها تُؤخذ القراءة من الأعلى للأسفل كما يتضح بالشكلين (6–25) و (6–26). نلاحظ وجود مسطرتين مدرجتين: العلوية تمثل تدريجات القيم العشرية للدقائق الغرادية حيث يؤخذ رقم الغرادات الصحيح بالأعلى (بمثالنا هو 150)، أما رقم القيمة العشرية للدقائق الغرادية (السنتيغراد)، وهو أول رقم بعد الفاصلة، فيمثل الرقم أسفل مثلث الدليل (بمثالنا هو الرقم 6). أما المسطرة السفلية فتمثل قيم الآحاد للدقائق الغرادية ومدرجة بدقة الثانية الغرادية ويقطع هذه المسطرة مؤشر شاقولي. المؤشر بمثالنا يقطع المسطرة بين الرقمين 36 و 37 ومن ثمَّ تُؤخذ القيمة الأصغر التي تمثل الرقمين الثالث والرابع بعد الفاصلة (قيمة آحاد الدقائق الغرادية وعشرات الثواني الغرادية). أما قيمة الثواني الغرادية (الرقم الرابع) فتمثل بعدد التدريجات بين المؤشر والرقم (36) وهي اربع تدريجات (4). فتكون القراءة : 150.6364



الشكل 6– 25 القراءة بجهاز ويلد



الشكل 6– 26 أشكال مختلفة من حامل الشعيرات

4– القراءة لأجهزة كيرن (Kern Theodolite)

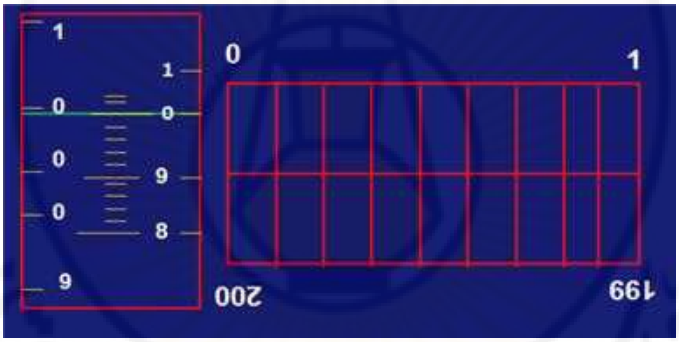
بالنظر بعينية القراءة بعد التوجيه على الهدف يلاحظ أن خطوط التقسيم تاخذ شكل خطين شاقوليين متحركين. يتم تحريك بزال الميكرومتر حتى يوضع هذين الخطين ضمن خطوط المسطره للحصول على مزدوجة من ثلاث خطوط بكل جهة، كما يظهر بالشكل (6–27). بعدها تُؤخذ القراءة من الأعلى للأسفل. حيث يؤخذ رقم الغرادات الصحيح بالأعلى (بمثالنا الرقم 42)، أما القيمة العشرية للدقائق الغرادية (السنتيغراد)، وهو أول رقم بعد الفاصلة، فيمثل ضمن مربع (الرقم 7). أما آحاد الدقائق، وهو الرقم الثاني بعد الفاصلة، فيؤخذ من أعلى المسطرة السفلية حيث يقطعه المؤشر الشاقولي. يلاحظ أن المؤشر يقطع المسطرة بين الرقمين 20 و 30 من الأسفل ومن ثمَّ قيمة الثواني الغرادية هي أكبر من 20 وأصغر من 30، يؤخذ الرقم الثالث 2 كرقم لعشرات الثانية الغرادية، أما رقم آحاد الثواني الغرادية فيمثل بعدد التدريجات بين المؤشر والرقم 20، وهو خمس تدريجات أي 5، ومن ثمَّ تكون القراءة على الشكل: 42.7325. انظر للقراءة على يسار الشكل وحاول معرفة القراءة ؟

ملاحظة (بزال التصفير):

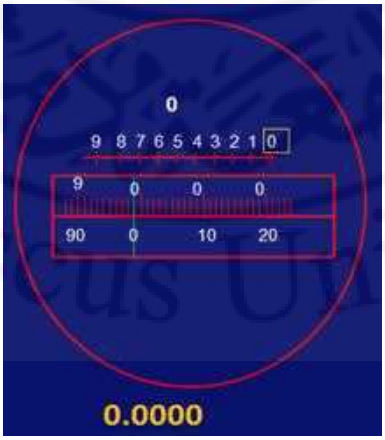
يمكن تثبيت بداية قراءة الدائرة الأفقية على الصفر أو أي قراءة أخرى حيث عادة ما نجعل قراءة الدائرة الأفقية عند اتجاه البداية مساوياً للصفر أو أي قيمة أخرى (كقيمة انحراف معلوم مثلاً) أو لتسهيل حساب الزوايا من قيم الاتجاهات، تيحدث هذا بواسطة بزال خاص يطلق عليه عادة بزال التصفير (على الرغم من أنه يمكن تثبيت القراءة على أي قيمة غير الصفر)، وعند تحريكه يتم تحريك القراءة الأفقية (فقط) حتى الوصول للقراءة المراد تثبيت القراءة عندها، ويجب استعمال بزال الميكرومتر ايضا لتحقيق هذه القراءة كما يظهر بالشكلين (6–28) و(6–29).

الشكل 6– 27 القراءة بأجهزة كيرن

يلاحظ بأجهزة كيرن أن القراءات الشاقولية والأفقية تظهر معاً بنفس النافذة العينية.



الشكل 6– 28 تصفير جهاز زايس



الشكل 6– 29 تصفير جهاز كيرن

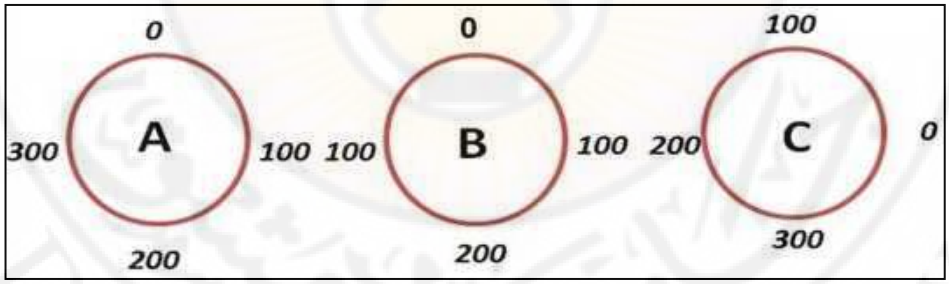
II. قراءة الدائرة االشاقولية (Vertical Circle Reading)

بالبداية يجب أن نضع بزال (مسمار) اختيار وضعية الزوايا على الزوايا الشاقولية. الدائرة الرأسية تقرأ بطريقة مماثلة لطريقة قراءة الدائرة الأفقية لكن الدائرة الرأسية لأجهزة الثيودوليت المختلفة ليست جميعها مدرجة ومرقمة بنظام واحد. وهذه بعض نماذج لنظم التدريج والترقيم الموضحة بالشكل (6–30) وفق الحالات التالية:

1– حالة A: الدائرة الرأسية مدرجة ومرقمة بصفر في اتجاه السمت و200 غراد في اتجاه النظير، وعندما يكون المنظار أفقياً تكون قراءة الدائرة 100 غراد في الوضع المتايسر و300 غراد بالوضع المتيامن.

2– حالة B: الدائرة الرأسية مدرجة ومرقمة بصفر و200 غراد في اتجاهي السمت والنظير. وعندما يكون المنظار أفقياً تكون الدائرة 100 غراد في كلا وضعي الجهاز المتياسر والمتيامن.

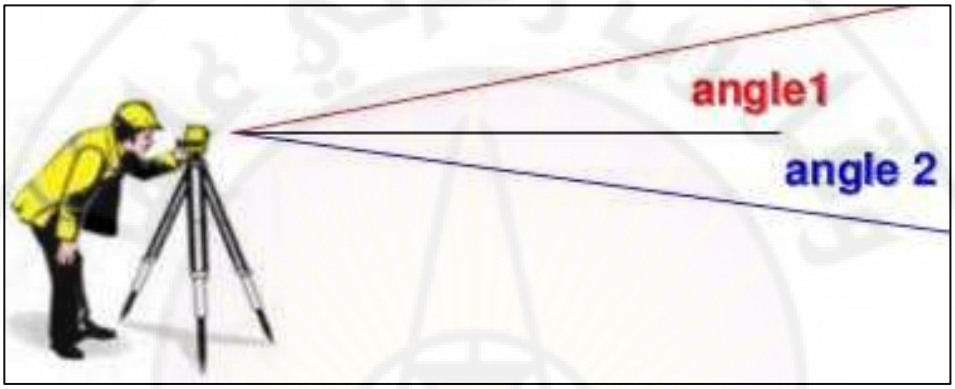
3– حالة C: الدائرة الرأسية مدرجة ومرقمة بصفر عندما يكون المنظار أفقياً في الوضع المتياسر و 200 في الوضع المتيامن. وتكون القراءة 100 غراد في اتجاه السمت و300 في اتجاه النظير.



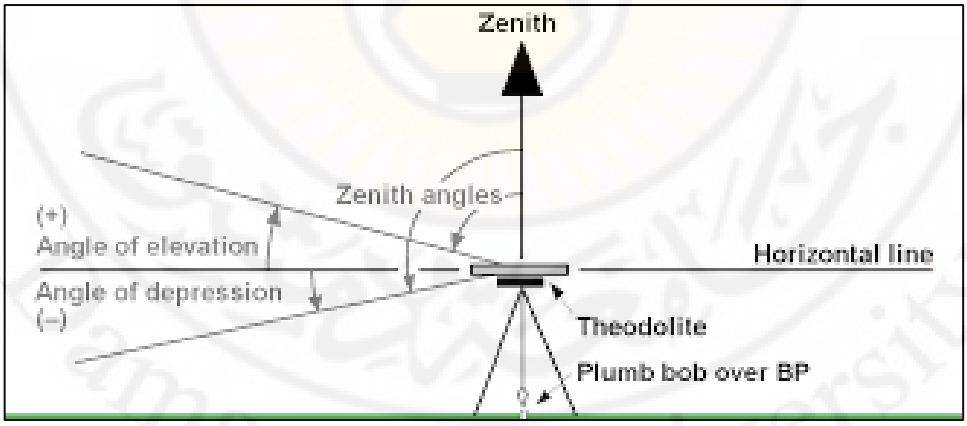
الشكل 6– 30 نظم تدريج الزاوية الراسية

معظم أجهزة الثيودوليت مزودة باستدلال (ابتداء) اتوماتيكي (Automatic index) وظيفته جعل صفر تدريج الدائرة الرأسية ينطبق مع اتجاه السمت (الرأسي) الذي يمثل امتداده للأسفل اتجاه خيط الشاغول بحيث يجعل قراءة الدائرة الرأسية منسوبة للمستوي الأفقي المار بمحور دوران المنظار. ومن ثمَّ الزاوية السمتيه (zenith angles) هي الزاوية المقيسة من المستوي الرأسي المار بمحور الجهاز لخط نظر المنظار الموجه للهدف المرصود.

اما الزاوية الرأسية (الشكل 6–31)، فهي الزاوية المقيسة من المستوي الأفقي المار بمحور دوران المنظار لخط نظر المنظار الموجه للهدف المرصود. وتسمى زاوية (ارتفاع) (Angle of elevation) إذا كان المنظار يرتفع عن المستوي الأفقي، وتسمى زاوية (انخفاض) (Angle of depression) إذا كان المنظار ينخفض عن المستوي الأفقي (الشكل 6–32)، ونحصل عليها بطرح الزاوية السمتية من 100 غراد.



الشكل 6– 31 انواع الزاوية الرأسية



الشكل 6– 32 زاوية الارتفاع والأنخفاض

6–8 أوضاع الرصد بجهاز الثيودوليت :

عند أخذ الرصاد بجهاز الثيودوليت يكون الجهاز في أحد الوضعين المتياسر أو المتيامن:

1– الوضع المتياسر أو الجالس (الوضع الأول) (Face Left):

عندما تكون الدائرة الرأسية يسار الراصد (يسار عينة منظار الجهاز) أو عندما تكون المرآه على يسار الراصد، ويسمى هذا الوضع بالوضع المتياسر. ولأخذ الأرصاد بهذا الوضع ندير الأليداد باتجاه عقارب الساعة لرصد الأهداف المطلوبة.

2– الوضع المتيامن أو المتعاكس (الوضع الثاني) (Face Right)

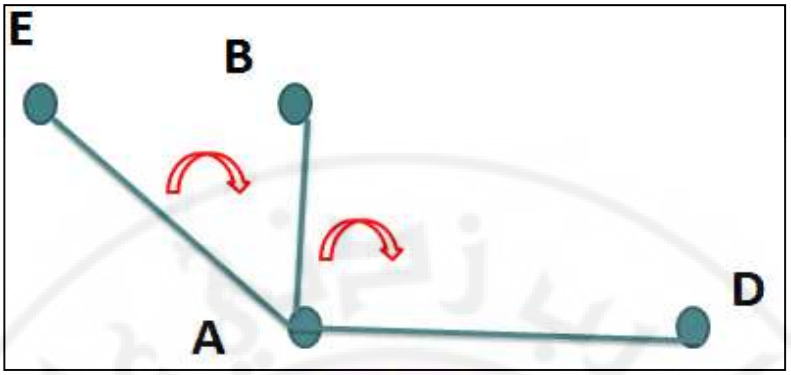
عندما تكون الدائرة الرأسية يمين الراصد (يمين عينة منظار الجهاز) أو عندما تكون المرآه على يمين الراصد، ويسمى هذا الوضع بالوضع المتيامن. ولأخذ الأرصاد بهذا الوضع ندير الأليداد باتجاه عكس عقارب الساعة لرصد الأهداف المطلوبة.

نحصل على الوضع الثاني من الوضع الأول بدوران الأليداد بزاوية 180 درجة (نصف دوران كامل) مع قلب النظاره (Direct and Reverse reading)، وغالباً يُعد الوضع الأول الوضع المتياسر. قيمة الاتجاه بالوضع الثاني يساوي تقريباً 200+\– قيمة الاتجاه بالوضع الأول. فإذا كان قياس الاتجاه بالوضع الأول اكبر من 200 غراد، يكون الاتجاه بالوضع الثاني مساوياً الاتجاه بالوضع الأول مطروحاً منه 200 غراد، والعكس صحيح.

6–9 رصد زاوية الأفق بطريقة الاتجاهات (طريقة السلاسل) أو (طريقة قفل الأفق)

تستعمل هذه الطريقة في حال قياس عدد كبير من الزوايا عند نقطة الرصد وبدقة عالية وغالباً ما تستعمل لرصد زوايا المثلثات والمضلّعات. من عيوبها أن أي خطأ في رصد أحد الاتجاهات يؤثر على الاتجاه الذي يليه، ومن ثمَّ جميع الاتجاهات الموجودة وذلك إذا رصدت على وضع واحد للجهاز (متياسر أو متيامن).

يتم التمركز فوق نقطه ما (A)، ثم يتم التسديد على النقطه (E) وإعطاء الاتجاه القراءة 0.0000 غراد ثم نحرر القراءة ونسدد على النقطه (B) ثم النقطة (D). بالنقطة (D) نتحول للوضع الثاني للمنظار (الوضع المتيامن)، ونأخذ القراءة ثم نعيد التسديد على النقطة (B) واخيراً النقطة (E)، ونكون بذلك أنهينا السلسلة الأولى من القراءات (الشكل 6–33).



الشكل 6– 33 طريقة السلاسل

نعيد العملية السابقة ولكن بإعطاء الاتجاه A–E قيمة جديدة هي 100.0000 غراد، ونكون بذلك قد أنجزنا السلسلة الثانية وننظم القراءات بجدول كما يظهر بالجدول (6–4). تُغير قيمة قراءة البداية كل مره لتلافي عدم تساوي أقسام الدائرة الأفقية، وكذلك فإن تكرار عملية القياس يقلل من تأثير أخطاء القراءة والتوجيه.

جدول 6– 4– جدول السلاسل

السلسلة	الاتجاه	الوضع الاول (gr)	الوضع الثاني (gr)
1	E	0.0000	
	B		
	D		
2	E	100.0000	
	B		
	D		

– يحسب متوسط القرائتين بالوضعين اليميني واليساري بواسطة العلاقة:

المتوسط = (قراءة الاتجاه بالوضع الأول + (القراءة بالوضع الثاني ± 200)) / 2، كما يظهر بالجدول (6–5).

– **المتوسط المرجع:** يعيد جميع المتوسطات بكل سلسلة إلى مرجع أساسي غالباً ما يكون المتوسط الأول، ومن ثمَّ فهو حاصل طرح قيمة المتوسط الأول للاتجاه بكل سلسلة على حدة من نفسه ومن كل المتوسطات المتواجدة بالسلسلة نفسها.

– **المتوسط العام:** هو المتوسط الحسابي للمتوسطات المرجعة لكل اتجاه على حدة، فهو حاصل مجموع المتوسطات المرجعة لكل اتجاه في كل سلسلة مقسوماً على عدد السلاسل.

– يُحسب **الخطأ النظامي** (V) للقياسات لكل اتجاه مرصود من خلال طرح المتوسط المرجع لكل اتجاه من المتوسط العام للاتجاه الموافق له.

– يُحسب مجموع الأخطاء لكل سلسلة على حدة وتُحسب تصحيحات الأخطاء (V) من خلال تقسيم مجموع الاخطاء بكل سلسلة على حدة على عدد الاتجاهات.

– مجموع تصحيحات الأخطاء يفترض أن يساوي الصفر.

– يُحسب مربع قيمة كل خطأ لاستعماله بحساب **الخطأ متوسط التربيع** حسب العلاقة:

$$M = \sqrt{\frac{\sum VV}{n(n-1)(S-1)}}$$

حيث إن: (S) هو عدد الاتجاهات المقاسة و (n) هو عددالسلاسل.

جدول56 –جدول حساب الخطأ متوسط التربيع للسلاسل

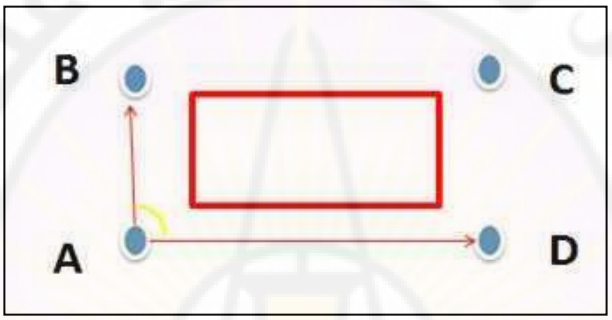
السلسلة	الاتجاه	الوضع الاول (Gr)	الوضع الثاني (Gr)	المتوسط (Gr)	المتوسط المرجع (Gr)	المتوسط العام (Gr)	V" (cc) الخطأ النظامي	توزيع الخطأ V"(cc)	مربع الخطأ المصحح (cc)
1	E	0.0186	200.0182	0.0184	0.0000	0.0000	0	28–	784
	B	273.6186	73.6264	273.6225	273.6041	273.6128	87	59	3481
	D	315.3284	115.3362	315.3323	315.3139	315.3136	3–	31–	961
2	E	100.0002	300.006	100.0031	00.0000		0	28	784
	B	373.6259	173.6232	373.62455	273.62145		87–	59–	3481
	D	15.3096	215.3232	15.3164	315.3133		3	31	961

ومن ثمَّ : $\sum V_i^2 = 10452''$، بينما $S=3$ عدد الاتجاهات، وعدد السلاسل $N=2$، ومنه يكون الخطأ المتوسط التربيع:

$$M = \sqrt{\frac{\sum VV}{n(n-1)(S-1)}} = 51.12^{"} cc$$

6–10 رصد الزوايا الأفقية لمضلع مغلق

ليكن لدينا المضلع المغلق ABCD (الشكل 6–34)، الذي يحيط ببناء سكني، وطُلب إيجاد الزوايا الداخلية لهذا المضلع. سنكتفي بهذا المثال برصد الزوايا الأفقية بالوضع المتياسر (الوضع الأول)، حيث نقوم بالتمركز فوق النقطة A ورصد النقطتين B ثم D (الرصد مع عقارب الساعة)، ثم ننتقل بالتمركز للنقطة B ونقوم برصد النقطتين C ثم A وهكذا حتى رصد كافة الاتجاهات بكافة النقاط.



الشكل 6– 34 رصد الزوايا الداخلية لمضلع

– نحصل على قيم الزوايا الأفقية بطرح قيمة الاتجاهين عند كل مرصد.

– تُحسب مجموع زوايا المضلع الأفقية الناتجة من خلال العلاقة: $\sum\alpha i=200(n-2)$، حيث إن n هو عدد اضلاع المضلع وبحالة المضلع الرباعي تصبح القيمة 400.

– يحسب خطأ الإغلاق من طرح القيمة المقيسة من القيمة المعطاة حسب العلاقة:

$$F= 400 - 400.5614 = - 0.5614 \text{ Gr}$$

– يقارن خطأ الإغلاق مع قيمة الخطأ المسموح من خلال العلاقة:

$$F \leq Fmax = \pm 0.03 \text{ Gr} = \pm 3 \text{ c} = \pm 300 \text{ cc}$$

– نوزع خطأ الاغلاق بطريقة التساوي بين الزوايا للحصول على قيم تصحيح الخطأ:

$$Vi = F/4 = 0.1403 \text{ gr}$$

– نحصل على الزوايا المصححة بطرح قيم تصحيح الخطأ من الزوايا المقيسة، كما يظهر بالجدول (6–6).

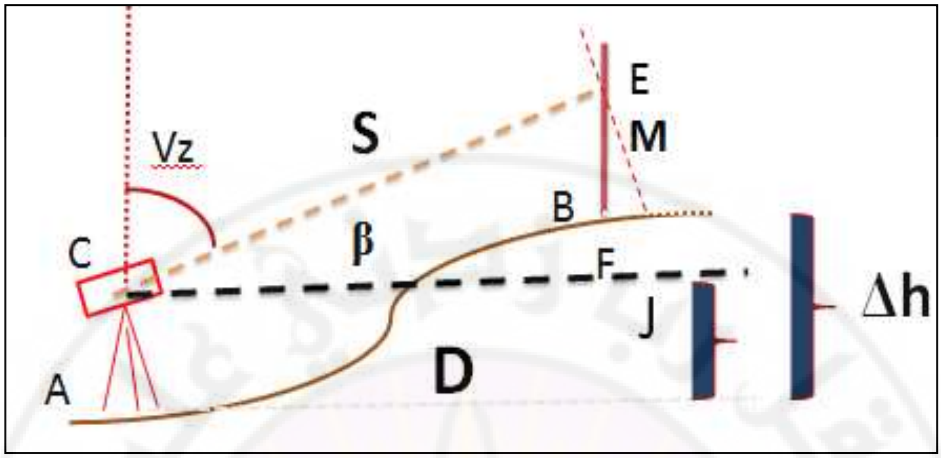
– يجب أن يكون مجموع الزوايا المصححة مساوياً 400 غراد (بمثالنا هذا لأن المضلع رباعي الشكل).

جدول66 – حساب الزوايا الداخلية لمضلع

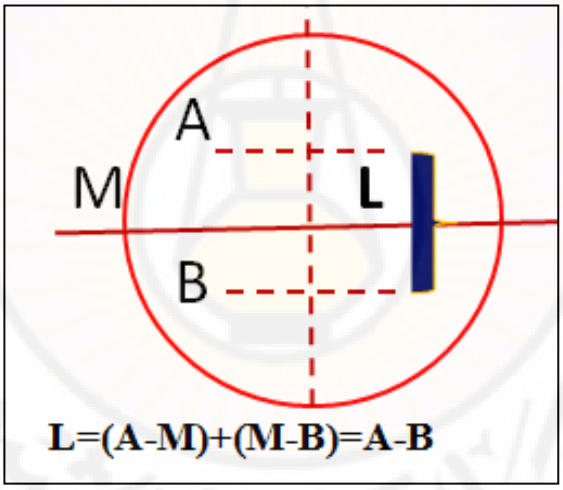
التمركز	الاتجاه	الوضع الاول (gr)	الزاوية المقيسة (gr)	التصحيح (gr)	الزاوية المصححة (gr)
A	B	30.5619	73.2176	−0.1403	73.0773
	D	103.7795			
B	C	119.1118	133.2250	−0.1403	133.0847
	A	252.3368			
C	D	260.2710	89.5074	−0.1403	89.3671
	B	349.7784			
D	A	81.2619	104.6114	−0.1403	104.4711
	C	185.8733			

6– 11 رصد الزوايا الشاقولية

يمكن الاستفادة من الزوايا الشاقولية في حساب المسافات الأفقية وفروق الارتفاعات بطريقة غير مباشرة (الطريقة الستاديومترية) باستعمال جهاز الثيودوليت والميرا. إذا تم التمركز بجهاز الثيودوليت عند النقطة A وكان ارتفاع الجهاز (J) كما يظهر بالشكل (6–35). وتم التسديد على الميرا الموضوعة على النقطة (B). فإذا كانت القراءة الشاقولية (Vz)، وزاوية الانحراف عن الأفق (β)، وكانت القراءة على الميرا للخط المتوسط بين الخطين الستاديومتريين (M)، والفرق بين القرائتين العلوية والسفلية (L) (الشكل 6–36)، وباعتبار ثابت الجهاز (K=100)، فيمكن الحصول على المسافة الأفقية (D) بدلالة المسافة المائلة (S) التي يمكن قياسها بشريط القياس أو بقائس المسافات الإلكتروني.



الشكل 6– 35 حساب المسافة الأفقية بجهاز الثيودوليت

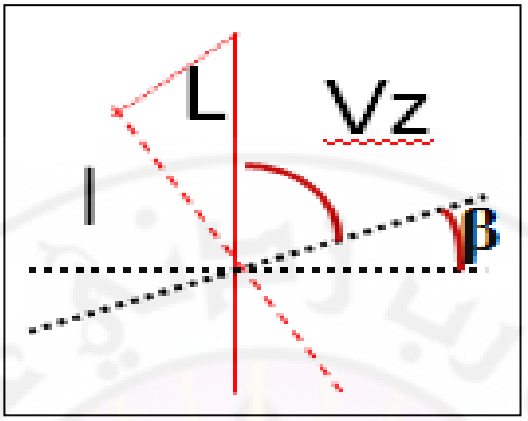


الشكل 6– 36 القراءة على الخطوط الستاديومترية

$$D=S.\cos\beta$$

$$S= K.\ l$$

لكن من الشكل (6–36) نلاحظ أن : $l= L.\ \cos\beta$



الشكل 6– 37 القراءة على الخطوط الستاديومترية

$$S=K.L.\cos\beta$$

$$D=K.L.\cos^2\beta$$

$$D=K.L.\sin^2 Vz \quad .....(1)$$

وهي العلاقة المستعملة لحساب المسافات الأفقية بدلالة ثابت الجهاز والقراءة الوسطى للخطوط الستاديومترية والزاوية الشاقولية.

كما يمكن حساب فرق الارتفاع (Δh) من خلال العلاقة الآتية:

$$\Delta h = D.\ cotg(Vz)+J-M$$

$$D = K.L.\cos^2\beta$$

$$\Delta h = K.L.\cos^2\beta\ cotg(Vz)+J-M$$

$$\Delta h = K.L.\sin(Vz)\ \cos(Vz)+J-M \quad .....(2)$$

يبين الجدول (6–7) مثالاً تطبيقياً لحساب المسافات الأفقية بطريقة غير مباشرة لمجموعة من النقاط لمضلع ABCD حيث قيست الزوايا الشاقولية والقراءات العلوية والسفلية على الميرا، وحساب المسافة الأفقية باستعمال العلاقة (1). ويمكن من خلال حساب ارتفاع الجهاز حساب فروق الارتفاعات أيضاً.

جدول 6–7 حساب المسافات الأفقية باستعمال الثيودوليت

التمركز	الاتجاه	الزاوية الشاقولية (gr)	قراءات الميرا (m)	المسافة الأفقية المحسوبة (m)
A	B	100.0064	1.580	36.00
			1.220	
	D	98.2675	2.861	87.04
			1.990	
B	C	100.1312	1.860	87.00
			0.990	
	A	99.3740	2.151	42.00
			1.790	
C	D	99.5492	1.770	36.00
			1.410	
	B	99.7855	2.480	87.00
			1.610	
D	A	99.8116	2.070	87.00
			1.210	
	C	100.1388	1.580	36.00
			1.220	

6–12 الثيودوليت الرقمي (Digital Theodolite)

تختلف مواصفات وتركيب أجهزة الثيودوليت الرقمي (الشكل 6–38) ودقته حسب الشركة المصنعة ورقم الإصدار أو الانتاج، ولكن تتميز الأجهزة الرقمية للثيودوليت بكونها سهلة العمل عليها بقراءة الزوايا والسرعة بإنجاز العمل وإمكانية ربطه بالحاسب ونقل الأرصاد وتخزين البيانات ضمن بطاقة (Memory card). لكن جهاز الثيودوليت الرقمي يعاني أيضاً من عيوب، أهمها سرعة تلفه مقارنة بالثيودوليت العادي (البصري)، وتعطله في حال نفاذ البطارية، ويحتاج إلى عناية ورعاية أكثر من الثيودوليت البصري، ويكون أكثر تأثراً بالظروف الجوية.

الشكل 6– 38 الثيودوليت الرقمي

6–13 أجزاء الثيودوليت الرقمي

يبين الشكل (6–39) أجزاء جهاز ثيودوليت رقمي من شركة سوكيا (Sokkia) نوع (DT 600)

1– مقبض يدوي لحامل الجهاز.

2– بزال أمان المقبض.

3– العلامة المساعدة بتحديد ارتفاع الجهاز.

4– غطاء أو حاوي البطارية.

5– لوحة المفاتيح.

6– اللوح الأساسي.

7– بزالات (مسامير) الحركة الأرضية.

8– بزالات (مسامير) ضبط فقاعة التسوية الدائرية.

9– فقاعة التسوية الدائرية.

10– الشاشة (شكل 6–40).

11– عدسات التسامت البصري.

12–غطاء لعدسة التسامت.

13– حلقة توضيح الرؤية للتسامت.

14– عدسة التسديد (العدسة الشيئية).

15– مخزن أنبوبي لإبرة البوصلة.

16– بزال الحركة الأفقية السريعة.

17– بزال الحركة الأفقية البطيئة.

18– الشريحة الزجاجية الاسطوانية لفقاعة التسوية.

19– بزال لفك فقاعة التسوية الأسطوانية وتركيبها وتثبيتها.

20– بزال الحركة الرأسية السريعة.

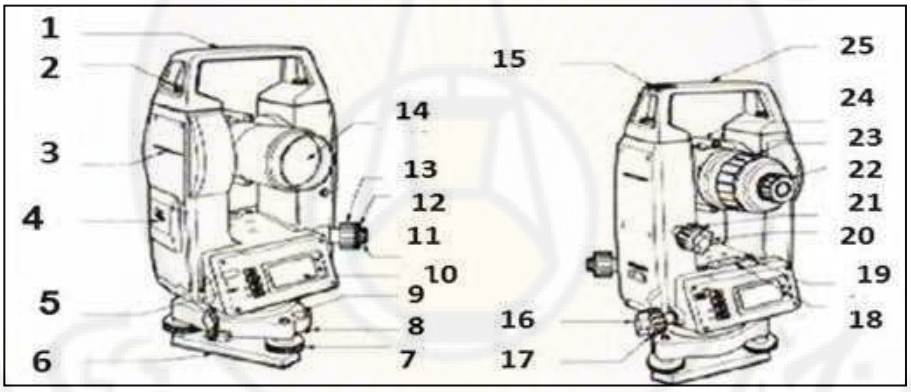
21– بزال الحركة الرأسية البطيئة.

22– عدسة المنظار (العدسة العينية).

23– حلقة التكبير (التوضيح).

24– ثقب التوجيه الخارجي.

25– علامة مركز الجهاز.



الشكل 6– 39 أجزاء الثيودوليت الرقمي

الشكل 6– 40 شاشة الثيودوليت الرقمي

6–14 مصادر قياس الأخطاء في قياسات الزاوية

يمكن إرجاع مصادر الأخطاء المرتكبة بقياسات الثيودوليت إلى المصادر التالية:

1– **الأخطاء الشخصية:** تشمل خطأ التسامت وعدم دقة التوجيه وعدم دقة القراءة وخطأ الوضع.

2– **الأخطاء الطبيعية:** تشمل شدة الرياح وارتفاع درجة الحرارة وانكسار الضوء وسقوط اشعة الشمس على الجهاز.

3– **الأخطاء الآلية:** تشمل عدم استقرار الجهاز وعدم تعامد المحور الرأسي على الدائرة الأفقية وعدم انطباق مركز الدائرة الأفقية مع محور دوران الجهاز وعدم تساوى اقسام الدائرة الأفقية وخطأ الانزلاق أو الزحف والخطأ الناتج عن ميل المحور الأفقي.

6–15 الأخطاء النظامية لقياسات الثيودوليت

عند قياس قيمة أي اتجاه زاوي سيكون حاملاً للخطأ (سواء من الجهاز أو الراصد أو الظروف الجوية). ولنرمز له بالرمز (a) بينما قيمة الاتجاه الصحيحة الخالية من الخطأ نرمز لها (r) وقيمة الخطأ بالرمز (Δe_i)، ومن ثمَّ يمكن تمثيل العلاقة بينهم من خلال:

$$a_i = r_i + \Delta e_i \quad \text{.....(3)}$$

حيث إن :

Δe_i: كمية الأخطاء المرتكبة.

a_i: الاتجاه المقيس غير المصحح.

$\mathbf{r_i}$: الاتجاه المصحح.

إن هذه الأخطاء تقوم بالتأثير على كل من الاتجاهين، ومن ثمَّ وحسب العلاقة (3) :

يكون الاتجاه الأول: $a_1 = r_1 + e_1 \Rightarrow r_1 = a_1 - e_1$

ويكون الاتجاه الثاني: $a_2 = r_2 + e_2 \Rightarrow r_2 = a_2 - e_2$

وباعتبار أن الزاوية (a) هي حاصل طرح الاتجاهين ($a=r_2-r_1$) فيكون :

$$a = r_2 - r_1 = a_2 - a_1 + (e_1 - e_2)$$

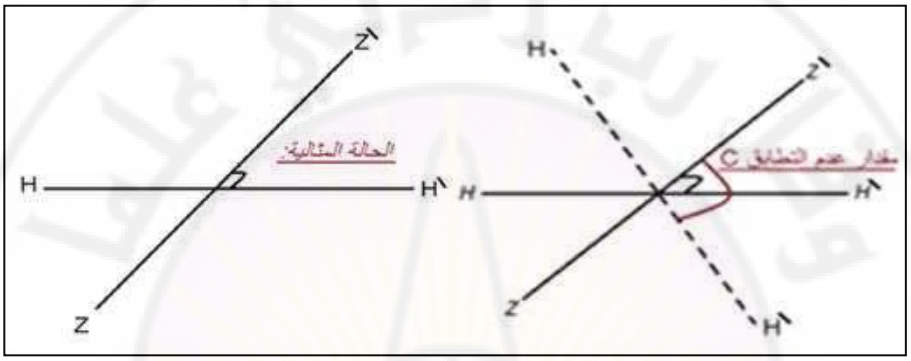
$$a = r_2 - r_1 = a_2 - a_1 - (e_2 - e_1)$$

$$a = r_2 - r_1 = a_2 - a_1 - \Delta e$$

وفيما يأتي أهم الاخطاء النظامية الناجة عن قياسات الزوايا بجهاز الثيودوليت:

6–15–1 الخطأ الناتج عن عدم تعامد المحور الثانوي ('HH) مع محور التسديد ('ZZ) أو خطأ عدم التطابق

من أسباب هذا الخطأ الاستعمال الطويل للجهاز، أو تعرض الجهاز لصدمة قوية اثناء التنقل والعمل الحقلي. وهذا الخطأ موضح بالشكل (6–41).



الشكل 6– 41 خطأ عدم التطابق

يعطى تأثير خطأ عدم التطابق على أي اتجاه أفقي مقيس بالعلاقة :

$$e_c = \frac{C}{\cos\beta} \quad \text{.....(4)}$$

حيث إن :

C : مقدار عدم التطابق (مقدار ثابت يتعلق بالجهاز تتراوح قيمته بين(cc 20–0).

β : زاوية الارتفاع عن الأفق (بين المستوي الأفقي ومستوي توجيه النظارة) وتقاس بالغراد (grad). ونحصل على هذه الزاوية من خلال طرح الزاوية السمتية (الشاقولية) من 100 غراد (المتشكلة مع أفق الجهاز).

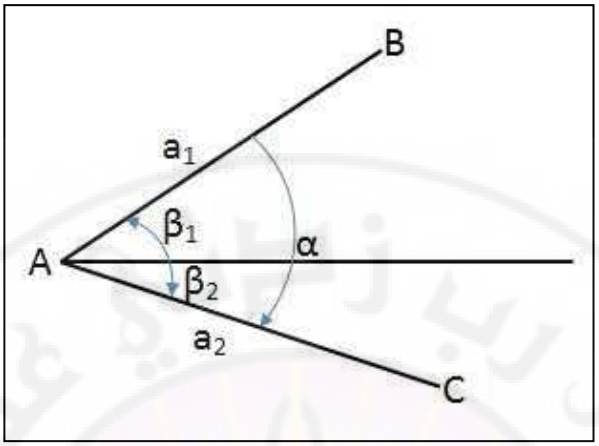
من الشكل (6–42) وبالعودة للعلاقة (3) تعطى الزاوية المصححة من خطأ عدم التطابق بالعلاقة التالية:

$$a_1 = r_1 + e_1 \Rightarrow r_1 = a_1 - \frac{C_1}{\cos\beta_1}$$

$$a_2 = r_2 + e_2 \Rightarrow r_2 = a_2 - \frac{C_2}{\cos\beta_2}$$

$$a = r_2 - r_1 = a_2 - a_1 + (e_1 - e_2)$$

$$a = r_2 - r_1 = a_2 - a_1 + C\left(\frac{1}{\cos\beta_1} - \frac{1}{\cos\beta_2}\right)$$



الشكل 6– 42 رصد الاتجاهات وخطأ عدم التطابق

يختلف تأثير هذا الخطأ باختلاف زاوية الارتفاع عن الأفق (β)، فعندما تكون هذه الزاوية أفقية (β=0) يكون تأثير الخطأ مساوياً مقدار عدم التطابق (cosβ=1)، وكلما كبرت زاوية الارتفاع عن الأفق صغرت قيمة الخطأ.

يُحذف خطأ عدم التطابق من خلال الدوران المضاعف حيث يُقاس الاتجاهات بالوضعين: الجالس أو المتياسر (الوضع الأول) للنظارة و الوضع المعاكس أو المتيامن (الوضع الثاني) والذي نحصل عليه من تدوير الأليداد نصف دورة وقلب النظارة .

ويمكن حذف خطأ عدم التطابق من خلال تصحيح الجهاز نفسه باتباع الخطوات الآتية:

1– نختار نقطتين (A) و(B) على أرض شبه أفقية المسافة بينهما (50–100 m) وعلى أن تكون النقطة B واقعة في أفق الجهاز أي (β=~0)، ومن ثمَّ (e_c=C).

2– يُسدد من A بجهاز الثيودوليت على النقطة B وتؤخذ قراءة الاتجاه الأفقي (a_1) بالوضع الأول.

3– يُدوّر الأليداد نصف دورة (200 grad) وتُقلب النظارة ومن ثم التسديد على النقطة (B) نفسها بالوضع الثاني للمنظار (a_2).

4– يتم إيجاد الاتجاه المصحح من الأخطاء بواسطة قراءات الوضعين من العلاقة :

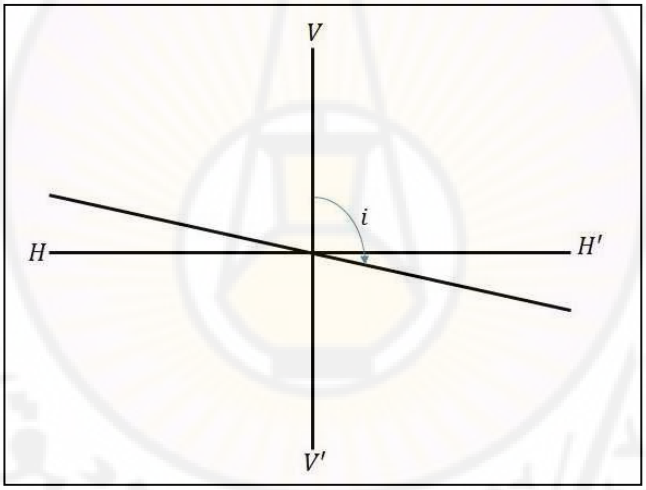
$$r = \frac{a_1 + (a_2 \pm 200)}{2} \quad \text{..... (5)}$$

5– تُدخل القراءة الصحيحة (r) على الجهاز فيلاحظ أنّ خطوط المحكمة قد ابتعدت عن وضعية تنصيف الهدف.

6– تعاد خطوط المحكمة إلى وضعية تنصيف الهدف عن طريق التأثير في بزال خاص بهذه الحركة عندها يتم تصحيح الجهاز من خطأ عدم التطابق.

6–15–2 الخطأ الناتج عن عدم تعامد المحور الثانوي ('HH) مع المحور الرئيسي ('VV) ويسمى (خطأ الميل)

من أسباب هذا الخطأ الاستعمال الطويل للجهاز أو تعرض الجهاز لصدمة قوية اثناء التنقل والعمل الحقلي، وهذا الخطأ موضح بالشكل (6–43).



الشكل 6– 43 خطأ الميل

وتعطى قيمة هذا الخطأ من العلاقة :

$$e_i = i \times tg\beta_i \quad \text{..... (6)}$$

حيث إن :

i : مقدار الميل

β : زاوية الارتفاع عن الأفق

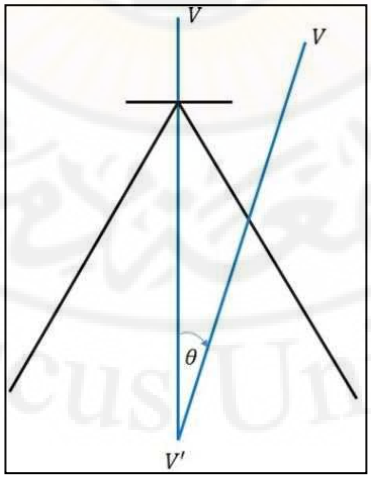
من الشكل (6–43)، وبالعودة للعلاقة (3) تعطى الزاوية المصححة من خطأ الميل بالعلاقة التالية:

$$a_1 = r_1 + e_1 \Rightarrow r_1 = a_1 - i \times \tan \beta_1$$
$$a_2 = r_2 + e_2 \Rightarrow r_2 = a_2 - i \times \tan \beta_1$$
$$a = r_2 - r_1 = a_2 - a_1 + (e_1 - e_2)$$
$$a = r_2 - r_1 = a_2 - a_1 + i \times (\tan \beta_1 - \tan \beta_2)$$

يتم حذف خطأ الميل من خلال الدوران المضاعف إذ يقاس الاتجاه بالوضعين، كما يحذف خطأ الميل من خلال تصحيح الجهاز نفسه باتباع نفس الخطوات التي ذكرت بتصحيح خطأ عدم التطابق.

6–15–3 خطأ عدم شاقولية المحور الرئيسي:

إن خطأ عدم شاقولية المحور الرئيسي الموضح بالشكل (6–44) قد يكون سببه تصنيعياً لخلل في معايرة زئبقية الجهاز، وقد يكون نتيجة عدم انتباه الراصد أثناء العمل الحقلي عن طريق تحريك الركيزة عن غير قصد، أو هبوط إحدى أرجل الركيزة بالأرض الرخوة أو بسبب تأثير حرارة الشمس أثناء العمل.



الشكل 6– 44 خطأ عدم شاقولية المحور الرئيسي

يعطى هذا الخطأ من العلاقة:

$$e_\theta = \theta \times \sin a \times \tan \beta \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (7)$$

حيث إن :

θ: مقدار انحراف المحور الرئيسي عن الشاقول.

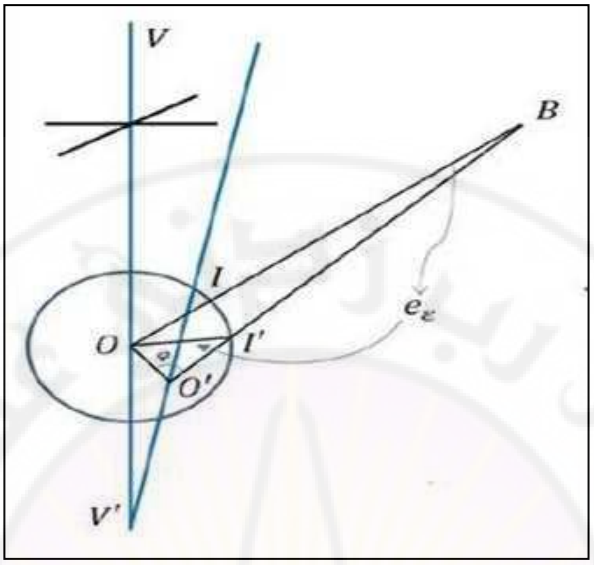
a : قياس الاتجاه.

β : زاوية الارتفاع عن الأفق.

يلاحظ من هذا الخطأ أنه لا يمكن حسابه بغير معرفة قياس الاتجاه بعكس الخطئين السابقين. لا يحذف هذا الخطأ بالدوران المضاعف ولا بتصحيح جهاز القياس نفسه، بل يمكن التقليل من تأثيره بواسطة إعادة الجهاز للمصنع لمعايرته من جديد، أو زيادة الانتباه أثناء الرصد وتثبيت أرجل الركيزة وعدم تحريكه واستعمال مظلة واقية من أشعة الشمس أثناء العمل بالصيف.

6–15–4 خطأ عدم مرور المحور الرئيسي من المركز الهندسي للقرص الصلب (خطأ اللامركزية):

عند قياس الاتجاه الأفقي أو الزاوية نقوم بالتمركز فوق النقطة وضبط زئبقيات الجهاز أي جعل (VV') شاقولياً تماماً، ثم نوجه النظارة على النقطة (B). بالحالة المثالية، وعندما يمر المحور الرئيسي من مركز القرص (O) تماماً، تؤخذ القراءة عند النقطة (I)، لكن عملياً وعلى الرغم من التطور التقني، لم يستطع مصنعو الأجهزة أن يجعلوا المحور الرئيسي يمر تماماً من (O)، ومن ثمَّ يمر من نقطة قريبة (O')، وتؤخذ القراءة عند (I') بدلاً من (I)، ويرتكب خطأ بسبب اللامركزية في كل اتجاه أفقي يقاس هو (e_ε)، والذي يعبر عنه بالمسافة الصغيرة (OO') (أجزاء من الميلمتر)، ويطلق عليه (مقدار اللامركزية). يطلق على الزاوية بين الاتجاه المرصود و (OO') بالزاوية المركزية أما المسافة بين (O) إلى (I) فتسمى بنصف القطر (R)، كما يظهر بالشكل (6–45).



الشكل 6– 45 خطأ اللامركزية

من المثلث (OO'l')، وبحسب خاصية الجيوب نجد:

$$\frac{\sin e_\varepsilon}{e} = \frac{\sin \varphi}{R}$$

وباعتبار الزاوية (e_ε) صغيرة جداً يمكن الباسها بظلها أي أن :

$$\sin e_\varepsilon \cong e_\varepsilon = \frac{e}{R}\sin \varphi$$

وهو تأثير خطأ اللامركزية على كل اتجاه أفقي مقيس.

لتجانس الواحدات (لاحظ أننا نحسب قيمة زاوية باستعمال واحدات طولية، ومن ثمَّ نتيجة الحساب يجب أن تكون مقدرة بالراديان، ولتحويلها للغراد نستعمل عامل التحويل بين الراديان والغراد أو بين الراديان والدقائق والثواني الغرادية كما يلي:

$$200(gr) = \pi(rad)$$
$$\rho(gr) = 1(rad)$$
$$\Rightarrow \rho = \frac{200}{\pi} = 63.6691gr$$
$$\Rightarrow \rho^C = 6366.19^C$$
$$\Rightarrow \rho^{CC} = 64\times 10^{4CC}$$

فتصبح علاقة حساب خطأ اللامركزية معبراً عنها بالعلاقة :

أو :

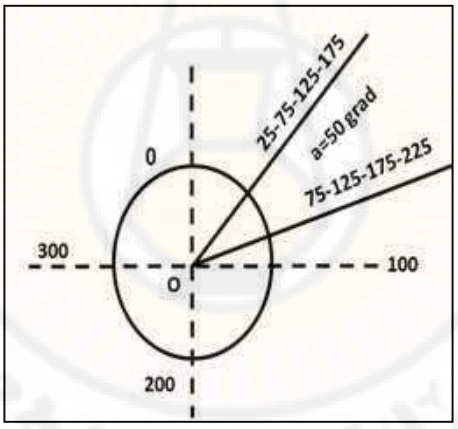
$$e_{\varepsilon} = \rho \times \frac{e}{R} \times \sin\varphi$$

$$e_{\varepsilon}^{CC} = \rho^{CC} \times \frac{e}{R} \times \sin\varphi \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (8)$$

يُحذف هذا الخطأ بالدوران المضاعف.

6–15–5 خطأ عدم انتظام تدريجات القرص الأفقي

هذا الخطأ عرضي ونظامي بآن واحد. عرضي بالشكل (شكل وقوعه) ونظامي لإمكانية حذفه، وذلك بتكرار قياس الزاوية عدداً (n) من المرات بشرط أن نبدأ بقيمة للاتجاه الأول مساوية تقريباً لقيمة الاتجاه الثاني في كل مره نعيد فيها عملية القياس كما يظهر بالشكل (6–46).



الشكل 6– 46 تكرار القياسات لحذف خطأ عدم انتظام تدريجات القرص

ومن ثمَّ تكون قيمة الزاوية :

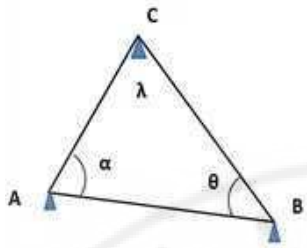
$$\bar{a} = \frac{\sum a_i}{n} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (9)$$

حيث إن n: هو عدد مرات تكرار القياس.

6–16 أمثلة تطبيقية عن الأخطاء النظامية لقياسات الثيودوليت

<u>مثال (1)</u>

قيست الاتجاهات الأفقية المحددة بزوايا المثلث المبين بجهاز ثيودوليت يحمل الأخطاء التالية:



– خطأ عدم التطابق $C= 3^c$

– خطأ ميل محور دوران المنظار $i=400^{cc}$

والمطلوب:

1– احسب زوايا المثلث خالية من تأثير هذه الأخطاء

2– احسب خطأ الإغلاق على هذا المثلث وهل هذا الخطأ مقبول أو لا.

الحل :

1– نستفيد من العلاقات (4) و (6) :

$$e_c = \frac{C}{\cos\beta}$$

$$e_i = i \times tg\beta_i$$

$$e_i = e_{c_i} + e_{i_i}$$

$$r_i = a_i - e_i$$

$$\alpha = r_{i+1} - r_i$$

نطبق العلاقات السابقة ضمن الجدول التالي:

الاتجاه المقيس	قيمة الاتجاه (gr)	B (gr)	e_c(gr)	e_i(gr)	$e=e_c+e_i$	r_i (gr)	α (gr) مصححة
AB	245.0438	–40.50	0.0313	–0.0295	0.0078	245.0360	55.1300
AC	300.2152	25.15	0.0325	0.0167	0.0492	300.1660	
BC	0.0000	–60.25	0.513	–0.0555	–0.0042	0.0042	65.3783
BA	65.4493	40.50	00.0373	0.0295	0.0668	65.3825	
CA	173.6457	–25.15	0.0325	–0.0167	0.0158	173.6299	79.5093
CB	253.2460	60.25	0.0513	0.0555	0.1068	253.1392	

2– نحسب خطأ الاغلاق ونقارنه بحد التساهل (سيذكر ذلك بالتفصيل بالفصل اللاحق):

$$f = 200 - (55.1300 + 65.3783 + 79.5093)$$

$$f = -0.0176gr \le f_{\max} = \pm 3\sqrt{n} = \pm 0.03\sqrt{3} = 0.5196gr$$

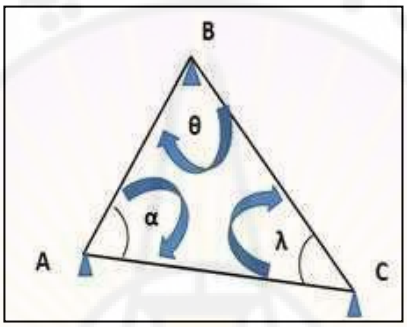
حيث n: عدد زوايا المضلع (المثلث بحالتنا). ومن ثمَّ الخطأ مقبول لكونه أصغر من حد التساهل.

مثال (2):

قيست زوايا مثلث بجهاز ثيودوليت يحمل الأخطاء التالية:

– خطأ عدم التطابق $C= 3^c$

– خطأ ميل محور دوران المنظار $i=5^c$



(انتبه لاتجاهات الأسهم التي توضح ترتيب عملية الرصد).

فإذا كانت الزوايا الأفقية معطاة كالتالي:

$$\alpha = 65.2845\,gr$$
$$\theta = 72.0628\,gr$$
$$\lambda = 62.6481\,gr$$

و الزوايا الشاقولية:

$$\beta_A^B = 35.20\,gr, \beta_A^C = 20.05\,gr, \beta_B^C = 42.18\,gr$$
$$\beta_B^A = -35.20\,gr, \beta_C^A = -20.05\,gr, \beta_C^B = -42.20\,gr$$

المطلوب:

1– احسب الزوايا الخالية من هذه الأخطاء.

2– احسب خطأ الإغلاق على هذا المثلث، وهل هذا الخطأ مقبول أو لا.

الحل:

نستفيد من تطبيق العلاقات التالية ضمن جدول الحل:

$$e_c = \frac{C}{\cos\beta}$$
$$e_i = i \times tg\beta_i$$
$$e_i = e_{c_i} + e_{i_i}$$
$$\Delta e = e_2 - e_1$$
$$\bar{a} = a - \Delta e$$

الاتجاه المقيس	B (gr)	e_c(gr)	e_i(gr)	$e=e_c+ e_i$	Δe(gr)	a(gr) مصححة	a''(gr)
AB	35.20	0.0353	0.0309	0.0662	−0.0183	65.3028	65.2686
AC	20.05	0.0316	0.0163	0.0479			
BC	42.18	0.0381	0.0390	0.0771	−0.0727	72.1355	72.1013
BA	−35.20	0.0353	−0.0309	0.0044			
CA	−20.05	0.0316	−0.0163	0.0153	−0.0162	62.6643	62.6301
CB	−42.20	0.0381	−0.0390	−0.0009			

2- نحسب خطأ الاغلاق ونقارنه بحد التساهل (سيذكر ذلك بالتفصيل بالفصل اللاحق):

$$f = 200 - (65.3028 + 72.1355 + 62.6643)$$
$$f = -0.1026\,gr \le f_{\max} = \pm 3\sqrt{n} = \pm 0.03\sqrt{3} = \pm 0.5196\,gr$$

حيث n : عدد زوايا المضلع (المثلث بحالتنا) . ومن ثمَّ الخطأ مقبول كونه أصغر من حد التساهل

يمكن توزيع الخطأ بالتساوي، ومن ثم حساب الزوايا المصححة مجدداً خالية من خطأ الإغلاق.

$$\bar{\alpha} = \alpha + \frac{-0.1026}{3} = 65.3028 - 0.0342 = 65.2686\text{gr}$$
$$\bar{\theta} = \theta + \frac{-0.1026}{3} = 72.1355 - 0.0342 = 72.1013\text{gr}$$
$$\bar{\lambda} = \lambda + \frac{-0.1026}{3} = 62.6643 - 0.0342 = 62.6301\text{gr}$$

مثال (3):

قسنا الاتجاهات الأفقية المحددة لزاوية بجهاز الثيودوليت يحمل الأخطاء التالية:

– خطأ عدم التطابق $C=3^c$

– خطأ ميل محور دوران المنظار $i=2^c$

– خطأ انحراف المحور الرئيسي عن الشاقول $\theta=2^c$

– الاتجاه الأول المقيس : $a_1=125.2648\ gr$، $\beta_1=75.85\ gr$

– الاتجاه االثاني المقيس : $a_2=196.0886\ gr$، $\beta_2=-25.15\ gr$

المطلوب: احسب قيمة هذه الزاوية خالية من تأثير هذه الأخطاء.

الحل:

نقوم بتصحيح كل اتجاه على حدة، ثم نحصل على الزاوية المصححة من طرح الاتجاهين المصححين.

الاتجاه المقيس	قيمة الاتجاه (gr)	B (gr)	e_c	e_i	e_θ	$e=\sum e_i$	a_i-e	a(gr) مصححة
a_1	125.2648	75.85	0.0810	0.1003	0.0463	0.2276	125.0372	71.0361
a_2	196.0886	–25.15	0.0325	–0.0167	–0.0005	0.0153	196.0733	

أو نقوم بحساب الزاوية الحاملة للخطأ ثم نطرح منها فرق الأخطاء كما يلي:

$$a = a_2 - a_1 = 196.0886 - 125.2648 = 70.8238\,gr$$
$$\Delta e = e_2 - e_1 = 0.0153 - 0.2276 = -0.2123\,gr$$
$$\bar{a} = a - \Delta e = 70.8238 - (-0.2123) = 70.0361\,gr$$

17–6 جهاز المحطة المتكاملة (Total Station)

يعتبر جهاز توتال ستيشن بديل لجهازي الثيودوليت والتاكيومتر، وبإمكانه ليس فقط أخذ قياسات الزوايا، بل قياس المسافات بسرعة ودقة جيدة. بالإضافة إلى ذلك يستطيع إجراء حسابات مع نتائج قياسات الزوايا والمسافات وإظهار النتائج بشكل فوري. إن المظهر الخارجي للجهاز

قريب من جهاز الثيودوليت الإلكتروني مع إضافة قياس المسافات إلى هذا الجهاز. ولأن هذا الجهاز يستطيع قياس الزوايا والمسافات، يُستعمل في أعمال عدة نذكر منها:

1- أعمال المسح الطبوغرافي.

2- أعمال المسح الهيدروليكي.

3- أعمال الإنشاء الهندسي.

من أهم خصائص أجهزة التوتال ستيشن:

1- قياس المسافات بشكل إلكتروني.

2- قياس الزوايا بشكل إلكتروني.

3- معالج او كمبيوتر لإجراء حسابات القياسات الأخرى بشكل غير مباشر عبر مجموعة من البرامج المساحية.

5- اختيار واحدات القياس وإجراء التصحيحات الناتجة عن العوامل الجوية كالحرارة والضغط.

من هذه المعلومات يستطيع الجهاز حساب مايلي:

1- المسافات الأفقية.

2- المسافات الشاقولية.

3- الارتفاعات.

4- إحداثيات النقاط.

5- المساحات (في بعض الأجهزة المتطورة).

بالإضافة إلى قياس الزوايا والمسافات يقوم معالج الجهاز بإنجاز أنواع عدة من الحسابات، منها:

1- حساب متوسط قياسات الزوايا والمسافات.

2- تصحيح المسافات المقيسة إلكترونياً من أجل ثابت الموشور والضغط الجوي والحرارة.

3- إجراء تصحيحات الانحناء والانعكاس للارتفاعات.

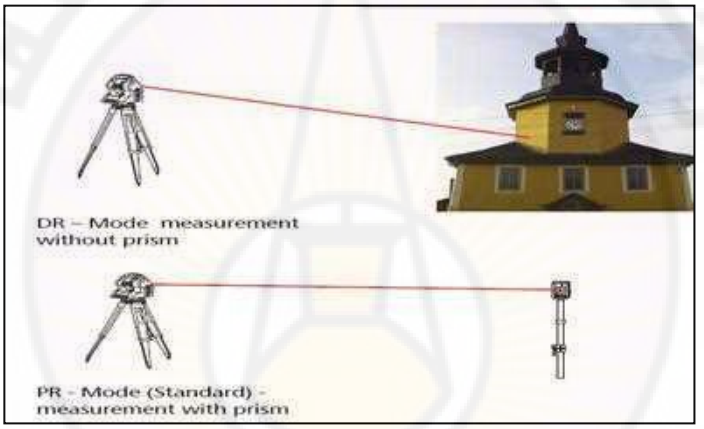
4- إعادة المسافات المائلة إلى مكوناتها الأفقية والشاقولية (إسقاطاتها).

5- حساب ارتفاعات النقط من مكونات المسافات الشاقولية.

6- حساب الإحداثيات المساحية للنقاط من الزوايا الأفقية والمكونات الأفقية للمسافات.

18–6 أنواع أجهزة المحطة المتكاملة

توجد شركات عالمية متعددة في تنافس مستمر لإنتاج أحدث أجهزة المحطة المتكاملة أو التوتال ستيشن وزيادة دقة رصد الزوايا والمسافات. وتتنافس هذه الشركات أيضاً بإنتاج البرامج المساحية الخاصة بتلك الأجهزة. فعلم الأجهزة المساحية بحالة تطور مستمر لما له من أهمية بمختلف الأعمال الهندسية. هنالك نوعان رئيسيان لأجهزة المحطة المتكاملة: أجهزة تعتمد على العاكس الموشوري بالرصد وأجهزة تستطيع الرصد بوجود عاكس أو بدونه كما يظهر بالشكل (6–47). وقد يكون العاكس ورقياً أو بشكل موشور كما يظهر بالشكل (6–48).



الشكل 6– 47 الرصد المباشر أو الرصد بالعاكس

الشكل 6– 48 أنواع العواكس

تبين الأشكال من (6–49) إلى (6–53) مجموعة من أنواع هذه الأجهزة التي لا يمكن حصرها.

الشكل 6– 49 أجهزة Topcon G T S– 600AF

الشكل 6– 50 جهاز Nikon DTM 821

الشكل 6– 51 جهاز سوكيا Sokkia Set SA

الشكل 6– 52 جهاز Leica TC307

الشكل 6– Trimble 3303 DR 53

وتشترك معظم هذه الأجهزة **بمواصفات عامة** يمكن تلخيصها بما يلي:

– التمركز الضوئي بواسطة العدسة أو الليزر.

– يمكن استعمال إشارة صوتية لتدل أن القياس قد تم أو بحالة عدم التوازن وضبط الفقاعة.

– مزودة بمخرج لنقل المعلومات إلى الحاسب (COM).

– استنتاج عامل تصحيح الشروط الجوية بشكل آلي بعد إدخال درجة الحرارة والضغط الجوي لتصحيح المسافة مباشرة ضمن النتائج.

– يعمل الجهاز ضمن درجات حرارة تتراوح بين –20 إلى+50 درجة مئوية.

– لا تتأثر المعلومات المخزنة بذاكرة الجهاز أو وحدات التخزين عند ايقاف عمل الجهاز أو نفاذ البطارية وتبقى المعلومات ضمن الذاكرة لمدة سنة كاملة من دون أن تتأثر.

– إمكانية ترقيم النقطة وترميزها بالأحرف والأرقام والرموز حتى 27 خانة (Point &Code number).

– تعديل البرمجيات ضمن الجهاز وتحديث البرمجيات عند صدور النسخ الجديدة (Update & Upgrade).

– يجب تبديل البطارية عند ظهور رسالة وإطفاء الجهاز قبل نزع البطارية.

– أثناء القياس يتم التسديد على مركز الموشور، ويجب التأكد من أن كافة الإدخالات صحيحة لتجنب الأخطاء.

– يستعمل زر القياس (MEAS) لأخذ قياس الزوايا والمسافات.

– كل الأجهزة تتطلب إدخال ارتفاع الجهاز وارتفاع العاكس وإحداثيات نقطة التمركز.

يظهر الجدول (6–8) دقة بعض أنواع أجهزة المحطة المتكاملة.

جدول 6–8 دقة بعض أنواع أجهزة المحطة المتكاملة

الجهاز	نوع القياس	المجال m(Rang)	دقة المسافات mm	دقة الزوايا (بالثانية الغرادية)
Trimble SX10	مع موشور (Prism) (Prism)	1–5500	1mm+1.5 ppm	1 "
	بدون عاكس (Dr)	1–800	2mm+1.5 ppm	
Leica FlexLine TS03_TS07	Prism	1.5–3500	1 mm+1.5 ppm	2"–5"
	Dr	1–500	2 mm+2 ppm	
Leica FlexLine TS02plus	Prism	3500	1.5 mm+2ppm	3"–7"
	Dr	250	2mm+2ppm	
Leica Nova MS60 multistation	Prism	1.5–10000	1 mm+1.5ppm	1"
	Dr	1.5–2000	2mm+2ppm	
Leica Nova TM50	مع موشور (Prism)	1.5–3500	0.6mm+1 ppm	0.5"–1 "
	Dr	1.5–1000	2mm+2 ppm	
Leica Nova TS60	Prism	1.5–3500	0.6 mm+1 ppm	0.5"
	Dr	1.5–1000	2 mm+2 ppm	
Leica iCON iCR70 Robotic	Prism	1.5–3500	1 mm+ 1.5ppm	2"–5"
	Dr	1.5–500	2mm+2ppm	
Leica FlexLine TS06plus	Prism	1.5–10000	1.5 mm+2ppm	1"–7"
	Dr	1.5–500	2 mm+2ppm	

6–19 الأجزاء الرئيسة لأجهزة المحطة المتكاملة

هناك عدة أنواع من أجهزة التوتال ستيشن في الأسواق وتشترك هذه الأجهزة مع بعضها بالمبادىء العامة للعمل، وتختلف فيما بينها من ناحية دقة القياس والمصطلحات المستعملة بالبرامج وعدد البرامج المستعملة وأعمال لوحة المفاتيح وذلك حسب الشركة المصنعه، وحسب مقدار تطور الجهاز ومواصفاته الفنية. تحتوي معظم أجهزة المحطة المتكاملة على الأجزاء التالية:

1– شعيرة التسديد Optical sight

2– إشارة محور الارتفاعات.

3– التحكم بالتصغير والتكبير لنظارة التسديد Focussing telescope

4– العدسة العينية Eyepiece

5– بزال الحركة الشاقولية Vertical drive

6– الشاشة display

7– اتصال الجهاز مع الكمبيوتر.

8– لوحة المفاتيح Key

9– بزال الحركة الأفقية Horizontal drive

10– بزالات التثبيت (بزالات التسوية) Foot screw

11– موجه المنظار مع الواقي الشمسي.

12– ظفر تثبيت البطارية والبطارية.

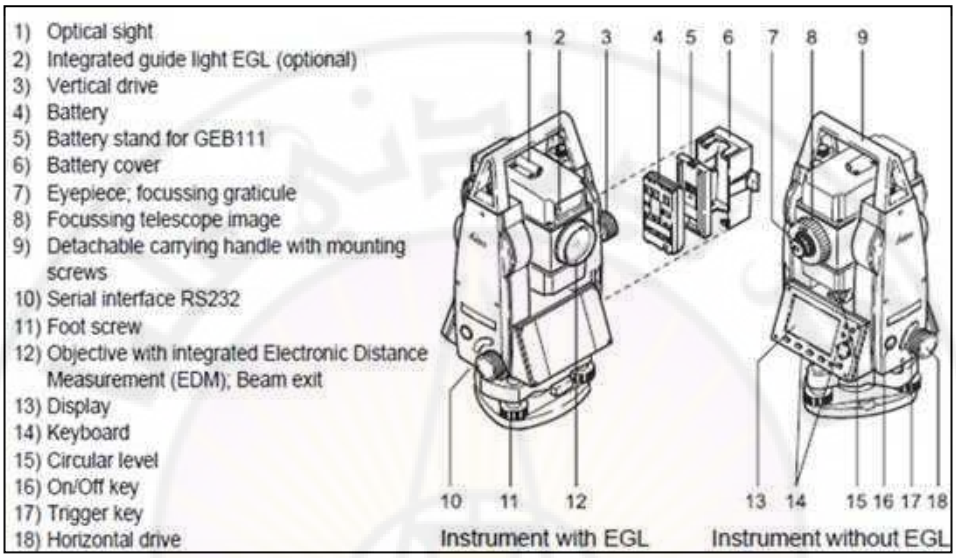
13– الزئبقية الكروية لقاعدة الجهاز (توازن ارجل الركيزه).

14– زر التشغيل والاغلاق On/Off key

15– الزئبقية الكروية للجهاز Circular level

16– بزال تثبيت الأليداد مع القاعدة.

يمثل الشكل (6–54) أهم أجزاء جهاز لايكا (Leica TC407/307)



الشكل 6– 54 أجزاء جهاز لايكا (TC407)

يظهر الشكل (6–55) أهم أجزاء جهاز المحطة المتكاملة من نوع ترمبل (Trimble 3303 DR).

هناك ملحقات خاصة لجهاز المحطة المتكاملة (الشكل 6–56) تشمل ما يلي:

– الموشور (Prism Pole) ويكون مثبتاً على حامل مزود ببعض الاحيان بمسطرة تقيس ارتفاعه.

– عواكس ورقية تستعمل بحالة الرصد المباشر على المبنى وتعذر استعمال الموشور.

– الركيزة الثلاثية الأرجل (Tripod) التي يوضع الجهاز عليها.

– قاعدة الحامل أو الترابيرخ (Tribrach).

– بطاريات الجهاز إضافة لبطاريات احتياطية بالإضافة إلى شاحن خاص لهذه البطاريات.

– وصلة كابل من نوع (COM) توصل الجهاز مباشرة للحاسب ويتم من خلالها نقل الارصاد ومعالجتها.

– بطاقة تخزين خارجي (External memory card) اضافة لبطاقة الذاكرة الداخلية.

الشكل 6– 55 أهم اجزاء جهاز ترمبل Trimble 3303 DR

الشكل 6– 56 ملحقات جهاز المحطة المتكاملة

الجزء الأهم في جهاز المحطة المتكاملة هو لوحة المفاتيح (Keypad) التي تختلف بين جهاز وآخر حسب الشركة المصنعة ونوع الجهاز. الشكل (6–57) يمثل لوحة مفاتيح جهاز (Leica TC307)

الشكل 6– 57 لوحة مفاتيح جهاز Leica TC307

حيث يظهر أن لوحة المفاتيح تتألف من مفاتيح ثابتة تضم ما يلي:

[PAGE] يتحول للصفحة التالية عندما تكون شاشة الحوار مؤلفة من أكثر من صفحه إذ يظهر عدد الصفخات إلى جانب عناوين كل صفحة حوار بأعلى الشاشة.

[MENU] القائمة تضمن الدخول إلى البرامج والإعدادات وغدارة البيانات ومعلومات النظام ونقل البيانات وعوامل الاتصال والتعديلات.

[USER] هو مفتاح يقوم المستعمل ببرمجته من إحدى الأوامر المستعملة بقائمة المفتاح FNC

[FNC] يسمح بالدخول للتعليمات الخاصة بتوازن الجهاز وإضاءة الشاشه أو عدمها وتغيير الواحدات المستعمله وغيرها.

[ESC] للتراجع عن الأوامر أو الإدخالات. وللخروج لقائمة سابقة أو لمستوى أعلى.

الزر الأحمر: هو زر الإدخال **(The red arrow key is the ENTER key)** ويستعمل لتثبيت الإدخالات والانتقال للحقل التالي.

أما الأزرار المستعملة فتضم ثلاثة أزرار هي :

1– زر لوح التوجيه: يقوم لوح التوجيه بتحريك الشريط الفعال ضمن الشاشة بطريقة تشبه عمل الريموت كنترول التلفاز. يستعمل للتحكم بالمؤشر بوضعية الإدخال أو التعديل حيث تستعمل كالتالي: ▼ للحذف، ▲ لاضافة فراغ، ► and ◄ لتحريك المؤشر.

2– زر التشغيل: يوجد بالجهة اليمنى للجهاز، ويستعمل لتشغيل وإطفاء الجهاز.

3– زر القياس: يوجد بالجهة اليمنى للجهاز، وله ثلاث إعدادات (ALL، DIST، OFF) يتم برمجتها واختيار أحدها من إعدادات القائمة. هذا الزر يحتاج للانتباه فمجرد ضغطه عن غير قصد يمكن أن يقوم بأخذ قياسات لا لزوم لها، ومن ثمَّ ينصح أن يبقى مطفأً وغير مستخدم.

أما لوحة مفاتيح جهاز (Trimble 3303) فتتألف من سبعة مفاتيح يمكن إنجاز كافة الأعمال بواسطتها بمنطق سهل، حيث تظهر الأوامر في أسفل الشاشة على السطر الأخير، وحسب موقع الأمر يُضغط على المفتاح المقابل للأمر لتنفيذه كما يظهر بالشكل (6–58).

عند تشغيل الجهاز تظهر قائمتين كما هو موضح بالشكل (6–59).

القائمة الأولى : يتم اختيار نوع القياس حسب الأوامر الموجودة أسفل الشاشة وهي:

–الثيودوليت.

2–المسافة الأفقية مع الزاوية الأفقية وفرق الارتفاع.

3–المسافة الشاقولية مع الزاويتين الأفقية والشاقولية.

4–الإحداثيات المحلية.

5–تصفير الزاوية الأفقية.

6–قفل الزاوية الأفقية.

7–إدخال ارتفاع العاكس والجهاز.

1و2و3و4و5	تحدد أعمال المفتاح من خلال الأوامر الموجودة أسفل الشاشة
ON	تشغيل الجهاز
MEAS	القيام بكافة القياسات
ON+○–	إظهار نقطة التسديد بواسطة الليزر
ON+MENU	إظهار القائمة الرئيسية
ON+PNr	إدخال أرقام النقاط المسجلة في ذاكرة الجهاز
ON+EDIT	حجم الذاكرة المتبقية وكمية الطاقة الموجودة في البطارية
ON+DR	تفعيل القياس بواسطة الليزر
ON&OFF	إطفاء الجهاز

الشكل 6– 58 لوحة مفاتيح جهاز Trimble 3303

الشكل 6– 59 قوائم تشغيل جهاز Trimble 3303

القائمة الثانية : يتم اختيار نوع القياس حسب الأوامر الموجودة أسفل الشاشة وهي:

1–اختيار واحدات القياس للزوايا والمسافات.

2–اختيار اتجاه الزوايا الأفقية.

3–التحقق من عمل المعدل وتصحيح أخطاء القرصين الأفقي والشاقولي آلياً.

ملاحظة: أثناء القياس قد تختفي الأرقام بعد الفاصلة يجب التأكد من توازن الزئبقيات، وقد صممت هذه الميزة لعدم متابعة العمل في حال اختلال توازن الجهاز (يجب تشغيل المعدل الآلي لاستعمال هذه الميزة) وعند خروج الجهاز عن مجال العمل فإنه لا يقيس ويظهر رسالة تدل على عدم تحقيق أفقية الجهاز.

6–20 بعض المصطلحات المستعملة ببعض برمجيات أجهزة المحطة المتكاملة

تختلف الرموز والمصطلحات الدالة على الزوايا الأفقية والشاقولية والمسافات والإحداثيات بين جهاز وآخر حسب الشركة المصنعة. سنعرض مثالين توضيحيين لبعض الرموز المستعملة بجهاز لايكا (Leica TC307) وجهاز ترمبل (Trimble 3303) لإيضاح بعض هذه الفروق مع التأكيد على أن اختلاف هذه الرموز ليس ذي أهمية، لكن يجب الانتباه له بالعمل الحقلي وعند العمل على جهازين مختلفين لعدم حدوث التباس لدى الراصد .

قائمة مفاتيح النظام **Softkey** ضمن جهاز (Leica TC307/407) تتضمن :

[ALL] يقيس المسافات والزوايا ويقوم بحفظ القيم.

[DIST] يقيس المسافات والزوايا بدون حفظ النتائج.

[REC] يحفظ القيم الظاهرة (دائماً تتبع هذه التعليمة للتعليمة السابقة DIST لحفظ نتائج القياس.

[INPUT] تحذف القيم الحالية للإدخالات وتسمح بالإدخال اليدوي للقيم.

[ENH] تسمح بإدخال الإحداثيات.

[LIST] تُظهر قائمة النقاط المتوفرة.

[FIND] تستعمل للبحث عن نقطة محددة.

[EDM] يفتح إعدادات قائس المسافات الإلكتروني.

[IR/RL] تستعمل للتحويل بين وضعيتي القياس بالموشور (IR) أو بدون عاكس(RL).

[PREV] للعودة للحوار النشط السابق.

[NEXT] تستعمل للاستمرار بالحوار النشط التالي.

[STATION] إظهار معلومات نقطة التمركز (المحطة) للإدخال أو التعديل.

[SetHz] إظهار الزاوية الأفقية للإدخال أو التعديل.

[Hz=0] تصفير الزاوية الأفقية.

[SecBeep] إظهار إعدادات الرنيين للتعديل أو للتفعيل أو عدم التفعيل.

[I←] العودة لمفتاح النظام (Softkey) الأعلى.

[↓] الانتقال لمفتاح النظام التالي.

[OK] قبول الرسائل الظاهرة أو إعدادات الحوار أو لقبول إغلاق الحوار.

أما أهم الرموز المستعملة بجهاز (Trimble 3303) فتظهر بالجداول (6–9) إلى (6–11):

جدول 96 – بعض المصطلحات المستعملة في جهاز ترمبل Trimble 3303 (1)

الرمز	العمل
HD	المسافة الأفقية
xyh/yxh	الإحداثيات وفرق الارتفاع (نظام محلي)
neh/enh	الإحداثيات وفرق الارتفاع (نظام عالمي)
SD	المسافة المائلة
HzV	الزاوية الأفقية والشاقولية(ثيودوليت)
Hz=0	اتجاه الزاوية الأفقية يساوي الصفر
HOLD	قفل الزاوية الأفقية على اتجاه معين
END	إنهاء العمل ضمن مرحلة
th/ih	إدخال ارتفاع العاكس والمحطة
th	إدخال ارتفاع العاكس
ih/Zs	إدخال ارتفاع المحطة
→ 1	استدعاء الصفحة الأولى من قائمة القياسات
→ 2	ستدعاء الصفحة االثانية من قائمة القياسات
m	اختيار واحدة القياس بالمتر
ft	اختيار واحدة القياس بالقدم
grd	اختيار واحدة الزوايا بالغراد
DMS	اختيار واحدة الزوايا بالدرجة
deg	اختيار واحدة الزوايا بالدرجة العشرية
mil	اختيار واحدة الزوايا بالميل
V%	زاوية الارتفاع بالنسبة المئوية
V	السهم يشير إلى اتجاه زاوية السمت
V	السهم يشير إلى اتجاه الزاوية الأفقية

V←	السهم يشير إلى أتجاه زاوية الارتفاع
→Hz	اتجاه زاوية القرص الأفقي نحو اليمين

جدول 106 –بعض المصطلحات المستعملة في جهاز ترمبل Trimble 3303 (2)

الرمز	العمل
←Hz	اتجاه زاوية القرص الأفقي نحو اليسار
CHCK	أستدعاء قائمة الضبط
ESC	إنهاء عمل أو إلغاء قائمة فرعية
↑	اختيار السطر الأعلى من القائمة الرئيسة
↓	اختيار السطر الأدنى من القائمة الرئيسة
←	الاختيار نحو اليسار من السطر
→	الاختيار نحو اليمين من السطر
+	زيادة القيم
–	إنقاص القيم
MOD	نوعية العمل الظاهر على الشاشة
o.K	قبول الإدخالات
YES	قبول الميزة المختارة
NO	رفض الميزة المختارة واختيار حل آخر
Comp	وضعية المعدل
Co–0	إلغاء عمل المعدل
Co–1	وضع المعدل بالعمل
old	القيم القديمة الدخلة
new	إدخال القيم الجديدة
Rept	إعادة عملية معينة
l=0	تصحيح خطأ قرص الزوايا الشاقولية
c=0	تصحيح خطأ قرص الزوايا الأفقية
A	نقطة مرجعية أولى

B	نقطة مرجعية ثانية
C	نقطة مرجعية ثالثة

جدول 116 –بعض المصطلحات المستعملة في جهاز ترمبل Trimble 3303 (3)

الرمز	العمل
HD	حساب الإحداثيات مع الارتفاع وإدخالها بالذاكرة
HDh	حساب الإحداثيات مع الارتفاع وإدخالها بالذاكرة
Z	إدخال أرتفاع النقطة في الذاكرة (الإحداثيات)
Z–j	تغيير الإحداثيات مع الارتفاع
Z–n	تغيير الإحداثيات بدون الارتفاع
Test	أستدعاء الإحداثيات المقيسة
S–O	التحضير لقياس إحداثيات نقطة جديدة
Stat	بدء التمركز بإدخال الارتفاع
S	حساب الإحداثيات المجهولة لنقطة التمركز
Inp	إدخال عامل كروية الأرض في حال التمركز
Hz	إدخال سمت معين لنقطة التمركز
Disp	عرض أسطر التسجيل من الذاكرة
Del	حذف أسطر التسجيل من الذاكرة
Edit	تعديل الترقيم لأسطر التسجيل في الذاكرة
?	البحث عن سطر تسجيل معين في الذاكرة
?p	البحث عن رقم نقطة معينة في الذاكرة
?C	البحث عن كود نقطة معينة في الذاكرة
?A	البحث عن رقم سطر تسجيل معين في الذاكرة
?↓	استمرار البحث ضمن نفس المجال
all	اختيار كافة التسجيلات الموجودة بالذاكرة

6–21 بعض البرمجيات المستعملة بأجهزة المحطة المتكاملة

هناك العديد من البرامج المساحية المتوافرة ضمن أجهزة المحطة المتكاملة والتي تختلف بين الشركات المصنعة وتختلف ضمن نوع كل جهاز حتى ضمن الشركة نفسها. من أهم هذه البرامج المتوفرة ضمن جهاز (Leica TC307/407) :

1– برنامج المسح (Survey).

2– برنامج تنزيل النقاط (Stak out).

3– حساب المساحات والحجوم (Area and Volume).

4– حساب ارتفاع عن بعد (Remote Height).

5– المحطة الحرة (Free Station).

6– خط الإرجاع (Reference Line).

7– حساب المسافات (Tie Distance).

أما أهم البرامج المتوافرة ضمن جهاز (Trimble 3303) فيمكن تقسيمها إلى نوعين: برامج الإحداثيات وبرامج التطبيقات. يشمل برامج الإحداثيات (Coordinate Programs):

1– محطة غير محددة الإحداثيات (Unknown Station)

2– محطة معروفة الإحداثيات (Known Station)

3– التمركز على ارتفاع (Stationing in elevation)

4– نقاط قطبية مكثفة (Polar / Detail Points)

5– التوقيع (Stake out)

أما برامج التطبيقات (Application programs) فتشمل:

1– المسافات المتصلة (Connecting Distances)

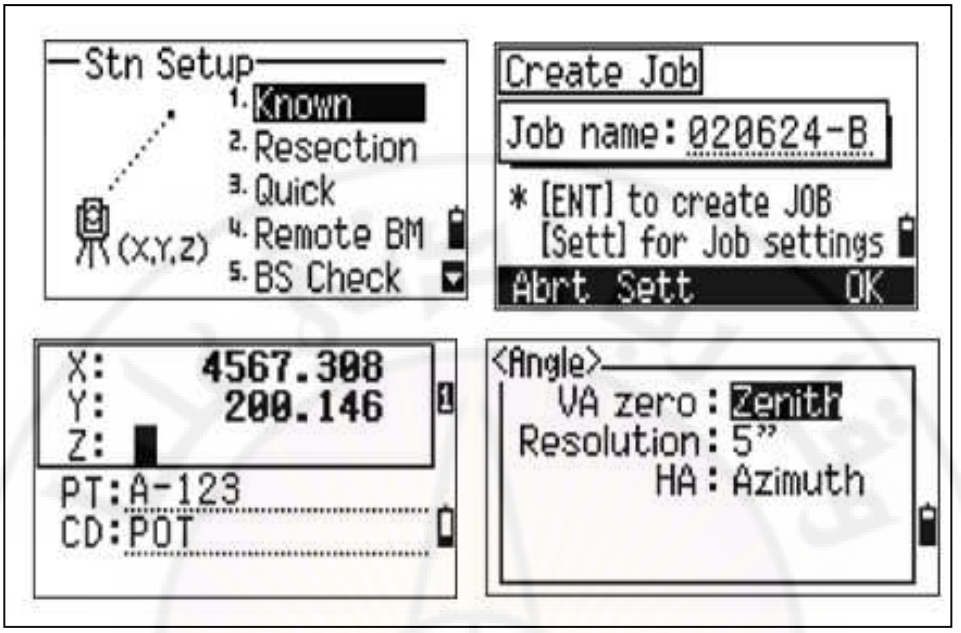
2– ارتفاع جسم (Object Height)

3– إزاحة المحطة (Station–offset)

4– مستوي شاقولي (Vertical Plane)

5– حساب المساحة (Area Calculation)

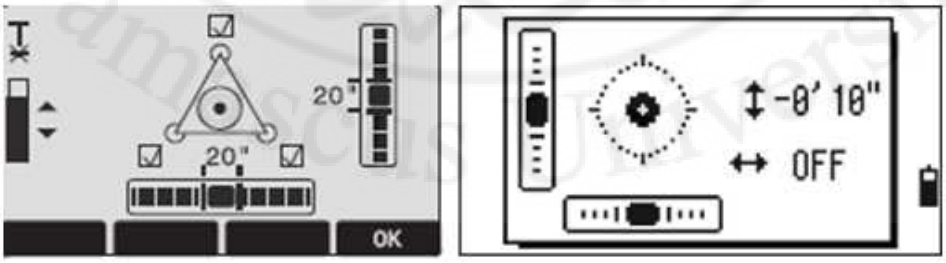
أغلب البرامج تحتوي على ذات الإعدادات من جهة تسمية العمل وتعريف نقطة التمركز والتوجيه قبل البدء بأخذ القياسات كما هو واضح بالشكل (6–60).



الشكل 6– 60 اعدادات برمجيات مختلفة

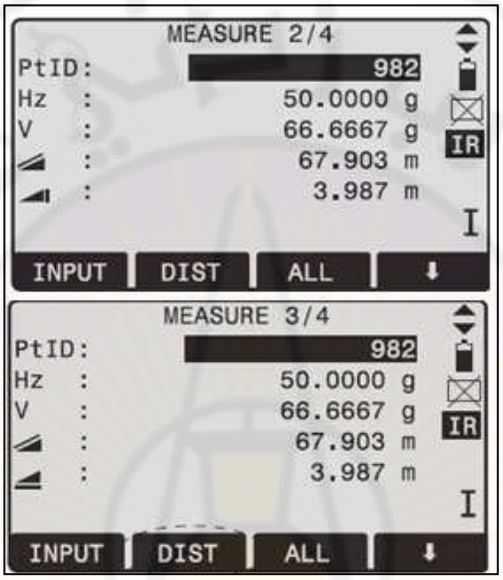
6–22 مراحل العمل بأجهزة المحطة المتكاملة

مراحل العمل تشبه بشكل كبير طريقة استعمال جهاز الثيودوليت مع بعض الفوارق البسيطة والتي ترتكز إلى التمركز الذي قد يكون بواسطة شعاع االيزر. أما بحالة التوازن و ضبط الفقاعة فيتم ضبط الفقاعة الإلكتروني (digitally displayed bubbles) على الشاشة بعد تشغيل الجهاز مباشرة وتشغيل المعدل الآلي ونستمر بالضبط حتى تقع الفقاعة على الشاشة بالمنتصف تماماً (الشكل 6–57)، ويصدر الجهاز صوت طنين بحالة عدم ضبطه بالشكل المناسب محذراً الراصد لضرورة إعادة الضبط.



الشكل 6– 61 ضبط القاعة الإلكترونية

بعد إدخال ارتفاع الجهاز وارتفاع الموشور وإحداثيات نقطة التمركز وتحديد سمت التوجيه والتسديد على الهدف، يمكن ضغط زر القياس لاخذ القياسات التي تعطي المسافات المائلة والأفقية وفروق الارتفاعات وإحداثيات النقطة المرصودة كما يظهر بالشكل (6–61).



الشكل 6– 62 القياسات بجهاز Leica TC407

6–23 التطبيقات غير المباشرة باستعمال أجهزة المحطة المتكاملة

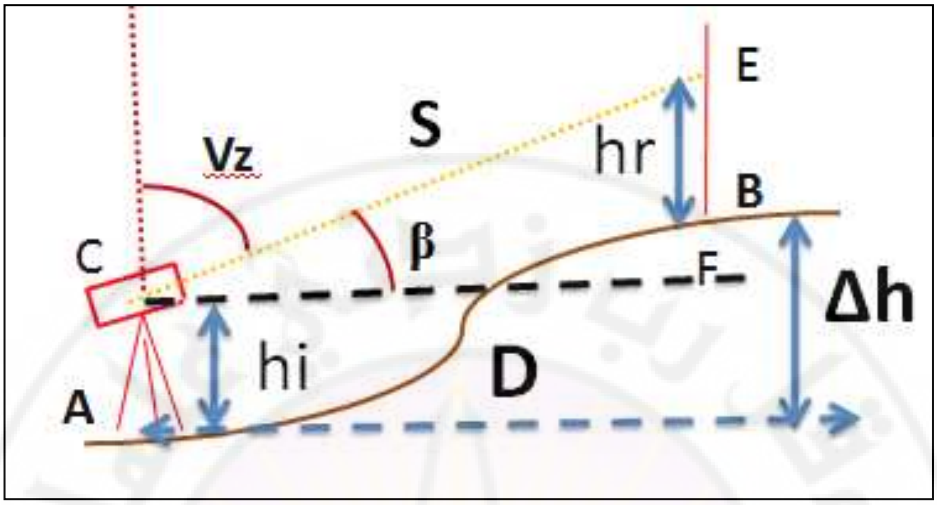
إذا تم التمركز بجهاز المحطة المتكاملة عند النقطة A وكان ارتفاع الجهاز (hi) كما يظهر بالشكل (6–63)، وتم التسديد على الموشور (E) الموضوع على النقطة (B) والذي ارتفاعه (hr). فإذا كانت القراءة الشاقولية (Vz) وزاوية الانحراف عن الأفق (β) وقيست المسافة المائلة (S) عبر قائس المسافات الإلكتروني الموجود ضمن جهاز المحطة المتكاملة، ومن ثمَّ يمكن حساب المسافات الأفقية وفروق الارتفاع وفق العلاقتين التاليتين:

تعطى المسافة الأفقية بالعلاقة :

$$D = S \times Sin(v) \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (10)$$

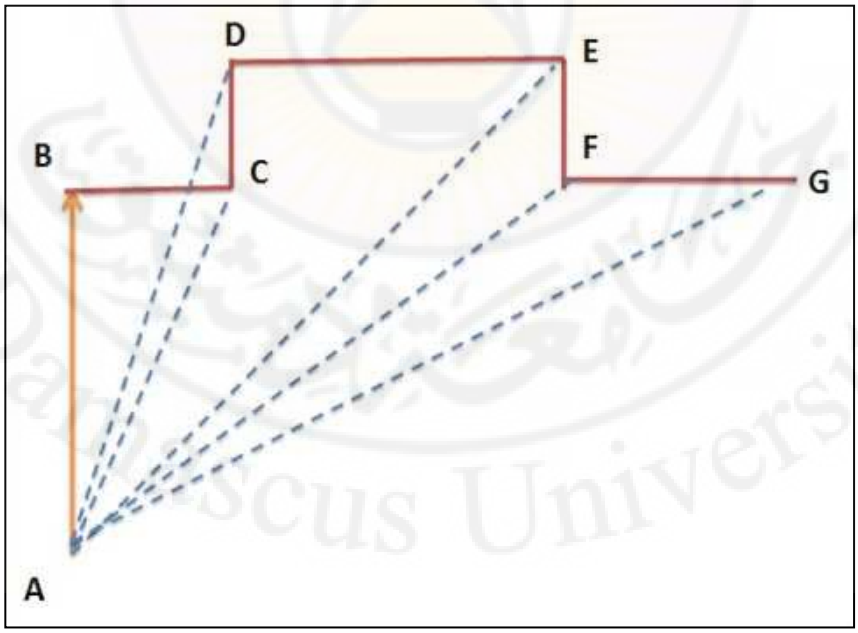
ويعطى فرق الارتفاع بالعلاقة :

$$\Delta h = S \times Cos(v) + (hi - hr) \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (11)$$



الشكل 6– 63 القياس بجهاز المحطة المتكاملة

يبين الشكل (6–64) مسقط شاقولي لواجهة بناء حيث رُصدت مجموعة من النقاط وقيست المسافات المائلة (S) والزوايا الشاقولية (V) الموضحة بالجدول (6–12).



الشكل 6– 64 مسقط واجهة شاقولية

جدول 6– 12 أرصاد واجهة شاقولية

نقطة التمركز	النقطة	الزاوية الشاقولية (غراد) V	المسافة المائلة (متر) S
A	B	98.0992	50.022
	C	98.0640	53.875
	D	92.9942	54.460
	E	95.2135	78.482
	F	98.776	78.255
	G	98.9568	90.152

وباستعمال العلاقتين (10) و (11) استنتجت المسافات الأفقية وفروق الارتفاع كما هو موضح بالجدول (6–13).

يقيس جهاز المحطة المتكاملة الزوايا الأفقية نسبة لاتجاه شمال افتراضي، ومن ثمَّ يمكن إعطاء أي اتجاه الزاوية الصفرية واعتباره الشمال الافتراضي وتُعد الزوايا كسموت ويمكن حساب الإحداثيات من خلال العلاقة التي ستشرح بالتفصيل بالفصل القادم :

$$\Delta X = D \times Sin(H_Z)$$
$$\Delta Y = D \times Cos(H_Z)$$

جدول 6– 1 حساب المسافات الأفقية وفروق الارتفاعات

نقطة التمركز	النقطة	الزاوية الشاقولية V (gr)	المسافة المائلة S (m)	المسافة الأفقية D (m)	فرق الارتفاع Δ h (m)
A	B	98.0992	50.022	50.000	1.493
	C	98.0640	53.875	53.850	1.638
	D	92.9942	54.460	54.131	5.981
	E	95.2135	78.482	78.260	5.895
	F	98.776	78.255	78.240	1.511
	G	98.9568	90.152	90.140	1.477

6–24 تأثير انحناء الأرض في قياس الزوايا

الزيادة الكروية (ε) هي الفرق بين مجموع الزوايا للشكل كثير الزوايا الكروي ومجموع زوايا الشكل كثير الزوايا الأفقي ذات الأضلاع المتقابلة المتساوية.

تحسب الزيادة الكروية بالعلاقة:

$$\varepsilon'' = \rho'' \frac{F}{R^2}$$

حيث إن:

F: مساحة الشكل الأفقي

R: نصف قطر الأرض (R=6370 km)

فإذا كانت مساحة الشكل الأفقي $F=400\ km^2$ فالزيادة الكروية $\varepsilon = 2''$ وهي قيمة مهملة لمساحة مقدارها $K=400\ km^2$.

وقل رب زدني علما
Damascus University

الفصل السابع

المساحة المستوية والاتجاهات

7–1 مقدمة بالمساحة المستوية

يهدف التعيين المستوي للنقاط تحديد فاصلة كل نقطة بالمستوي وترتيبها وإنشاء محاور إحداثية لتمثيل تلك النقاط بمقياس معلوم ومحدد مسبقاً. إن مجالات عمل المهندس المدني إما الدراسة المكتبية للمشاريع، أو التنفيذ على أرض الواقع لدراسة جاهزة مسبقاً، أو الإشراف على تنفيذ مشروع ما، ويفضل للمهندس أن يتطرق للمجالات الثلاثة لاكتساب الخبرة العملية. في أي مشروع هندسي (أبنية، سكك حديدية، مطارات، أقنية....الخ)، تبدأ الدراسة على المخططات بمقياس مصغر ممكن أن يكون (1/500 أو 1/100) ثم مرحلة التنفيذ على أرض الواقع بالأبعاد الحقيقية ويلزمنا لهذه المرحلة مجموعة من النقاط المعلومة الإحداثيات (x، y) بالإضافة إلى بعض النقاط المعلومة الارتفاع (h).

7–2 أنواع العمل المساحي المستوي

ويشمل عمل المهندس الطبوغرافي على مرحلتين :

1– **مرحلة الرفع التفصيلي:** تكون في بداية المشروع ويُطلب فيها إعطاء صورة طبق الأصل عن أرض المشروع المراد الانشاء عليها، وتدعى هذه الصورة بمخطط الموقع العام الذي يحتوي التفاصيل الطبيعية (اشجار، مسيلات،...الخ) والتفاصيل الاصطناعية من شغل الانسان (أبنية، أرصفة، طرق،...الخ). ومن ثمَّ يجب أن يحوي المخطط العام على كل شيء موجود على أرض الواقع ثم تُنظم إضبارة تُسمى إضبارة المشروع، وهي إضبارة تنفيذية.

2– **مرحلة التزيل (Stake out)** تبدأ بمرحلة التنفيذ عند نقل المخططات لتنفذ بأبعادها الحقيقية على الطبيعة. تكون مهمة المهندس الطبوغرافي أن يعتمد مجموعة من النقاط المعلومة الإحداثيات والتي استعملت في المرحلة الأولى، ويستقرأ من المخططات الأبعاد والزوايا لينقل الدراسة التي على المخططات إلى أرض الواقع بحيث يحدد حدود المشروع ومواقع الأبنية والطرق وغيرها.

تقسم أعمال المسح المستوي إلى مجموعة من العمليات المتتابعة، كل عملية سابقة تشكل هيكلاً وقاعدة لعملية لاحقة إلى أن نتوصل إلى تعيين التفاصيل المطلوبة، من تلك المراحل:

– عمليات التثليث.

– عمليات التضليع.

– عمليات المسح التفصيلي.

– عمليات الرسم وتمثيل التفاصيل على المخطط بمقياس موحد.

– حساب المساحات.

1– **مرحلة التثليث:** يجري فيها تحديد ثلاث نقاط أساسيّة معلومة الإحداثيات ومربوطة مع نقاط شبكة الدولة حيث إن كل دولة لديها شبكة من النقاط المعلومة الإحداثيات (بمعدل نقطة في كل 3 km^2). وتكون منسوبة إلى جملة محاور إحداثيّة عامّة لذلك البلد. في سوريا، تستند الأعمال المساحية لجملة المحاور الإحداثيّة العامة الموجودة قرب مدينة تدمر، وتحدد تلك النقاط الثلاثة كي لا يصاب المخطّط بتشوهات انسحابات أو دورانات.

2– **مرحلة التضليع** : اتُكَثّف النقاط المعلومة الإحداثيات بهذه المرحلة على كامل أرض الموقع حيث إن النقاط الثلاث الأساسيّة لا تكفي لنقل المشروع على أرض الواقع، فيتم العمل على زيادة عدد تلك النقاط بما تقتضيه حاجة المشروع، ثم يتم ربط هذه النقاط بالنقاط الثلاث الأساسيّة التي استخرجناها من مرحلة التثليث فنحصل على مضلّعات.

3– **مرحلة الرفع التفصيلي:** من نقاط المضلّعات التي أصبحت معلومة الإحداثيات نأخذ من فوق كل نقطة زاوية ومسافة عن كلّ شيء موجود في أرض الواقع (أي بصياغة أخرى نقيس بعد تلك النقطة وزاويتها عن كلّ شيء موجود في أرض الواقع من تفاصيل طبيعيّة واصطناعي ، ومن ثمَّ أصبح لدينا نقطة معلومة الإحداثيات، والزاوية والمسافة معلومتان ومنه نحصل على إحداثيات زوايا البناء كلّها ويسمى ذلك بالطريقة القطبيّة (أي أنّنا نستطيع بذلك تحديد موقع المشروع بدقّة وبعده عن أيّ شيء موجود بالواقع).

4– **مرحلة الحسابات والرسم:** نفرض جملة محاور إحداثيّة ونعبر عن الحسابات بالرسم بمقياس معين على المخطّط، وكلما زاد عدد القياسات المُعَبّر عنها على الرسم زادت دقّة المخطّط ومقاربته للواقع.

5– **مرحلة طباعة المخطّطات وحساب المساحات:** وتحسب بعلاقات بسيطة تعتمد على إحداثيات النقاط المعلومة بحيث يمكننا حساب مساحة المشروع كاملاً أو أي جزء منه.

3–7 التعيين المستوي للنقاط

تُعد النقاط المراد تعيينها وتمثيلها على المخطط مجهولة إلى أن يتم وصلها بنقاط معلومة، أي بنقاط ذات إحداثيات معلومة أو بنقاط سابقة التمثيل على المخطط، ويمكننا أن نقوم بعملية الربط هذه بطرائق عدة هي :

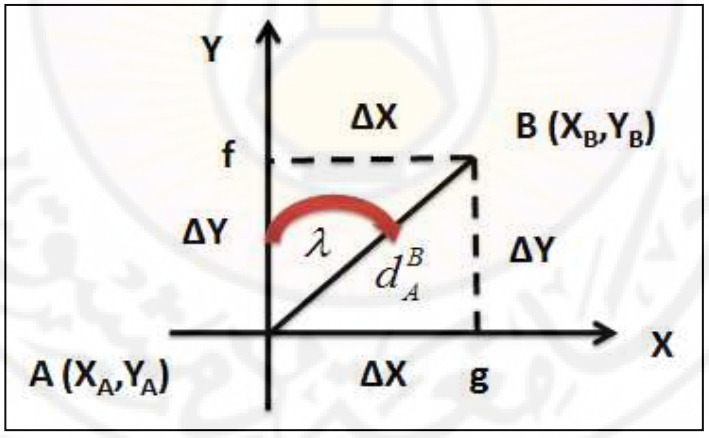
1– طرائق تعتمد عى قياس مسافات أفقية فقط.

2– طرائق تعتمد على قياس زوايا أفقية فقط.

3– طرائق تعتمد على قياس زوايا أفقية ومسافات أفقية معاً.

لتكن لدينا النتقطتينA، B التي أُعطيت إحداثياتهما (Latitude،Depature) أو (Y،X) الموضحتان بالشكل (7–1)، حيث تفصلهما المسافة d، ويميل المحور المار بالنقطتين عن المحور الشاقولي بالزاوية (λ). يمكن حساب المسافة بين نقطتين من خلال القانون:

$$d_A^B = \sqrt{(X_B - X_A)^2 + (Y_B - Y_A)^2} \quad \text{.....(1)}$$



الشكل 7– 1 احداثيات نقطتين

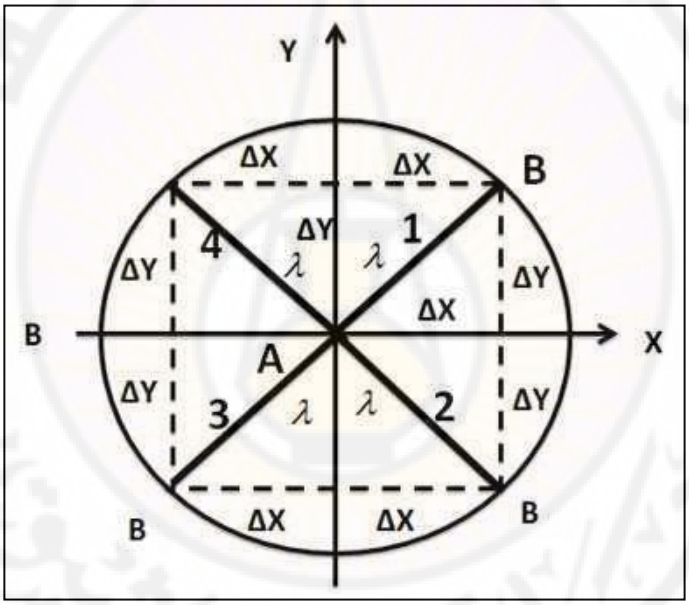
ويمكن حساب زاوية ميل المحور المار بالنقطتين عن المحور الشاقولي (λ) بواسطة تطبيق علاقة الظل للمثلث القائم (ABf) بقسمة المقابل على المجاور وفق العلاقة:

$$\tan\lambda = \frac{\Delta X}{\Delta Y} = \frac{X_B - X_A}{Y_B - Y_A}$$

ولمعرفة قيمة الزاوية (λ) نطبق العلاقة العكسية للظل وفق المعادلة :

$$\lambda = arctg\frac{\Delta X}{\Delta Y} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (2)$$

نلاحظ بالشكل السابق أن قيمة فروق الإحداثيات هي قيم موجبة، وهذه هي حالة واحدة محتملة لوقوع النقطة B بالنسبة للنقطة A حيث يمكن ان يكون لدينا الحالات التالية الموضحة بالشكل (2–7).



الشكل 7– 2 مختلف حالات الوضع النسبي للنقطة B

هنا ستتشكل دائرة لاحتمالات وقوع النقطة B بالنسبة للنقطة A حيث يمكن أن تقع النقطة B على محيط الدائرة التي مركزها B ونصف قطرها المسافة بين النقطتين. يمكن أن نميز بهذه الدائرة أربع حالات حسب كل ربع من أرباع الدائرة لذلك يسمى الربع الأعلى الأيمن الربع الأول، وهو الربع الذي تكون فيه فروق الإحداثيات موجبة، بينما الربع الثاني هو الربع الذي تكون فروق الإحداثيات على المحور X موجبة وفروق الإحداثيات على المحور Y سالبة، أما الربع الثالث فهو الربع الذي تكون فيه فروق الإحداثيات سالبة. أما الربع الرابع فهو الربع الذي تكون فيه فروق

الإحداثيات على المحور X سالبة وفروق الإحداثيات على المحور Y موجبة، كما هو موضح بالجدول (7–1).

جدول 7–1 أرباع الدائرة المحتمل وقوع النقطة عليها

الربع	ΔX	ΔY
الأول	+	+
الثاني	+	–
الثالث	–	–
الرابع	–	+

نطلق على الزاوية (λ) **زاوية الانحراف المختصر أو الربع دائري** (Bearing) أو الزاوية المساعدة وهي الزاوية المقيسة من الشمال أو الجنوب (المحور الموجب والسالب Y) إلى الخط مع ذكر الربع الذي يقع فيه الخط، وتتراوح قيمتها بين 0 إلى 100 غراد (زاوية حادة). لذلك تُعدّل العلاقة (2) لحساب هذه الزاوية كونها زاوية حادة لتصبح على الشكل التالي:

$$\lambda = arctg\frac{|\Delta X|}{|\Delta Y|} \quad \text{.....(3)}$$

بالحالة المعاكسة والتي يعطى فيها احداثيات النقطةA(x ، y) ويطلب تحديد احداثيات النقطة B من الشكلين السابقين نجد أن :

$$\begin{aligned} X_B &= X_A + \Delta X \\ Y_B &= Y_A + \Delta Y \end{aligned} \quad \text{.....(4)}$$

ويمكن حساب فروق الإحداثيات بدلالة المسافة:

$$\begin{aligned} \Delta X &= d_A^B \sin\lambda \\ \Delta Y &= d_A^B \cos\lambda \end{aligned} \quad \text{.....(5)}$$

وبالتعويض بالعلاقة (4) :

$$X_B = X_A + d_A^B \sin\lambda$$
$$Y_B = Y_A + d_A^B \cos\lambda \quad \text{..... (6)}$$

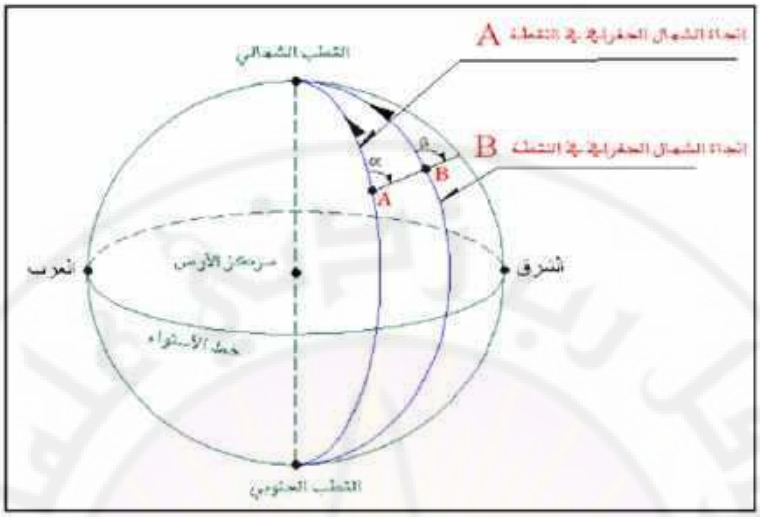
لكن المحددات التي تظهر بالعلاقة السابقة أن زاوية الانحراف المختصر مرتبطة دائماً بالاتجاه الموجب والسالب للمحور Y (باتجاه الشمال والجنوب) مما يعيق نمذجة هذه العلاقة وتطبيقها، لذلك لابد من مرجع زاوي واحد للزاوية يمكن بواسطته تطوير العلاقة بحيث لا تتطلب ذكر الربع الذي تقع فيه أو ذكر الشمال والجنوب، هنا لحل هذه المشكلة سنتكلم على مفهوم الشمال وأنواعه واستعمال الانحراف الدائري أو السمت المرتبط بالشمال.

7–4 أنواع الشمال والسموت

أتفق العاملون بالمساحة منذ مئات السنين على اعتبار الشمال هو الاتجاه المرجعي Reference Direction عند قياس الاتجاهات بالطبيعة وعلى الخريطة، وهناك نوعان أساسيان للشمال:

1–**الشمال الجغرافي (Geographic Or true Meridian)**: هو الاتجاه أو الخط الواصل بين أي نقطة وكلا القطبين الشمالي والجنوبي للأرض (الشكل 7–3). الشمال الحقيقي هو اتجاه ثابت غير متغير، ويُحدد بواسطة الأرصاد والقياسات الفلكية، ولأنه ثابت فهو يستخدم بإنشاء الخرائط.

2–**الشمال المغناطيسي (Magnetic Meridian)**: هو الاتجاه الذي تحدده إبرة مغناطيسية حرة الحركة وكاملة الاتزان وليست تحت أي تأثير مغناطيسي محلي، وهي الفكرة التي بنيت عليها أجهزة البوصلة المغناطيسية. أهم مشاكل الشمال المغناطيسي أنه غير ثابت (غير متوازي عند مجموعة من النقاط) بل هو متغير عند النقطة نفسها من عام لآخر(الشكل 7–4).



الشكل 7– 3 الشمال الجغرافي

الشكل 7– 4 الشمال الجغرافي والمغناطيسي

و ينحرف الشمال المغناطيسي عن الشمال الجغرافي عند نقطة محددة وتاريخ معين بزاوية تسمى زاوية الانحراف (الاختلاف) المغناطيسي (δ) وهي زاوية ذات قيمة صغيرة ومتغيرة نظراً لتغير اتجاه الشمال المغناطيسي على مدار العام. تكون زاوية الانحراف المغناطيسي موجبة إذا كان الشمال المغناطيسي شرق الشمال الجغرافي، وتكون سالبة إذا كانت بالغرب من الشمال الجغرافي ويمكن التعبير عنها بالعلاقة: **اتجاه الشمال الشمال الجغرافي = اتجاه الشمال المغناطيسي ±δ**

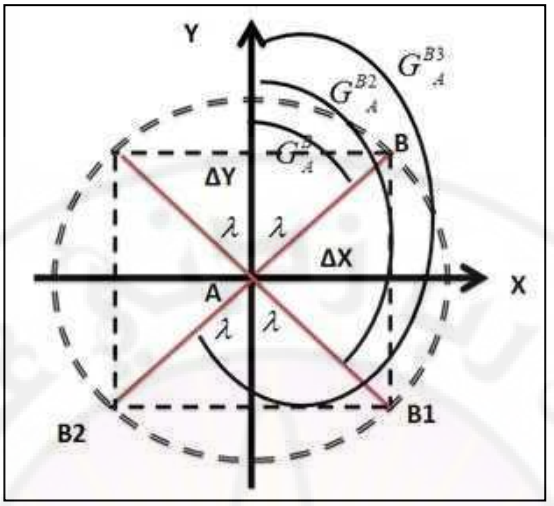
الشكل 7– 5 زاوية الانحراف المغناطيسي

وهنالك أنواع أخرى اصطلاحية للشمال يمكن ان نذكر منها :

1–**الشمال الاختياري أو المفروض (Assumed or Arbitrary Meridian)**: هو الاتجاه الذي يحدده الراصد على أنه هو اتجاه الشمال، وقد يكون هذا الاتجاه هو اتجاه أحد الأضلاع أو أحد خطوط العمل المساحي، كاتجاه مرجعي مفروض لهذا العمل. يقوم الراصد بحال عدم معرفته لأي من الشمالين الجغرافي والمغناطيسي بافتراضه لكي يبدأ أعمال القياس المساحي، ويمكن لاحقاً من معرفة العلاقة بين الشمال الاختياري والشمال الحقيقي وتصحيح القياسات لتنسب إلى الشمال الحقيقي.

2– **الشمال الاصطلاحي أو الشبكي (Grid Meridian)**: وهو الاتجاه الذي يصل بين نقطة ما ونقطة وهمية أخرى يتغير موقعها تبعا لتغير نقطة الرصد، بحيث يبقى هذا الخط موازياً لنفسه في كل نقطة من النقاط.

يطلق مصطلح " الزاوية" على الزاوية المقيسة بين خطين، بينما يطلق **مصطلح " السمت" أو " الانحراف الدائري"** (Azimuth Or Circular Bearing) على الزاوية المقيسة بدءاً من اتجاه الشمال إلى الخط المطلوب (الشكل 7–6). إذا كان الاتجاه المرجعي (لبدء القياس) هو الشمال المغناطيسي فنحصل على الانحراف المغناطيسي، بينما إذا كان الاتجاه المرجعي (لبدء القياس) هو الشمال الجغرافي فنحصل على الانحراف الجغرافي أو الحقيقي.



الشكل 7– 6 الانحراف الدائري (السمت)

ولأنه لدينا أكثر من نوع للشمال سنحصل على أكثر من نوع للسموت يمكن تلخيصها بما يأتي:

1– **السمت الجغرافي** (**$A_{\circ}$**) هو الزاوية المحصورة بين الشمال الجغرافي والاتجاه المعتبر أو المطلوب حساب سمته الجغرافي، وتقاس هذه الزاوية اعتبارا من الشمال ومع عقارب الساعة.

2– **السمت المغناطيسي** (**A_m**) هو الزاوية باتجاه عقارب الساعة من اتجاه الشمال المغناطيسي (وهو الاتجاه الذي يدلنا عليه اتجاه الإبرة المغناطيسية) إلى الاتجاه المعتبر أو المرصود.

3– **السمت الأعتباري** (**G**) وهو الزاوية المحصورة بين الشمال الاعتباري أو الجزء الموجب من المحور Y والاتجاه المرصود أو المراد حساب سمته ويقاس اعتبارا من الشمال ومع عقارب الساعة.

يعبر عن السمت بالرمز (G_A^B) حيث يشير الحرف السفلي (A) لنقطة التمركز التي يمر منها اتجاه الشمال بينما يشير الحرف العلوي (B) للاتجاه المرصود من نقطة التمركز إلى تلك النقطة. قيمة السمت محصورة بين 0 و 400 غراد ($0 < G_A^B < 400$ Gr) ولا يوجد سمت سالب فإذا كان سالباً نضيف إليه دورة كاملة أي 400 غراد، ولا يوجد سمت أكبر من 400 غراد فإذا كانت قيمته أكبر من 400 غراد نطرح منه دورات كاملة (n x 400 gr).

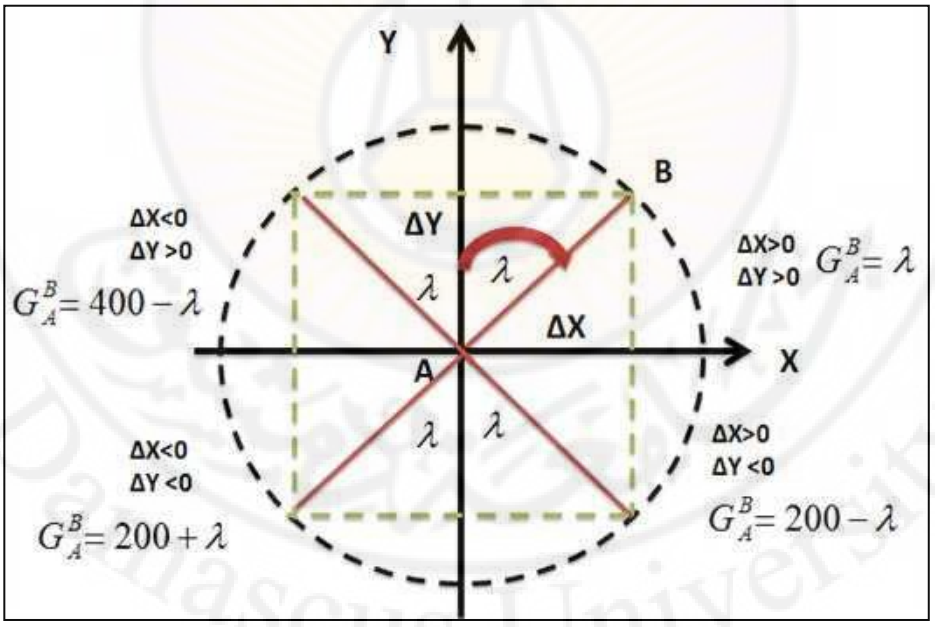
7–5 العلاقة بين الانحراف الدائري (السمت) والانحراف المختصر (الزاوية المساعدة)

وجدنا أن أي خط يعرف بأحد الاتجاهات او الانحرافات التالية :

1– الانحراف الدائري (السمت) (Azimuth Or Circular Bearing): هو الزاوية المقيسة من الشمال وباتجاه دوران عقارب الساعة إلى الخط أو الاتجاه، وتتراوح قيمته بين 0 إلى 400 غراد.

2– الانحراف المختصر أو الربع دائري (Bearing): وهو الزاوية المقيسة من الشمال أو الجنوب إلى الخط مع ذكر الربع الذي يقع فيه الخط، وتتراوح قيمتها بين 0 إلى 100 غراد.

بالمقارنة بين الشكلين (7–2) و(7–7) يمكن استنتاج علاقة تربط السمت مع الانحراف المختصر (الزاوية المساعدة)، حيث يلاحظ أن السمت يساوي زاوية الانحراف المختصر بالربع الأول حيث فروق الإحداثيات موجبة، في حين يساوي السمت القيمة 200 مطروحاً منها زاوية الانحراف المختصر بالربع الثاني، بينما يساوي السمت زاوية الانحراف المختصر مضافاً إليها 200 غراد بالربع الثالث، أما الربع الرابع فإن حاصل طرح 400 غراد من زاوية الانحراف المختصر يعطي قيمة السمت. يوضح الشكل (7–6) والجدول (7–2) العلاقة بين السمت والزاوية المساعدة (زاوية الانحراف المختصر).



الشكل 7– 7 العلاقة بين السمت وزاوية الانحراف المختصر

جدول 7– 2 العلاقة بين السمت وزاوية الانحراف المختصر حسب الربع

الربع	ΔX	ΔY	السمت G_A^B
الأول	+	+	$G_A^B = \lambda$
الثاني	+	–	$G_A^B = 200 - \lambda$
الثالث	–	–	$G_A^B = 200 + \lambda$
الرابع	–	+	$G_A^B = 400 - \lambda$

ومن ثمَّ يمكن تغيير قيمة زاوية الانحراف المختصر بالعلاقات (5) و(6) بالسمت لتصبح بالشكل:

$$\Delta X = d_A^B \sin G_A^B$$
$$\Delta Y = d_A^B \cos G_A^B$$

$$X_B = X_A + d_A^B \sin G_A^B$$
$$Y_B = Y_A + d_A^B \cos G_A^B$$

ويمكن تعميم العلاقة لتصبح بالشكل التالي :

$$X_i = X_{i-1} + d_{i-1}^i \sin G_{i-1}^i$$
$$Y_i = Y_{i-1} + d_{i-1}^i \cos G_{i-1}^i \quad \text{.....(7)}$$

ومن ثمَّ أصبح بالإمكان حساب إحداثي أي نقطة من معرفة إحداثيات نقطة أخرى وسمت الاتجاه والمسافة بينهما. وأصبح بالإمكان الاستفادة من (IF) الشرطية بالبرمجة في حساب سمت أي اتجاه بدلالة زاوية الانحراف المختصرة وإشارة فروق الإحداثيات (اي من معرفة الربع الذي تقع فيه).

تمرين:

احسب سمت الاتجاه AB إذا علمت أن إحداثيات النقطتين هي:

A (681.35, 581.83) و B (783.29, 494.77)

الحل:

1- نحسب الزاوية المساعدة (زاوية الانحراف المختصر)

$$\lambda = arctg\frac{|X_B - X_A|}{|Y_B - Y_A|} = 55.0018\,Gr$$

2- نحدد الربع الذي يقع فيه الاتجاه:

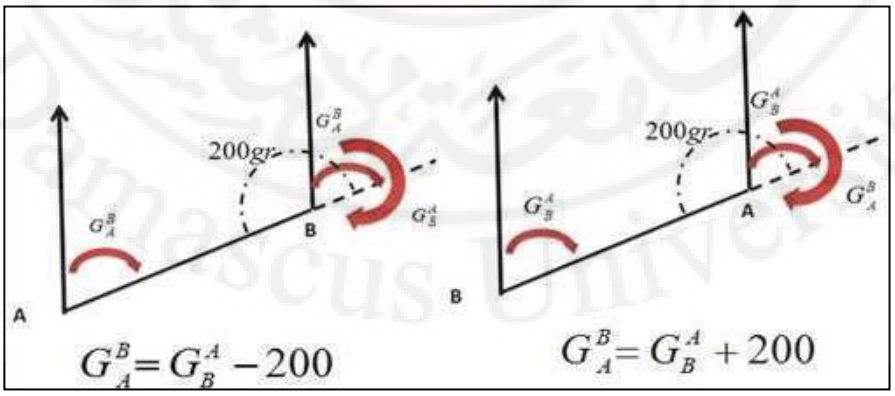
ΔY (-)، ΔX (+) ←الربع الثاني

3- نطبق العلاقة بين السمت والزاوية المساعدة بالربع الثاني

$$G_A^B = 200 - 55.0018 = 144.9982\,Gr$$

7-6 السمت والسمت المعاكس

يعبر عن السمت بالرمز (G_A^B) حيث يشير الحرف السفلي (A) لنقطة التمركز التي يمر منها اتجاه الشمال بينما يشير الحرف العلوي (B) للاتجاه المرصود من نقطة التمركز إلى تلك النقطة أما السمت (G_B^A) والذي يطلق عليه السمت المعاكس فتكون نقطة التمركز في (B) والتي يمر منها اتجاه الشمال بينما النقطة المرصودة هي النقطة (A) كما يتضح من الشكل (7-8).



الشكل 7- 8 السمت والسمت المعاكس

ومن ثمَّ تعطى العلاقة بين السمت والسمت المعاكس كما يلي:

$$G_A^B = G_B^A \pm 200 \quad \text{..... (8)}$$

فإذا كان السمت أقل من 200 غراد يكون السمت المعاكس مساوياً للسمت مضافاً إليه 200 غراد، أما إذا كان السمت أكبر من 200 غراد يكون السمت المعاكس مساوياً للسمت مطروحاً من 200 غراد.

تمرين

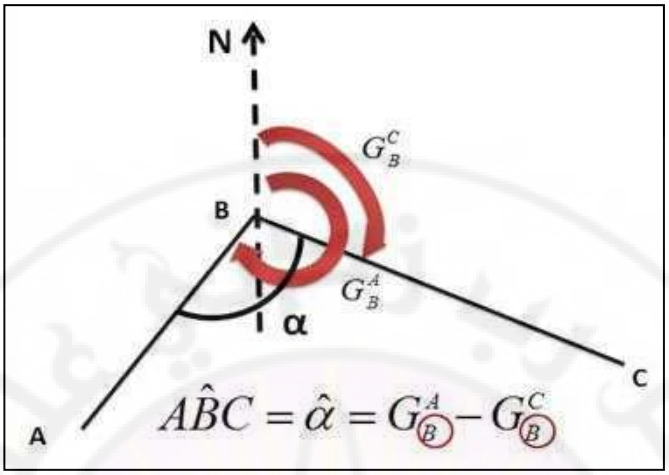
احسب السمت المعاكس للسموت بالحالات التالية:

السمت G_A^B	السمت المعاكس G_B^A	السمت G_A^B	السمت المعاكس G_B^A
0.0000	200.0000	200.0000	0.0000
50.0000	250.0000	230.0000	30.0000
100.0000	300.0000	320.0000	120.0000

ويمكن حساب قيمة أي زاوية من خلال معرفة سموت الاتجاهين عند رأس الزاوية كما يظهر بالشكل (7–9).

حيث يمكن حساب الزاوية ABC من خلال طرح السمتين عند رأس الزاوية (B) المار منها الشمال الجغرافي كما يلي:

$$A\hat{B}C = \hat{\alpha} = G_B^A - G_B^C$$



الشكل 7– 9 حساب زاوية من سمتي الاتجاهين

تمرين:

احسب قيمة الزاوية ABC إذا علمت أن إحداثيات النقاط هي :

النقطة	X(m)	Y(m)
A	100.00	100.00
B	110.00	141.65
C	134.48	136.56

الحل:

1– نحسب السمت G_B^A

$$\lambda = arctg\frac{|\Delta X|}{|\Delta Y|} = \frac{|100.00 - 110.00|}{|100.00 - 141.65|} = arctg\frac{|10|}{|41.65|} = 15.0010\,gr$$

$$\Delta X^{-}, \Delta Y^{-}, \Rightarrow G_B^A = \lambda + 200$$

$$G_B^A = 215.0010\,gr$$

2– نحسب السمت G_B^C

$$\lambda = arctg\frac{|\Delta X|}{|\Delta Y|} = \frac{|134.48-110.00|}{|136.56-141.65|} = arctg\frac{|24.48|}{|5.09|} = 86.949049\ gr$$

$$\Delta X^+, \Delta Y^-, \Rightarrow G_B^A = 200 - \lambda$$

$$G_B^A = 113.0510\ gr$$

3– نحسب قيمة الزاوية

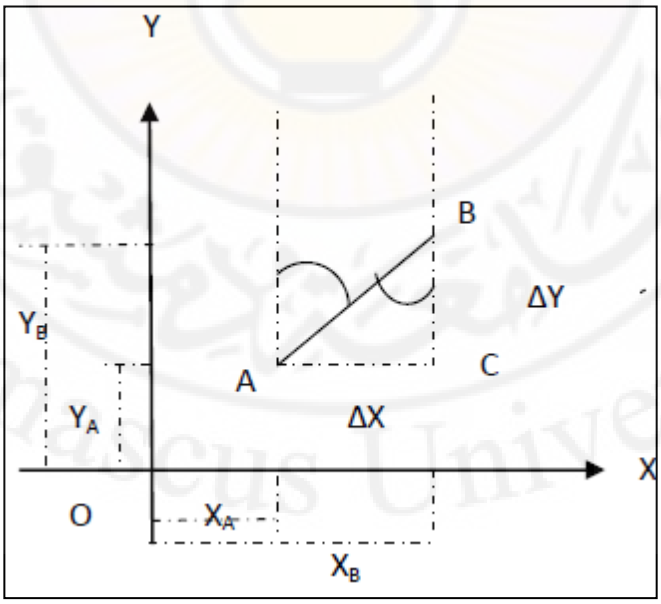
$$A\hat{B}C = \hat{\alpha} = G_B^A - G_B^C = 215.0010 - 113.0510 = 101.9500\ gr$$

7–7 المسألة المساحية الأولى والثانية

يمكن تلخيص حساب الإحداثيات الأفقية وفق المسألتين التاليتين:

1– المسألة المساحية الأولى:

المعطى: إحداثيات نقطة ما A (X_A,Y_A) والمسافة بين النقطتين d_A^B والسمت G_A^B، كما بالشكل (7–10). و**المطلوب** إيجاد إحداثيات النقطة الثانية B (X_B, Y_B)



الشكل 7– 10 المسألة المساحية الأولى والثانية

الحل: يتم حساب إحداثيات النقطة (B) من العلاقة (7) كالآتي:

$$X_i = X_{i-1} + d_{i-1}^{i} \sin G_{i-1}^{i}$$
$$Y_i = Y_{i-1} + d_{i-1}^{i} \cos G_{i-1}^{i}$$

أو

$$X_B = X_A + d_A^B \sin G_A^B$$
$$Y_B = Y_A + d_A^B \cos G_A^B$$

2– المسألة المساحية الثانية (العكسية)

المعطى: نقطتين معلومتي الإحداثيات A (X_A, Y_A) و B (X_B, Y_B)

المطلوب: المسافة بين النقطتين d_A^B والسمت G_A^B

الحل:

– تُحسب المسافة من العلاقة (1)

$$d_A^B = \sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2}$$

– تُحسب زاوية الانحراف المختصر (الزاوية المساعدة) وفق العلاقة (3)

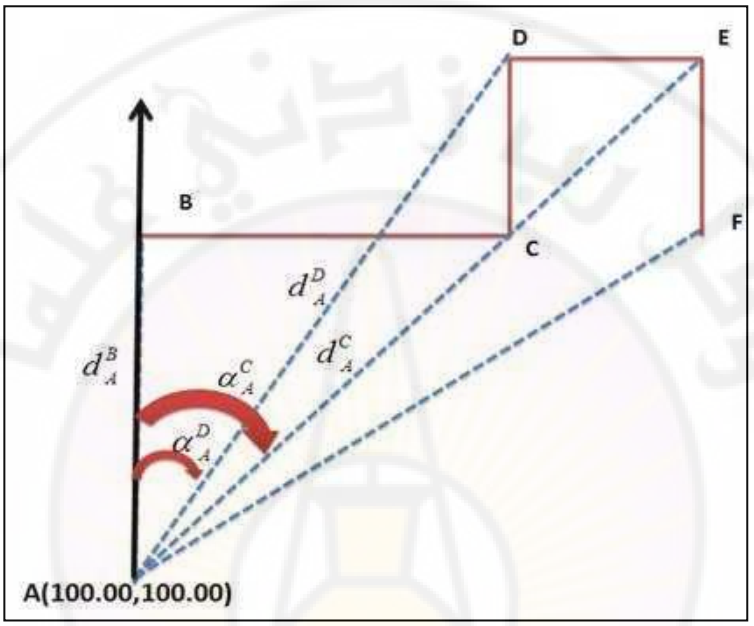
$$\lambda = arctg \frac{|\Delta X|}{|\Delta Y|}$$

– يُحسب السمت بواسطة العلاقة بين السمت وزاوية الانحراف المختصر حسب إشارات فروق الإحداثيات والربع الي تقع فيه كما ورد بالشكل (7–6) والجدول (7–2).

7–8 حساب إحداثيات مسقط أفقي للبناء

النظام الإحداثي القطبي (Polar coordinate system): هو نظام إحداثيات ثنائي الأبعاد حيث يحدد مكان كل نقطة في المستوى بواسطة المسافة التي تفصل النقطة عن مركز ما، وبزاوية بين المستقيم المار من المركز والنقطة ذاتها، من جهة، ومستقيم مرجعٍ ما من جهة ثانية. بفرض تم التمركز بجهاز المحطة المتكاملة بالنقطة(A)، وتم رصد مجموعة من النقاط

بحيث تقاس جميع الزوايا بدءاً من اتجاه مرجعي وليكن الاتجاه (B) المنطبق على الشمال N، كما يظهر بالشكل (7–11)، وسجلت القياسات بالجدول (7–3).



الشكل 7– 11 الرصد بالطريقة القطبية حيث الاتجاه المرجعي هو الشمال

جدول 7– 3 أرصاد النقاط بالطريقة القطبية حيث الاتجاه المرجعي هو الشمال

نقطة التمركز	النقطة(i)	الزاوية (غراد) α	المسافة (متر) d_A^i
A	B	0.0000	50.00
	C	24.2238	53.85
	D	19.0030	68.01
	E	47.4549	88.46
	F	56.9176	78.24
	G	96.4669	90.14

من تعريف السمت أنه الزاوية (مع عقارب الساعة) بين الشمال واتجاه ما، نجد أن الزوايا التي رُصدت تمثل سموتاً للاتجاهات أو يمكن تمثيلها باعتبار السمت $G_A^B = 0.0000$ gr حيث يحسب منه باقي السموت كالتالي:

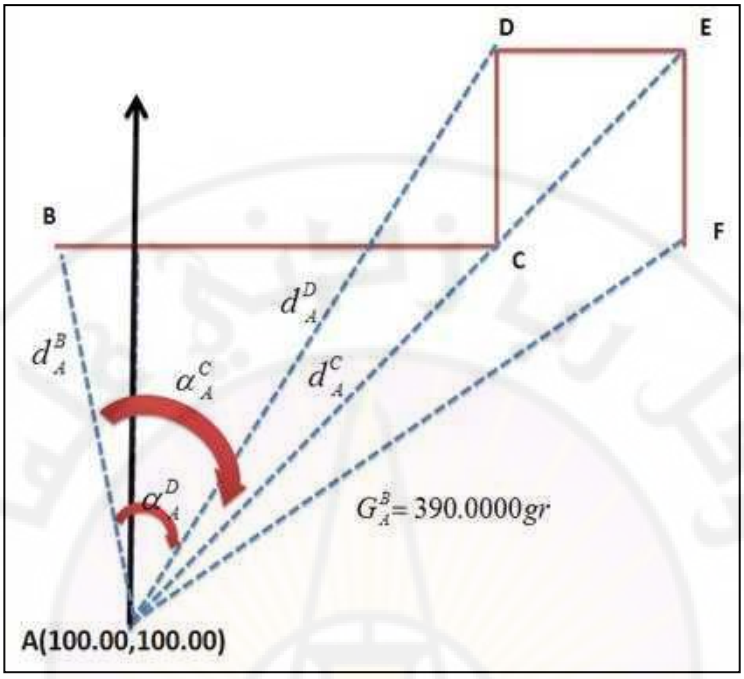
$$G_A^B = 00.0000\,gr$$
$$G_A^C = G_A^B + \alpha_A^C = 00.0000 + 24.2238 = 24.2238\,Gr$$
$$G_A^D = G_A^B + \alpha_A^D = 00.0000 + 19.0030 = 19.0030\,Gr$$
$$G_A^E = G_A^B + \alpha_A^E = 00.0000 + 47.4549 = 47.4549\,Gr$$
$$G_A^F = G_A^B + \alpha_A^F = 00.0000 + 56.9176 = 56.9176\,Gr$$
$$G_A^G = G_A^B + \alpha_A^G = 00.0000 + 96.4669 = 96.4669\,Gr$$

ومن ثمَّ يمكن حساب فروق الإحداثيات وإحداثيات النقط كما هو وارد بالجدول(7–4) التالي:

جدول 7– 4 حساب احداثيات الأرصاد للطريقة القطبية بحالة الاتجاه المرجعي هو الشمال

نقطة التمركز	النقطة	السمت G (Grad)	المسافةفة L (m)	Δ X (m)	Δ Y (m)	X (m)	Y (m)
A	B	0.0000	50.00	0.00	50.00	100.00	150.00
	C	24.2238	53.85	20.00	50.00	120.00	150.00
	D	19.030	68.01	20.00	65.00	120.00	165.00
	E	47.4549	88.46	60.00	65.00	160.00	165.00
	F	56.9176	78.24	49.00	61.00	149.00	161.00
	G	96.4669	90.14	90.00	50.00	190.00	150.00

يمكن رصد حالات مختلفة غير هذه الحالة حيث لا يكون الاتجاه المرجعي منطبقاً على الشمال (أي أن النقطة B تقع على اليمين أو اليسار من محور الشمال) بحيث يكون سمت الاتجاه AB هو ($G_A^B = 390.0000$ gr) كما يظهر بالشكل (7–12)، حيث سجلت الأرصاد بالجدول (7–5).



الشكل 7– 12 الرصد بالطريقة القطبية حيث الاتجاه المرجعي هو AB

جدول 7– 5 الأرصاد القطبية بحالة الاتجاه AB كمرجع

نقطة التمركز	النقطة	الزاوية (غراد) α	المسافة (متر) L
A	B	0.0000	50.62
	C	34.2238	53.85
	D	29.0030	68.01
	E	57.4549	88.46
	F	66.9176	78.24
	G	106.4669	90.14

ومن ثمَّ تُحسب السموت كالتالي:

$$G_A^B = 390.0000\,gr$$
$$G_A^C = G_A^B + \alpha_A^C = 390.0000 + 34.2238 = 24.2238\,Gr$$
$$G_A^D = G_A^B + \alpha_A^D = 390.0000 + 29.0030 = 19.0030\,Gr$$
$$G_A^E = G_A^B + \alpha_A^E = 390.0000 + 57.4549 = 47.4549\,Gr$$
$$G_A^F = G_A^B + \alpha_A^F = 390.0000 + 66.9176 = 56.9176\,Gr$$
$$G_A^G = G_A^B + \alpha_A^G = 390.0000 + 106.4669 = 96.4669\,Gr$$

بعد حساب السموت يمكن حساب فروق الإحداثيات والإحداثيات وفق الجدول(7–6) التالي:

جدول 7– 6 حساب احداثيات الأرصاد للطريقة القطبية بحالة الاتجاه المرجعي هو AB

نقطة التمركز	النقطة	السمت G (Grad)	المسافة L (m)	Δ X (m)	Δ Y (m)	X (m)	Y (m)
A	B	390.0000	50.62	7.92–	50.00	92.08	150.00
	C	24.2238	53.85	20.00	50.00	120.00	150.00
	D	19.030	68.01	20.00	65.00	120.00	165.00
	E	47.4549	88.46	60.00	65.00	160.00	165.00
	F	56.9176	78.24	49.00	61.00	149.00	161.00
	G	96.4669	90.14	90.00	50.00	190.00	150.00

7–9 حساب إحداثيات مسقط شاقولي لواجهة بناء

وجدنا في الفصل السابق أن المحطة المتكاملة تقوم برصد الزوايا الأفقية والشاقولية والمسافات، ومن ثم تُحسب فروق الارتفاعات والمسافات الأفقية والإحداثيات. سوف تستعمل أرصاد المحطة المتكاملة لواجهة شاقولية لحساب المسافات الأفقية وفروق الارتفاعات والإحداثيات وفق المعادلات الآتية التي نعيد التذكير فيها:

حساب المسافة الأفقية: $D = S \times Sin(v)$

حيث إن:

S: المسافة المائلة.

V: الزاوية الشاقولية.

بينما يحسب فرق الارتفاع وفق المعادلة: $\Delta h = S \times Cos(v) + (hi - hr)$

حيث إن :

S: المسافة المائلة.

V: الزاوية الشاقولية.

hi: ارتفاع الجهاز.

hr: ارتفاع العاكس.

وتحسب الإحداثيات الأفقية وفق العلاقة:

$$X = D \times Sin(H_Z)$$
$$Y = D \times Cos(H_Z)$$

حيث إن:

D: المسافة الأفقية (التي حسبناها بالأعلى).

Hz: الزاوية الأفقية.

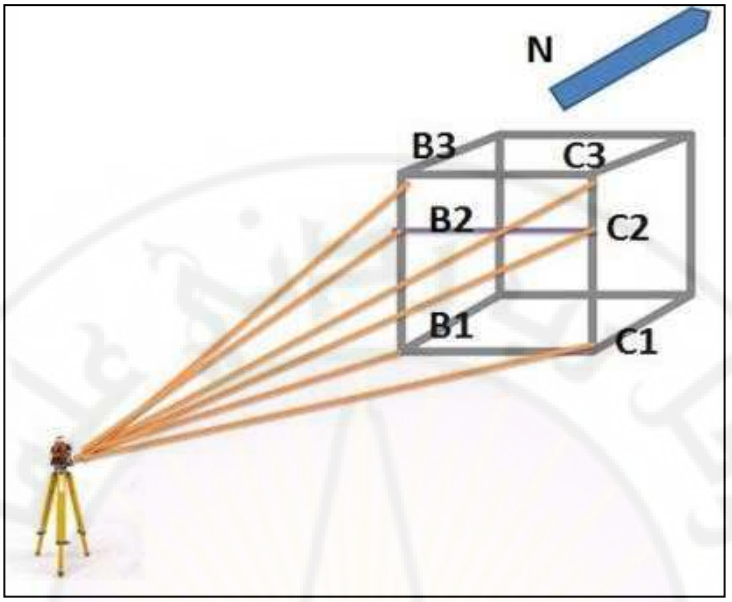
تطبيق:

وُضع جهاز المحطة المتكاملة بالنقطة (A) (الشكل 7–13)، ورُصدت زوايا واجهة بناء وقيست الزوايا الأفقية والشاقولية والمسافات حسب الجدول (7–7). فإذا علمت أن ارتفاع الجهاز (Hi=1.650 m) وارتفاع العاكس (Hr=0.000m)، أي تم استعمال عاكس ورقي يوضع على النقاط المرصودة لتعذر استعمال العاكس الموشوري، وأن منسوب النقطة (A) هو H_A=0.000 m وإحداثيات النقطة هي

A (0.00,0.00)، المطلوب:

1– حساب ارتفاع النقط B1،B2، B3 و C1،C2، C3

2– حساب الإحداثيات الأفقية للنقاط السابقة.



الشكل 7– 13 رصد واجهة شاقولية

جدول 7– 7 ارصاد الواجهة الشاقولية

نقطة التمركز	النقطة	الزاوية الأفقية (Grad)Hz	الزاوية الشاقولية V(Grad)	المسافة المائلة S (m)
A	B1	6.1393	109.8847	50.586
	C1	21.7770	109.1638	54.714
	B2	6.2045	105.7510	50.201
	C2	21.6068	105.2685	54.291
	B3	6.2277	101.2748	50.024
	C3	21.8198	101.1759	54.211

1- نحسب قيمة فروق المناسيب والمناسيب باستعمال المسافة المائلة والزاوية الشاقولية:

$$\Delta h = S \times \cos(V) + (h_i - h_r)$$

$$h_i - h_r = 1.650 - 0 = 1.650m$$

$$\Delta h = S \times \cos(V) + 1.650$$

$$\Delta h_A^{B1} = 50.586 \times \cos(109.8847) + 1.650 = -6.173m$$

$$\Delta h_A^{C1} = 54.714 \times \cos(109.1638) + 1.650 = -6.199m$$

$$\Delta h_A^{B2} = 5.201 \times \cos(105.7510) + 1.650 = -2.879m$$

$$\Delta h_A^{C2} = 54.291 \times \cos(105.2685) + 1.650 = -2.838m$$

$$\Delta h_A^{B3} = 50.024 \times \cos(101.2748) + 1.650 = 0.648m$$

$$\Delta h_A^{C3} = 54.211 \times \cos(101.1759) + 1.650 = 0.649m$$

$$Hi = \Delta hi + H_A$$

$$H_{B1} = \Delta h_{B1} + 0 = -6.173 + 0 = -6.173m$$

$$H_{C1} = \Delta h_{C1} + 0 = -6.199m$$

$$H_{B2} = \Delta h_{B2} + 0 = -2.879m$$

$$H_{C2} = \Delta h_{C2} + 0 = -2.838m$$

$$H_{B3} = \Delta h_{B2} + 0 = 0.648m$$

$$H_{C3} = \Delta h_{C2} + 0 = 0.649m$$

2- ويمكن دمج الخطوتين السابقتين كالآتي:

$$\Delta h = S \times \cos(V) + (h_i - h_r)$$

$$h_i - h_r = 1.650 - 0 = 1.650m$$

$$\Delta h_A^i = S_A^i \times \cos(V_i) + 1.650$$

$$H_i = H_A + \Delta h_A^i = H_A + (S_A^i \times \cos(V_i) + (h_i - h_r))$$

$$H_A = 0.000$$

$$H_{B1} = 0 + (50.586 \times \cos(109.8847)) + 1.650 = -6.173m$$

$$H_{C1} = 0 + (54.714 \times \cos(109.1638)) + 1.650 = -6.199m$$

$$H_{B2} = 0 + (5.201 \times \cos(105.7510)) + 1.650 = -2.879m$$

$$H_{C2} = 0 + (54.291 \times \cos(105.2685)) + 1.650 = -2.838m$$

$$H_{B3} = 0 + (50.024 \times \cos(101.2748)) + 1.650 = 0.648m$$

$$H_{C3} = 0 + (54.211 \times \cos(101.1759)) + 1.650 = 0.649m$$

3– نحسب المسافات الأفقية باستعمال المسافات المائلة والزوايا الشاقولية:

$$D_A^i = S_A^i \times \cos(V_i)$$

$$d_A^{B1} = 50.586 \times \sin(109.8847) = 49.977\,m$$

$$d_A^{C1} = 54.714 \times \sin(109.1638) = 54.148\,m$$

$$d_A^{B2} = 5.201 \times \sin(105.7510) = 49.996\,m$$

$$d_A^{C2} = 54.291 \times \sin(105.2685) = 54.105\,m$$

$$d_A^{B3} = 50.024 \times \sin(101.2748) = 50.014\,m$$

$$d_A^{C3} = 54.211 \times \sin(101.1759) = 54.202\,m$$

4– نحسب الإحداثيات الأفقية باستعمال المسافات الأفقية والزوايا الأفقية:

$$X_{B1} = X_A + d_A^{B1} \times \sin(\alpha_1) = 0 + 49.977 \times \sin(6.1393) = 4.812\,m$$
$$Y_{B1} = Y_A + d_A^{B1} \times \cos(\alpha_1) = 0 + 49.977 \times \cos(6.1393) = 49.745\,m$$

$$X_{C1} = X_A + d_A^{C1} \times \sin(\alpha_2) = 0 + 54.148 \times \sin(21.7770) = 18.163m$$
$$Y_{C1} = Y_A + d_A^{C1} \times \cos(\alpha_2) = 0 + 54.148 \times \cos(21.7770) = 51.11m$$

$$X_{B2} = X_A + d_A^{B2} \times \sin(\alpha_3) = 0 + 49.996 \times \sin(6.2045) = 4.865m$$
$$Y_{B2} = Y_A + d_A^{B2} \times \cos(\alpha_3) = 0 + 49.996 \times \cos(6.2045) = 49.759m$$

$$X_{C2} = X_A + d_A^{C2} \times \sin(\alpha_4) = 0 + 54.105 \times \sin(21.6068) = 18.013m$$
$$Y_{C2} = Y_A + d_A^{C2} \times \cos(\alpha_4) = 0 + 54.105 \times \cos(21.6068) = 51.019m$$

$$X_{B3} = X_A + d_A^{B3} \times \sin(\alpha_5) = 0 + 50.014 \times \sin(6.2277) = 4.885m$$
$$Y_{B3} = Y_A + d_A^{B3} \times \cos(\alpha_5) = 0 + 50.014 \times \cos(6.2277) = 49.775m$$

$$X_{C3} = X_A + d_A^{C3} \times \sin(\alpha_6) = 0 + 54.202 \times \sin(21.8198) = 18.216m$$
$$Y_{C3} = Y_A + d_A^{C3} \times \cos(\alpha_6) = 0 + 54.202 \times \cos(21.8198) = 51.049m$$

ويمكن انجاز الحل الاسبق من خلال الجداول (7–8) و (7–9):

جدول 7– 8 حساب المسافات الأفقية وفروق الارتفاعات

نقطة التمركز	النقطة	الزاوية الأفقية Hz (Grad)	الزاوية الشاقولية V(Grad)	المسافة المائلة S (m)	المسافة الأفقية D (m)	فرق الارتفاع Δ h (m)
A	B1	6.1393	109.8847	50.586	49.977	–6.173
	C1	21.7770	109.1638	54.714	54.148	–6.199
	B2	6.2045	105.7510	50.201	49.996	–2.879
	C2	21.6068	105.2685	54.291	54.105	–2.838
	B3	6.2277	101.2748	50.024	50.014	0.648
	C3	21.8198	101.1759	54.211	54.202	0.649

جدول 7– 9 حساب احداثيات واجهة شاقولية

نقطة التمركز	النقطة	الزاوية الأفقية (Grad)Hz	المسافة الأفقية D (m)	X (m)	Y (m)
A	B1	6.1393	49.977	4.812	49.745
	C1	21.7770	54.148	18.163	51.011
	B2	6.2045	49.996	4.865	49.759
	C2	21.6068	54.105	18.013	51.019
	B3	6.2277	50.014	4.885	49.775
	C3	21.8198	54.202	18.216	51.049

مثال آخر

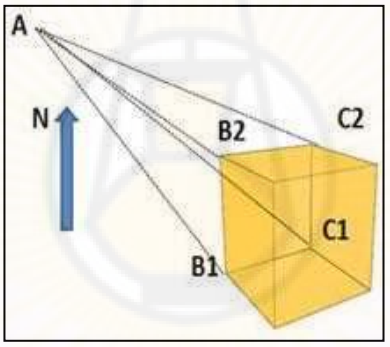
وضع جهاز المحطة المتكاملة بالنقطة (A) (الشكل 7–14) حيث تم تصفير الجهاز على اتجاه الشمال وتم رصد 4 نقاط تمثل اطراف الواجهة الشاقولية لمبنى وقيست الزوايا الأفقية والشاقولية والمسافات حسب الجدول (7–10). فإذا علمت أن ارتفاع الجهاز (Hi=1.620 m)، وارتفاع العاكس (Hr=1.280m)، وأن منسوب النقطة (A) هو HA=00.000 m وإحداثيات النقطة هي

A (0.00,0.00) ، المطلوب:

1– حساب ارتفاع (مناسيب) نقاط أطراف واجهة المبنى الأربعة.

2– احسب وسطي ارتفاع المبنى.

2– احسب المسافات الأفقية ثم الإحداثيات الأفقية لنقاط واجهة المبنى الأربعة.



الشكل 7– 14 رصد واجهة مبنى

جدول 7– 10 قراءات ارصاد واجهة المبنى

نقطة التمركز	النقطة	الزاوية الأفقية (α grad)	الزاوية الشاقولي (V grad)	المسافة المائلة ((S (m)
A	B1	114.5608	92.5545	42.038
	C1	110.7248	93.5591	47.674
	B2	114.6009	87.6626	42.631
	C2	110.7492	89.2442	48.111

1- نحسب قيمة فروق المناسيب والمناسيب باستعمال المسافة المائلة والزاوية الشاقولية:

$$\Delta h_A^i = (S_A^i \times \cos(V_i)) + (h_i - h_r)$$

$$h_i - h_r = 1.620 - 1.280 = 0.340\,m$$

$$\Delta h_A^i = (S_A^i \times \cos(V_i)) + 0.340$$

$$\Delta h_A^{B1} = (42.038 \times \cos(92.5545)) + 0.340 = 5.245\,m$$

$$\Delta h_A^{C1} = (47.674 \times \cos(93.5591)) + 0.340 = 5.155\,m$$

$$\Delta h_A^{B2} = (42.631 \times \cos(87.6626)) + 0.340 = 8.550\,m$$

$$\Delta h_A^{C2} = (48.111 \times \cos(89.2442)) + 0.340 = 8.430\,m$$

$$Hi = \Delta h_A^i + H_A$$

$$H_{B1} = \Delta h_{B1} + 0 = 5.245 + 0 = 5.245m$$

$$H_{C1} = \Delta h_{C1} + 0 = 5.155m$$

$$H_{B2} = \Delta h_{B2} + 0 = 8.550m$$

$$H_{C2} = \Delta h_{C2} + 0 = 8.430m$$

يمكن دمج الخطوتين السابقتين:

$$h_i - h_r = 1.620 - 1.280 = 0.340m$$

$$\Delta h = S \times \cos(V) + 0.340$$

$$H_i = H_A + \Delta h_A^i = H_A + (S \times \cos(V) + (h_i - h_r))$$

$$H_A = 0.000$$

$$H_{B1} = 0 + (42.038 \times \cos(92.5545)) + 0.340 = 5.245m$$

$$H_{C1} = 0 + (47.674 \times \cos(93.5591)) + 0.340 = 5.155m$$

$$H_{B2} = 0 + (42.631 \times \cos(87.6626)) + 0.340 = 8.550m$$

$$H_{C2} = 0 + (48.111 \times \cos(89.2442)) + 0.340 = 8.430m$$

2- حساب وسطي ارتفاع المبنى:

$$H = \frac{(H_{B2} - H_{B1}) + (H_{C2} - H_{C1})}{2}$$

$$H = \frac{(8.550 - 5.245) + (8.430 - 5.155)}{2} = \frac{3.305 + 3.275}{2} = \frac{6.580}{2} = 3.290\,m$$

3– نحسب المسافات الأفقية باستعمال المسافات المائلة والزوايا الشاقولية:

$$D = S \times \cos(V)$$

$$d_A^{B1} = D_{B1} = 42.038 \times \sin(92.5545) = 41.751m$$

$$d_A^{C1} = D_{C1} = 47.674 \times \sin(93.5591) = 47.430m$$

$$d_A^{B2} = D_{B2} = 42.631 \times \sin(87.6626) = 41.833m$$

$$d_A^{C2} = D_{C2} = 48.111 \times \sin(89.2442) = 47.426m$$

4– نحسب الإحداثيات الأفقية باستعمال المسافات الأفقية والزوايا الأفقية:

$$X_{B1} = X_A + d_A^{B1} \times \sin(\alpha_1) = 0 + 41.751 \times \sin(114.5608) = 40.664m$$
$$Y_{B1} = Y_A + d_A^{B1} \times \cos(\alpha_1) = 0 + 41.751 \times \cos(114.5608) = -9.466m$$

$$X_{C1} = X_A + d_A^{C1} \times \sin(\alpha_2) = 0 + 47.674 \times \sin(110.7248) = 46.759m$$
$$Y_{C1} = Y_A + d_A^{C1} \times \cos(\alpha_2) = 0 + 47.674 \times \cos(110.7248) = -7.953m$$

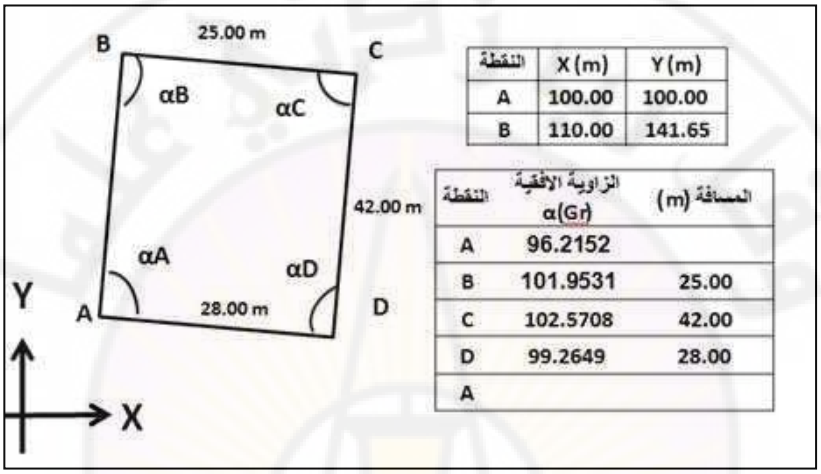
$$X_{B2} = X_A + d_A^{B2} \times \sin(\alpha_3) = 0 + 41.833 \times \sin(114.6009) = 40.738m$$
$$Y_{B2} = Y_A + d_A^{B2} \times \cos(\alpha_3) = 0 + 41.833 \times \cos(114.6009) = -9.511m$$

$$X_{C2} = X_A + d_A^{C2} \times \sin(\alpha_4) = 0 + 47.426 \times \sin(110.7492) = 46.752m$$
$$Y_{C2} = Y_A + d_A^{C2} \times \cos(\alpha_4) = 0 + 47.426 \times \cos(110.7492) = -7.970m$$

نقطة التمركز	النقطة	الزاوية الأفقية (α grad)	الزاوية الشاقولي (V grad)	المسافة المائلة (S (m))	H (m)	D (m)	X (m)	Y (m)
A	B1	114.5608	92.5545	42.038	5.245	41.751	40.664	–9.466
	C1	110.7248	93.5591	47.674	5.155	47.430	46.759	–7.953
	B2	114.6009	87.6626	42.631	8.550	41.833	40.738	–9.511
	C2	110.7492	89.2442	48.111	8.430	47.426	46.752	–7.970

7–10 حساب احداثيات مضلع مغلق باستعمال السمت والسمت المعاكس

بالمضلع الرباعي ABCD أعطيت احداثيات النقطة A (100.00,100.00) m، بالمتر، وإحداثيات النقط B (110.00,141.65) m بالمتر، وقد قيست الزوايا الداخلية (بالغراد) كما قيست المسافات بين النقاط (بالمتر) كما بالشكل (7–15).



النقطة	X (m)	Y (m)
A	100.00	100.00
B	110.00	141.65

النقطة	الزاوية الأفقية α(Gr)	المسافة (m)
A	96.2152	
B	101.9531	25.00
C	102.5708	42.00
D	99.2649	28.00
A		

الشكل 7– 15 قياسات مضلع مغلق بحالة نقطتين معلومتي الإحداثيات

احسب سموت اتجاهات المضلع الرباعي بطريقة السمت والسمت المعاكس.

$$\lambda = \text{arctg}\frac{|\Delta X|}{|\Delta Y|} = \frac{|110.00 - 100.00|}{|141.65 - 100.00|} = \text{arctg}\frac{|10|}{|41.65|} = 15.0010\text{gr}$$

الحل:

$$\Delta X^{+}, \Delta Y^{+}, \Rightarrow G_A^B = \lambda$$

$$G_A^B = 15.0010\text{gr}$$

$$G_B^C = G_B^A - \alpha_B = 215.0010 - 101.9531 = 113.0479\text{gr}$$

$$G_C^B = G_B^C \pm 200 = 313.0479\text{gr}$$

$$G_C^D = G_C^B - \alpha_C = 313.0479 - 102.5708 = 210.4771\text{gr}$$

$$G_D^C = G_C^D \pm 200 = 10.4771\text{gr}$$

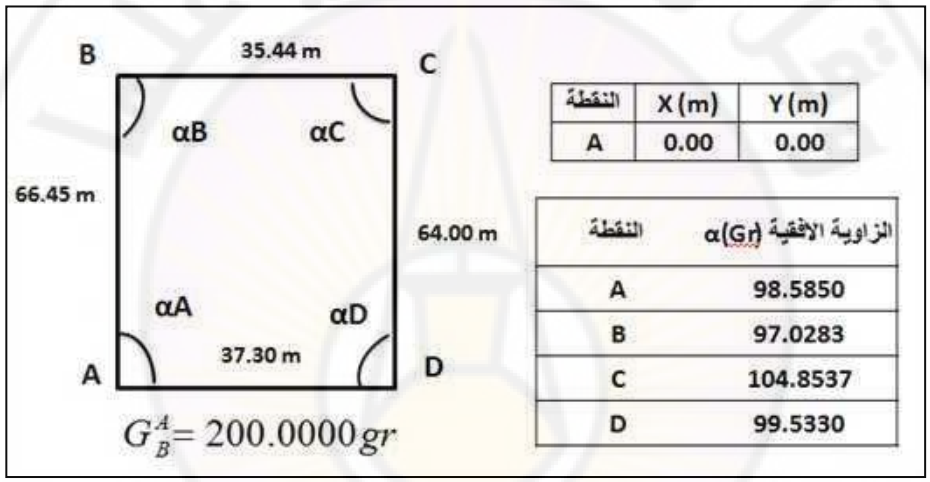
$$G_D^A = G_D^C - \alpha_D = 10.4771 - 99.2649 = 311.2122\text{gr}$$

$$G_A^D = G_D^A \pm 200 = 111.2122\text{gr}$$

$$G_A^B = G_A^D - \alpha_A = 111.2122 - 96.2152 = 14.9970\text{gr}$$

في حالة مضلع مغلق أُعطيت إحداثيات نقطة منه وسمت اتجاه، يمكن حساب السموت بطريقة السمت والسمت المعاكس من خلال المثال الآتي:

بالمضلع الرباعي ABCD أعطيت احداثيات النقطة A (100.00,100.00) m بالمتر، وبفرض ان سمت الاتجاه BA قيمته Grad 200.0000 = G_B^A، وقد قيست الزوايا الداخلية (بالغراد) كما قيست المسافات بين النقاط (بالمتر) كما بالشكل (7–16)، احسب سموت اتجاهات هذا المضلع.



النقطة	X (m)	Y (m)
A	0.00	0.00

النقطة	الزاوية الافقية α(Gr)
A	98.5850
B	97.0283
C	104.8537
D	99.5330

الشكل 7– 16 قياسات مضلع مغلق بحالة نقطة معلومة وسمت معلوم

الحل:

$$G_B^{A'} = 200.0000\,gr$$

$$G_A^{B'} = G_B^A \pm 200 = 0.0000\,gr$$

$$G_B^C = G_B^A - \alpha_B = 200.0000 - 97.0283 = 102.9717\,gr$$

$$G_C^B = G_B^C \pm 200 = 302.9717\,gr$$

$$G_C^D = G_C^B - \alpha_C = 302.9717 - 104.8537 = 198.1180\,gr$$

$$G_D^C = G_C^D \pm 200 = 398.1180\,gr$$

$$G_D^A = G_D^C - \alpha_D = 398.1180 - 99.5330 = 298.5850\,gr$$

$$G_A^D = G_D^A \pm 200 = 98.5850\,gr$$

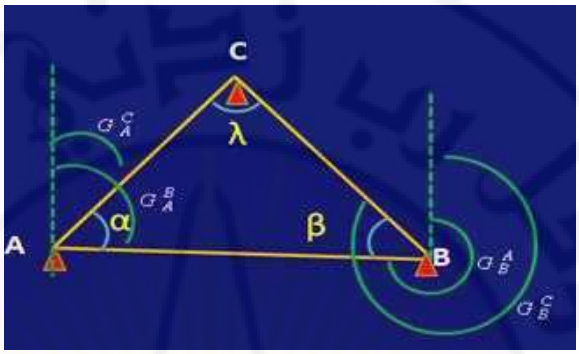
$$G_A^B = G_A^D - \alpha_A = 98.585 - 98.5850 = 0.0000\,gr$$

7–11 طرائق التعيين المستوي للنقاط: طريقة حل المثلث

المعطيات:A، B نقطتان معلومتا الإحداثيات كما يظهر بالشكل (7–17).

الزوايا α،β زوايا مقيسة على الطبيعة (معلومة).

المطلوب: تعيين إحداثيات النقطة C



الشكل 7 17 طريقة حل المثلث

يمكن تعيين إحداثيات النقطة C من النقطة A أو النقطة B:

إما:

$$X_C = X_A + d_A^C \sin G_A^C$$
$$Y_C = Y_A + d_A^C \cos G_A^C$$

أو :

$$X_C = X_B + d_B^C \sin G_B^C$$
$$Y_C = Y_B + d_B^C \cos G_B^C$$

نلاحظ أن المجاهيل المطلوب حسابها هي: $d_A^C, d_B^C, G_A^C, G_B^C$

من المثلث ABC وحسب خاصة الجيوب لدينا:

$$\frac{AB}{\sin\lambda} = \frac{AC}{\sin\beta} = \frac{BC}{\sin\alpha} \Rightarrow d_A^C = \frac{AB Sin\beta}{\sin\lambda}$$

حيث :

$$d_B^C = \frac{AB\sin\alpha}{\sin\lambda}$$
$$\gamma = 200 - (\alpha + \beta)$$
$$AB = \sqrt{\Delta X^2 + \Delta Y^2}$$
$$G_A^B = \tan^{-1}\frac{|\Delta X|}{|\Delta Y|}$$

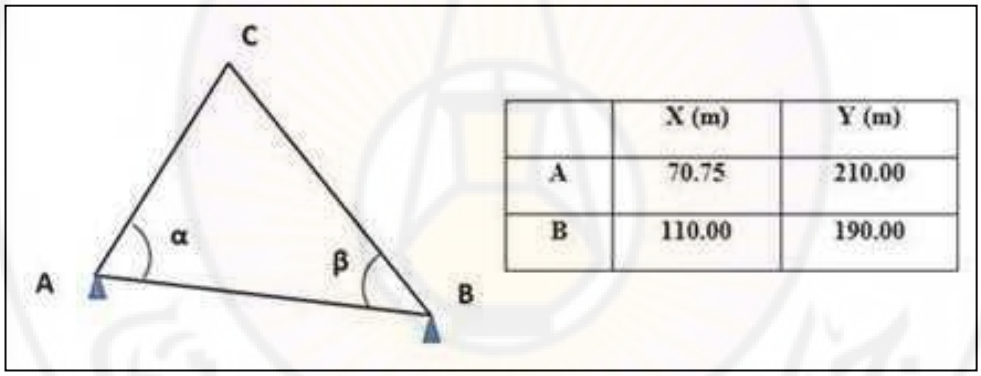
يجب الأخذ بعين الاعتبار في أي ربع تقع النقاط:

$$G_A^C = G_A^B - \alpha, G_B^C = G_B^A + \beta$$

بعد معرفة المجاهيل السابقة نعوض في (1) أو (2) فنحصل على المطلوب .

تمرين (1)

قطعة ارض بشكل مثلث ABC (الشكل 7–18)، أعطيت إحداثيات النقط A، B بالمتر، وقيست الزوايا الداخلية للمثلث بالغراد بجهاز الثيودوليت، فإذا علمت أن: Gr 90.0000 =α و Gr 40.0000 = β ، وإذا كانت إحداثيات النقطتينA، B معطاة بالشكل.



	X (m)	Y (m)
A	70.75	210.00
B	110.00	190.00

الشكل 7– 18 مثلث علم فيه إحداثيات نقطتين وزاويتين

المطلوب:

1–احسب المسافة AB والمسافة AC والمسافة BC

2– احسب السمت G_A^B والسمت G_A^C والسمت G_B^A والسمت G_B^C، ثم إحداثيات C

الحل:

$$AB = \sqrt{\Delta X^2 + \Delta Y^2} = 44.052\,m$$

1- نحسب المسافات

نطبق قاعدة الجيوب

$$\frac{\sin\beta}{AC} = \frac{\sin\alpha}{BC} = \frac{\sin\gamma}{AB}$$

$$\gamma = 200 - (90 + 40) = 70.0000\,Gr$$

$$d_A^C = \frac{AB\sin\beta}{\sin\gamma} = \frac{44.052 * \sin(40)}{\sin(70)} = 29.06m$$

$$d_B^C = \frac{AB\sin\alpha}{\sin\gamma} = \frac{44.052 * \sin(90)}{\sin(70)} = 48.83m$$

2- نحسب قيمة السموت

$$\lambda = \tan^{-1}\frac{|\Delta X|}{|\Delta Y|} = 69.9985\,Gr$$

$$G_A^B = 200 - \lambda = 200 - 69.9985 = 130.0015\,Gr$$

$$G_A^B = 130.0015\,gr$$

$$G_B^A = G_A^B \pm 200 = 130.0015 + 200 = 330.0015\,g$$

$$G_A^C = G_A^B - \alpha = 130.0015 - 90.0000 = 40.0015\,gr$$

$$G_B^C = G_B^A + \beta = 330.0015 + 40 = 370.0015\,gr$$

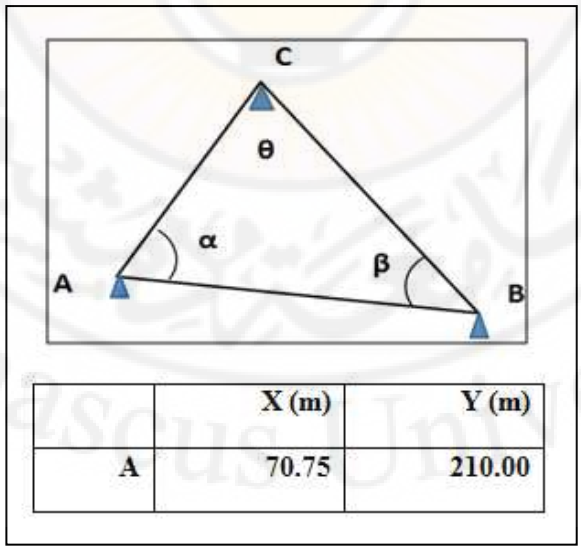
3– نحسب قيمة الإحداثيات:

$$X_C = X_A + d_A^C \times \sin(G_A^C) = 70.75 + 29.06 \times \sin(40.0015) = 87.83m$$
$$Y_C = Y_A + d_A^C \times \cos(G_A^C) = 210.00 + 29.6 \times \cos(40.0015) = 233.51m$$
$$OR:$$
$$X_C = X_B + d_B^C \times \sin(G_B^C) = 110.00 + 48.83 \times \sin(370.015) = 87.83m$$
$$Y_C = Y_B + d_B^C \times \cos(G_B^C) = 190.00 + 48.83 \times \cos(370.0015) = 233.51m$$

تمرين (2)

قطعة أرض بشكل مثلث ABC (الشكل 7–19)، أعطيت إحداثيات النقط A بالمتر، وقيست الزوايا الداخلية للمثلث بالغراد بجهاز الثيودوليت. فإذا علمت أن: α= 90.0000 Gr و β = 40.0000 Gr، وأن المسافة بين النقطتين B و C هي L(BC)=48.83 m، وأن سمت الاتجاه AB (G_A^B) هو:

G_A^B =130.0015 Gr والمطلوب: احسب إحداثيات النقاط B و C.



	X (m)	Y (m)
A	70.75	210.00

الشكل 7– 19 مثلث علم فيه احداثيات نقطة وسمت اتجاه وزاويتين

الحل:

1– نحسب المسافات من خلال تطبيق قاعدة الجيوب

$$\theta = 200 - (90 + 40) = 70.0000\,Gr$$

$$\frac{\sin\beta}{AC} = \frac{\sin\alpha}{BC} = \frac{\sin\theta}{AB}$$

$$d_A^C = \frac{BC\sin\beta}{\sin\alpha} = \frac{48.83 * \sin(40)}{\sin(90)} = 29.06m$$

$$d_A^B = \frac{BC\sin\theta}{\sin\alpha} = \frac{48.83 * \sin(70)}{\sin(90)} = 44.050\,m$$

2– نحسب السموت

$$G_A^B = 130.0015\,gr$$

$$G_A^C = G_A^B - \alpha = 130.0015 - 90.0000 = 40.0015\,gr$$

3– نحسب الإحداثيات

$$X_C = X_A + d_A^C \times \sin(G_A^C) = 70.75 + 29.06 \times \sin(40.0015) = 87.83m$$

$$Y_C = Y_A + d_A^C \times \cos(G_A^C) = 210.00 + 29.6 \times \cos(40.0015) = 233.51m$$

$$X_B = X_A + d_A^B \times \sin(G_A^B) = 70.75 + 44.05 \times \sin(130.015) = 110.00m$$

$$Y_B = Y_A + d_A^B \times \cos(G_A^B) = 210.00 + 44.05 \times \cos(130.0015) = 190.00m$$

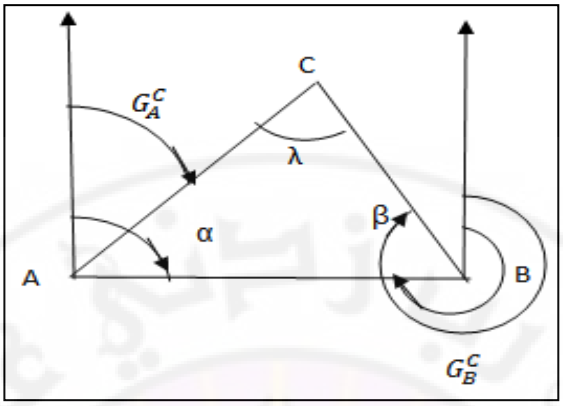
12–7 طريقة التقاطع

هي طريقة معرفة إحداثيات نقطة بالتسديد عليها من نقطتين معلومتي الإحداثيات.

المعطيات: A، B نقطتان معلومتا الإحداثيات (الشكل 7–20).

الزوايا α،β زوايا مقيسة على الطبيعة (معلومة).

المطلوب: تعيين إحداثيات النقطة C



الشكل 7– 20 طريقة التقاطع

الحل:

نكتب معادلة المستقيم AC:

$$\tan G_A^C = \frac{(X_C - X_A)}{(Y_C - Y_A)} \Rightarrow X_C = X_A + (Y_C - Y_A)\tan G_A^C$$

نكتب معادلة المستقيم BC:

$$\tan G_B^C = \frac{(X_C - X_B)}{(Y_C - Y_B)} \Rightarrow X_C = X_B + (Y_C - Y_B)\tan G_B^C$$

نساوي بين العلاقتين:

$$X_A + (Y_C - Y_A)\tan G_A^C = X_B + (Y_C - Y_B)\tan G_B^C$$

$$Y_C(\tan G_A^C - \tan G_B^C) = X_B - X_A + Y_A \tan G_A^C - Y_B \tan G_B^C$$

$$\Rightarrow Y_C = \frac{X_B - X_A + Y_A \tan G_A^C - Y_B \tan G_B^C}{\tan G_A^C - \tan G_B^C}$$

لمعرفة قيمة Xc نعوض بإحدى العلاقتين:

$$X_C = X_A + (Y_C - Y_A)\tan G_A^C$$

$or:$

$$X_C = X_B + (Y_C - Y_B)\tan G_B^C$$

نلاحظ في العلاقة السابقة أن المجاهيل هي فقط السموت والتي تحسب:

$$G_A^C = G_A^B - \alpha$$

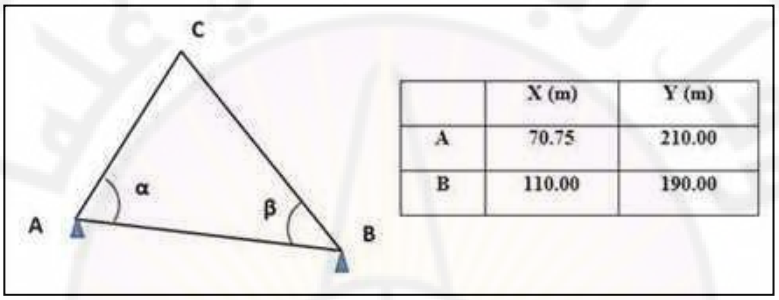
$$G_B^C = G_B^A + \beta$$

تمرين:

سيحل تمرين حساب حل المثلث إذا علمت إحداثيات نقطتين بطريقة التقاطع:

قطعة ارض بشكل مثلث ABC (الشكل 7–21)، أعطيت احداثيات النقط A، B بالمتر، وقيست الزوايا الداخلية للمثلث بالغراد بجهاز الثيودوليت. فإذا علمت أن: α= 90.0000 Gr و β = 40.0000 Gr، فإذا كانت إحداثيات النقطتين A، B معطاة بالشكل.

فالمطلوب: احسب إحداثيات النقطة C بطريقة التقاطع.



	X (m)	Y (m)
A	70.75	210.00
B	110.00	190.00

الشكل 7– 21 حل المثلث بطريقة التقاطع

الحل:

1– تحسب قيمة السموت :

$$\lambda = \tan^{-1}\frac{|\Delta X|}{|\Delta Y|} = 69.9985\text{Gr}$$

$$G_A^B = 200 - \lambda = 200 - 69.9985 = 130.0015\text{Gr}$$

$$G_A^B = 130.0015\text{gr}$$

$$G_B^A = G_A^B \pm 200 = 130.0015 + 200 = 330.0015\text{g}$$

$$G_A^C = G_A^B - \alpha = 130.0015 - 90.0000 = 40.0015\text{gr}$$

$$G_B^C = G_B^A + \beta = 330.0015 + 40 = 370.0015\text{gr}$$

3– تحسب قيمة Yc من العلاقة :

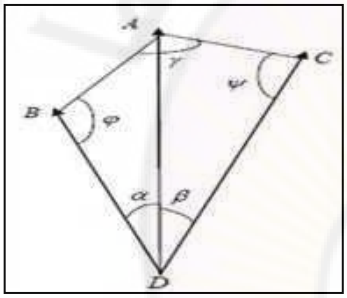
$$Y_C = \frac{X_B - X_A + Y_A \tan G_A^C - Y_B \tan G_B^C}{\tan G_A^C - \tan G_B^C}$$

$$Y_C = \frac{110.00 - 70.75 + 210.00(\tan 40.0015) - 190.00\tan(370.0015)}{\tan(40.0015) - \tan(370.0015)}$$

$$Y_c = 87.83m$$

4– تحسب قيمة Xc بتعويض قيمة Yc بإحدى المعادلتين :

$$X_C = X_A + (Y_C - Y_A)\tan G_A^C$$
$$X_C = 70.75 + (87.83 - 210.0) \times \tan(40.0015)$$
$$X_C = 233.51m$$
$$or:$$
$$X_C = X_B + (Y_C - Y_B)\tan G_B^C$$
$$X_C = 110.00 + (87.83 - 190.0) \times \tan(370.0015)$$
$$X_C = 233.51m$$

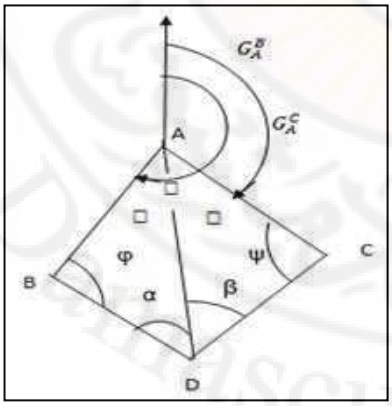


الشكل 7 22 طريقة التقويم

13–7 طريقة التقويم

طريقة معرفة إحداثيات محطة الرصد برصد ثلاث نقاط معلومة الإحداثيات

المعطيات:A،B، C نقاط معلومة الإحداثيات (لا يمكن الوقوف عليها) (الشكل 7–22).



الزوايا: α، β زوايا مقيسة على الطبيعة (معلومة).

المطلوب: تعيين إحداثيات النقطة D بالوقوف عليها ورصد النقاط المعلومة الإحداثيات.

الحل:

1– تُحسب السموت والمسافات المتاحة

$$X_D = X_C + d_C^D \sin G_C^D$$
$$Y_D = Y_C + d_C^D \cos G_C^D$$
$$Or:$$
$$X_D = X_B + d_B^D \sin G_B^D$$
$$Y_D = Y_B + d_B^D \cos G_B^D$$

هناك خياران لإيجاد إحداثيات النقطة D:

$$G_A^B = arctg\frac{X_B - X_A}{Y_B - Y_A}$$

$$G_A^C = arctg\frac{X_C - X_A}{Y_C - Y_A}$$

$$d_A^B = \sqrt{(X_B - X_A)^2 + (Y_B - Y_A)^2}$$

$$d_A^C = \sqrt{(X_C - X_A)^2 + (Y_C - Y_A)^2}$$

وفي الخيارين يلاحظ أن المجاهيل هي السمت، والمسافة، لكن يمكن ملاحظة أن كل واحد من السمتين يحتوي على زاوية مجهولة لا بد من حسابها (Ψ) و (Φ).

لدينا من المثلث

$$\varphi - \psi = 400 - (\alpha + \beta + \gamma) \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (1)$$

ويمكن حساب قيمة زاوية من سمتين :

$$\gamma = G_A^B - G_A^C$$

هنالك مجهولين Φ،Ψ ومعادلة واحدة، ومن ثمَّ يجب البحث عن علاقة ثانية بحيث يمكن حل المعادلتين بمجهولين:

من علاقة الجيوب بالمثلث ABD:

$$\frac{DA}{\sin\varphi} = \frac{AB}{\sin\alpha} \Rightarrow DA = AB\frac{\sin\varphi}{\sin\alpha}$$

ومن علاقة الجيوب بالمثلث ADC:

$$\frac{DA}{\sin\psi} = \frac{AC}{\sin\beta} \Rightarrow DA = AC\frac{\sin\psi}{\sin\beta}$$

بالمساواة:

$$DA = AB\frac{\sin\varphi}{\sin\alpha} = AC\frac{\sin\psi}{\sin\beta}$$

$$\Rightarrow \frac{\sin\varphi}{\sin\psi} = \frac{\sin\alpha}{\sin\beta} \times \frac{AC}{AB}$$

وهي معادلة لاخطية لا تحل إلا بعملية تحايل حيث سنرمز ب K للكسر الآتي: (يؤخذ K بدقة 5 ارقام بعد الفاصلة):

$$\frac{\sin\varphi}{\sin\psi}=K=\frac{\sin\alpha}{\sin\beta}\times\frac{AC}{AB}$$

ومن ثمَّ يكون:

$$\frac{\sin\varphi}{\sin\psi}-1=K-1$$

$$\frac{\sin\varphi}{\sin\psi}+1=K+1$$

بتوحيد المقامات والقسمة:

$$\frac{\sin\varphi-\sin\psi}{\sin\varphi+\sin\psi}=\frac{K-1}{K+1}$$

$$\frac{2\sin\frac{\varphi-\psi}{2}\cos\frac{\varphi+\psi}{2}}{2\sin\frac{\varphi+\psi}{2}\cos\frac{\varphi-\psi}{2}}=\frac{K-1}{K+1}$$

ومن ثمَّ يكون:

$$tg(\frac{\varphi-\psi}{2})=tg(\frac{\varphi+\psi}{2})\times\frac{K-1}{K+1}$$

$$\varphi-\psi=2arctg(tg(\frac{\varphi+\psi}{2})\times\frac{K-1}{K+1}) \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots(2)$$

$$\varphi-\psi=400-(\alpha+\beta+\gamma)$$

اصبح لدينا:

$$\varphi-\psi=2\tan^{-1}(\frac{K-1}{K+1}\times\tan\frac{\varphi+\psi}{2})$$

نحدد المجاهيل بالعلاقة (1) و (2):

$$G_A^B, G_A^C, \gamma, d_A^B, d_A^C, K$$

$$\gamma=G_A^B-G_A^C$$

$$K=\frac{\sin\alpha}{\sin\beta}\times\frac{d_A^C}{d_A^B}$$

بحل العلاقة (1) مع (2) نحصل على قيمة المجاهيل Φ، Ψ عندها تتحول المسألة إلى مسألة حل مثلث أو مسألة تقاطع:

الحل الأول:

حساب إحداثيات النقطة D من النقطة B

من المثلث ABD لدينا:

$$\gamma_1 = 200 - (\alpha + \varphi)$$

$$G_B^D = G_B^A + \varphi$$

$$\frac{d_B^D}{\sin\gamma_1} = \frac{d_A^B}{\sin\alpha} \Rightarrow d_B^D = \frac{d_A^B \sin\gamma_1}{\sin\alpha}$$

$$X_D = X_B + d_B^D \sin G_B^D$$

$$Y_D = Y_B + d_B^D \cos G_B^D$$

الحل الثاني:

حساب إحداثيات النقطة D من النقطة C

من المثلث ACD لدينا:

$$\gamma_2 = 200 - (\psi + \beta)$$

$$G_C^D = G_C^A - \psi$$

$$\frac{d_C^D}{\sin\gamma_2} = \frac{d_A^C}{\sin\beta} \Rightarrow d_C^D = \frac{d_A^C \sin\gamma_2}{\sin\beta}$$

$$X_D = X_C + d_C^D \sin G_C^D$$

$$Y_D = Y_C + d_C^D \cos G_C^D$$

الحل الثالث:

حساب إحداثيات النقطة D بطريقة التقاطع:

$$Y_D = \frac{X_B - X_A + Y_A \tan G_A^D - Y_B \tan G_B^D}{\tan G_A^D - \tan G_B^D}$$

$$\gamma_1 = 200 - (\alpha + \varphi)$$

$$G_B^D = G_A^B + \gamma_1 - 200$$

$$X_D = X_A + \tan G_A^D (Y_D - Y_A)$$

$$X_D = X_B + \tan G_B^D (Y_D - Y_B)$$

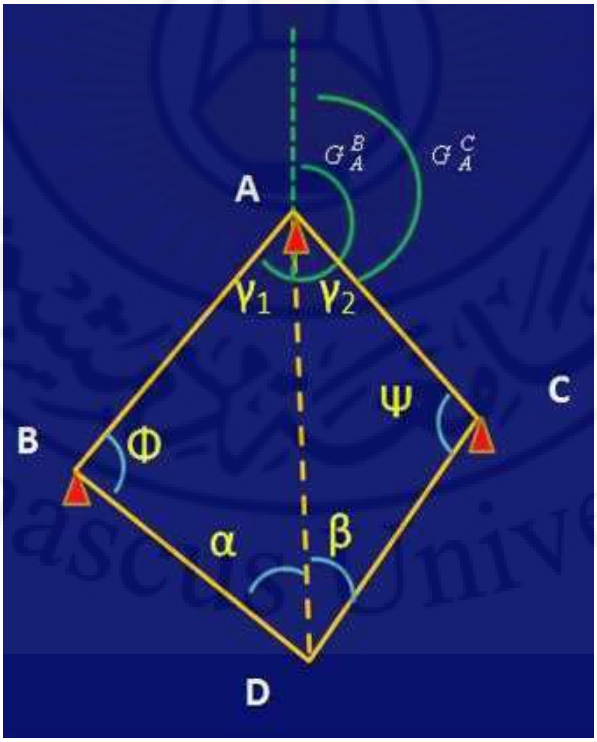
تمرين:

احسب إحداثيات النقطة D بالتقويم إذا علمت أن إحداثيات النقط المرصودة منها:

النقطة	X (m)	Y (m)
A	125.16	245.94
B	−80.59	108.25
C	362.03	−48.12

وأن الزوايا : α= 36.1856 gr ،β=62.2774 gr

الحل:



$$G_A^B = 262.4546gr$$

$$G_A^C = 156.8311gr$$

$$\gamma = G_A^B - G_A^C = 105.6235gr$$

$$Or: \gamma = 200 - (\alpha + \beta) = 105.6235gr$$

$$\varphi + \psi = 400 - (\alpha\ '+\beta'+\gamma) = 195.9135gr \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ (1)$$

$$\varphi - \psi = 2arctg(tg(\frac{\varphi + \psi}{2}) \times \frac{K-1}{K+1})$$

$$d_A^B = AB = \sqrt{(X_B - X_A)^2 + (Y_B - Y_A)^2} = 247.57m$$

$$d_A^C = AC = \sqrt{(X_C - X_A)^2 + (Y_C - Y_A)^2} = 377.60m$$

$$\frac{\sin\varphi}{\sin\psi} = K = \frac{\sin\alpha i}{\sin\beta i} \times \frac{BC}{AC} = 0.9897194$$

$$\varphi - \psi = -20.31597gr$$

$$\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots(2)$$

بحل العلاقة (1) مع (2) نحصل على قيمة المجاهيل Φ، Ψ :

$$\varphi = 87.79876gr$$

$$\psi = 108.1147gr$$

$$\gamma 1 = 200 - (\varphi + \alpha') = 76.0156gr$$

$$\gamma 2 = 200 - (\psi + \beta') = 29.6079gr$$

$$BD = \frac{\sin\gamma_1}{\sin\alpha} \times AB = 427.67m$$

$$CD = \frac{\sin\gamma_2}{\sin\beta} \times AC = 204.15m$$

$$G_B^D = G_A^C + \varphi = 150.2534gr$$

$$G_C^D = G_B^C - \psi = 248.7164gr$$

ومنه نحصل على إحداثيات النقطة D إما عن طريق النقطة A أو عن طريق النقطة B:

$$X_D = X_B + d_B^D \sin G_B^D = 220.61m$$
$$Y_D = Y_B + d_B^D \cos G_B^D = -195.36m$$
OR :
$$X_D = X_C + d_C^D \sin G_C^D = 220.61m$$
$$Y_D = Y_C + d_C^D \cos G_C^D = -195.36m$$

14–7 مسائل عامة في حساب الإحداثيات

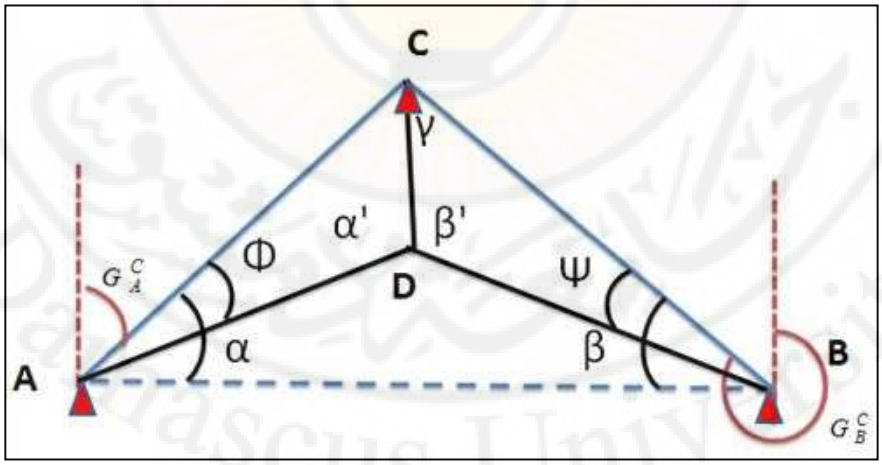
مسألة (1)

المعطيات: A (2685.15, 974.24)m , B (4833.62, 544.57) m

α= 75.2845 gr ،β = 64.0662 gr

α'= 120.5527gr ،β' = 130.5527 gr

المطلوب: تعيين إحداثيات النقطة C بالتقاطع واحداثيات النقطة D بالتقويم.



تعيين إحداثيات النقطة C

نكتب معادلة المستقيم AC: $\tan G_A^C = \frac{(X_C - X_A)}{(Y_C - Y_A)} \Rightarrow X_C = X_A + (Y_C - Y_A)\tan G_A^C$

نكتب معادلة المستقيم BC:

$$\tan G_B^C = \frac{(X_C - X_B)}{(Y_C - Y_B)} \Rightarrow X_C = X_B + (Y_C - Y_B)\tan G_B^C$$

نساوي بين العلاقتين:

$$X_A + (Y_C - Y_A)\tan G_A^C = X_B + (Y_C - Y_B)\tan G_B^C$$

$$Y_C(\tan G_A^C - \tan G_B^C) = X_B - X_A + Y_A \tan G_A^C - Y_B \tan G_B^C \Rightarrow$$

$$Y_C = \frac{X_B - X_A + Y_A \tan G_A^C - Y_B \tan G_B^C}{\tan G_A^C - \tan G_B^C}$$

لمعرفة قيمة Xc نعوض بإحدى العلاقتين: $X_C = X_B + (Y_C - Y_B)\tan G_B^C$

نلاحظ في العلاقة السابقة أن المجاهيل هي فقط السموت والتي تحسب:

$$G_A^C = G_A^B - \alpha$$
$$G_B^C = G_B^A + \beta$$

النقطة	X (m)	Y (m)	ΔX (m)	ΔY (m)	IΔXI (m)	IΔYI (m)	λ (gr)	Azmiuth (gr)
A	2685.15	974.24	2148.47	-429.67	2148.47	429.67	87.4341	112.5659
B	4833.62	544.57						

$$G_A^C = G_A^B - \alpha = 37.2814\,gr$$
$$\tan(G_A^C) = \tan(37.2814) = 0.66322$$
$$G_B^C = G_B^A + \beta = 376.6321\,gr$$
$$\tan(G_B^C) = \tan(376.6321) = -0.384487$$

$$\frac{4833.62 - 2685.15 + (974.24 \times \tan(37.2814)) - (544.57 \times \tan(376.6321))}{\tan(37.2814) - \tan(376.6321)} = 2867.19m$$

$$X_C = 3940.60m$$

تعيين إحداثيات النقطة D:

$$\varphi+\psi = 400-(\alpha'+\beta'+\gamma)$$
$$\gamma = G_C^A - G_C^B = 60.6493\,gr$$
$$\varphi+\psi = 400-(\alpha'+\beta'+\gamma) = 88.2453\,gr..... .(1)$$
$$\varphi-\psi = 2arctg(tg(\frac{\varphi+\psi}{2})\times\frac{K-1}{K+1})$$
$$d_A^C = AC = \sqrt{(X_C-X_A)^2+(Y_C-Y_A)^2} = 2271.43m$$
$$d_B^C = BC = \sqrt{(X_C-X_B)^2+(Y_C-Y_B)^2} = 2488.38m$$
$$\frac{\sin\varphi}{\sin\psi} = K = \frac{\sin\alpha'}{\sin\beta'}\times\frac{BC}{AC} = 1.17123$$
$$\varphi-\psi = 8.3275\,gr..... ....(2)$$

بحل العلاقة (1) مع (2) نحصل على قيمة المجاهيل Φ، Ψ

$$\varphi = 48.2864\,gr, \psi = 39.9589\,gr$$
$$\gamma 1 = 200-(\varphi+\alpha') = 31.1609\,gr$$
$$\gamma 2 = 200-(\psi+\beta') = 29.4884\,gr$$
$$AD = \frac{\sin\gamma_1}{\sin\alpha'}\times AC = 1126.12m$$
$$BD = \frac{\sin\gamma_2}{\sin\beta'}\times BC = 1253.45m$$
$$G_A^D = G_A^C + \varphi = 85.5678gr$$
$$G_B^D = G_B^C - \psi = 336.6732gr$$

ومنه نحصل على إحداثيات النقطة D إما عن طريق النقطة A أو عن طريق النقطة B، فإذا انطلقنا من النقطة A نجد أن:

$$X_D = X_A + d_A^D \sin G_A^D$$
$$X_D = 2685.15+1126.12\times\sin(85.5678) = 3782.46m$$
$$OR:$$
$$Y_D = Y_A + d_A^D \cos G_A^D$$
$$Y_D = 974.24+1126.12\times\cos(85.5678) = 1127.35m$$

مسألة (2)

المعطيات: A (1318.22, −622.98)m , B (3807.64, −789.08) m

α= 68.6682 gr ،β = 45.1265 gr

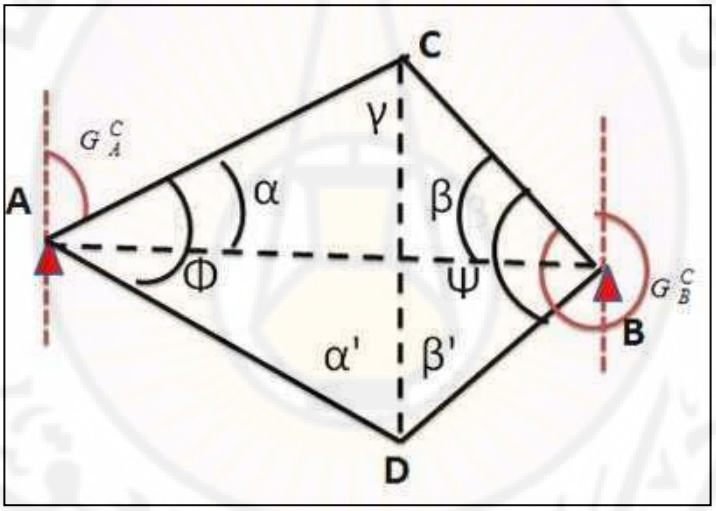
α'= 57.8964gr ،β' = 76.4346 gr

المطلوب: تعيين إحداثيات النقطة C بالتقاطع وإحداثيات النقطة D بالتقويم.

الحل:

1– تعيين إحداثيات النقطة C:

نكتب معادلة المستقيم AC: $\tan G_A^C = \frac{(X_C - X_A)}{(Y_C - Y_A)} \Rightarrow X_C = X_A + (Y_C - Y_A)\tan G_A^C$



نكتب معادلة المستقيم BC:

$$\tan G_B^C = \frac{(X_C - X_B)}{(Y_C - Y_B)} \Rightarrow X_C = X_B + (Y_C - Y_B)\tan G_B^C$$

نساوي بين العلاقتين:

$$X_A + (Y_C - Y_A)\tan G_A^C = X_B + (Y_C - Y_B)\tan G_B^C$$

$$\Rightarrow Y_C(\tan G_A^C - \tan G_B^C) = X_B - X_A + Y_A \tan G_A^C - Y_B \tan G_B^C$$

$$Y_C = \frac{X_B - X_A + Y_A \tan G_A^C - Y_B \tan G_B^C}{\tan G_A^C - \tan G_B^C}$$

$$G_A^C = G_A^B - \alpha = 35.5732gr$$
$$\tan(G_A^C) = \tan(35.5732) = 0.6252548$$
$$G_B^C = G_B^A + \beta = 349.3679gr$$
$$\tan(G_B^C) = \tan(349.3679) = -1.020058$$

$$Y_C = \frac{3807.64 - 1318.22 + (-622.98 \times \tan(37.2814)) - (-789.08 \times \tan(376.6321))}{\tan(37.2814) - \tan(376.6321)} = 787.08m$$

$$X_C = X_A + (Y_C - Y_A)\tan G_A^C = 2199.87m$$
$$X_C = X_B + (Y_C - Y_B)\tan G_B^C = 2199.87m$$

2- تعيين إحداثيات النقطة D:

$$\varphi + \psi = 400 - (\alpha' + \beta' + \gamma)$$
$$\gamma = G_C^A - G_C^B = 86.2053gr$$
$$Or: \gamma = 200 - (\alpha + \beta) = 86.2053gr$$
$$\varphi + \psi = 400 - (\alpha' + \beta' + \gamma) = 179.4637gr \ldots\ldots(1)$$
$$\varphi - \psi = 2arctg(tg(\frac{\varphi + \psi}{2}) \times \frac{K-1}{K+1})$$
$$d_A^C = AC = \sqrt{(X_C - X_A)^2 + (Y_C - Y_A)^2} = 2816.93m$$
$$d_B^C = BC = \sqrt{(X_C - X_B)^2 + (Y_C - Y_B)^2} = 2741.88m$$
$$\frac{\sin\varphi}{\sin\psi} = K = \frac{\sin\alpha'}{\sin\beta'} \times \frac{BC}{AC} = 0.8239386$$
$$\varphi - \psi = -68.1765gr \ldots\ldots(2)$$

بحل العلاقة (1) مع (2) نحصل على قيمة المجاهيل Φ، Ψ:

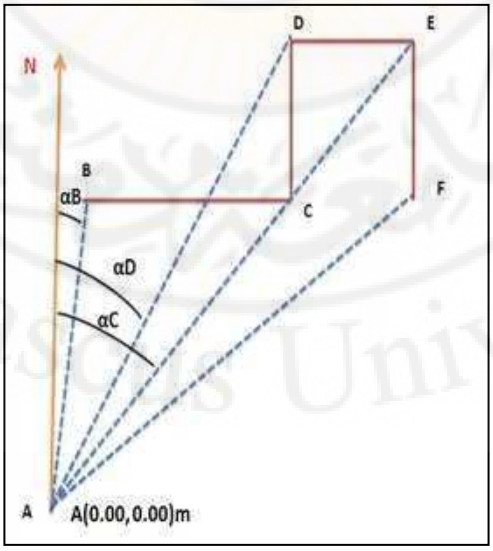
$$\varphi = 55.6436gr$$
$$\psi = 123.8201gr$$
$$\gamma 1 = 200 - (\varphi + \alpha') = 86.4600gr$$
$$\gamma 2 = 200 - (\psi + \beta') = 29.4884gr$$
$$AD = \frac{\sin\gamma_1}{\sin\alpha'} \times AC = 3489.11m$$
$$BD = \frac{\sin\gamma_2}{\sin\beta'} \times BC = 1253.45m$$
$$X_D = X_A + d_A^D \sin G_A^D$$
$$X_D = 1318.22 + 3489.11 \times \sin(91.2168) = 4774.18m$$
$$Y_D = Y_A + d_A^D \cos G_A^D$$
$$Y_D = -622.98 + 3489.11 \times \cos(91.2168) = -143.13m$$

مسألة (3)

لدينا المسقط الأفقي لطرف بناء. قيست الزوايا الأفقية بجهاز المحطة المتكاملة (Total Station) ابتداءً من الاتجاه (AB) مع عقارب الساعة، كما قيست المسافات ابتداءً من النقطة (A) كما في الجدول. فإذا علمت ان إحداثيات النقطة (A) هي A (0.00, 0.00)m ، وان السمت (G_A^B= 10.0000 Gr).

والمطلوب: احسب إحداثيات النقط (B، C، D،E،F).

نقطة التمركز	النقطة	الزاوية (غراد) α	المسافة (متر) L
A	B	0.0000	100.000
	C	40.0000	141.421
	D	27.4334	180.278
	E	40.0000	212.132
	F	52.7616	181.110



$$G_A^B = 10.0000gr$$
$$G_A^C = G_A^B + \alpha_A^C = 10.0000 + 40.0000 = 50.0000Gr$$
$$G_A^D = G_A^B + \alpha_A^D = 10.0000 + 27.4334 = 37.4334Gr$$
$$G_A^E = G_A^B + \alpha_A^E = 10.0000 + 40.0000 = 50.0000Gr$$
$$G_A^F = G_A^B + \alpha_A^F = 10.0000 + 52.7616 = 62.7616Gr$$

$$X_i = X_A + d_A^i \times \sin(G_A^i)$$
$$Y_i = Y_A + d_A^i \times \cos(G_A^i)$$

نقطة التمركز	النقطة	السمت G (Grad)	المسافة L (m)	X (m)	Y (m)
A	B	10.0000	101.247	15.84	100.00
	C	50.0000	141.421	100.00	100.00
	D	37.4334	180.278	100.00	150.00
	E	50.0000	212.132	150.00	150.00
	F	62.7616	181.110	151.00	100.00

Damascus University

الفصل الثامن

المضلّعات (Traverse)

عند إجراء العمليات المساحية الدقيقة مثل عمليات الرفع والتوقيع نلجأ إلى إنشاء ما يسمى "المضلع". ويُعدّ المضلع المرجع والرابط للاعمال المساحية المحيطة بكل مرصد.

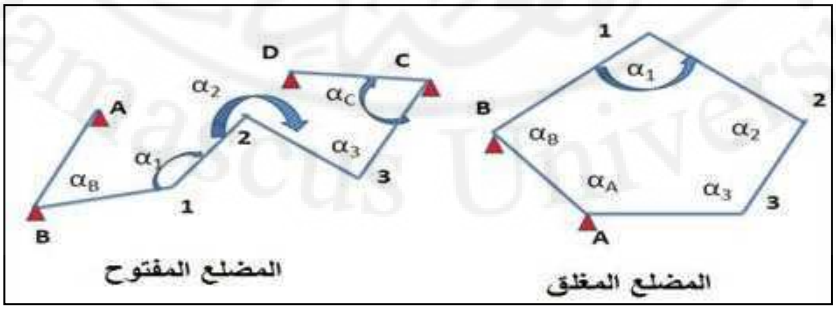
ويُعرف المضلع أنه شكل يتكون من عدة أضلاع مستقيمة متصلة من أطرافها ببعض، وتحصر فيما بينها زوايا. وعادة تُختار هذه الأضلاع بحيث تمر بحدود المنطقة المطلوبة أو قريبة منها حتى يسهل اجراء العمل المساحي بها. ويكون شكل المضلع المستعمل حسب طبيعة المنطقة المراد عمل خريطة لها.

8–1 أنواع المضلّعات

وتقسم المضلّعات لعدة أنواع، حسب الشكل (8–1).

1– **المضلّعات المفتوحة** Open or Free Traverse: هي المضلّعات التي لا تنغلق على نفسها وتبدأ من نقطة معلومة الإحداثيات، وينتهي عند نقطة أخرى معلومة الإحداثيات أيضاً. كما يجب أن يربط عند نقطة الابتداء بضلع معلوم انحرافه أو يمكن حساب انحرافه، كذلك يجب أن يربط عند نقطة الانتهاء بضلع آخر معلوم انحرافه أو يمكن حساب انحرافه. ويستعمل في رفع المناطق الممتدة طولياً مثل المصارف والطرق، كما يستعمل في المناطق التي توجد بها نقط مضلّعات قديمة معلومة الإحداثيات.

2– **مضلّعات مغلقة او مقفلة** Closed or Polygonal Traverse: أي أن المضلع يشكل خطاً منكسراً مغلقاً ويبدأ بنقطة معلومة الإحداثيات وينتهي بنفس النقطة (تكون نقطة البداية له هي نقطة نهايته)، ويستعمل في رفع المناطق المحدودة والمباني والقرى.



الشكل 8– 1أنواع المضلّعات

2–8 الأعمال الحقلية لانشاء مضلع بالطبيعة (Traversing Fieldwork)

1– عملية استكشاف المنطقة: بإجراء جولات ميدانية بالمنطقة المدروسة وحولها للتعرف عليها وما تحتويه من معالم.

2– رسم كروكي عام للمنطقة: بعد إجراء عملية الاستكشاف يُتجوّل فيها مرة أخرى، ويرسم كروكي مبسط وشامل لمعالم المنطقة بغير مقياس رسم لتكوين فكرة عامة عن تفاصيل المنطقة، مع وضع اتجاه الشمال على الكروكي لسهولة التوجيه.

3– اختيار نقاط المضلع وتثبيتها: عند اختيار نقاط المضلع لمنطقة ما يراعى أن تكون هذه النقاط مجموعة من المثلثات المتلاصقة حيث إن المثلث هو الشكل الهندسي الوحيد الذي يمكن رسمه وتوقيعه على لوحة بمعلومية أطوال أضلاعه فقط.

هنالك بعض الشروط الواجب مراعاتها عند اختيار نقاط المضلع، هي:

1– أن يكون عدد النقاط أقل ما يمكن لتلافي تراكم الأخطاء وقدر الحاجة إليه.

2– أن تكون النقاط في أماكن مكشوفة قدر الإمكان، ويسهل العثور عليها عند الرغبة في البحث عنها لاستعمالها، وبعيدة عن حركة السير.

3– أن ترى كل نقطة النقط السابقة واللاحقة.

4– أن تكون أطوال خطوط الأضلاع متماثلة تقريباً.

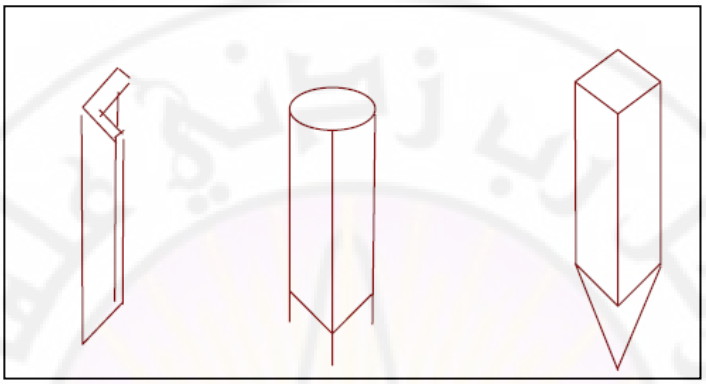
5– تُختار النقاط بحيث تشكل فيما بينها مثلثات زواياها بين (30 – 120 deg) تقريباً. وذلك لان المثلثات ذات الزوايا الحادة جداً أو المنفرجة جداً يكون رسمها مصحوب بأخطاء دائماً.

6– تُختار النقاط بحيث تكون الخطوط الواصلة بينها أقرب ما يمكن من التفاصيل ومن حدود المنطقة المرفوعة، بحيث لا تبعد أي نقطة عن التفاصيل المأخوذة اكثر من (30 m) من أي خط من خطوط المضلع.

7– تُختار النقاط بحيث تكون في مواقع يصعب إزالتها، فلا تكون في أرض رخوة أو تعترض حركة المرور أو عرضة للعبث بها.

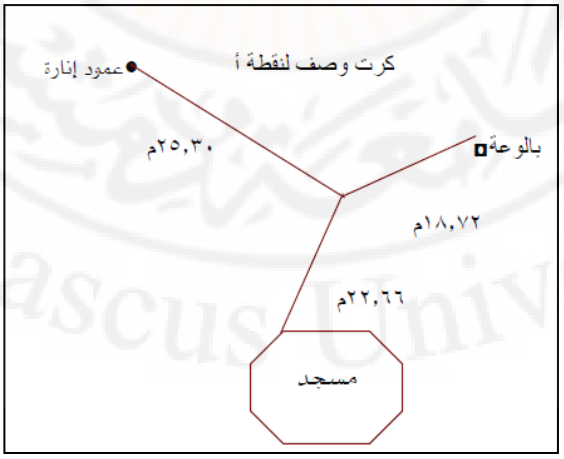
بعد اختيار أماكن نقاط المضلع، تثّبت هذه النقاط بأوتاد خشبية بطول (20–30 cm) وبمقاطع مربعة طول ضلعها (3–4 cm) أو مستديرة بقطر (5 cm) وذلك في الأراضي غير الصلبة وتكون بارزة قليلاً. أما في الأراضي الحجرية أو المرصوفة فتدق زوايا حديدية أو مسامير تكون رؤوسها في مستوى سطح الأرض وتكون الزوايا الحديدية بطول حوالي (30 cm) إذا ما ثبتت

بالإسفلت أو أراضي صلبة، وبطول (50–60 cm) إذا ما استعملت بأرض قليلة الصلابة، ومقطع الزاوية المستعمل يتراوح بين (3x2x1 cm) و (5x5x1 cm) كما يظهر بالشكل(8–2).



الشكل 8– 2 بعض أشكال الوتاد المستعملة بتثبيت نقاط المضلع

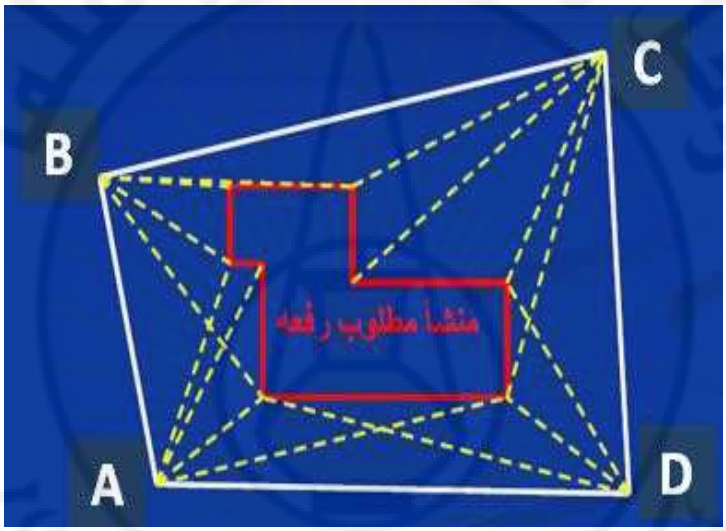
4– عمل كروت وصف لنقاط المضلع: يُعمل كرت وصف لكل نقطة من نقاط المضلع على حدة في صفحة منفصلة، ويرسم فيه المسافة بين نقطة المضلع وثلاثة معالم ثابته محيطة بها. وتسجل الأبعاد على كرت الوصف حتى إذا أزيلت النقطة أو لم يستدل عليها فيما بعد يمكن تحديد موقعها مرة أخرى. ومن الأفضل أن تكون الأبعاد في اتجاهات متعامدة مع بعضها تقريباً. الشكل (8–3) يوضح كرت وصف لإحدى نقاط مضلع.



الشكل 8– 3 كرت وصف نقطة مضلع

5– **رفع المضلع** : يُرفع المضلع من الطبيعة إلى اللوحة (خريطة أو المخطط) من خلال عملية رصد الزوايا الأفقية للمضلع وقياس أطوال الأضلاع مع قياس انحراف (سمت) أحد الخطوط وذلك باستعمال جهاز المحطة المتكاملة.

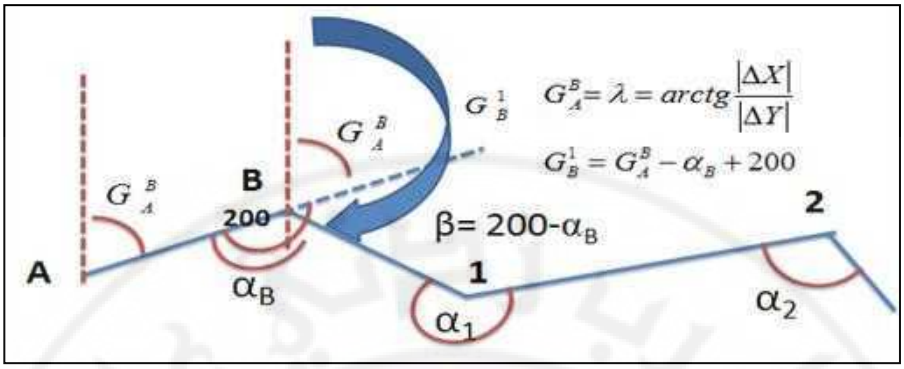
6– **أعمال التحشية (التفريد)**: تُرفع المباني الموجودة داخل المضلع والمحيط به كما يظهر بالشكل (8–4).



الشكل 8– 4 منشأ مطلوب رفعه باستعمال المضلّعات

8–3 حساب السموت وفق الزوايا اليسارية واليمينية

وجدنا بالفصل السابق أنه يمكن حساب السموت لمضلع بطريقة السمت والسمت المعاكس. هناك طريقة أسرع وتلخص طريقة السمت والسمت المعاكس يمكن استعمالها وتعتمد على وضع الزوايا بالنسبة إلى اتجاه المشي على المضلع. لنتخيل أننا نمشي على المسار A>B>1>2>.... بالشكل (8–5) فنلاحظ إن الزوايا α_B، α_1، α_2، ... تقع على اليمين لذلك نسميها الزوايا اليمينية، أما بالشكل (8–6) فنلاحظ أن هذه الزوايا تقع على يسار المسير ونسميها زوايا يسارية. طبعاً يتغير تموضع هذه الزوايا بشكل معاكس لو تم المسير باتجاه معاكس.



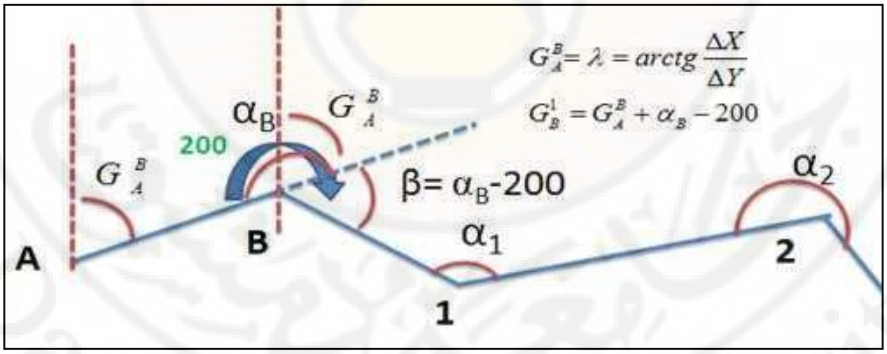
الشكل 8– 5 حساب السمت من الزوايا اليمينية

من الشكل (8–5) نجد أن السمت G_B^1 يمكن الحصول عليه من خلال إضافة السمت G_A^B للزاوية β، ولكن الزاوية β تساوي: $\beta = 200 - \alpha_B$، ومن ثمَّ يعطى السمت G_B^1 بالعلاقة:

$$G_A^B = \lambda = arctg\frac{|\Delta X|}{|\Delta Y|}$$

ومن ثمَّ يكون:

$$G_B^1 = G_A^B - \alpha_B + 200$$



الشكل 8– 6 حساب السمت من الزوايا اليسارية

8–4 خطوات تعيين إحداثيات نقاط مجهولة بطريقة المضلّعات

1– حساب سمت بداية المضلع ونهايته من إحداثيات النقاط المعلومة إذا لم يكن معطى.

2– حساب السموت التقريبية للأضلاع حسب جهة الزوايا الأفقية المقيسة.

فإذا كانت الزوايا المقيسة بجهة اليسار: $G_i^{i+1} = G_{i-1}^i + \alpha_i - 200$

أما إذا كانت الزوايا المقيسة بجهة اليمين: $G_i^{i+1} = G_{i-1}^i - \alpha_i + 200$

3- حساب خطأ الإغلاق (التسكير) على الزوايا أو على السموت وهل هذا الخطأ مقبول أم لا (نقارنه بحد التساهل أو الخطأ الأعظمي):

$$f_G = G_C^D - G^{*D}_C \le \Delta_z = (2^c - 3^c)\sqrt{n}$$

4- حساب التصحيحات: بعد ذلك توزيع هذا الخطأ على الزوايا المقيسة أو على السموت التقريبية المحسوبة وتوزع بالتساوي:

$$v_G = \frac{f_G}{n}$$

5- حساب السموت المصححة: $G_i^{i+1} = G_i^{i+1'} + V_G$

6- حساب الإحداثيات التقريبية للنقاط بالعلاقات:

$$X_i = X_{i-1} + d_{i-1}^i \sin G_{i-1}^i$$
$$Y_i = Y_{i-1} + d_{i-1}^i \cos G_{i-1}^i$$

7- حساب خطأ الإغلاق على الإحداثيات وهل هذا الخطأ مقبول أم لا (مقارنته بحد التساهل أو الخطأ الأعظمي). وهنا تتم مقارنة الإحداثيات المعطاة والإحداثيات المحسوبة للحصول على خطأ إغلاق أو خطأ التسكير للاحداثياتX، Y حيث نحصل علىFx، Fy ومن ثم خطأ الإغلاق على المسافة (Fs) الذي يدعى الخطأ الخطي كما يأتي:

$$F_x = X_i - X_i^{'}$$
$$F_y = Y_i - Y_i^{'}$$
$$fs = \sqrt{f^2x + f^2y}$$

ويحسب حد التساهل على المسافة (Δs) وفق نوع المسلك أو المضلع وفق التالي:

المسلك الرئيسي: $fs = \sqrt{f^2x + f^2y} \le \Delta_S = 0.01\sqrt{L} + 0.07$

حيث L: طول المسار

المسلك الثانوي: $fs = \sqrt{f^2x + f^2y} \le \Delta_S = 0.02\sqrt{L} + 0.12$

وبتمارين المسائل، سوف نستعمل قيمة حد التساهل وفق العلاقة:

$$fs = \sqrt{f^2x + f^2y} \le \Delta_S = 0.01\sqrt{L} + 0.10$$

ويمكن مقارنة الخطأ النسبي للخطأ الخطي بحيث تكون: $\frac{fs}{\sum l_i} =<^? \frac{1}{2000} or \frac{1}{3000}$

وذلك يعتمد على طبيعة المشروع ومدى الدقة المطلوبة.

8- حساب التصحيحات على الإحداثيات:

حيث تحسب التصحيحات بشكل تراكمي وتصحح إما حسب القيم المطلقة لفروق الإحداثيات :

$$vx = \frac{fx}{\sum|\Delta X|}|\Delta X_i| \qquad vy = \frac{fy}{\sum|\Delta Y|}|\Delta y_i|$$

أو تُصحح حسب المسافات (تراكمياً) كما يلي:

$$vx = \frac{fx}{\sum L_i} L_i \qquad vy = \frac{fy}{\sum L_i} L_i$$

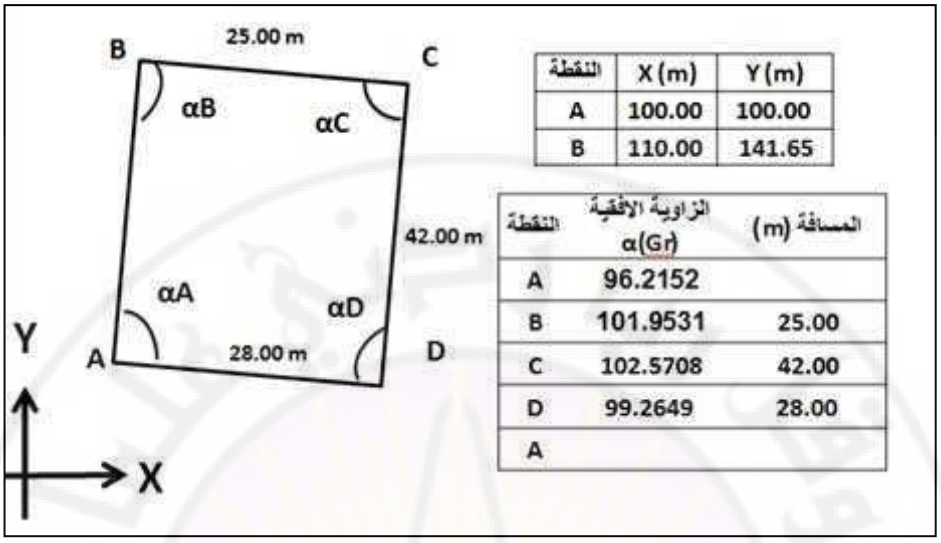
9- حساب الإحداثيات النهائية المصححة للنقاط بالعلاقات:

$$X_i = X_i' + V_X$$
$$Y_i = Y_i' + V_Y$$

5-8 مسائل عامة في حساب الإحداثيات بطريقة المضلّعات

<u>مسألة (1)</u>:

بالمضلع الرباعي ABCD أعطيت احداثيات النقطة A (100.00, 100.00)m بالمتر، وإحداثيات النقطة B (110.00, 141.65)m بالمتر، وقيست الزوايا الداخلية (بالغراد) كما قيست المسافات بين النقاط (بالمتر) كما بالشكل (8-7).



النقطة	X (m)	Y (m)
A	100.00	100.00
B	110.00	141.65

النقطة	الزاوية الأفقية α(Gr)	المسافة (m)
A	96.2152	
B	101.9531	25.00
C	102.5708	42.00
D	99.2649	28.00
A		

الشكل 8– 7 مضلع المسألة 1

1– حساب سمت البداية

$$\lambda = arctg\frac{|\Delta X|}{|\Delta Y|} = \frac{|110.00-100.00|}{|141.65-100.00|} = arctg\frac{|10|}{|41.65|} = 15.0010\,gr$$

$$\Delta X^{+}, \Delta Y^{+}, \Rightarrow G_A^B = \lambda$$

$$G_A^B = 15.0010\,gr$$

2– حساب السموت التقريبية للأضلاع حسب جهة الزوايا الأفقية المقيسة:

مع ملاحظة أن الزوايا يمينية بهذا المثال ونطبق قاعدة حساب السموت وفق الزوايا اليمينية:

$$G_i^{i+1} = G_{i-1}^i - \alpha_i + 200$$

$$G_B^C = G_A^B - \alpha_B + 200 = 15.0010 - 101.9531 + 200 = 113.0479\,gr$$
$$G_C^D = G_B^C - \alpha_C + 200 = 113.0479 - 102.5708 + 200 = 210.4771\,gr$$
$$G_D^A = G_C^D - \alpha_D + 200 = 210.4771 - 99.2649 + 200 = 311.2122\,gr$$
$$G_A^B = G_D^A - \alpha_A + 200 = 311.2122 - 96.2152 + 200 = 14.997\,gr$$

3– حساب خطأ الإغلاق (التسكير) على الزوايا أو على السموت وهل هذا الخطأ مقبول أم لا (نقارنه بحد التساهل أو الخطأ الأعظمي): لدينا السمت G_A^B معطى (من خلال الإحداثيات)،

وهو سمت صحيح، ولدينا نفس السمت يمكن حسابه، ومن ثمَّ خطأ الإغلاق هو الفرق بين السمت المعطى (الصحيح) والسمت المحسوب:

$$G_A^B = 15.0010\,gr$$
$$G_A^B{}' = 14.9970\,gr$$
$$FG = G_A^B - G_A^B{}' = 0.0040\,gr \le FG\max = \pm 0.03\sqrt{n} = \pm 0.03\sqrt{4} = \pm 0.0600\,gr$$

خطأ الإغلاق أصغر من حد التساهل لذلك يمكن حساب التصحيحات وحساب السموت المصححة

4- نحسب قيمة التصحيحات بتوزيع الخطأ بالتساوي:

$$V_G = \frac{FG}{4} = \frac{0.0040}{4} = 0.0010\,gr$$
$$V_{G1} = 1 \times V_G = 0.0010\,gr$$
$$V_{G2} = 2 \times V_G = 0.0020\,gr$$
$$V_{G3} = 3 \times V_G = 0.0030\,gr$$
$$V_{G4} = 4 \times V_G = 0.0040\,gr$$

5- حساب السموت المصححة:

$$G_B^C = G_B^C{}' + V_{G1} = 113.0479 + 0.0010 = 113.0489\,gr$$
$$G_C^D = G_C^D{}' + V_{G2} = 210.4771 + 0.0020 = 210.4791\,gr$$
$$G_D^A = G_D^A{}' + V_{G3} = 311.2122 + 0.0030 = 311.2152\,gr$$
$$G_A^B = G_A^B{}' + V_{G4} = 14.997 + 0.0040 = 15.0010\,gr$$

6- نحسب قيمة الإحداثيات التقريبية:

$$X_C = X_B + d_B^C \times \sin(G_B^C) = 110.00 + 25.00 \times \sin(113.0489) = 134.48m$$
$$Y_C = Y_B + d_B^C \times \cos(G_B^C) = 141.65 + 25.00 \times \cos(113.0489) = 136.56m$$

$$X_D = X_C + d_C^D \times \sin(G_C^D) = 134.48 + 42.00 \times \sin(210.4791) = 127.60m$$
$$Y_D = Y_C + d_C^D \times \cos(G_C^D) = 136.56 + 42.00 \times \cos(210.4791) = 95.13m$$

$$X_A = X_D + d_D^A \times \sin(G_D^A) = 127.60 + 28.00 \times \sin(311.2152) = 100.03m$$
$$Y_A = Y_A + d_D^A \times \cos(G_D^A) = 95.13 + 28.00 \times \cos(311.2152) = 100.04m$$

7- حساب خطأ الإغلاق على الإحداثيات وهل هذا الخطأ مقبول أم لا (مقارنته بحد التساهل أو الخطأ الأعظمي).

$$Fx = X_A' - X_A = 100.00 - 100.03 = -0.03m$$
$$Fy = Y_A' - Y_A = 100.00 - 100.04 = -0.04m$$

$$fs = \sqrt{f^2x + f^2y} \le \Delta_S = 0.01\sqrt{L} + 0.10$$
$$fs = \sqrt{f^2x + f^2y} = 0.050m$$
$$\Delta_S = 0.01\sqrt{L} + 0.10 = 0.01\sqrt{95} + 0.10 = 0.490m$$

8- حساب التصحيحات على الإحداثيات: تُحسب التصحيحات وتُوزع اعتماداً على المسافات

$$Vx1 = \frac{Fx}{\sum Li} \times l1 = \frac{-0.030}{95} \times (25) = -0.008m$$
$$Vx2 = \frac{Fx}{\sum Li} \times (l1 + l2) = \frac{-0.030}{95} \times (25 + 42) = -0.021m$$
$$Vx3 = \frac{Fx}{\sum Li} \times (l1 + l2 + l3) = \frac{-0.030}{95} \times (25 + 42 + 28) = -0.030m$$

$$Vy1 = \frac{Fy}{\sum Li} \times l1 = \frac{-0.040}{95} \times (25) = -0.011m$$
$$Vy2 = \frac{Fy}{\sum Li} \times (l1 + l2) = \frac{-0.040}{95} \times (25 + 42) = -0.028m$$
$$Vy3 = \frac{Fy}{\sum Li} \times (l1 + l2 + l3) = \frac{-0.040}{95} \times (25 + 42 + 28) = -0.040m$$

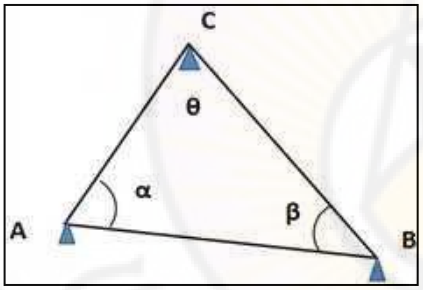
9- حساب الإحداثيات المصححة:

$$X'_C = X_C + V_{x1} = 134.48 + (-0.008) = 134.472\,m$$
$$Y'_C = Y_C + V_{y1} = 136.56 + (-0.011) = 136.549\,m$$

$$X'_D = X_D + V_{x2} = 127.60 + (-0.021) = 127.579\,m$$
$$Y'_D = Y_D + V_{y2} = 95.13 + (-0.028) = 95.102\,m$$

$$X'_A = X_A + V_{x3} = 100.03 + (-0.030) = 100.000\,m$$
$$Y'_A = Y_A + V_{y3} = 100.04 + (-0.040) = 100.000\,m$$

مسألة (2):



قطعة أرض بشكل مثلث ABC أعطيت إحداثيات النقط A بالمتر A (100.00, 100.00)m ، وقيست الزوايا الداخلية للمثلث بالغراد بجهاز الثيودوليت، فإذا علمت أن:

α= 100.0003 Gr، β = 33.3336 Gr،

θ =66.6670 Gr ، وأن سمت الاتجاه AB (G_A^B) هو : G_A^B =150.0000 Gr والمسافات بين النقط كالآتي:

الاتجاه	المسافة (m)
A-B	86.603
B-C	100.000
C-D	50.000

فالمطلوب: احسب السموت المصححة ثم احسب الإحداثيات المصححة للنقطتينB، C.

الحل:

1- نحسب قيمة السموت التقريبية (بطريقة السمت المعاكس):

$$G_A^B = 150.0000\,gr$$
$$G_B^A = 350.0000\,gr$$
$$G_B^C{}' = G_B^A + \beta = 350.0000 + 33.3336 = 383.3336\,gr$$
$$G_C^B{}' = G_B^C \pm 200 = 183.3336\,gr$$
$$G_C^A{}' = G_C^B + \theta = 183.3336 + 66.6670 = 250.0006\,gr$$
$$G_A^C{}' = G_C^A \pm 200 = 50.0006\,gr$$
$$G_A^B{}' = G_A^C + \alpha = 50.0006 + 100.0003 = 150.0009\,gr$$

أو نحسب قيمة السموت باستعمال طريقة الزوايا اليسارية:

$$G_A^B = 150.0000\,gr$$
$$G_B^C{}' = G_A^B + \beta - 200 = 150.0000 + 33.3336 - 200 = 383.3336\,gr$$
$$G_C^A{}' = G_B^C + \theta - 200 = 383.3336 + 66.6670 - 200 = 250.0006\,gr$$
$$G_A^B{}' = G_C^A + \alpha - 200 = 250.0006 + 100.0003 - 200 = 150.0009\,gr$$

2- نحسب خطأ الاغلاق على السموت:

$$G_A^B = 150.0000\,gr$$
$$G_A^B{}' = 150.0009\,gr$$
$$FG = G_A^B - G_A^B{}' = -0.0009\,gr$$
$$F_G \le F\max = \pm 0.03\sqrt{n} = \pm 0.03\sqrt{3} = \pm 0.0520\,gr$$

3- نحسب قيمة التصحيحات:

$$V_i = \frac{F_g}{n} = \frac{-0.0009}{3} = -0.0003\,gr$$
$$V_1 = 1 \times V = -0.0003\,gr$$
$$V_2 = 2 \times V = -0.0006\,gr$$
$$V_3 = 3 \times V = -0.0009\,gr = F_g$$

4– نحسب قيمة السموت المصححة:

$$G_B^C = G_B^C{}' + V_1 = 383.3336 - 0.0003 = 383.3333\,gr$$
$$G_C^A = G_C^A{}' + V_2 = 250.0006 - 0.0006 = 250.0000\,gr$$
$$G_A^B = G_A^B{}' + V_3 = 150.0009 - 0.0009 = 150.0000\,gr$$

طريقة ثانية لحساب السموت المصححة:

وتعتمد على تصحيح الزوايا أولاً ثم حساب المناسيب المصححة. وفي حالة المضلّعات المغلقة نستفيد من خاصية أن مجموع الزوايا الداخلية أو الخارجية لأي مضلع منتظم معلومة، ومن ثمَّ يمكن حساب خطأ الإغلاق وتصحيح الزوايا، ومن ثمَّ حساب السموت المصححة كما يلي:

$$\sum \alpha_i = \alpha + \beta + \theta = 200\,grd$$
$$\sum \alpha_i = 100.003 + 33.3336 + 66.6670 = 200.0009$$
$$F_G = 200 - 200.0009 = -0.0009\,gr$$
$$F_G \le F\max = \pm 0.03\sqrt{n} = \pm 0.03\sqrt{3} = \pm 0.0520\,gr$$
$$V = \frac{F_G}{3} = \frac{-0.0009}{3} = -0.0003\,gr$$
$$\alpha' = \alpha + V_g = 100.0003 - 0.0003 = 100.0000\,gr$$
$$\beta' = \beta + V_g = 33.3336 - 0.0003 = 33.3333\,gr$$
$$\theta' = \theta + V_g = 66.6670 - 0.0003 = 66.6667\,gr$$

لاحظ أن التصحيح أُضيف بشكل متساوي بالنسبة إلى الزوايا، أما بحالة السموت فتُضاف بشكل تراكمي لكون كل سمت يضم أخطاء الزوايا التي تسبقه. تُحسب السموت الصحيحة باستعمال الزوايا المصححة

يمكن استعمال طريقة السمت المعاكس: $G_A^B = 150.0000\,gr$

$$G_B^A = 350.0000\,gr$$
$$G_B^C = G_B^A + \beta = 350.0000 + 33.3333 = 383.3333\,gr$$
$$G_C^B = G_B^C \pm 200 = 183.3333\,gr$$
$$G_C^A = G_C^B + \theta = 183.3333 + 66.6667 = 250.0000\,gr$$
$$G_A^C = G_C^A \pm 200 = 50.0000\,gr$$
$$G_A^B = G_A^C + \alpha = 50.0000 + 100.0000 = 150.0000\,gr$$

أو تحسب السموت المصححة بطريقة الزوايا اليسارية:

$$G_A^B = 150.0000\,gr$$
$$G_B^C = G_A^B + \beta - 200 = 150.0000 + 33.3333 - 200 = 383.3333\,gr$$
$$G_C^A = G_B^C + \theta - 200 = 383.3333 + 66.6667 - 200 = 250.0000\,gr$$
$$G_A^B = G_C^A + \alpha - 200 = 250.0000 + 100.0000 - 200 = 150.0000\,gr$$

نحسب الإحداثيات المؤقتة (قبل التصحيح) وفق العلاقات التالية :

$$X_B' = X_A + d_A^B \times \sin(G_A^B) = 100.00 + 86.60 \times \sin(150.0000) = 161.24m$$
$$Y_B' = Y_A + d_A^B \times \cos(G_A^B) = 100.00 + 86.60 \times \cos(150.0000) = 38.76m$$
$$X_C' = X_B + d_B^C \times \sin(G_B^C) = 161.24 + 100.00 \times \sin(383.3333) = 135.36m$$
$$Y_C' = Y_B + d_B^C \times \cos(G_B^C) = 38.76 + 100 \times \cos(383.3333) = 135.36m$$
$$X_A' = X_C + d_C^A \times \sin(G_C^A) = 135.36 + 50.00 \times \sin(240.0150) = 100.00m$$
$$Y_A' = Y_C + d_C^A \times \cos(G_C^A) = 135.36 + 50.00 \times \cos(240.0015) = 100.00m$$

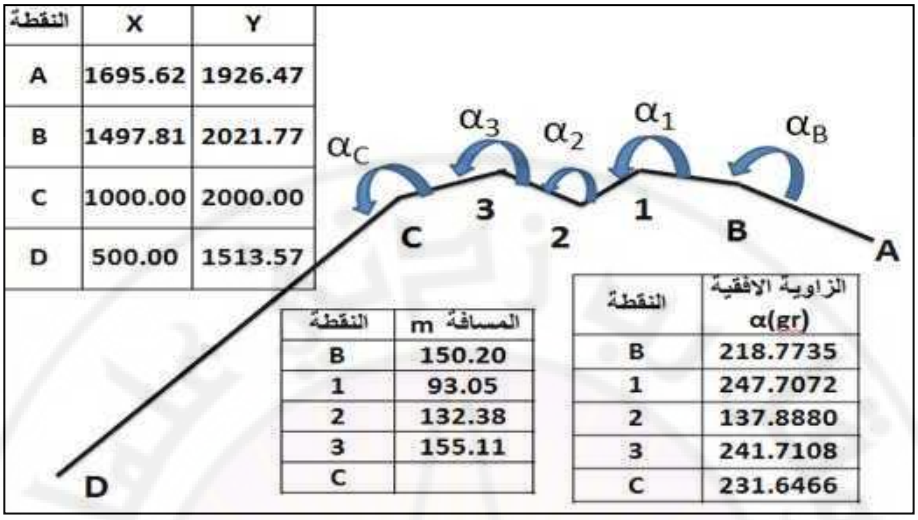
ثم نحسب خطأ الإغلاق على الإحداثيات: $Fx = X_A - X_A' = 100.00 - 100.00 = 0.00m$
$Fy = Y_A - Y_A' = 100.00 - 100.00 = 0.00m$

باعتبار أن خطأ الإغلاق على الإحداثيات معدوم فإن الإحداثيات التقريبية هي نفسها الإحداثيات المصححة.

مسألة (3):

بالمضلع المفتوح AB123CD أعطيت احداثيات نقطتي البدايةA، B ونقطتي النهاية D،C وقد قيست الزوايا االيمينية (بالغراد) كما قيست المسافات بين النقاط (بالمتر) كما يظهر بالشكل.
احسب الإحداثيات المصححة للنقاط 1،2 ، 3

النقطة	X	Y
A	1695.62	1926.47
B	1497.81	2021.77
C	1000.00	2000.00
D	500.00	1513.57



النقطة	المسافة m
B	150.20
1	93.05
2	132.38
3	155.11
C	

النقطة	الزاوية الافقية α(gr)
B	218.7735
1	247.7072
2	137.8880
3	241.7108
C	231.6466

الحل:

1 – نحسب سمتي البداية والنهاية من الإحداثيات المعطاة:

$$\lambda_1 = arctg\frac{|\Delta X|}{|\Delta Y|} = arctg\frac{|1497.81 - 1695.62|}{|2021.77 - 1926.47|}$$

$$\lambda_1 = arctg\frac{|-197.81|}{|95.30|} = 71.4182\,gr$$

$$\Delta X^-, \Delta Y^+, \Rightarrow G_A^B = 400 - \lambda_1 = 328.5818\,gr$$

$$G_A^B = 328.5818\,gr$$

$$\lambda_2 = arctg\frac{|\Delta X|}{|\Delta Y|} = arctg\frac{|500.00 - 1000.00|}{|1513.57 - 2000.00|}$$

$$\lambda_2 = arctg\frac{|-500.00|}{|-486.43|} = 50.8757\,gr$$

$$\Delta X^-, \Delta Y^-, \Rightarrow G_A^B = 200 + \lambda_2 = 250.8757\,gr$$

$$G_C^D = 250.8757\,gr$$

2- نحسب السموت التقريبية:

$$G_A^B = 328.5818\,gr$$
$$G_B^1{}' = G_A^B - \alpha_B + 200 = 328.5818 - 218.7735 + 200 = 309.8083\,gr$$
$$G_1^2{}' = G_B^1{}' - \alpha_1 + 200 = 309.8083 - 247.7072 + 200 = 262.1011\,gr$$
$$G_2^3{}' = G_1^2{}' - \alpha_2 + 200 = 262.1011 - 137.8880 + 200 = 324.2131\,gr$$
$$G_3^C{}' = G_2^3{}' - \alpha_3 + 200 = 324.2131 - 241.7108 + 200 = 282.5023\,gr$$
$$G_C^D{}' = G_3^A{}' - \alpha c + 200 = 282.5023 - 231.6466 + 200 = 250.8557\,gr$$

3- نحسب خطأ الإغلاق على السموت ونقارنه بحد التساهل:

$$F_G = G_C^D - G_C^{\overline{D}} = 250.8757 - 250.8557 = 0.0200\,gr$$
$$F_G < \pm 0.03\sqrt{5} = \pm 0.0671\,gr$$

4- يوزع الخطأ بالتساوي وبشكل تراكمي بالنسبة للسموت:

$$V_G = \frac{F_G}{5} = \frac{0.0200}{5} = 0.0040\,gr$$
$$V_{G1} = 1 \times V_G = 0.0040\,gr$$
$$V_{G2} = 2 \times V_G = 0.0080\,gr$$
$$V_{G3} = 3 \times V_G = 0.0120\,gr$$
$$V_{G4} = 4 \times V_G = 0.0160\,gr$$
$$V_{G5} = 5 \times V_G = 0.0200\,gr$$

5- نحسب قيمة السموت المصححة :

$$G_B^1 = G_B^1{}' + V_{G1} = 309.8083 + 0.0040 = 309.8123\,gr$$
$$G_1^2 = G_C^D{}' + V_{G2} = 262.1011 + 0.0080 = 262.1091\,gr$$
$$G_2^3 = G_D^A{}' + V_{G3} = 324.2131 + 0.0120 = 324.2251\,gr$$
$$G_3^C = G_A^B{}' + V_{G4} = 282.5023 + 0.0160 = 282.5183\,gr$$
$$G_C^D = G_C^D{}' + V_{G5} = 250.8557 + 0.0200 = 250.8757\,gr$$

6- نحسب قيمة الإحداثيات التقريبية:

$$X_1' = X_B + d_B^1 \times \sin(G_B^1) = 1497.81 + 150.20 \times \sin(309.8123) = 1349.39\text{m}$$
$$Y_1' = Y_B + d_B^1 \times \cos(G_B^1) = 2021.77 + 150.20 \times \cos(309.8123) = 2044.83\text{m}$$

$$X_2' = X_1 + d_1^2 \times \sin(G_1^2) = 1349.39 + 93.05 \times \sin(262.1091) = 1272.34\text{m}$$
$$Y_2' = Y_1 + d_1^2 \times \cos(G_1^2) = 2044.83 + 93.05 \times \cos(262.1091) = 1992.66\text{m}$$

$$X_3' = X_2 + d_2^3 \times \sin(G_2^3) = 1272.34 + 132.38 \times \sin(324.2251) = 1149.43\text{m}$$
$$Y_3' = Y_2 + d_2^3 \times \cos(G_2^3) = 1992.66 + 132.38 \times \cos(324.2251) = 2041.83\text{m}$$

$$X_C' = X_3 + d_3^C \times \sin(G_3^C) = 1149.43 + 155.11 \times \sin(282.5183) = 1000.13\text{m}$$
$$Y_C' = Y_3 + d_3^C \times \cos(G_3^C) = 2041.83 + 155.11 \times \cos(282.5183) = 1999.77\text{m}$$

7- نحسب خطأ التسكير (الإغلاق) على الإحداثيات:

$$Fx = X_C - X'_C = 1000.00 - 1000.13 = -0.13m$$
$$Fy = Y_C - Y'_C = 2000.00 - 1999.77 = 0.23m$$
$$fs = \sqrt{f^2x + f^2y} = 0.26m$$
$$fs \le 0.01\sqrt{L} + 0.01 = 0.01\sqrt{530.74} + 0.10 = 0.33m$$

8- حسب التصحيحات على الإحداثيات (نوزع التصحيحات حسب المسافات):

$$Vx1 = \frac{Fx}{\sum Li} \times l1 = \frac{-0.13}{530.74} \times (150.20) = -0.04m$$
$$Vx2 = \frac{Fx}{\sum Li} \times (l1 + l2) = \frac{-0.13}{530.74} \times (150.20 + 93.05) = -0.06m$$
$$Vx3 = \frac{Fx}{\sum Li} \times (l1 + l2 + l3) = \frac{-0.13}{530.74} \times (150.20 + 93.05 + 132.38) = -0.09m$$
$$Vx4 = \frac{Fx}{\sum Li} \times (l1 + l2 + l3 + l4) = \frac{-0.13}{530.74} \times (150.20 + 93.05 + 132.38 + 155.11) = -0.13m$$

$$Vy1 = \frac{Fy}{\sum Li} \times l1 = \frac{0.23}{530.74} \times (150.20) = 0.07m$$
$$Vy2 = \frac{Fy}{\sum Li} \times (l1 + l2) = \frac{0.23}{530.74} \times (150.20 + 93.05) = 0.11m$$
$$Vy3 = \frac{Fy}{\sum Li} \times (l1 + l2 + l3) = \frac{0.23}{530.74} \times (150.20 + 93.05 + 132.38) = 0.17m$$
$$Vy4 = \frac{Fy}{\sum Li} \times (l1 + l2 + l3 + l4) = \frac{0.23}{530.74} \times (150.20 + 93.05 + 132.38 + 155.11) = 0.23m$$

9- حساب الإحداثيات المصححة :

$$X_1 = X_1' + V_{x1} = 1349.39 + (-0.040) = 1349.35m$$
$$Y'_1 = Y_1' + V_{y1} = 2044.83 + (0.070) = 2044.90m$$

$$X_2 = X'_2 + V_{x2} = 1272.34 + (-0.060) = 1272.28m$$
$$Y_2 = Y'_2 + V_{y2} = 1992.66 + (0.110) = 1992.77m$$

$$X_3 = X'_3 + V_{x3} = 1149.43 + (-0.090) = 1149.34m$$
$$Y_3 = Y'_3 + V_{y3} = 2041.83 + (0.17) = 2041.99m$$

$$X_C = X'_C + V_{x4} = 1000.13 + (-0.130) = 1000.000m$$
$$Y_C = Y'_C + V_{y4} = 1999.77 + (0.23) = 2000.000m$$

الفصل التاسع

حساب المساحات والحجوم

1.9 مقدمة:

نطلق اسم قياس المساحة على كل الأعمال المساحية التي من شأنها تقدير مساحة قطعة من الأرض. نعني بمساحة قطعة أرض المساحة الأفقية، فالقياسات التي تجري هي قياسات للمسافات الأفقية وقياسات للزوايا الأفقية. إن هذه العمليات إما أن تجري مباشرة على الطبيعة بغير رسم مخطط لقطعة الأرض، أو تؤخذ القياسات اللازمة لوضع مخطط لقطعة الأرض، ومن ثم تحسب مساحتها على المخطط.

في كثير من الأحيان تكون هناك حاجة ماسة لمعرفة مساحة قطعة أرض ذات حدود معينة. وربما تكون حدود هذه الأرض موقعة على خريطة بمقياس رسم معلوم. وهناك طرائق مختلفة لإيجاد مساحة قطعة الأرض، بعضها يستعمل في إيجاد المساحة من الخريطة وبعضها يستعمل عند القياس المباشر على الطبيعة، وبعضها يناسب الحدود ذات الخطوط المستقيمة التي تشكل أشكال هندسية منتظمة وبعضها يناسب الحدود ذات الخطوط غير المنتظمة.

أما إيجاد المساحة من الخريطة فهي الطريقة الأكثر استعمالاً إذ إن القياسات المطلوبة كلها تتم من على لوحة الخريطة واستعمال مقياس رسم الخريطة إن كان معلوماً دون الرجوع إلى الموقع. إلا أن عيب هذه الطريقة هو تراكم الأخطاء التي تنتج من توقيع الخريطة نفسها و من القياس على الخريطة. ومع أن هذه المشكلة يمكن علاجها باستعمال الطريقة الثانية وهي أخذ القياسات من الموقع مباشرةً إلا أن ذلك يتطلب تكلفة مادية و جهد عملياً أكبر، ولذلك تظل الطريقة الأولى هي الأكثر استعمالاً .

أما التصنيف الآخر لإيجاد المساحة فهو الذي يتم بالنظر إلى طريقة حساب المساحة. وذلك يمكن أن يتم بالطرائق الرياضية والتخطيطية والآلية. أما الطرائق الرياضية فيمكن استعمالها مع القياسات التي تتم في الموقع على الأرض، كما يمكن استعمالها مع القياسات التي تتم على الخريطة، وأما الطريقتين الأخريين وهما التخطيطية والآلية فلا بد من استعمالهما مع الحدود الموقعة على الخريطة بالمقياس المعلوم.

9–2 الطرائق الرياضية لإيجاد المساحة

إذا كانت المنطقة تحد بحدود هندسية منتظمة يمكن استعمال النموذج الرياضي المناسب للشكل الهندسي للحدود، أما إذا كانت لا تشكل حدوداً هندسية منتظمة فيمكن استعمال طرائق رياضية تُطبّق لإيجاد المساحة بشكل تقريبي.

9–2–1 النماذج الرياضية للأراضي ذات الحدود المنتظمة

هناك نماذج رياضية تناسب المنطقة ذات الحدود الهندسية المنتظمة مثل تلك التي تشكل شكل مثلث أو مربع أو مستطيل أو معين أو متوازي أضلاع أو شبه منحرف أو أي شكل محدد بخطوط مستقيمة أو دائرية أو قطاع من دائرة أو أي تركيب من هذه الأشكال. وهي وإن كانت معلومة للطالب من دراسته للعلوم الرياضية إلا أننا سنقوم بتقديم بعض منها في هذا الباب.

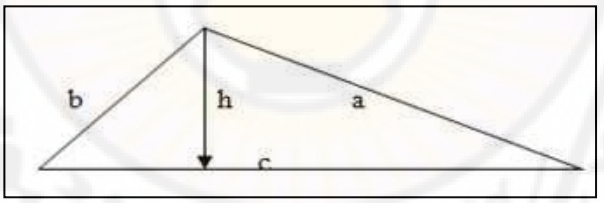
أ–المثلث :

أ) إذا قيست أضلاع المثلث الثلاثة a،b،c (الشكل 9–1)، فإن مساحة المثلث (A) تحسب من القانون الرياضي الآتي:

$$A = [s*(s-a)*(s-b)*(s-c)]^{1/2}$$

حيث: s هي نصف محيط المثلث

$$s = (a+b+c)/2$$



الشكل 9–1 قطعة الأرض على شكل مثلث أطوال أضلاعه c،b،a

ب) وإذا قيست قاعدة المثلث (أحد أضلاعه الثلاثة، c مثلاً) وقيس العمود النازل عليها من الركن المقابل (ارتفاع المثلث h) فإن المساحة A تحسب من القانون الآتي:

$$A = (1/2) * c * h$$

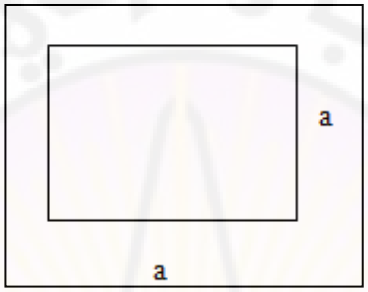
ج) وإذا قيس طولا ضلعين متجاورين من المثلث (الضلعين a و b مثلاً) والزاوية المحصورة بينهما (زاوية C)، فإن المساحة A تحسب من العلاقة:

$$A = (1/2) * a * b * \sin C$$

الأشكال الهندسية غير المثلث:

ب– المربع: إذا كان طول ضلع المربع يساوي a (الشكل 9–2) فإن مساحته تساوي جداء الضلع في نفسه:

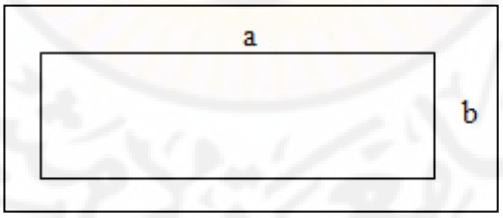
$$A = a^2$$



الشكل 9– 2 قطعة الأرض على شكل مربع طول ضلعه a

ج– المستطيل: إذا كان طوله يساوي a (الشكل 9–3)، وعرضه يساوي b، فإن مساحته A هي:

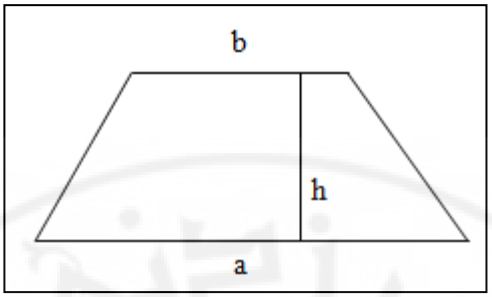
$$A = a * b$$



الشكل 9– 3 قطعة الأرض على شكل مستطيل

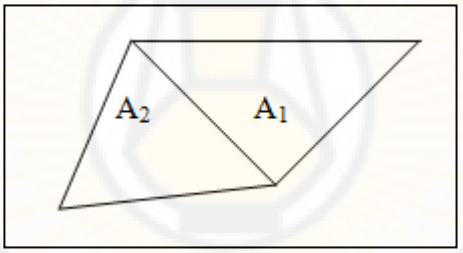
ح– شبه المنحرف: إذا كان طول القاعدة a وطول القاعدة الأخرى الموازية لها يساوي b وارتفاعه (المسافة بين القاعدتين) يساوي h (الشكل 9–4)، فإن المساحة A هي:

$$A = (1/2) * (a + b) * h$$



الشكل 9– 4 قطعة الأرض على شكل شبه المنحرف

خ– إذا كان شكل قطعة الأرض يمثل أي شكل هندسي مكون من أكثر من ثلاثة أضلاع مستقيمة (الشكل 9–5)، مثل الشكل الرباعي أو الخماسي أو السداسي، فيمكن تقسيمه إلى مثلثات تقاس أضلاعها وتحسب مساحة كل مثلث ثم تجمع هذه المساحات لإيجاد المساحة الكلية.



الشكل 9– 5 قطعة الأرض ذات الحدود المستقيمة

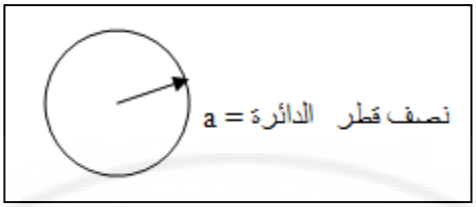
مساحة قطعة الأرض ذات الشكل الرباعي الذي يظهر في الشكل (9–5) تساوي مجموع مساحتي المثلثين:

$$A = A_1 + A_2$$

د– الشكل الدائري:

مساحة الدائرة (الشكل 9–6)، التي نصف قطرها a، تحسب من العلاقة:

$$A = \pi * a^2$$



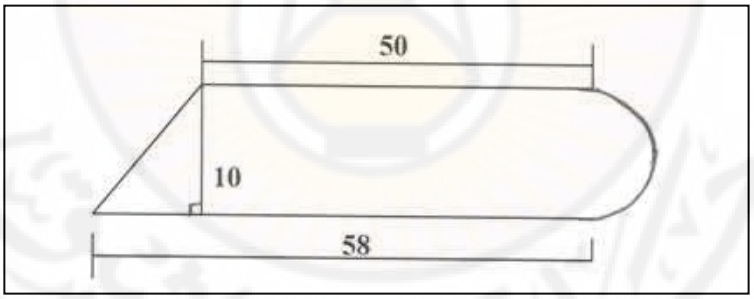
الشكل 9– 6 قطعة الأرض ذات الشكل الدائري

– مساحة القطاع من هذه الدائرة الذي زاويته عند المركز تساوي α راديان (أو α * 360 درجة ستيني):

$$A = \pi * a^2 * \alpha$$

مثال 1.9

أوجد مساحة قطعة الأرض التي تظهر حدودها في الشكل (9–7)، والتي يمكن تقسيمها إلى نصف دائرة قطرها 10 متر، ومستطيل طوله 50 متر وعرضه 10 متر، ومثلث قائم الزاوية.



الشكل 9– 7 قطعة أرض مكونة من نصف دائرة و مستطيل و مثلث قائم الزاوية

الحل:

مساحة نصف الدائرة = $0.5 \times \pi \times (10/2)^2$ = 39.27 متر مربع.

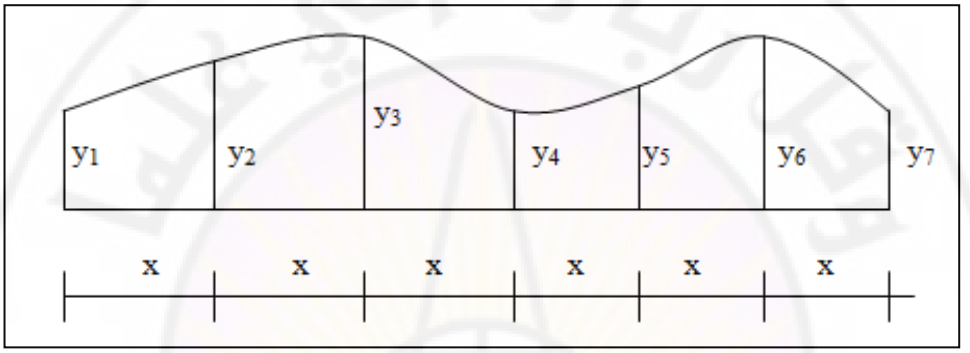
مساحة المستطيل = 10 x 50 = 500 متر مربع.

مساحة المثلث قائم الزاوية = 2 / 8 x 10 = 40 متر مربع.

المساحة الكلية للقطعة = 40.00 + 500.00 + 39.27 = 579.27 متر مربع.

9-2-2 النماذج الرياضية للأراضي ذات الحدود غير المنتظمة:

في الكثير من الحالات تكون لقطعة الأرض حدود لا تتشكل من خطوط مستقيمة أو أقواس دائرية بحيث يمكن تطبيق النموذج الرياضي المناسب كما تم في الفقرة السابقة. في هذه الحالة نقوم بمد محور على طول المنطقة ونقيم عليه أعمدة، على مسافات متساوية، إلى حدود الأرض كما يتضح في الشكل (9-8).



الشكل 9- 8 قطعة أرض ذات حدود غير منتظمة

إذا علمنا المسافة بين كل عمود والذي يليه (x مثلاً) وبقياس أبعاد هذه الأعمدة من حدود المنطقة (y_i) لكل عمود i من 1 إلى n عمود (n = 7 في الشكل 9-8)، يمكن حساب المساحة حساباً تقديرياً بالطريقة التي توائم شكل حدود المنطقة من الطرائق التالية:

1- طريقة متوسط أطوال الأعمدة:

نحسب أولاً متوسط أطوال الأعمدة Y من العلاقة:

$$Y = [\, y_1 + y_2 + y_3 + \ldots + y_n \,] / n$$

ومن ثم نحسب المساحة A من العلاقة التالية:

المساحة الكلية = متوسط أطوال الأعمدة [Y] × طول المحور [x * (n – 1)]

2- طريقة أشباه المنحرفات (Ttapezoidal Rule)

وهذه الطريقة أكثر دقة من الأولى، ونعتبر فيها أن كل مساحة بين عمودين هي مساحة شبه منحرف، فمثلاً مساحة الجزء الأول من اليسار هي:

$$A_1 = x * (y_1 + y_2) / 2$$

ومساحة الجزء الثاني هي:

$$A_2 = x * (y_2 + y_3) / 2$$

ومساحة الجزء الأخير هي:

$$A_{n-1} = x * (y_{n-1} + y_n) / 2$$

وبجمع مساحات كل الأجزاء التي تكون المنطقة نوجد المساحة :

$$A = A_1 + A_2 + A_3 + ... + A_{n-1}$$

أو:

$$A = (x/2) * [y_1 + 2 * y_2 + 2 * y_3 + ... + 2* y_{n-1} + y_n]$$

3- طريقة سيمبسون (Simpson):

وتُعد أكثر دقة من سابقتيها إذا كانت حدود المنطقة منحنية أو أشبه بالمنحنى من الخط المستقيم، ويراعى عند تطبيقها أن يكون عدد الأعمدة n عدداً فردياً.

$$A = (x/3) * [y_1 + 4*y_2 + 2*y_3 + 4*y_4 + 2*y_5 +..... + 4*y_{n-1} + y_n]$$

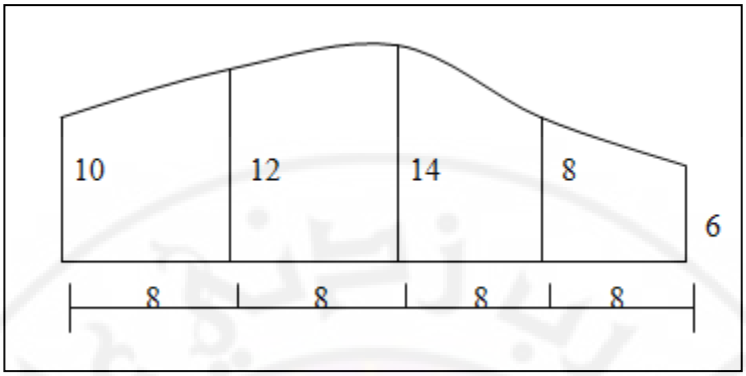
ويمكن صياغتها لفظياً على النحو الآتي:

المساحة = (x/3) * (طول العمود الأول + طول العمود الأخير + ضعف مجموع الأعمدة الفردية غير الأول والأخير + أربعة أضعاف مجموع الأعمدة الزوجية).

ملاحظة: يلاحظ أن الطريقة الثانية يمكن استعمالها لتقدير مساحة القطعة التي تشكل حدودها خطوطاً مستقيمة بين الأعمدة ، في حين أن الطريقة الأخيرة تعبر أكثر عن الحدود التي تكون في شكل منحنى بين الأعمدة.

مثال 2.9

قسمت مساحة قطعة أرض إلى أربعة أجزاء كما هو مبين في الشكل (9-9)، كل القياسات بالأمتار. أوجد مساحة قطعة الأرض باستعمال كل من الطرائق الثلاث السابقة.



الشكل 9– 9 قطعة أرض حدودها غير منتظمة قسمت إلى 4 أجزاء

الحل:

1– طريقة متوسط أطوال الأعمدة:

متوسط أطوال الأعمدة Y:

$$Y = [6 + 8 + 14 + 12 + 10] / 5$$

$$=10 \text{ m}$$

طول المحور = عدد الأجزاء × طول الجزء الواحد =(n–1) * x

= 4 × 8 = 32 متر

المساحة = متوسط أطوال الأعمدة × طول المحور

= 10 × 32 = 320 متر مربع

2– طريقة أشباه المنحرفات:

المساحة = [(8 + 14 + 12)2x + 6 + 10] (8/2)

= 84 × 4 = 336 متر مربع

3– طريقة سيمسون:

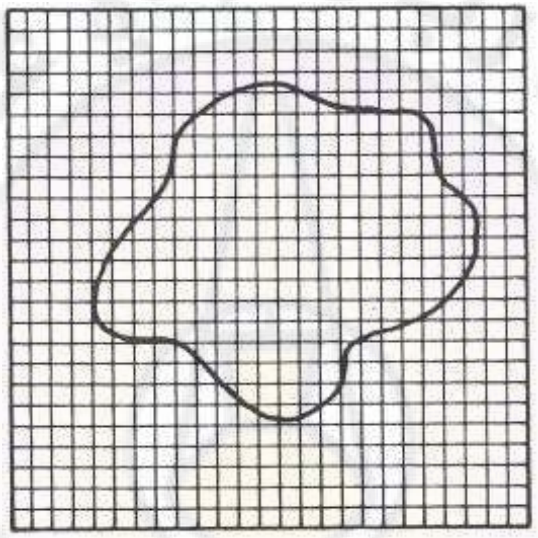
المساحة = [4(8 + 12) + 2x14 + 6 + 10] (8/3)

= 124 × 8 ÷ 3 = 330.67 متر مربع

9–3 الطرائق التخطيطية لإيجاد المساحة

تُعَد هذه الطرائق تقديرية ولا يُلجأ إليها إلا في حالة تجنب إجراء الحسابات عندما تكون حدود المنطقة موقعة على خريطة ذات مقياس رسم معلوم، وسنقدم طريقة واحدة منها هي طريقة المربعات.

ونستعمل هنا ورقة رسم بياني شفاف توضع على الخريطة مغطيةً الجزء الذي تقع فيه المنطقة المراد إيجاد مساحتها (الشكل 9–10)، ونقوم بتعداد المربعات الصغيرة داخل حدود المنطقة، ونحتاج للقيام بتقدير لكسر المربعات غير الكاملة. فإذا علمنا عدد المربعات الكلية بكسورها، وإذا علمنا المساحة على الأرض التي يغطيها المربع الواحد من مقياس الخريطة، يمكن إيجاد المساحة الكلية.



الشكل 9– 10 طريقة المربعات التخطيطية لحساب المساحة

مثال 3.9

إذا كانت حدود قطعة الأرض المتعرجة قد تم توقيعها على خريطة ذات مقياس رسم 1: 5000، ووضعت ورقة رسم شفاف مقسمة إلى مربعات على لوحة الرسم لتغطي حدود المنطقة تماماً كما في الشكل 9–10، وإذا كان كل مربع عبارة عن 1 سم مربع، وتم إحصاء عدد المربعات وأجزائها داخل حدود المنطقة فكانت 198.5 مربع، فكم تكون مساحة هذه القطعة على الطبيعة؟.

الحل:

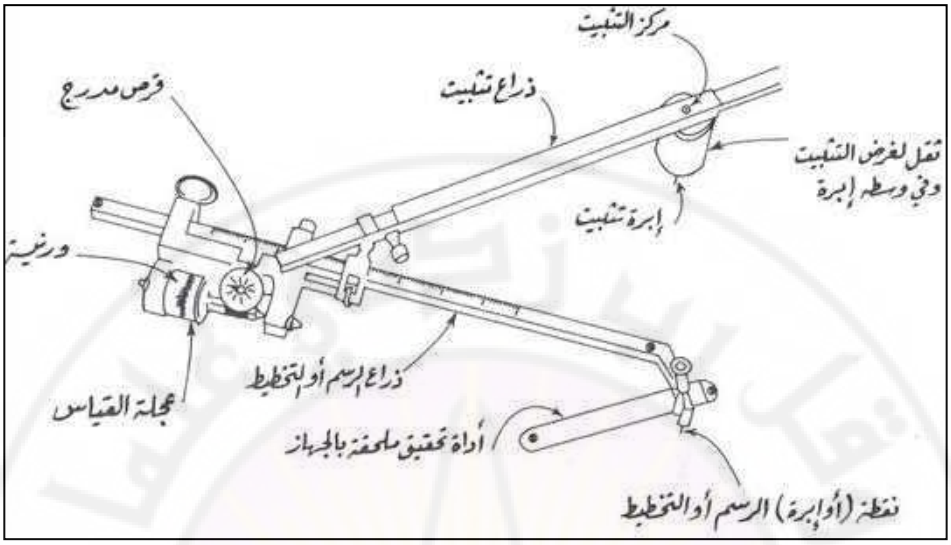
بما أن مقياس رسم الخريطة هو 1:5000 فإن كل 1 سم طولي يمثل 5000 سم أو 50 متراً على الطبيعة. ويمثل كل 1 سم مربع ما مقداره 50×50 متراً مربعاً في الطبيعة (2500 متراً

مربعاً). أما المساحة التي مقدارها 198.5 سم مربع على الخريطة فتمثل 198.5x2500 متراً مربعاً على الطبيعة.

إذن مساحة قطعة الأرض على الطبيعة = 198.5x2500 = 496250 متر مربع. وهذه المساحة يمكن أن يعبر عنها بالهكتار، حيث إن كل 1 هكتار= 10000 متر مربع تعادل 49.625 هكتاراً.

4.9 الطريقة الآلية لإيجاد المساحة (جهاز قياس المساحة)

ومن الطرائق المستعملة في إيجاد المساحة الأرضية للمنطقة ذات الحدود غير المنتظمة والموقعة على الخريطة الطريقة الآلية التي يستخدم فيها جهازٌ يسمى جهازَ قياس المساحة (البلانيميتر). ومن أنواع هذا الجهاز جهاز مقياس المساحة الميكانيكي والجهاز الرقمي. ومن أكثر أجهزة مقياس المساحة الميكانيكية المستعملة جهاز المقياس القطبي. وكما هو مبين في الشكل 9–11، فإن هذا الجهاز يتكون من: 1– ذراع متابعة الحدود وهو عبارة عن قضيب معدني مدرج وفي أحد طرفيه إبرة عمودية تمرر على حدود قطعة الأرض المراد إيجاد مساحتها. 2– ذراع الثقل أو الذراع الثابت ويتصل عند أحد طرفيه بثقل يثبت بواسطة إبرة من أسفله بحيث لا يتحرك من مكانه عند تمرير ذراع متابعة الحدود، وينتهي هذا الذراع عند طرفه الآخر بمخروط يدخل في ثقب صغير في غلاف ينزلق على ذراع متابعة الحدود، 3– عجلة القياس هي عجلة رأسية مثبتة على محور أفقي يوازي ذراع المتابعة ويقسم محيطها إلى عشرة أقسام رئيسة، ويقسم كل قسم من هذه الأقسام إلى عشرة أقسام متساوية. ويمكن قراءة جزء من عشرة من أحد الأقسام بواسطة ورنية مثبتة بجوار العجلة الرأسية التي تدور على محور أفقي متصل بقرص أفقي مقسم هو الآخر إلى عشرة أقسام عليها مؤشر. وكلما دارت العجلة الرأسية دورة كاملة دار المؤشر قسماً واحداً على القرص الأفقي، ويوجد بالغلاف المنزلق على ذراع المتابعة ورنية تقرأ لدقة 10/1 من أصغر جزء من أقسام هذا الذراع، ويتحرك الغلاف على الذراع حركة بطيئة وأخرى سريعة بواسطة مسامير خاصة من أجل وضع ثابت الجهاز على الذراع والذي يكون محدداً بجدول مرفق مع الجهاز. وتعادل قيمة القسم الواحد على القرص ألف وحدة من وحدات الجهاز. وبالجدول أيضاً عمود لقيم ثابت الجهاز الذي يستعمل مع القراءة المسجلة لإيجاد المساحة على الأرض بالأمتار المربعة.



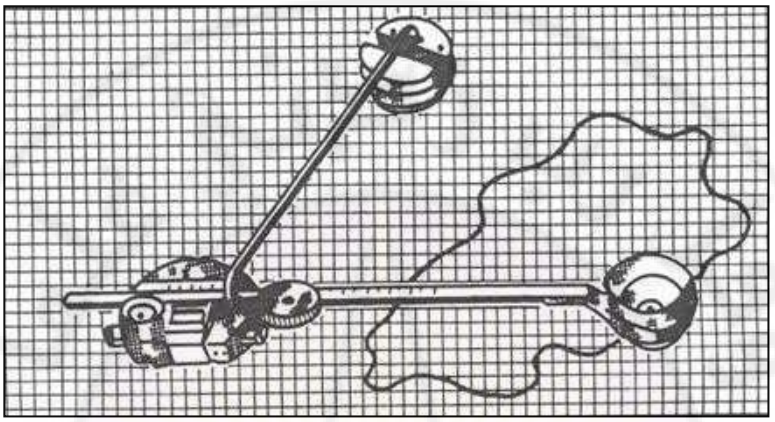
الشكل 9– 11 أجزاء جهاز مقياس المساحة الميكانيكي

ولكل جهاز جدول يحوي أربعة أعمدة، العمود الأول يبين مقاييس الرسم المستعملة ومقابل كل مقياس رسم الطول الذي يجب تثبيت ذراع المتابعة عليه في العمود الثاني، ويحوي العمود الثالث المساحة الحقيقية المقابلة لكل وحدة من وحدات قياس الجهاز على لوحة الخريطة وفي العمود الأخير المساحة الحقيقية المقابلة لمقياس الرسم المستعمل.

<u>طريقة استعمال جهاز قياس المساحة</u>

أولاً يختار طول ذراع المتابعة المقابل لمقياس رسم الخريطة التي تحوي حدود المنطقة وذلك من الجدول المرافق للجهاز (في بعض الأجهزة يطبع الجدول على ظهر الجهاز نفسه)، ومن ثم يتم تحريك الجزء المنزلق على ذراع المتابعة حركة سريعة وبطيئة بواسطة المسامير الخاصة بذلك لضبط طول ذراع المتابعة. الخطوة الثانية هي اختيار نقطة بداية القياس وتعليمها وهي نقطة على حدود المنطقة المبينة على لوحة الخريطة، تختار بحيث يكون الثقل خارج حدود المنطقة، وتكون إبرة المتابعة في مركز ثقل المساحة تقريباً (الشكل 9–12)، ويكون ذراع المتابعة عمودياً على ذراع الثقل بقدر الإمكان وتكون الزاوية بين الذراعين بحدود 30 إلى 150 درجة أثناء تمرير الإبرة على حدود القطعة. يمكن التحقق من ذلك بإمرار الإبرة على حدود المنطقة بحركة سريعة. وينبه إلى أنه في حال كانت المساحة كبيرة يمكن تقسيمها إلى أقسام عدة لتحقيق

الوضع المطلوب وإيجاد مساحة كل قسم على حدة ومن ثم جمع مساحات هذه الأقسام لإيجاد المساحة الكلية.



الشكل 9– 12 الوضع الأمثل لوضع الجهاز بالنسبة للخريطة عند بداية القياس

أما الخطوة الثالثة فهي خطوة القياس وتبدأ بوضع الإبرة على نقطة البداية المختارة وتصفير الجهاز بحيث يكون كل من مؤشر القرص الأفقي وورنية العجلة الرأسية على الصفر ثم تمرير الإبرة على حدود المنطقة في اتجاه عقارب الساعة، لأن ترقيم العجلة يتزايد مع الدوران في هذا الاتجاه حتى نصل إلى نقطة البداية مرة أخرى، ويتم قراءة الجهاز ثم يستعمل معامل الجهاز لتحويل القراءة إلى مساحة على الأرض. فعلى سبيل المثال إذا كانت المساحة على الطبيعة (بالمتر المربع) المقابلة لوحدة الجهاز تساوي 4 متراً مربعاً على حسب ما هو في جدول الجهاز فإن مساحة هذه القطعة تساوي 4x7213 = 28852 متراً مربعاً.

أما إذا استُعمِلَ الجهاز لإيجاد مساحة قطعة أرض على خريطة مرسومة بمقياس رسم غير موجود في جدول الجهاز، فإننا نستعمل طول الذراع المقابل لأحد مقاييس الرسم الموجودة في الجدول ونطبق القانون الآتي لإيجاد المساحة المطلوبة:

المساحة المطلوبة = المساحة الناتجة x (مقياس الرسم المستعمل ÷ مقياس الرسم الحقيقي)

وهناك مقياس المساحة الرقمي (الشكل 9–13)، وقد صمم على المبدأ الرياضي نفسه الذي صمم عليه المقياس الميكانيكي القطبي. ولا يوجد فرق في استعمال الجهاز الرقمي إلا أن مقياس

الخريطة التي رسمت عليها حدود الأرض يدخل رقمياً في الجهاز قبل استعماله، وبعد تمريره على حدود المنطقة (في اتجاه عقارب الساعة أيضاً) يعطي قيمة المساحة مباشرة.

الشكل 9– 13 مقياس المساحة الرقمي

مثال 4.9

استعمل جهاز مقياس المساحة في إيجاد مساحة قطعة أرض على خريطة مقياس رسمها 1:2500 ولكن مقياس الرسم هذا لم يكن موجوداً بجدول الجهاز فقد قيست المساحة على أساس مقياس الرسم 1:2000 الموجود بالجدول فكانت المساحة الناتجة 4000 متر مربع، فما هي المساحة الحقيقية لقطعة الأرض؟

الحل:

المساحة الحقيقية = $4000 \times (1/2000)^2 / (1/2500)^2$

= 6250 متر مربع.

مثال 5.9

لإيجاد مساحة قطعة أرض مبينة على خريطة مقياس رسمها 1:2500 استُعمل جهاز بلانيميتر لا يوجد في الجدول المرافق له المقياس المذكور فاستخدم مقياس الرسم 1:1000، وكانت المساحة التي تمثلها وحدة الورنية لهذا المقياس من الجدول هي 30 متراً مربعاً. وكانت قراءة الجهاز عند بدء القياس 1800 وبعد تمرير الإبرة على حدود المنطقة خمس مرات سجلت القراءة الأخيرة 4900، أوجد المساحة الحقيقية لقطعة الأرض بالمتر المربع، ثم بالهكتار. (1هكتار = 10000 متر مربع = 2.39 فدان).

الحل:

عدد وحدات الجهاز لخمس دورات = 4900 – 1800 = 3100 وحدة.

متوسط عدد وحدات الجهاز لدورة واحدة = 3100 ÷ 5 = 620 وحدة.

المساحة الناتجة من القياس = 620 × 30 = 18600 متر مربع.

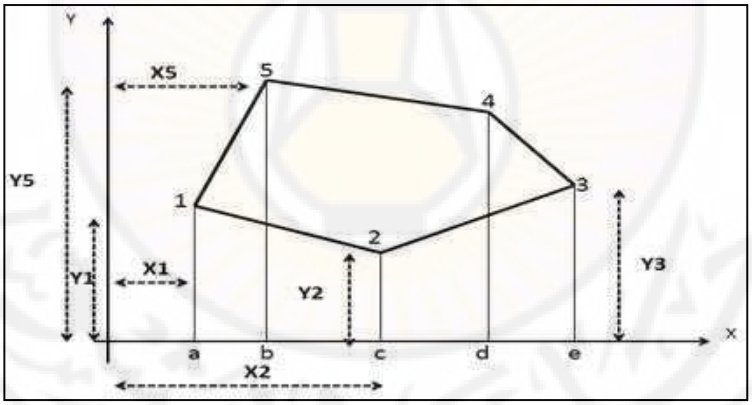
المساحة الحقيقية = $18600 \times (1/1000)^2 / (1/2500)^2$

$= 18600 \times (2500)^2/(1000)^2$

= 116250 متر مربع = 11.625 هكتار

5.9 الطريقة التحليلية لإيجاد المساحة

تطبق هذه الطريقة إذا كانت رؤوس قطعة الأرض المراد حساب مساحتها عبارة عن نقاط معلومة الإحداثيات. لنعتبر المضلع 1، 2، 3، 4، 5، ولنفرض بأننا نعلم الإحداثيات المستوية (y،x) لذروته. من الشكل (9–14)، لدينا: $S = S(A,1,2,3,4,B) - S(A,1,5,4,B)$



الشكل 9– 14 الطريقة التحليلية لحساب مساحة مضلع

ومن ثمَّ يكون لدينا مساحة المضلع :

$$S = \frac{1}{2}(Y_1 + Y_2)(X_2 - X_1) + \frac{1}{2}(Y_2 + Y_3)(X_3 - X_2)$$

$$+ \frac{1}{2}(Y_3 + Y_4)(X_4 - X_3) + \frac{1}{2}(Y_1 + Y_5)(X_5 - X_1)$$

$$- \frac{1}{2}(Y_5 + Y_4)(X_4 - X_5)$$

ويمكن كتابة العلاقة بالشكل الآتي، وذلك بضرب الطرف الثاني ب 2 وإدخال أشارة (–) إلى داخل الأقواس والاستفادة من خاصة الجمع لكونه تبديلياً.

$$2S = (Y_1 + Y_2)(X_2 - X_1) + (Y_2 + Y_3)(X_3 - X_2)$$
$$+ (Y_3 + Y_4)(X_4 - X_3) + (Y_4 + Y_5)(X_5 - X_4)$$
$$+ (Y_5 + Y_1)(X_1 - X_5)$$

والتي نعبر عنها اختصاراً بالعلاقة:

$$2S = \sum (Y_i + Y_{i+1})(X_{i+1} - X_i)$$

وبالإسقاط على المحور Y $2S = \sum (X_i + X_{i+1})(Y_{i+1} - Y_i)$

أو تحسب المساحة بالعلاقة:

$$2S = \sum Y_i (X_{i+1} - X_{i-1})$$
$$2S = \sum X_i (Y_{i-1} - Y_{i+1})$$

الحالة الثانية: بفرض أن رؤوس المضلع معروفة بإحداثياتها القطبية أي (a_i, d_i)، ومن ثمَّ فمساحة أي مضلع تعطى بالعلاقة:

$$2S = \sum d_i d_{i+1} \sin(a_{i+1} - a_i)$$

مثال 6.9

بالعودة إلى المسألة 2 للمضلع الثلاثي المغلق بالبحث السابق (الذي هو مثلث قائم الزاوية في a)، وجدنا ان الإحداثيات المصححة لنقاط رؤوس المضلع هي كمايآتي:

جدول 9 – 1 جدول إحداثيات المثال 9– 6

□	X (m)	Y (m)
A	100.00□	100.00□
B	161.24□	38.76□
C	135.36□	135.36□

احسب مساحة المضلع المغلق بالطريقة التحليلية؟

الحل:

$$2S = \sum (Y_{i+1} + Y_i)(X_{i+1} - X_i)$$
$$2S = (38.76 + 100.00)(161.24 - 100.00)$$
$$+ (135.36 + 38.76)(135.36 - 161.24)$$
$$+ (100.00 + 135.36)(100.00 - 135.36)$$
$$2S = (138.76)(61.24) + (174.12)(-25.88) + (235.36)(-35.36)$$
$$2S = 8497.46 - 4506.431 - 8321.204$$
$$2S = -4330.172$$
$$S = 2165.086 m^2$$

للتأكد (بفرض هنا حالة خاصة للمثلث وهو المثلث القائم الزاوية، فنقوم بحساب مساحته وفق قوانين المثلثات):

$$S = \frac{1}{2} \times AB \times AC$$
$$S = \frac{1}{2} \times 86.603 \times 50.00 = 2165.086 m^2$$
$$Or : S = \frac{1}{2} \times AB \times AC \times \sin(\alpha) = 2165.086 m^2$$

أو نحسب المساحة وفق الطريقة الآتية:

$$2S = \sum (Y_{i+1} - Y_i)(X_{i+1} + X_i)$$
$$2S = (38.76 - 100.00)(161.24 + 100.00)$$
$$+ (135.36 - 38.76)(135.36 + 161.24)$$
$$+ (100.00 - 135.36)(100.00 + 135.36)$$
$$2S = -15997.508 + 28648.751 - 8321.071$$
$$2S = 4330.172$$
$$S = 2165.086 m^2$$

أو بواسطة القانون:

$$2S = \sum Y_i (X_{i+1} - X_{i-1})$$
$$2S = 100.00(161.24 - 135.36) +$$
$$38.76(135.36 - 100.00) +$$
$$135.36(100.00 - 161.24)$$
$$2S = 2588.150 + 1370.487 - 8288.80868$$
$$2S = -4330.172$$
$$S = 2165.086 m^2$$

مثال 7.9 :

بالعودة إلى المسألة الأولى بالبحث السابق (مضلع رباعي مغلق)، وبعد حساب الإحداثيات المصححة لرؤوس المضلع، احسب مساحة المضلع بالطريقة التحليلية.

جدول 9 – 2 إحداثيات المثال 9–7

	X	Y
A	100.00	100.00
B	110.00	141.65
C	134.47	136.55
D	127.58	95.10

الحل:

$$2S = \sum (Y_i + Y_{i+1})(X_{i+1} - X_i)$$
$$2S = (141.65 + 100.00)(110.00 - 100.00)$$
$$+ (136.55 + 141.65)(134.47 - 110.00)$$
$$+ (95.10 + 136.55)(127.57 - 134.47)$$
$$+ (100.00 + 95.10)(100.00 - 127.57)$$
$$2S = (241.65)(10.00) + (278.20)(24.47)$$
$$+ (231.66)(-6.89) + (195.10)(-27.57)$$
$$2S = 2416.50 + 6807.42 - 1597.16 - 5379.94$$
$$2S = 2246.82 m^2$$
$$S = 1123.41 m^2$$

أو تحسب المساحة من العلاقة :

$$2S = \sum (X_i + X_{i+1})(Y_{i+1} - Y_i)$$
$$2S = (110.00 + 100.00)(141.65 - 100.00)$$
$$+ (134.47 + 110.00)(136.55 - 141.65)$$
$$+ (127.57 + 134.47)(95.10 - 136.55)$$
$$+ (100.00 + 127.57)(100.00 - 95.10)$$
$$2S = (210.00)(41.65) + (244.47)(-5.10)$$
$$+ (262.04)(-41.45) + (227.57)(4.90)$$
$$2S = 8746.50 - 1246.33 - 10861.313 + 1114.32$$
$$2S = -2246.82 m^2$$
$$S = 1123.41 m^2$$

أو من خلال:

$$2S = \sum Y_i (X_{i+1} - X_{i-1})$$
$$2S = (100.00 \times (110.00 - 127.57))$$
$$+ (141.65 \times (134.47 - 100.00))$$
$$+ (136.55 \times (127.57 - 110.00))$$
$$+ (95.10 \times (100.00 - 127.57))$$
$$2S = -1757.48 + 4882.59 + 2399.87 - 3278.16$$
$$2S = 2246.82 m^2$$
$$S = 1123.41 m^2$$

أو بواسطة:

$$2S = \sum X_i (Y_{i-1} - Y_{i+1})$$
$$2S = (100.00 \times (141.65 - 95.10)))$$
$$+ (110.00 \times (136.55 - 100.00))$$
$$+ (134.47 \times (95.10 - 141.65))$$
$$+ (127.57 \times (100.00 - 136.55))$$
$$2S = 4654.65 + 4020.71 - 6259.08 - 4663.10$$
$$2S = |-2246.82| m^2$$
$$S = 1123.41 m^2$$

9–6 تقدير حساب مكعبات الحفر والردم (Cutting and Filling volume) للقطاعات العرضية والطولية

لحساب مكعبات الحفر والردم تقّسم المنطقة في الاتجاه الطولي إلى أجزاء عدة، كل منها محصور بين قطاعين عرضيين، وذلك باعتبار أن الأرض منتظمة بين هذين القطاعين، أي تؤخذ المقاطع العرضية (**Cross–Sections**) في نقاط تغير الميول وتتراوح المسافة بين كل مقطعين عرضيين متتالين L من (10–50 m) كما يجب أخذ المقاطع العرضية بشكل دائم في أماكن التغيير والانتقال من مناطق الردم إلى مناطق الحفر وبالعكس. يحسب حجم كل جزء محصور بين قطاعيين عرضيين متجاورين (V) على أساس موشور مجسم ثم تُجمع جميع الحجوم التي تعبر عن الحفر وجميع الحجوم التي تعبر عن الردم.

ولا بد من تمييز المصطلحات الآتية التي ستستخدم عند تقدير الحجوم للمقاطع الطولية والعرصية، وهي:

1– خط منسوب الأرض الطبيعية (Profile): وهو خط طولي يمثل مناسيب سطح الأرض الطبيعية يحدّد باستعمال الأجهزة المساحية كالنيفو أو التتوتال ستيشن.

2– الخط التصميمي للمشروع: يمثل المحور الهندسي التصميمي، وقد يكون خطاً منتظماً أو مقسماً إلى أجزاء كل منها يكون الميل منتظماً. ميل الخط يتوقف على قواعد التصميم الهندسي (خط أنابيب، خط طريق، خط سكك حديدية ...الخ) ويراعى عند تصميمه أن تتساوى حجوم (مكعبات) الحفر مع حجوم الردم قدر الإمكان وغالبا ما يعبر عن الميل كنسبة مئوية (مثلاً 1%، 2%،...).

3– ترسم القطاعات الطولية بمقياس رسم أفقي ورأسي يتناسب مع كل منهما (غالباً المقياس الطولي يختلف عن المقياس الشاقولي لأن قيم المسافات أكبر بكثير من قيم فروق الارتفاعات).

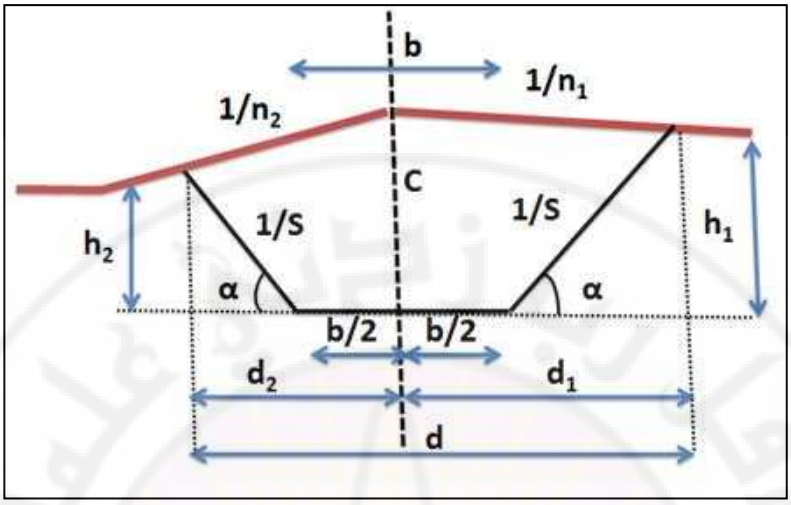
9–7 معطيات المقاطع العرضية النموذجية (typical cross–section)

يتكون المقطع العرضي كما هو مبين بالشكل (9–15):

1– عرض ثابت (b) أو طول القاعدة بالمقطع النموذجي.

2– ارتفاع نقاط المحور بالنسبة إلى الأرض الطبيعية (C)، أي فرق الارتفاع بين خط المشروع والأرض الطبيعية (**Profile**) ، ويشير لارتفاع الحفر أو الردم.

3– ميل جوانب المشروع (1 / S) حيث يدل هذا الميل على أن هنالك مسافة شاقولية مقدارها (1 m) متر كلما مشينا مسافة (S m) متر.



الشكل 9– 15 معطيات المقطع العرضي

4– الميل العرضي للأرض الطبيعية (1/n) ويؤخذ من محور المقطع العرضي يساراً أو يميناً. وبحالة الأرض الطبيعية ذات الميل الواحد يكون ($n_1= n_2$)، وبحالة الأرض الأفقية يكون (1/n = 0).

5– عرض الجانبين بالمقطع النموذجي (d_2،d_1) ، أي المسافة الأفقية من محور المشروع إلى نقطة تقاطع الجوانب المائلة للمقطع النموذجي مع سطح الأرض الطبيعية على الجهتين اليسرى واليمنى.

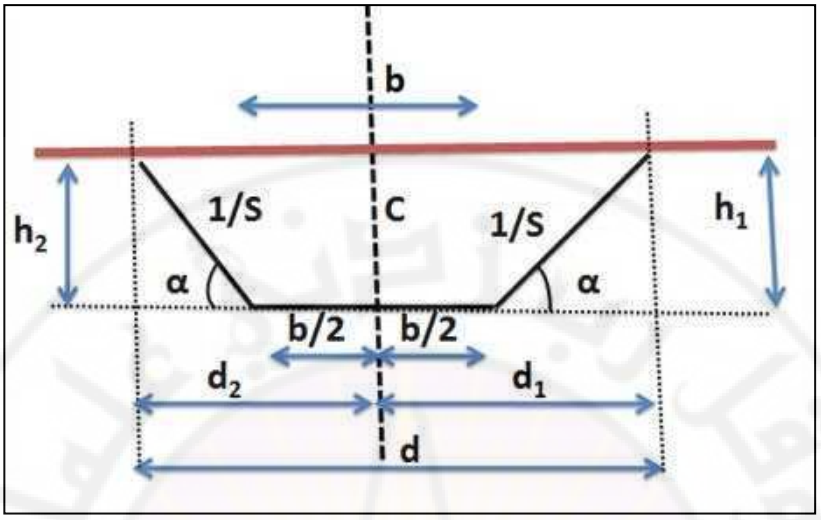
6– ارتفاع الجانبين في المقطع النموذجي (h_2،h_1)، وهما المسافتان الشاقوليتان بدءاً من قاعدة المشروع حتى نقاط تقاطع الجوانب المائلة للمقطع النموذجي لخط المشروع مع سطح الأرض الطبيعية.

9–8 طرائق تقدير مساحة المقاطع العرضية

لحساب حجوم كميات الحفر والردم لابد من معرفة مساحة المقاطع العرضية المختارة وهنا يمكن أن نميز الحالات الآتية:

1– حالة مقطع بأرض أفقية:

وهي الحالة التي يكون فيها (1/n =0) كما يتضح بالشكل (9–16)، ومن ثمَّ يكون ($d_1=d_2$) وايضاً ($h_1= h_2=C$).



الشكل 9– 16 مقطع عرضي بحالة ارض افقية

$$d_1 = d_2 = \frac{b}{2} + S$$

$$tg\alpha = \frac{1}{S} = \frac{h_1}{d_1 - \frac{b}{2}}$$

$$h_1 = h_2 = C = \frac{d_1 - \frac{b}{2}}{S}$$

وتكون مساحة المقطع هي مساحة شبه المنحرف وتعطى بالعلاقة :

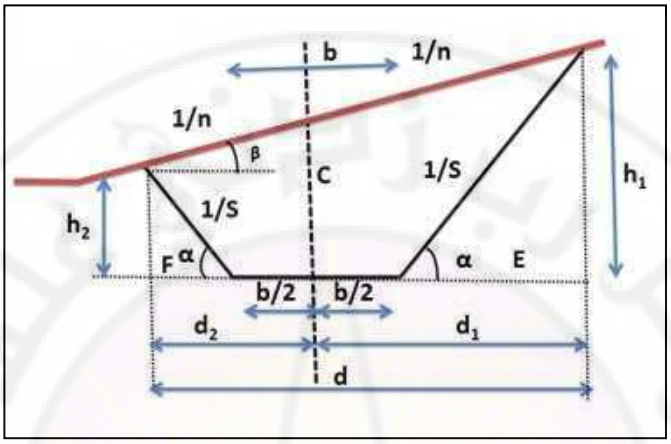
$$A = 2 \times \frac{(\frac{b}{2} + S \times C) + b}{2} \times C == \frac{2b + 2S.C}{2} C$$

$$A = \frac{2b + 2S.C}{2} \times \frac{d_1 - \frac{b}{2}}{S}$$

$$A = C(b + S.C) \quad \text{..... (1)}$$

2– حالة مقطع ذو مستويين

هي الحالة التي يكون فيها للارض ميل واحد قيمته (1/n) كما هو موضح بالشكل (9–17).



الشكل 9– 17 مقطع ذو مستويين

$$tg\alpha = \frac{1}{S} = \frac{h_1}{d_1 - \frac{b}{2}} \Rightarrow h_1 = \frac{d_1 - \frac{b}{2}}{S} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (2)$$

$$tg\beta = \frac{1}{n} = \frac{h_1 - C}{d_1} \Rightarrow h_1 = \frac{d_1}{n} + C$$

بالتساوي بين العلاقتين السابقتين نجد:

$$\frac{d_1 - \frac{b}{2}}{S} = \frac{d_1}{n} + C \Rightarrow \frac{2d_1 - b}{2.S} = \frac{n.C + d_1}{n}$$

$$n(2d_1 - b) = 2S(nC + d_1) \Rightarrow$$

$$2nd_1 - nb = 2SnC + 2Sd_1$$

$$= 2nd_1 - 2sd_1 = 2SnC + nb$$

$$\Rightarrow d_1(2n - 2S) = 2SnC + nb$$

$$\Rightarrow d_1 = \frac{2SnC}{2(n-s)} + \frac{nb}{2(n-s)}$$

$$d_1 = (\frac{nS}{n-S})(C + \frac{b}{2S}) \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (3)$$

وبذات الأسلوب يمكن ايجاد قيمة h_2 ومن ثم d_2 كما يلي:

$$tg\alpha = \frac{1}{S} = \frac{h_2}{d_2 - \frac{b}{2}} \Rightarrow h_2 = \frac{d_2 - \frac{b}{2}}{S} \quad \text{..... (4)}$$

وبتطبيق التساوي يكون: $tg\beta = \frac{1}{n} = \frac{C - h_2}{d_2} \Rightarrow h_2 = -\frac{d_2}{n} + C$

$$\frac{d_1 - \frac{b}{2}}{S} = \frac{d_1}{n} + C \Rightarrow \frac{2d_1 - b}{2.S} = \frac{n.C + d_1}{n}$$

$$\frac{d_2 - \frac{b}{2}}{S} = -\frac{d_2}{n} + C \Rightarrow$$

$$\frac{2d_2 - b}{2.S} = -\frac{d_2 + n.C_1}{n}$$

$$n(2d_2 - b) = -2S(d_2 - nC) \Rightarrow$$

$$2nd_2 - nb = -2Sd_2 + 2SnC$$

$$= 2nd_2 + 2sd_2 = 2SnC + nb$$

$$\Rightarrow d_2(2n + 2S) = 2SnC + nb$$

$$\Rightarrow d_2 = \frac{2SnC}{2(n+s)} + \frac{nb}{2(n+s)}$$

$$d_2 = (\frac{nS}{n+S})(C + \frac{b}{2S}) \quad \text{.....(5)}$$

بمعرفة قيم d_1،d_2 ، h_1، h_2، يمكن حساب مساحة المقطع A، والتي هي عبارة عن مساحة شبه منحرف مطروحاً منها مساحة المثلين الجانبيين حيث يمكن حساب قيمة F،E، من العلاقة:

$$tg\alpha = \frac{1}{S} = \frac{h_1}{E} \Rightarrow E = S \times h_1$$

$$tg\alpha = \frac{1}{S} = \frac{h_2}{F} \Rightarrow F = S \times h_2$$

وتكون مساحة المقطع A معطاة بالعلاقة :

$$A = (\frac{h_1 + h_2}{2})(d_1 + d_2) - \frac{S.h_1^2}{2} - \frac{S.h_2^2}{2} \quad .....(6)$$

نعوض قيم h_1،h_2 من (2) و(4) فنجد:

$$A = (d_1 + d_2)(\frac{\frac{d_1 - \frac{b}{2}}{S} + \frac{d_2 - \frac{b}{2}}{S}}{2}) - \frac{S}{2}\left[(\frac{2d_1 - b}{2S})^2 + (\frac{2d_2 - b}{2S})^2\right]$$

وبعد عمليات الإصلاح نحصل على العلاقة النهائية التالية:

$$A = \frac{d_1 \times d_2}{S} + \frac{b^2}{4S} \quad .....(7)$$

هذه العلاقة تحسب المساحة بدلالة طول القاعدة وميلان خط المشروع والمسافات. ويمكن أن تحسب المساحة بدلالة فروق الارتفاعات باستعمال العلاقة بين المسافة وفرق الارتفاع كما يلي:

$$h_1 = \frac{d_1 - \frac{b}{2}}{S} \Rightarrow d_1 = \frac{b}{2} + S.h_1$$

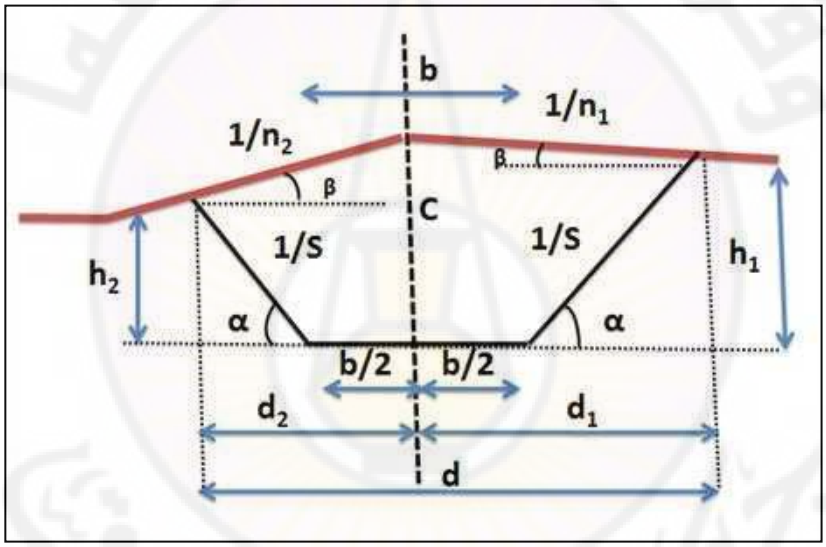
$$h_2 = \frac{d_2 - \frac{b}{2}}{S} \Rightarrow d_2 = \frac{b}{2} + S.h_2$$

نعوض هاتين القيمتين بالعلاقة (7) فنحصل على المساحة بدلالة h1 ،h2، وذلك بعد إصلاح المعادلات:

$$A = S.h_1.h_2 + \frac{b}{2}(h_1 + h_2) \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (8)$$

3– حالة مقطع ذو ثلاث مستويات

وهي الحالة العامة للمقطع العرضي والذي يكون إما بحالة الحفر أو بحالة الردم كما يظهر بالشكل (9–18).



الشكل 9– 18 حالة مقطع ذو ثلاث مستويات

يمكن حساب d_1، d_2 من العلاقتين (3) و(5)، ومن ثمَّ يمكن حساب مساحة المقطع العرضي بحساب مساحة شبهي المنحرفين المحددين بالقاعدة المشتركة C وحذف مساحتي المثلثين الجانبيين وفق العلاقة الآتية:

$$A = \frac{1}{2}(C + \frac{d_1 - \frac{b}{2}}{S})d_1 + \frac{1}{2}(C + \frac{d_2 - \frac{b}{2}}{S})d_2$$
$$- \frac{1}{2S}(d_1 - \frac{b}{2})^2 - \frac{1}{2S}(d_2 - \frac{b}{2})^2$$

وبعد الاختصار تأخذ العلاقة السابقة الشكل الآتي:

$$A=\frac{1}{2S}\left[S.C(d_1+d_2)+\frac{b}{2}(d_1+d_2)-\frac{b^2}{2}\right]$$

لكن $d=d_1+d_2$ وبالتعويض بالعلاقة السابقة نحصل على الشكل النهائي لعلاقة حساب مساحة المقطع العرضي:

$$A=\frac{d}{2}(C+\frac{b}{2S})-\frac{b^2}{4S} \quad \text{.....(9)}$$

4– حالة مقطع عرضي مختلط يحتوي الحفر والردم

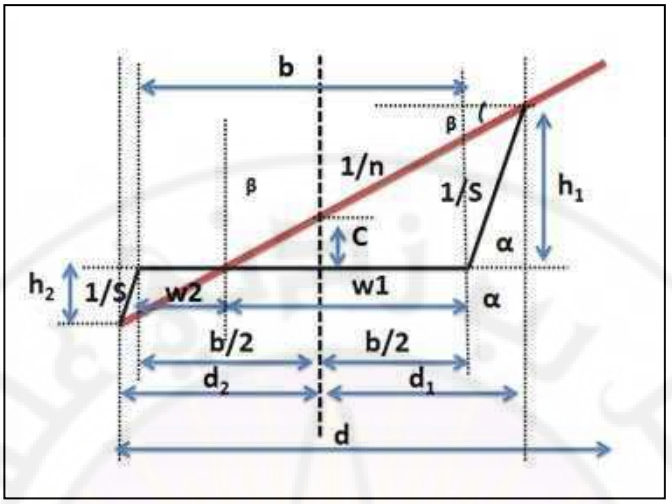
وهنا لابد من حساب مساحة الحفر ومساحة الردم والشكل (9–19) يوضح الارتفاع C يقع بمنطقة الحفر حيث ستُحسب مساحة الحفر أولاً من خلال حساب بعد نقطة التغير بين الحفر والردم:

$$w_1=\frac{b}{2}+C.n \Rightarrow C=\frac{w_1}{n}-\frac{b}{2n}$$

لاحظ أنه لو أن الارتفاع C بمنطقة الردم لكان:

$$w_1=\frac{b}{2}-C.n \qquad w_2=\frac{b}{2}+C.n$$

ووجدنا من العلاقة (3) أن : $d_1=(\frac{n.S}{n-S})(C+\frac{b}{2S})$



الشكل 9– 19 مقطع عرضي مختلط يحتوي الحفر والردم

بتعويض قيمة C بالعلاقة رقم 3 يكون لدينا :

$$d_1 = (\frac{n.S}{n-S})(\frac{w_1}{n} - \frac{b}{2n} + \frac{b}{2S})$$

$$d_1 = \frac{b.n - b.S + 2S.w_1}{2(n-S)}$$

$$d_1 = \frac{b.(n-S) + 2S.w_1}{2(n-S)}$$

$$d_1 = \frac{b}{2} + \frac{S.w_1}{n-S} \qquad \text{.....(10)}$$

لكن لدينا :

$$h_1 = \frac{d_1 - \frac{b}{2}}{S} \Rightarrow h_1 = \frac{\frac{b}{2} + \frac{S.w_1}{n-S} - \frac{b}{2}}{S}$$

$$\Rightarrow h_1 = \frac{w_1}{n-S}$$

ومن ثمَّ تكون مساحة الحفر A_1 هي:

$$A_1 = \frac{w_1.h_1}{2}$$

وبالتعويض بقيمة h1 تكون مساحة الحفر :

$$A_1 = \frac{w_1^{\,2}}{2(n-S)} \quad \text{.....(11)}$$

ولحساب مساحة الردم نحسب أولاً المسافة أو الطول W_2 فنجد

$$w_2 = b - w_1 \Rightarrow w_2 = \frac{b}{2} - n.S$$

وبشكل مشابه لحالة الحفر نحصل على مساحة الردم A_2 بالعلاقة الآتية:

$$A_2 = \frac{w_2^{\,2}}{2(n+S)} \quad \text{..... (12)}$$

9–9 حساب مساحة المقطع العرضي بالطريقة التحليلية

يمكن حساب مساحة المقطع العرضي في حال علمت احداثيات نقاط رؤوس مضلع المقطع المدروس من خلال تطبيق العلاقة الآتية :

$$2A = \sum (Y_i - Y_{i-1})(X_i + X_{i+1}) \quad \text{..... (13)}$$

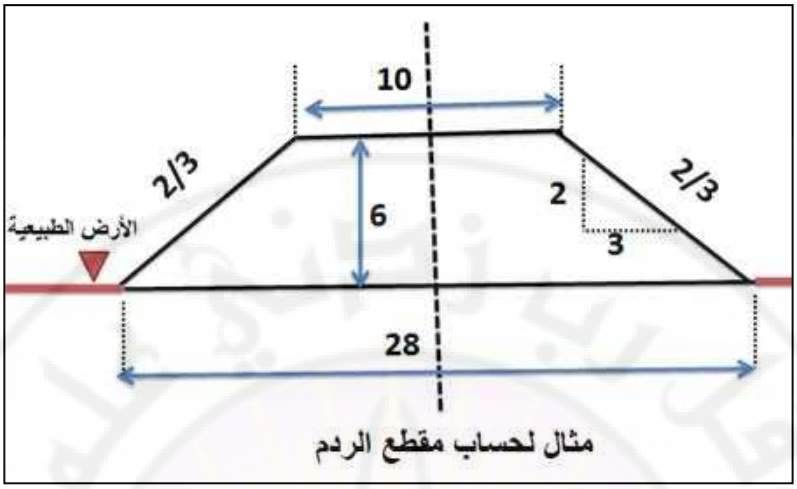
أو

$$2A = -\sum (X_i - X_{i+1})(Y_i + Y_{i+1})$$

حيث Y،X إحداثيات رؤوس مضلع المقطع العرضي.

<u>مثال عن حساب مساحة المقاطع العرضية</u>

احسب مساحة مقطع الردم لطريق عرضه (10 m) وارتفاع الردم (6 m) وميوله الجانبية (2/3).



مثال لحساب مقطع الردم

الحل:

$$tg\alpha = \frac{1}{S} = \frac{2}{3} \Rightarrow S = \frac{3}{2}$$

$$h_1 = h_2 = C = 6, b = 10, d = 28$$

سوف نستعمل القوانين السابقة بالحل : $A = C(b + S.C)$

$$A = 6 \times (10 + (\frac{3}{2}.6)) = 114m^2$$

أو :

$$A = \frac{d}{2}(C + \frac{b}{2S}) - \frac{b^2}{4S}$$

$$A = \frac{28}{2}(6 + \frac{10}{2\frac{3}{2}}) - \frac{10^2}{4\frac{3}{2}}$$

$$A = 14(6 + \frac{10}{3}) - \frac{100}{6}$$

$$A = \frac{(14 \times 28 \times 2) - 100}{6} = 114m^2$$

أو:

$$A = S.h_1.h_2 + \frac{b}{2}(h_1 + h_2)$$

$$A = \frac{3}{2} \times 6 \times 6) + \frac{10}{2}(6+6)$$

$$A = (3 \times 18) + (5 \times 12) = 114m^2$$

9–10 حساب حجم المنشور (الموشور) (Prism)

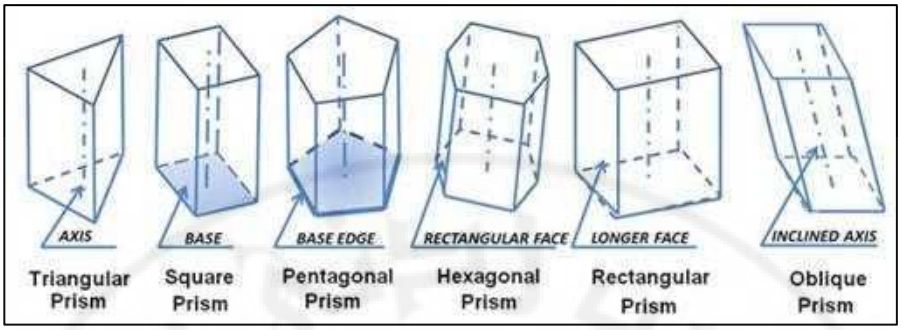
المنشور (الموشور) هو عبارة عن مجسم كثير الأوجه فيه وجهان متطابقان ومتشابهان ومتساويان ويقعان في مستويين متوازيين، ويسمى هذان الوجهان المتطابقان قاعدتا الموشور. أما الأوجه الباقية فتسمى الأوجه الجانبية للموشور وتكون بشكل متوازي أضلاع، وتسمى المستقيمات التي تتقاطع عندها الأوجه الجانبية بأحرف الموشور الجانبية، أما البعد العمودي بين مستويي القاعدتين فيسمى ارتفاع الموشور. قد يكون الموشور قائماً أو مائلاً كما يظهر بالشكل (9–20)، ويسمى الموشور قائماً اذا كانت قاعدتاه متعامدتين على أوجه الموشور الجانبية، أي أن أحرف الموشور تتعامد على القاعدتين المتوازيتين. وفي الموشور القائم تكون الأوجه الجانبية للموشور على شكل مستطيلات ويقاس ارتفاع الموشور بطول البعد الرأسي بين القاعدتين. وتحسب المساحة الجانبية للموشور القائم بالعلاقة الآتية:

المساحة الجانبية للموشور القائم = محيط القاعدة × الارتفاع

اما المساحة الكلية للموشور القائم فتعطى بالعلاقة:

المساحة الكلية للموشور القائم = المساحة الجانبية للموشور القائم + مساحة القاعدتين

كذلك يسمى الموشور منتظماً إذا كان قائماً وكانت قاعدته مضلعاً منتظماً، تصنف المواشير طبقاً لشكل قاعدتها فيكون الموشور ثلاثياً أو رباعياً أو خماسياً ...وهكذا.

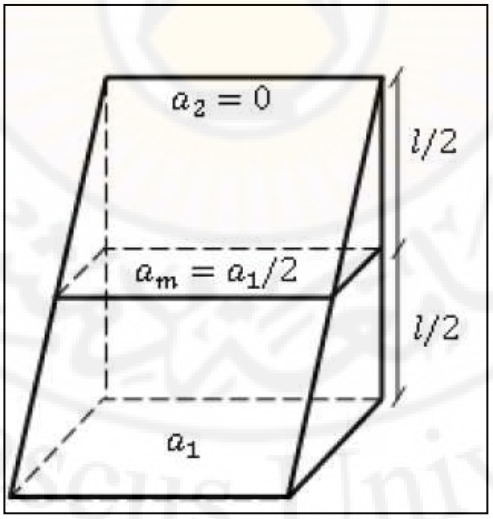


الشكل 9– 20 أشكال الموشور

ويعطى حجم الموشور بالعلاقة الآتية:

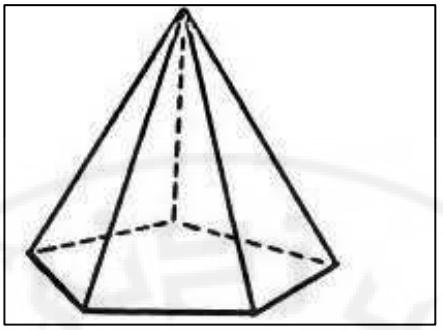
حجم الموشور = مساحة قاعدة الموشور × الارتفاع

إذا تحولت إحدى القاعدتين إلى مستقيم كانت الأوجه الجانبية متوازي أضلاع ومثلثات، وعندها نسمي الجسم الفراغي المتشكل عندها بالموشور ذا الحرف كما بالشكل (9–21)، وهو ذات الشكل الموشوري الثلاثي (**Triangular Prism**).



الشكل 9– 21 الموشور ذو الحرف

أما إذا تحولت إحدى القاعدتين إلى نقطة وبقيت القاعدة الأخرى مضلعاً فإننا نسمي الجسم الفراغي المتشكل الهرم (**pyramid**)، وتكون الأوجه الجانبية كلها مثلثات كما بالشكل (9–22).



الشكل 9– 22 المجسم الهرمي

ويعطى حجم الهرم من العلاقة:

حجم الهرم = 3/1 ×مساحة القاعدة × الارتفاع

9–11 طرائق تقدير حساب كميات الحفر والردم للمقاطع الطولية

هناك العديد من الطرائق التي تستعمل لتقدير حساب الحجوم من المقاطع العرضية. سيكتفى بذكر ثلاث طرائق رئيسة، وهي:

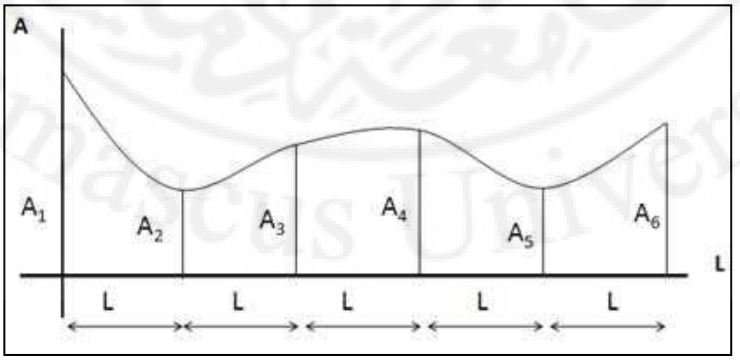
1– طريقة متوسط القطاعات (Mean Area Method).

2– طريقة متوسط القاعدتين (Average End Area Method \Trapezoidal Rule).

3– طريقة المجسم شبه الموشوري (Prismoid).

1– طريقة متوسط القطاعات (Mean Area Method)

ليكن لدينا المقطع الطولي المبين بالشكل (9–23)، حيث يقسّم المقطع الطولي إلى N قسم بمسافات متساوية L، ومن ثمَّ ينتج N+1 مقطع عرضي.



الشكل 9– 23 كميات الحفر والردم للمقاطع الطولية

تقوم هذه الطريقة على حساب المتوسط الحسابي لمساحات المقاطع العرضية ثم ضربها بنصف البعد الثابت (L) .

يعطى حجم الجسم الفراغي بين المقطع A_1 والمقطع A_2 بالعلاقة:

$$V = \frac{L}{2}(A_1 + A_2) \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (14)$$

وبتعميم العلاقة يعطى حجم الجسم الفراغي بين المقطع A_1 والمقطع A_{N+1} بالعلاقة الآتية :

$$V = \frac{L \times N}{N+1}(A_1 + A_2 + A_3 + \ldots\ldots\ldots + A_{N+1}) \quad \ldots\ldots\ldots(15)$$

إن العلاقة (14) سهلة من حيث التطبيق لكنها غير دقيقة، غير أنها كافية لمعظم الأغراض العملية، وتُعد هذه العلاقة الأكثر استعمالاً بالوقت الحالي.

2– طريقة متوسط القاعدتين (شبه المنحرف) (Average End Area Method \Trapezoidal Rule)

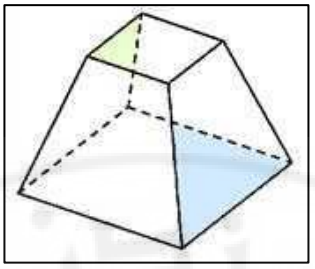
بالعودة للشكل (9–23) يمكن أن نعدّ كل مقطعين هما قاعدتا شبه منحرف، ومن ثمَّ حساب مساحة شبه المنحرف وضربها بالارتفاع (الذي يمثل قيمة التقسيمات L وهو قيمة ثابتة ومتساوية)، يمكن أن نحصل على الحجم بتطبيق العلاقة الآتية:

$$V = \frac{L}{2}(A_1 + A_{N+1}) + 2 \times (A_2 + A_3 \ldots\ldots\ldots + A_N) \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (16)$$

V=(common distance/2) × {area of 1st section+ area of last section+ 2(sum of area of other sections)

3– طريقة تقدير حجم الجسم شبه الموشوري (Prismoid) وطريقة سيمبسون (Simpson)

الحالة العامة للموشور نطلق عليها الجسم شبه الموشوري، والذي يعرف بأنه جسم فراغي له وجهان يقعان بمستويين متوازيين يسميان قاعدتي الجسم الشبه موشوري، وكل من هذين الوجهين عبارة عن مضلع مغلق، وليس من الضروري أن يكون لكل من هذين الوجهين عدد الأضلاع نفسه. أما الأوجه الأخرى فهي سطوح مستوية نسميها الأوجه الجانبية للجسم وتأخذ أشكال مختلفة (مثلثات، متوازي أضلاع، أشباه منحرفة،....الخ) كما يظهر بالشكل (9–24).



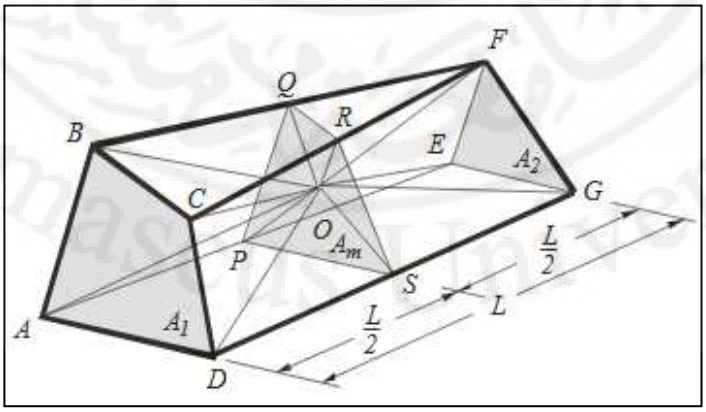
الشكل 9– 24 المجسم شبه الموشوري

لـيكن المجسـم شـبه الموشـوري ذو القاعـدتين ABCD و EFG بالشـكل (9–25) والتـي مساحتهما A2،A1 على الترتيب. وليكن المقطع الوسطي لهذا المجسم (A_m) والذي يقع بمنتصف المسافة بين مستويي القاعدتين وموازي لهما هو QRSP. النقطة O هي نقطة تقع بمستوي المقطع المتوسط ومن ثمَّ عند وصل هذه النقطة برؤوس (Vertices) مضلّعات القاعدتين سيتحول المجسم شبه الموشوري إلى مجموعة من الأهرامات تقع رؤوسها (Apex) عند النقطة O، بينما تشمل قواعدها قواعد الأحرف الجانبية للمجسم شبه الموشوري، ومن ثمَّ فحجم الجسم الشبه موشوري يشكل مجموع حجوم هذه الأهرامات .

يمكن حساب حجم الهرمين (V_2،V_1) ، الذين تشكل قواعدهما قواعد المجسم الشبه موشوري من العلاقة الآتية:

$$V_1 = \frac{1}{3} A_1 \frac{L}{2} = \frac{L}{6} A_1$$

$$V_2 = \frac{1}{3} A_2 \frac{L}{2} = \frac{L}{6} A_2$$



الشكل 9– 25 المقطع الوسطي بالمجسم شبه الموشوري

لحساب حجوم الأهرامات، التي قواعدها تمثل الحواف الجانبية للمجسم شبه الموشوري، ولنأخذ على سبيل المثال، الهرم الذي قاعدته ADGE، حيث يرتفع رأس الموشور O مسافة عن قاعدته ADGE أو عن المستقيم SP الذي يقع بمستوي هذه القاعدة مسافة ولتكن h1، عندها يكون حجم الهرم O–ADGE هو:

$$V_3 = \frac{1}{3} area(ADGE) \times h = \frac{1}{3}(PS \times L \times h) = \frac{2L}{3} \times A(OPS)$$

حيث أن A (OPS) تمثل مساحة المثلث OPS.

بالطريقة ذاتها يحسب حجم بقية الاهرامات التي قواعدها بقية الاسطح الجانبية كما يلي:

$$V_4 = \frac{1}{3} area(CDGF) \times h = \frac{1}{3}(RS \times L \times h) = \frac{2L}{3} \times A(ORS)$$
$$V_5 = \frac{1}{3} area(CBF) \times h = \frac{1}{3}(QR \times L \times h) = \frac{2L}{3} \times A(OQR)$$
$$V_6 = \frac{1}{3} area(ABFE) \times h = \frac{1}{3}(PQ \times L \times h) = \frac{2L}{3} \times A(OPQ)$$

ومن ثمَّ يكون حجم المجسم شبه الموشوري هو مجموع الحجوم السابقة:

$$V = \frac{L}{6} A_1 + \frac{L}{6} A_2 + \frac{2L}{3} \times (A(OPS) + A(ORS) + A(OQR) + A(OPQ))$$

$$V = \frac{L}{6} A_1 + \frac{L}{6} A_2 + \frac{2L}{3} A_m$$

$$V = \frac{L}{6}(A_1 + 4A_m + A_2) \qquad \text{.....(17)}$$

هذه العلاقة بحالة الموشور القائم تصبح :

$$A_1 = A_2 = A_m = A$$
$$V = \frac{L}{6}(6A) = L \times A$$

أي حجم الموشور القائم يساوي مساحة القاعدة مضروباً بالارتفاع.

أما بحالة الموشور ذي الحرف فنلاحظ أن مساحة إحدى القاعدتين تكون مساوية الصفر، ومساحة المقطع الوسطي الواقع بمنتصف المسافة بين القاعدتين مساويةً لنصف مساحة القاعدة.

$$A_m = \frac{1}{2}A_1, A_2 = 0$$

$$V = \frac{L}{6}(A_1 + \frac{1}{2}A_1 + 0) = \frac{1}{2}L \times A_1$$

وأخيراً بحالة الهرم يكون لدينا مساحة إحدى القاعدتين مساويةً لصفر، ومساحة المقطع الوسطي الواقع بمنتصف المسافة بين القاعدتين مساويةً لربع مساحة القاعدة :

$$A_m = \frac{1}{4}A_1, A_2 = 0$$

$$V = \frac{L}{6}(A_1 + \frac{1}{4}A_1 + 0) = \frac{1}{3}L \times A_1$$

لحساب حجم الحفر والردم بين مقطعيين عرضيين باستعمال قانون حجم المجسم شبه الموشوري يجب أن يتحقق الشرطان الآتيان:

1- يجب أن تكون قاعدتا المجسم شبه الموشوري تقعان بمستويين متوازيين.

2- يجب أن تكون الأوجه الجانبية للمجسم شبه الموشوري مستوية.

يتحقق الشرط الأول إذا كان محور الطريق مستقيماً، لأن المقاطع تؤخذ عمودية على محور الطريق المستقيم على حين لا يتحقق عندما يكون محور الطريق منحنياً حيث ينتج خطأ بتقدير الحجم ويكون الحجم المحسوب تقريبياً لكنه كافٍ في الكثير من الحالات العملية، ويمكن حساب قيمة التصحيح بحالة المقاطع البسيطة (أفقية، ذات مستويين، ذات ثلاث مستويات). أما الشرط الثاني فيكون محققاً بأغلب الأحيان، وإذا لم يكن محققاً فالخطأ عندها يكون مهملاً لاسيما إذا كانت المسافة بين المقاطع صغيرة.

وجدنا أن العلاقة (17) مرتبطة بحساب مساحة المقطع العرضي الوسطي لكن قياس المقاطع العرضية الوسطية على الطبيعة عملية طويلة وغير اقتصادية لكونها تضعف العمل الحقلي. ولجعل هذه العلاقة أكثر ديناميكية بالتطبيق يمكن حساب مساحة المقطع الوسطي بالأراضي السهلية باستعمال التوسط الداخلي (النسبة والتناسب) مثلاً. عموماً يمكن تبسيط هذه العلاقة بشكل عام إذا ما أخذت ثلاث مقاطع عرضية متتالية على المسار، وباعتبار البعد بين هذه

المقاطع متساوياً فيمكن اعتبار المقطع الثاني بمثابة المقطع الوسطي للمقطعين الأول والثالث، ومن ثمَّ يكون حجم المجسم شبه الموشوري ذي المقاطع النهائية (القاعدة) A_1، A_3 الذين يبعدان عن بعضهما مسافة 2L معطى بالعلاقة الآتية:

$$V = \frac{2L}{6}(A_1 + 4A_2 + A_3)$$

$$V = \frac{2L}{6}(A_1 + A_3 + 4A_2)$$

وبالطريقة ذاتها يمكن حساب حجم المجسم شبه الموشوري ذي المقاطع النهائية (القاعدة) A_3، A_5 الذين يبعدان عن بعضهما مسافة 2L حيث يعطى بالعلاقة:

$$V = \frac{2L}{6}(A_3 + 4A_4 + A_5)$$

$$V = \frac{2L}{6}(A_3 + A_5 + 4A_4)$$

وهكذا حتى نهاية المسار. ومن ثمَّ يكون حجم المجسم شبه الموشوري ذي المقاطع النهائية (القاعدة) A_N، A_{N+1} الذين يبعدان عن بعضهما مسافة 2L معطى بالعلاقة:

$$V = \frac{2L}{6}(A_{N-2} + 4A_{N-1} + A_N)$$

$$V = \frac{2L}{6}(A_{N-2} + A_N + 4A_{N-1})$$

وبجمع الأحجام السابقة يكون الحجم الكلي:

$$V = \frac{L}{3}\left[(A_1 + 4(A_2 + A_4 + ... + A_{N-1}) + 2(A_3 + .. + A_{N-2}) + A_N\right]$$

أو بالشكل العام الآتي:

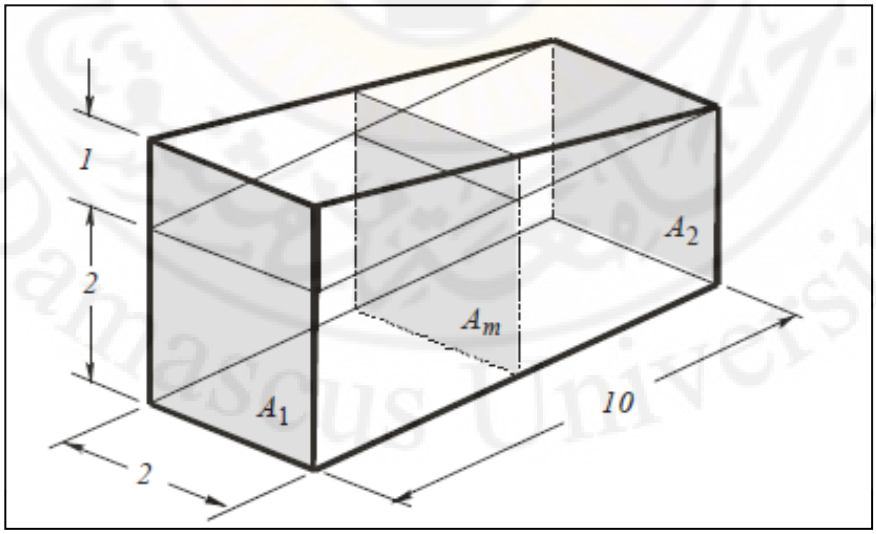
$$V = \frac{L}{3}\left((A_1 + A_N + 4\sum_{i=2,4..}^{N=1} A_i + 2\sum_{i=3,5..}^{N=2} A_i\right)$$

تسمى هذه العلاقة **بقانون سيمبسون (Simpson)** لحساب الحجوم

$$V=(\text{common distance}/3) \times \{\text{area of } 1^{st} \text{ section}+ \text{area of last section}+ 4(\text{sum of areas of even sections}) +2(\text{sum of areas of odd sections})$$

لاحظ أن حساب الحجم بواسطة طريقة تقدير حجم الجسم شبه الموشوري (Prismoid) أوطريقة سيمبسون (Simpson) لا يمكن تطبيقها إلا إذا كان عدد المقاطع N عدداً فردياً. أما إذا كان عدد المقاطع زوجياً فيتم تطبيق القاعدة على كامل المسار ماعدا المقطع الأخير الذي يعامل بشكل منفصل ويحسب الحجم فيه حسب قاعدة شبه المنحرف وتجمع الحجوم للحصول على الحجم الكلي.

بالمقارنة بين طريقة تقدير حجم الجسم شبه الموشوري **(Prismoid)** أو طريقة شبه المنحرف **(Trapezoidal Rule)**، نجد أن الطريقتين تعطيان قيمة الحجم نفسها ($50\ m^3$) كما هو موضح بالشكل (9–26)، بشرط أن تكون مساحة المقطع العرضي الوسطي هي المتوسط الحسابي لمساحة القاعدتين($A_m=5\ m^2 =1/2(6+4)$). في حال عدم تحقق هذا الشرط نجد أنه بنسبة كبيرة من الحالات تعطي طريقة شبه المنحرف قيماً أعلى للحجم من طريقة الجسم شبه الموشوري.



الشكل 9– 26 مثال للمقطع الوسطي كمتوسط للقاعدتين

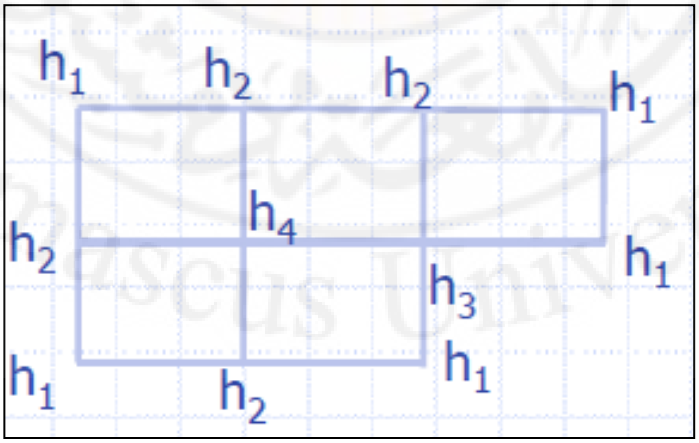
يعطى تصحيح الحجوم للموشور شبه الموشوري بحالة ميل المقطع العرضي بمقدار S :1 بالعلاقة:

$$C_p = \frac{L(h_1 - h_2)^2 \times S}{6}$$

وقيمة هذا التصحيح دوماً تطرح من الحجم النهائي لكون الحجم المحسوب بعلاقة الموشور شبه الموشوري تعطي حجماً أكبر من القيمة الحقيقية.

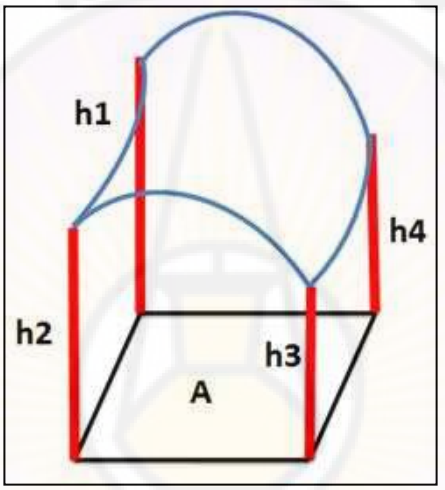
9–12 تقدير حساب الحجم اعتماداً على التسوية الشبكية

تستعمل هذه الطريقة والتي تدعى (Borrow–pit method)، في حساب تقدير كميات الحفر والردم للمشاريع الهندسية الإنشائية لمنطقة واسعة نسبياً ويشمل العمل الحقلي على تقسيم الأرض وفق استقامات متعامدة فنحصل وفق هذه التقاطعات على مجموعة من المربعات أو المستطيلات أو المثلثات المتساوية المساحة (الشكل 9–27)، حيث تتوقف أبعادها وأشكالها على الدقة المطلوبة وطبيعة الأرض بحيث تُصغّر أبعاد المضلّعات مثلاً بالمناطق الوعرة أو عندما يكون المطلوب دقةً أكبر بتقدير الحجوم. ثم تجري أعمال التسوية باستعمال الأجهزة المساحية كالنيفو أو المحطة المتكاملة لتحديد مناسيب رؤوس تلك المضلّعات والتي توضع مناسيبها على الشبكة عند كل رأس من رؤوس المضلّعات. عادة يعطى منسوب التسوية التصميمي للمشروع والذي قد يكون أفقياً أو مائلاً، ومن ثمَّ يُحسب الفرق بين منسوب التسوية التصميمي للمشروع وبين مناسيب الأرض الطبيعية عند كل رأس من رؤوس المضلّعات وتُوضع هذه الفروق على شبكة جديدة .



الشكل 9– 27 شبكة التسوية

يمكن اعتبار فروق الارتفاعات أوفروق المناسيب كأطوال أحرف لجذوع مواشير شاقولية (مواشير أفقية ناقصة) وهي المواشير التي فيها القاعدتان غير متوازيتين كما يظهر بالشكل (9–28). وبما أن المساحة الأفقية لوجه كل موشور معروفة وحددة مسبقاً فيمكن الحصول على حجم كل جذع موشور بضرب مساحة قاعدة المضلع بمتوسط أطوال الحروف الشاقولية لجذع الموشور والتي تمثل فروق الارتفاعات عند رؤوس المضلّعات .



الشكل 9– 28 جذع الموشور القائم (الموشور القائم الناقص)

ومن ثمَّ تعطى قيمة حجم المنشور الناقص بحالة استعمال القاعدة كمضلع رباعي بالعلاقة:

$$V = \frac{A}{4}(\sum h_{c1} + 2\sum h_{c2} + 3\sum h_{c3} + 4\sum h_{c4}) + \Delta V$$

حيث: A المساحة المستوية لكل مضلع مربع من مضلّعات الشبكة المنشاة

تبويب المناسيب:

h_{c1}: فرق الارتفاع أو العمق المستعمل أو المقيس مرة واحدة فقط (فرق المناسيب التي تشترك بمربع واحد).

h_{c2}: فرق الارتفاع أو العمق المستعمل أو المقيس لمرتين فقط (فرق المناسيب التي تشترك بمربعين).

h_{c3}: فرق الارتفاع أو العمق المستعمل أو المقيس لثلاث مرات فقط فقط (فرق المناسيب التي تشترك بثلاث مربعات).

h_{c4}: فرق الارتفاع أو العمق المستعمل أو المقيس لأربع مرات فقط (فرق المناسيب التي تشترك بأربع مربعات).

ΔV: الحجم المتبقي من المقسم بعد حذف الحجم المحسوب من شبكة التسوية.

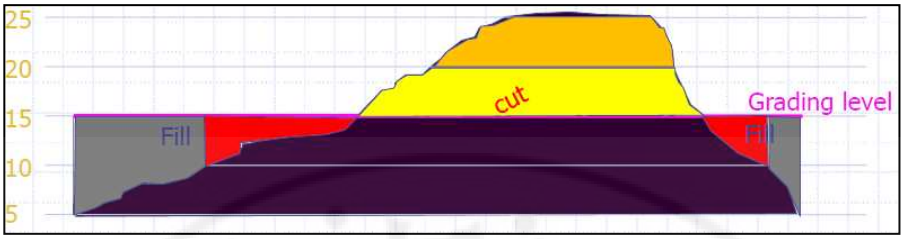
أما بحالة المضلع المثلث فيعطى حجم المنشور الناقص بالعلاقة الآتية:

$$V = \frac{A}{3}(\sum h_1 + 2\sum h_2 + 3\sum h_3 + 4\sum h_4 + 5\sum h_5 + 6\sum h_6 + 7\sum h_7 + 8\sum h_8) + \Delta V$$

حيث يلاحظ ازدياد عدد معايير تبويب المناسيب لكون عدد نقاط التشارك بحالة المثلث أكبر، ومن ثمَّ يعطي قيمة i عدد المثلثات التي يشترك فيها كل فرق ارتفاع من الشبكة . هذه الطريقة صحيحة في حال كانت كل رؤوس المضلّعات تقع بالحفر أو كلها تقع بالردم، لكن في حالة وجود حفر وردم معاً تُحدد فروق المناسيب الصفرية والتي تمثل الحد بين الحفر والردم وتُجزأ المنطقة إلى منطقتين، إحدهما للحفر والأخرى للردم وتحسب الحجوم بشكل منفصل لكلتا الحالتين.

9–13 تقدير حساب الحجم اعتماداً على منحنيات التسوية

يمكن تقدير كمية الحجوم من المخططات الطبوغرافية مباشرة باستعمال منحنيات التسوية المرسومة على الخرائط والمخططات (الشكل 9–29) لاسيما بحساب وتحديد حجم الخرانات المائية خلف أو بين المرتفعات الطبيعية أو الصناعية أو لحساب كميات الحفر والردم للمناطق كبيرة المساحة والتي يكون مطلوب حساب الحجم فيها بصورة تقريبية، حيث غالباً ما يكون تمثيل التضاريس على الخرائط والمخططات غير دقيق بالدرجة الكافية لحساب الحجوم بشكل دقيق. بهذه الطريقة يُفترض أن ميل سطح الأرض الطبيعية منتظماً بين كل منحنيي تسوية متتالين. هذه الفرضية غير صحيحة ومن ثمَّ يكون الخطأ المتعلق بذلك مرتبطاً بقيمة التباعد الشاقولي المتساوي (الفاصل أو القفزة الكنتورية) المستعمل لرسم منحنيات التسوية حيث يقل كلما قلت االقفزة الكنتورية، وكذلك يتعلق هذا الخطأ بطبيعة سطح الأرض الطبيعية. لذلك يجب ألا يزيد التباعد الشاقولي المتساوي بين منحنيات التسوية عن 2 m بالأراضي العادية وأن يكون بحدود 25– 50 cm بالمناطق المنبسطة والسهلية قليلة الارتفاع.



الشكل 9– 29 تحديد الحجوم باستعمال منحنيات التسوية

إن طبيعة المعطيات هي المعطيات نفسها التي تحسب منها الحجوم من المقاطع العرضية، فالتباعد المتساوي بين خطوط أو منحنيات التسوية يوافق ويقابل المسافة بين المقاطع العرضية المتتالية، ومساحة المقاطع العرضية المتتالية توافق وتقابل مساحة السطوح المقيسة والمحددة بمنحنيات التسوية والتي تُحسب بجهاز البلانومتر. يمكن ملاحظة أن الحجم المطلوب حسابه قد يكون محدداً بمستوٍ أفقيٍ، وهنا يمكن استعمال علاقة حجم الجسم شبه الموشوري لسطح محدد بثلاثة سطوح محددة بثلاثة منحنيات تسوية متتالية والتباعد الشاقولي المتساوي بينها ثابت ومتساوٍ. كما يمكن قياس وحساب السطح الوسطي بعد تحديد منحني التسوية الوسطي بين منحنيي تسوية متتالين مرسومين على المخطط الطبوغرافي باستعمال عملية التوسط الداخلي، ومن ثمَّ يمكن حساب الحجم بالعلاقة :

حجم مكعبات الحفر:

$$V_c = \frac{L}{2}(A_1 + A_2)$$

حيث L: التباعد المتساوي بين خطوط التسوية (الفترة الكونتورية).

A_1، A_2 : مساحتي خطي الكنتور المتتالين.

أما حجم مكعبات الردم يحسب من خلال طرح مساحتي خطي الكنتورين المتتالين مضروبين بمتوسط بعد مستويي الكنتورين عن مستوي السوية.

$$V_F = (A_2 - A_1) \times \frac{(l_1 + l_2)}{2}$$

حيث l1، l2 : متوسط بعد مستويي الكنتورين عن مستوي السوية.

ويمكن أن يحسب حجم مكعبات الردم بطريقة مشابهة لحساب مكعبات الحفر، لكن تطرح قيمة هذا الحجم من حجم أسطوانة مكعبات الردم كما يلي:

حجم مكعبات الردم التقريبية بنفس طريقة الحفر

$$V_{F1} = \frac{L}{2}(A_1 + A_2)$$

حجم أسطوانة مكعبات الردم = (مساحة أكبر كنتور) × (المسافة الرأسية بين كنتور التسوية وكنتور الأرض الطبيعية).

$$V_{F2} = A_{F\max} \times L_m$$

ويكون حجم مكعبات الردم= حجم أسطوانة مكعبات الردم – حجم مكعبات الردم التقريبية بنفس طريقة الحفر.

$$V_F = V_{F2} - V_{F1}$$

أما في حال كان الحجم المطلوب حسابه محدداً بسطح ما غير أفقي ، فترسم خطوط التسوية للمناسيب المراد الوصول إليها على مخطط المنطقة المدروسة والمرسوم عليها منحنيات التسوية للأرض الطبيعية، ثم يوصل بين نقاط التقاطع ذات الارتفاع نفسه الحاصلة بين منحنيات التسوية الأصلية للأرض الطبيعية مع منحنيات التسوية الجديدة التصميمية، ومن ثمَّ نحصل على خط تقاطع السطح الجديد مع السطح الأصلي للأرض الطبيعية، وهو المنطقة التي ستجري فيها عمليات الحفر.

وأخيرا يجب مراعاة مخططات نقل الكتلة (Mass Haul diagram) والتي تساعد بوضع خطط الترحيل وتعبر عن العلاقة بين الكميات المرحلة والمسافات التراكمية للترحيل، حيث تأخذ بعين الاعتبار التربة المنقولة على امتداد خط المشروع فقط، وتُعد الحجوم الناتجة عن عمليات الحفر موجبة والحجوم الناتجة عن عمليات الردم سالبة. يلعب معامل الانتفاخ والانكماش (Bulking and shrinkage factor) دوراً هاماً في هذه المخططات، حيث يعبر عن الحجم الفعلي الذي تشغله التربة عندما يستعملها الإنسان والتي تختلف عن حجمها الأصلي .

9–14 أمثلة تطبيقية على حساب الحجوم

مثال (1) حالة حفر بالكامل أو ردم بالكامل

احسب مكعبات الحفر اللازمة لإنشاء نفق إذا كان عرضه 8 m، وانحداره 1% للأسفل، وعمق الحفر في أول نقطة على المحور 5.10 m، وجوانب النفق رأسية (شاقولية)، علماً أن مناسيب الأرض الطبيعية والمناسيب التصميمية معطاة بالجدول (9–3) وموضحة بالشكل (9–30).

الحل:

لأن جوانب النفق رأسية هذا يعني أن المقاطع العرضية عبارة عن مستطيلات يمكن حساب مساحتها، وذلك بحساب فرق الارتفاع (ارتفاع الحفر) والذي يمثل فرق المنسوب بين الأرض الطبيعية والمنسوب التصميمي عند كل مقطع، ثم ضرب فرق الارتفاع بعرض الطريق (8 m). ثم نستعمل علاقتي متوسط القطاعات وقاعدة متوسط القاعدتين (طريقة شبه المنحرف) لحساب الحجوم.

فرق الارتفاع = منسوب الأرض – منسوب تصميمي.

المساحة = فرق الرتفاع × عرض النفق.

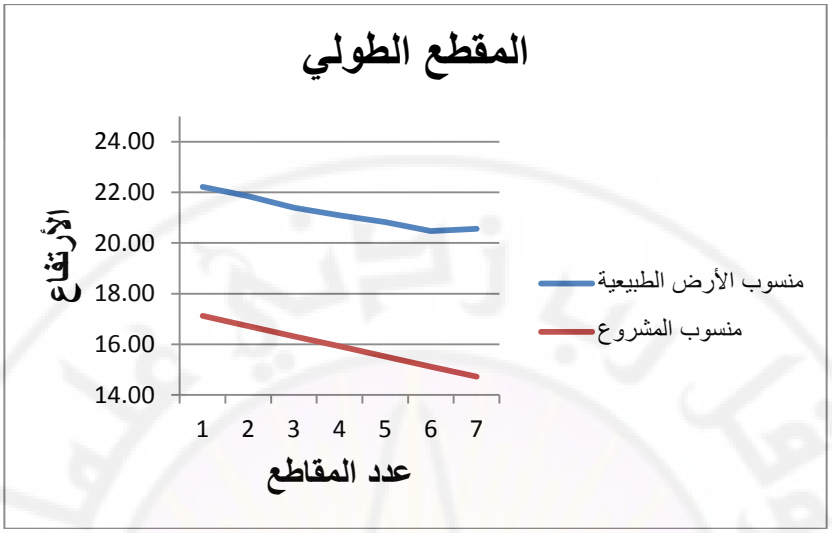
الحجم = نصف مجموع مساحة مقطعيين متتالين ×المسافة الثابتة (40).

طريقة متوسط القطاعات:

$$V = \frac{1}{2}(A_1 + A_2)$$

جدول 39 – جدول المناسيب للمقاطع

منسوب تصميمي (m)	منسوب الأرض (m)	المسافة (m)	المسافات التراكمية (m)
17.12	22.22	0.00	0.00
16.72	21.85	40.00	40.00
16.32	21.40	40.00	80.00
15.92	21.09	40.00	120.00
15.52	20.82	40.00	160.00
15.12	20.47	40.00	200.00
14.72	20.56	40.00	240.00



الشكل 9– 30 حالة حفر بالكامل أو ردم بالكامل

المسافات التراكمية (m)	المسافة (m)	منسوب الأرض (m)	منسوب تصميمي (m)	فرق الارتفاع (m)	المساحة (m^2)	الحجم (m^3)
0.00	0.00	22.22	17.12	5.10	40.80	
40.00	40.00	21.85	16.72	5.13	41.04	1636.80
80.00	40.00	21.40	16.32	5.08	40.64	1633.60
120.00	40.00	21.09	15.92	5.17	41.36	1640.00
160.00	40.00	20.82	15.52	5.30	42.40	1675.20
200.00	40.00	20.47	15.12	5.35	42.80	1704.00
240.00	40.00	20.56	14.72	5.84	46.72	1790.40
Σ						10080.00

2– قاعدة متوسط القاعدتين (طريقة شبه المنحرف)

$$V = \frac{L}{2}\left[(A_1 + A_{n+1}) + 2(A_2 + A_3 + ... + A_n\right]$$

$$V = \frac{40}{2}\left[\begin{matrix}(40.8 + 46.72) + 2(41.04 + 4.64 \\ + 41.36 + 42.4 + 42.8)\end{matrix}\right] = 10080 m^3$$

مثال (2) حالة مقطع طولي بوجود الحفر والردم

احسب مكعبات الحفر اللازمة لإنشاء نفق إذا كان عرضه 8 m، وانحداره 2.5 % للأعلى وعمق الحفر في أول نقطة على المحور 5.10 m، وجوانب النفق رأسية (شاقولية)، علماً أن مناسيب الأرض الطبيعية والمناسيب التصميمية معطاة بالجدول (جدول 9–4) وموضحة بالشكل (9–31).

جدول 49 – جدول المناسيب للمقاطع

	المسافات التراكمية(m)	المسافة (m)	منسوب الأرض (m)	منسوب تصميمي (m)
1	0.00	0.00	22.22	17.12
2	40.00	40.00	21.85	18.12
3	80.00	40.00	21.40	19.12
4	120.00	40.00	21.09	20.12
5	160.00	40.00	20.82	21.12
6	200.00	40.00	20.47	22.12
7	240.00	40.00	20.56	23.12

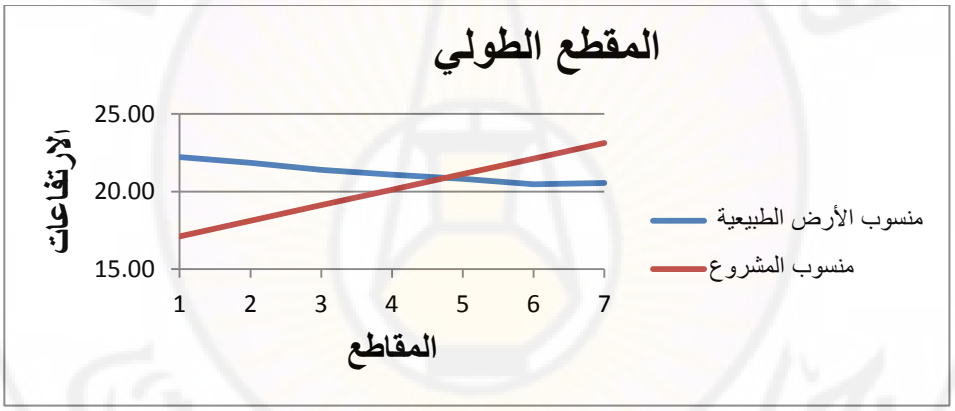
الحل:

فرق الارتفاع = منسوب الأرض – منسوب تصميمي.

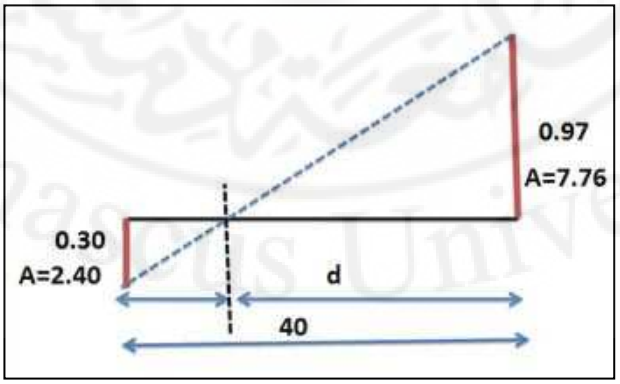
المساحة = فرق الارتفاع × عرض النفق.

الحجم = نصف مجموع مساحة مقطعيين متتالين ×المسافة الثابتة (40)

لحساب المسافة التي يتحول فيها المقطع من الحفر إلى الردم بين المقطعين الرابع والخامس أو بين المسافتين 120 m و 160 m، حيث يتحول من حفر على ارتفاع 0.97 m، إلى ردم على ارتفاع 0.30 m ، وباستعمال التوسط الداخلي من خلال الشكل (9–32) نجد:



الشكل 9– 31 حالة مقطع طولي بوجود الحفر والردم



الشكل 9– 32 التوسط الداخلي

$$\frac{d}{40-d}=\frac{0.97}{0.30}$$
$$\Rightarrow d=30.55m$$

المسافات التراكمية (m)	المسافة (m)	منسوب الأرض (m)	منسوب تصميمي (m)	ارتفاع الحفر (m)	ارتفاع الردم (m)	مساحة الحفر (m^2)	مساحة الردم (m^2)	حجم الحفر (m^3)	حجم الردم (m^3)
0.00	0.00	22.22	17.12	5.10		40.80			
40.00	40.00	21.85	18.12	3.73		29.84		1412.80	0.00
80.00	40.00	21.40	19.12	2.28		18.24		961.60	0.00
120.00	40.00	21.09	20.12	0.97		7.76		520.00	0.00
160.00	40.00	20.82	21.12		0.30		2.40	118.53	11.34
200.00	40.00	20.47	22.12		1.65		13.20	0.00	312.00
240.00	40.00	20.56	23.12		2.56		20.48	0.00	673.60
Σ								3012.93	996.94

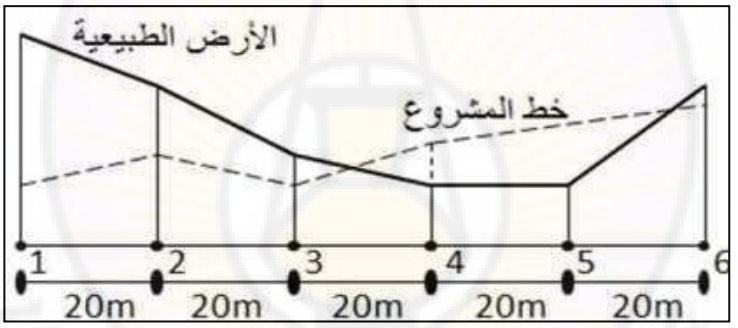
تمرين غير محلول: لو تم تغيير المعطيات بفرض أن الميول الجانبية للنفق هي 2 : 1 مثلاً بدل من أن تكون الميول رئسية، فهنا يتغير فقط حساب مساحات المقاطع العرضية، كما وضح سابقاً بهذا الفصل وتحسب الحجوم بالطريقة ذاتها بالمثال السابق.

مثال (3)

احسب كميات الحفر والردم لمشروع الطريق المبين بالشكل (9– 33) إذا علمت أن أشكال المقاطع العرضية مبينة بالشكل وأن المسافة بين تلك المقاطع تساوي 20 m.

معطيات المقاطع العرضية:

المقطع	نوع حجم	المساحة (m^2)
الاول	حفر بالكامل	110.6
الثاني	حفر بالكامل	64.30
الثالث	حفر	36.20
	ردم	11.60
الرابع	حفر	9.60
	ردم	29.30
الخامس	ردم بالكامل	59.70
السادس	حفر بالكامل	74.40



الشكل 9– 15

الحل:

1– حساب الحجوم بين المقطعين الأول والثاني: حيث إنهما مقطعان بالحفر بشكل كامل

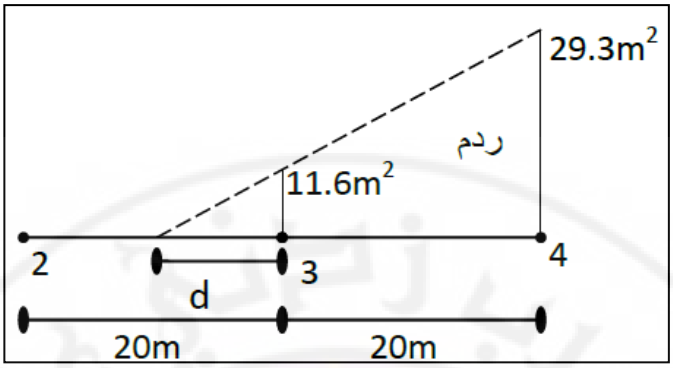
$$V_{C1} = \frac{L}{2}(A_1 + A_2) = \frac{20}{2}(110.6 + 64.3) = 1749m^3$$

2– حساب الحجوم بين المقطعين الثاني والثالث

حجم الحفر:

$$V_{C2} = \frac{20}{2}(64.30 + 36.20) = 1005m^3$$

لتحديد حجم الردم يجب تحديد مسافة الردم التي تحسب بالتوسط الداخلي من الشكل (9–34)



الشكل 9– 16

$$\frac{d}{20}=\frac{11.60}{(29.30-11.60)}$$

$$\Rightarrow d=\frac{20\times 11.60}{29.30-11.60}=13.11m$$

ومن ثمَّ يمكن حساب حجم الردم بين المقطعين الثاني والثالث كمايأتي:

3– حساب الحجوم بين المقطعين الثالث والرابع:

حجم الحفر :

$$V_{F2}=\frac{13.11}{2}(0+11.60)=76.04m^3$$

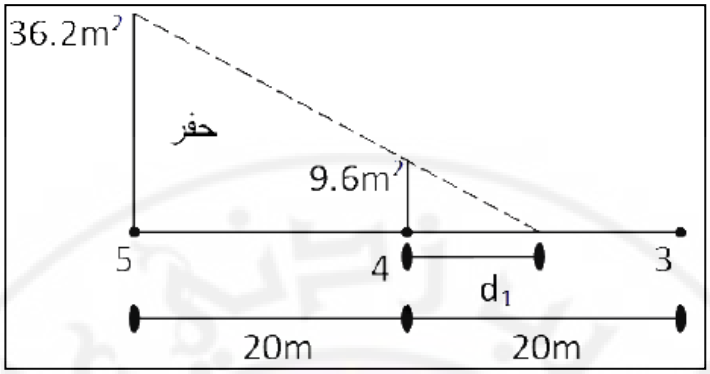
$$V_{C3}=\frac{20}{2}(36.20+9.60)=458m^3$$

حجم الردم:

$$V_{F3}=\frac{20}{2}(11.60+29.30)=409m^3$$

4– حساب الحجوم بين المقطعين الرابع والخامس:

حجم الحفر: نلاحظ أن مساحة الحفر تتناقص من 36.20 m^3 إلى 9.60 m^3 بالمقطع الرابع، ومن ثمَّ نحسب مسافة الحفر بين المقطعين الرابع والخامس من التوسط الداخلي من الشكل (9–35) كما يأتي:



الشكل 9– 17

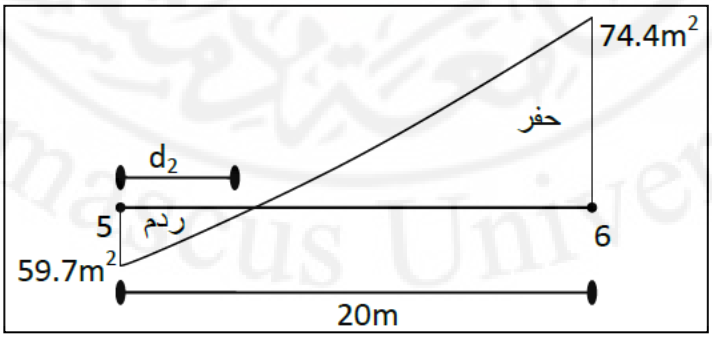
$$\frac{d_1}{20} = \frac{9.60}{(36.20 - 9.60)}$$

$$\Rightarrow d_1 = \frac{20 \times 9.60}{36.20 - 9.60} = 7.22m$$

فيكون حجم الحفر: $V_{C4} = \frac{7.22}{2}(9.60 + 0.0) = 34.66m^3$

حجم الردم: $V_{F4} = \frac{20}{2}(29.30 + 59.70) = 890m^3$

5– حساب الحجوم بين المقطعين الخامس والسادس: حيث نلاحظ أن المقطع العرضي يتغير من الردم بالكامل إلى الحفر الكامل. ولتحديد نقطة الانتقال من الحفر إلى الردم نستعين بالشكل (9–36) ونكتب:



الشكل 9– 36

$$\frac{d_2}{20} = \frac{59.70}{(59.70+74.40)}$$

$$\Rightarrow d = \frac{20\times 59.70}{59.70+74.40} = 8.9m$$

ومن ثمَّ فحجم الحفر هو : $V_{C5} = \frac{20-8.9}{2}(74.40+0.0) = 412.92m^3$

وحجم الردم هو : $V_{F5} = \frac{8.90}{2}(59.70+0) = 265.67m^3$

ومن ثمَّ تكون كميات الحفر الكلية :

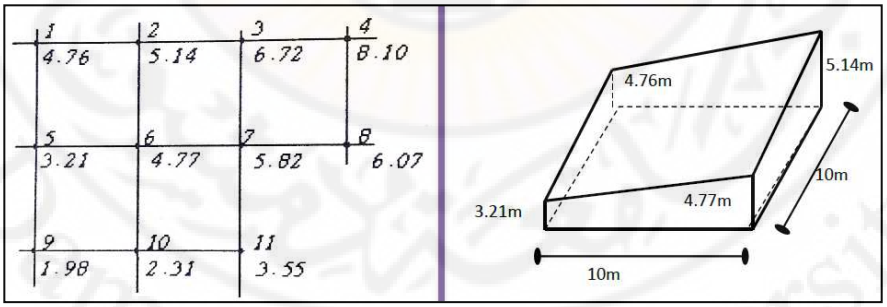
$$V_C = 1749+1005+458+34.66+412.92 = 3659.58m^3$$

وتكون كميات الردم الكلية :

$$V_F = 0+76.04+409+890+265.67 = 1640.71m^3$$

مثال (4)

أُنشئت شبكة من المربعات أبعادها 10 m على عقار معد للبناء لحساب كميات الحفر. المطلوب احسب كميات الحفر إذا علمت أنه بعد إنجاز عمليات الحفر كانت المناسيب كما هي موضحة بالشكل (9–37).



الشكل 9– 37

الحل:

لحساب الحجم نستعمل العلاقة :

$$V = \frac{A}{4}(\sum h_{c1} + 2\sum h_{c2} + 3\sum h_{c3} + 4\sum h_{c4}) + \Delta V$$

حيث : A المساحة المستوية لكل مضلع مربع من مضلّعات الشبكة المنشاة.

تبويب المناسيب:

h_{c1} : h4 .h1، h8 ، h9 المناسيب التي ترتبط بمربع واحد.

h_{c2} : h2، h3، h5 ، h10 المناسيب التي ترتبط بمربعين.

h_{c3} : h7 فروق المناسيب التي تشترك بثلاث مربعات.

h_{c4} : h6 فروق المناسيب التي تشترك بأربع مربعات.

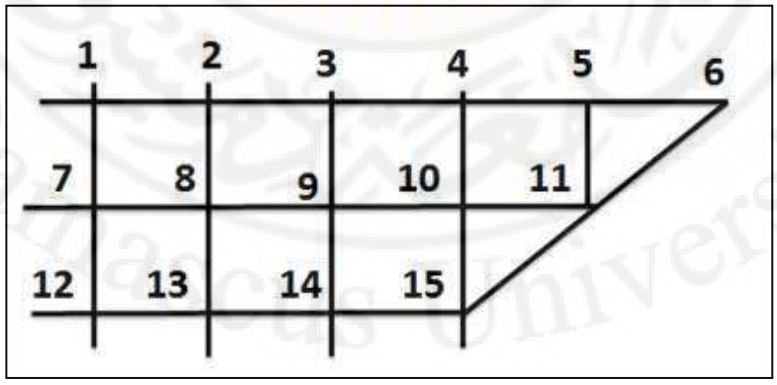
ΔV الحجم المتبقي من المقسم بعد حذف الحجم المحسوب من شبكة التسوية.

بالتعويض بالعلاقة نجد :

$$V = \frac{100}{4} + \begin{bmatrix} (4.76+8.1+6.07+1.98+3.55)+ \\ 2(5.14+6.72+3.21+2.31)+ \\ 3(5.82)+4(4.77) \end{bmatrix} = 2394 m^3$$

مثال (5)

أُنشئت شبكة من المربعات أبعادها 20 m على عقار معد للبناء لحساب كميات الحفر. المطلوب احسب كميات الحفر لتسوية الأرض على المنسوب 20 m إذا علمت أن مناسيب رؤوس المربعات قد قيست بجهاز النيفو كما هو موضح بالجدول والشكل (9–38).



الشكل 9– 38

الرأس	المنسوب(m)	الرأس	المنسوب (m)
1	23.8	**9**	23.8
2	23.9	**10**	25.6
3	24.8	**11**	24.3
4	25.8	**12**	24.6
5	23.7	**13**	25.3
6	26.4	**14**	22.8
7	24.30	**15**	25.3
8	24.20		

الحل:

1– نرسم شبكة جديدة ونضع عليها قيمة الحفر عند كل ركن أو يمكن تغيير المناسيب على الجدول:

الرأس	المنسوب (m)	الرأس	المنسوب(m)
1	3.8	**9**	3.8
2	3.9	**10**	5.6
3	4.8	**11**	4.3
4	5.8	**12**	4.6
5	3.7	**13**	5.3
6	6.4	**14**	2.8
7	4.30	**15**	5.3
8	4.20		

2– نقوم بحساب الحفر للمربعات بشكل مستقل عن المثلثات الجانبية، ولذلك نقوم بعملية تبويب المناسيب للمربعات:

h_{c1}: h5 .h1، h11، h12 ، h15 المناسيب التي ترتبط بمربع واحد.

h_{c2}: h2،h3، h5 ، h10 المناسيب التي ترتبط بمربعين.

h_{c3} : h7 فروق المناسيب التي تشترك بثلاثة مربعات.

h_{c4} : h6 فروق المناسيب التي تشترك بأربعة مربعات.

أو نعبر عنها بالجدول الآتي:

	N4	N3	N2	N1
	4.2	5.6	3.9	3.8
	3.8		4.8	3.7
			5.8	4.3
			4.3	4.6
			5.3	5.3
			2.8	
Σ	8.0	5.6	26.9	21.7

نعوض قيم التبويب بالعلاقة الآتية:

$$V_{c1} = \frac{A}{4}(\sum h_{c1} + 2\sum h_{c2} + 3\sum h_{c3} + 4\sum h_{c4}) + \Delta V$$

$$V_{c1} = \frac{25}{4}(21.7 + (2\times 26.9) + (3\times 5.6) + (4\times 8))$$

$$V_{c1} = \frac{25}{4}(21.7 + 53.8 + 16.8 + 32)$$

$$V_{c1} = \frac{25}{4}(124.3) = 12430 m^3$$

3– نقوم بحساب مكعبات الحفر للمثلثين وذلك من خلال تبويب المناسيب وفق الآتي:

h_{c1} : h55h .. h6، h10 ، h15 المناسيب التي ترتبط بمثلث واحد.

h_{c2} : h11 المناسيب التي ترتبط بمثلثين.

	N2	N1
	4.3	3.7
		6.4
		5.6
		5.3
Σ	4.3	21

مساحة المثلث $A= 0.5*20*20=200\ m^2$

نطبق علاقة حساب الحجوم الخاصة بالمثلثات :

$$V_{c2} = \frac{A}{3}(\sum h_{c1} + 2\sum h_{c2})$$

$$V_{c2} = \frac{200}{3}(21 + (2 \times 4.3))$$

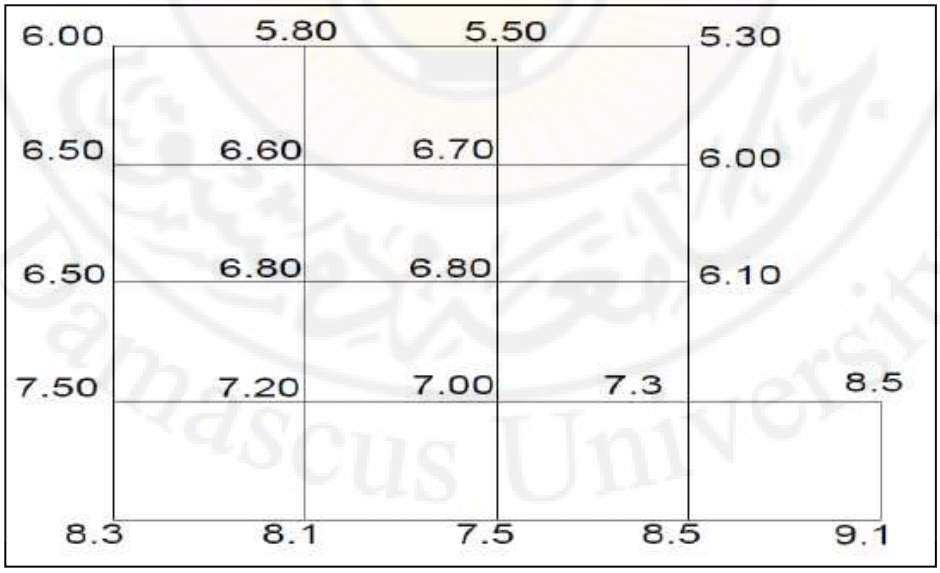
$$V_{c2} = \frac{200}{3}(29.6) = 1973.3m^3$$

ومن ثمَّ يكون إجمالي الحفر:

$$V_C = V_{c1} + V_{C2} = 12430 + 1973.3 = 14403.3m^3$$

مثال (6)

احسب مكعبات الحفر والردم اللازمة لتسوية الأرض الموضحة بالشكل (9–39) على منسوب 7.00 m+ علماً أن مضلع الشبكة مربع طول ضلعه 30 m.

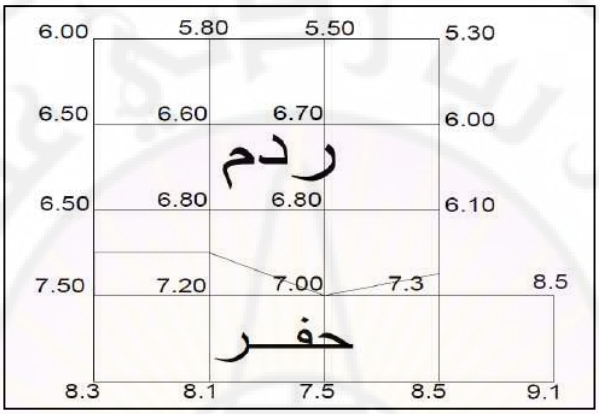


الشكل 9– 39

الحل:

1– يرسم خط الكنتور +7.00 m

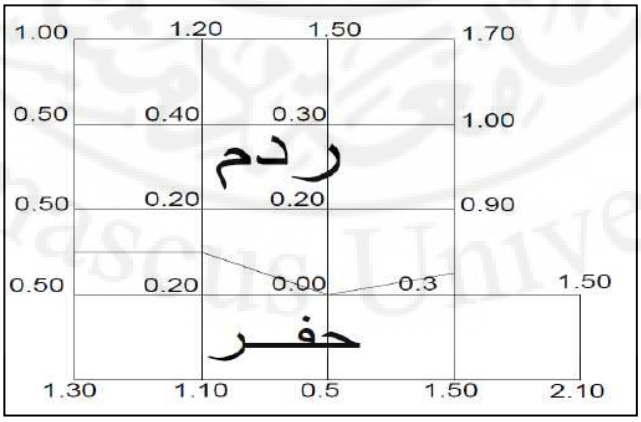
2– الأركان ذات المنسوب الأعلى من 7 m هي مناطق حفر، والتي أقل من 7 m هي مناطق ردم كما يظهر بالشكل (9–40).



الشكل 9– 40

3– يُطرح المنسوب 7 m من كافة الأركان (رؤوس الشبكة) للحصول على فروق الارتفاعات، ونضع القيم على رسم جديد للشبكة حيث تكون القيم الموجبة مناطق حفر والقيم السالبة مناطق ردم

كما يظهر من الشكل (9–41)



الشكل 9– 41

4– يُحسب حجم المكعبات الصحيحة للحفر (عددها 4)، والمكعبات الصحيحة للردم (عددها 6)، من خلال تبويب المناسيب بكلتا الحالتين وفق الآتي:

جدول 9– 5 تبويب مناسيب الحفر

	N4	N3	N2	N1
			1.10	1.30
			0.5	2.10
			1.50	1.50
			0.3	0.5
			0.0	
			0.20	
Σ	0	0	3.6	5.4

ويكون حجم مكعبات الحفر الصحيحة معطى بالعلاقة :

$$V_{c1} = \frac{A}{4}(\sum h_{c1} + 2\sum h_{c2})$$

$$V_{c1} = \frac{900}{4}(5.4 + (2 \times 3.6))$$

$$V_{c1} = \frac{900}{4}(12.6) = 2835m^3$$

جدول 9– 6 تبويب مناسيب الردم

	N4	N3	N2	N1
	0.3		1.2	1.0
	0.4		1.5	1.7
			1.0	0.9
			0.2	0.5
			0.2	
			0.5	
Σ	0.7	0	4.6	4.1

ويكون حجم مكعبات الردم الصحيحة معطى بالعلاقة :

$$V_{f1} = \frac{A}{4}(\sum h_{c1} + 2\sum h_{c2} + 3\sum h_{c3} + 4\sum h_{c4})$$

$$V_{f1} = \frac{900}{4}(4.1 + (2 \times 4.6) + (3 \times 0) + (4 \times 0.7))$$

$$V_{f1} = \frac{900}{4}(4.1 + 9.2 + 0 + 2.8)$$

$$V_{f1} = \frac{900}{4}(16.1) = 3622.5m^3$$

5- يتم حساب مكعبات الحفر غير الصحيحة (3 اجزاء) وفق العلاقات الآتية:

$$V = \frac{A}{4}(\sum h_{c1})$$

الأول مستطيل: $V_1 = \frac{15 \times 30}{4}(0.5 + 0.2 + 0 + 0) = 78.75m^3$

الثاني مثلث: $V_2 = \frac{\frac{1}{2} \times 15 \times 30}{3}(0.2 + 0 + 0) = 15m^3$

الثالث مثلث: $V_3 = \frac{\frac{1}{2} \times 7.5 \times 30}{3}(0.3 + 0 + 0) = 11.25m^3$

ويكون مجموع حجوم الحفر للمربعات غير الصحيحة:

$$V_{c2} = 78.75 + 15 + 11.25 = 105m^3$$

6- ويكون اجمالي الحفر :

$$V_c = V_{c1} + V_{c2} = 2835 + 105 = 2940m^3$$

7– تُحسب مكعبات الردم غير الصحيحة (3 اجزاء) وفق العلاقات الآتية:

$$V = \frac{A}{4}(\sum h_{c1})$$

الأول مستطيل

$$V_1 = \frac{15 \times 30}{4}(0.5 + 0.2 + 0 + 0) = 78.75m^3$$

الثاني شبه منحرف

$$V_2 = \frac{\frac{15+30}{2} \times 30}{3}(0.2 + 0.2 + 0 + 0) = 67.5m^3$$

الثالث شبه منحرف

$$V_3 = \frac{\frac{22.5+30}{2} \times 30}{3}(0.9 + 0.2 + 0 + 0) = 216.56m^3$$

ويكون مجموع حجوم الردم للمربعات غير الصحيحة:

$$V_{f2} = 78.75 + 67.5 + 216.56 = 362.81m^3$$

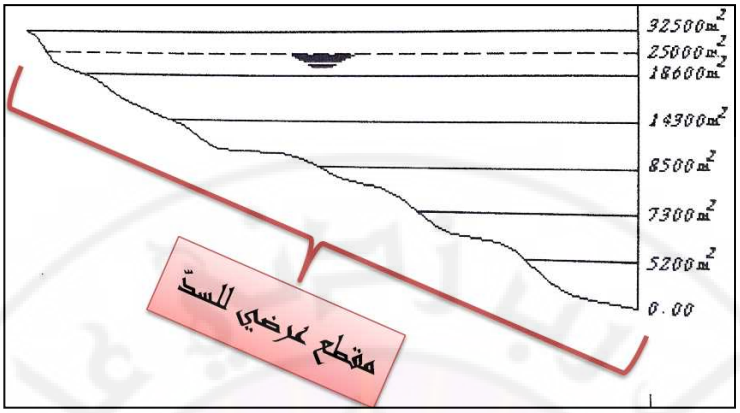
8– ويكون اجمالي الردم:

$$V_f = V_{f1} + V_{f2} = 362.81 + 3622.5 = 3985.31m^3$$

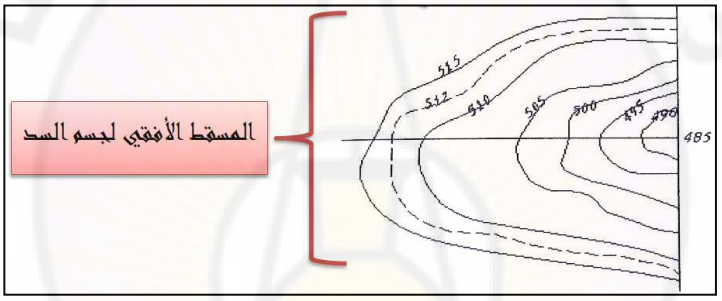
<u>مثال (7)</u>

يبين الشكلين (9–42) و(9–43) مسقطاً أفقياً ومقطعاً عرضياً لجسم سد مع بحيرته، موضحاً عليه خطوط التسوية ذات التباعد الشاقولي المتساوي e= 5 m. فإذا علمت أن منسوب المياه في بحيرة السد هو Hw= 512 m، وأن مساحة السطوح المحصورة بين كل منحني من منحنيات التسوية وجسم السد مبينة على الشكل.

المطلوب: احسب حجم المياه المخزنة في هذه البحيرة .



الشكل 9– 42



الشكل 9– 43

الحل:

نحسب حجم المياه المخزنة بين كل منحنيين من منحنيات التسوية كما يأتي:

$$V_{510-512}=\frac{18600+25000}{2}\times 2=43600m^3$$

$$V_{505-510}=\frac{14300+18600}{2}\times 5=82250m^3$$

$$V_{500-505}=\frac{14300+8500}{2}\times 5=57000m^3$$

$$V_{495-500}=\frac{8500+7300}{2}\times 5=39500m^3$$

$$V_{490-495}=\frac{7300+5200}{2}\times 5=31250m^3$$

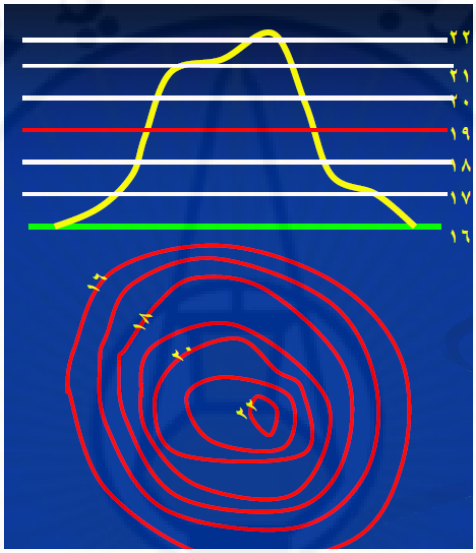
$$V_{485-490}=\frac{0+5200}{2}\times 5=13000m^3$$

ومن ثمَّ تكون حجم المياه المخزنة بالسد :

$$V = 43600 + 82250 + 57000 + 39500 + 31250 + 13000 = 266600\, m^3$$

مثال(8)

أوجد مكعبات الحفر والردم اللازمة للتسوية على منسوب 19.00 m+ (الشكل 9–44) علماً أن مساحات خطوط الكنتور موضحة بالجدول (9–7).



الشكل 9– 44

جدول 9– 7 مساحات خطوط الكنتور

رقم خط الكنتور	المساحة
22	15
21	57
20	90
19	134
18	178
17	211
16	243

الحل:

مكعبات الحفر ($Vc=0.5*(A_1+A_2)$)			
رقم خط الكنتور	المساحة (m^2)	معادلة الحجم	الحجم (m^3)
22	15		
		0.5×(15+57)	36.00
21	57		
		0.5×(57+90)	73.50
20	90		
		0.5×(90+134)	112.00
19	134		
اجمالي الحفر			221.50
مكعبات الردم ($Vf=0.5*(A_2-A_1)$)			
19	134		
		0.5×(178−134)	22.00
18	178		
		0.5×(211−178)	49.50
17	211		
		0.5×(243−211)	80.00
16	243		
اجمالي الردم			151.50

طريقة ثانية لحساب مكعبات الردم:

1– تحسب المكعبات الواقعة في منطقة الردم تجاوزاً على أساس أنها مكعبات حفر من القانون:

$$Vf=0.5*(A_1+A_2)$$

2– يحسب حجم اسطوانة المكعبات بمنطقة الردم:

= مساحة أكبر كنتور × (المسافة الرأسية بين أكبر كنتور تسوية مساحة وكنتور الأرض الطبيعية)

3– حساب مكعبات الردم:

= حجم الأسطوانة – حجم المكعبات الواقعة في منطقة الردم المحسوبة تجاوزاً على أساس أنها مكعبات حفر

مكعبات الحفر ($Vc=0.5*(A_1+A_2)$)			
رقم خط الكنتور	المساحة (m^2)	معادلة الحجم	الحجم (m^3)
22	15		
		0.5×(15+57)	36.00
21	57		
		0.5×(57+90)	73.50
20	90		
		0.5×(90+134)	112.00
19	134		
اجمالي الحفر			221.50
مكعبات الردم المحسوبة على أساس أنها حفر($Vf=0.5*(A_1+A_2)$)			
19	134		
		0.5×(178+134)	156.00
18	178		
		0.5×(211+178)	194.50
17	211		
		0.5×(243+211)	227.00
16	243		
اجمالي الردم المحسوب على أساس انه حفر			577.50
حجم الأسطوانة		243×3	729.00
			151.50

الفصل العاشر

التوثيق المعماري والأنظمة المساحية المتقدمة

10–1 مفهوم التوثيق والحفاظ والترميم

تتوزع مراكز المناطق العمرانية في المواقع التي تؤمن شروط الحياة، ومع تطور الحياة البشرية كان لابد من أعمال التنظيم والبناء، ولتحقيق ذلك كان لابد من توفر الأساس المساحي. مع هذا التطور كان لابد من تثبيت تفاصيل وتضاريس الأرض ليتمكن المهندس المعماري والمدني من الوقوف على الواقع المحيط به. وتطور مع مرور الوقت مفهوم العلاقة بين الجمالية والموقع والوظيفة في فن البناء، فالوظيفة هي المحيط لممارسة كافة فعاليات الحياة والعامل الرئيس في نجاحها.

ترتبط الهندسة المعمارية باختصاصاتها كافة بشكل وثيق بالهندسة المساحية، وتُعد المنتجات المساحية الأساس الذي تجهز بموجبه الدراسات المعمارية للمواقع، بدءاً من اعمال التوثيق المعماري للمنشآت والمباني والأوابد الأثرية إلى وضع المخططات التفصيلية وأعمال الرفع المعماري، وتطبيق المشاريع المصممة على الطبيعة، وتنفيذ أعمال الصيانة والترميم ومتابعة سلوكية استقرار المنشآت، وكذلك المخططات المساحية (الطبوغرافية) للتجمعات السكنية والأراضي المعدة لمشاريع البناء بهدف تخطيطها وتنظيمها عمرانياً، وأعمال التوقيع المساحي لتنفيذ هذه المخططات المصممة على الطبيعة. كما يعتمد على المخططات المساحية العقارية لربط استعمالات الأراضي ومشاريع البناء بالمالكين وبمناطق الاستثمار والتوسعات المقترحة، كما تُعد الصور الجوية والصور الفضائية أساس دراسات التخطيط الأقليمي وتنظيم إدارة الأراضي واستغلالها بالشكل الأمثل.

تشكل المباني التاريخية والأثرية أحد مظاهر الحضارة كما تعد من أهم مصادر الدخل القومي لذلك يجب الحفاظ عليها وترميمها. تُعد عملية التوثيق المعماري للمباني التاريخية من أولى العمليات التي تجري للحفاظ على المباني التاريخية والأثرية. مع ظهور الثورة الرقمية ومع ما قدمته من تقنيات وإمكانيات تكنولوجية حديثة والتطور الكبير بالأجهزة المساحية وظهور المسح التصويري الرقمي والمسح الليزري وغيرها من العلوم المساحية المتقدمة مما أسهم بشكل كبير بعمليات التوثيق والتسجيل العملي للمباني الأثرية والتاريخية.

يندرج ضمن التوثيق المعماري للمباني التاريخية مفهومان أساسيان وهما الحفاظ والترميم. حيث يمثل مفهوم الحفاظ العمليات التي تشمل كل الإجراءات والأساليب التي توفر للموروث البقاء لأطول مدة ممكنة ليؤدي دوراً في حياة المجتمع الذي وجد فيه. يتناول الحفاظ مباني ذات أهمية أو منشآت معينة أو بيئة عمرانية مميزة أو نسيج عمراني وتخطيطي مميز، وقد يشمل الحفاظ على النواحي الاجتماعية والاقتصادية والثقافية كما يشمل ايضاً الصورة البصرية. وأولى خطوات عمليات الترميم هو التوثيق المعماري لهذه المباني، إذ يعد التوثيق العمراني مهماً لدراسة المكان، لكونه ينقل صورة حقيقية عن المكان، وعن تفاصيل كل مبنى على حدة، وكيفية إنشائه، وعناصره المعمارية، والعناصر الجمالية والإنشائية وغيرها.

ويُعرف التوثيق المعماري للمباني التراثية بأنه توثيق وتأصيل القيم المعمارية والجغرافية للمباني التراثية والمنطقة المحيطة بها لغرض الإفادة في حفظ الذاكرة المكانية للموقع، ولتسهيل عملية التأهيل والتطوير والترميم المستقبلي للموقع. كما يهدف إلى توفير قاعدة بيانات تساعد الباحثين والمخططين وراسمي السياسات على اتخاذ قرارات صائبة. يجب أن يكون للوثيقة الفنية هدف محدد، يرتبط بإيصال المعلومات الواضحة المعنى في عدد قليل ومحدود من الكلمات، ويجب أن تُعرض هذه المعلومات في ترتيب منطقي يسهل معه تتبعه. فالتوثيق إحدى عمليات البحث العلمي من خلال عملية تسجيل الحقائق والمعلومات عن طريق وصف كل عنصر من العناصر التي يتكون منها المبنى.

وهناك أنواع عدة للتوثيق، منها التقارير الأولية، وهي تقارير فنية مصورة عن الموقع، تشتمل على اللمحة التاريخية وإحداثيات الموقع وصور فوتوغرافية ووصف مكاني ووظيفي للموقع وتقييمه وتصنيفه معمارياً بحسب استمارات تقييم المواقع التراثية، التي تتضمن عدداً من المعايير المعتمدة، مثل الأهمية التاريخية، الأهمية المعمارية، الحالة الإنشائية وقابلية الموقع للتأهيل والتطوير.

وهناك التصوير الفوتوغرافي والذي يشمل التصوير الأرضي والتصوير الجوي والتصوير الداخلي وتصوير تفاصيل المبنى الداخلية والخارجية، والرفع المساحي وتحديد حدود الموقع وعلاقته بالمنطقة المحيطة به، وتحديد المداخل والمخارج وعلاقاتها بالطرق وممرات المشاة والبنية التحتية والمناسيب الطبوغرافية والخطوط الكنتورية، وربطه بمخطط المدينة وبمخططات التسمية والترقيم بالمنطقة .

10–2 دور المساحة المتقدمة بالتوثيق المعماري

يمكن تلخيص دور المساحة المتقدمة بالتوثيق المعماري من خلال المراحل الآتية (الشكل 10–1):

المرحلة الأولى: التوثيق التاريخي والإنشائي وجمع المعلومات المتعلقّة بالموقع الأثري. تُعد هذه المرحلة من أهم الإجراءات التي تضمن الحفاظ والحماية للمواقع الأثرية من خلال تسجيلها ووضع بطاقة تعريفية تبين حالة الموقع وقيمته التاريخية، بالإضافة إلى معرفة البيانات كافة الخاصة به بدءاً من تاريخ نشأته وأبرز عمليات الترميم التي أجريت عليه. ويمكن تلخيص أهم الخطوات والعمليات المطلوبة لإتمام هذه المرحلة في النقاط الآتية:

– تقسيم المناطق المستهدفة من عملية التوثيق إلى فئات لتسهيل عملية التوثيق.

– جمع كل المعطيات المسجلة والموثقة بالصور والمخططات والأفلام التسجيلية الدالة على الهوية.

– البدء بتحديد لجان الباحثين والعاملين للبدء بحصر ما يحتويه الموقع الأثري من مبانٍ وفراغات تحيط به لتسجيلها وتقييمها وتدوين كل المعلومات حولها لترتيب الأولويات في الحفاظ، ويكون الترتيب وفق القيم الأثرية والمعايير الأساسية.

– استعمال التقنيات الحديثة في جميع المراحل لضمان الدقة وإنجاز العملية في فترة زمنية مناسبة.

المرحلة الثانية : مرحلة التوثيق الإلكتروني وإدخال المعلومات على الحاسوب. ويمكن تلخيص أهم الخطوات والعمليات المطلوبة لإتمام هذه المرحلة في النقاط الآتية:

– إنشاء قاعدة بيانات تحتوي على جميع المعطيات المسجّلة والموثقة عن المواقع الأثرية.

– ربط قاعدة البيانات بالشبكة العالمية للمعلومات" الإنترنت " لضمان تواصل أفضل بين مختلف المناطق.

– إنشاء بوابة إلكترونية تفاعلية متصلة بقاعدة البيانات ومحددة بآليات للتفاعل والتواصل لإنشاء حلقة وصل بين الخبراء والباحثين المهتمين في جميع أنحاء العالم وبين القائمين على مشروع التوثيق للاستفادة من خبراتهم الواسعة في هذا المجال.

المرحلة الثالثة: مرحلة الربط بين المعلومات وإنشاء قاعدة بيانات باستعمال نظم المعلومات الجغرافية (Geographic Information System) وأختصاراً (GIS).

الشكل 10– 1 مراحل تطبيق عملية التوثيق المعماري بالطرائق الحديثة

10–3 تعريف نظم المعلومات الجغرافية (Geographic Information System)

نظم المعلومات الجغرافية هي مجمع متناسق يضم مكونات الحاسب الآلي والبرامج وقواعد البيانات بالإضافة إلى الأفراد، وفي مجموعه يقوم بحصر دقيق للمعلومات المكانية وتخزينها وتحديثها ومعالجتها وتحليلها وعرضها.

من خلال نظم المعلومات الجغرافية (GIS) يمكن استعمال منظومة معلوماتية متكاملة كأداة فعالة تسهم في إعداد قواعد البيانات المكانية (Spatial Database) وربطها بقواعد البيانات الوصفية (Attribute Database)، والتي تقوم بعمل توصيف للمكان المراد الاستفسار عنه، كما تهتم بوضع وضبط قواعد البيانات الخاصة بالموقع الأثري باستعمال برامج قواعد بيانات مثل (Access) وصياغتها وتحديث البيانات وتجهيز خرائط تفصيلية ذات مرجعية مكانية (GeoReference) ومن ثمَّ تحديث ما هو قائم من دراسات تاريخية وبيئية وعمرانية واجتماعية واقتصادية ودراسات البنية الأساسية.

وتمتاز نظم المعلومات الجغرافية بأنها تجمع بين عمليات الاستفسار والاستعلام (Query) الخاصة بقواعد البيانات (Data Base) مع إمكانية المشاهدة والتحليل والمعالجة البصرية لبيانات جغرافية من الخرائط وصور الأقمار الصناعية والصور الجوية، وهي الميزة التي تميز نظم المعلومات الجغرافية من نظم المعلومات المعتادة وتجعلها متاحة لكثير من التطبيقات العامة والخاصة لتفسير الأحداث وحساب المؤشرات ووضع الاستراتيجيات. فعلى سبيل المثال، من التحديات المعاصرة في عالمنا اليوم الانفجار السكاني، التلوث، الزحف العمراني على المناطق الزراعية، والكوارث الطبيعية، كل هذه الأمور تشترك في البعد الجغرافي بما يميزها من غيرها من

المشاكل. وعلى المستوى المحلي أو الفردي فمشكلة إيجاد أفضل موقع لفرع منشأة جديدة من سلسلة فروع تجارية، أو إيجاد أحسن نوع تربة يناسب زراعة محصول جديد أو تحديد احسن مسار على شبكة الطرق لسيارة المطافئ أو الإسعاف كل هذه الأشياء يجمعها العامل الجغرافي.

كما تفيد نظم المعلومات الجغرافية "GIS" أيضاً في إنشاء مرجعية للتوثيق التاريخي لدعم مراحل مشروعات التطوير والحفاظ وإدارة المشروعات بالإضافة إلى الإسهام في اتخاذ القرارات لما لها من سهولة في استرجاع البيانات وتحديدها وتحليلها بأساليب متعددة. وتلعب نظم المعلومات الجغرافية دوراً هاماً في عمليات اعداد المخططات العمرانية والتخطيط الحضري وتحقيق المواصفات والاشتراطات والمعايير المكانية بسرعة وكفاءة تساعد صناع القرار والمخططيين والمعماريين في الوصول إلى التخطيط الأكثر ملائمة للمعايير الموضوعة.

10-3-1 مميزات نظم المعلومات الجغرافية (GIS) في عملية توثيق المواقع الأثرية

تبرز أهمية نظم المعلومات الجغرافية في كون هذه النظم أداة فعالة لتوثيق المواقع الأثرية، إذ إن قدرات هذه النظم مميزة في مجال إدخال البيانات ومعالجتها وحفظها وتحديثها، ومن أهم مميزاتها:

– استعمال جداول البيانات والاستعلام بواسطتها للمساعدة في إدارة مشروع الترميم الذي وُثّق.

– استعمال إمكانيات برامج (GIS) الخاصة بحساب مساحات الأشكال الهندسية، وربط ذلك بنوع الضرر الذي يصيب الموقع ومن ثم إعداد جداول كميات للأماكن المطلوب ترميمها وفق الحصر الهندسي.

– المساهمة في تسهيل قراءة جميع البيانات والمعلومات وتحليلها بشكل ممتع وأسهل للقراء سواء كانوا باحثين أم مختصين أم قراء عاديين.

– تُعد الخريطة التي تمثل أحد مخرجات النظم وسيلة فعالة ممتعة لوصف الموقع الأثري دون الحاجة إلى بيان نصي تقليدي.

– يمكن لنظم المعلومات الجغرافية (GIS) إضافة البيانات الخاصة بالمباني والمواقع الأثرية على صفحات الانترنت مع إعداد واجهة تكون سهلة الاستعمال وصديقة للمستخدم، كما يمكن الدخول إلى هذه المعلومات من جميع أنحاء العالم مما يعظم الاستفادة من توثيق هذه المباني والمواقع الأثرية.

10–3–2 مصادر البيانات المكانية والوصفية

تُعد البيانات المكانية من العناصر الأساسية لنظم المعلومات الجغرافية، ولا يمكن بناء نظام معلومات جغرافية لأي تطبيق من التطبيقات بلا بيانات مكانية، وتُعد عمليات جمع البيانات المكانية وصيانتها وتحديثها من الأعمال التي تتطلب الكثير من الجهد والوقت والتكاليف.

هناك طرائق عدة للحصول على المعلومات المكانية منها ما يعرف بالمعلومات الأولية، والتي يمكن جمعها بواسطة المساحة الأرضية والتصوير الجوي والاستشعار عن بعد، والنظام العالمي للأقمار الصناعية لتحديد المواقع (Global Navigation Satellite System) أو اختصاراً (GNNS)، ومنها ما يعرف بالمعلومات الثانوية والتي يمكن جمعها بواسطة استعمال الماسح الضوئي أو لوحة الترقيم أو المتتبع للخطوط الأتوماتيكي.

10–3–2–1 المسح والتصوير الجوي

المسح الجوي يعتبر الوسيلة الأكثر استعمالا في إنتاج الخرائط الرقمية المتعددة الأغراض والمتنوعة المقاييس لما تتميز به من دقة وسرعة واقتصاديات تشغيل ممتازة مع توفير في الوقت والجهد. وتُعد الوسيلة الرئيسة في إمداد نظم المعلومات الجغرافية بالبيانات المكانية وتحديثها.

مميزات أساليب المسح الجوي :

1– إمكانية فصل المعالم وتمييزها عن بعض في طبقات مما يسهل عمليات المعالجة والتحويل من صيغة إلى أخرى وتنظيم البيانات في قواعد المعلومات.

2– أساليب المسح الجوي تمكننا من إنتاج خرائط تغطي مساحات كبيرة في وقت قصير.

3– إمكانية مسح المناطق الوعرة والصعبة التي يصعب الوصول إليها.

4– الحصول على الإحداثيات الثلاثية مباشرة لأي نقطة وبدقة عالية.

بعض العيوب:

توجد بعض العيوب المرتبطة بأساليب المسح الجوي والتي يمكن تقليلها إلى حد كبير بالتخطيط الجيد لمشاريع المسح الجوي ومنها:

1– تكاليف التصوير الجوي مرتفعة إلى حد ما وتتأثر بالأحوال الجوية.

2– بعض التفاصيل الأرضية قد لا تظهر في الصور الجوية بسبب الظلال أو وجود المباني أو الأشجار المرتفعة.

3– تحتاج عمليات إنتاج الخرائط من الصور الجوية إلى المراجعة والتحقيق الحقلي للتأكد من دقة الخريطة وإضافة بعض البيانات كمسميات الشوارع والمعالم الرئيسة .

10–3–2–2 الاستشعار عن بعد (Remote Sensing)

هو الوسيلة التي يمكن بها تحديد صفات ومعرفة معلومات عن أي جسم أو هدف أو سطح مثل سطح الأرض أو أي ظاهرة من خلال عمليات تحليل خاصة للبيانات التي يحصل عليها بأجهزة خاصة تقوم بتسجيل الطاقة الكهرومغناطيسية المنبعثة أو المنعكسة عن الأهداف التي هي موضوع البحث والدراسة.

وتشمل عمليات الاستشعار عن بعد مرحلتين أساسيتين هما:

1– مرحلة استعمال أجهزة خاصة لتسجيل التغير في الطريقة التي تنتج بها المعالم والأجسام على سطح الأرض الطاقة الكهرومغناطيسية أو تعكسها، وتسجل في هيئة صور تقليدية أو رقمية.

2– مرحلة الدراسة والتحليل حيث تفحص البيانات سواء تقليدية أو رقمية بواسطة أجهزة ومعدات تفسير لتحليل الصور أو حسابات آلية مزودة ببرامج خاصة لتحليل البيانات والمعلومات الرقمية. وتستخلص النتائج وتنشر في صورة خرائط وجداول وبيانات إحصائية وتقارير.

المفهوم العام للاستشعار عن بعد

يعتمد المفهوم الاساسي للاستشعار عن بعد على التفاعل الفيزيائي بين أشعة الطاقة الساقطة على جسم ما والتي يمكن توضيحها من خلال العناصر الآتية والمبينة على الشكل (2–10):

– مصدر الطاقة (A): هو المصدر الذي ينتج الإشعاع الكهرومغناطيسي وهو الشمس بحالة الأنظمة السلبية.

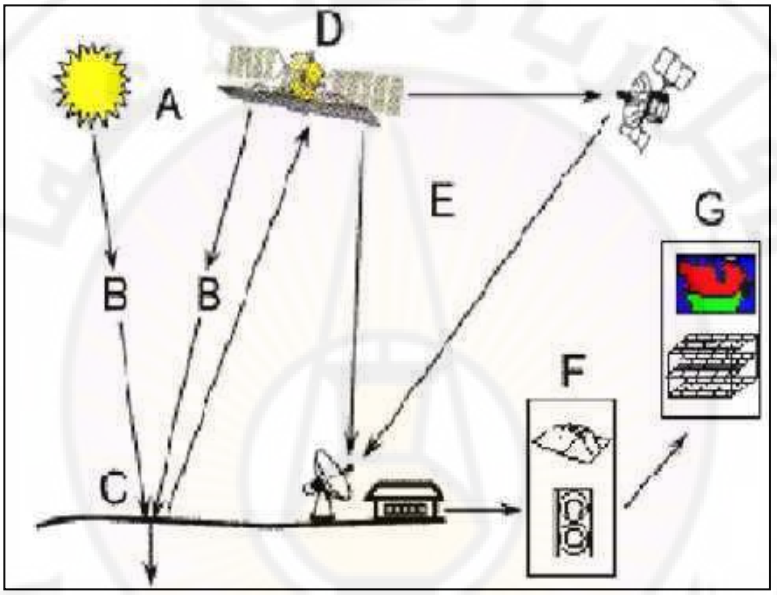
– الإشعاع والغلاف الجوي (B): تتفاعل الأشعة الصادرة والمنعكسة من على سطح الأرض مع الغلاف الجوي مما يوثر على الإشعاع عند تفاعله مع الأجسام ويؤثر بخواص الأشعة المنعكسة التي تسجل وتحلل.

– التفاعل مع مادة سطح الأرض (C): ويختلف هذا التفاعل وفقاً للتركيب الكيميائي والفيزيائي والظروف المحيطة بهذه المادة.

– المجس (D) Sensor: تُسجّيل الإشعاعات المنعكسة عن سطح الأرض أو ما فوقها.

– النقل والمعالجة (E): تُنقل قيم الأشعة المنعكسة والمسجلة بواسطة المجسات إلى محطات الاستقبال الأرضية لمعالجتها.

– التفسير والتحليل (F): تعالج الصور وتحلل ويحصل منها على المعلومات بواسطة المختصين باستعمال البرامج الحاسوبية المختلفة.

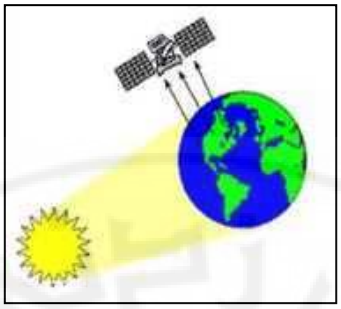


الشكل 10– 2 المفهوم العام للاستشعار عن بعد

تصنيف نظم الاستشعار عن بعد

1– الأنظمة السلبية (Passive systems) أو الأنظمة الضوئية (Optical system)

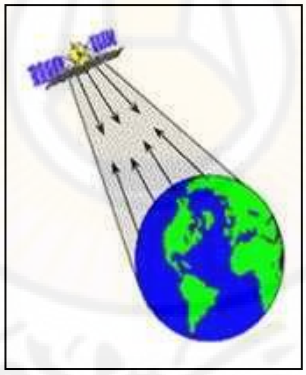
تقيس الأشعة الكهرومغناطيسية المرئية وتحت الحمراء والتي تتراوح أطوال مواجاتها بين (0.4 ميكرومتر و 100 ميكرومتر) والتي تنعكس عن سطح الأرض أو تصدر منه (الشكل 10–3). الشمس هي المصدر الرئيسي للطاقة المقيسة (لذلك تدعى **الأنظمة الضوئية Optical System**) وتختلف الإشارات حسب أطوال الموجات. يعتمد تحليل صور هذا النوع من أنظمة الاستشعار عن بعد على مدى انعكاس الأجسام الموجودة على أو في سطح الأرض.



الشكل 10– 3 الأنظمة السلبية

2– الأنظمة النشطة (Active systems)

تُصدر الأمواج الكهرومغناطيسية بواسطة نظام ما حسب أطوال موجات محددة، وتدعى بأشعة المايكرويف بحالة الرادار وتصل أطوال مواجاتها بين (1 ميلمتر و 1 متر) (الشكل 10–3). تصل هذه الطاقة إلى الأرض ثم تنعكس ثم تقاس كمية الطاقة المنعكسة. من أهم أنواع هذه الأنظمة هو نظام الرادار (RADAR)، ونظام المسح الليزري (Lidar).



الشكل 10– 4 الأنظمة النشطة

10–3–2–3 النظام العالمي للأقمار الصناعية لتحديد المواقع

Global Navigation Satellite System (GNSS)

يعرف نظام التموضع العالمي أنه منظومة من عدد من الأقمار الصناعية تدور حول الكرة الأرضية و ترسل إشارات تحمل بيانات خاصة تستقبل وتعالج بواسطة أجهزة استقبال من أي مكان على سطح الكرة الأرضية، وتستطيع أن تحسب إحداثيات موقعها وسرعتها ووزمنها بالاستعانة بأجهزة تحكم مثبتة في أماكن مختلفة على سطح الأرض. لهذا النظام القدرة على

تحديد المواقع من خلال الإحداثيات بدقة متناهية تصل من متر إلى 3 أمتار باستعمال خطوط الطول ودوائر العرض (بالدقائق والثواني وأجزائها). تعد وزارة الدفاع الأمريكية أول من صمم هذا النظام وسمي بنظام التموضع العالمي (Global Position System) أو (GPS)، والذي تكون من 27 قمراً إصطناعياً، وقد أقامت روسيا نظاماً مشابها أيضاً سُمي (GLONASS)، كذلك اقامت اوروبا نظام (GALILEO) والصين نظام (BEIDOU) والهند نظام (IRNSS).

عناصر نظام التموضع العالمي

يتكون نظام التموضع العالمي من ثلاثة عناصر رئيسة هي:

1– **قسم الفضاء (Space segment)**: هو عبارة عن منظومة الأقمار الصناعية و التي يزن القمر الواحد منها ما بين ثلاثة آلاف إلى أربعة آلاف رطلاً تعمل بالطاقة الشمسية، وتدور فى ست مدارات حول الكرة الأرضية بارتفاع 20200 كيلومتراً عن سطح الأرض، و بزاوية ميل خمس وخمسين درجة عن خط الاستواء. وقد صُممت هذه المدارات بحيث يكون من الممكن مشاهدة و رصد ستة أقمار صناعية على الأقل في آن واحد من أي مكان على سطح الكرة الأرضية، وبحيث يعمل كل قمر دورتين حول الأرض في كل يوم. ويحمل كل قمر من هذه الأقمار ست ساعات ذرية عالية الدقة. و يقوم كل قمر بإرسال إشارة راديوية باتجاه الكرة الأرضية تحمل بيانات تستعمل في حساب بعد القمر الصناعي عن الأرض وإحداثيات القمر الصناعي وزمن الإرسال.

2– **قسم التحكم (Control segment)** : يتكون هذا القسم من خمس محطات خدمية لمتابعة الأقمار واستقبال إشاراتها، وهي موزعة على مناطق مختلفة من سطح الكرة الأرضية، و ترسل هذه المحطات البيانات المستقبلة لديها إلى محطة رئيسة تقوم بمعالجة البيانات وحساب التصحيحات اللازمة ثم إرسالها عن طريق ثلاثة هوائيات إلى الأقمار الصناعية مرة أخرى، وبذلك تكون البيانات التي يرسلها القمر الصناعي مصححة ودقيقة.

3– **قسم المستخدم (User segment)**: يتكون قسم المستخدم من أجهزة الاستقبال والمستعملين لهذه التقنية من القطاعات العديدة التي تستعمل بيانات نظام التوقيع العالمي. إن مهمة جهاز الاستقبال هي استقبال الإشارة المرسلة من مجموعة الأقمار الصناعية التي يشاهدها من موقعه على سطح الأرض، ثم إجراء العمليات الحسابية التي يحدد بها موقعه في نظام الإحداثيات ثلاثي الأبعاد. ويتكون كل جهاز استقبال من هوائي على اتساق مع تردد الإشارة التي

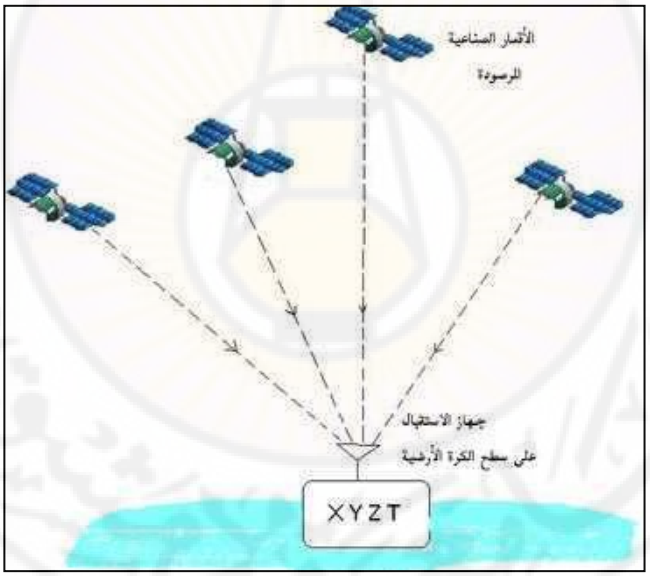
يرسلها القمر الصناعي ومعالج الإشارة بالإضافة إلى ساعة دقيقة (لا تصل دقتها إلى دقة الساعة الذرية الموجودة على القمر الصناعي) تستطيع أن تصحح توقيتها من الإشارات المرسلة من عدد من الأقمار الصناعية بالإضافة إلى شاشات لعرض النتائج من إحداثيات الموقع وسرعة حامل الجهاز والوقت.

كيفية عمل نظام التموضع العالمي

تقوم أجهزة الاستقبال بتحديد موقعها على سطح الأرض (الشكل 10–5) اعتماداً على مبدأ التثليث (التقويم) والذي يتطلب معرفة:

1– إحداثيات أكثر من ثلاثة أقمار صناعية.

2– البعد بين المستقبل وبين كل قمر من هذه الأقمار المرصودة.



الشكل 10– 5 مبدأ التقويم لتحديد الموقع

أما إحداثيات القمر الصناعي فيرسلها القمر نفسه كبيانات رقمية ضمن الإشارة المرسلة إلى الأرض. وأما البعد بين محطة الاستقبال والقمر الصناعي فيقوم بحسابها جهاز الاستقبال من خلال معرفة سرعة الإشارة، والتي هي عبارة عن موجة راديوية والمعروفة سرعتها (وهي سرعة الضوء التي تساوى بالتقريب 300000 كم/الثانية) ومعرفة الفترة الزمنية التي تستغرقها الإشارة في رحلتها من القمر الصناعي إلى المستقبل. ولمعرفة هذه الفترة الزمنية لابد من استعمال

ساعات عالية الدقة (تستعمل ساعات ذرية عالية التكلفة مع كل قمر صناعي وساعات أقل تكلفة على وحدات الاستقبال يمكن ضبطها مع الوقت الذي نحصل عليه من إشارات الأقمار الصناعية التي تحت المشاهدة).

مميزات النظام العالمي لتحديد المواقع

1–عملية رصد تتم بشخص واحد فقط.

2–نحصل مباشرة على الإحداثيات الثلاثية للنقطة بسرعة كبيرة.

3–الحصول على دقة عالية، ولاسيما إذا تمت المعالجة بأسلوب صحيح.

4–النظام يمكن تشغيله في كافة الظروف المناخية.

5–يمكن استعمال النظام للاسترقام على سطح الأرض مباشرة.

عيوب النظام الكوني لتحديد المواقع :

1–إن عوامل الدقة وإتاحة النظام تتحكم فيها جهات أمنية عسكرية .

2–لابد من توفر أربعة أقمار صناعية أو أكثر موزعة توزيعاً جيداً وظاهرة بوضوح، وهذا قد لا يتاح في المدن الكبيرة ذات المباني المرتفعة أو في مناطق الغابات.

10–4 طرائق تمثيل المعطيات المكانية

لا يمكن التعامل مع المعلومات فى صورتها الأولية الخام، أو الاستفادة منها بشكل تام. وتسمّى في هذه الحالة (بيانات). لذلك لابد من وجود إجراءات معالجة لصنع المعلومات المتكاملة. تكون البيانات المكانية في نظام المعلومات الجغرافية عادة في هيئتين:

1– **البيانات المتّجهة أو الخطي (vector data)**: هي أشكال معرّفة هندسياً، وتتألف من النقاط والخطوط والمضلّعات (الشكل 10–6). إن موقع وصف نقطة (Point) مثل البئر يمكن وصفها بنقطة واحدة يتم تمثيلها بأحداثي واحد (X,Y). أما وصف الخطوط (Line) مثل الشوارع الأنهار يمكن تخزينها على هيئة مجموعة من ترتيبات النقط. وبالنسبة لمتعدد الأضلع (مضلع) (Polygon) مثل المناطق السكنية والبحيرات والغابات وتصنيفات الأراضي فيمكن تخزينها في أزواج مغلقة من الإحداثيات أو الخطوط المغلقة. إن نموذج (Vector) يستعمل في وصف الأشياء الثابتة، لكنه غير مفيد في وصف الأشياء دائمة التغير مثل نوع التربة والحالة البيئية لمنطقة معينة أو شكل الشاطئ في فترة زمنية محددة.

2– **البيانات المتسامتة أو الشبكية (raster data):** مثل الخرائط المدخلة بالماسح الضوئي والصور الجوية وصور الأقمار الاصطناعية، وتتكون صورة (Raster) من مجموعة من الخلايا كونها خريطة ممسوحة أو صورة. ومن هيئات البيانات المتسامتة بيانات الشبكة (grid data) لأنها مؤلفة من شبكة من الخلايا المتساوية الأبعاد. وكل من هذين الهيئتين لها استعمالات وذلك حسب الهدف المراد تطبيقه داخل بيئة نظم المعلومات الجغرافية. ومن ثمَّ فهذا النوع من البيانات نموذج (Raster) تم انتاجه للاشياء الدائمة التغير فى الشكل أو الخصائص.

10–4–1 البيانات الخطية

1– النقطة (Point):

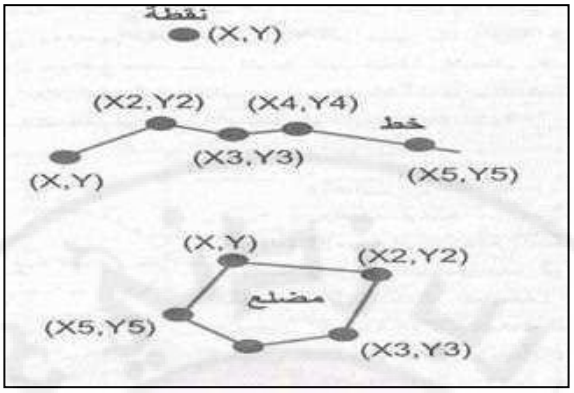
يحدد الموقع حسب الإحداثيات السينية(X) والصادية(Y). فإذا كانت الظاهرة صغيرة لا ترقى لأن تمثل بخط وليس لها العرض الكافي لتمثل بمساحة فإننا نسميها نقطة، وتكون عديمة البعد أو ذات بعد صفري (D–0)، وهي تحدد مواقع لبعض الظواهر الموجودة في الطبيعة مثل: الاشجار والآبار ومواقع المدن ومواقع الجامعات.

2– خط (Line):

عبارة عن سلسلة من النقاط المتتابعة حسب إحداثيتها المختلفة. اذا كانت الظاهرة تبدأ بنقطة وتنتهي بنقطة أخرى فإننا نسميها خطاً، ولذلك فإنه يتكون من نقطتين على الأقل وهو ذو بعد واحد (D–1). وإنَّ دقة تمثيل ظاهرة ما تعتمد على كثافة النقاط الوسيطة للخط، ومن أمثلة المعالم التي تمثل بخطوط: الطرق والانهار وسكك الحديد وشبكات البنية التحتية.

3– المضلع / المساحة (Polygon/ Area):

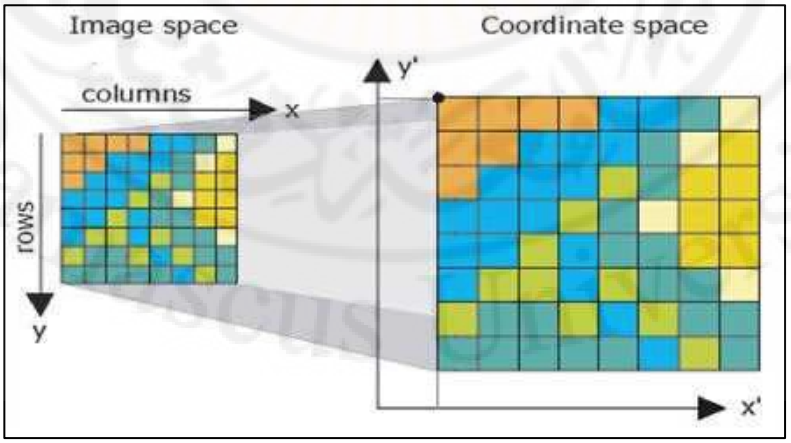
تحدد بمجموعة من الخطوط ذات نقاط متتابعة تحيط بالمساحة أو خط واحد مغلق حسب الإحداثيات السينية والصادية. إذا كانت الظاهرة لها عرض ذات بعدين (2D) فإننا نسميها مضلع، وتتكون من عدة خطوط أو سلاسل متصلة مع بعضها ويكون الشكل مغلقاً، ومن أمثلة ذلك: البحيرات والمباني والغابات واستعمالات الأرضي وأنواع التربة والمناطق الادارية. إن مقياس الرسم ودرجة الدقة في التفصيل يتحكمان في التعريف للظواهر السابقة.



الشكل 10– 6 البيانات الخطية (Vector)

10–4–2 البيانات الشبكية Raster Data أو المتريسية

هي عبارة عن بيانات جغرافية تمثل على شبكة أو مصفوفة من بعدين من الخلايا الصغيرة تسمى (Pixel) لتمثيل وتخزين المعطيات المكانية (الشكل 10–7). اصطلاح كلمة بيكسل Pixel مشتق من كلمتين (Picture Element). وهي مربعات بالغة الصغر تشكل مصفوفة مؤلفة من أسطر وأعمدة، وتستعمل لإدخال المعلومات مكانية من الصور الجوية أو الصور المعدلة العمودية (Orthophoto) أو صور الأقمار الصناعية. يحدد موقع البيكسل Pixel برقم الصف Row والعمود Column، كل بكسل عبارة عن متوسط الانعكاس أو الامتصاص المقيس إلكترونياً لنفس الموقع على مقياس التدرج الرمادي، ويعبر عن ذلك برقم يسمى العدد الرقمي ((Digital Number (DN)، وهي أعداد صحيحة موجبة.

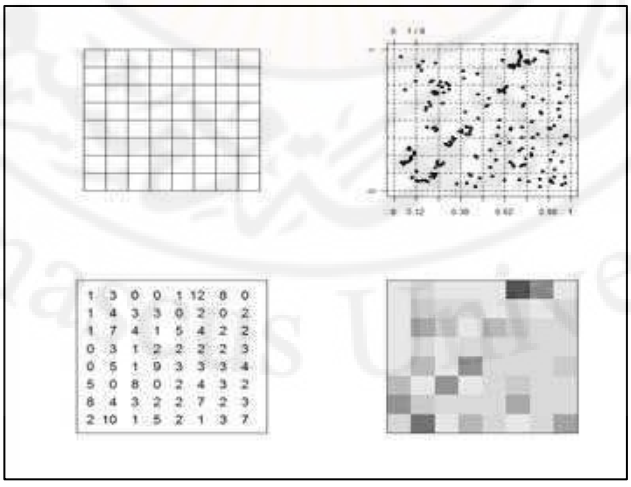


الشكل 10– 7 النموذج الشبكي (Raster)

تحدد القيمة العددية التي تنسب لكل مربع عنصري من الصور تبعاً لاختلاف الألوان وتغيير شدتها من بقعة إلى أخرى على الصورة (الشكل 10–8). أيضاً يمكن أن تكون قيمة البيكسل تمثل متوسط ارتفاعات المنطقة التي يغطيها البيكسل على أرض الواقع وعندها تتشكل خارطة من النوع الشبكي أو المتريسي يطلق عليها نموذج الارتفاع الرقمي (Digital Elevation Model) (DEM)، وهي هامة جداً في كثير من التطبيقات الهندسية: مثل الحسابات المتعلقة بالميل والإتجاه، وإنشاء المقاطع والمخططات البيانية، وتقدير كميات الحجم والردم لمساحات واسعة، ورسم خطوط الكنتور آلياً، ورسم خطوط النظر ومدى الرؤية، وإنتاج خرائط الظلال المجسمة.

يعرف موقع كل خلية برقم سطر ورقم عمود من المصفوفة. تشكل البكسل وحدة الدقة التفصيلية أو التمييزية (Resolution) للصورة أو الخريطة حيث تقاس بعدد البكسلات في البوصة المربعة ((dots per inch) (dpi)). وكلما زاد عدد البكسلات في البوصة المربعة زادت درجة دقة البيانات ووضوحها. الخلية الواحدة تسأوي واحد byte على الحاسب، ولتخزين الرسومات بالحاسب لمئة مليون خلية تعادل مئة ميجا بيت تخزين.

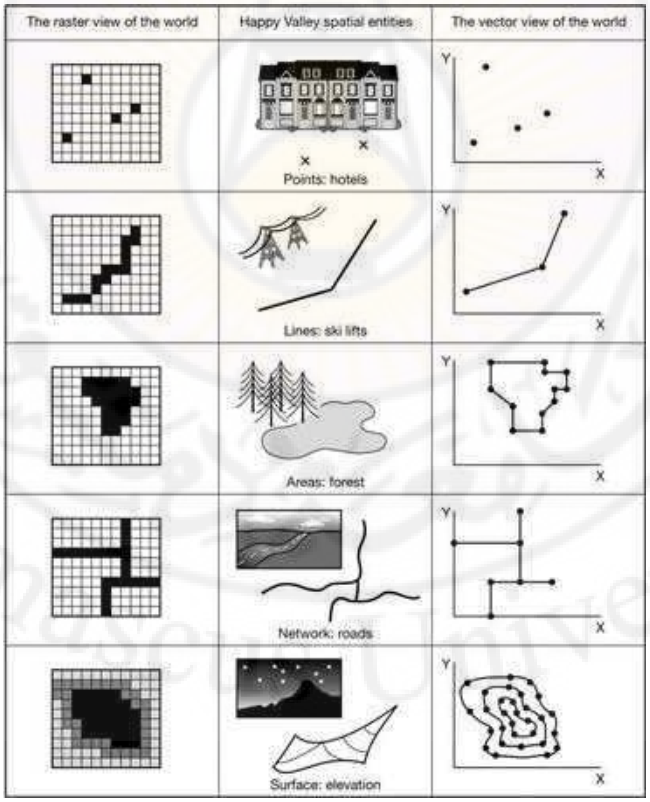
يدخل ضمن نوع البنية الشبكية (Raster) جميع الخرائط التي تدخل بالماسح الضوئي، والصور الجوية الرقمية، والمرئيات الفضائية التي تستعمل بسهولة ضمن أنظمة المعلومات الجغرافية بفضل طرائق التحديد المكاني وتصحيحات هندسية بالنسبة إلى الإحداثيات الجغرافية في المنطقة. يعالج هذا النوع من البيانات بنظم معالجة الصور أو المرئيات.



الشكل 10– 8 القيم العددية للبيكسل

10–4–3 البيانات الشبكية (المتريسية) Raster Data والبيانات الخطية (Vector Data)

يستعمل كل من النموذجين الخطي والشبكي (Raster) / (Vector) لتخزين المعلومات الجغرافية، و لكل منهما مميزات وعيوب. يستطيع نظام المعلومات الجغرافي الحديث التعامل مع كلا النموذجين (الشكل 10–9). وملفات البيانات فى صورة (Raster) يمكن دمجها بواسطة الكمبيوتر لكنها بوجه عام أقل تفصيلاً بالقياس إلى ملفات البيانات الموجهة (Vector) والتى تظهر بوجه عام فى الصورة التقليدية للخرائط اليدوية. البيانات الرقمية الموجهة (Vector) يمكن تجميعها ورؤيتها في صورة نقط أو في صورة خطوط أو مساحات (أشكال ومساحات محددة بخطوط)، وكمثال عليها: حدود تقسيمات المنازل وشبكات البنية التحتية ومواقع الأشجار والسكن وغيرها من البيانات. الجدول (10–1) يظهر مقارنة بين المعلومات الخطية والمعلومات الشبكية.



الشكل 10– 9 البيانات الشبكية والبيانات الخطية

جدول 10– 1 مقارنة بين النموذج الخطي والنموذج الشبكي

البيانات الخطية VECTOR	البيانات الشبكية (المتريسية) Raster
تتطلب مساحة قليلة في التخزين	تتطلب مساحة كبيرة في التخزين
بنية البيانات فيها معقدة	بنية البيانات فيها أكثر سهولة
لا تعتمد على حجم البكسل في الدقة	تعتمد على حجم البكسل في الدقة
تتطلب جهداً ووقتاً كبيرين للحصول عليها	لا تتطلب جهداً ووقتاً كبيرين للحصول عليها
قوة تحليلية مكانية عالية	أقل مقدرة في التحليل المكاني
غالباً ما يستعاض عن الواقع برموز	غالباً ما تمثل الصور الواقع الفعلي
تتكون من نقطة أو خط أو مساحة	تتكون من البكسل فقط
المعدات والبرامج ذات تكلفة عالية	المعدات والبرامج ذات تكلفة متوسطة نسبياً
دقة مكانية أعلى	دقة مكانية أقل نسبياً

من فوائد نظم المعلومات الجغرافية الحصول على الأطوال والمساحات للخطوط والأشكال الموضّحة على الخارطة آلياً وذلك بتحديد أول وآخر نقطة للخط أو تحديد الشكل أو الدائرة للحصول على المساحة وطول المحيط. ومن فوائد هذه النظم أيضاً مطابقة أو إسقاط الخرائط على بعضها البعض للحصول على معلومات وخرائط جديدة مشتقة من الخرائط الأساسية. وتكمن الفائدة الرئيسة في هيئة البيانات المتجهة في قدرتها على تمثيل المعالم الجغرافية تمثيلاً دقيقاً، وهذا يجعلها مفيدةً في مهمات التحليل المكاني التي تتطلب تحديد المواقع بدقة، كما في التطبيقات الهندسية والمساحية. كما أن هذا النوع من البيانات يسمح بتعريف العلاقات المكانية بين المعالم، مثل علاقة الجوار بين عقارين وعلاقة اتصال شارع بآخر، أي إمكانية الانتقال من

هذا الشارع إلى ذاك. ويعرف ذلك باسم الطوبولوجيا (topology)، وهي مهمة جداً في تحليل الشبكة مثل إيجاد أفضل الطرق بين موقعين في شبكة طرق معقدة.

10–4–4 البيانات المصاحبة (Metadata)

وعادة تضم هذه البيانات المعلومات الآتية :

– اسم قاعدة البيانات، واسم منتجها.

– تفاصيل البيانات الهندسية (Topology) المستعملة.

– تفاصيل البيانات الوصفية المستعملة.

– معلومات خرائطية، مثل مسقط الخريطة والإحداثيات الجغرافية والمرجع.

– معلومات عن التركيب البنائي لقاعدة البيانات، مثل أسلوب تخزين البيانات والمصطلحات والبناء التركيبي وهيئة الملفات.

– تاريخ إنشاء البيانات ومكانها، مثل تاريخ جمع البيانات والفترة الزمنية والمكان الذي جُمِعت فيه البيانات.

– توصيات مستقبلية للإضافة أو تطوير البيانات المستعملة

10–5 عملية تكوين التفاصيل الطوبولوجية (Building topology)

عرّف العالم برجون الطوبولوجيا بأنها فرع من الرياضيات يعالج علاقات الجوار المتواجدة بين الاشكال الهندسية وهي علاقات لا تتأثر بتشوه الاشكال. يقصد بهذه العملية تحديد العلاقات والتفاصيل بين محتويات البيانات المكانية للتفريق بين النقاط والخطوط والأشكال المساحية وإدخال الترميز لكل منها بواسطة حرف هجائي أو رقم عددي حيث يمثل الرمز أو الكود التعريفيID لعنصر الخريطة. بالإضافة لإظهار العلاقات الطوبولوجية فيما بينها مثل حساب وتحديد العلاقات بين النقاط والخطوط والمساحات. إن مفهوم الطوبولوجية أو العلاقات المكانية يسمح بالمحافظة على التحام المعالم وتماسكها وذلك باستبعاد كل ازدواجية في الخطوط أو السلاسل والنقاط أو العقد المستعملة لتعريف المكونات المكانية البسيطة، وبذلك نتخلص من المعلومات الزائدة لإنتاج قاعدة معلومات جغرافية متراصة تسهل معها عملية التحرير.

10–5–1 المكونات البسيطة المستعملة في تحديد العلاقات الطوبولوجية للمعلومات المكانية

– العقد (Nodes) هي بداية أو نهاية الخط أو السلسلة.

– السلاسل (Chains) هي شبيهه بالخطوط حيث تبدأ كل سلسلة بعقدة وتنتهي بعقدة، وهي مستخدمة لتعيين حدود منطقة ما أو عناصر مساحية أو خطوط.

– المضلّعات (Polygons) هي حلقات مغلقة حيث تتكون كل حلقة من عدة سلاسل متصلة مع بعضها بعضاً.

10–5–2 أهم العلاقات الطوبولوجية في أنظمة المعلومات الجغرافية

– علاقة الارتباط والاتصال (Connectivity) هي التي تحدد أياً من السلاسل مرتبطة بأي من العقد.

– علاقة الاتجاه (Direction) هي التي تعرف الاتجاه من عقدة إلى عقدة في سلسلة.

– علاقة الجوار (Adjacency) هي التي تحدد أياً من المضلّعات على يسار السلسة و أي منها على يمينها.

– علاقة الاحتواء (Nested) هي التي تحدد المعالم المكانية الواقعة داخل مضلع ما، ويمكن أن تكون هذه المعالم عقدة أو سلسلة أو مضلّعات.

10–6 نمذجة البيانات (Data Modeling)

المقصود بالنمذجة عمل محاكاة للواقع عن طريق بناء نموذج له (Model) يمكننا من فهم موقف محدد أو يتنبأ بحدوث تغيير فى النتائج المستقبلية الناتجة عن نشاط ما، يكون هذا النموذج عبارة عن مجموعة من الخطوات والقواعد بما فيها القواعد المكانية الخاصة بنظم المعلومات الجغرافية (مثل تحليل الشبكات). وكمثال على ذلك يمكن عمل نموذج رياضى يقوم بتحديد المناطق المخدمة بواسطة خدمة معينة مثل المدارس أو المستشفيات أو أقسام البوليس، وفي بعض الأحيان نجد صعوبة بربط الخرائط بالظواهر الطبيعية المتغيرة مثل كميات مياه الأمطار الموجودة عند نقط محددة، مثل المطارات ومحطات التلفزيون والمدارس. باستعمال نظام المعلومات الجغرافية يمكن ربط الخرائط المكانية مع الظواهر الطبيعية لتحديد الخصائص الطبيعية لهذه المناطق فى مستويين أو ثلاثة أبعاد فى نقط معلومات محددة.

بالنسبة إلى مشروعات نظم المعلومات الجغرافية الصغيرة من الممكن أن تكون كافية لتخزين المعلومات الجغرافية فى ملفات عادية، لكن عندما يصبح حجم البيانات كبير وعدد المستعملين كبيراً من المفضل استعمال برامج إدارة قواعد البيانات (DBMS) لتساعد فى تخزين وتنظيم وإدارة البيانات. نظم إدارة قواعد البيانات هي المختصة بعملية تخزين جميع أنواع البيانات وتنظيمها وإدارتها، ومن بينها البيانات المكانية المستعملة في نظم المعلومات الجغرافية، ولذلك فإن اعتماد أي نظام معلومات جغرافي على نظم إدارة قواعد البيانات يكون اعتماداً أساسياً حيث يحدث

التكامل بين البيانات المرتبة في الجداول التي تتعامل معها نظم إدارة قواعد البيانات بقوة واقتدار وبين البيانات الجغرافية ممثلة في الخرائط وصور الأقمار الصناعية التي يختص نظام المعلومات الجغرافي بإدارتها والتعامل معها. هناك تصميمات عدة لنظم إدارة قواعد البيانات (DBMS). أما في نظم المعلومات الجغرافية فلها تصميم خاص بحيث تُخزن البيانات في صورة مجموعة من الجداول وتستعمل الحقول الشائعة (أي الموجودة في عدة جداول وتسمى المفتاح الأساسي (Primary Key)) للربط بينهم مع الاحتفاظ بحقل خاص لكل طبقة من طبقات الخريطة يشير إلى معلم من معالم هذه الطبقة. وهذا التصميم البسيط يستعمل بكثرة بسبب مرونته وسهولة استعماله في كلاً من نظم المعلولات الجغرافية أو غيرها من التطبيقات.

10-7 الاستفسار والتحليل (Data Analysis and Querying)

توفر نظم المعلومات الجغرافية كلاً من إمكانيات الاستفسار، وأدوات التحليل الدقيق لتوفير المعلومات والتحليلات في وقت أسرع لمتخذي القرار. أي أنه يمكن الاستفسار عن معلم محدد عن طريق اختياره ثم نستعرض بياناته، أو يمكن إجراء تحليل واستفسار باستخدام مجموعة من المعايير (criteria)، ثم تستعرض النتائج التي تُظهِر جميع المعالم التي تنطبق عليها هذه المعايير. أصبحت نظم المعلومات الجغرافية منفردة في تحليل البيانات الجغرافية للوصول إلى معلومات يستعان بها في وضع القرارات في المجالات المختلفة وهي القادرة على الإجابة على جميع أنواع الأسئلة سواء الإحصائية أو المرتبطة بالموقع مثل: ما هذا؟ اين يقع؟ ما هو النمط المحدد؟ ما هو نموذج (ماذا لو / ماذا تغير ...الخ)

(Modeling) What If؟ ،What is at؟ ، Where is it؟ ، Where Specific patterns? What has changed?

10-8 المسح الليزري

في السنوات الأخيرة وظفت تقنية المسح الليزري (Laser Scaning) في توثيق التراث المعماري والعمراني بشكل واسع لأغراض تكوين مجسمات ثلاثية الأبعاد (3D Models)عالية الدقة. تعتمد عملية المسح باستعمال الليزر على إرسال مليارات الفوتونات الضوئية (Photons) نحو العنصر الموثق، وبسبب قواعد الانعكاس والانتشار والامتصاص الضوئي فإن نسبة قليلة من هذه الفوتونات يعود إلى المتحسس الخاص بالجهاز اعتماداً على طبيعة السطح العاكس، إذ إن نسبة الفوتونات العائدة من السطح الفاتح تكون اكبر بكثير من تلك العائدة من السطح الداكن.

ومن ثمَّ فالماسح الليزري ثلاثي الأبعاد هو أداة تقوم بتحليل عناصر بنائية أو بيئة عمرانية لأجل تجميع معلومات مكانية تتعلق بشكلها ومظهرها، تليها عملية استعمال المعلومات المجمعة لغرض بناء مجسم رقمي ثلاثي الأبعاد كنسخة للأصل يستعمل في مدى واسع من التطبيقات. يستعمل الماسح الليزري (الشكل 10–10) اشعة الليزر laser beam لقياس المسافات من الماسح إلى الأجسام المرصودة، وهذه الأشعة تكون من نوع الأشعة فوق البنفسجية أو الحمراء المرئية أو تحت الحمراء.

الشكل 10– 10 الماسح الليزري (Scan Station C5)

الطور الرئيسي والنمطي في هذه التقنية يتمثل بتكوين غيمة نقاط للإحداثيات الهندسية لعناصر سطوح الشكل الموثق، وذلك من خلال تسليط إشعاع ليزري نحوها بشكل نبضي أو مستمر، والتي تشكل بواسطتها نماذج رقمية للعنصر الأصلي. إن غيمة النقاط (Point cloud) الناتجة عن أعمال مسوحات هذه التقنية تُعد نوعاً مهماً وأساسياً من مصادر المعلومات المطلوبة للتوثيق العمراني. تتميز هذه التقنية بالسرعة في تحصيل المعلومات ودقتها في النتائج النهائية. بالإضافة إلى ذلك، من خلال عمليات المسح الليزري لكثير من المواقع والمنشآت واللقى الأثرية التاريخية، فإن عدداً كبيراً من البحوث العلمية قد أجريت وتجري لأغراض الصيانة والحفاظ وإعادة الإنشاء، أو للتوثيق المعماري والإنشائي، أو لعمليات التحليل والدراسات العلمية والتاريخية. يمكن إجراء عملية استنساخ مجسمة مطابقة لعناصر حقيقية، أو عملية إعادة إنشاء قطع مفقودة أو متضررة من عناصر بنائية تاريخية (كالقطع المهترئة في قوس أو عمود تاريخي مثلاً) من خلال استعمال المسح الليزري وبمساعدة تقنيات وأجهزة تشكيل المجسمات أو الطباعة ثلاثية الأبعاد (3D printing). تعتمد آلية الطباعة ثلاثية على قذف مادة رغوية أو بلاستيكية في فضاء خاص

بالجهاز لتكوين العنصر المستنسخ، مما يسهل استعمالها بصورة واسعة في ظروف متعددة ولاسيما مع العناصر التراثية القيّمة أو الحساسة أو الدقيقة التفاصيل.

هناك ثلاث أنواع للماسح ثلاثي الأبعاد:

- الماسح الليزري الأرضي الثابت Fix Terrestrial Laser Scanning (الشكل 10–11).
- الماسح الليزري الأرضي المحمول على عربة Mobile Laser Scanning (الشكل 10–12).
- الماسح الليزري الجوي Airborne Laser Scanning (الشكل 10–13).

الشكل 10– 11 الماسح الليزري الأرضي الثابت

الشكل 10– 12 الماسح الليزري المحمول

الشكل 10– 13 الماسح الليزري الجوي

10–8–1 عناصر المسح الليزري

1– الماسح الليزري (Laser Ranging Sensor /Laser scanning System).

2– نظام التموضع العالمي الدقيق أو التفاضلي (Precision Global Positioning System (DGPS).

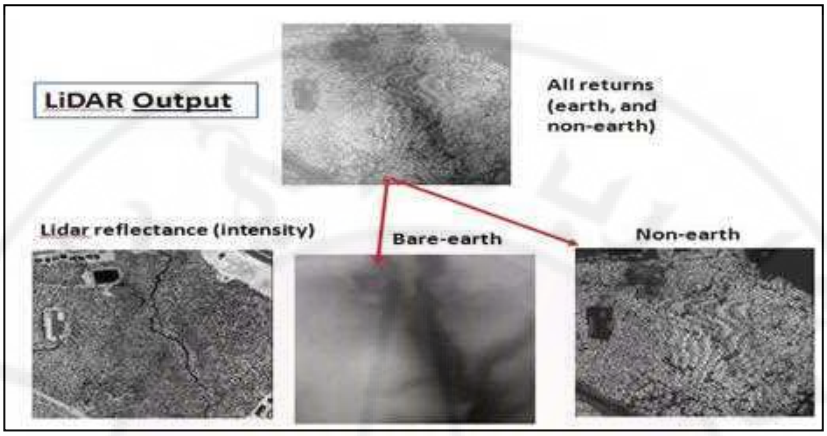
3– نظام الملاحة بالقصور الذاتي (وحدة القياس العطالية) (– Inertia Measurement Unit (IMU) / Inertia Navigation System (INS)).

10–8–2 قياسات الليدر الجوية Airborne Acquisition

يتم المسح الليزري الجوي عبر مجموعة من المسحات المتداخلة قدر الإمكان. يمكن دمج المسح المتعدد Multiple scans إذا ما توفرت ثلاث أو أكثر من النقاط الواضحة المميزة بين المسحيين. بالتطبيق العملي نختار النقاط الأعلى انعكاساً والتي لها مواقع محددة بدقة ووضوح على المسح لضمان الحد الأدنى من توافر النقاط بين المسحيين. هذه النقاط يجب قياسها أيضاً باستعمال نظام التموضع العالمي GPS بشكل منفصل. يمكن لاستعمال الصور المأخوذة من كاميرا ضوئية أو رقمية مركبة بذات تموضع جهاز الماسح الليزري أن تساهم بدمجها بصور المسح الليزري للحصول على صور ملونة للغمامة النقطية.

الخطوة الأولى للحصول على معلومات هامة للخريطة الطبوغرافية من بيانات المسح الليزري هو فصل الأشعة المنعكسة عن اليابسة (hard ground) bare–earth عن باقي الأشعة المنعكسة الاخرى (عن المباني والغطاء النباتي وخطوط الطاقة والسيارات، ...) (الشكل 10–

14). ويتم ذلك عبر برامج فلترة (ترشيح) خاصة وباستعمال تقنية فصل الأشعة المنعكسة الأخيرة (The last return) عن باقي الأشعة.



الشكل 10– 14 مخرجات المسح الليزري الجوي

الناتج عن عملية المعالجة السابقة سيعطي نقاطاً تمثل يابسة الأرض وأخرى غير اليابسة. يدمج هذان المنتجان مع صورة شدة الانعكاس لليدار lidar intensity image ويعالجان لاحقاً للحصول على المعلومات المطلوبة للخريطة الطبوغرافية. يعتبر نموذج الارتفاعات الرقمي (DEM) أحد أهم منتجات المسح الليزري الجوي ويتميز بدقة مكانية عالية مقارنة بنماذج الارتفاعات الرقمية التي يحصل عليها من الصور الجوية أو صور الاستشعار عن بعد (الصور الفضائية) . إن صور شدة الانعكاس تمثل مقياس الانعكاس عن السطوح عند أطوال الموجات المستعملة (الحمراء إلى الأشعة تحت الحمراء) (red to IR)، وتمثل غالباً شدة الأشعة المنعكسة مقارنة بشدة الأشعة الصادرة وغالباً ما يتم استعمالها كخلفية لبقية المنتجات المساحية الناتجة عن المسح الليزري.

10–8–3 دقة المسح الليزري الجوي

إن كثافة الغطاء النباتي ووضعه بالمنطقة المرصودة له تأثير كبير على القياسات، حيث إن بعض الأشعة سوف تمنع من الوصول لقشرة الأرض بسبب النباتات. ومن ثمَّ فإن وجود نقطة كل 1 متر كمعدل وسطي لتوزع النقاط المرصودة لن يكون كافياً وقد نحتاج لأكثر من نقطة أو لأقل بعد نقطي. معروف أن الليدر افضل من المسح التصويري (الفوتوغراميتري) التقليدي لتحديد شكل سطح القشرة الأرضية تحت الغطاء النباتي حيث إن اشعة الليزر لها قدرة أعلى على

اختراق الغطاء النباتي على الرغم من تعدد الارتدادات التي قد تواجهها بطريقها وهذا الأمر يتطلب كثافة أكبر للنقاط المرصودة أو بمعنى آخر بعداً وسطياً أقل للنقاط.

10–8–4 المسح الأرضي Terrestrial Acquisition

في المسح الأرضي يوضع جهاز الماسح الليزري إما على وسيلة نقل متحركة (سيارة، موتور، قارب) أو على ركيزة أرجل ثابتة tripod. وبما أنّ مدى رصد الأهداف أقل بكثير مما هو بالمسح الجوي فإن الكثافة النقطية سوف تكون أعلى بكثير (اكثر من بضع نقاط للسنتيمتر المربع الواحد). واقعياً هذا الشيء محدود بقطر تقاطع أشعة الليزر مع الجسم، فعلى سبيل المثال: إذا كان قطر تقاطع الشعاع مع الهدف بعرض 5 ملم فعندها رصد نقاط كل 1 ملم يعتبر أمراً غير ذي فائدة ومضيع للوقت والجهد ولمساحة التخزين.

بالمسح الأرضي المتحرك يجب توفر مجموعة نظم التموضع العالمية ونظم الملاحة بالقصور الذاتي GPS–IMU solution لتعقب موقع الماسح الليزري على وسيلة النقل بشكل دائم خلال عملية الرصد. استخدام هذه النظم مشابه للرصد الجوي لكن مع فارق أن عملية تحديد الموقع بواسطة نظام التموضع العالمي GPS ستواجه عوائق كبيرة نتيجة ضعف الإشارة لوجود الأبنية كعوائق مما يزيد الاعتماد على جهاز وحدة القياس العطالية (القياس الذاتي المستقل) IMU. أما النقاط الثابتة المرصودة عبر نظام التموضع العالمي GPS فتستعمل بهذه الحالة لإجراء التصحيحات وقياس دقة الأرصاد.

إن نقاط التحكم المرصودة باستعمال نظام التموضع العالمي GPS control في المسح الأرضي على ركيزة أرجل ثابتة tripod mounted systems مضافاً إليها نقطة أو أكثر على الأرض تستعمل للتصحيح الهندسي لنقاط الغمامة النقطية. ويمكن أيضاً رصد نقاط التحكم هذه باستخدام الأجهزة المساحية كالثيودوليت وجهاز المحطة المتكاملة. يتم المسح الأرضي الثابت من خلال مسح الواجهات عبر مسحات متعددة وبمناسيب مختلفة وبحيث تغطي كامل المنشأة مع مراعاة ضرورة التداخل بين المسحات.

10–8–5 خطوات العمل لإنشاء نموذج ثلاثي الأبعاد باستعمال الماسح الليزري الأرضي الثابت

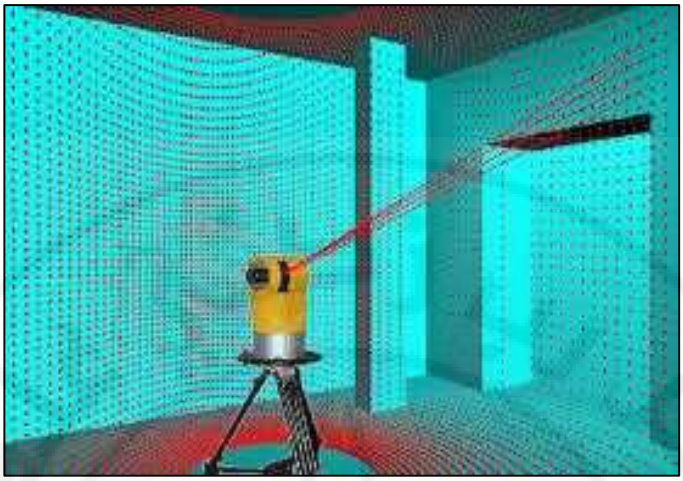
1– لمعرفة احداثيات الغمامة النقطية لابد من معرفة موقع الماسح الليزري (الشكل 10–15) باستعمال نظام التموضع العالمي (GPS) أو بواسطة إنشاء شبكة إحداثيات حول المبنى أو

الجسم المراد مسحه، وذلك باستعمال الثيودوليت، أو جهاز محطة الرصد المتكاملة. يركّز الماسح الليزري على نقاط الشبكة وبذلك نحصل على الإحداثيات الثلاثية لمحطات التمركز والتي يستفاد منها لاحقاً لحساب إحداثيات الأهداف (Target). وفي حال عدم وجود شبكة إحداثيات معلومة، يمكن أن يركّز جهاز الماسح الليزري على محطات حرة، وهذه الطريقة هي المستعملة في حال رصد تمثال أو عمود أثري يُراد إنشاء نموذج ثلاثي الأبعاد له.

الشكل 10– 15 الماسح الليزري الأرضي الثابت على ركيزة

2– تختار نوعية الأهداف (Targets) المناسبة لعملية الرصد، حيث إنه لكل طبيعة عمل أهدافاً خاصة، فمثلاً لرصد مبنى قد يكتفى بالأهداف المسماة أهدافاً داكنة وساطعة (White Black Targets)، وفي حالة مسح تمثال فمن الأفضل استعمال الأهداف الكروية (Spherical) Targets. يتم الرصد على الأهداف التي تُلصق على جدران المبنى أو تزرع حول الجسم المراد مسحه لحساب إحداثياتها استناداً إلى إحداثيات نقاط الشبكة التي رُصدت.

3– مسح الأجسام والواجهات والمباني بواسطة الماسح الليزري ثلاثي الأبعاد (الشكل 10–16)، مع توخي الدقة في التمركز، وأيضاً تحديد الهدف بشكل جيد. كما ينبغي على الراصد أن يختار نقاط تمركزه حول الجسم الممسوح بحيث تؤمن عملية المسح مناطق متداخلة مع بعضها بعضاً وتغطي الجسم كافة بهدف الوصول إلى إنشاء نموذج كامل وزيادة الدقة وتجنب وجود مناطق غير مغطاة جيداً خلال عملية المسح، مما يصعب عملية النمذجة لاحقاً، كما يجب تحديد دقة عمل الماسح الليزري سواء أكانت متوسطة أو عالية... الخ، وكذلك تحديد كثافة المسح وسرعته.



الشكل 10– 16 عملية المسح الليزري

4– عملية تسجيل النقاط من خلال نسب جميع محطات الرصد إلى جملة مركزية واحدة وتسمى هذه العملية عملية التسجيل (Registration).

5– بعد إنجاز عملية التسجيل تأتي الخطوة التالية وهي إزالة الأجسام غير المرغوبة، والتي لا يمكن تجنب رصدها خلال عملية المسح، كالأشجار مثلاً، والأبنية المجاورة، أو السيارات وغيرها من الأشياء التي لا تهم خلال عملية النمذجة (الشكل 10–17).

6– بعدها تتم عملية التجزئة (Segmentation) وهي عملية تجزئة الغمامة النقطية إلى كيانات متعددة وفقاً للاعتبارات الآتية:

آ) أبعادها: فمثلاً في حالة مبنى، تتميز النوافذ والأبواب والجدران والسقف كلٌ على حدة بأبعاده.

ب) الموضع: حيث من الواضح في حال مبنى أن الأرضية تقع أسفل البناء، والسقف فوق الجدران، وهكذا.

ج) الطوبولوجيا: حيث يتقاطع السقف مع الجدران، والجدران تتقاطع مع الأرض وهكذا.

7–عملية النمذجة الهندسية للأشكال إذ تختار الأدوات الأكثر ملائمةً بحيث يحدد لكل شكل جزء من الغمامة النقطية، فلتمثيل عمود أو جائز (beam) مثلاً، نختار الصندوق (Box)، ولتمثيل الأرضية تختار الرقعة (Patch)، وفي حال أن جزءاً من الغمامة النقطية كان قليل الكثافة، فإنه يعتمد في نمذجتها على التصور العام للشكل الممسوح.

الشكل 10– 17 الغمامة النقطية من المسح الليزري

10–8–6 ميزات المسح الليزري

إن إمكانيات هذه التقنية في توفير الجهد والوقت والكلفة مجتمعين مع الكفاءة في تحسين عملية التصميم وتقليل الأخطاء وتحصيل كميات كبيرة من البيانات للمناطق الممسوحة وبسرعة قياسية مقارنة بالطرائق المساحية التقليدية يجعل منها خياراً هاماً ومطلوباً كنتيجة لما تقدمه من منافع وتسهيلات متعددة أكثر مما تقدمه باقي التقنيات والأدوات ويجعل منها أداةً للعديد من التطبيقات في مجالات شتى منها الهندسة المدنية والطرقات والآثار والعمارة. ومع هذا وعلى الرغم من أن هذه التقنية تُعد الأداة التي لايمكن التغلب عليها في حقل تحصيل المعلومات المكانية، إلا أن البرمجيات الملحقة بعمليات تكوين المجسمات لا تزال ضعيفة نسبياً.

10–9 تعريف علم المساحة التصويرية

علم المساحة التصويرية (Photogrammetry) هو علم الحصول على المعلومات الكمية والنوعية (إحداثيات، أبعاد، أشكال...) المتعلقة بالمنشآت أو بالأشياء على الأرض، سواء على هيئة ورقية أو في هيئة إلكترونية (رقمية) من الصور مباشرة دون تجشم عناء العمل الميداني في القياس والتدوين. وعملية التصوير إما أن تكون أرضية فيما يسمى (Terrestrial Photogrammetry) أو جوية فيما يعرف باسم (Aerial Photogrammetry).

والصور المستنتجة من التقنية الأخيرة مربعة الشكل ذات أبعاد قدرها 23سم x23سم، وهي تقنية تعتمد في جوهرها على آلة التصوير الجوي (Aerial Camera) المثبتة في الطائرة والمعايرة بدقة عالية. بعد الحصول على الصور الجوية التي تغطي الموقع المراد مسحه جويًا أو حساب

إحداثيات معالمه المستحدثة منها والطبيعية، تحضر الصور إلى أجهزة بالغة التعقيد لكنها يسيرة التشغيل(analytical or digital plotters)، فتعالج بطرائق علمية محددة، يحصل المستعمل بعدها على بغيته منها في هيئة أرقام أو خرائط إلكترونية أو ورقية حسب التقنية المستعملة.

10–9–1 أنواع المساحة التصويرية من حيث طريقة التصوير

المساحة التصويرية الفضائية (Space Photogrammetry): وهو يمثل صور الاستشعار عن بعد والتي تلتقط بواسطة مستشعرات موجودة على الأقمار الصناعية (الشكل 10–18).

الشكل 10– 18 صورة قمر صناعي من نوع (SPOT XS)

المساحة التصويرية الجوية (Aerial): مجموعة من الصور للمنطقة المدروسة مأخوذة بشكل متسلسل ومتداخل باستعمال كاميرا مترية دقيقة موضوعة بالطائرة ويمكن تقسيمها لاحقاً للصور من طائرات بطيار (الشكل 10–19) أو من طائرات بدون طيار (الدرون) (Drone).

الشكل 10– 19 الصور الجوية

المساحة التصويرية الأرضية (Terrestrial): تؤخذ الصور من أماكن ثابتة (الشكل 10–20)، وغالباً معروفة الموقع (معروفة الإحداثيات)، على أو بالقرب من سطح الأرض وذلك باستعمال كاميرات أفقية المحور أو قريبة للأفقية.

الشكل 10– 20 الصور الأرضية

المساحة التصويرية الأرضية قريبة المدى (Close Range): وتستعمل كاميرات قريبة جداً للجسم المرصود (الشكل 10–21).

الشكل 10– 21 المسح التصويري قريب المدى

10–9–2 أنواع المساحة التصويرية من حيث طريقة معالجة الصور

من أجهزة المسح التصويري المعنية بمعالجة الصوّر ما هو يدوي الطابع (Analog Systems) ، ومنها ما هو تحليلي الطابع (Analytical Systems)، ومنها ما هو رقمي الطابع (Digital Systems). وفي أيامنا هذه تطغى الأجهزة الأخيرة على سابقتها بحكم تطور تقنية الحاسب الآلي، وتطور الصناعة المساحية في كثير من دول العالم. وتعالج تقنية التصوير الأرضي بالطريقة نفسها التي تعالج بها الصور الجوية مع بعض الاختلاف في عملية توجيه الصور (image orientation)، ومع اختلاف ظاهر في التطبيقات الهندسية بطبيعة الحال.

1– معالجة الصور ذات الطابع اليدوي Analog Systems

وهو قسم المساحة التصويرية الذي يشمل كل الطرق والتقنيات لاستخلاص المعلومات من الصور بشكل يدوي اعتماداً على طرائق ميكانيكية وطرائق ضوئية أو طرائق تحوي مزيج منهما. الهدف الأساسي لهذا النوع هو تضبيط أو تهيئة الكاميرا لتحاكي لحظة التقاط الصور، وذلك من خلال تموضعين ويحدث ذلك بالمختبر وعلى نطاق مقياس صغير. إن عملية إعادة ضبط أو تهيئة الكاميرا تجري بواسطة أدوات ضوئية وميكانيكية كما يظهر بالشكل (10–22).

الشكل 10– 22 معالجة الصور ذات الطابع اليدوي

2– **معالجة الصور ذات الطابع التحليلي Analytical Systems**

هو قسم المساحة التصويرية الذي يشمل أيضاً تضبيط أو تهيئة الكاميرا لتحاكي لحظة التقاط الصور خلال الطيران، لكن لايتم ذلك بشكل ميكانيكي(الشكل 10–23). على الرغم من أن هذه الطريقة تستعمل الصور بشكل يدوي أيضاً لكن تعتمد على إعادة تهيئة الكاميرات خلال الطيران بشكل رياضي وباستعمال الحاسب.

الشكل 10– 23 معالجة الصور ذات الطابع التحليلي

3– معالجة الصور ذات الطابع الرقمي Digital Systems

التصوير المساحي الرقمي يستعمل ذات المبادئ الرئيسة الرياضية التي تستعملها الأنظمة ذات الطابع التحليلي ولكن ما يميز هذه الأنظمة عن الأنظمة التحليلية أنها تستعمل فقط صور المسح التصويري الرقمية، فمثلا الصور الرقمية الجوية يمكن ان تكون صور ممسوحة (Scanning) بماسح (سكانر) لصور جوية مأخوذة سابقاً بشكل ضوئي أو ممكن ان تكون صور مأخوذة من كاميرات رقمية (Digital Camera)(الشكل 10–24).

الشكل 10– 24 معالجة الصور ذات الطابع الرقمي

10–10 المساحة التصويرية الجوية

تُعد الصورة الجوية شكل(10–25) تمثيلاً لجزء من الأرض بما يحتوي من معالم من خلال التقاط صورة لهذا الجزء باستعمال آلة تصوير محمولة جواً ، حيث يمكن الحصول من الصورة على معلومات كمية ونوعية لهذا الجزء من الأرض ودرجة الاستفادة من الصورة تعتمد على دقة تمثيل الصورة للمعالم على سطح الأرض والذي يعتمد على أمور كثيرة من أهمها الوضع الذي تكون فيه آلة التصوير اثناء التقاط الصورة ودقة آلة التصوير والظروف الجوية.

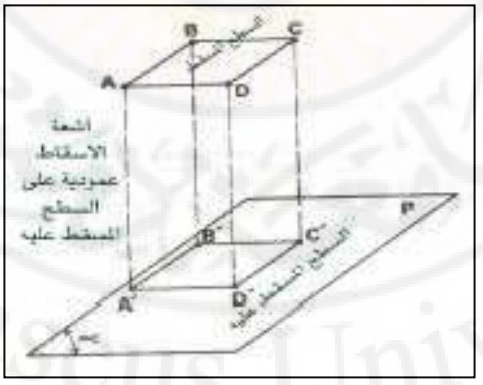
الشكل 10– 25 المساحة التصويرية الجوية

10–10–1 أنواع المساقط

يقصد بالمساقط الطرائق الهندسية المستعملة لتمثيل سطح معين بما يحتويه من معالم على سطح آخر. وتوجد طرائق عدة للإسقاط تختلف حسب السطح المسقط والسطح المسقط عليه ومن هذه الأنواع مايلي:

1– الإسقاط العمودي (Orthognal Projection)

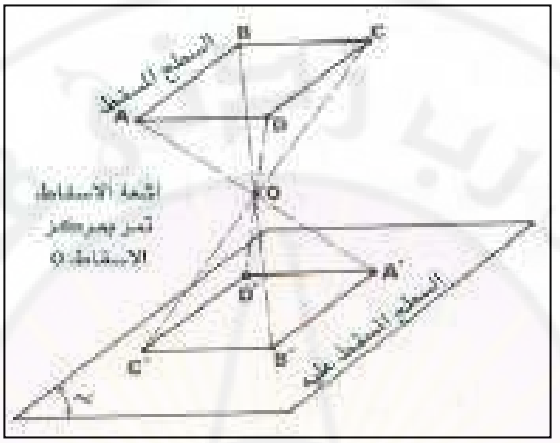
في هذا النوع من الإسقاط، تسقط نقاط السطح المسقط على السطح المسقط عليه بشكل عمودي كما يظهر بالشكل (10–26).



الشكل 10– 26 الإسقاط العمودي

2– الإسقاط المركزي (Perspective Projection)

في هذا النوع من الإسقاط (الشكل 10–27) تسقط النقاط على السطح المسقط عليه بحيث تمر جميع خطوط الإسقاط بنقطة تسمى مركز الإسقاط.



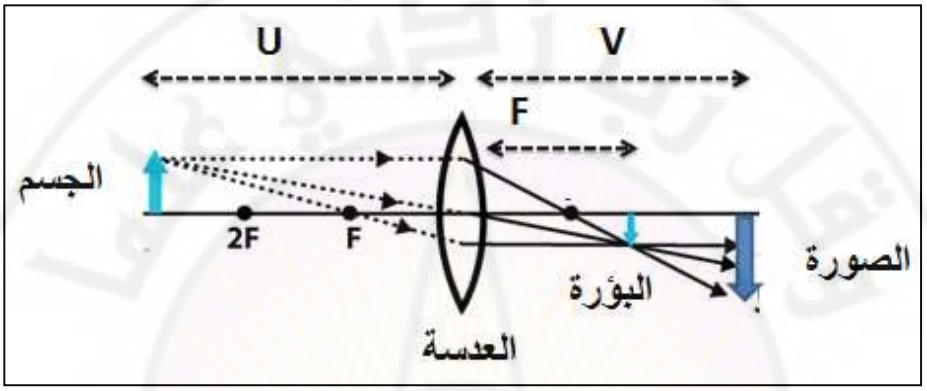
الشكل 10– 27 الإسقاط المركزي

10–10–2 آلات التصوير الجوي

تُعد آلة التصوير الجهاز الرئيسي في عمليات المساحة التصويرية لأنها مصدر الصور التي تجري عليها الدراسة . تشبه آلة التصوير الجوي آلة التصوير العادية في مبدأ عملها، ولابد أن نميز هنا بين آلة التصوير العادية وآلة التصوير الجوي من حيث الغرض من الاستعمال وظروف التصوير شكل(10–28)، حيث يجب أن تحتوي آلة التصوير علي عدسة دقيقة لها قوة تفريق كبير (Rsolving) والتقاط آلي للصور ومحافظة على الاتزان ومقاومة الارتجاج.

الشكل 10– 28 آلة التصوير الجوي

تشبه آلة التصوير ذات العدسة (الشكل 10–29) العين في عملها. إذ تحتوي عين الإنسان على عدسة محدبة وعلى شبكية تقوم مقام الفيلم بالكاميرا، وتنتقل الصورة المتكونة عليها إلى مركز الإبصار بالدماغ عن طريق العصب البصري، وهناك يدمج بين الصورتين المتكونتين في العينين في صورة مجسمة واحدة.



الشكل 10– 29 مبدأ عمل ألة التصوير

يتلخص مبدأ عمل آلة التصوير بتحقيق المعادلة الآتية :

$$\frac{1}{V}=\frac{1}{F}-\frac{1}{U}$$

حيث :

V: بعد الصورة عن مركز العدسة.

F: المسافة بين مركز العدسة وبؤرتها (البعد المحرقي).

U: بعد الجسم عن مركز العدسة.

10–3 تصنيف آلات التصوير الجوي من حيث الهدف أو التصميم

يمكن تصنيف آلات التصوير الجوي من حيث الهدف الذي صممت لأجله إلى قسمين:

– آلة التصوير الجوية الاستطلاعية:

يصمم هذا النوع من آلات التصوير ليعطي صوراً ذات وضوح عالٍ وتغطية كبيرة لاستعمالها في مجال التفسير والتعرف على المعالم الطبيعية والأغراض العسكرية، وغالباً ماتكون الخصائص الهندسية للصور الملتقطة بهذه الآلات منخفضة مما لايسمح بالقياس منها.

– آلة التصور الجوية المساحية:

هي التي تصمم خاصة لالتقاط صور جوية ذات درجة عالية من الدقة الهندسية تسمح بالقياس

الدقيق منها.

تصنيف آلات التصوير الجوي من حيث التصميم

يمكن تصنيف آلات التصوير الجوي من حيث التصميم الي أربعة أنواع:

– آلة تصوير ذات العدسة الواحدة.

– آلة التصوير متعددة العدسات.

– آلة التصوير البانورامية.

– آلة التصوير الشريطية.

1–آلة تصوير ذات العدسة الواحدة

هي أبسط أنواع آلات التصوير الجوية وأكثرها استعمالاً في عمليات المسح الجوي ، حيث إنها تعطي صوراً ذات خصائص هندسية جيدة (الشكل 10–30). وتتركب هذه الآلة بشكل عام من عدسة واحدة وثابتة ذات مستوٍ بؤري يوجد عليه فلم حساس بأبعاد غالباً ماتكون (23سم × 23سم). ويُصنّف هذا النوع من آلات التصوير تبعاً لزاوية مجال الرؤية إلى أنواع عدة كما يظهر بالجدول (10–2).

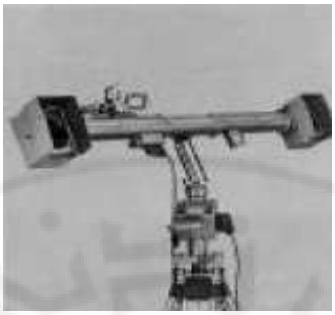
الشكل 10– 30 آلة تصوير ذات العدسة الواحدة

2– آلة التصوير متعددة العدسات

لهذا النوع من آلات التصوير عدستان أو أكثر، ومن ثم يمكن التقاط صورتين أو أكثر، وفيما يتعلق بالأجزاء الرئيسة لهذه الآلة فهي تشابه إلى حد كبير آلة التصوير ذات العدسة الواحدة (الشكل 10–31)، وتجدر الإشارة هنا إلى أن ميزة التقاط عدة صور للأرض في آن واحد تتيح تزويد هذه العدسات بمصافٍ (filters) مختلفة وبأفلام تحسس لمجالات متباينة من الطيف الكهرومغنطيسي، مما يساعد في تفسير وتحليل أدق. يغلب استعمال هذا النوع لأغراض الزارعة والبيئة الجيولوجية.

جدول 10– 2 : أنواع آلة التصوير ذات العدسة الواحدة وخصائص كل نوع واستعمالاته

النوع	زاوية مجال الرؤية α (deg)	البعد البؤري F (mm)	الاستعمال
آلة التصوير ذات مجال الرؤية العادية Normal Angle	60 –70	170 – 305	في الأراضي ذات فروق الارتفاع الكبيرة: اكثر من 10% من ارتفاع الطيران
آلة التصوير ذات مجال الرؤية الواسعة Wide Angle	70 –100	100 – 152	في الأراضي ذات فروق الارتفاع المتوسطة : بين 3 % و 15% من ارتفاع الطيران
آلة التصوير ذات مجال الرؤية الواسع جداً Super–Wide Angle	100 – 135	88.5 – 100	في الأراضي ذات فروق الارتفاع البسيطة: أقل من 5% من ارتفاع الطيران



الشكل 10– 31 آلة التصوير متعددة العدسات

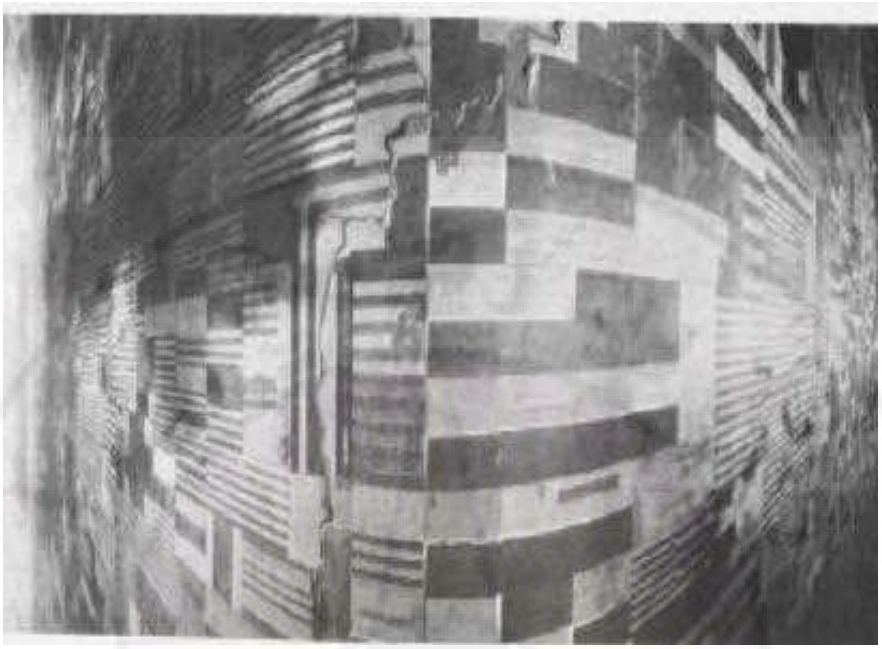
3– آلة التصوير الشريطية

تلتقط آلة التصوير الشريطية صورة متواصلة لشريط طولي من الأرض تحت مسار الطائرة. تتم هذه العملية بواسطة مرور الفلم فوق شق طولي ضيق عند المستوي البؤري بسرعة تساوي معدل سرعة حركة الطائرة، وقد تستعمل آلة التصوير الشريطية عدستين مركبتين بحيث تكتسب الصورة الناتجة صفات الصورة التجسيمية. يستفاد من هذا النوع بشكل خاص في المشاريع الطولية مثل الطرق وخطوط الانابيب (شكل10–32).

الشكل 10– 32 آلة التصوير الشريطية

4– آلة التصوير البانورامية

يسمح هذا النوع من آلات التصوير بتغطية للأرض المراد تصويرها تمتد من أقصى اليمين عند خط الأفق إلى أقصى اليسار عند خط الأفق وبشكل متعامد على خط الطيران (شكل10–33).



الشكل 10– 33 آلة التصوير البانورامية

10–10–4 تطبيق قانون العدسات العام في حالة الصورة الجوية

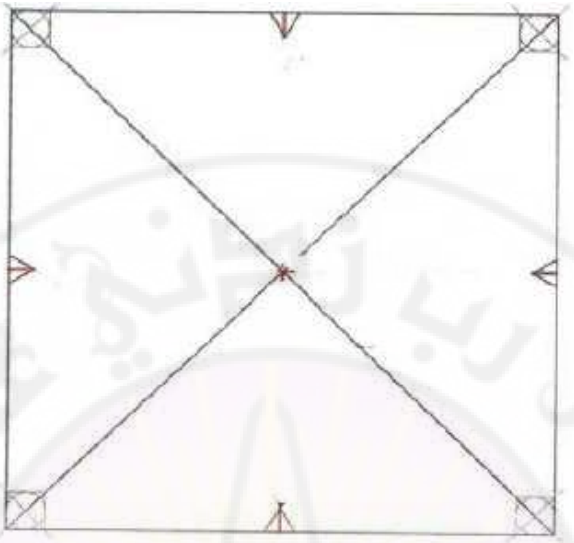
في التصوير الجوي تكون مسافة المعالم بعيدة جداً عن مركز التصوير لذلك يمكن اعتباره في اللانهاية، وعليه فإن بُعد أوضح صورة عن العدسة يساوي البعد البؤري للعدسة، وعلى هذا الأساس يوضع الفيلم في المستوي البؤري للعدسة في التصوير الجوي.

$$\frac{1}{V}=\frac{1}{F}-\frac{1}{U}=\frac{1}{F}-\frac{1}{\infty}=\frac{1}{F}-0$$
$$\Rightarrow V=F$$

10–10–5 المعلومات التي تسجل على الصورة الجوية

تسجل آلة التصوير الجوية معلومات مهمة على الصورة تفيد أثناء استعمال الصورة، وتختلف طريقة التصوير من آلة إلى أخرى ومن هذه المعلومات مايلي:

1– علامات إطار الصورة (Mark– Fiducical): هي أربع علامات مميزة تقع عادةً في أركان الصورة أو في منتصف جوانب الصورة، وأحياناً تحتوى الصورة على كلا النوعين (الشكل10–34)، ويتحدد بواسطة هذه العلامات النقطة الأساسية للصورة (مركز الصورة).



الشكل 10– 34 علامات إطار الصورة

2– رقم الصورة ورقم خط الطيران: يُسجل رقم الصورة ورقم خط الطيران من عداد خاص، ويستعملان في تحديد موقع الصورة وتتابعها مع الصورة الاخرى.

3– رقم ونوع آلة التصوير: يُسجل رقم آلة التصوير يتم تسجيله على الصورة للرجوع إليه عند الحاجة إلى تقرير المعايرة الخاص بآلة التصوير.

4– البعد البؤري وارتفاع الطيران: يسجلان للاستفادة منهما في كثير من الحسابات على الصورة

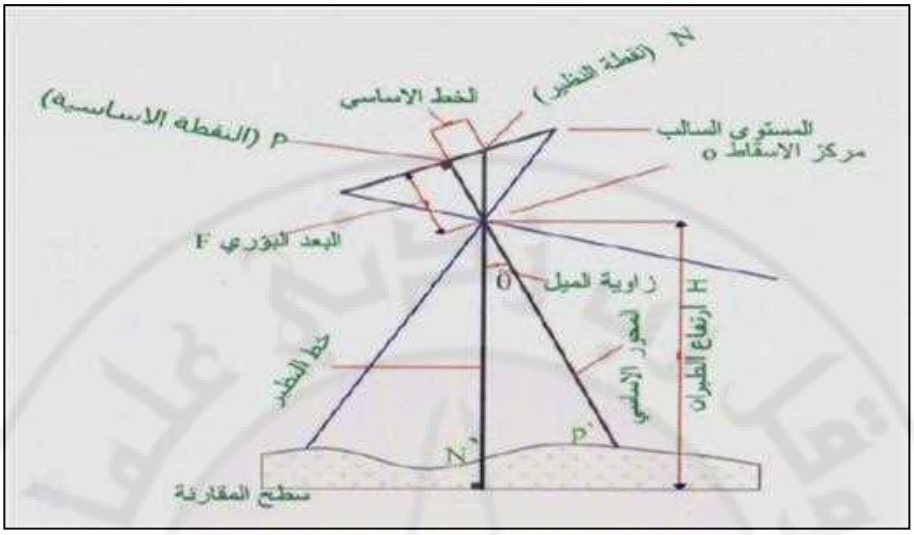
5– مقياس الميل: يستعمل مقياس الميل لمعرفة مقدار ميل محور آلة التصوير أثناء التقاط الصورة.

6– التاريخ: يعدّ تاريخ الصورة مهماً جداً في دراسة ظاهرة معينة خلال فترة زمنية، على سبيل المثال لدراسة بعض أنواع المحاصيل التي تختلف خصائصها من وقت إلى آخر، وكذلك يمكن استعمالها للمقارنات الزمنية.

7– السرعة: الغاية من معرفة وقت التصوير هو الاستفادة من المعلومات المتعلقة بالظلال، وكذلك يمكن استعمال الساعة لحساب سرعة الطائرة.

10–10–6 مصطلحات وتعريفات أساسية لدراسة الصور الجوية:

1– المستوى السالب: هو المستوى الذي يكون فيه اللوح السالب أو الفيلم لحظة التقاط الصورة (شكل 10–35).



الشكل 10– 35 مصطلحات وتعريفات أساسية لدراسة الصور الجوية

2– مركز الإسقاط (O): هو النقطة التي تمر فيها جميع الأشعة الصادرة من الأرض لتسقط على الفيلم (المركز الضوئي لعدسة آلة التصوير).

3– ارتفاع الطيران (H): هو ارتفاع مركز الإسقاط عن مستوى المقارنة.

4– البعد البؤري (F): هو المسافة العمودية بين المستوى السالب ومركز الإسقاط ويسمى أيضاً المسافة الأساسية (C).

5– النقطة الأساسية (P): هي النقطة الناتجة من الإسقاط العمودي لمركز الإسقاط على اللوح السالب.

6– نقطة النظير (N): هي نقطة تقاطع الخط العمودي على سطح الأرض والمار بمركز الإسقاط على المستوى السالب. وتتطبق هذه النقطة على النقطة الأساسية عندما تكون الصورة رأسية تماماً.

7– الخط الأساسي: هو المسافة بين النقطة الأساسية ونقطة النظير على المستوى السالب.

8– خط النظير: هو الخط العمودي على سطح المقارنة ويمر بمركز الإسقاط حتى يتقاطع مع المستوى السالب.

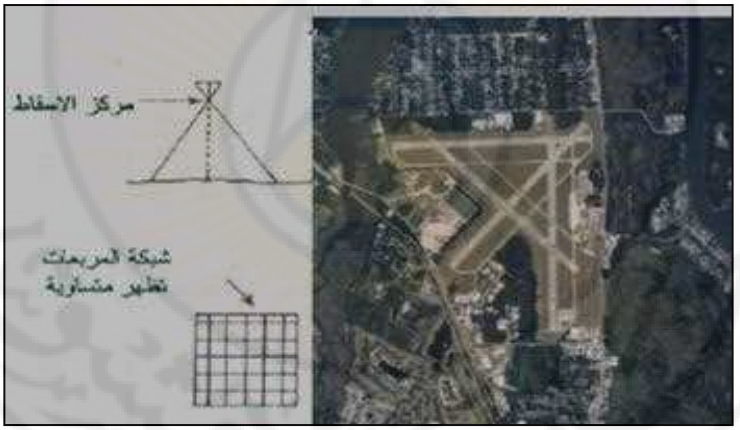
9– المحور الأساسي: هو محور آلة التصوير، ويمثل الخط العمودي على المستوى السالب ويمر بمركز الإسقاط .

10– زاوية الميل (θ): هي الزاوية المحصورة بين المحور الأساسي وخط النظير.

10–10–7 أنواع التصوير الجوي

1– التصوير العمودي أو الصور الرأسية (Vertical air photos)

في عملية التصوير هذه توجه آلة التصوير من الطائرة بصورة عمودية إلى الأسفل، والطائرة في طيران أفقي (مستقيم) مما يؤدي إلى إنتاج مسقط أفقي للأرض. إن الصورة الناتجة تسمى التصوير العمودي، وهي التي تستعمل لإعداد الخرائط من صور جوية، كما أنه النوع الذي يوزع عموماً بصورة أكثر لإكمال معلومات الخريطة (الشكل 10–36). عملياً لايمكن الحصول على صور مطلقة رأسية بسبب ظروف التصوير حيث يميل محور آلة التصوير بشكل غير مقصود بزاوية يجب أن لا تتعدى ثلاث درجات مئوية وعندها تسمى الصور قريبة من الرأسية أو الصور غير مقصودة الميل (Tilted Photograph) وهو أفضل أنواع الصور للأغراض المساحية، وهي المستعملة لإنتاج الخرائط التفصيلية والطبوغرافية ويمكن تطبيق العلاقات وقوانين الصور الرأسية عليها للأعمال التي لا تتطلب دقة عالية.



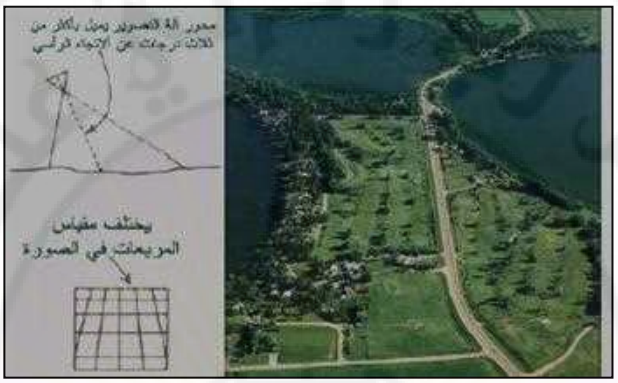
الشكل 10– 36 التصوير العمودي أو الصور الرأسية

2– التصوير المائل

في عملية التصوير المائل توجه آلة التصوير بجهة مائلة نحو الأرض وتسمى الصورة الناتجة التصوير المائل، وهي تعرض منظراً جانبياً مشابهاً لذلك الذي نحصل عليه من قمة تل عالٍ أو برج مرتفع، وتستعمل الصور المائلة بصورة رئيسة لأغراض الاستخبارات لتغطية أهداف خاصة، ولإعداد مناظر جانبية يمكن الحصول من خلالها على معلومات اضافية، وعملية التصوير المائل على نوعين: التصوير المائل بزاوية منخفضة والتصوير المائل بزاوية عالية.

2–1 الصور المائلة بزاوية منخفضة (Low–oblique)

في عملية التصوير هذه توجه آلة التصوير بميلان حادٍ إلى الأسفل ولا يظهر خط الأفق مطلقاً في الصورة الناتجة والتي تسمى صورة مائلة بزاوية منخفضة. تشاهد معظم الاهداف في منظر جانبي أكثر أو أقل رغم أن الأهداف في مقدمة الصورة تشاهد بمرتسم (الشكل 10–37).



الشكل 10– 37 الصور الجوية قليلة الميل

2–2 الصور المائلة بزاوية عالية (High–oblique)

في عملية التصوير المائل هذه توجه آلة التصوير إلى الأسفل قليلاً فقط، وستشمل الصورة الناتجة على خط الأفق دائماً وتسمى صورة مائلة بزاوية مرتفعة (الشكل 10–38)، ويجب الانتباه إلى أن المصطلحين (منخفض) و(عالي) ليس لهما دلالة إلى ارتفاع الطائرة فوق الأرض، لكن دلالتها هي فقط بالنسبة إلى زوايا آلة التصوير.

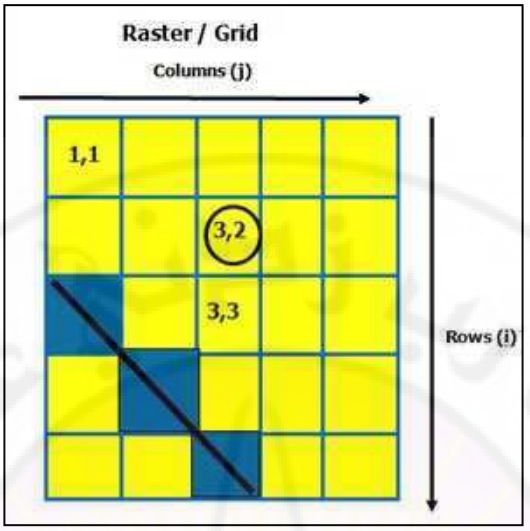
الشكل 10– 38 الصور الجوية شديدة الميل

10–10–8 الصورة الرقمية

هي مصفوفة من القيم ذات بعدين (صف وعمود)، وكل عنصر يطلق عليه أسم البيكسل (Pixel)، وهو عنصر الصورة والمكون آلياً لها (الشكل 10–39). البيكسل يحمل معلومات تمثل قيم الكثافة أو مستويات اللون الرمادي، وهذه المستويات نسبة إلى نفس النقطة في الصورة الفوتوغرافية، وقيمة البيكسل التي يحملها تعتمد على نوع جهاز التسجيل (المستشعر)، وكذلك على جهاز الحاسب الآلي المستعمل. وهذه القيم هي عبارة عن 256 قيمة تبدأ من الصفر حتى255، وهذا التدرج في الترقيم هو التدرج في مستويات اللون الرمادي، حيث يمثل الرقم صفر اللون الأسود ويمثل الرقم 255 اللون الأبيض.
تعرف إحداثيات الصورة الرقمية بنظام إحداثيات البيكسل، وهذا النظام غالباً ما تكون نقطة الأصل له في الركن العلوي الأيسر في الصورة الرقمية، ويكون المحور السيني x باتجاه اليمين، المحور الصادي y باتجاه الأسفل من نقطة الأصل، ويمكن أن يطلق على المحور السيني الصف و المحور الصادي العمود .

درجة وضوح الصورة الرقمية هي مقياس لدرجة أو حد الصورة ويعبر عنها بالنقطة لكل بوصلة أو بالرمز (dots dpi)، وكلما كانت الصورة ذات وضوح عالٍ كانت الصورة ذات حدة عالية. وعندما نقول dpi فإننا نقصد بذلك عدد البيكسلات الموجودة في كل بوصلة من الصورة الرقمية وفي الاتجاهين الأفقي والعمودي.

الوضوح الطيفي للصورة يدل على عدد نطاقات الطول الموجي المستعمل في الطيف الكهرومغنطيسي التي تتحسسها الكاميرا الرقمية. أماالوضوح المكاني فهو مقياس لأصغر بعد زاوي أو خطي بين الأجسام والتي يمكن لجهاز الاستشعار أن يحللها أو يفرق بينها، ونستطيع رؤيتها على الصورة، يقاس الوضوح المكاني في التصوير الجوي بعدد الخطوط الواضحة لكل ملمتر خط /ملم على الصورة. في أنظمة الاستشعار المستعملة حالياً في المساحة التصويرية الرقمية (مثل الأقمار الصناعية والكاميرا الرقمية) فإن الوضوح المكاني هو إسقاط البكسل على الأرض (نقطة التصوير) وغالباً لابد من ان تكون درجة الوضوح المكاني أصغر من نصف حجم أصغر جسم يراد تصويره، وهذا لأننا لا نضمن احتواء البيكسل لكل أجزاء الجسم لحظة التصوير.



الشكل 10– 39 الصورة الرقمية

10–11 خصائص الصور الجوية

- التداخل في الصور الجوية
- الإبصار المجسم

1– التداخل في الصور الجوية:

تتم عملية التصوير من الطائرات تبعاً لنظام يسمح بوجود تداخل طولي بين كل صورتين بنسبة 60% مما يسمح بوجود ثلاثة نقط متتالية على الصورة الواحدة، ويسمح هذا التداخل بالرؤية المجسمة من خلال الاستريوسكوب. أما اذا كان التداخل فقط في حالة الموزييك فيكفي أن يكون التداخل 20 – 30 %. وإذا كان للرؤية المجسمة يجب ان يكون التداخل بين 50 – 70%.

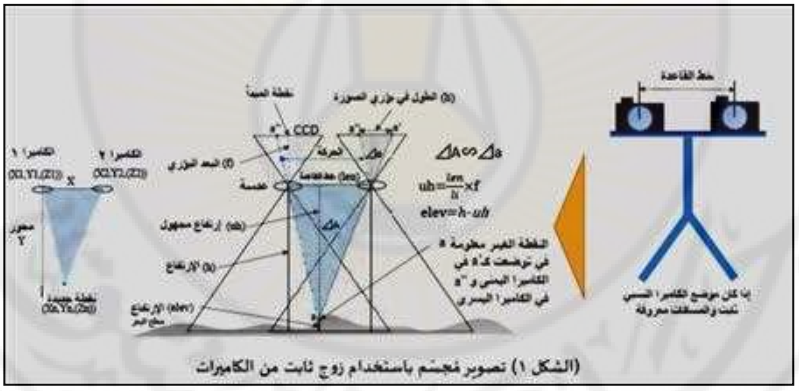
2– الإبصـــار المجسم:

الإبصار المجسم هو قدرة من الله أعطاها لنا كي نرى الظواهر الجغرافية بأبعادها الثلاثة، حيث حبانا الله بعينين لاعين واحدة حتى نتمكن من رؤية الأشياء مجسمة (طول، عرض، ارتفاع)، فالعين الواحدة لا تمكننا من الإبصار المجسم. إن فكرة التجسيم تتبع من مصدري الإبصار (العينين) حيث تتقابل صورتا الهدف (الظاهرة) بزاويتي إبصار من وضع العينين المتباعدتين والتي تسمى قاعدة الإبصار ثم يقوم المخ بترجمة الصورتين لصورة واحدة، ويعد هذا

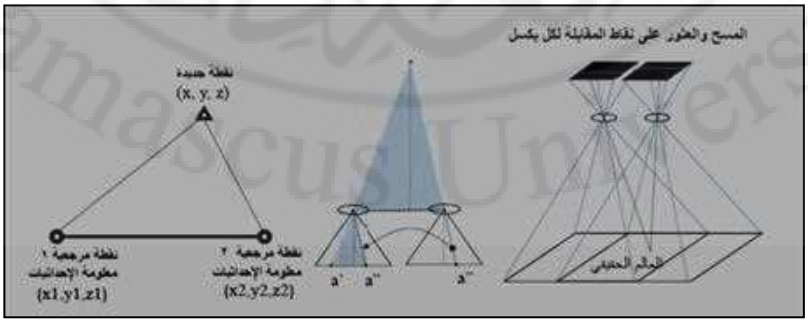
العمل التصويري المجسم للعين عادياً حيث تشعر العين بالتجسيم، ومن ثمَّ تشترك العين مع عصب الإبصار ومركز الإبصار في المخ لأداء تلك المهمة.

3– التثليث

إن المبدأ الأساسي في التصوير هو التثليث، لأنه يوضح العلاقة الهندسية بين نظام المجسم للكاميرا والتي تم تثبيت وضعيتها، ومن ثمَّ فانه يمكن حساب إحداثيات النقاط غير المعلومة بسهولة إذا كان تموضع اتجاه الكاميرا معلوماً تماماً (الشكل 10–40). النقطة غير المعلومة (a) توضعت في الموقع ('a) على يمين الصورة وفي الموقع ("a) على يسار الصورة. المثلث المتشكل من النقطة ('a) وعند تحريك النقطة ("a) ومركز العدسة (a∠) والمثلث المتشكل من النقطة ('a) ومركز عدسة الكاميرتين، جميع المثلثات ستكون أشكالاً متماثلة وهكذا. إن تموضع هذه النقاط غير المعلومة يمكن حسابه إذا كانت النسبة بين أبعاد وموقع الكاميرا معلومة، ومن ثمَّ موضع الكاميرا والنقاط غير المعلومة يمكن أن تكون مطابقة لتثليثها العام (الشكل 10–41).



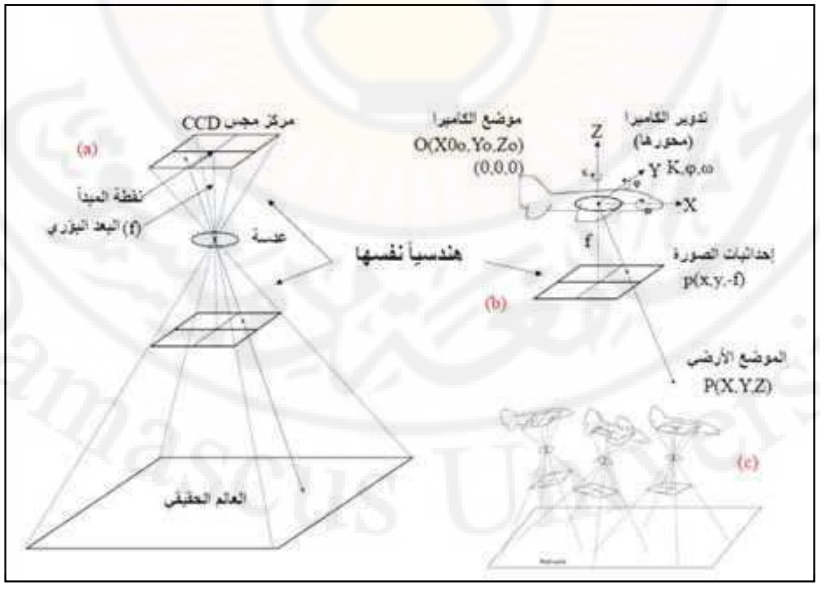
الشكل 10– 40 تصوير مجسم باستعمال زوج ثابت من الكاميرات



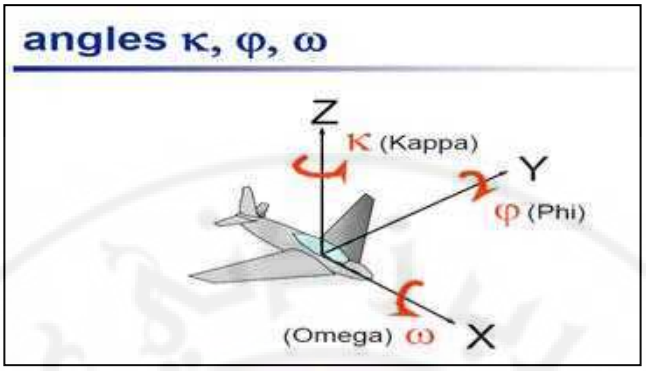
الشكل 10– 41 التطابق مع التثليث

4– التثليث لأزواج من الكاميرات غير ثابتة التموضع

إن هندسة الكاميرات ونقاط القياس تكون متواصلة عندما يكون مكان تموضع الكاميرا ثابتاً كما بالشكل (10–40) السابق، لكن المسألة تصبح أكثر تعقيداً عندما يكون مكان تموضع الكاميرات غير ثابت. كما هو الحال بالقياس باستعمال الصور الجوية، أو الصور المأخوذة بواسطة كاميرات محمولة. في حال كانت الطائرات تطير في ظروف جوية مضطربة فإن الصور الملتقطة لا يمكن أن تكون مثالية، وذلك يؤدي إلى خلل في التوجيه المكاني بين الكاميرات ومن ثمَّ فإن مكان تموضع الكاميرات وتوجيهها سيكون غير معروف، وهذا أمر ضروري من أجل القياس. ومن هنا فإن مصدر القلق يكمن في كيفية تحديد الموقع الدقيق لجميع الكاميرات عند تصوير المنطقة (الشكل 10–42). يمكن تحديد الموقع الهندسي للكاميرا عن طريق إحداثيات موقعها (X ، Y) وتدويرها (K، Φ، ω) (الشكل 10–43)، وأيضاً من خلال معايرة الأخطاء التي تحدث داخل نظام الكاميرا وتسمى العوامل السابقة : التوجيه الخارجي " (Exterior Orientation) وهناك عوامل أخرى تسمى " التوجيه الداخلي" (Interior Orientation)) وتشمل: تحديد البعد المحرقي وأبعاد الحساس الضوئي ومعاملات الزيغ البصري وستشرح بالتفصيل بالفقرات اللاحقة.



الشكل 10– 42 هندسة الكاميرات ومستوى الصورة في الصور الجوية



الشكل 10– 43 زوايا الدوران وعدم ثبات الطائرة

10–12 شـــــروط الرؤية المزدوجـــــــة وأدوات الإبصار المجسم

من شروط الرؤية المجسمة توفر ما يلي:

(1)– يجب أن تغطي الصورتان جزئياً نفس المنطقة.

(2)– أن يكون محورا الكاميرا في مستوى واحد.

(3)– لا يجب أن تكون المسافة بين الصورتين كبيرة.

(4)– أن يكون مقياس الرسم للصورتين متساوياً.

أما العوامل المؤثرة على الإبصار المجسم فيمكن تلخيصها بمايلي:

1–عدم ثبات الطيران أثناء عملية التصوير حيث يؤدي اختلاف الارتفاع إلى اختلاف المساحة التي صُوّرت مع اختلاف مقياس الرسم لاختلاف الارتفاع بين الصورتين مما يؤدي لعدم اندماج الصور المأخوذة، ومن ثمَّ صعوبة الرؤية المجسمة لعدم تساوي الظاهرات.

2– ميل الطائرة يؤدي إلى حدوث ميل لصورة، فلو حدث الميل فسوف يؤدي إلى عدم انطباق النقط بعضها على بعض عن الوضع الحقيقي فيما لو كانت رأسية.

3– انحراف خط الطيران أثناء التصوير.

4– الخطأ في توجيه الصور لصعوبة الرؤية المجسمة لاختلاف توجيه الصورة.

5– الفروق في ارتفاعات المنطقة التي يتم تصورّ حيث يؤدي لإجهاد العينين بسب اختلاف زاويتي الرؤية.

6– عدم الدقة في ضبط الخط الواصل بين عيني الجهاز وخط الطيران، ومن ثمَّ يجب تصحيحه حتى تتلاشى وتظهر الصورة المجسمة.

7– وجود عيوب في بصر المُفسر يؤدي لعدم رؤية الظاهرات بشكل مجسم.

هنالك العديد من أجهزة الإبصار المجسم نذكر بعض منها :

1– الأناجليف: هو نظارة بها عدستين الأولى حمراء تسمح للأشعة تحت الحمراء بالمرور ،والثانية زرقاء تسمح للأشعة الزرقاء بالمرور. ومع دخول برامج نظم المعلومات الجغرافية، انتجت خرائط الارتفاع الرقمية (DEM) والتي نراها مجسمة على الشاشة من خلال الأناجليف.

2– الأستريوسكوب الجيب.

3– الأستريوسكوب ذو المرايا.

4– الأستريوسكوب الكهربائي.

5– أجهزة الإبصار المجسم والتوقيع: نظراً لتطور استعمال الصور الجوية أنتجت أنواع كثيرة أهمها مايقوم بتكبير الأهداف ومدعم بحاسب آلي، ويمكننا مباشرة من تحويل الصورة إلى خرائط رقمية مباشرة، وهي أجهزة كبيرة الحجم وذات تكلفة مرتفعة (الشكل 10–44).

الشكل 10– 44 الاستريوسكوب الزووم

10–13 مقياس الصورة

من الضروري لتفسير التصوير الجوي معرفة مقياسه لأنه بدون هذه المعرفة لا يمكن إجراء أي قياس، وفي حالات عديدة يمكن القبول بمقياس تقريبي، وهذا يمكن الحصول عليه من التفاصيل الموجودة على شريط العناوين، وهنالك عدة طرائق للحصول على مقياس عام للتصوير أو لأي جزء خاص منها. يعرف مقياس رسم الصورة على أنه النسبة العددية بين أي طول على

الصورة وما يقابلها على الأرض (الشكل 10–45). وهنالك العديد من العوامل التي تؤثر على مقياس الصورة كاختلاف التضاريس وميل الصورة وأخطاء العدسة وأخطاء الفيلم وتقوس(كروية) الأرض.

انطلاقاً من تعريف مقياس الرسم وقانون تشابه المثلثات يمكن استنتاج قانون حساب مقياس الصورة (S) بالعلاقة :

$$S = \frac{F}{Z} = \frac{F}{H - h}$$

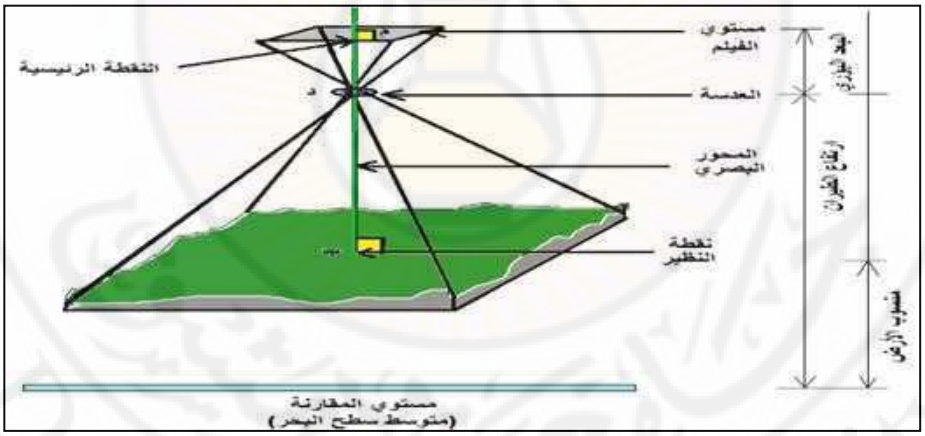
S : مقياس الصورة

F : البعد البؤري للعدسة

H : ارتفاع الطيران فوق مستوى المقارنة

h : منسوب سطح الأرض

Z : ارتفاع الطيران فوق سطح الأرض



الشكل 10– 45 مقياس الصورة فوق أرض مستوية

ونظراً لكون الإسقاط مركزي فمقياس الصورة يختلف باختلاف قرب النقطة وبعدها عن مركز آلة التصوير، أي باختلاف منسوبها. فالنقاط التي لها منسوب أعلى يكون لها مقياس أكبر من النقاط ذات المنسوب الأقل، ومن ثمَّ يمكن حساب مقياس الصورة عند منسوب محدد من خلال العلاقة:

$$S_i = \frac{F}{H - h_i}$$

S_i: مقياس الصورة عند نقطة i

F: البعد البؤري للعدسة.

H: ارتفاع الطيران فوق مستوى المقارنة.

h_i: منسوب النقطة i

ونظراً لتنوع المناطق بين المرتفعات والمنخفضات أدى هذا للتأثير على مقياس الصورة إذ تعد المناسيب عاملاً مهماً في اختلاف المقياس داخل الصورة، ولحل هذه المشكلة تم حساب مقياس الرسم المتوسط بالمعادلة الآتية:

$$S_{av} = \frac{F}{H - h_{av}}$$

S_{av}: مقياس الصورة المتوسط.

F: البعد البؤري للعدسة.

H: ارتفاع الطيران فوق مستوى المقارنة.

h_{av}: منسوب سطح الأرض.

وقد لوحظ أن مقياس الرسم المتوسط أكبر من مقياس الرسم العادي المكون من النقطة الواحدة في المناسيب المنخفضة وأقل من المقياس العادي في المناسيب المرتفعة. كما يمكن حساب مقياس الرسم تقريبياً بدون معرفة البعد البؤري وارتفاع الطيران من العلاقة :

$$S = \frac{L_P}{L_G}$$

S: مقياس الصورة عند الخط المقيس.

L_p: المسافة على الصورة بين نقطتين.

L_G: المسافة الأرضية بين النقطتين.

14-10 بعض المصطلحات المهمة في المساحة التصويرية الجوية

1- **تعديل الصورة (Rectification)**: يعني الحصول من الصورة المائلة على صورة رأسية مكافئة لها ماخوذة من نفس محطة التصوير، ويعني ذلك التخلص من الخطأ في مواقع المعالم على الصورة الناتج من ميل محور آلة التصوير.

2- **الصورة المصححة (Orthophoto)**: يقصد بها الصورة الخالية من الأخطاء بمواقع المعالم على الصورة نتيجة ميل الصورة واختلاف التضاريس مع بقاء الازاحة الناشئة عن بروز المعالم

الصناعية، كجدران الأبنية وأعمدة الكهرباء. ومن ثمَّ فالصورة المصححة تجمع إلى حد بعيد بين الصورة من حيث كمية المعلومات والخريطة من حيث تجانس المقياس.

3– **الموزاييك (Mosaic)**: هو تجميع صورتين أو أكثر لتكوين صورة واحدة متكاملة لمنطقة مغطاة بأكثر من صورة (الشكل 10–46).

الشكل 10– 46 الموزاييك

10–15 الخطوات المتبعة في تخطيط رحلات التصوير الجوي:

لكي تتم عملية التصوير بنجاح وبأقل تكلفة ممكنة يجب اتباع الخطوات الآتية:

1– جمع المعلومات عن المنطقة المطلوب تصويرها.

2– تحديد مقياس الصورة.

3– اختيار آلة التصوير.

4– تحديد ارتفاع الطيران فوق سطح المقارنة.

5– تحديد اتجاه خطوط الطيران.

6– تحديد قيمة التداخل الطولي والجانبي.

7– تحديد عدد الشرائح (خطوط الطيران).

8– تحديد عدد الصور في الشريحة الواحدة.

9– تحديد الزمن بين التقاط الصور.

10– رسم خريطة الطيران.

11– تحديد الوقت المناسب لعملية التصوير.

12– وضع العلامات الصناعية قبل عملية التصوير.

1– جمع المعلومات عن المنطقة المطلوب تصويرها

لابد من دراسة المنطقة المراد تصويرها من حيث حدودها ومساحتها وفروق الارتفاع فيها وتوزيع نقاط التحكم الأرضية والرأسية فيها، ويتم ذلك باستعمال خرائط قديمة للمنطقة أومن صور جوية أو فضائية سابقة أو بزيارة حقلية للمنطقة إذا لم يتوفر لها أياً مما سبق.

2– تحديد المقياس المتوسط للصورة:

يعتمد تحديد المقياس المتوسط للصورة على المقياس المطلوب للخريطة المطلوب إنتاجها من هذه الصورة والفترة الكنتورية للخريطة المطلوبة وجهاز الرسم التجسيمي (Stereoplotter) المستعمل في رسم الخريطة. علماً أن مقياس الصورة أصغر من مقياس الخريطة المطلوبة بحدود (3–5) مرات.

3– اختيار آلة التصوير:

هناك أنواع عدة من آلات التصوير الجوي، ويمكن اختيار نوع آلة التصوير اعتماداً على حقل الرؤية، ويكون الاختيار بما يتناسب مع فروق التضاريس في المنطقة فكلما كان حقل رؤية آلة التصوير أوسع زادت التغطية، ومن ثمَّ يقل عدد الصور وتقل الدقة بالمناطق ذات فروق التضاريس الكبيرة.

4– تحديد ارتفاع الطيران فوق سطح المقارنة :

يعتمد ارتفاع الطيران على المقياس المتوسط المطلوب للصورة والبعد البؤري للكاميرا المستعملة ويحسب من العلاقة :

$$H = \frac{F}{S_{av}} + h_{av}$$

H: ارتفاع الطيران فوق مستوى المقارنة.

S_{av}: مقياس الصورة المتوسط.

F: البعد البؤري للعدسة.

h_{av}: المنسوب المتوسط لسطح الأرض.

ومن ثمَّ بمعرفة المقياس المتوسط والمنسوب المتوسط والبعد البؤري لآلة التصوير المستعملة يمكن حساب ارتفاع الطيران فوق المستوى المرجعي، وباستعمال جهاز الإلتميتر (Altimeter) الذي يستند على مبدأ حساب الارتفاع من الضغط الجوي (QNH) ، أو باستعمال نظام التموضع العالمي (GNSS) يمكن التحكم بارتفاع الطائرة حتى الوصول إلى الارتفاع المطلوب.

5– تحديد اتجاه خط الطيران:

كأن يكون مثلاً وفق خطوط متوازية في الاتجاه شمال– جنوب أو شرق– غرب، ويعتمد تحديد اتجاه الطيران على عوامل عدة منها : اتجاه الريح بالنسبة إلى حركة الطائرة فيؤخذ الاتجاه الاكثر استقراراً لحركة الطائرة، واتجاه تضاريس الأرض حيث يراعى أن يكون اتجاه الطيران موازياً لاتجاه تضاريس الأرض. وفي حالة الاستقرار الجوي وعدم وجود تضاريس معقدة بشكل كبير يُختار خط الطيران باتجاه الضلع الأطول للمنطقة مما يقلل من عدد خطوط الطيران وعدد لفات الطائرة .

6– تحديد قيمة التداخل الطولي والجانبي:

نظرياً يكفي أن تكون صور الشريحة الواحدة متداخلة بنسبة 50% وان تكون الشرائح متلاصقة تماماً ، لكن لكون التصوير يتم من طائرة معرضة للانخفاض عن ارتفاعها والانحراف عن مسارها وبسبب اختلاف تضاريس الأرض لا بد من زيادة هذه النسبة بحيث يكون التداخل الطولي بين (70%–55%) والتداخل الجانبي (30% – 10%). تزداد التكلفة وعدد الصور بزيادة نسبة التداخل، لذلك فالتخطيط الجيد هو التخطيط الذي يختار فيه أقل نسبة تداخل مع ضمان وجود صورتين لكل جزء من المنطقة (الشكل 10–47).

ثمة العديد من العوامل التي تؤثر على قيمة التداخل الطولي والجانبي منها تضاريس المنطقة، حيث تزاد الحاجة إلى زيادة نسبة التداخل كلما زادت الفروق في تضاريس المنطقة. كما يؤثر استقرار الطائرة أفقياً (انحرافها عن مسارها)، ورأسياً (بالانخفاض أو الميلان) في اختيار قيمة التداخل أيضاً، إذ كلما قل استقرار الطائرة كلما زادت الحاجة إلى زيادة نسبة التداخل الطولي والجانبي.

7– حساب عدد خطوط الطيران (No.Flight lines):

يعتمد عدد خطوط الطيران على العوامل الآتية :

– المسافة على الطبيعة التي ستغطّى بشكل خطوط طيران متجاورة ، وسنرمز لعرض المنطقة (Wide).

– الأبعاد على الطبيعة التي تغطيها الصورة، والتي يحددها المقياس المتوسط للصورة المطلوبة (S_{av}).

– المسافة بين خطي الطيران (W) والتي تعتمد على قيمة التداخل الجانبي (S_L).

ومن ثمَّ يعطى عدد خطوط الطيران من العلاقة :

$$N_w = \frac{Wide}{W} + 1$$

N_W: عدد خطوط الطيران.

Wide: عرض المنطقة.

W: المسافة بين خطي الطيران.

تحسب المسافة بين خطي الطيران بدلالة البعد الذي تغطيه الصورة على الأرض ونسبة التداخل الجانبي من العلاقة:

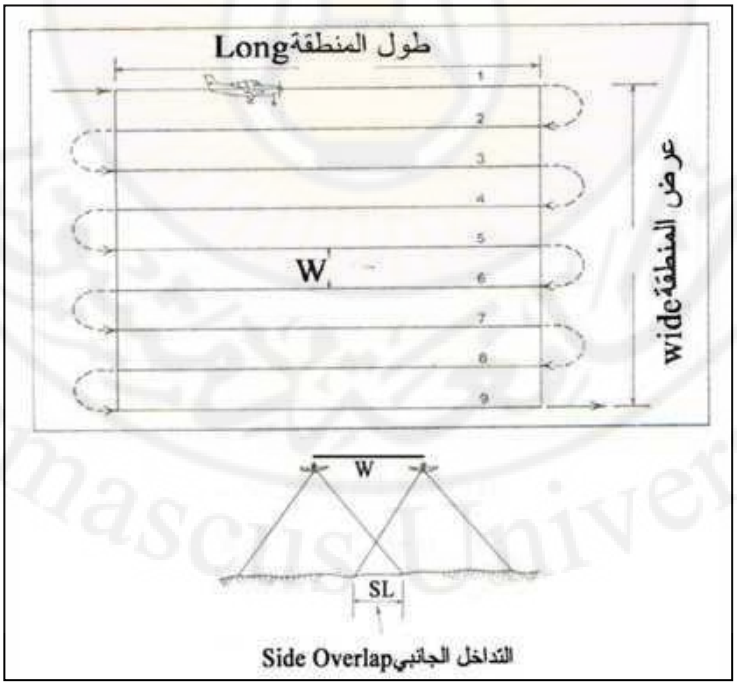
$$W = \frac{Dg \times (100 - S_L)}{100}$$

حيث إن :

W: المسافة بين خطي الطيران.

D_g: البعد الذي تغطيه الصورة على الأرض.

S_L: نسبة التداخل الجانبي.



الشكل 10– 47 المتغيرات التي تحدد عدد خطوط الطيران

بينما يمكن حساب البعد الذي تغطيه الصورة على الأرض بدلالة أبعاد الصورة ومقياس الصورة المتوسط وفق العلاقة :

$$D_g = \frac{d}{S_{av}}$$

D_g: البعد الذي تغطيه الصورة على الأرض.

d: أبعاد الصورة.

S_{av}: مقياس الصورة المتوسط.

تمرين:

احسب عدد خطوط الطيران اللازمة لتغطية منطقة أبعادها (5x6km) بصورة متوسط قياسها (1:2000) علماً أن أبعاد الصورة (23 cm x 23) ونسبة التداخل الجانبي (20%).

الحل:

نحسب البعد الذي تغطيه الصورة على الأرض (D_g) (بالكيلومتر لتجانس الواحدات)

$$D_g = \frac{d}{S_{av}} = \frac{23}{\frac{1}{2000}} = \frac{23 \times 2000}{1} = 46000\,cm = 0.46km$$

حساب المسافة بين خطي الطيران (W) :

$$W = \frac{Dg \times (100 - S_L)}{100} = \frac{0.46 \times (100 - 20)}{100} = 0.368km$$

حساب عدد خطوط الطيران (N_W):

$$N_w = \frac{Wide}{W} + 1 = \frac{5}{0.368} + 1 = 14.58 = 15$$

8– حساب عدد محطات التصوير لكل خط طيران (No.Photos per Strip):

يعتمد عدد محطات التصوير على العوامل الآتية:

– المسافة على الطبيعة التي سوف يغطيها خط الطيران الواحد، والتي هي غالباً طول المنطقة (Long).

– الأبعاد على الطبيعة التي تغطيها الصورة والتي يحددها المقياس المتوسط للصورة.

خط القاعدة الجوي (B) والذي يمثل المسافة بين خطي محطتي التصوير والذي يحدده قيمة التداخل الأمامي أو الطولي (E_L) كما يظهر بالشكل (10–48).

لحساب عدد محطات التصوير (N_P) نقسم طول المنطقة (Long) على المسافة بين محطتي تصوير الطيران (B) ونضيف إليها أربع صور بحيث تكون صورتان في بداية الخط وصورتان في نهايتها للاحتياط، ونقرب النتائج إلى أقرب عدد صحيح.

$$N_P = \frac{Long}{B} + 4$$

N_p: عدد محطات التصوير.

Long: طول المنطقة.

B: طول خط القاعدة الجوي أو المسافة بين محطتي التصوير.

ويتعلق حساب خط القاعدة الجوي (B) أو المسافة بين خطي الطيران بالبعد الذي تغطيه الصورة على الأرض ونسبة التداخل الطولي ويعطى بالعلاقة :

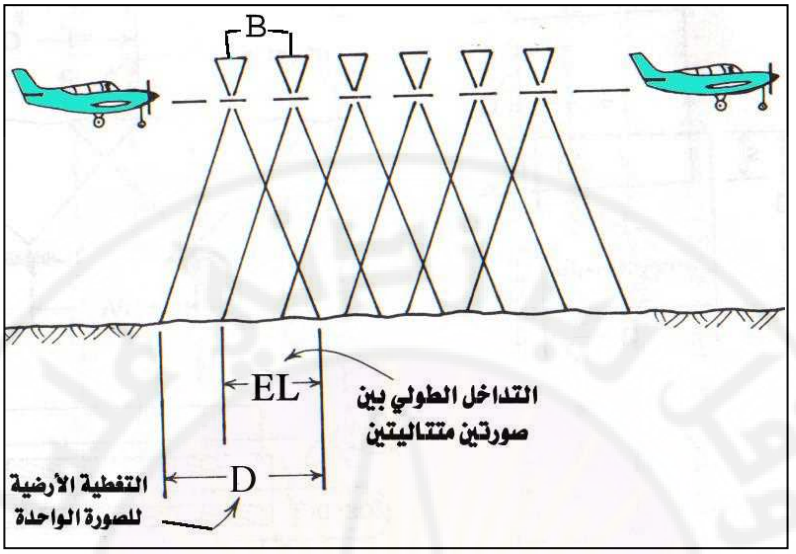
$$B = \frac{D_g \times (100 - E_L)}{100}$$

حيث إن:

B: طول خط القاعدة الجوي.

D_g: البعد الذي تغطيه الصورة على الأرض.

E_L: نسبة التداخل الطولي (الأمامي).



الشكل 10– 48 المتغيرات التي يعتمد عليها عدد محطات التصوير

تمرين:

احسب عدد محطات التصوير لخط الطيران اللازمة لتغطية منطقة أبعادها (5x6 km) بصورة متوسط قياسها (1:2000) علماً أن أبعاد الصورة (23 x 23 cm) ونسبة التداخل الطولي (60%).

الحل:

نحسب البعد الذي تغطيه الصورة على الأرض (D_g) (بالكيلومتر لتجانس الواحدات)

$$D_g = \frac{d}{S_{av}} = \frac{23}{\frac{1}{2000}} = \frac{23 \times 2000}{1} = 46000\,cm = 0.46km$$

حساب المسافة بين خطي الطيران (B):

$$B = \frac{Dg \times (100 - E_L)}{100} = \frac{0.46 \times (100 - 60)}{100} = 0.184km$$

حساب عدد محطات التصوير (N_P):

$$N_P = \frac{Long}{B} + 4 = \frac{6}{0.184} + 4 = 636.6 = 37$$

9– تحديد الزمن بين التقاط الصور:

يعتمد الزمن بين الصورتين على سرعة الطائرة (V) وخط القاعدة الجوي (B)، فإذا كانت السرعة بوحدة (كم / سا) أو (km/h) وخط القاعدة الجوي بوحدة (km) فعندها يعطى الزمن بوحدة الساعة (h) وفق العلاقة:

$$T = \frac{B}{V}$$

أما للحصول على الزمن بواحدة الثانية (sec) فنضرب ب 3600 لتصبح العلاقة كالآتي:

$$T = \frac{B}{V} \times 3600$$

حيث إن :

T: الزمن بين التقاط صورتين متتاليتين.

B: خط القاعدة الجوي (km).

V: سرعة الطائرة (km/h).

10– رسم خريطة الطيران:

ترسم بمقياس يناسب مساحة المنطقة ومساحة الورقة، وذلك حسب الخطوات الآتية:

– اختيار مقياس الرسم المناسب لمساحة المنطقة ولورقة الرسم.

– رسم حدود المنطقة المراد تصويرها على الورقة بمقياس الرسم الذي حُدِّد.

– حساب العرض الكلي الذي سوف تغطيه الصور على الأرض في الاتجاه العمودي على خطوط الطيران وذلك من العلاقة :

$$Wide_P = ((N_W - 1) \times D_g \times \frac{(100 - S_L)}{100}) + D_g$$

حيث إن:

$Wide_P$: العرض الكلي الذي تغطيه الصور.

N_W: عدد خطوط الطيران.

D_G: المسافة التي تغطيها الصورة على الأرض.

S_L: التداخل الجانبي.

– حساب الطول الكلي الذي سوف تغطيه الصور على الأرض في خط الطيران الواحد، وذلك وفق العلاقة الآتية :

$$Long_P = ((N_P - 1) \times D_g \times \frac{(100 - E_L)}{100}) + D_g$$

حيث إن :

$Long_P$: الطول الكلي الذي تغطيه الصور.

N_P: عدد الصور في خط الطيران.

D_G: المسافة التي تغطيها الصورة على الأرض.

E_L: التداخل الطولي أو الأمامي.

– رسم العرض الكلي الذي تغطيه الصور مؤقتاً بموازاة عرض المنطقة بحيث تكون الزيادة متماثلة لطرفي المنطقة المراد تصويرها.

– رسم الطول الكلي الذي تغطيه الصور مؤقتاً بموازاة طول المنطقة، وبحيث تكون الزيادة متماثلة لطرفي المنطقة المراد تصويرها.

– رسم خطوط الطيران بأن يكون الخط الأول والأخير على مسافة (D/2) من طرفي الخط، ورسم بقية خطوط الطيران بحيث تكون المسافة فيما بينها (W).

– تحديد مواقع محطات التصوير بحيث تكون أول محطة وآخر محطة على مسافة (D/2) من طرفي الخط، ورسم بقية محطات التصوير بحيث تكون المسافة فيما بينها (B).

تمرين:

ارسم خريطة الطيران بمقياس (1:35000) لتصوير منطقة أبعادها (2.1 x 2 km) ، علماً أن حساب خطوط الطيران (N_W=5)، وعدد الصور لكل خط (N_P=12)، وأن التداخل الجانبي (S_L=%20)، والتداخل الأمامي (E_L=%60)، ومسافة تغطية الصورة على الأرض (D_g = 0.69km) والمسافة بين خطي الطيران وخط القاعدة الجوي (B=0.276 km).

الحل:

– حساب العرض الكلي والطول الكلي الذي سوف تغطيه الصور على الأرض وفي الاتجاهين وفق العلاقات الآتية :

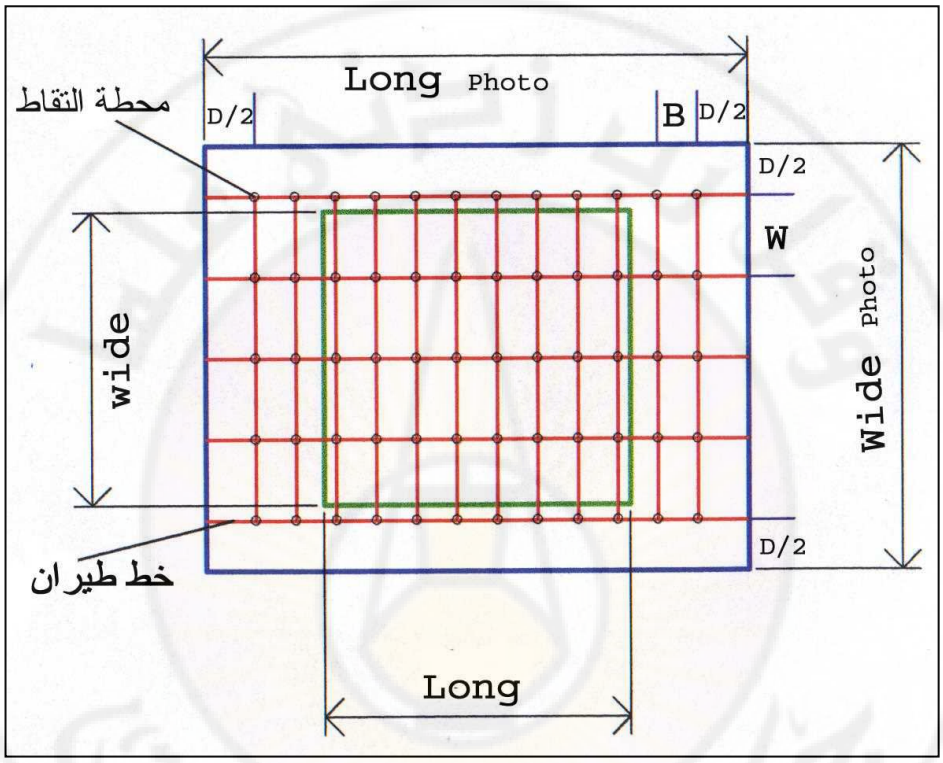
$$Wide_P = ((N_L - 1) \times D_g \times \frac{(100 - S_L)}{100}) + D_g$$

$$Wide_P = ((5-1) \times 0.69 \times \frac{(100-20)}{100}) + 0.69 = 2.898 km$$

$$Long_P = ((N_P - 1) \times D_g \times \frac{(100 - E_L)}{100}) + D_g$$

$$Long_P = ((12-1) \times 0.69 \times \frac{(100-60)}{100}) + 0.69 = 3.726 km$$

ثم تُحوّل المسافات المستعملة في رسم الخريطة إلى المقياس المطلوب وبوحدة (cm) كما بالشكل (10–49).



الشكل 10– 49 خريطة الطيران

11– تحديد الوقت المناسب لعملية التصوير:

يجب عند التخطيط لعملية الطيران الأنتباه إلى أن المعالم تتغير من حيث الإضاءة والظلال خلال فترات اليوم، وتتغير الأحوال المناخية خلال السنة سواءً ما يتعلق بظروف الطيران، كالأمطار والعواصف، أو ما يتعلق بالمعالم نفسها كسقوط الجليد وسقوط أوراق الأشجار وغيرها.

12– وضع العلامات الصناعية قبل عملية التصوير

في الأراضي التي لا تحتوي على معالم طبيعية يمكن تحديدها على الصورة والطبيعة بدقة واعتبارها نقاط تحكم لابد أن توضع علامات صناعية قبل عملية التصوير (الشكل 10–

50) ولكي تظهر في الصورة، وبعد ذلك تقاس إحداثياتها الأرضية. غالباً هناك حاجة إلى هذا النوع من العلامات في الصحارى والمسطحات الخضراء.

الشكل 10– 50 وضع العلامات الصناعية

تمرين

يراد تصوير منطقة أبعادها (3 x 2 km) بصور متوسط مقياسها (1:4000)، علماً أن البعد البؤري (f=152 mm)، وأبعاد الصورة (23 x 23 cm)، ونسبة التداخل الجانبي (15 %)، ونسبة التداخل الامامي (65 %)، ومتوسط ارتفاعات المنطقة (390 m)، وسرعة الطائرة (155 km/h)، والمطلوب:

1– ارتفاع الطيران.
2– المسافة بين خطي الطيران.
3– خط القاعدة الجوي.
4– عدد خطوط الطيران.
5– عدد محطات التصوير لكل خط طيران.
6– الفترة الزمنية بين التقاط الصور.
7– رسم خريطة الطيران بمقياس (1 : 50000).

الحل:

1- حساب ارتفاع الطيران (H):

$$H = \frac{F}{S_{av}} + h_{av}$$

$$H = \frac{0.152}{\frac{1}{4000}} + 390 = 998\,m$$

2- المسافة بين خطي الطيران (W):

$$D_g = \frac{d}{S_{av}}$$

$$H = \frac{23}{\frac{1}{4000}} = 92000\,cm = 0.92\,km$$

$$W = \frac{Dg \times (100 - S_L)}{100} = \frac{0.92 \times (100 - 15)}{100} = 0.782\,km$$

3- حساب خط القاعدة الجوي (B) :

$$B = \frac{Dg \times (100 - E_L)}{100} = \frac{0.92 \times (100 - 65)}{100} = 0.322\,km$$

4- حساب عدد خطوط الطيران:

$$N_W = \frac{Wide}{W} + 1 = \frac{2}{0.782} + 1 = 3.55 = 4$$

5- حساب عدد الصور لكل خط طيران :

$$N_P = \frac{Long}{B} + 4 = \frac{3}{0.322} + 4 = 13.3 = 14$$

6- الفترة الزمنية بين التقاط الصور

$$T = \frac{B}{V} \times 3600 = \frac{0.322}{155} \times 3600 = 7.478\,\text{sec}$$

7– رسم خريطة الطيران: من خلال حساب العرض الكلي والطول الكلي الذي سوف تغطيه الصور على الأرض وفي الاتجاهين

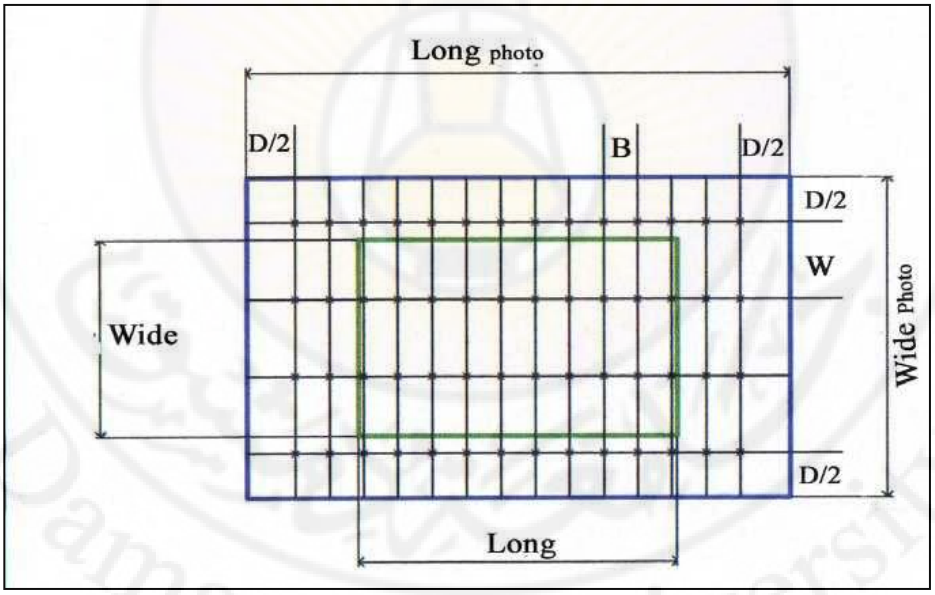
$$Wide_P = ((N_L - 1) \times D_g \times \frac{(100 - S_L)}{100}) + D_g$$

$$Wide_P = ((4 - 1) \times 0.92 \times \frac{(100 - 15)}{100}) + 0.92 = 3.266 km$$

$$Long_P = ((N_P - 1) \times D_g \times \frac{(100 - E_L)}{100}) + D_g$$

$$Long_P = ((14 - 1) \times 0.92 \times \frac{(100 - 65)}{100}) + 0.92 = 5.106 km$$

ثم تُحوّل المسافات المستعملة في رسم الخريطة إلى المقياس المطلوب وبوحدة (cm) (الشكل10–51).



الشكل 10– 51 خريطة الطيران

16–10 عناصر تفسير الصور الجوية

عند تفسير الصور في معظم التطبيقات يجب الانتباه إلى العديد من الخصائص نذكر بعضاً منها:

1– الشكـــل (Shape)

يشير الشكل إلى الظواهر التي نراها من الجو، وتستطيع من خلال الرؤية التفرقة بين ما تصنعه الطبيعة وما يصنعه الإنسان، وعلى ذلك تساعد دراسة الشكل التي تبدو عليه الظاهرات في الصورة الجوية في تفسير ما تتضمنه. فعلى سبيل المثال يمكن لمفسر الصورة التعرف على الطرق ودرجاتها من خلال اتخاذها الشكل الخطي المستقيم (الشكل 10–52) من خلال اتساعها وما قد تتعرض له من انحناءات. كما يمكن مقارنة التدفقات الطينية التي تحمل شكلاً يختلف عن التدفقات المائية. وكذلك يمكن ملاحظة أن الحفر البالوعية دائماً تكون دائرية، والبراكين غالباً ماتميل لشكل المخروطي.

الشكل 10– 52 تفسير الصور لإحدى المطارات من خلال الشكل

إذا كان قارئ الخريطة الكنتورية يستطيع التعرف من خلال خطوط الكنتور على شكل سطح معين، فكذلك قارئ الصورة الجوية يستطيع التعرف من خلال رؤيته للبعد الثالث للأشكال التي عرفها مسبقاً، مثل الهضاب والجبال والتلال والمدرجات النهرية، فيمكن له أن يميز الآثار من خلال اشكالها مثل الأهرام في مصر والبنتاجون بالولايات المتحدة ، حيث تعطي له الصورة البعد الثالث على غير ما اعتدنا عليه في الدراسات الحقلية، حيث مسقط الرؤية جانبي. وعلى الرغم من أهمية الشكل فإننا لا نستطيع الاعتماد عليه بمفرده في التعرف على الظاهرات الطبيعية والبشرية.

2– الحجـم (Size)

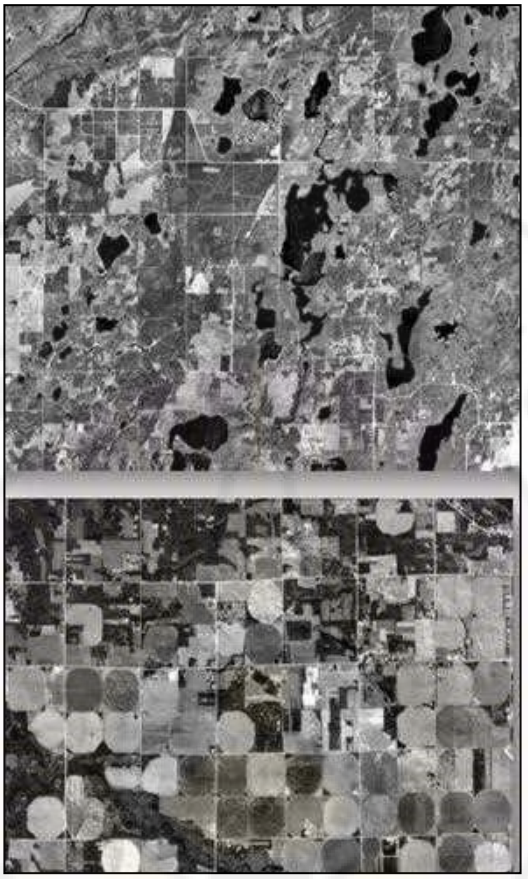
يساعد حجم الأجسام غالباً على تمييز الظاهرات فيما بينها والتعرف على حجم الظاهرة، ولا يفيد في حد ذاته إلا من خلال مقارنتها بغيرها من الظاهرات. ولابد عند دراسة الحجم أن نعرف تأثير مقياس الصورة، فالصورة كبيرة المقاس (1:10000) مثلاً قد تظهر تفاصيل الظاهرة المدروسة، على حين قد تضخم هذه التفاصيل ولا تظهر في الصور صغيرة المقياس

(1:50000) فأكثر (الشكل 10–53). يجب الحرص عند دراسة حجم الظاهرة على أن نعرف موقع الظاهرة داخل الصورة، فالظاهرات التي توجد على أطراف الصورة تكون أحجامها معرضة للتشويه، بسبب ماتعانية من إزاحة تضاريسية وتشوهات الإسقاط المركزي لعدسة التصوير.

الشكل 10– 53 تفسير الصور من خلال الحجم

3– النمط (Pattern)

نقصد به التوزيع المكاني للظواهر، فطريقة انتظام الظاهرات تعطي للقارئ دلالة لتفسيرها والتعريف بها. فعلى سبيل المثال إذا لاحظ قارئ الصورة انتظام توزيع الأشجار في مناطق الغابات، فإن معنى ذلك أنة بصدد منطقة معاد تشجيرها(Replantation)، فهي تختلف عن الغابات الطبيعية غير منتظمة التوزيع، أو عن مناطق الزراعات البستانية المخططة حيث نجد أن هذه الزراعات منتظمة الصفوف والأبعاد (الشكل 10–54). كما قد يُظهر اختلاف النمط في توزيع النباتات في المناطق الطبيعية تأثيرات جيمورفولوجية لها أهميتها. ومن الأمثلة على ذلك دراسة أنماط شبكات التصريف النهري وما تتضمنه من عوامل وتغيرات يمكن الخروج منها بدلالات جيمورفولوجية مهمة عن عوامل الحت، وعن طريقة انتظام الشبكة النهرية هل هي شجرية مثلاً، وعلاقتها بالتركيب الجيولوجي والفوالق والانكسارات، ودراسة تأثيرهم على تحديد مسار الوديان في الشبكة وتوجيهها.



الشكل 10– 54 تفسير الصور من خلال النمط

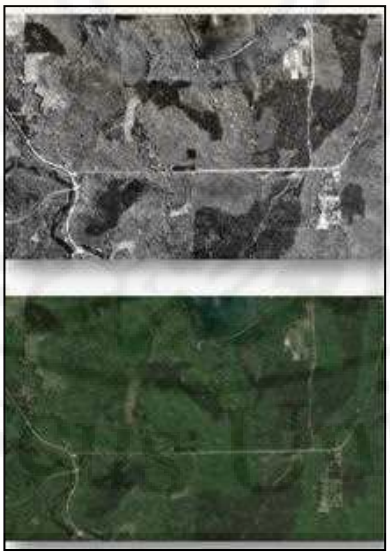
4– الظلال (Shadows)

له أهميته واستعمالاته داخل زوجيات الصورة إذ يعتمد على استعمال الشكل واللون، حيث يساعد الظل في رسم هيكل الظاهرة كما يظهر بالشكل(10–55) نوع الجسر من خلال ظلاله أو من خلال دراسة تأثير المنخفضات والتضاريس الرأسية. تستعمل الظلال للمساعدة في تفسير المناطق المبهمة التي ربما كانت مترابطة مع انزلاقات أرضية وأخاديد، وتكون هذه الظواهر بأحسن مايمكن في الصباح الباكر أو بعد الظهر المتأخر عندما تكون الظلال طويلة. قد تختفي الظلال تماماً من بعض الظاهرات الواقعة داخلها مما يزيد من صعوبة تفسير تلك المناطق، ويُحصل على أفضل تأثير للظلال عندما يتم توجيه الظل في اتجاه قارئ الصورة مما يساعد على إراحة العين واستحالة الحصول على نوع من الإبصار المعكوس للظاهرة.

الشكل 10– 55 تفسير الصور من خلال الظلال

5– درجة اللون (Tone)

يعد اللون أحد المكونات الرئيسة في الصورة الجوية، ويقصد به تدرج اللون الأبيض إلى اللون الأسود. ويمكن ان يكون الاختلاف اللوني راجعاً إلى اختلاف الظاهرة مثل الكثبان الرملية التي قد تبدو بيضاء اللون على حين تبدو مناطق المستنقعات الرطبة سوداء داكنة، أو مثل السهول الزراعية التي تختلف باختلاف محاصيلها، أو مثل الغابات التي تختلف باختلاف نوع الأشجار وعمرها (الشكل 10–56).



الشكل 10– 56 تفسير الصور من خلال درجة اللون

10–17 الإزاحة الناشئة عن التضاريس (Relief Displacement)

تعرف الإزاحة الناشئة عن التضاريس بأنها الاختلاف بين مواقع المعالم على الصورة وبين مواقع مسقطها على سطح المقارنة، وهي ناتجة عن الإسقاط المنظوري للصور (الشكل 10–57). تستعمل هذه الخاصية لقياس ارتفاعات العناصر عن السطح المرجعي، و تكون الإزاحة الناشئة عن التضاريس بشكل شعاعي من مركز الصورة. يكون الموقع الصحيح للنقطة والذي يمثل صورة مسقطها على سطح المقارنة للداخل في حال كون النقطة مرتفعة عن سطح المقارنة، وللخارج في حال كون النقطة منخفضة عن سطح المقارنة. ويمكن باستعمال قوانين المثلثات الوصول إلى علاقة حساب الإزاحة الناشئة عن التضاريس كما يلي:

$$D_i = \frac{L_i \times h_i}{H}$$

الموقع الصحيح للنقطة عن النقطة الأساسية في حال كون الهدف مرتفعاً عن سطح المقارنة:

$$(L_i' = L_i - D_i)$$

الموقع الصحيح للنقطة عن النقطة الأساسية في حال كون الهدف منخفضاً عن سطح المقارنة:

$$(L_i' = L_i + D_i)$$

حيث إن:

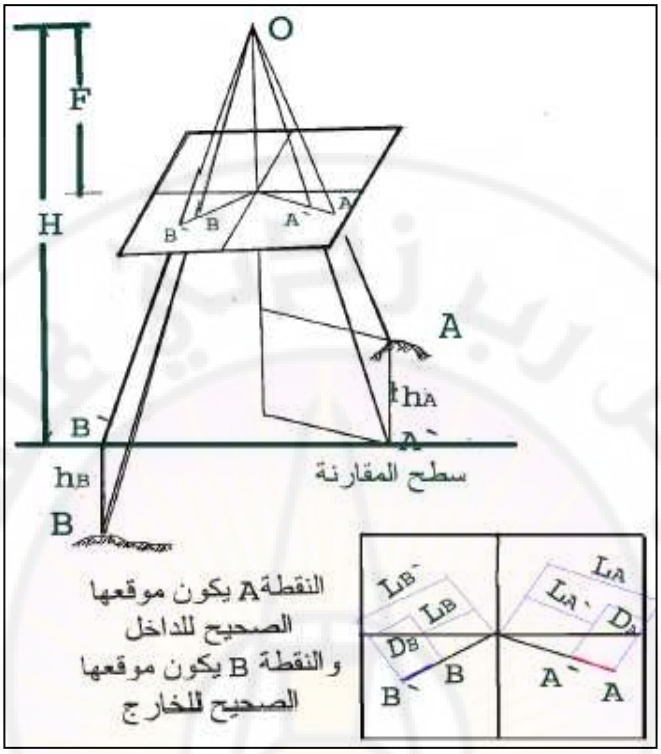
D_i: الإزاحة الحاصلة لموقع النقطة i

L_i: المسافة بين النقطة الأساسية والنقطة i

L_i': المسافة بين النقطة الأساسية وصورة مسقط النقطة على سطح المقارنة i

H: ارتفاع الطيران فوق مستوى المقارنة.

h_i: منسوب النقطة i



الشكل 10– 57 الإزاحة الناشئة عن التضاريس

تمرين

في صورة جوية أخذت من ارتفاع (H=2000 m) فوق سطح المقارنة ظهرت صورتا الهدفين A، B على بعد (8.8 m، 7.5 mm) على التوالي من النقطة الأساسية للصورة. فإذا كان الهدف A مرتفع (h_A=30 m) فوق سطح المقارنة، والهدف B منخفض (h_B=24 m) تحت سطح المقارنة، فما هو مقدار إزاحة كلا الهدفين مع تحديد الموقع الصحيح لكل نقطة عن النقطة الأساسية.

الحل:

$$D_A = \frac{L_A \times h_A}{H} = \frac{8.8 \times 30}{3000} = 0.088\,mm$$

$$L_A' = L_A - D_A = 8.8 - 0.088 = 0.8712\,mm$$

$$D_B = \frac{L_B \times h_B}{H} = \frac{7.5 \times 24}{3000} = 0.06\,mm$$

$$L_B' = L_B - D_B = 7.5 + 0.06 = 7.56\,mm$$

استعمال قوانين الإزاحة في حساب ارتفاع المعالم

يمكن استعمال قوانين حساب الإزاحة في حساب ارتفاع المعالم التي تظهر قاعدتها وقمتها في الصورة (الشكل 10–58)، على اعتبار أن القمة هي النقطة والقاعدة هي صورتها، وأن ارتفاع الطيران فوق منسوب القاعدة، وبذلك يمكن تحويل علاقة الإزاحة الناشئة عن التضاريس لتصبح على الشكل الآتي:

$$h_i = \frac{D_i \times (H - h_i')}{L_i}$$

حيث إن :

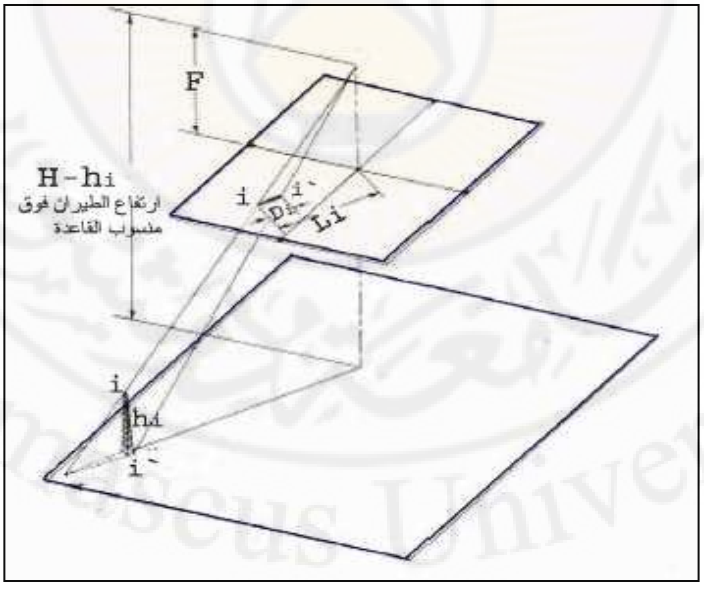
D_i: المسافة بين قاعدةعلم وقمته على الصورة.

L_i: المسافة بين النقطة الأساسية والنقطة i التي تمثل قمة المعلم.

h_i': منسوب النقطة i والتي تمثل قاعدة المعلم.

H: ارتفاع الطيران فوق مستوى المقارنة.

h_i: منسوب النقطة i والذي يمثل ارتفاع المعلم.



الشكل 10– 58 حساب ارتفاع المعالم عن طريق قياس إزاحتها

تمرين

أخذت صورة جوية لبرج من ارتفاع طيران مقداره (H=500 m) فوق مستوي المقارنة. فإذا كان منسوب قاعدة البرج هو (h_i=260 m)، وقيست المسافة بين قاعدة البرج وقمته على الصورة فكانت (D_i=54 mm)، إذا كانت المسافة بين النقطة الأساسية وقمة البرج على الصورة هي(L_i=122 mm)، فاحسب ارتفاع البرج.

الحل:

$$h_i = \frac{D_i \times (H - h_i')}{L_i} = \frac{54 \times (500 - 260)}{122}$$

$$h_i = 106.2m$$

10–18 أهمية الصور الجوية والتي تتمثل بالآتي:

1– تعطي الصور الجوية صورة للتعرف على بعض الاختلافات في أنماط شكل سطح الأرض.

2– تعطي الصور الجوية صورة حقيقية لسطح الأرض ومعالمه.

3– تستعمل في حصر مساحة الأراضي الزراعية.

4– تستعمل في حصر الأراضي وتحديد أنواع التربة.

5– إمكانية استعمال الصور الجوية في المناطق التي يصعب دراستها ميدانياً.

6– تمكننا من التعرف على الوحدات الأرضية وأشكال الأسطح.

7– تعطي الصورة معلومات دقيقة عن مواقع بعض الظاهرات الأرضية.

8– تعد من أرخص طرائق الحصر للمساحات الكبيرة.

9– تستعمل الصور الجوية في إنتاج الخرائط الكنتورية.

10– تستعمل في دراسات التخطيط العمراني والتخطيط الإقليمي.

11– إمكانية استخدام الصور الجوية في دراسات التتبع والمراقبة في الحروب وفي السلم.

12– تدخل موضوعات الصور الجوية ضمن المساحة التصويرية، بحيث تضم:

أ. المساحة التصويرية الأرضية التي تؤخذ من خلال آلة التصوير.

ب. المساحة التصويرية الجوية التي تؤخذ من خلال الكاميرا الموجهة لسطح الأرض بواسطة الطائرات.

10–19 المساحة التصويرية الأرضية (Terrestrial photogrammetry)

وتقسم إلى ثلاثة أقسام رئيسة هي:

1– المسح الأرضي القريب المدى (Close–range photogrammetry): تكون المسافة بين الكاميرا والجسم المرصود بحدود 10–100 متراً.

2– مسح الماكرو الفوتوغرامتري (Macrophotogrammetry) تكون المسافة بين الكاميرا والجسم المرصود بين 0.10 و 0.01 متراً.

3–مسح الميكرو الفتوغرامتري (Microphotogrammetry) عندما تكون الصورة خلال الميكروسكوب (Microscope).

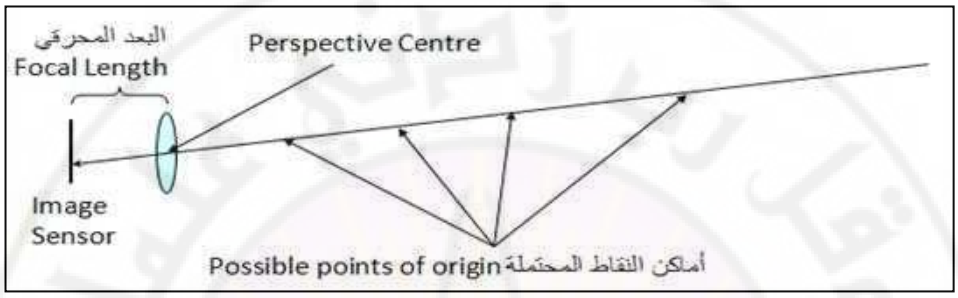
10–19–1 مبادئ المسح التصويري الأرضي القريب الثابت (Close range photogrammetric survey)

إن موقع أي نقطة على الصورة يمكن التعبير عنه بإحداثيات ثنائية الابعاد (y،x). أما موقع أي نقطة بالعالم الحقيقي فيمكن التعبير عنها بإحداثيات ثلاثية الابعاد (y،x، z) كما يظهر بالشكل (10–59).

الشكل 10– 59 موقع نقطة على الصورة وعلى الواقع

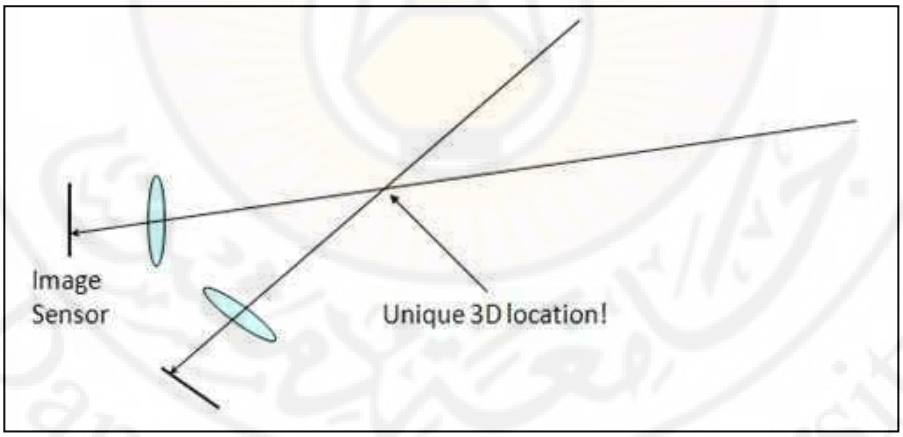
إن المساحة التصويرية القريبة هو العلم الذي يستعمل الصور ثنائية الأبعاد للحصول على قياسات دقيقة ثلاثية الابعاد. وللحصول على ذلك فإن المعلومات التي فُقدت عند التقاط الصورة يجب الحصول عليها مجدداً.

المشكلة: إن الضوء الذي يضرب أي بيكسل بالصورة (الشكل 10–60) يمكن أن يأتي من أي نقطة من الشعاع الواصل للبيكسل من خلال مركز العدسة (perspective centre) إلى الصورة.



الشكل 10– 60 أماكن النقاط المحتملة لنقطة الانعكاس

الحل : إضافة صورة إضافية مأخوذة من مكان مختلف(الشكل 10–61) يسمح لنا بتقاطع الأشعة وتحديد الإحداثيات الثلاثية (3D location) للنقطة التي جاء منها الضوء.



الشكل 10– 61 تحديد النقطة بالابعاد الحقيقية لنقطة الانعكاس

ومن ثمَّ فالمعلومات الواجب توافرها لتحديد التموقع ثلاثي الأبعاد:

1– تموضع مركز منظور كل كاميرا.

2– التوجيه لكل كاميرا حول مركز منظورها.

3– تموضع النقطة في كل صورة من الصورتين.

10–19–2 جمل الإحداثيات بالمساحة التصويرية والتموضع

هناك ثلاث جمل إحداثيات يتم العمل عليها بالمساحة التصويرية كما يظهر بالشكل (10–62)، وهي:

– جملة إحداثيات صورة الكاميرا (Photo coordinate system).

– جملة إحداثيات الصورة (Image coordinate system).

– جملة إحداثيات العالم (World coordinate system).

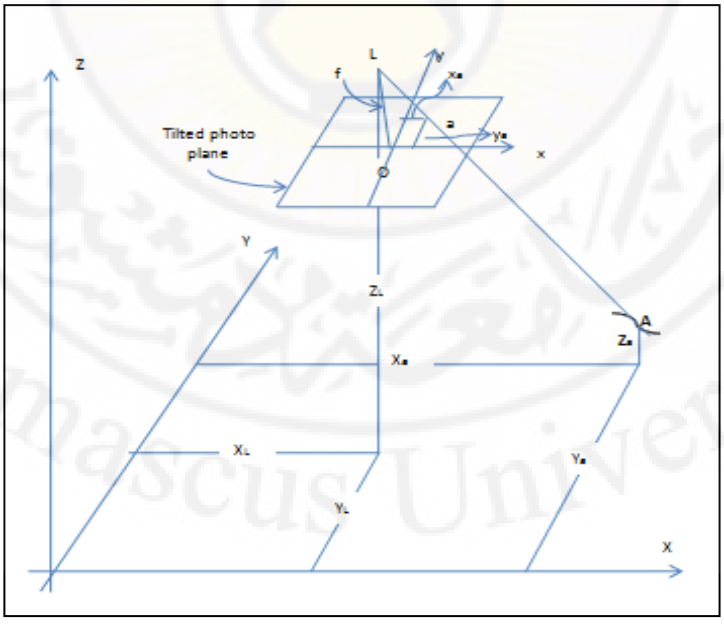
أما تموضع النقطة على الصورة فقد تكون بإحدى الحالتين:

– تموضع النقطة على صورة فوتوغرافية واحدة (Single photograph).

– تموضع الصورة مع مزدوجتي صور فوتوغرافية (Stereo photograph).

10–19–3 علامات الإسناد (العلامات المرجعية) للصورة(fiducial marks)

العلامات المرجعية للصورة هي أهداف صغيرة على جسم الكاميرا المترية بحيث يكون موقعها النسبي لجسم الكاميرا معايراً بشكل صحيح، ومن ثمَّ تستعمل هذه العلامات الإسنادية لتحديد نظام إحداثيات الصورة وبحيث يصبح مركز الإسقاط محدداً ومعروفاً.



الشكل 10– 62 جمل الإحداثيات بالمساحة التصويرية

تشكيل هذه العلامات وتوزعها (الشكل 10–63) مرتبط بالجهة المصنعة للكاميرا. في حال استعمال كاميرا الهواة فإن زوايا إطار الصورة تستعمل كنقاط مرجعية أو نقاط إسناد. العلامات المرجعية بكافة أشكالها تستعمل كوسائل للتحديد الدقيق للنقطة الأساسية.

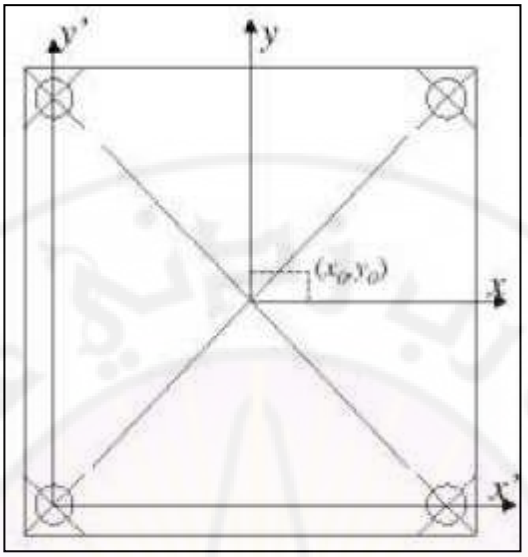
الشكل 10– 63 العلامات المرجعية للصورة

10–19–4 تعاريف الصورة

صورة الكاميرا (Photo) هي ما يؤخذ نتيجة استعمال الكاميرا فقط. أما الصورة (Image) هي أي صورة تمثل أي مظهر على الأرض أو فوق الأرض، فقد تكون مجموعة صور كاميرا متصلة ببعضها أو قد تكون مولفة من عدة أطياف كهرومغناطيسية كصور الاستشعار عن بعد .

10–19–5 جملة إحداثيات صورة الكاميرا (Photo coordinate)

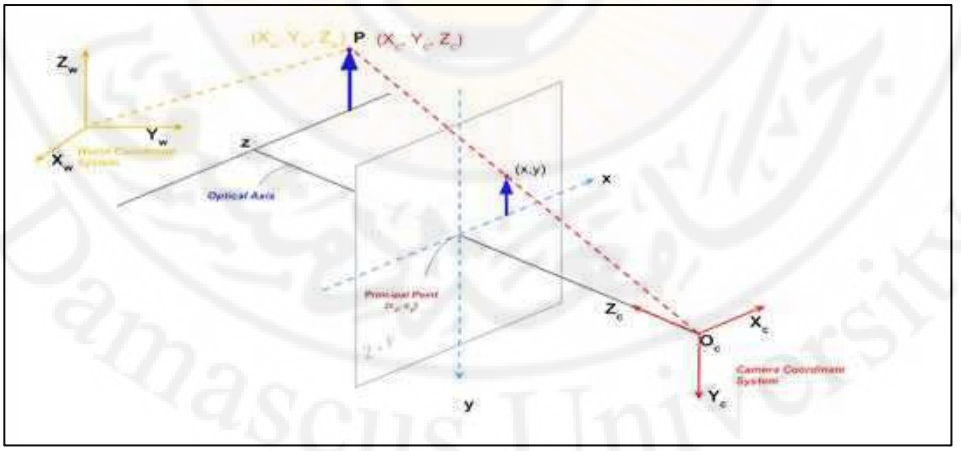
جملة إحداثيات صورة الكاميرا (Photo coordinate) يتم تحديدها من خلال نسبها للنقاط المرجعية أو نقاط إسناد الكاميرا (Fiducial marks) ولموقع النقطة الأساسية التي تحددها جملة احداثيات محددة (X0,Y0) (الشكل 10–64) و تحدد القيم الموجبة للمحور السيني x اتجاه الطيران.



الشكل 10– 64 جملة إحداثيات صورة الكاميرا

10–19–6 جملة إحداثيات الصورة (Image coordinate)

مركز جملة الإحداثيات هو مركز الإسقاط (Projection Centre) كما بالشكل (10–65). الإحداثيات الموجبة للمحور السيني x تمثل اتجاه الطيران بحالة الصور الجوية أما القيم السالبة للمحور الصادي Z فتمثل الاتجاه باتجاه الكاميرا.



الشكل 10– 65 جملة إحداثيات الصورة

10–19–7 العوامل المؤثرة على الصور

هناك العديد من العوامل التي تؤثر على الصورة نذكر منها:

– تشوه العدسات أو الزيغ الضوئي (Lens Distortion).

– الضبابية/ التشويش/الغشاوة الناتج عن الحركة (Motion Blur).

– تشوه وتوجيه طبقة الفيلم الحساسة للضوء (Emulsion distortion and orientation).

– تشوه قاعدة أساس الفيلم (Film base distortion).

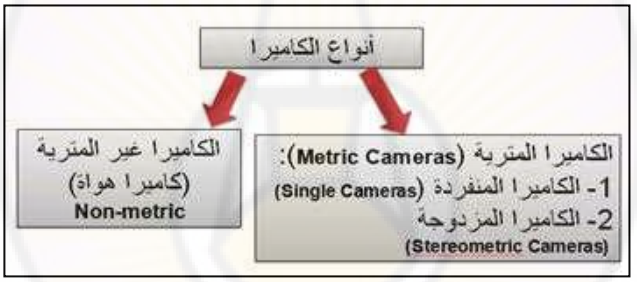
– التبعثر الجوي (Atmospheric scattering): الغيوم والدخان والكوارث وانكسار الضوء (Refraction).

– نقاط تحكم أرضية مناسبة لتموضع الكاميرا وتوجيهها.

– انحناء سطح الأرض (Curvature of Earth's surface).

10–19–8 أنواع الكاميرات

تقسم الكاميرات إلى نوعين أساسيين: الكاميرا المترية وكاميرا الهواة (الشكل 10–66).



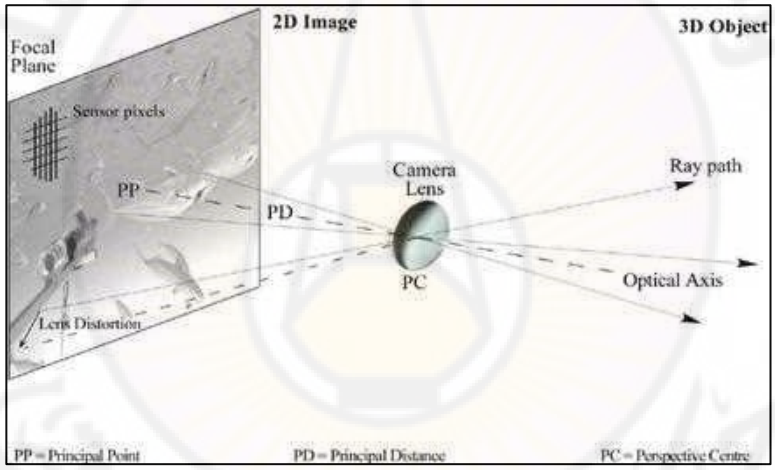
الشكل 10– 66 أنواع الكاميرات

1– الكاميرا المترية عالية الدقة (Metric Cameras)

إن الصورة الفوتوغرافية ذات اسقاط منظوري مركزي، وهذا يتضمن أن كل الأشعة الضوئية التي تصل إلى سطح الفيلم تمر بواسطة عدسات الكاميرا من خلال نقطة يطلق عليها اسم: مركز المنظور (Perspective Center). من أجل أخذ قياسات للجسم من الصورة فإن الأشعة (ray bundle) يجب اعادة بنائها (Reconstructed).

لذلك فإن الهندسية الداخلية للكاميرا المستعملة (الشكل 10–67) والتي تضم: البعد البؤري (المحرقي) (Focal Lenght)، وتموضع النقطة الرئيسة (The position of the principal point)، وتشوه العدسات (الزيغ الضوئي) (Lens Distortion)، يجب تحديده ومعرفته بدقة. يدعى البعد المحرقي بالمسافة الأساسية (Principal Distance) وهي المسافة بين مركز الإسقاط ومسقطه على مستوي الصورة والذي يدعى بالنقطة الأساسية (principal point).

يحوي هذا النوع على هندسة داخلية ثابتة ودقيقة وأقل تشوه بالعدسات (أقل زيغ ضوئي) لذلك فإنها غالية الثمن. إن المسافة الأساسية (principal distance) ثابتة، يعني ذلك أن العدسات لا يمكن أن تركز بشكل شديد (sharpened focus) عند التقاط الصورة. تستعمل الكاميرات المترية (الشكل 10–68) ضمن مجال مسافات محدد باتجاه الجسم المرصود. جملة إحداثيات الصورة تحدد غالباً بأربع علامات مثبته (Four Fiducial marks) تتواجد على إطار الكاميرا، وغالباً أبعاد الصور الفوتوغرافية الجوية والأرضية (23 x 23 cm).

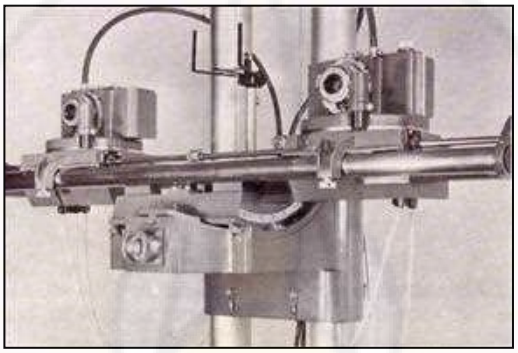


الشكل 10– 67 الهندسية الداخلية للكاميرا وجمل الإحداثيات

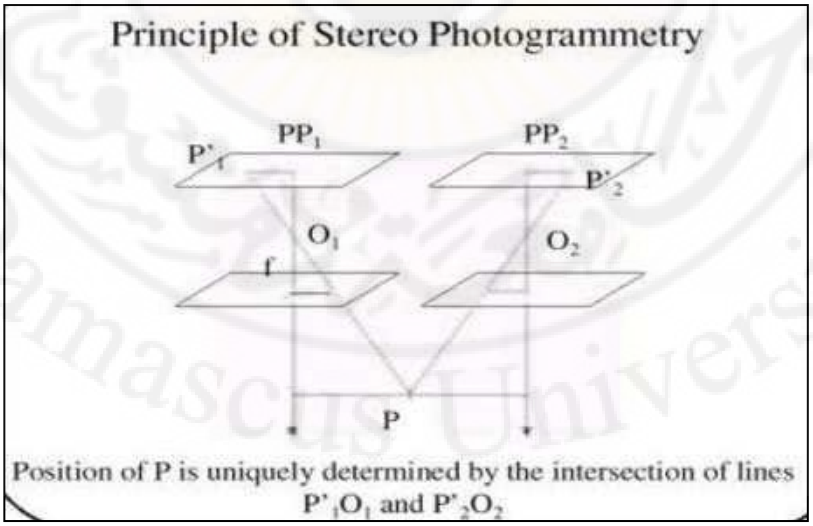
الشكل 10– 68 الكاميرا المترية عالية الدقة

2– الكاميرات المزدوجة (Stereometric Cameras)

إذا صُوِّر الجسم من موقعين مختلفين، فإن الخط الواصل بين مركزي الإسقاط (Projection Center) يدعى الخط الأساس (Base) كما يظهر بالشكل (10–69). إذا كانت الصورتين يُظهران الاتجاه والذي يفترض أن يكون موازياً لبعضهم بعضاً وبزاوية يمينية لخط الأساس وهو ما يدعى بالحالة الطبيعية (Normal Case)، فعندها لديهم الخصائص ذاتها التي تحويها صور أعيننا. لذلك فالمناطق المتداخلة لهاتين الصورتين واللتان تسميان بمزدوجات الصور (Stereopair) (الشكل 10–70) يمكن مشاهدتها بشكل ثلاثي الأبعاد كما يظهر بالرؤية البشرية.



الشكل 10– 69 الكاميرات المزدوجة



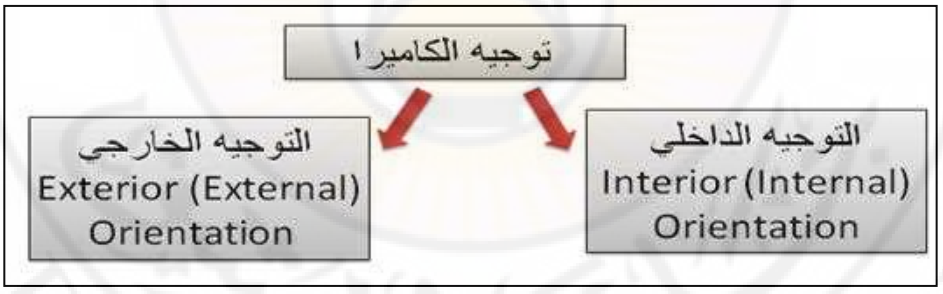
الشكل 10– 70 مبدئ مزدوجات الصور

3– الكاميرا غير المترية أو كاميرا الهواة (Non–metric Cameras)

هي الكاميرا غير المصممة للتصوير المساحي و نستعملها بحياتنا اليومية على أجهزة الهاتف أو كاميرات التصوير الرقمية. الهندسة الداخلية لهذا النوع من الكاميرات غير ثابتة وغيرمعروفة وبهذه الحالة فإن الزوايا الأربع لإطار الصورة تعمل كحواف (Fiducials). ومن ثمَّ عند أخذ صور تجريبية مع عدة نقاط تحكم وإعادة التصوير مرات عديدة على مسافات ثابتة، يمكن بعدها معايرة الكاميرا وحساب المعاملات الداخلية. يجب ملاحظة أنه مهما كانت هذه الكاميرات غالية الثمن أو مصممة للتصوير الاحترافي فلا تصل دقتها إلى دقة الكاميرا المترية، ومن ثمَّ يمكن استعمالها لأغراض محددة حيث لا تتطلب دقة كبيرة وتمتاز بإمكانية حملها باليد وتوجيهها بأي اتجاه.

10–20 توجيه الكاميرا ضمن هندسة الرؤية الواحدة Single–View Geometry

يشمل توجيه الكاميرا ضمن هندسة الرؤية الواحدة نوعين أساسيين من التوجيه (الشكل 10–71) وهما التوجيه الداخلي والتوجيه الخارجي.



الشكل 10– 71 أنواع توجيه الكاميرا ضمن هندسة الرؤية الواحدة

التوجيه الداخلي (Interior Orientation): وتشمل الهندسة الداخلية للكاميرا أي إسقاط إحداثيات الكاميرا إلى إحداثيات الصورة.

التوجيه الخارجي (Exterior Orientation): تموضع وارتفاعات نقاط الصور مقرونة لجملة الإحداثيات العامة للجسم الممسوح أي الانتقال من إحداثيات الجسم ثلاثية الأبعاد إلى إحداثيات الكاميرا.

10–21 مراحل المسح التصويري الأرضي قريب المدى

ويمكن تلخيصه بالمراحل الآتية (الشكل 10–72):

1– متطلبات العمل.

2– تصميم الشبكة لالتقاط الصور.

3– معايرة الكاميرا.

4– التقاط الصور.

5– توجيه الكاميرا.

6– نتائج المسح التصويري القريب بشكل أجسام ثلاثية البعد.

الشكل 10– 72 مراحل المسح التصويري الأرضي الثابت

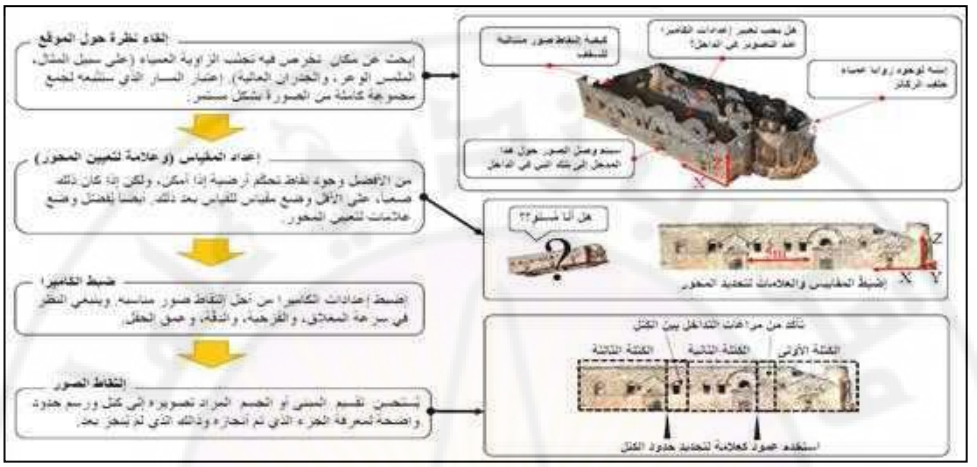
1– متطلبات المشروع :

يتضمن التواصل المباشر مع صاحب العمل وتحديد منطقة العمل وكتابة النتائج والفورمات المطلوبة وتحديد الدقة المطلوبة (اصغر مظهر يجب قياسه) والمقياس ونظم الإحداثيات والبرنامج الزمني وتحديد طاقم العمل والمشرفين (الشكل 10–73).

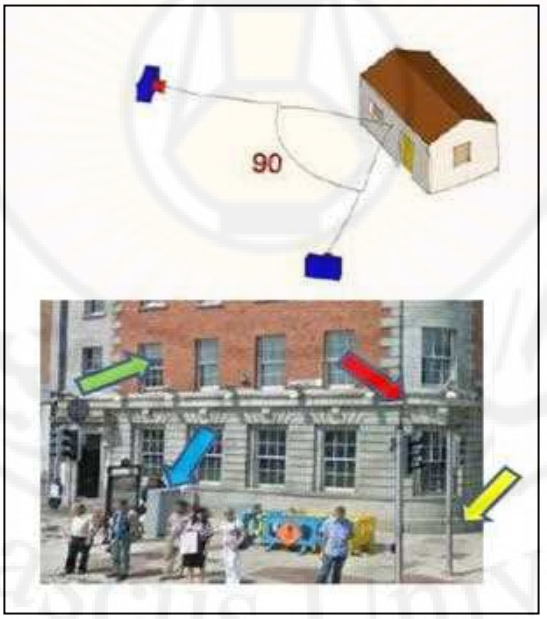
2– تصميم شبكة التقاط الصور

تلتقط الصور عبر طرق عدة: صورة مفردة (Single Image) وصور مزدوجة (Stereo Image) و مزدوجات الصور (Multi Image). يتطلب تصميم شبكة التقاط الصور

تحديد مقياس الصورة والدقة والوسط المحيط بالجسم ومجال الرؤية وعمقه وزاوية الصورة وعدد وتوزع أماكن التقاط الصورة وتقاطع زوايا أو خطوط التصوير(الشكل 10–74).



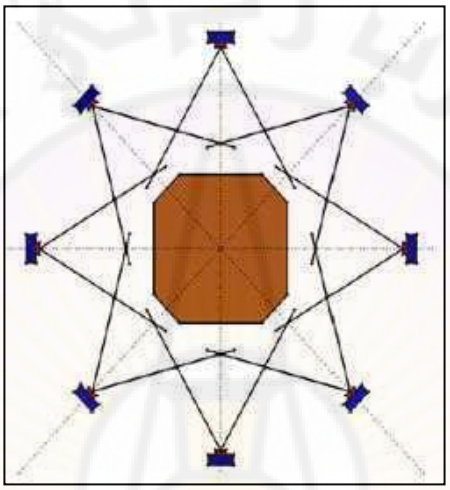
الشكل 10– 73 سير عمل المسح التصويري في ميدان العمل



الشكل 10– 74 متطلبات التقاط الصور

يجب تغطية كل نقطة من المنشأ بثلاث صور على الأقل وتأمين صور بعيدة تفيد بالربط بين الصور وبالتكسية والدوران حول المنشأ والتقاط صور كل 15 درجة تقريباً وفي أكثر من مستو

(على عدة ارتفاعات) (الشكل 10–75). يجب مراعاة تكثيف الصور في المناطق الأكثر تعقيداً وعدم تغيير البعد المحرقي للكاميرا أثناء التقاط الصور. يجب الحذر عند تصوير الأجسام المتباينة والحجارة معقدة المظهر، فإن لم تلتقط صور لكافة الجوانب أو كان هناك جانب مخفي أو ما تسمى " البقع العمياء" فسيؤدي ذلك حتماً إلى خطأ ضمن الإحداثيات ثلاثية الأبعاد مما يؤدي في نهاية المطاف إلى تشويه شديد في النموذج.



الشكل 10– 75 تصميم شبكة التقاط الصور

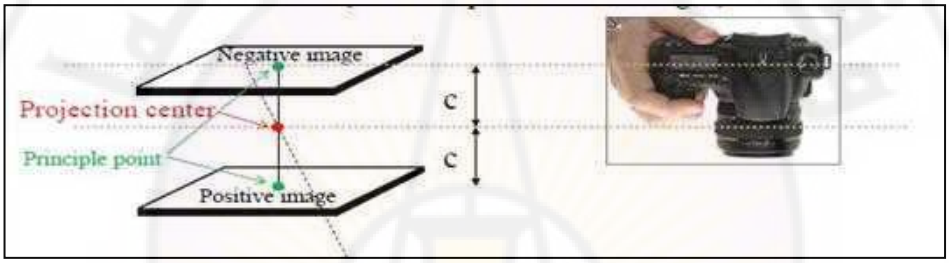
يمكن التقاط الصور بأي ترتيب أو تشكيل (تقارب، شرائح شريطية، بشكل أقطار مروحه) (convergent; strips; fans) حتى خلال المشروع الواحد، ولا حاجة لمعرفة توجيه الكاميرا بشكل مسبق لأن البرمجيات ستقوم بذلك بشكل آلي. كل بيانات التحكم الأرضية التي تستخدم خلال ترتيب أخذ الصور وبأي دقة كانت سوف تستعمل بالحل. معايرة الكاميرا يمكن أن تُنفذ من دون تخطيط مسبق، أي على أساس (ad–hoc basis)، إذا كان ذلك ضرورياً باستعمال نفس الصور الملتقطة للمشروع ويمكن أن تحلل للتأكد من إمكانية الاستعمال بذات الوقت.

3– معايرة الكاميرا (التوجيه الداخلي) Interior Orientation

التوجيه الداخلي يحدد هندسة الكاميرا الداخلية (internal geometry of camera) لمعرفة كيفية توضع الحزمة الضوئية بالنسبة إلى بعضها بعضاً. التوجيه الداخلي للكاميرا يحدد بكل المعاملات أو الباراميترات التي تُحدد هندسية الأشعة ثلاثية الأبعاد من إحداثيات الصورة المقيسة. إن المعاملات /الباراميترات للتوجيه الداخلي للكاميرا تربط هندسة منظور الإسقاط

المثالي إلى فيزيائية الكاميرا ومن ثمَّ العودة بالصورة إلى صورة إسقاط منظوري مثالية. تشمل العوامل (البارامترات) ما يلي: ثابت الكاميرا (camera constant)، النقطة المركزية (principal point)، تشوه العدسات (lens distortion). بالإضافة لعوامل أخرى كتغير سطح الصورة وتأثير الجو على انعكاس الأشعة.

ثابت الكاميرا (Camera constant): تمثل المسافة بين مستوي الصورة وعدسات الكاميرا وتساوي تقريبا البعد المحرقي (Focal length) (الشكل 10–76).

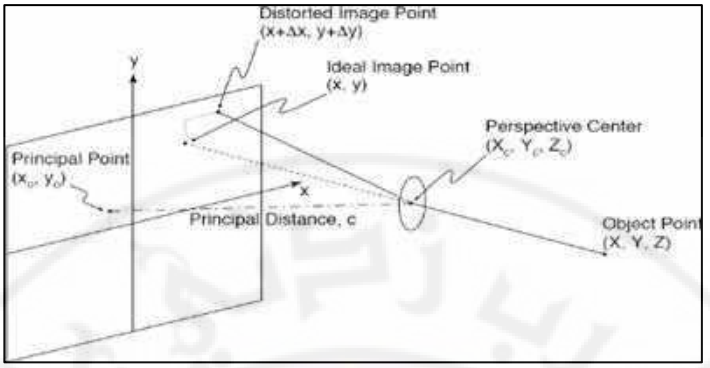


الشكل 10– 76 ثابت الكاميرا

النقطة الأساسية أو المركزية ((Principal point (x0,y0)): تمثل تقاطع المحاور الضوئية مع مستوي الكاميرا ضمن احداثيات مستوي الصورة، أي هي إسقاط مركز العدسة (perspective centre) على مستوي الصورة.

التشوه الهندسي (Geometric distortion) أو الزيغ البصري، ويمثل أحد خصائص العدسات حيث يفترض التماثل حول النقطة المركزية وبحال عدم تحقيقه فيحدث هذا التشوه (الشكل 10–77).

إن معاملات الكاميرا الداخلية: ثابت الكاميرا والنقطة الأساسية /المركزية والتشوه الهندسي نحتاجها عند الانتقال والتحويل من إحداثيات الصورة ثنائية الأبعاد إلى إحداثيات الكاميرا ثلاثية الأبعاد.



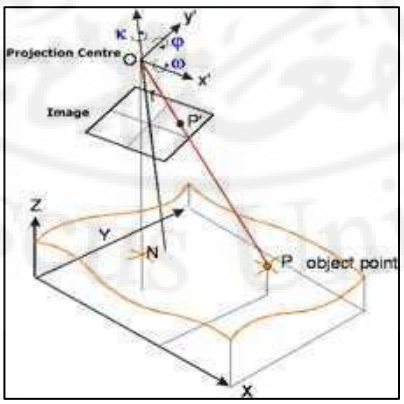
الشكل 10– 77 الزيغ البصري

4– التوجيه الخارجي Exterior Orientation

التوجيه الخارجي يحدد موقع الكاميرا وتوجيهها بنظام الإحداثيات المطلقة من إسقاط نقاط المعايرة على الصورة. يحدد معاملات دوران وانسحاب جملة محاور إحداثيات الكاميرا نسبة إلى جملة محاور إحداثيات الجسم المرصود. يتحدد التوجيه الخارجي من معاملات / بارامترات الكاميرا مثل موقع مركز المنظور(مركز العدسة) (perspective center)، واتجاه المحاور الضوئية (optical axis direction). تتطلب عملية التوجيه الخارجي ثلاثة دورانات (3 rotation angles) و ثلاثة انسحابات (3 translations). وبالتالي فهو يتألف من 6 عوامل (Parameters):

– 3 عوامل تصف التموضع المكاني(X,Y,Z) (الانسحاب) كما يظهر بالشكل (10–78).

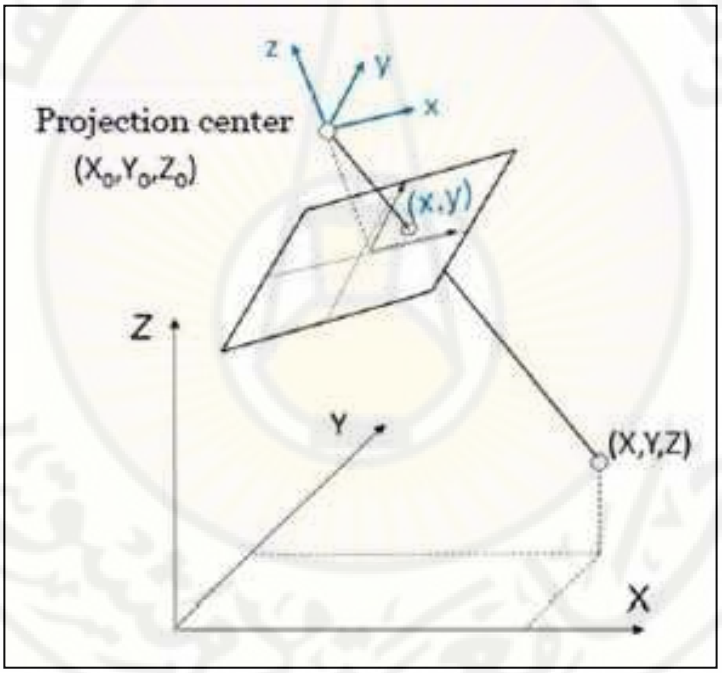
– 3 عوامل تصف توجيه جملة احداثيات الكاميرا (ω, Φ, k) (Orientation) بالمقارنة مع جملة إحداثيات الجسم.



الشكل 10– 78 التوجيه الخارجي

5– العلاقة بين إحداثيات الصورة وإحداثيات الجسم الأرضية

عندما يكون لدينا مركز إسقاط مثالي (ideal Central projection) تقع نقطة الجسم ومركز الإسقاط ونقطة الصورة على الخط نفسه وهو ما يطلق عليه بتعبير (Coollinearity) أي على استقامة واحدة. لذلك فالخط المستقيم بجملة إحداثيات الجسم سيظهر أيضاً خطاً مستقيماً بمستوي الصورة (الشكل 10–79). ومن ثمَّ تحويل نظم الإحداثيات بين جملة إحداثيات الجسم وجملة إحداثيات الكاميرا يعبر عنها بمعادلات الاستقامة الواحدة (Coollinearity equations).



الشكل 10– 79 مبدأ الاستقامة الواحدة Coollinearity

$$\begin{bmatrix} x-x_0 \\ y-y_0 \\ -c \end{bmatrix} = \lambda R \begin{bmatrix} X-X_0 \\ Y-Y_0 \\ Z-Z_0 \end{bmatrix}$$

حيث إن:

X_0، y_0: إحداثيات النقطة المركزية (مركز الإسقاط) (Principl Point)

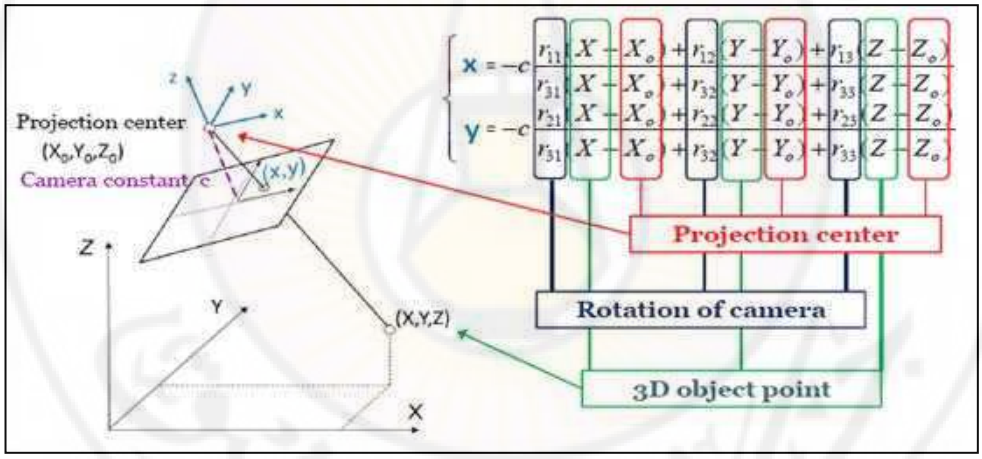
c : ثابت الكاميرا (Camera Constant)

λ : عامل المقياس (Scale Factor)

R : مصفوفة الدوران ثلاثية الأبعاد (3D Rotation Matrix)

X_0، $Y_0.Z_0$: مركز إسقاط الكاميرا بإحداثيات الجسم (Projection center of the camera (in the object coordinate system).

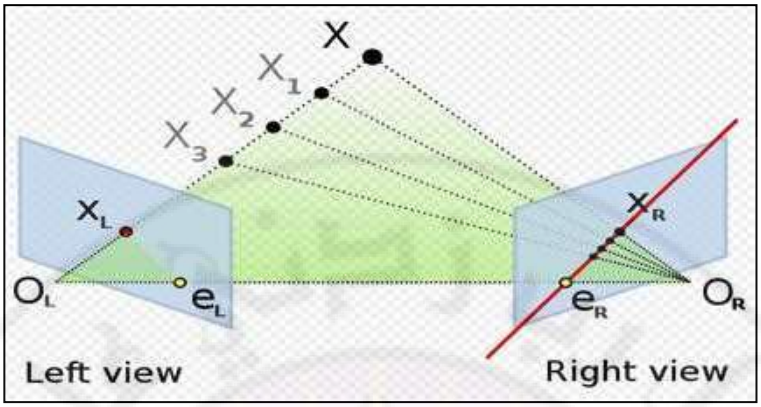
والتي يمكن التعبير عنها بمعادلات كما هو بالشكل (10–80).



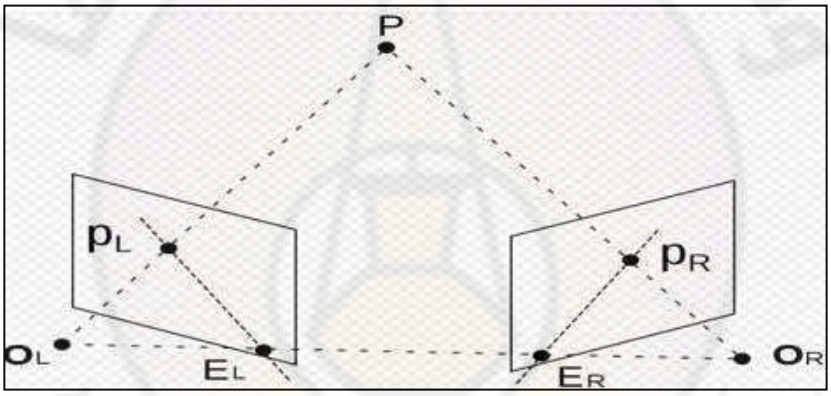
الشكل 10– 80 معادلات الاستقامة الواحدة

6– هندسة الرؤية المزدوجة Two–View Geometry

من صورة واحدة لمشهد غير معروف لا يمكن الحصول على القياسات ثلاثية الأبعاد، لأن البعد الثالث (العمق على امتداد الأشعة) سوف يضيع خلال الإسقاط (الشكل 10–81). إن مبدأ قياسات المساحة التصويرية هو الحصول على صور مزدوجة لذات المشهد لكن من نقاط رؤية مختلفة، ومن ثمَّ تكون نقاط الصورتين كإسقاط نقاط الشكل الفيزيائي نفسه على مستوى الصورتين. من النقاط الناتجة وباستعمال طريقة التثليث (Triangulation) يمكن الحصول على الإحداثيات ثلاثية الأبعاد للجسم الممسوح (الشكل 10–82).

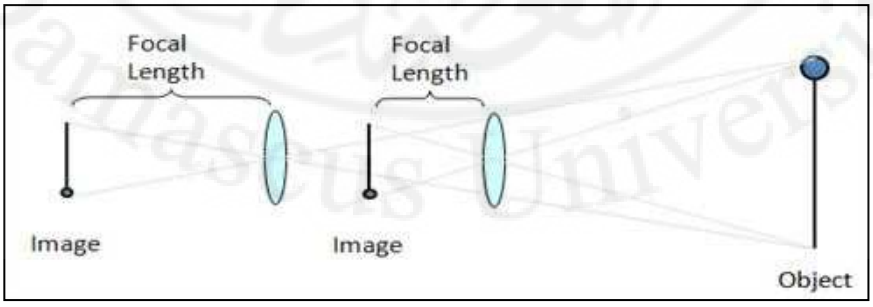


الشكل 10– 81 مبدأ الرؤية المزدوجة



الشكل 10– 82 هندسة الرؤية المزدوجة

تخنار العدسات (الشكل 10–83) للحصول على حجم البيكسل الأرضي المطلوب بناء على العلاقة:



الشكل 10– 83 حجم البيكسل الأرضي

$$pixelsize_{ground} = \frac{distance}{f} pixelsize_{sensor}$$

7– التوجيه لمزدوجات الصور

وهنا نلاحظ وجود نوعين من أنواع التوجيه إضافة إلى التوجيه الداخلي للكاميرا، وهما:

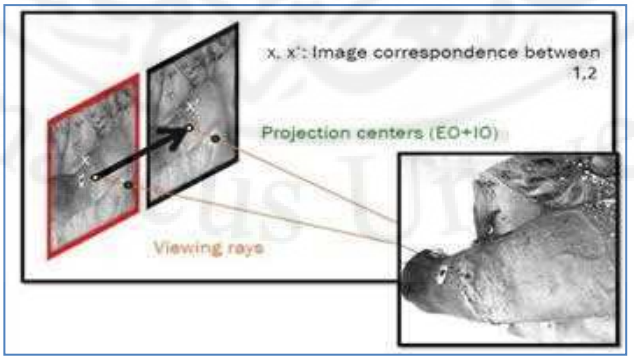
1– التوجيه النسبي (Relative Orientation): التموضع والارتفاعات النسبية لصورتين بالنسبة إلى بعضهما بعضاً. إذا عرف التوجيه النسبي فقط فإن القياسات ثلاثية الأبعاد للشكل ستكون صحيحة، لكن المقياس سيبقى غير معلوم ومن ثمَّ ستكون النتائج بجملة إحداثيات حرة (Freely selectable object coordinate system).

2– التوجيه الحر (Absolute Orientation): تُحوّل الإحداثيات بعد توجيه الصور النسبي إلى جملة الإحداثيات الأرضية (ground coordinate system).

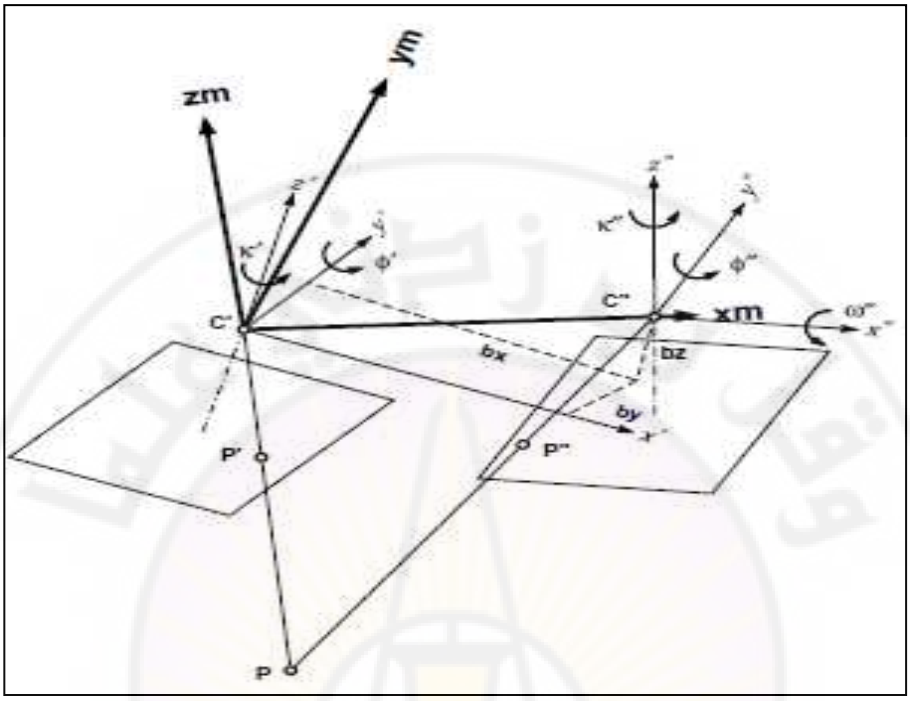
حيث نلاحظ أن التوجيه النسبي والتوجيه الحر يمكن دمجهما ضمن التوجيه الخارجي (Exterior Orientation).

8– التوجيه النسبي

تتلخص عملية التوجيه النسبي بإيجاد الدوران والانسحاب النسبي بالنسبة لأحد صور المزدوج بالنسبة إلى الأخرى (الشكل 10–84). تقدّر دقة هذه العملية بعدد من البيكسلات التي تنزاحها مواقع بعض السمات قبيل التوجيه وبعيده. يتألف التوجيه النسبي من خمسة عوامل (Parameters)، إثنان منها تصف التموضع المكاني (X,Y) (الانسحاب)، و ثلاثة عوامل للدوران تصف توجيه جملة إحداثيات الكاميرا (Orientation)، ويلزم لذلك خمسة أزواج من النقاط المتطابقة (الشكل 10–85).



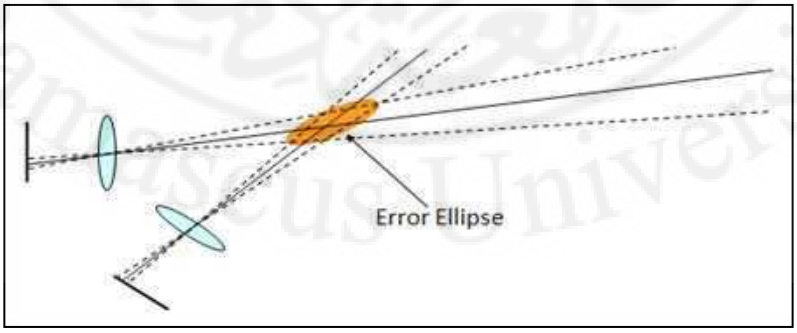
الشكل 10– 84 مزدوجات الصور والتوجيه النسبي



الشكل 10– 85 التوجيه النسبي

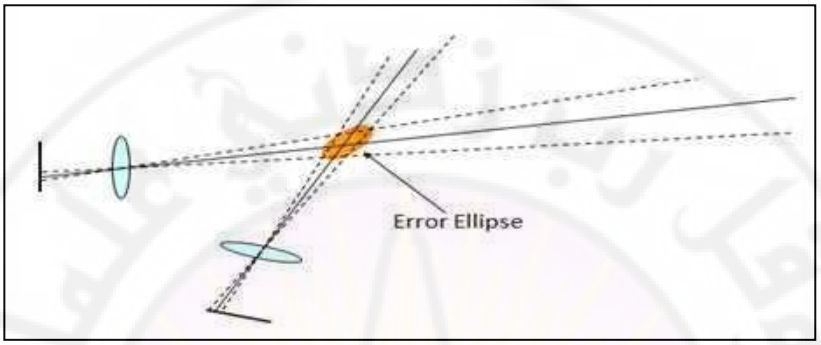
تمثيل الدقة للمسح التصويري القريب الثابت

إن العلاقة بين دقة الصورة ، الدقة المستوية، دقة العمق ونسبة المسافة الأساسية بين الكاميرتين للبعد عن الجسم (base/distance ratio) يمكن إظهارها من خلال النظر إلى قطع ناقص الخطأ (error ellipse) (الشكل 10–86)، والذي يتشكل عند تعديل موقع النقطة بكل صورة باستعمال دقة الصورة (image accuracy) .



الشكل 10– 86 قطع ناقص الخطأ لدقة الصورة

إن زيادة مسافة القاعدة (المسافة بين الكاميرتين) بشكل نسبي إلى البعد عن الجسم المرصود يجعل قطع ناقص الخطأ أكثر دائرية (الشكل 10–87)، ومن ثمَّ يحسن من دقة العمق (depth accuracy).



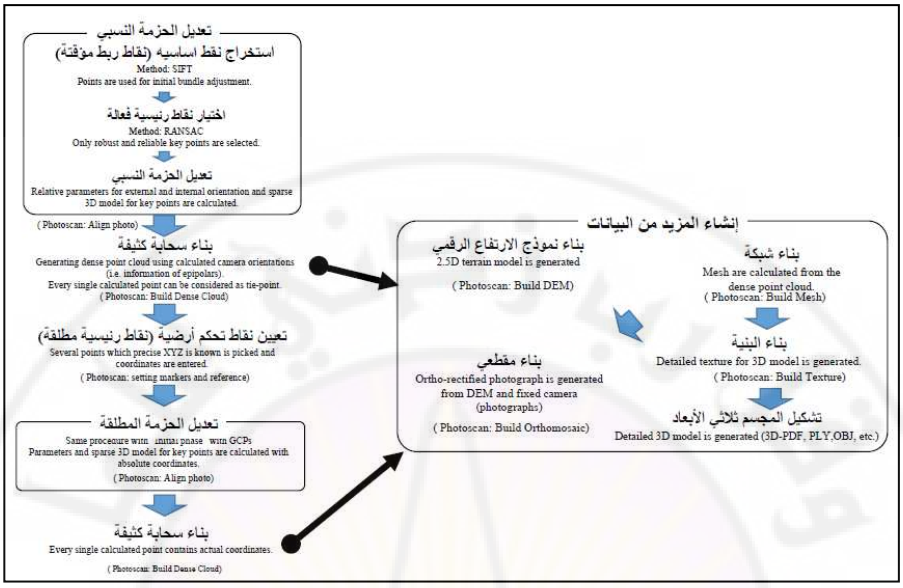
الشكل 10– 87 تحسين دقة قطع ناقص خطأ دقة الصورة

9– حزمة التعديل (Bundle Adjustment)

تُفعل حزمة التعديل من أجل حساب جميع المعايير (X,Y,K,Φ,ш) لجميع الكاميرات ضمن كتلة واحدة (الشكل 10–88). بحالة التصوير الرقمي فإن حزمة التعديل هي إجراء لتحديد التوجيه الداخلي والخارجي. ونقاط الربط (tie–points) هي النقاط التي يمكن تحديدها بين صور مختلفة، وهي ضرورية لربط الصور المجاورة والمسارات في كتلة مستمرة للمنطقة. تُحسب أماكن تموضع الكاميرا وتحركها حول محورها في وقت واحد عن طريق الإشارة إلى مجموعة نقاط الربط ، ويجب أن تكون القيم (X,Y,Z) في بعض نقاط الربط معروفة بدقة عند تقديم إحداثيات أكيدة (absolute coordinates) للتوجيه الخارجي ونتائج القياس. تستعمل النقاط المعروفة الإحداثيات (X,Y,Z) أيضاً لإضافة إحداثيات وتدعى " نقاط التحكم الأرضية (Ground Control Point (GCP)).

– مطابقة البيكسل (Pixel matching)

بعد تحديد موقع الكاميرا فإن تحديد نفس النقاط بين الصور المتداخلة تقريباً مساوٍ للقياس نفسه، ليس فقط ضمن هذه المرحلة النهائية، لكن مطابقة البيكسل أيضاً هي من العوامل الأساسية لمرحلة تحضير حزمة التعديل. حيث إن هذا الإجراء مطلوب من أجل نقاط الربط لحل المعادلات، ومن ثمَّ يمكن اعتبار أن مطابقة البيكسل هي واحدة من الإجراءات الأساسية في التصوير الرقمي.



الشكل 10– 88 تعديل الحزمة والقياس

– استخراج النقطة الرئيسة (نقط الربط)(Key point (tie–point) extraction)

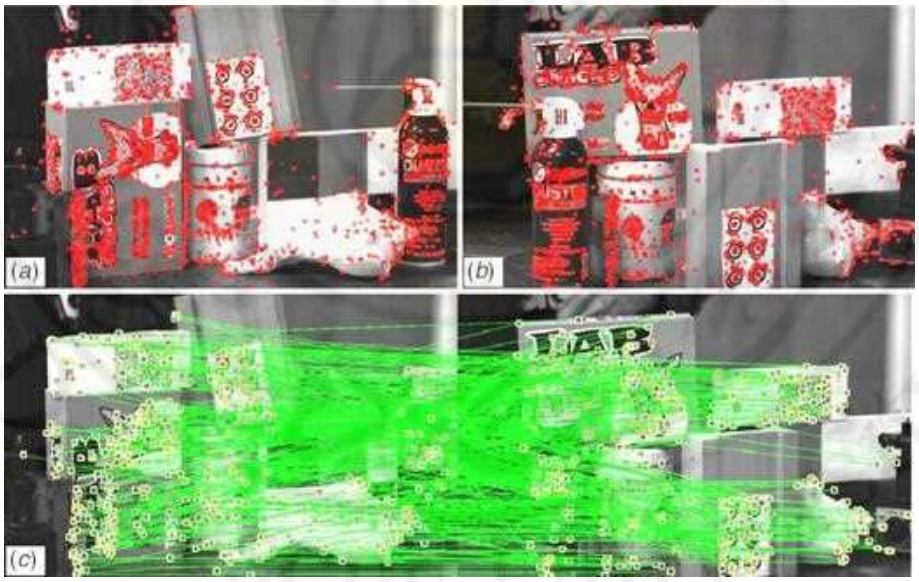
إن مجموعة نقاط الربط لها دور ضروري من أجل تنفيذ حزمة التعديل. وبما أن حزمة التعديل هي الأساس في القياس فإن نقاط الربط يجب أن تكون دقيقة قدر الإمكان (أي تحديدها بدقة ووضعها بمكانها الصحيح بين الصور المتداخلة). وهذا يشمل أيضاً الدقة في تحديد القيم في حال كانت نقطة الوصل تستعمل كنقطة علام أرضية (GCP). لابد من استعمال خوارزميتين رياضيتين للحصول على تطابق بيكسل دقيق: الأولى تدعى " تحويل مميزات صورة غير مرتبطة بمقياس "(Scale Invariant Feature Transformation) ، والثانية تدعى: توافق العينات العشوائية (Random Sample Consensus) واختصاراً (RANSAC).

– خوارزمية تحويل مميزات صورة غير مرتبطة بمقياس (SIFT)

هي خوارزمية تمكن من تحديد النقاط المتماثلة بين الصور المتداخلة وإن كانت المقاييس مختلفة. ومن المرجح أيضاً أنها مؤهلة من أجل استعمالها في معالجة الصور مختلفة الاتجاه والصور المأخوذة من اتجاهات مختلفة. ومن ثمَّ فإن التقليل من التقاط الصور من اتجاهات مختلفة يؤدي بالتأكيد إلى دمج الصور بشكل أدق. إن فرصة المطابقة الدقيقة تنخفض بشكل كبير تبعاً لتغير زاوية مكان الوقوف. ولتجنب التغيرات الكبيرة في الزاوية بين الصور المتداخلة فإن تغيير الزاوية تدريجياً هو الحل الأكثر ملائمة لهذه المشكلة .

لإجراء التعرف الموثوق، من المهم أن تكون الميزات المستخرجة من الصورة قابلة للكشف حتى في ظل التغييرات في مقياس الصورة والضوضاء والإضاءة. تقع هذه النقاط عادة على مناطق عالية التباين في الصورة، مثل حواف الكائنات. من الخصائص المهمة الأخرى لهذه الميزات أن المواضع النسبية بينها في المشهد الأصلي يجب ألا تتغير من صورة إلى أخرى. على سبيل المثال، استخدمت الزوايا الأربع للباب بوصفها ميزات فقط ، فإنها ستعمل بغض النظر عن موضع الباب، لكن إذا استخدمت نقاط في الإطار أيضًا، فسيفشل التعرّف إذا فُتِح الباب أو أُغلِق. تستعمل هذه الخوارزمية مبدأ " المقياس المكاني" (scale–space) و "الثماني" (octave) والتي تقابل تقريباً "مجموعة من الصور ذات الدقة المتباينة" و"مجموعة صور منعمة بنوافذ ترشيح (كيرنال) مختلفة".

والكيرنال هي أسم آخر للفلترة أو الترشيح وتستعمل بمعالجة الصور كنافذة مرشح. إن وجود الدالة (العظمى والصغرى) في البيكسل المجاور لتركيز البيكسل من خلال الفوارق بين هذه المجموعات من الصور يظهر النقاط الأساسية الدقيقة بين الصور المتداخلة (الشكل 10–89).

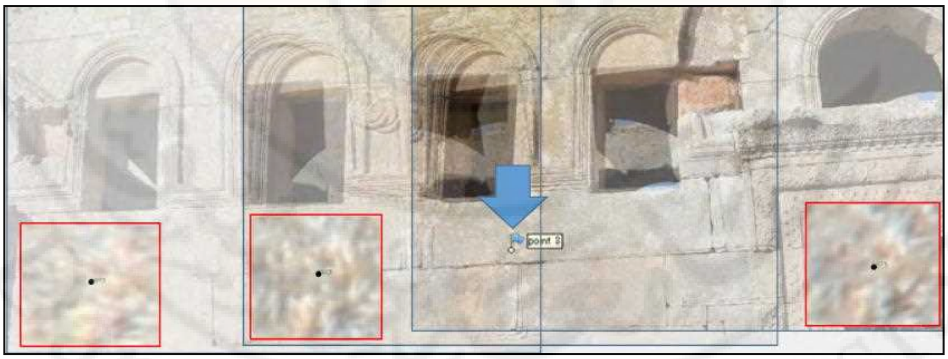


الشكل 10– 89 نتائج مطابقات خوارزمية تحويل مميزات صورة غير مرتبطة بمقياس لعدد قليل من الأجسام المتموضعة بأماكن مختلفة. (a) و (b) هما صورتان رُصِدت نقاط التطابق بينهما بخوارزمية SIFT ، (c) تعرض المكتبة السريعة لعناصر التطابقات وفق الجوار الأقرب.

خوارزمية توافق العينات العشوائية (RANSAC)

تقدم هذه الخوارزمية حلاً لحساب مجموعة البيانات التي تشمل القيم الشاذة بدلاً من استعمال طريقة المربعات الصغرى أو الدنيا(least means square method). من المعروف عن طريقة المربعات الدنيا أنها تتأثر كثيراً بالقيم الشاذة المدرجة في البيانات. من الجدير بالذكر أن مشكلة القيم الشاذة تنتج عن صعوبة مطابقة البيكسل في المسح التصويري، كما أن تقدير تطابق النقاط يحتوي عادةً الكثير من حالات عدم التطابق. ومن ثمَّ فإن هذه الخوارزمية هي طريقة تكرارية لتقدير معلمات النموذج الرياضي من مجموعة من البيانات المرصودة التي تحتوي على القيم الخارجية عندما لا يتم منح القيم المتطرفة أي تأثير على قيم التقديرات. إنها خوارزمية غير حتمية، بمعنى أنها تنتج نتيجة معقولة فقط مع احتمال معين، ويزداد هذا الاحتمال مع السماح بمزيد من التكرار.

إن الفكرة من تطبيق هذه الطريقة هي انتقاء نقاط المطابقة الصحيحة التي من المتوقع أن تتبع النموذج الهندسي الصحيح، ومن ثمَّ فإن تطبيق خوارزمية (RANSAC) بعد خوارزمية تحويل مميزات صورة غير مرتبطة بمقياس سيؤدي بالنتيجة إلى مجموعة دقيقة من نقاط المطابقة (النقاط الأساسية)، وعندها سيتم تطبيق حزمة التعديل باستعمال مجموعة النقاط الدقيقة للنقاط الأساسية (الشكل 10–90).



الشكل 10– 90 مثال عن نقط أساسية محسوبة (حُدِّد نفس البيكسل ضمن ثلاث صور مختلفة)

– الدلالة الهندسية للمصفوفة الرئيسة F

ومن ثمَّ في حالة وجود نقاط تحكم أرضية يجب تحديد 12 عامل مجهول للصورتين. سنرمز بالرمز F للمصفوفة الاساسية التي تعطى بالعلاقة:

$$F = KtRK^{-1}$$

حيث إن:

K : مصفوفة المعاملات الداخلية للكاميرا.

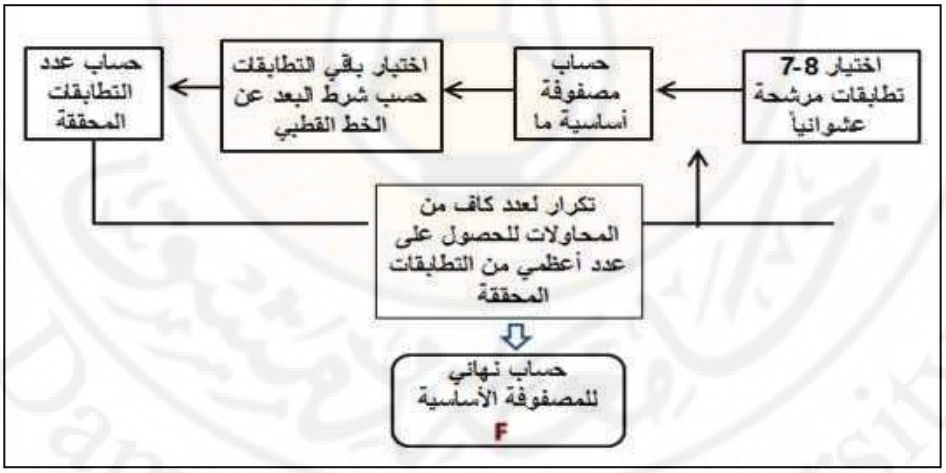
t: مصفوفة النسحاب.

R : مصفوفة الدوران.

حيث أن :

$$K = \begin{bmatrix} f_x & s & x_0 \\ 0 & f_y & y_0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

هنالك العديد من طرائق حل هذه المصفوفة والتي يمكن استعمالها، لكنها غير مطلوبة في هذه المرحلة الدراسية. يبين الشكل (10–91) عملية اختيار النقط واختبار مدى التطابق بينها للوصول إلى الحل الأفضل للمصفوفة الأساسية.



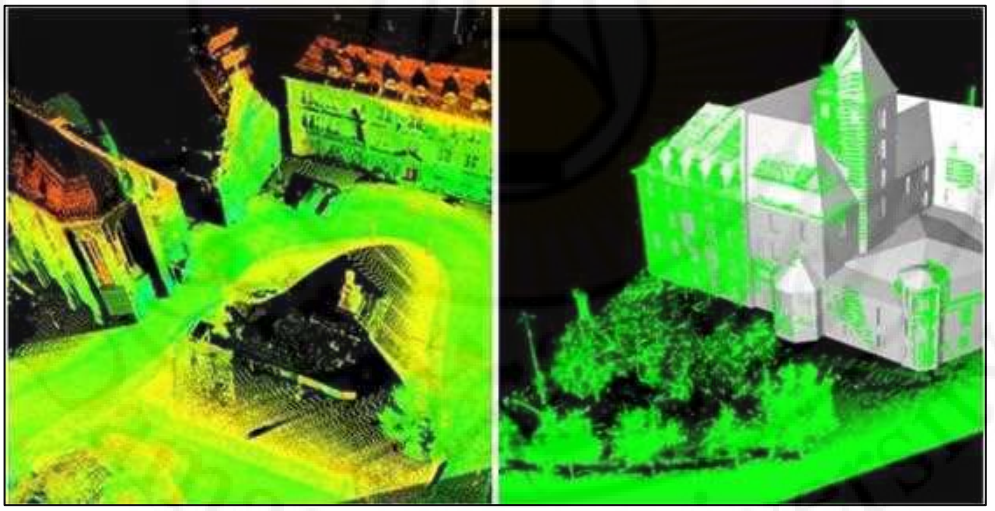
الشكل 10– 91 مراحل حساب المصفوفة الأساسية

10– القياس (The measurement) و توليد غمامة النقاط ثلاثية الأبعاد

تأتي مرحلة القياس بعد الانتهاء من مرحلة التعديل. فالإجراء العملي هو تحديد النقاط ذاتها بين الصور المتداخلة . فإذا حُدِدت مجموعات النقاط لكل نقطة على حدة (بيكسل في حال كانت الصورة رقمية) فهذا يعني حتماً إنشاء النموذج ثلاثي الأبعاد من المشهد المتداخل كاملاً.

إذا كان الهدف من العمل إنتاج نموذج نسبي ثلاثي الأبعاد فليس هناك حاجة للإحداثيات الأكيدة، ومن ثمَّ فنقاط المراقبة الأرضية غير ضرورية. ومن ثمَّ لا يوجد فرق جوهري بين ما هو" نسبي" أو" مطلق"(."absolute" and "relative")، المتعلق بحزمة التعديل. لكن يجب الأخذ بعين الأعتبار أن مصطلح "حزمة التعديل النسبية أو المطلقة" تستعمل لغرض وصفي فقط، لا بوصفها مصطلحاً.

بعد معرفة موقع الصور وتوجيهها بالنسبة إلى بعضها بعضاً يصبح بإمكاننا توليد نقطة فراغية لكل بيكسل مشترك (معرفة العمق)، وهي النقاط الفراغية المتولّدة نتيجة تقاطع الأشعة المتوافقة حيث تُولد النقاط ثلاثية الأبعاد (ذات حجوم تخزين هائلة) بالاعتماد على أزواج الصور مثنى مثنى لتحقيق أفضل تغطية (الشكل 10–92). يؤمن التطابق الكثيف بين عدة مزدوجات غمامات نقاط كثيفة ومتكاملة للمنشأ المراد رقمنته. عادة تختار الصورتان التي تكون الزاوية بين محوريها البصريين أقل من 20 درجة والتي نسبة قاعدتها التصويرية إلى العمق ≈ 0.5. تخضع الغمامات النقطية لعمليات ترشيح النقاط المنعزلة وعمليات تنعيم ودمج، وقد نضطر لحذف أجزاء من النموذج لا يمكن تغطيتها بشكل كامل بالصور، ومن ثمَّ بالنقاط ثلاثية الأبعاد.



الشكل 10– 92 توليد الغمامة النقطية

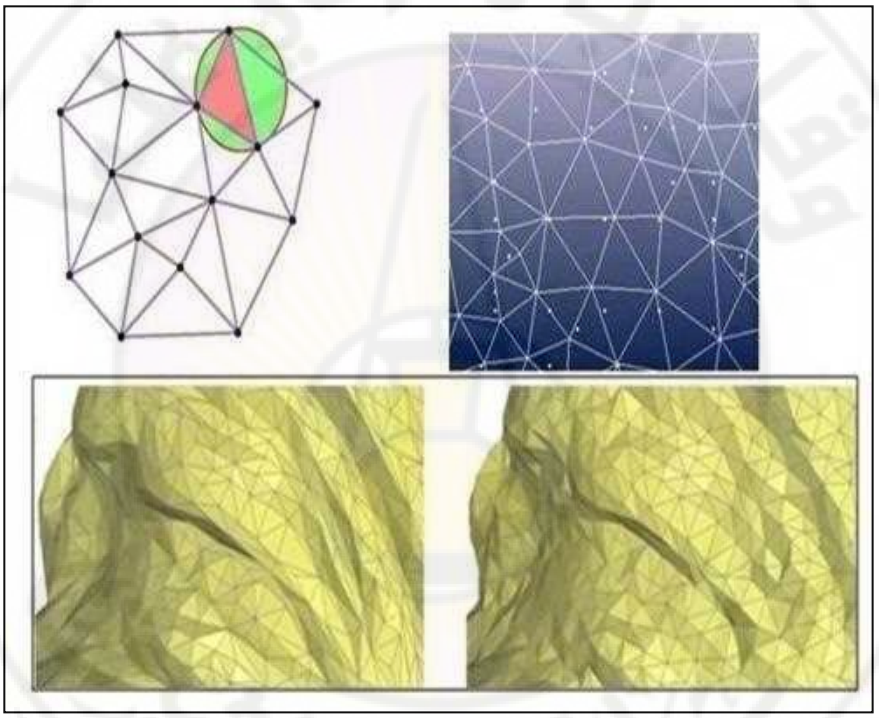
11– بناء شبكة المثلثات (Meshing)

تختار نقاط مفصلية ومهمة من الغمامة لتوصيلها بمثلثات (تثليث ديلوني) (**Delaunay Triangulation**) كما يظهر بالشكل (10–93). يتحول بذلك النموذج إلى مجموعة من

المثلثات المتصلة التي يمكن حساب اتجاه الناظم عليها وتكسيتها بألوان وتمييز سطحها الداخلي من الخارجي.

12- التّكّسية (texture)

تعرّف التكسية باختيار اللون المناسب لكل مثلث من الشبكة من بين جميع الصور الموجودة. يُختار اللون عادة من الصورة التي يوازي مستويها مستو المثلث المدروس.



الشكل 10- 93 بناء شبكة المثلثات

13- النمذجة في المساحة التصويرية الأرضية

يمكن تقسيم النماذج لقسمين أساسيين هما: أجسام هندسية منتظمة قابلة للتحليل لأوليات هندسية، أو أجسام غير منتظمة، مثل المنشآت المتضررة أو المهدمة وغيرها. يبين الشكل (10-94) نموذجاً ثلاثي الأبعاد لتاج محل بالهند بُني بالمسح التصويري الأرضي، حيث يظهر على اليسار صورة تاج محل وبالوسط الغمامة النقطية وعلى اليمين النموذج ثلاثي الأبعاد. ويوضح

الشكل (10–95) العمليات السابقة ابتداءً من توليد الغمامة النقطية مروراً بالتثليث والتكسية وانتهاءً بالنمذجة وبناء النموذج ثلاثي الأبعاد.

الشكل 10– 94 نموذج ثلاثي الأبعاد لتاج محل، الهند

الشكل 10– 95 مراحل معالجة الغمامة النقطية لبناء النموذج ثلاثي الأبعاد

10–22 أوجه القصور في تقنية المسح التصويري :

1– العناصر المحجوبة أو المخفية: تصعب على التقنية مسح بعض العناصر المحجوبة بعناصر أخرى، كالعناصر الخلفية في الواجهات أو أجزاء المبنى الواقعة خلف كتل بنائية أمامية

أخرى. كما تُعد عملية توقيع نقاط التحكم الخاصة بالتقنية ولاسيما على الأبراج والأسوار العالية الصعوبة الرئيسة في استعمال طريقة المسح التصويري التقليدية.

2– صعوبات الإضاءة والظل: يعد سقوط ضوء الشمس بصورة مائلة الصعوبة التقليدية في أنظمة المسح التصويري ولاسيما لدى العناصر التي تسقط ظلاً على العناصر الأخرى. كما أن العمل يصبح صعباً جداً في الإضاءة القليلة (عند الغروب مثلاً)، أو يصبح مستحيلاً عند الظلام في الليل.

3– فشل الصور الملتقطة :عند استعمال المسح التصويري الرقمي في المناطق الحضرية عادة ما ينتج عدم دقة السطوح الرقمية لعناصر التجسيم، ويمكن أن يحدث تدرج غير مرغوب فيه في كفاءة الصورة الكاملة بسبب عملية تطابق أزواج الصور الملتقطة، والذي يمكن حدوثه نتيجة النقص الحاصل في إظهار مواد الإنهاء ضمن الصور ورداءة نوعية الصور ومشكلة الانغلاق (occlusions)، وهي ظهور تفاصيل معينة للجسم الموثق في أحد أزواج الصور دون الثانية مما يشكل صعوبة تكوين المجسم، وانقطاع السطوح وعدم استمراريتها ووجود الفجوات والثغرات في مجموعة الصور، ومشاكل المنظور القريب والتشوه (foreshortening)، وكثرة الظلال في الصور ممّا يحتم على الراصد التقاط الصور في الوقت الذي تكون فيه متضمنة أدنى حد من الظلال.

4– التفاصيل البسيطة للعنصر الموثق: تُعد عملية مسح المواقع المفتوحة فقيرة العناصر أو المواقع ذات التفاصيل البسيطة أصعب من المواقع غنية التفاصيل، لأنه من الصعب الحصول على تطابق لنقاط التحكم في أزواج الصور في سطح خالٍ من التفاصيل كأنما تلتقط الصور في الظلام. قد تؤدي مثل هذه العملية إلى توفير معلومات ضئيلة في تطبيقات معينة وتقدم نتائج قياس مشكوكاً فيها.

5– انعدام فضاء التقاط الصور: تُعدّ عدم توفر إمكانية وضع نقاط التحكم وعدم إمكانية التقاط الصور بسبب ضيق المكان أو خطورته مشاكل جدية للتقنية، وللتغلب على هذه الصعوبة ينبغي زيادة عدد أزواج الصور. في بعض حالات توثيق السطوح الأرضية لمبنى تاريخي ولاسيما عند تضمنه بعض النقوش والزخارف، يستحيل التقاط الصور من الأعلى لصعوبات تتعلق بتركيب السقالات أو توفرها مما يجبرنا على التقاط الصور بصورة مائلة غير عمودية مع احتمالية التأثير سلباً على دقة النتائج.

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

المصادر والمراجع

1– Avery، T.E. and G. L. Berlin، 1985. "Interpretation of Aerial Photographs:

Chapter 8: Geographic Information Systems". Burgess Publishing Company،

Minneapolis، Minnesota، USA، pp. 235–243.

2– Kennedy، M. ، 2002. "The Global Positioning System and GIS: An Introduction". Taylor and Francis، London، UK.

3– Leick، A.، 1995. "GPS Satellite Surveying". John Wiley and Sons، NY، USA.

4– Kaplan، E. D.، 1996. "Understanding GPS: Principles and Applications". Artech House Pub.، Boston، USA

5– Sickle، J. V.، 2008. "GPS for Land Surveyors". CRC، 360 pages.

6– Research Center for West Asian Civilization، 2010، Photogrammetry for culture heritage، Booklets for Protection of Syrian Cultural Heritage Vol.1. Tsukuba، Japan

7– الأشرف ، نبيل، 2011. المساحة والتوثيق المعماري، منشورات جامعة دمشق، كلية الهندسة المعمارية، دمشق.

8– الإدارة العامة لتصميم وتطوير المناهج، 2011، المساحة، المؤسسة العامة للتعليم الفني والتدريب المهني، المملكة العربية السعودية.

9– الإدارة العامة لتصميم وتطوير المناهج، 2011، المساحة التصويرية الرقمية، المؤسسة العامة للتعليم الفني والتدريب المهني، المملكة العربية السعودية.

10– أحمد ، محسن ، 2013. الإحصاء والأخطاء 2، منشورات جامعة تشرين، كلية الهندسة المدنية، اللاذقية.

11–الشوا، مجد، 2019. محاضرات في المساحة التصويرية لطلاب ماجستير التأهيل والتخصص في قسم الهندسة الطبوغرافية، كلية الهندسة المعمارية، جامعة دمشق، دمشق.

12– الصيقي ، انور و رضوان ، وائل، 2008. المساحة 1 ، منشورات جامعة دمشق، كلية الهندسة المدنية، دمشق.

13– الصيفي ، أنور و حبيب ، معن ، 2007. المساحة ، منشورات جامعة دمشق، كلية الهندسة المدنية، دمشق.

14– المغربي، سعيد، 2018، الأجهزة المساحية، سلسلة المحاضرات الإلكترونية في علم المساحة، قسم الهندسة المدنية، جامعة الأزهر، جمهورية مصر العربية.

15– جزماتي، سامح، 1993. المساحة 3، مديرية الكتب والمطبوعات الجامعية، جامعة حلب، حلب.

16– ديب، فايز، 2008. المساحة ، منشورات جامعة تشرين، كلية الهندسة المدنية، اللاذقية.

17– دحدل، بشار، 2012. محاضرات في الاستشعار عن بعد لطلاب الدراسات العليا في قسم الهندسة الطبوغرافية، كلية الهندسة المدنية، جامعة دمشق، دمشق.

18– دحدل، بشار، 2015. محاضرات في مبادئ نظم المعلومات الجغرافية لطلاب ماجستير التأهيل والتخصص في قسم الهندسة الطبوغرافية، كلية الهندسةالمدنية، جامعة دمشق، دمشق.

19– دحدل، بشار، 2017. محاضرات في المساحة والتوثيق المعماري لطلاب السنة الثالثة في كلية الهندسة المعمارية، جامعة دمشق، دمشق.

20– – درويش ، إسماعيل و يازجي، سعد – 2015، المساحة – 2 ، منشورات جامعة البعث – كلية الهندسة المدنية، حمص.

21– رضوان، وائل و الصيفي، أنور، 2011. المساحة 2، منشورات جامعة دمشق، كلية الهندسة المدنية، دمشق.

22– عجاج، عبد الرزاق، 2014. محاضرات في المساحة لطلاب السنة الثالثة في كلية الهندسة المدنية ، الجامعة الدولية الخاصة ، دمشق.

23– قاموع ، أديب ، 2016. المساحة الهندسية 2، منشورات جامعة تشرين، كلية الهندسة المدنية، اللاذقية.

24– وسوف، يوسف و صافية، سميح، 1992. المساحة. منشورات جامعة دمشق، دمشق.

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

ملحق 1

واحدات القياس

ينصب العمل المساحي على إجراء قياسات طولية (مسافات) وزوايا في الطبيعة وحساب مساحات. لذلك من المهم لدارس علم المساحة أن يحيط بالنظم والوحدات المختلفة في تنفيذ هذه القياسات أو الأرصاد وطرائق التحويل بينها: وحدات القياس الطولية ووحدات قياس الوزايا ووحدات قياس المساحات والحجوم.ويمكن تقسيم القياسات المساحية إلى نوعين أساسيين:

أولاً: القياسات خطية: أي قياس مسافات أفقية وقياس مسافات رأسية(شاقولية). إن المسافة بين نقطتين على مخطط أو خريطة هي نفسها المسافة الأفقية بين هاتين النقطتين بغض النظر عن ارتفاعهما. أما المسافة الرأسية بين نقطتين فهي عبارة عن فرق الارتفاع (المنسوب) بين هاتين النقطتين.

ثانياً: قياسات زاوية: وتشمل قياس زوايا أفقية وقياس زوايا شاقولية.

1– واحدات القياس الطولية

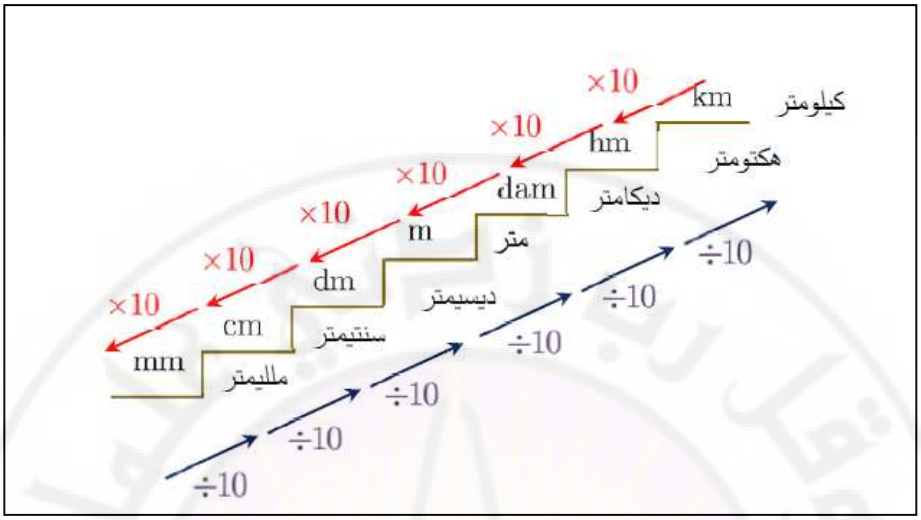
وهناك نظامان هما الأكثر شيوعاً لاستعمال الوحدات الطولية:

1– **النظام الدولي:** (يسمى أيضاً النظام الفرنسي) ويرمز له بالرمز SI يستعمل فيه وحدات المتر ومشتقاته كالأتي حسب الجدول (11–1) والشكل (11–1).

2– **النظام الإنكليزي:** في النظام الدولي الإنكليزي تستخدم وحدات القدم ومشتقاته، كما هو موضح بالجدول (2–2).

جدول11– 1 التحويل بين الطوال بالنظام الدولي

1 كيلو متر (كم) =	1000 m متر
1 متر m =	10 dcm = 100 cm دسم سم
1dcm ديسيمتر (دسم) =	10 سنتيمتر (سم) = 100 mm مم
1cm سنتيمتر (سم) =	10 ملليمتر (ملم)(مم)mm
1 هكتو متر Hector meter =	100 m متر
1 ديكا متر Decca meter =	10m متر
1 كيلو متر (كم) (km) =	10،000 ديسيمتر (دسم)(dcm)
1 كيلو متر (كم) =	100،000 سنتيمتر (سم)
1 كيلو متر (كم) =	1،000،000 ملليمتر (ملم)(مم)



الشكل 11– 13 تحويل الواحدات الطولية من كتاب الرياضيات للصف السادس الأبتدائي

جدول11– 2 التحويل بين الواحدات بالنظام الأنكليزي

1 ميل (Mile)	=	1760 ياردة (Yard)
1 ياردة (Yard)	=	3 قدم (Foot)
1 قدم (Foot)	=	12 بوصة (Inch)

وللتحويل بين كلا نظامي القياسات الطولية توجد علاقات رياضية عدة كما هو موضح بالجدول (11–3) ويكفي معرفة علاقة رياضية واحدة للتحويل بين كلا النظامين

جدول11– 3 التحويل بين النظام الدولي والانكليزي

1 متر (م) (m)	=	3.2808 قدم (Foot)
1 متر (م) (m)	=	39.3701 بوصة (Inch)
1 متر (م) (m)	=	1.09361 ياردة (Yard)
1 كيلو متر (كم) (km)	=	0.62127 ميل (Mile)
1 بوصة (Inch)	=	2.54 سنتيمتر (cm)
1 قدم (Foot)	=	30.48 سنتيمتر (cm)
1 ياردة (Yard)	=	0.9144 متر (m)
1 ميل (Mile)	=	1609.35 متر (m)
1 ميل (Mile)	=	1.60934 كيلو متر(km)

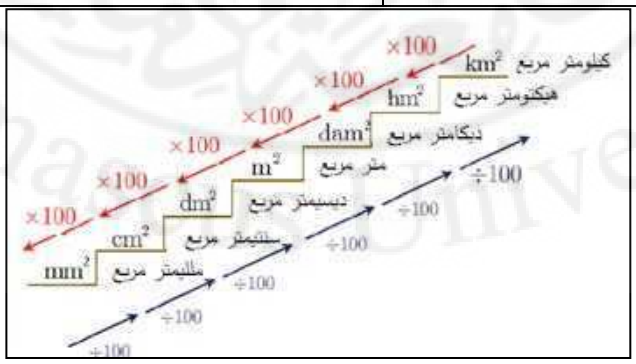
2– واحدات قياس المساحة

المساحة هي قياس لمنطقة محصورة في نطاق معين على سطح، وأبسط شكل لها هي المنطقة المحصورة بين أربع خطوط بنفس الطول، اثنان منها متوازية والاثنان الثانية متعامدة مع الأولى، أي على شكل مربع. ومن هذا الشكل تُشتق كل أشكال المساحة الأخرى، وعندما يكون طول هذه الخطوط وحدة قياس طول واحدة، فإن المساحة المحصورة بينها تُعد وحدة قياس مساحة واحدة، ومن ثمَّ فإذا كان هناك مربع، طول ضلعه متر واحد، فإن مساحته تساوي متراً مربعاً واحداً.

يمكن حساب المساحة بعدد مربعات وحدة المساحة الجزئية والكاملة. في النظام الدولي للوحدات، الوحدة القياسية للمساحة هو المتر المربع (m^2)، وهو مساحة مربع طول ضلعه متر واحد. شكل ذو مساحة ثلاثة متر مربع لديه نفس المساحة لثلاثة من هذه المربعات ذات المتر الواحد طولاً. وهناك العديد من الصيغ المعروفة للمساحات لأشكال بسيطة مثل المثلثات والمستطيلات والدوائر. يبين الجدول (11–4) واحدات المساحة بالنظام الدولي وبعض الواحدات المستعملة بسوريا والشكل (11–2) يمثل التحويلات بين الواحدات الأساسية.

جدول11– 4 واحدات قياس المساحة

1 كيلومتر مربع (km^2) =	1000000 m متر
1 متر مربع (m^2) =	10000 cm^2 سنتمتر مربع
1 دونم =	1000 متر مربع (m^2)
1 هكتار Ha (hm^2) =	10 دونم
1 هكتار Ha (hm^2) =	10،000 متر مربع (m^2)
1Km^2 كيلو متر (كم) =	100 هكتار = 1000 دونم



الشكل 11– 14 تحويل واحدات قياس المساحة من كتاب الرياضيات للصف السادس الابتدائي

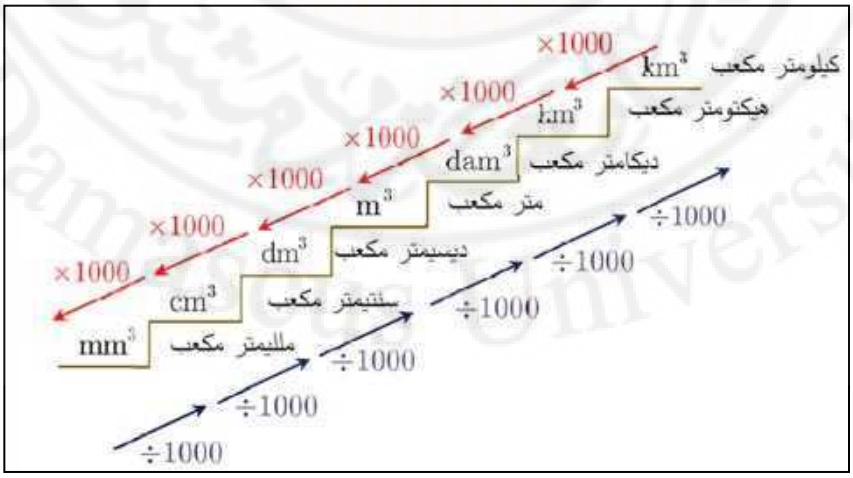
وهناك نظام واحدات قياس المساحات (وخاصة الزراعية) ببعض الدول العربية ويسمى أحياناً النظام الإمبراطوري كما هو موضح بالجدول (11–5).

جدول11– 5 النظام الإمبراطوري ببعض الدول العربية

1 فدان	=	24 قيراط
1 قيراط	=	24 سهم
1 فدان	=	4200.83 متر مربع (m^2)
1 فدان	=	4.20083 دونم
1 قيراط	=	175.09 متر مربع (m^2)
1 سهم	=	7.29 متر مربع (m^2)

3– وحدات قياس الحجوم

هناك وحدات خاصّة أخرى تستعمل لقياس الحجم، منها الميلي ليتر واللتر والكوب والغالون التي تستعمل لقياس حجم السوائل. لكنها في الغالب مشتقة من وحدات الطول بشكل أو بآخر. فاللتر مثلاً، هو عبارة عن حجم مكعب طول ضلعه واحد ديسيمتر، والديسيمتر هو عبارة عن 10سم. حجم المكعب يقاس بالأبعاد المكانية الثلاثة: الطول والعرض والارتفاع. وحساب الحجوم من العمليات المساحية المهمة والتي يعبر عنها غالباً بحساب كميات الحفر والردم وحساب حجوم الأبنية وغيرها من التطبيقات المهمة. الشكل (11–3) يوضح واحدات القياس الخاصة بالحجوم.



الشكل 11– 15 تحويل واحدات قياس الحجم من كتاب الرياضيات للصف السادس الأبتدائي

4– وحدات قياس الزوايا

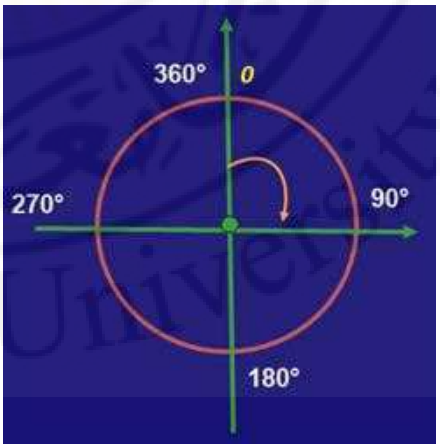
توجد ثلاثة أنظمة لقياس الزوايا (والاتجاهات) هي: النظام الستيني (الدرجات) والنظام المئوي (الغراد) والنظام الدائري (الراديان).

4–1 النظام الستيني لقياس الزوايا:

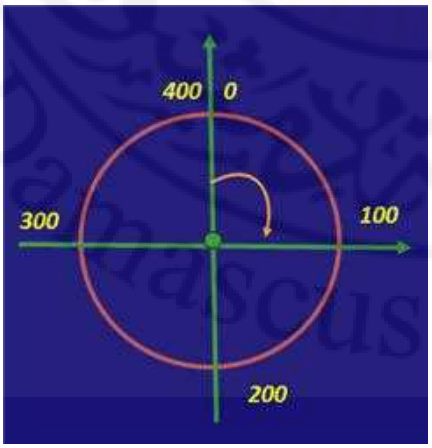
في النظام الستيني تقسم الدائرة إلى 360 قسما degree (الشكل 11–4)، يسمى الجزء الواحد منها الدرجة الستينية ويرمز له بالرمز (°)، ثم تقسم الدرجة الستينية الواحدة إلى 60 جزءاً يسمى الواحد منها الدقيقة الستينية ويرمز لها بالرمز (′)، ثم تقسم الدقيقة الستينية الواحدة إلى 60 جزءاً يسمى الواحد منها الثانية الستينية ويرمز لها بالرمز (″)، أي ″60=′1 , ′60=°1 حيث نكتب مثلاً ″48′27°75

4–2 النظام المئوي:

تقسم الدائرة إلى 400 قسماً متساوياً يسمى الجزء الواحد منها الدرجة المئوية أو الغراد يطلق عليه gr or Grad or Gon، كما يظهر بالشكل (11–5)، ثم تقسم الدرجة المئوية الواحدة إلى 100 جزء يسمى الواحد منها الدقيقة المئوية أو دقيقة غرادية ويرمز لها بالرمز (^{c})، ثم تقسم الدقيقة المئوية الواحدة إلى 100 جزء يسمى الواحد منها الثانية المئوية أو ثانية غرادية ويرمز لها بالرمز (^{cc})، $1^c=100^{cc}$ ، $1gr=100^c$ وتكتب الزوايا بالشكل: gr 122.451. لقد وُجَد النظام المئوي في أعمال المساحة والجيوديزيا انتشاراً واسعاً لما يحققه من سهولة في القياس والحساب.



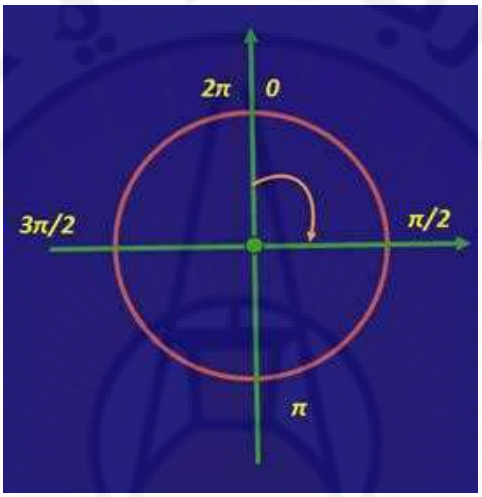
الشكل 11– 16 النظام الستيني لقياس الزوايا



الشكل 11– 17 النظام المئوي لقياس الزوايا

3– النظام الدائري:

يعادل التقدير الدائري لأي زاوية النسبة بين طول القوس الذي يقابل هذه الزاوية (المقطوع من دائرة مركزها رأس هذه الزاوية) ونصف قطر هذه الدائرة. تقاس الزاوية الدائرية بوحدات تسمى الراديان. يعرف الراديان بأنه الزاوية المقابلة لقوس من دائرة طوله مساوٍ لنصف قطر الدائرة والمساوي لواحدة الأطوال. فيكون كامل محيط الدائرة: 2x(22/7) =283185307 r(radian) 6.، كما هو مبين بالشكل (11–6).



الشكل 2– 18 النظام الدائري لقياس الزوايا

ومن ثمَّ فعلاقات التحويل بين الأنظمة الثلاثة لقياس الزوايا يمكن التعبير عنها بالعلاقة الآتية التي تعتمد على النسبة والتناسب بين الأنظمة الثلاث:

$$\frac{\alpha^{\circ}}{360} = \frac{\alpha\,\text{grad}}{400} = \frac{\alpha\,\text{rad}}{2\pi}$$

مثال:

$$45^{\circ}\,\text{deg} = 50\,\text{grd} = \frac{\pi}{2}\,\text{rad} = 0.78571428\ \text{rad}$$

اللجنة العلمية:

أ. د.م غسان عبود

أ. د.م عبد الرزاق عجاج

د.م أنور الصيفي

د.م وائل رضوان

المدقق اللغوي:

د. أمل عبسي

حقوق الطبع والترجمة والنشر محفوظة لمديرية الكتب والمطبوعات