مقدمة في:

المساحة المائية/الهيدروجرافية

An Introduction to:

Hydrographic Surveying

د. جمعة محمد داود

١٤٣٩/ ٢٠١٨

مقدمة فى:

المساحة المائية/الهيدروجرافية

An Introduction to:

Hydrographic Surveying

د. جمعة محمد داود

Gomaa M. Dawod

النسخة الأولي

١٤٣٩ هـ / ٢٠١٨م

اتفاقية الاستخدام

هذا الكتاب وقف لله تعالى و يخضع لجميع قواعد الوقف الإسلامي مما يعني أنه يجوز لكل مسلم و مسلمة إعادة توزيعه في صورته الالكترونية أو أعاده طبعه أو تصويره **بشرط** عدم التربح منه بأي صورة من الصور أو تغيير أي شئ من محتوياته ، أما بخلاف ذلك فلابد من الحصول علي موافقة مكتوبة من المؤلف.

للإشارة إلى هذا الكتاب - كمرجع – برجاء إتباع النموذج التالي:

باللغة العربية:

داود ، جمعة محمد ، ٢٠١٨ ، مقدمة في المساحة المائية/الهيدروجرافية، القاهرة، مصر.

باللغة الانجليزية:

Dawod, Gomaa M., 2018, An Introduction to Hydrographic Surveying (in Arabic), Cairo, Egypt.

مقدمة النسخة الأولى

بِسۡمِ ٱللَّهِ ٱلرَّحۡمَٰنِ ٱلرَّحِيمِ و الحمد لله العليم القدير الذي وهبني علما ووفقني في حياتي ، والصلاة والسلام علي معلم الأمم و خير البرية محمد بن عبد الله عليه الصلاة و السلام.

أدعو و أبتهل إلى مولاي و خالقي عز و جل أن يتقبل مني هذا العمل لوجهه الكريم فما أردت إلا إرضاؤه تعالى وتحقيقا لقول رسوله الكريم (ما معناه) أن عمل ابن ادم ينقطع بعد موته إلا من ثلاث أحدهم: علم ينتفع به.

جاءتني فكرة هذا الكتاب عندما قابلت بعض أبنائي من طلبة قسم الهندسة المساحية بكلية الهندسة بشبرا - جامعة بنها بالقاهرة فسألوني عن مواد تعليمية في فرع المساحة المائية أو المساحة البحرية أو المساحة الهيدروجرافية. ولأنى لم أجد الكثير من المراجع باللغة العربية عن هذا الفرع من فروع المساحة فقررت أن أحاول ترجمة بعض المراجع الأجنبية في كتاب باللغة العربية (مع اضافة بعض المواد عن أسس الهندسة المساحية من كتبي السابقة) كمقدمة لهذا التخصص ليستفيد منه طلاب العالم العربي. فان أصبت فلي الثواب من المولي عز و جل وان أخطأت فتشفع لي النية الحسنة من وراء هذا العمل.

والكتاب الحالي هو **السابع عشر** - بفضل الله تعالى و توفيقه - من سلسلة كتبي الرقمية المخصصة لوجه الله تعالى وابتغاء مرضاته، وهي الموجودة في العديد من مواقع شبكة الانترنت.

أدعو كل قارئ و كل مستفيد من هذا الكتاب أن يدعو الله تبارك و تعالى أن يغفر لي و لوالدي ، وأيضا ألا يحرمني من رأيه و تعليقاته وتصويباته - فلا يوجد كتاب إلا و به نواقص و أخطاء - عبر صفحتي العلمية علي الفيسبوك في:

https://www.facebook.com/Dr.GomaaDawod/

بِسۡمِ ٱللَّهِ ٱلرَّحۡمَٰنِ ٱلرَّحِيمِ ..... **وقل ربي زدني علما** .... صدق الله العظيم.

جمعة محمد داود

القاهرة: أبريل ٢٠١٨

شكر و تقدير

أتقدم بخالص الشكر لكل من ساعدني في اتمام هذا العمل التطوعي و كل من أمدني بمواد علمية قمت باستخدامها في هذا الكتاب و أخص بالشكر أصدقاء العالم الافتراضي (الانترنت):

Amr Nabil (https://www.facebook.com/amrnobil)

Khalid Salah (https://www.facebook.com/khalidsala7)

إهداء

إلي أغلي و أجمل بنات الدنيا قاطبة:

ابنتي سلمي جمعة

حفيدتي ريانة مصطفي جمعة

كتب أخري للمؤلف

١- المدخل إلى النظام العالمي لتحديد المواقع
٢- المدخل إلى الخرائط
٣- المدخل إلى الخرائط الرقمية
٤- التحليل المكاني في إطار نظم المعلومات الجغرافية
٥- مبادئ المساحة
٦- أسس المساحة الجيوديسية و الجي بي أس
٧- مقدمة في الصور الجوية و المرئيات الفضائية
٨- الجيوماتكس: علم المعلوماتية الأرضية
٩- مبادئ علم نظم المعلومات الجغرافية
١٠- رياضيات الهندسة المساحية
١١- دراسات تطبيقية في الجيوماتكس
١٢- أسس و تطبيقات الاستشعار عن بعد
١٣- مقدمة في العلوم و التقنيات المكانية
١٤- أساسيات علوم المساحة و الجيوماتكس
١٥- أجهزة الهندسة المساحية
١٦- تطبيقات الفيزياء في علوم الجيوماتكس

وكل هذه الكتب المجانية (بالإضافة لمواد تدريبية و ملفات تعليمية أخري) متاحة للتحميل كاملة في عدد كبير من مواقع شبكة الانترنت و منهم علي سبيل المثال:

- المكتبة الرقمية المساحية المجانية في الرابط:

https://www.mediafire.com/folder/ci4ujfp7l4bqg/Gomaa_Dawod_Books

- صفحتي علي موقع أكاديميا في الرابط:

http://nwrc-egypt.academia.edu/GomaaDawod

- صفحتي علي موقع بوابة البحوث في الرابط:

https://www.researchgate.net/profile/Gomaa_Dawod

بالإضافة لأكثر من ١٨٠ مقطع فيديو علي اليوتيوب في قناتي بالرابط:

https://www.youtube.com/c/GomaaDawod

قائمة المحتويات

	صفحة
اتفاقية الاستخدام	ت
مقدمة النسخة الأولي	ث
الإهداء	ح
قائمة المحتويات	د
قائمة المصطلحات	ض
الفصل الأول: مقدمة و نبذة تاريخية	١
١-١ مقدمة	١
١-٢ المسح المائي	١
١-٣ نبذة تاريخية	٣
١-٤ تطبيقات المساحة المائية	٧
١-٥ المراجع الرأسية الأرضية و المائية	٨
١-٦ الخرائط البحرية الأدميرالية	١٢
الفصل الثاني: القطاعات المائية و حساب كميات التكريك	١٣
٢-١ مقدمة	١٣
٢-٢ العمل الحقلي	١٣
٢-٢-١ عمل القطاعات بجهاز الميزان	١٣
٢-٢-١-١ الميزانية	١٣
٢-٢-١-٢ رصد القطاعات بالميزان	٢٢
٢-٢-٢ عمل القطاعات بجهاز المحطة الشاملة	٢٣
٢-٢-٢-١ التاكيومترية	٢٣
٢-٢-٢-٢ العمل بجهاز الثيودوليت	٢٦
٢-٢-٢-٣ العمل الحقلي للقطاعات بالمحطة الشاملة	٣٠
٢-٣ العمل المكتبى لحساب الكميات	٣٢
٢-٣-١ الحساب يدويا	٣٢

تابع المحتويات صفحة

٢-٣-٢ الحساب ببرنامجي الأوتوكاد و الاكسل ٣٦

الفصل الثالث: تقنيات و أجهزة المسح المائي ٣٨

٣-١ مقدمة ٣٨

٣-٢ جهاز الجس الصوتي أحادي الشعاع ٣٨

٣-٣ جهاز الجس الصوتي متعدد الأشعة ٤٢

٣-٤ جهاز المسح ثنائي التردد بالسونار ٤٥

٣-٥ جهاز المسح الجانبي بالسونار ٤٥

٣-٦ ماسح ما تحت السطح ٤٦

٣-٧ أجهزة مسح الأعماق عالية الوضوح المكاني ٤٧

٣-٨ تقنية الرصد المتحرك مع التصحيح اللحظي لقياسات الجي بي أس ٤٨

٣-٩ تقنية ألتيمتري الأقمار الصناعية ٤٩

٣-١٠ الأخطاء و التصحيحات في المسح المائي ٥١

٣-١١ مواصفات المسح المائي ٥٢

الفصل الرابع: تقنيات و طرق توجيه المسح المائي ٥٤

٤-١ مقدمة ٥٤

٤-٢ التوجيه بأجهزة المساحة الأرضية ٥٤

٤-٢-١ التوجيه بالمحطة الشاملة ٥٤

٤-٢-٢ التوجيه بالثيودوليت ٥٦

٤-٢-٣ التوجيه من المركب ٥٧

٤-٣ التوجيه بالجي بي أس ٦٠

٤-٣-١ أسلوب التصحيح اللحظي لقياسات الشفرة ٦٠

٤-٣-٢ أسلوب التصحيح اللحظي لقياسات الموجة الحاملة ٦١

٤-٣-٣ أسلوب الشبكات الدائمة العمل ٦٢

٤-٣-٤ أسلوب التصحيح اللحظي من الأقمار الصناعية التجارية ٦٣

تابع المحتويات صفحة

٤-٣-٥ أسلوب معالجة الأرصاد لاحقا ٦٣
٤-٤ التوجيه تحت سطح المياه ٦٤
٤-٥ المسح المائي في المناطق البسيطة ٦٧

الفصل الخامس: محطات و أجهزة قياس المد و الجزر ٦٨
٥-١ مقدمة ٦٨
٥-٢ الجيويد ٦٨
٥-٣ المرجع الجيوديسي الرأسي و شبكات التحكم الرأسية ٧١
٥-٣-١ المرجع الرأسي الأرضي و مركز الميزانية ٧١
٥-٣-٢ المرجع الرأسي البحري ٧٢
٥-٣-٣ انشاء شبكة التحكم الرأسية ٧٣
٥-٤ المد و الجزر ٧٥
٥-٥ أجهزة قياس المد و الجزر ٧٧
٥-٦ محطات المد و الجزر في مصر ٧٩

الفصل السادس: التغيرات المناخية و ارتفاع متوسط منسوب سطح البحر ٨١
٦-١ مقدمة ٨١
٦-٢ التغيرات المناخية ٨١
٦-٣ منسوب سطح البحر ٨٤
٦-٤ الارتفاع المتوقع لمنسوب سطح البحر ٨٦

المراجع ٨٨

تابع المحتويات صفحة

الملاحق ٩٣

ملحق ١: مقدمة في الجيوديسيا والمراجع و نظم الاحداثيات ٩٣

١- مقدمة ٩٣

٢- تاريخ علم الجيوديسيا ٩٣

٣- تطبيقات و أقسام علم الجيوديسيا ٩٥

٤- شكل الأرض ٩٩

٥- المراجع الجيوديسية ١٠٢

٦- نظم الإحداثيات ١٠٤

٦-١ الإحداثيات الجغرافية أو الجيوديسية ١٠٦

٦-٢ الإحداثيات الكروية ١٠٨

٦-٣ الإحداثيات الجيوديسية الكارتيزية أو الفراغية أو الديكارتية ١٠٨

٦-٤ الإطار المرجعي الأرضي العالمي ١٠٩

٦-٥ التحويل بين الإحداثيات الجغرافية ١١٠

٧- إسقاط الخرائط ١١١

٨- نظم الإحداثيات المسقطة أو المستوية ١٢٤

ملحق ٢: مبادئ رياضية و احصائية ١٢٨

١- مقدمة ١٢٨

٢- نظم قياس الزوايا ١٢٨

٢-١ النظام الستيني لقياس الزوايا ١٢٨

٢-٢ النظام المئوي لقياس الزوايا ١٢٩

٢-٣ النظام الدائري لقياس الزوايا ١٣٠

٢-٤ التحويل بين نظم قياس الزوايا ١٣٠

٣- مساحة الأشكال الهندسية البسيطة ١٣١

٤- أنواع اتجاه الشمال ١٣٥

تابع المحتويات صفحة

٤-١ الشمال المغناطيسي ١٣٥
٤-٢ الشمال الجغرافي ١٣٥
٤-٣ زاوية الاختلاف ١٣٥
٤-٤ الشمال الاختياري أو المفروض ١٣٦
٥- أنواع الانحرافات ١٣٦
٥-١ الانحراف الدائري ١٣٧
٥-٢ الانحراف المختصر ١٣٧
٥-٣ التحويل بين الانحراف الدائري و الانحراف المختصر ١٣٧
٥-٤ الانحراف الأمامي و الانحراف الخلفي لخط ١٣٨
٦- أنواع المسافات ١٣٩
٧- نظرية الأخطاء ١٤٠
٧-١ مصادر و أنواع الأخطاء ١٤٠
٨- مبادئ إحصائية في المساحة ١٤٢
٩- مبدأ الوزن في القياسات المساحية ١٥٠
١٠- سريان الأخطاء ١٥٣
١٠-١ المعادلة العامة لسريان الأخطاء ١٥٣
١٠-٢ سريان الأخطاء للمعادلات الخطية ١٥٣
١٠-٢-١ سريان الأخطاء في حساب المجموع ١٥٣
١٠-٢-٢ سريان الأخطاء في مجموعة قياسات ١٥٤
١٠-٢-٣ سريان الأخطاء في معادلة ضرب ١٥٥
١٠-٢-٤ سريان الأخطاء في المتوسط ١٥٥
١٠-٣ سريان الأخطاء للمعادلات غير الخطية ١٥٦
١٠-٤ أمثلة لسريان الأخطاء للمعادلات غير الخطية ١٦٠

ملحق ٣: أجهزة المساحة الأرضية ١٦٢
١- مقدمة ١٦٢
٢- أجهزة قياس المسافات ١٦٢
٢-١ قياس المسافات بالشريط ١٦٢
٢-٢ قياس المسافات الكترونيا ١٦٥
٣- جهاز الميزان ١٦٨
٣-١ المنسوب والارتفاع ١٦٨
٣-٢ الميزانية ١٧٠
٣-٣ جهاز الميزان البصري ١٧٣
٣-٤ جهاز الميزان الرقمي ١٧٥
٣-٥ جهاز الميزان الليزري ١٧٦
٣-٦ جهاز الميزان الدقيق ١٧٧
٤- جهاز الثيودليت ١٨٠
٤-١ الثيودليت البصري ١٨٠
٤-٢ الثيودليت الرقمي ١٨١
٤-٣ ضبط الثيودليت ١٨٢
٤-٤ العمل المساحي بالثيودوليت ١٨٣
٥- جهاز المحطة الشاملة ١٨٧
٥-١ مكونات و مميزات المحطة الشاملة ١٨٧
٥-٢ تشغيل المحطة الشاملة ١٨٩
٥-٣ أنواع متقدمة من المحطة الشاملة ١٩٠
٥-٣-١ المحطة الشاملة المتحركة ١٩٠
٥-٣-٢ المحطة الشاملة بالمسح الليزري ١٩١
٥-٣-٣ المحطة الشاملة التصويرية ١٩٢
٥-٣-٤ المحطة الشاملة الجيرو ١٩٣
٥-٣-٥ المحطة الشاملة مع الجي بي أس ١٩٣

تابع المحتويات

صفحة

ملحق ٤: النظام العالمي لتحديد المواقع GPS ١٩٤

١- مقدمة ١٩٤

٢- مكونات نظام الجي بي أس ١٩٧

٣- فكرة عمل الجي بي أس في تحديد المواقع ٢٠١

٤- إشارات الأقمار الصناعية في الجي بي أس ٢٠٣

٥- نظم ملاحية أخري لتحديد المواقع ٢٠٥

٦- أرصاد الجي بي أس ٢٠٨

٦-١ أرصاد المسافة الكاذبة باستخدام الشفرة ٢٠٨

٦-٢ أرصاد فرق طور الإشارة الحاملة ٢٠٩

٧- طرق الرصد ٢١١

نبذة عن المؤلف ٢١٧

قائمة المصطلحات

المصطلح	المرادف
Accumulative Error	الخطأ التراكمي
Accuracy	الدقة
Acoustic Positioning	التوجيه بالصوت
Acoustic Tide Gauge	أجهزة الصوت لقياس المد و الجزر
Altimetry Satellites	الأقمار الصناعية الألتيمترية
Astronomy	علم الفلك
ATR: Automatic Target Recognition	التعرف الآلي علي الهدف
Augmentation Systems	نظم الازدياد
Azimuth	الانحراف الدائري
Base Line	خط القاعدة
Bathometry	قياس الأعماق
Bearing	الانحراف المختصر
BeDiou	بيدو: النظام الصيني للرصد علي الأقمار الصناعية
Blunder or Gross Error	الخطأ الجسيم
BM: Bench Mark	روبير: نقطة معلومة المنسوب
Cartesian Coordinates	الإحداثيات الكارتيزية
Chart Datum	مرجع الخرائط البحرية
Charted Depth	العمق علي الخريطة
Coastal Hydrography	هيدروجرافية شاطئية
Code Corrections	تصحيحات اشارات الشفرة
Control Points	نقاط تحكم معلومة الاحداثيات
CORS: Continuously Operating Reference Stations	النقاط المرجعية دائمة العمل
Datum	المرجع
DEM: Digital Elevation Models	نماذج الارتفاعات الرقمية
DGPS: Differential GPS	الجي بي أس التفاضلي
Direct or Spirit Levelling	ميزانية مباشرة أو ميزانية هندسية
Distortion	التشوه
Dual-Head Profiler Scanning Sonar	جهاز المسح الصوتي بالسونار من خلال ترددين مختلفين
ECEF: Earth-Centered Earth-Fixed	نظام احداثيات مركزي أرضي ثابت
EDM: Electronic Distance Measurement	أجهزة قياس المسافات الكترونيا
Elevation Angle	زاوية الارتفاع

المصطلح	المرادف
Ellipsoid or Ellipsoid of Revolution	الاليبسويد أو الشكل البيضاوي
Equi-Potential Surface	سطح تساوي الجهد
Error Propagation	سريان الأخطاء
ETM: Egyptian Transverse Mercator	نظام إحداثيات الخرائط المصرية
Frequency	تردد
Galileo	جاليليو النظام الأوروبي للرصد علي الأقمار الصناعية
Geodesy	جيوديسيا: علم القياس ورسم الخرائط لسطح الأرض
Geodetic Coordinates	الإحداثيات الجيوديسية
Geodetic or Ellipsoidal Height	الارتفاع الجيوديسي أو الارتفاع الاليبسويدي
Geographic or True Meridian	الشمال الجغرافي أو الحقيقي
Geomatics	الجيوماتكس: علم المعلوماتية الأرضية
GIS: Geographic Information Systems	نظم المعلومات الجغرافية
Global Warming	الاحتباس الحراري
GLONASS	جلوناس: النظام الروسي للرصد علي الأقمار الصناعية
GNSS: Global Navigation Satellite Systems	النظم العالمية للملاحة بالأقمار الصناعية
GPS: Global Positioning System	النظام العالمي لتحديد المواقع (جي بي أس)
Grid Coordinates	إحداثيات ثنائية الأبعاد أو إحداثيات شبكية
Hand-Held	محمولة يدويا
Hand-Held or Navigation GPS	أجهزة الجي بي أس المحمولة يدويا أو الملاحية
HAT: Highest Astronomical Tide	أعلي مد و جزر فلكي
High-Resolution Bathy Systems	أجهزة مسح الأعماق عالية الوضوح المكاني
Hydrographic Survey	المسح المائي/الهيدروجرافي
Hydrography	علم وصف المياه
Ice Sheets Melting	ذوبان الكتل الجليدية
Instantaneous Sea Surface	سطح البحر اللحظي
Interpolation	الاستنباط
IPCC	اللجنة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ

المصطلح	المرادف
ITRF: International Terrestrial Reference Frame	الإطار المرجعي الأرضي العالمي
Land Subsidence	هبوط الأرض
Laser Scanner Total Station	جهاز المحطة الشاملة بالمسح الليزري
LAT: Lowest Astronomical Tide	أقل مد و جزر فلكي
Latitude	دائرة العرض
Level	الميزان
Levelling	الميزانية
LiDAR: Light Detection and Ranging	الليدار أو التحسس و القياس بالضوء
Longitude	خط الطول
Magnetic Meridian	الشمال المغناطيسي
Map Projection	إسقاط الخرائط
Marine Geoid	الجيويد البحري
Marine Surveying	المساحة البحرية
Maritime Cartography	الكارتوجرافيا المائية
MBES: Multi-Bean Echo Sounder	جهاز للجس الصوتي متعدد الأشعة
MHHW: Mean High High Water	متوسط أعلي أعلي ماء
MHWN: Mean High Water Neap	المتوسط المحاقي لأعلي ماء
MHWS: Mean High Water Spring	المتوسط الربيعي لأعلي ماء
MLLW: Mean Low Low Water	متوسط أقل أقل ماء
MLWN: Mean Low Water Neap	المتوسط المحاقي لأقل ماء
MLWS: Mean Low Water Spring	المتوسط الربيعي لأقل ماء
Most-Probable Value	القيمة الأكثر احتمالا
MSL: Mean Sea Level	متوسط منسوب سطح البحر
MTES: Multi-Transducer Echo Sounder	جهاز المجس الصوتي متعدد السماعات
MTL: Mean Tide Level	متوسط منسوب المد و الجزر
MTM: Modified Transverse Macerator	نظام ميريكاتور المستعرض المعدل
Multi-Beam Sonar	المجس الليزري متعدد الأطياف
Navigation	الملاحة
Oceanic Hydrography	هيدروجرافية المحيط
OED1907: Old Egyptian Datum 1907	المرجع الوطني المصري ١٩٠٧
Offshore Hydrography	هيدروجرافية قريبة من الشواطئ
oscillating electric signal	الاشارة الكهربائية المتأرجحة
Pegs	الأوتاد

المصطلح	المرادف
phase	طور الموجة
Photogrammetric Total Station	المحطة الشاملة التصويرية
Pins or Arrows	الشوك
Plumb Bob	خيط الشاغول
Positioning	التوجيه أو تحديد الموقع/الاحداثيات
Post Processing	الحساب لاحقا
Potential	الجهد
Precise Levelling	الميزانية الدقيقة
Precision	الصحة
Pressure Tide Gauges	أجهزة الضغط لقياس المد و الجزر
Prism	العاكس
Projected Coordinates	الإحداثيات المسقطة
Pseudorange	المسافة الكاذبة
Pulse Generator	مولد النبضات
Radar Altimetry	تقنية ألتيمتر الرادار
Radar Tide Gauge	أجهزة الرادار لقياس المد و الجزر
Random or Accidental Error	الخطأ العشوائي أو العارض
Range Pole or Rod	الشواخص
Receiver	المستقبل
Reference Surface	السطح المرجعي
Remote Sensing	الاستشعار عن بعد
Resection	التقاطع العكسي
Residuals or Discrepancies	الأخطاء المتبقية أو الفروق
RTK: Real-Time Kinematic	الرصد المتحرك مع التصحيح اللحظي
SBES: Single-Bean Echo Sounder	جهاز المجس الصوتي أحادي الشعاع
sextant	جهاز السكستان
Sounding Datum	مرجع الجس الصوتي
Spherical Coordinates	الإحداثيات الكروية
Staff	القامة
Standard Deviation	الانحراف المعياري
Standard Error	الخطأ المعياري
Sub-Bottom Profiler	جهاز رسم القطاعات في الأعماق
synchronization	تزامن
Systematic Error	الخطأ المنتظم
Tachometry	التاكيومتري: القياس السريع

تابع قائمة المصطلحات

المصطلح	المرادف
Tape	الشريط
Theodolite	جهاز الثيودوليت
Tide Gauges	محطات المد و الجزر
Tides	المد و الجزر
Topographic Maps	الخرائط الطبوغرافية
Total Station	جهاز المحطة الشاملة
Transducer	المذبذب (أو السماعة كما يطلق عليها في مصر)
Transmitter	المرسل
True Error	الخطأ الحقيقي
UTM: Universal Transverse Mercator Projection	مسقط ميريكاتور المستعرض العالمي
UUV: Unmanned Underwater Vehicle	المركبات الآلية تحت الماء
Variance	التباين
Vertical Control Network	شبكة تحكم رأسية
Vertical Datum	المرجع الرأسي
Waves	الأمواج
weight	الوزن
Weighted Mean	المتوسط الموزون
Zenith Angle	زاوية السمت

الفصل الأول
مقدمة و نبذة تاريخية

١-١ مقدمة

بصورة مبسطة فيمكننا القول أن المساحة المائية أو المساحة البحرية أو المساحة الهيدروجرافية تشبه في طبيعتها فرع المساحة الطبوغرافية في علوم الهندسة المساحية، وان كانت تهتم بصفة أساسية الي الرفع المساحي للمناطق تحت سطح الماء. ففي المساحة الطبوغرافية يتم التركيز علي عمل قياسات مساحية للإحداثيات ثلاثية الأبعاد X,Y,Z أو س،ص،ع (ع = الارتفاع) لبعض النقاط الموجودة أعلي سطح الأرض، بينما في المساحة المائية يتم التركيز علي الاحداثيات ثلاثية الأبعاد X,Y,D أو س،ص،ق لبعض النقاط الموجودة أسفل سطح الماء (ق = العمق). ويتم قياس هذه الأعماق تحت سطح أي مجري مائي (سواء كان نهر أو ترعة او بحر أو محيط)، ومن ثم فأن المصطلح العربى "المساحة المائية" هو الأقرب للدلالة علي طبيعة هذا الفرع من فروع المساحة.

تجدر الاشارة لوجود فرق جوهري بين علم المساحة المائية و علم الملاحة البحرية الذى يهتم بإنشاء الخرائط البحرية التي تساعد في الملاحة و الانتقال بين عدة مواقع علي سطح البحر. أي أن المساحة المائية/الهيدروجرافية هو علم هندسي للقياس و الرفع المساحي لما هو تحت سطح المياه بينما الملاحة البحرية علم جغرافي/خرائطى لإنشاء الخرائط البحرية.

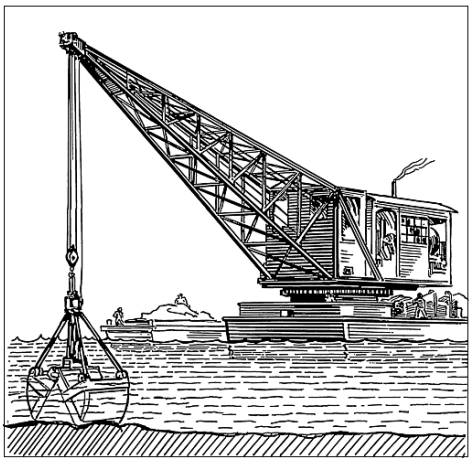
١-٢ المسح المائى

بصفة عامة فيمكن تعريف ***"علم وصف المياه Hydrography"*** علي أنه علم قياس و وصف و رسم: طبيعة مكونات قاع البحر (الأعماق و الجيولوجيا و الجيوفيزياء) و العلاقة المكانية مع اليابسة (الاحداثيات و الخصائص الفيزيائية للغلاف الجوي) و الخصائص الديناميكية للبحر (تغيرات سطح البحر و الأمواج و التيارات البحرية والخصائص الفيزيائية و الحرارية لمياه البحر)

> Hydrography is the science of measuring, describing, and depicting: nature and configuration of the seabed, geographical relationships to land mass, and characteristics and dynamics of the sea.

يمكن تعريف"***المسح المائي/الهيدروجرافى Hydrographic Survey***" علي أنه علم قياس و وصف الظاهرات التي تؤثر في الملاحة البحرية و الانشاءات المائية والتكريك (الحفر في مسطح مائي) واستكشاف والحفر عن الغاز في البحار و المحيطات و التطبيقات الأخرى المشابهه.

Hydrographic survey is the science of measurement and description of features which affect maritime navigation, maritime construction, dredging, offshore oil exploration, offshore oil drilling, and related activities.



شكل (١-١) تكريك المجري المائي: أحد تطبيقات المساحة المائية

ان مصطلح الهيدروجرافيا يمكن أن يكون مرادفا لمصطلح آخر و هو الكارتوجرافيا المائية maritime cartography حيث أن المرحلة الأخيرة للمسح المائي/الهيدروجرافي تمكن في تحويل البيانات الخام raw data و القياسات التي تم جمعها الي معلومات information (في صورة الخرائط المائية بكافة صورها) يستفيد منها المستخدم النهائي.

يمكن القول أن هناك ثلاثة نواحي أو تقسيمات لعلم الهيدروجرافيا: هيدروجرافية شاطئية coastal، هيدروجرافية قريبة من الشواطئ offshore، هيدروجرافية المحيط oceanic. فالهيدروجرافيا الشاطئية تتعلق بتنمية الموانئ البحرية و دراسة مشاكل التعرية البحرية والملاحة الآمنة في مياه الشواطئ. أما الهيدروجرافيا القريبة من الشواطئ فتشمل مهامها استخدام البيانات و القياسات البحرية في تنمية المناطق الشاطئية و دراسة الموارد الطبيعية الموجودة بها بالإضافة لإدارة مصائد الأسماك. أما مهام الهيدروجرافيا المحيطية فتشمل الحصول علي البيانات الهيدروجرافية في المناطق البعيدة من البحار/المحيطات لدراسة و رسم خصائص قاع البحر/المحيط.

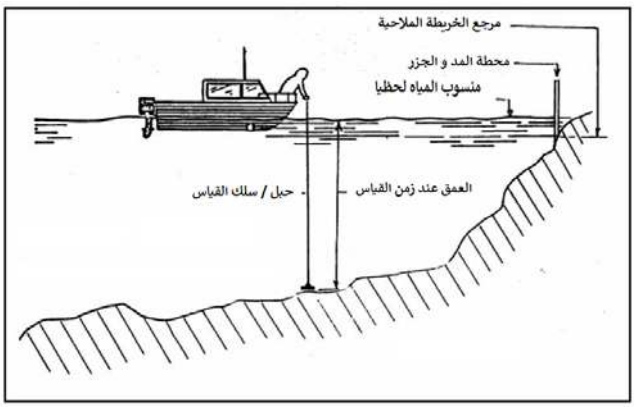
١-٣ نبذة تاريخية

أظهرت احدي قطع الآثار المصرية القديمة التي يعود تاريخها الي عام ١٤٥٠ قبل الميلاد تقريبا أن الفراعنة قد قاموا بقياس أعماق المياه. أما أول نص مكتوب عن القياسات المائية فكان للمؤرخ اليوناني الشهير هيرودوت الذي ذكر أن عمق المياه يبلغ ٦٦ قدما بعيدا عن مصب نهر النيل.

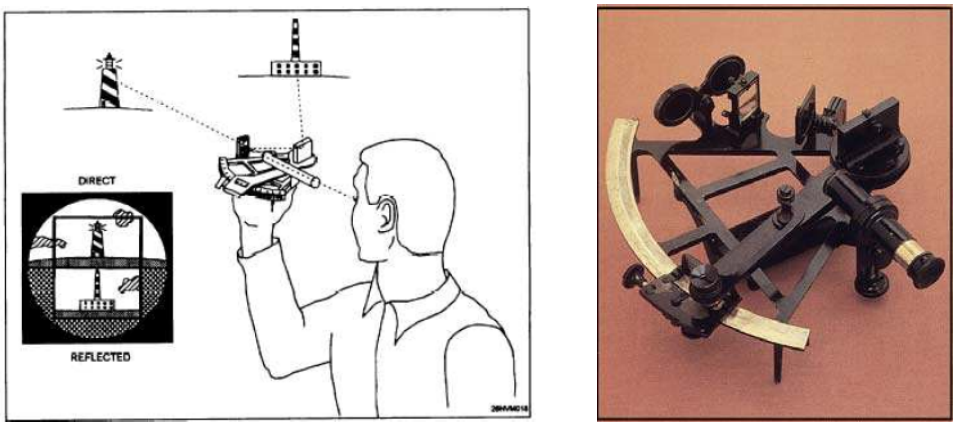
شكل (١-٢) قياسات الأعماق عند قدماء المصريين

وتثبت الدراسات التاريخية أن العرب قد أسهموا كثيرا في العلوم البحرية بصفة عامة، وظهر اسم "علم البحر" في القرن التاسع الهجري أو الخامس عشر الميلادي في مؤلفات العالم العربي ابن ماجد الذي ترك كتابين: كتاب "الفوائد في أصول علم البحر و القواعد" و كتاب "حاوية الاختصار في أصول علم البحار"، وفيهما ذكر المؤلف معلومات قيمة عن القياسات الفلكية للنجوم واستخداماتها في الملاحة البحرية ومعلومات عن المد و الجزر و الأمواج و الرياح و طبيعة القاع ... الخ. أما تاريخ المساحة المائية/الهيدروجرافية فيعود الي زمن طويل جدا في عدة دول، فعلي سبيل المثال بدأت المساحة المائية/الهيدروجرافية في بريطانيا تقريبا في العام ١٦٨٣.

كانت الطرق البسيطة لإجراء المسح المائي *Bathometry* استخدام حبل أو سلك مكون من عدة أقسام أو علامات وفي نهاية ثقل حديدي بحيث أنه عند رميه من القارب الي عمق المجري المائي - حني يستقر الثقل علي القاع - يمكن تحديد عمق المياه في هذه النقطة من خلال ملاحظة عدد أقسام أو علامات الحبل التى تحت سطح المياه. أما موقع (الاحداثيات الأفقية) لهذه النقطة فكان يتم تحديدها باستخدام جهاز مساحي بحري بسيط يسمي السكستان sextant وهو يشبه البوصلة لكنه يقيس الزاوية الفلكية/الرأسية بين نقطتين/هدفين. فان كان أحد الهدفين معلوما (الشمس أو القمر مثلا أو نقطة معلومة الاحداثيات علي الأرض) فيمكن حساب الموقع الفلكي (احداثيات) للهدف الثاني المرصود.

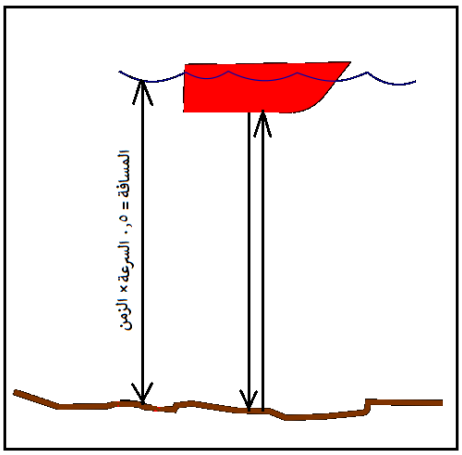


شكل (١-٣) قياس الأعماق يدويا



شكل (١-٤) جهاز السكستان

في الثلاثينيات من القرن العشرين الميلادى تم ابتكار أجهزة المجسات الصوتية echo sounders التي نتج عنها زيادة دقة و سرعة أعمال قياس الأعماق المائية. وبصورة مبسطة فأن هذه الأجهزة تعتمد علي نظرية قياس الوقت الذي تستغرقه اشارة كهرومغناطيسية منذ اطلاقها و اصطدامها بالقاع و العودة مرة أخري للجهاز، والذي منه يمكن حساب المسافة بين الجهاز و القاع حيث أن سرعة الموجة في المياه معلومة. أما لحساب الاحداثيات الأفقية للنقطة - التي يتم عندها اطلاق الموجة - فكان يتم استخدام جهاز الثيودوليت Theodolite حيث يمكن رصد الشاخص الموجود علي المركب من نقطتين معلومتين الاحداثيات Control Points بطريقة التقاطع العكسي Resection.



شكل (١-٥) نظرية عمل المجس الصوتي

في الثمانينات من القرن العشرين الميلادي ومع ابتكار أجهزة المحطة الشاملة/المتكاملة Total Station فأصبح تحديد الاحداثيات الأفقية أسرع و أدق حيث يمكن رصد العاكس Prism علي المركب من نقطة معلومة الاحداثيات (تحتلها المحطة الشاملة) ليتم حساب احداثياته بسرعة و طريقة آلية. ويتم عمل تزامن بطريقة بسيطة (بالصوت مثلا) ليتم ربط الاحداثيات الأفقية بالنقاط التي يقوم جهاز المجس الصوتي بقياس الأعماق عندها.

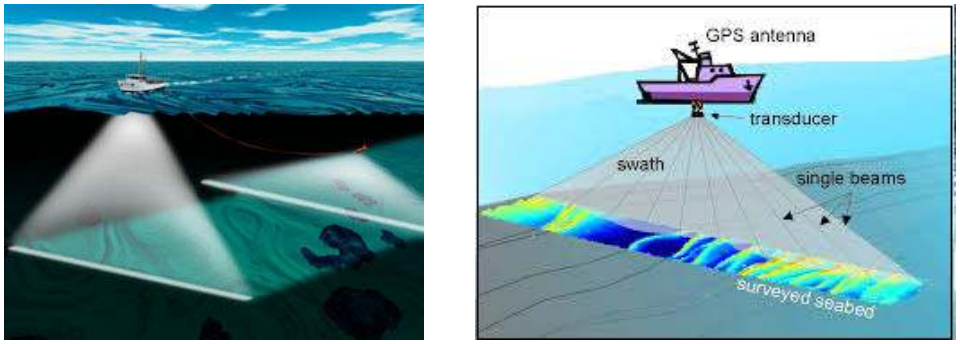
شكل (١-٦) الرفع المائي بجهازي المجس الصوتي و المحطة الشاملة

مع انتشار تطبيقات النظام العالمي لتحديد المواقع بالرصد علي الأقمار الصناعية Global Positioning System: GPS (أو اختصارا الجي بي أس) أصبح تحديد الموقع الأفقي لجهاز المجس الصوتي أكثر دقة و سهولة. يتم وضع مستقبل جي بي أس علي المركب وتوصيله بجهاز كمبيوتر متصل أيضا بجهاز المجس الصوتي، بحيث يقوم برنامج متخصص (مثل برنامج HyPack) بعمل تزامن synchronization بين كلا الجهازين بحيث يتم بسهولة الحصول علي الاحداثيات الثلاثية س،ص،ق لجميع النقاط التي يتم الرفع المائي لها.

شكل (١-٧) الرفع المائي بجهازي المجس الصوتي و الجي بي أس

حديثا تم ابتكار عدة تقنيات للاستخدام في الرفع المساحي بصفة عامة و أيضا في الرفع المائي، فبدلا من أجهزة المجس الصوتي أصبح يمكن الاستعانة بأجهزة الليدار أو التحسس و القياس بالضوء Light Detection and Ranging: LiDAR وأيضا الاستعانة بأجهزة المركبات الآلية تحت الماء Unmanned Underwater Vehicle: UUV (المشابهة في نظرية عملها للطائرات الآلية Unmanned Aerial Vehicle: UAV) وأيضا أجهزة المجس الليزري متعدد الأطياف Multi-Beam Sonar الذي يمكنه اطلاق موجات من الطاقة الكهرومغناطيسية في نطاقات متعددة ليمكنه جمع عدة أنواع من المعلومات عن الظاهرات الموجودة تحت سطح الماء و ليس العمق فقط، وأيضا أجهزة المجس الجانبي Side Scan Sonar الذي يرسل موجاته في خطوط جانبية ليمكنه تحسس الظاهرات المائية ليس في صورة نقطة بنقطة انما في صورة خط بخط، مما يتيح الرفع المائي لقطاع كبير من القاع بسرعة و سهولة.

شكل (١-٨) أجهزة المركبات الآلية تحت الماء UUV



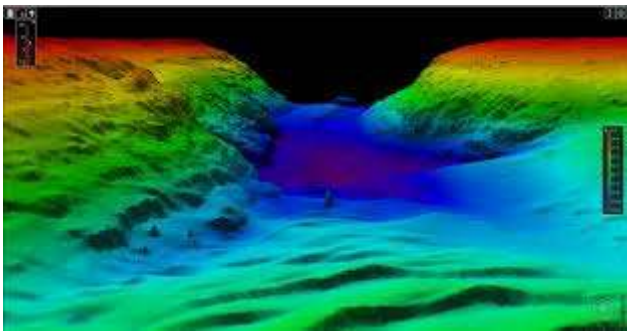
شكل (١-٩) فكرة عمل أجهزة المجس الجانبي Side Scan Sonar

١-٤ تطبيقات المساحة المائية

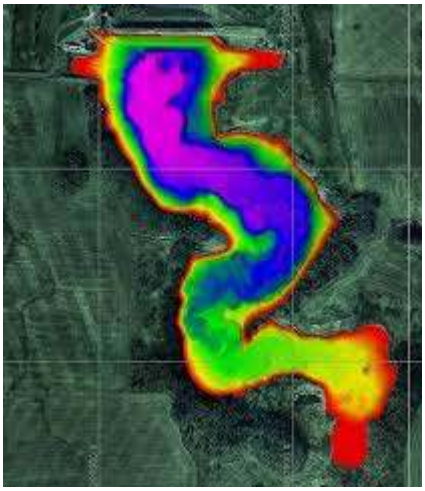
بعد جمع عدد كبير من البيانات والقياسات الحقلية لعملية المسح المائي/الهيدروجرافي فيتم أولا تصحيحها ضد مصادر الأخطاء المتوقعة (مثل أخطاء الجهاز المستخدم في الأعماق المرصودة) بالإضافة لتأثير عدة عوامل تشمل المد و الجزر Tides و الأمواج Waves و منسوب المياه Water Level وفرق درجة حرارة المياه Thermoclins or water temperature differences. وتستخدم هذه البيانات بعد تصحيحها في عدد كبير من التطبيقات مثل:

- عمل القطاعات في المجاري المائية
- حساب كميات الحفر و الردم (التكريك) في المجاري المائية
- انشاء نماذج الارتفاعات الرقمية Digital Elevation Models: DEM
- انشاء خرائط الأعماق Bathometry
- انشاء الخرائط الطبوغرافية للظاهرات في البحار و المحيطات Topographic Maps
- انشاء خرائط التربة للظاهرات تحت سطح الماء
- تحديد و مراقبة التغير في خط الشاطئ للمناطق الساحليه
- حساب الترسيب و النحر في المسطحات المائية (مثل البحيرات)
- الأعمال الهندسية للمشروعات تحت سطح الماء (الأنفاق و الكباري و السدود ... الخ)
- انشاء خرائط الملاحة البحرية
- الدراسات البيئية للأهداف البحرية (الأسماك و الشعاب المرجانية ... الخ)
- دراسات التلوث البحري
- استكشاف الموارد الطبيعية مثل البترول و الغاز الطبيعي تحت سطح الماء

- الادارة المتكاملة و تنمية المناطق الساحلية



شكل (١-١٠) مثال لنموذج ارتفاعات رقمية لقاع المجري المائي



شكل (١-١١) مثال لخريطة أعماق مجري مائي

١-٥ المراجع الرأسية الأرضية و المائية

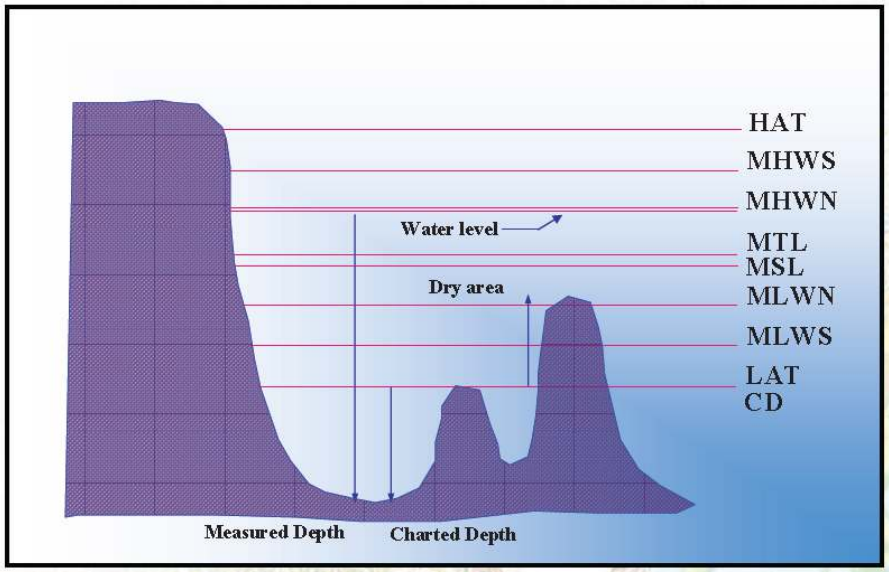
يوجد عدد كبير من المراجع الرأسية المستخدمة سواء في المساحة الأرضية/الجيوديسية أو في المساحة المائية. يعتمد حساب أو تحديد كل مرجع علي تعريفه و الهدف منه واستخداماته في الخرائط المساحية و الخرائط البحرية. لكن في المساحة الأرضية فقد تم الاتفاق الدولي - منذ سنوات طويلة - علي استخدام متوسط منسوب سطح البحر Mean Sea Level: MSL كمرجع رأسي، بينما هناك عدة مراجع رأسية في المساحة المائية حيث تقوم كل دولة/مؤسسة باعتماد احداها كمرجع. يقدم الجدول التالي تعريف مجموعة من المراجع الرأسية المستخدمة.

جدول (١-١) المراجع الرأسية

المرجع الرأسي	تعريفه
متوسط منسوب سطح البحر ***MSL***	المتوسط الحسابي لمجموعة كبيرة من القياسات التي تحدد ارتفاع سطح البحر (عند لنقطة محددة). تعتمد دقة MSL علي طول الفترة الزمنية للقياسات، و أحسن قيمة يتم تحديدها من أرصاد علي مدار ١٨.٦ سنة. M.S.L. is the average level taken up by the sea. The best result can be obtained with 18.6 years observation
متوسط منسوب المد و الجزر Mean Tide Level: ***MTL***	المتوسط الحسابي لقياسات أعلي و أقل ارتفاع لسطح البحر في فترة زمنية محددة. ويكاد MTL أن يساوي MSL. M.T.L. is the average value of all the heights of high and low waters over a certain period
المتوسط الربيعي لأعلي ماء Mean High Water Spring: ***MHWS***	المتوسط خلال سنة للقيم المتعاقبة لأعلي ارتفاع ماء خلال هذه الفترة عندما يكون مدي المد و الجزر أكبر ما يمكن. The average, throughout a year when the average maximum declination of the moon is 23.5o, of the high two successive high waters during those period of 24 hours, when the range of the tide is greatest.
المتوسط الربيعي لأقل ماء Mean Low Water Spring: ***MLWS***	المتوسط خلال سنة للقيم المتعاقبة لأقل ارتفاع ماء خلال هذه الفترة (عندما يكون مدي المد و الجزر أكبر ما يمكن). The average height obtained by the two successive low waters during the same period.
المتوسط المحاقي لأعلي ماء Mean High Water	المتوسط خلال سنة للقيم المتعاقبة لأعلي ارتفاع ماء خلال هذه الفترة عندما يكون مدي المد و الجزر أقل ما يمكن. The average, throughout a year as defined in

Neap: ***MHWN***	M.H.W.S., of the height of two successive high waters during these periods when the range of the tide is least.
المتوسط المحاقي لأقل ماء Mean Low Water Neap: ***MLWN***	المتوسط خلال سنة للقيم المتعاقبة لأقل ارتفاع ماء خلال هذه الفترة (عندما يكون مدي المد و الجزر أقل ما يمكن). The average height obtain from the two successive low waters during the same period.
متوسط أعلي أعلي ماء Mean High High Water: ***MHHW***	المتوسط الحسابي لأعلي قيمة من القيمتين الأكبر في اليوم في فترة زمنية محددة The mean of the higher of the two daily high waters experienced over a period.
متوسط أقل أقل ماء Mean Low Low Water: ***MLLW***	المتوسط الحسابي لأقل قيمة من القيمتين الأقل في اليوم في فترة زمنية محددة. The mean of the lower of the two daily low waters experienced over a period.
أقل مد و جزر فلكي Lowest Astronomical Tide: ***LAT***	أقل ارتفاع يمكن التنبؤ به (حسابه) قد يحدث عند الظروف المناخية المتوسطة وعند أي ظروف فلكية. ويتم حسابه من خلال دراسة المد و الجزر لفترة (مثالية) ١٨.٦ سنة. ويعرف مرجع الخريطة chart Datum علي أنه الارتفاع الذي لا يقع أي مد و جزر متنبأ بأكثر من ٠.١ متر. The lowest level which can be predicted to occur under average meteorology condition and under any combination of astronomical conditions. It can only be obtained properly by studying tidal prediction covering (ideally) about 18.6 years, as the level of L.A.T will not be reached every year. Chart datum has

been rather more broadly defined as the level below which no predicted tide shall fall by more than 0.1 meter.	
أعلي ارتفاع يمكن التنبؤ بـه (حسابه) قد يحدث عند الظروف المناخية المتوسطة وعند أي ظروف فلكية. H.A.T. is the highest level which can be predicted to occur under average meteorology condition and under any combination of astronomical conditions.	أعلي مد و جزر فلكي Highest Astronomical Tide: ***HAT***
المرجع أو المنسوب الذي يتم عليه كافة أعمال المسح المائي. The level to which soundings are reduced in the course of a hydrographic survey, and is therefore the datum used for the completed fair chart or final tracing.	مرجع الجس الصوتي Sounding Datum
المسافة الرأسية للأهداف الي مرجع الجس الصوتي. The vertical distance between object to sounding datum	العمق علي الخريطة Charted Depth

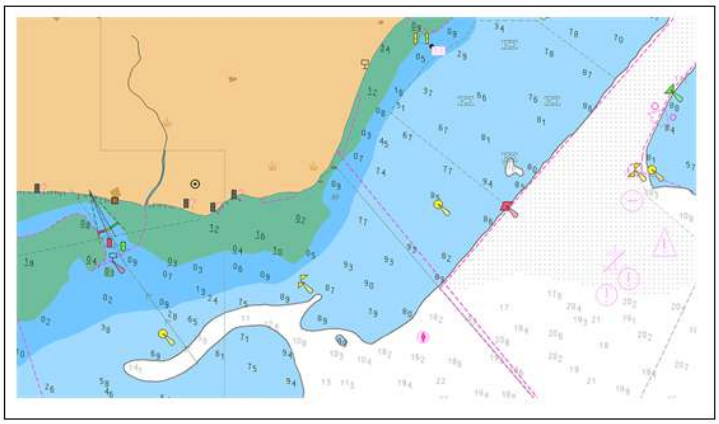


شكل (١-١٢) المراجع الرأسية الأرضية و البحرية المختلفة

١-٦ الخرائط البحرية الأدميرالية

منذ أكثر من قرنين تقوم البحرية الأدميرالية البريطانية بإصدار مجموعة كبيرة من المنتجات منها الخرائط البحرية العالمية التي توضح أعماق المياه في معظم البحار و المحيطات لخدمة الملاحة البحرية. ويمكن شراء هذه الخرائط (سواء النسخة الورقية المطبوعة أو النسخة الرقمية) بمقابل مادي من خلال الوكلاء الموجودين في معظم الدول (في مصر مثلا ثلاثة وكلاء في السويس و الاسكندرية و بورسعيد). لمزيد من المعلومات التفصيلية يرجى زيارة الرابط الالكتروني التالي:

https://www.admiralty.co.uk/



شكل (١-١٣) مثال للخرائط البحرية الأدميرالية

الفصل الثانى
القطاعات المائية و حساب كميات التكريك

٢-١ مقدمة

تعد تطبيقات المسح المائي/الهيدروجرافي في مشروعات تطهير أو تكريك المجاري المائية البسيطة من أهم (و ربما أسهل) تطبيقات هذا النوع من العمل المساحى. فكثير من المجاري المائية البسيطة (ترعة أو مصرف أو نهر) يحدث بها ترسبات من الطمي و المخلفات في القاع مع مرور الزمن مما يقلل من حجم المياه المارة بها أو يعيق حركة الملاحة المائية فيها، ومن هنا تبرز الحاجة الي تطهير/تكريك هذه المجاري المائية كل فترة زمنية. وفي هذه التطبيقات المساحية يتم رصد قطاعات عرضية في المجري المائي قبل و بعد اجراء أعمال التطهير/التكريك بهدف حساب كميات الطمي المستخرجة في عملية التطهير و من ثم حساب تكلفة هذه الأعمال الهندسية. وينقسم العمل في هذه التطبيقات الي عمل حقلي و عمل مكتبي كما سيتناول هذا الفصل في الأجزاء التالية.

٢-٢ العمل الحقلى

يتم تنفيذ الأعمال الحقلية باستخدام عدة أجهزة ستناول هنا فقط استخدام جهازى الميزان و المحطة الشاملة كأمثلة، و سنتعرض لنبذة سريعة عن أسلوبين من أساليب المساحة الأرضية ألا و هما الميزانية و التاكيومترية.

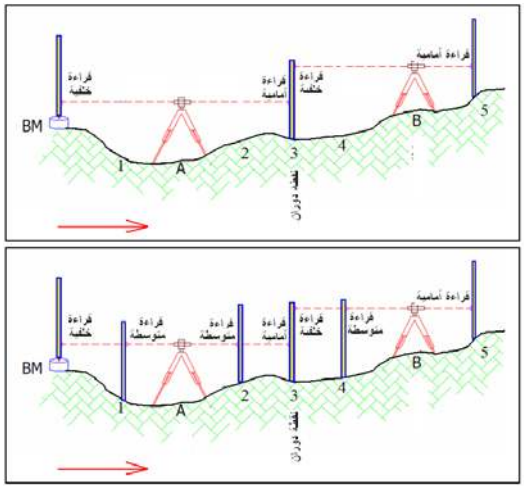
٢-٢-١ عمل القطاعات بجهاز الميزان

٢-٢-١-١ الميزانية

الميزانية هي فرع المساحة الذي يبحث في الطرق المختلفة لقياس البعد الثالث (الارتفاعات) للمعالم الجغرافية علي سطح الأرض. وتنقسم الميزانية المباشرة من حيث أسلوب تنفيذها في الطبيعة إلي ميزانية طولية و عرضية و شبكية، وفي حالة الوصول لدقة عالية في تحديد فروق المناسيب فتسمي الميزانية بالميزانية الدقيقة. ويستعرض الملحق الثالث في نهاية الكتاب جهاز الميزان و أنواعه ملحقاته.

عند إجراء الميزانية الطولية (وأيضا العرضية) يقف جهاز الميزان في عدد من النقاط ويكون هناك عدة أنواع من القراءات علي القامة:

- القراءة الخلفية أو المؤخرة Back Sight or BS: أول قراءة تؤخذ علي القامة بعد تثبيت الميزان في أي نقطة.
- القراءة الأمامية أو المقدمة For Sight or FS: آخر قراءة تؤخذ علي القامة قبل نقل الميزان إلي النقطة التالية.
- القراءة المتوسطة Intermediate Sight or IS: كل قراءة تؤخذ علي القامة بين قراءتي الخلفية و الأمامية.
- نقطة الدوران أو التحول Turning point: النقطة التي يؤخذ عندها علي القامة قراءة خلفية و قراءة أمامية.



شكل (٢-١) خطوات الميزانية الطولية

يبدأ العمل الحقلي بوضع الميزان عند أي نقطة اختباريه بالقرب من الروبير أو BM (نقطة A في الشكل) بينما يتم وضع القامة الأولي أعلي الروبير والقامة الثانية بعد الميزان في الاتجاه المطلوب إجراء الميزانية الطولية خلاله (نقطة ٣ في الشكل). يفضل أن يكون وضع الميزان في منتصف المسافة (بقدر الإمكان) بين كلتا القامتين. يتم ضبط أفقية الميزان باستخدام مسامير التسوية كما يتم ضبط رأسية كل قامة من خلال ميزان التسوية الجانبي. يتم تسجيل القراءة علي القامة الخلفية في دفتر الأرصاد (أو في ذاكرة الجهاز) ، ثم يدور الميزان أفقيا ويتم التوجيه علي القامة الثانية (القامة الأمامية) وتسجيل قراءتها أيضا. تظل القامة الثانية (الأمامية) في مكانها بينما تتحرك القامة الأولي (التي كانت خلفية) إلي موقع جديد (النقطة ٥ في الشكل)، وينقل الميزان أيضا لموقعه الجديد (النقطة B في الشكل). يتم ضبط أفقية الميزان ورأسية كلتا القامتين ثم تسجيل القراءة علي القامة الخلفية ثم القامة الأمامية. أي أن النقطة ٣ (في الشكل) أصبحت نقطة دوران حيث تم رصدها مرة كقراءة أمامية (من الميزان عند A) ومرة كقراءة

خلفية (من الميزان عند B). يتم تكرار هذه الخطوات طوال المحور الطولي (الخط المطلوب للميزانية) حتى تصل القامة الأمامية لتحتل نقطة الهدف الأخيرة في هذا المحور.

أيضا يمكن تنفيذ ميزانية عرضية – أثناء إجراء ميزانية طولية – من خلال تطبيق النقاط المتوسطة ، سواء باستخدام احدي القامتين الرئيستين أو باستخدام قامة ثالثة. أثناء وقوف الميزان عند النقطة علي محور الميزانية الطولية (نقطة A في الشكل) يتم وضع قامة عند النقطة علي القطاع العرضي المطلوب (نقطة ١ في الشكل) وتسجيل قراءتها في دفتر الأرصاد، ثم تنقل هذه القامة للنقطة ٢ (في الشكل) وتسجل قراءتها أيضا ليصبح لدينا قراءتين متوسطتين يحددا فرق ارتفاع كلتا نهايتي القطاع العرضي المطلوب.

حسابات الميزانية المباشرة:

توجد طريقتين لحساب فرق المنسوب بين نقطتين تم إجراء ميزانية (طولية) بينهما باستخدام الميزان البصري العادي: طريقة سطح الميزان و طريقة الارتفاع و الانخفاض. أما الميزان الالكتروني أو الرقمي فلديه إمكانيات لإتمام الحسابات داخل برنامج الحاسب الآلي الخاص به. فإذا علمنا منسوب النقطة الأولي BM فيتم حساب منسوب النقطة (أو النقاط) المطلوبة. إن لم منسوب نقطة البداية معلوما فيمكن فرض قيمة له لتتم الحسابات بها (ما يطلق عليه أسم الصفر الخاص لهذا المشروع).

طريقة سطح الميزان:

في هذه الطريقة يتم حساب منسوب نقطة القامة الأمامية كالآتي:

منسوب سطح الميزان = منسوب النقطة الخلفية (المعلومة) + قراءتها الخلفية (٢-١)

منسوب النقطة الأمامية = منسوب سطح الميزان - قراءتها الأمامية (٢-٢)

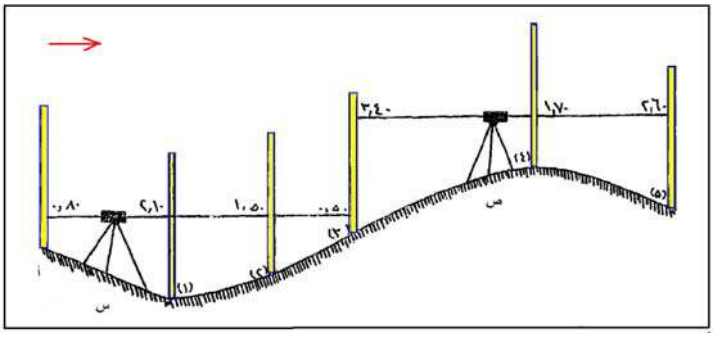
وبعد حساب منسوب النقطة الأمامية فتكون قد تحولت إلي نقطة معلومة المنسوب ويتم استخدامها كنقطة خلفية معلومة للنقطة التالية ، وهكذا.

التحقيق الحسابي في نهاية الميزانية:

منسوب آخر نقطة – منسوب أول نقطة = مجموع المؤخرات – مجموع المقدمات (٢-٣)

مثال:

بدأت ميزانية طولية من نقطة أ المعلوم منسوبها (١٠.٥٠ متر) ووضع الميزان عند نقطة س و أخذت القراءات ١ ، ٢ ، ٣ ثم أنتقل الميزان للنقطة ص ،أخذت القراءات عند ٣ ، ٤ ، ٥. أحسب مناسيب جميع النقاط.



شكل (٢-٢) مثال للميزانية طولية

منسوب سطح الميزان عند س = منسوب النقطة الخلفية (المعلومة) + القراءة الخلفية

= ١٠.٥٠ + ٠.٨٠ = ١١.٣٠ متر

منسوب النقطة الأمامية عند ١ = منسوب سطح الميزان - قراءتها الأمامية

= ١١.٣٠ – ٢.١٠ = ٩.٢٠ متر

منسوب النقطة الأمامية عند ٢ = منسوب سطح الميزان - قراءتها الأمامية

= ١١.٣٠ – ١.٥٠ = ٩.٨٠ متر

منسوب النقطة الأمامية عند ٣ = منسوب سطح الميزان - قراءتها الأمامية

= ١١.٣٠ – ٠.٥٠ = ١٠.٨٠ متر

الآن أصبحت النقطة ٣ معلومة المنسوب وأنتقل الميزان إلي النقطة ص:

منسوب سطح الميزان عند ص = منسوب النقطة الخلفية (٣) + القراءة الخلفية

= ١٠.٨٠ + ٣.٤٠ = ١٤.٢٠ متر

منسوب النقطة الأمامية عند ٤ = منسوب سطح الميزان - قراءتها الأمامية

= ١٤.٢٠ – ١.٧٠ = ١٢.٥٠ متر

منسوب النقطة الأمامية عند ٥ = منسوب سطح الميزان - قراءتها الأمامية

= ١٤.٢٠ – ٢.٦٠ = ١١.٦٠ متر

غالبا تتم حسابات الميزانية في الطبيعة وفي نفس دفتر تسجيل الأرصاد كالتالي:

النقطة	قراءات القامة			منسوب سطح الميزان	المنسوب	ملاحظات
	خلفية	متوسطة	أمامية			
أ	٠.٨٠			١١.٣٠	١٠.٥٠	نقطة روبير
١		٢.١٠			٩.٢٠	
٢		١.٥٠			٩.٨٠	
٣	٣.٤٠		٠.٥٠	١٤.٢٠	١٠.٨٠	نقطة دوران
٤		١.٧٠			١٢.٥٠	
٥			٢.٦٠		١١.٦٠	
المجموع	٤.٢٠		٣.١٠			

التحقيق الحسابي في نهاية الميزانية:

منسوب آخر نقطة – منسوب أول نقطة = مجموع المؤخرات – مجموع المقدمات

منسوب آخر نقطة – منسوب أول نقطة = ١١.٦٠ – ١٠.٥٠ = ١.١٠ متر

مجموع المؤخرات – مجموع المقدمات = ٤.٢٠ – ٣.١٠ = ١.١٠ متر

إذن العمل سليم.

<u>طريقة الارتفاع و الانخفاض:</u>

تعتمد هذه الطريقة علي مقارنة كل نقطة بالنقطة السابقة لها (في الميزانية الطولية) ومعرفة قيمة الارتفاع أو الانخفاض عنها. كلما زادت قراءة القامة كان ذلك دليلا علي انخفاض النقطة عن النقطة السابقة لها وكلما قلت قراءة القامة دل ذلك علي ارتفاع النقطة المقارنة.

فرق الارتفاع بين نقطتين = قراءة القامة الخلفية – قراءة القامة الأمامية (٢-٤)

منسوب النقطة الأمامية = منسوب النقطة الخلفية + فرق الارتفاع (٢-٥)

التحقيق الحسابي في نهاية الميزانية:

مجموع الارتفاعات = مجموع الانخفاضات

= منسوب آخر نقطة – منسوب أول نقطة

= مجموع المؤخرات – مجموع المقدمات (٢-٦)

في المثال السابق:

فرق الارتفاع بين النقطتين أ - ١ = ٠.٨٠ – ٢.١٠ = - ١.٣٠ متر

منسوب النقطة ١ = منسوب النقطة أ + فرق الارتفاع بينهما

= ١٠.٥٠ + (-١.٣٠) = ١٠.٥٠ - ١.٣٠ = ٩.٢٠ متر

فرق الارتفاع بين النقطتين ١ - ٢ = ٢.١٠ – ١.٥٠ = + ٠.٦٠ متر

منسوب النقطة ٢ = منسوب النقطة ١ + فرق الارتفاع بينهما

= ٩.٢٠ + ٠.٦٠ = ٩.٨٠ متر

فرق الارتفاع بين النقطتين ٢ - ٣ = ١.٥٠ – ٠.٥٠ = + ١.٠٠ متر

منسوب النقطة ٣ = منسوب النقطة ٢ + فرق الارتفاع بينهما

= ٩.٨٠ + ١.٠٠ = ١٠.٨٠ متر

فرق الارتفاع بين النقطتين ٣ - ٤ = ٣.٤٠ – ١.٧٠ = + ١.٧٠ متر

منسوب النقطة ٤ = منسوب النقطة ٣ + فرق الارتفاع بينهما

= ١٠.٨٠ + ١.٧٠ = ١٢.٥٠ متر

فرق الارتفاع بين النقطتين ٤ - ٥ = ١.٧٠ – ٢.٦٠ = - ٠.٩٠ متر

منسوب النقطة ٥ = منسوب النقطة ٤ + فرق الارتفاع بينهما

= ١٢.٥٠ + (- ٠.٩٠) = ١٢.٥٠ – ٠.٩٠ = ١١.٦٠ متر

ويكون جدول الأرصاد و الحسابات كالتالي:

النقطة	قراءات القامة			فرق الارتفاع	المنسوب	ملاحظات
	خلفية	متوسطة	أمامية			
أ	٠.٨٠				١٠.٥٠	نقطة روبير
١		٢.١٠		- ١.٣٠	٩.٢٠	
٢		١.٥٠		+ ٠.٦٠	٩.٨٠	
٣	٣.٤٠		٠.٥٠	+ ١.٠٠	١٠.٨٠	نقطة دوران
٤		١.٧٠		+ ١.٧٠	١٢.٥٠	
٥			٢.٦٠	- ٠.٩٠	١١.٦٠	
المجموع	٤.٢٠		٣.١٠			

التحقيق الحسابي:

مجموع الارتفاعات - مجموع الانخفاضات =

= منسوب آخر نقطة – منسوب أول نقطة

= مجموع المؤخرات – مجموع المقدمات

مجموع الارتفاعات = ٠.٦٠ + ١.٠٠ + ١.٧٠ = ٣.٣٠ متر

مجموع الانخفاضات = ١.٣٠ + ٠.٩٠ = ٢.٢٠ متر

مجموع الارتفاعات – مجموع الانخفاضات = ٣.٣٠ = ٢.٢٠ = ١.١٠ متر

منسوب آخر نقطة – منسوب أول نقطة = ١١.٦٠ – ١٠.٥٠ = ١.١٠ متر

مجموع المؤخرات – مجموع المقدمات = ٤.٢٠ – ٣.١٠ = ١.١٠ متر

إذن العمل سليم.

حساب خطأ الميزانية:

توجد عدة طرق لتقدير قيمة الخطأ في أرصاد الميزانية الطولية ومقارنته بالحدود المسموح بها لقبول أو رفض (إعادة رصد) الميزانية. تشمل هذه الطرق: (١) قفل أو إنهاء الميزانية علي نقطة معلومة المنسوب BM إن كان متوافرا بمنطقة العمل ، (٢) تنفيذ الميزانية مرتين أحدهما ذهابا والآخر ايابا في حالة عدم توافر روبير في نهاية الميزانية.

في حالة توافر روبير في نهاية الميزانية:

خطأ الميزانية = المنسوب المعلوم للروبير الأخير –

منسوبه المحسوب من أرصاد الميزانية (٢-٧)

في حالة عدم توافر روبير في نهاية الميزانية:

خطأ الميزانية = المنسوب المعلوم للروبير الأول –

منسوبه المحسوب من أرصاد الميزانية في خط الإياب (٢-٨)

أو يمكن حسابه بصورة أخري:

خطأ الميزانية = فرق الارتفاع بين طرفي خط الذهاب –

فرق الارتفاع بين طرفي خط الإياب (٢-٩)

أما الحدود المسموح بها في الميزانية العادية فتعتمد علي طول خط الميزانية. من أسهل طرق الحصول طول خط الميزانية إما باستخدام الشريط في قياس المسافة بين كل خلفية و أمامية ثم جمع هذه المسافات لحساب الطول الإجمالي للميزانية. أيضا يمكن حساب المسافة بين

الميزان وأي قامة (سواء الخلفية أو الأمامية) في حالة تسجيل قراءة الشعرتين العليا و السفلي (شعرات الاستاديا) في كل قراءة قامة ثم حساب المسافة:

المسافة بين الميزان و القامة = (قراءة الشعرة العليا – قراءة الشعرة السفلي)

× ثابت الميزان (٢-١٠)

حيث ثابت الميزان غالبا = ١٠٠ وان كان يجب التأكد من ذلك لكل ميزان مستخدم وذلك من الكتالوج الخاص به.

يتم حساب المسافة بين الميزان والقامة الخلفية و المسافة بين الميزان والقامة الأمامية عند كل وقفة ميزان ، ثم يتم جمع جميع المسافات للحصول علي الطول الكلي لخط الميزانية والذي يستخدم لحساب قيمة الخطأ المسموح به:

الخطأ المسموح به بالمليمتر = ن √ ك (٢-١١)

حيث:

ك طول خط الميزانية بالكيلومتر

ن ثابت يعتمد علي نوع و دقة الميزانية المطلوبة

تعتمد قيمة الثابت (ن) علي المواصفات الفنية التي تحددها الجهة المسئولة عن المساحة في بلد ما أو علي مواصفات المشروع المساحي ذاته. فعلي سبيل المثال فأن الهيئة العامة للمساحة المصرية تعتمد قيم الثابت (ن) كالتالي:

ن = ٤ لميزانية الدرجة الأولي (لحلقات الميزانية)

ن = ٥ لميزانية الدرجة الأولي (لخط الميزانية)

ن = ٨ لميزانية الدرجة الثانية

ن = ١٢ لميزانية الدرجة الثالثة

في المثال السابق تم قياس المسافات بالشريط وتسجيلها في دفتر الأرصاد كالتالي:

النقطة	قراءات القامة			فرق الارتفاع	المنسوب	المسافة بالمتر
	خلفية	متوسطة	أمامية			
أ	٠.٨٠				١٠.٥٠	صفر
١		٢.١٠		١.٣٠ -	٩.٢٠	٣٥
٢		١.٥٠		٠.٦٠ +	٩.٨٠	٣١
٣	٣.٤٠		٠.٥٠	١.٠٠ +	١٠.٨٠	١٩
٤		١.٧٠		١.٧٠ +	١٢.٥٠	٣٧
٥			٢.٦٠	٠.٩٠ -	١١.٦٠	٤٢
المجموع	٤.٢٠		٣.١٠			١٦٤ متر ٠.١٦٤ كيلومتر

فان كانت الميزانية في هذا المثال من الدرجة الأولي فأن:

الخطأ المسموح به بالمليمتر = ٥ √ ك = ٥ (√ ٠.١٦٤) = ٢.٠٢ مليمتر

وان كانت الميزانية في هذا المثال من الدرجة الثانية فأن:

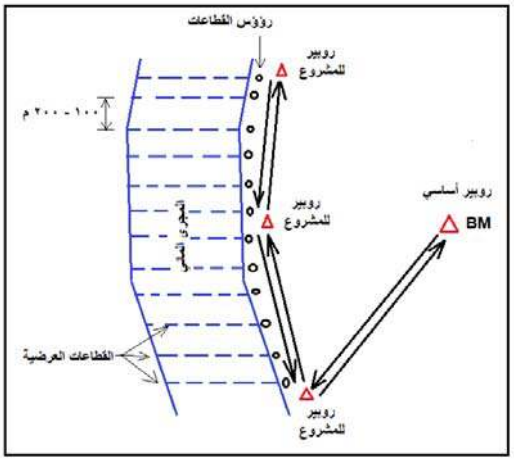
الخطأ المسموح به بالمليمتر = ٨ √ ك = ٨ (√ ٠.١٦٤) = ٣.٢٤ مليمتر

وان كانت الميزانية في هذا المثال من الدرجة الثالثة فأن:

الخطأ المسموح به بالمليمتر = ١٢ √ ك = ١٢ (√ ٠.١٦٤) = ٤.٨٦ مليمتر

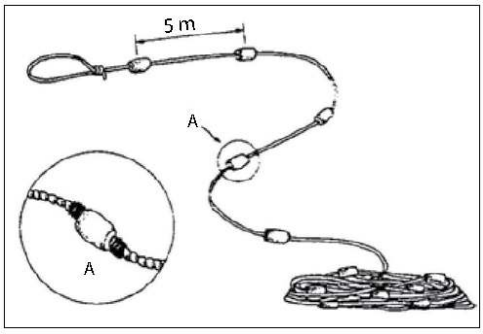
٢-٢-١-٢ رصد القطاعات بالميزان

تبدأ أعمال المسح المائي/الهيدروجرافي بإنشاء روبير BM (نقطة معلومة المنسوب) من خلال اجراء ميزانية طولية - ذهابا و عودة - بدءا من أقرب روبير معتمد و حتى نقطة قريبة من منطقة المشروع المطلوب. وبعد اجراء التحقيقات الحسابية اللازمة (خطأ قفل الميزانية) يتم حساب منسوب "روبير المشروع" بمعلومية منسوب الروبير الأساسي. وفي حالة أن الجزء المطلوب رفعه من المجري المائي طويلا فمن الأفضل انشاء عدد من "روبيرات المشروع" بدءا من الروبير الأول. ثم تلي ذلك مرحلة انشاء نقاط رؤوس القطاعات و رصد منسوبها أيضا. عادة ما تكون القطاعات متوازية و عمودية علي اتجاه سريان الماء في هذا المجري و بمسافات بينية تتراوح بين ١٠٠ الي ٢٠٠ متر طبقا للمواصفات الفنية المطلوبة للمشروع.



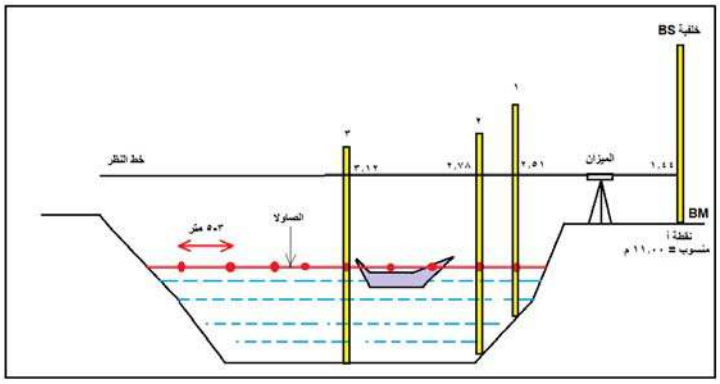
شكل (٢-٣) أعمال ما قبل القطاعات المائية في الميزانية

تبدأ الرفع المائي للقطاع الأول من خلال شد سلسلة من الصلب مركب عليها علامات مرقمة كل ٢ او ٣ او ٥ متر (تسمي الصاولا في مصر) بين وتدين علي كلا جانبي المجري المائي.



يبدأ الميزان في رصد القراءة الخلفية BS علي النقطة معلومة المنسوب (رأس القطاع الأول) ثم رصد القراءة الأمامية FS الأولي علي القامة الموضوعة في الماء والمثبتة علي

القاع (النقطة ١ في الشكل). ومن الصاولا يتم معرفة المسافة الأفقية لهذه النقطة وتدوينها في دفتر الأرصاد. ثم يتحرك القارب الي العلامة التالية علي الصاولا ويتم وضع القامة اتصل الي القاع و من ثم أخذ القراءة عليها من الميزان (النقطة ٢) وهكذا يتم رصد كافة النقاط في هذا القطاع المائي حتى الوصول الي نهايته من الجهة الاخرى. من الممكن أيضا أخذ بعض القراءات علي جسر المجري المائي و أيضا علي الجزء المائل منه (في كلا الجانبين) لرسم القطاع المائي بصورة تفصيلية.



شكل (٢-٤) مثال لأعمال رصد القطاعات المائية بالميزان

٢-٢-٢ عمل القطاعات بجهاز المحطة الشاملة

٢-٢-٢-١ التاكيومترية

كلمة "التاكيومتري Tachometry" معناها القياس السريع ، والمساحة التاكيومترية هي المساحة التي لا تعتمد علي القياس المباشر للكميات المطلوبة ، أو بمعني آخر فهي حساب - وليس قياس - المسافات و فروق الارتفاع ، أي بصورة غير مباشرة. تتميز المساحة التاكيومترية بسهولة وسرعة تنفيذ العمل الحقلي مقارنة بالطرق المساحية الأخرى (مثل قياس المسافات بالشريط أو قياس فروق المناسيب بالميزانية) ، إلا أن دقة المساحة التاكيومترية ليست عالية جدا ولذلك فهي لا تستخدم في الأعمال المساحية والهندسية التي تتطلب دقة عالية. وتعتمد المساحة التاكيومترية علي حساب المسافات الأفقية و الرأسية بين النقاط من خلال قياس الزاوية الرأسية عند موقع الجهاز و المسافة المقطوعة علي الهدف (غالبا قامة) وذلك من خلال ثلاثة شعرات أفقية مركبين داخل حامل شعرات جهاز الثيودليت (أو المحطة الشاملة). الأساس الرياضي للمساحة التاكيومترية هو تكوين مثلثات في المستوي الرأسي يمكن منها حساب المسافة الأفقية وفرق الارتفاع بين نقطتين. تجدر الإشارة إلي أن قياس (أو رصد) الزوايا

الرأسية لمسافات طويلة يجعل خط النظر يتأثر بالانكسار الجوي الناتج عن التأثيرات المناخية وبالتالي فأن استخدام هذه الزوايا الرأسية في حسابات المثلث الرأسي لن يكون بدقة عالية، وهذا أهم عيوب المساحة التاكيومترية. توجد عدة طرق مستخدمة في المساحة التاكيومترية مثل طريقة شعرات الاستاديا (في حالة استخدام قامة) و طريقة الظلال (لقياس زاويتين رأسيتين بجهاز الثيودوليت)، كما توجد عدة أجهزة مستخدمة في المساحة التاكيومترية (مثل الثيودليت و قضيب الأنفار و منشور المسافة) إلا أننا سنقدم هنا فقط استخدام جهاز المحطة الشاملة في هذا النوع من أنواع المساحة (امكانية قياس المسافة المائلة الكترونيا EDM) لحساب فرق المنسوب أو فرق الارتفاع بين نقطتين:

من الشكل التالي يمكن استنباط أن:

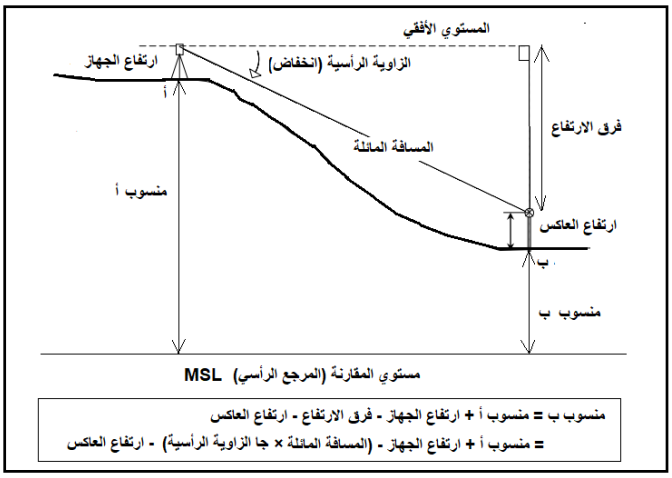
فرق الارتفاع بين جهاز المحطة الشاملة و العاكس = المسافة المائلة × جا الزاوية الرأسية بينهما .....(٢-١٢)

وطالما أن الزاوية الرأسية عادة ما تكون زاوية انخفاض فأن:

منسوب نقطة ب = منسوب نقطة أ + ارتفاع جهاز المحطة الشاملة - فرق الارتفاع - ارتفاع العاكس .....(٢-١٣)

أي أن:

منسوب نقطة ب = منسوب نقطة أ + ارتفاع جهاز المحطة الشاملة - (المسافة المائلة × جا الزاوية الانخفاض) - ارتفاع العاكس .....(٢-١٤)



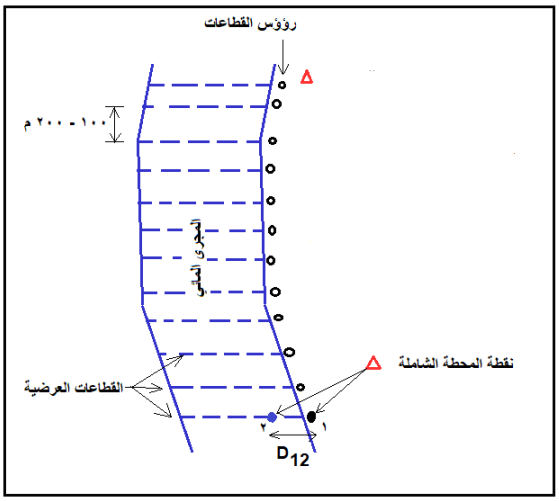
شكل (٢-٥) مبدأ قياس فرق المنسوب بجهاز المحطة الشاملة

أيضا يمكن حساب المسافة الأفقية بين جهاز المحطة الشاملة (عند نقطة رأس القطاع) و العاكس (بصورة أكثر دقة من استخدام الصاولا) كالتالي:

المسافة الأفقية = المسافة المائلة × جتا الزاوية الرأسية (٢-١٥)

أما في حالة احتلال المحطة الشاملة لأي نقطة (بخلاف نقطة رأس القطاع) فأن حساب المسافة الأفقية بين رأس القطاع و أي نقطة في القطاع يتم من خلال حساب احداثيات كلاهما (بمعلومية احداثيات النقطة المحتلة والزاويتين الأفقيتين الي كلاهما) كالآتي:

$$D_{12} = \sqrt{(X_2 - X_1)^2 + (Y_2 - Y_1)^2} \qquad (2\text{-}16)$$



شكل (٢-٦) رفع القطاعات بجهاز المحطة الشاملة

وبهذه الطريقة فيمكن رفع أكثر من قطاع مائي من عدد قليل من النقاط التي يحتلها جهاز المحطة الشاملة، ومن ثم يتم العمل الحقلي بصورة أسرع و أكثر انتاجية في زمن بسيط و بتكلفة اقتصادية أقل.

٢-٢-٢-٢ العمل بجهاز الثيودوليت

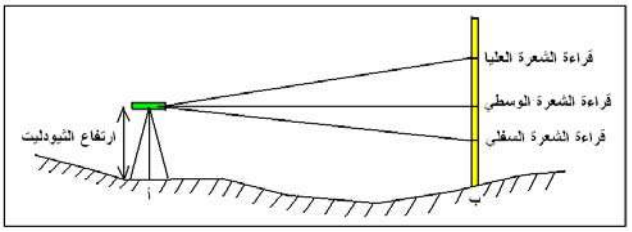
في حالة عدم توافر جهاز محطة شاملة يمكنه قياس المسافة المائلة الكترونيا، وإنما يتوافر فقط استخدام جهاز ثيودوليت (لقياس الزوايا الأفقية و الرأسية) يمكن استخدام طرق تاكيومترية أخري للحصول علي المسافة الأفقية وفرق المنسوب بين نقطتين سواء في حالة توافر قامة أو لا. ويتم في هذه الحالة استخدام احدي طريقتي شعرات الاستاديا أو الظلال.

(أ) طريقة شعرات الاستاديا:

يوضع جهاز الثيودليت عند أحد طرفي الخط بينما توضع قامة عند النقطة الأخرى ويقوم جهاز الثيودليت بقراءة و تسجيل الشعرات الثلاثة علي القامة. ولحساب المسافة الأفقية وفرق المنسوب بين طرفي الخط توجد حالتين:

حالة النظرة الأفقية:

فيها يكون المحور الأفقي للثيودليت في وضعه الأفقي تماما ، أي لا توجد زاوية ارتفاع أو انخفاض.



شكل (٢-٧) شعرات الاستاديا في الوضع الأفقي

المسافة الأفقية = الفرق بين قراءتي شعرتي الاستاديا (العليا و السفلي) × الثابت التاكيومتري + الثابت الإضافي للجهاز (٢-١٧)

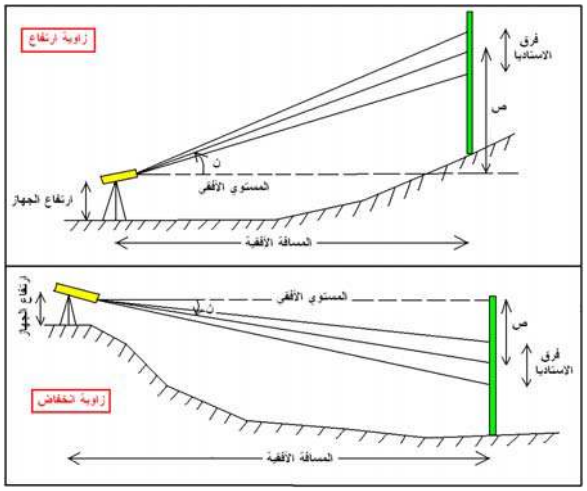
منسوب نقطة القامة = منسوب نقطة الثيودليت + ارتفاع الثيودليت – قراءة الشعرة الوسطي (٢-١٨)

حيث:

الثابت التاكيومتري والثابت الإضافي للثيودليت (أو المحطة الشاملة) هما قيمتين محددتان في كتالوج الجهاز ذاتها وان كانت أغلب الأجهزة لها ثابت تاكيومتري = ١٠٠ و ثابت إضافي = صفر (لكن يجب التأكد من هذه القيم لكل جهاز قبل استخدامه).

حالة النظرة المائلة:

فيها لا يكون المحور الأفقي للثيودليت في وضعه الأفقي، أي توجد زاوية ارتفاع أو انخفاض.



شكل (٢-٨) شعرات الاستاديا في الوضع المائل

المسافة الأفقية = الفرق بين قراءتي شعرتي الاستاديا (العليا و السفلي) × الثابت التاكيومتري × جتا^{٢} ن + (الثابت الإضافي للجهاز × جتا ن) (٢-١٩)

منسوب نقطة القامة في حالة زاوية الارتفاع = منسوب نقطة الثيودليت + ارتفاع الثيودليت – قراءة الشعرة الوسطي + ص (٢-٢٠)

منسوب نقطة القامة في حالة زاوية الانخفاض = منسوب نقطة الثيودليت + ارتفاع الثيودليت - قراءة الشعرة الوسطي - ص (٢-٢١)

حيث:

ص = ٠.٥ فرق استاديا + جا ٢ ن + الثابت التاكيومتري × جا ن (٢-٢٢)

حيث:

فرق استاديا = قراءة الشعرة العليل – قراءة الشعرة السفلي

ن = الزاوية الرأسية (ارتفاع أو انخفاض).

كما يمكن حساب فرق المنسوب – بعد حساب المسافة الأفقية - كالآتي:

فرق المنسوب بين النقطتين = المسافة الأفقية × ظا الزاوية الرأسية (٢-٢٣)

(ب) طريقة الظلال:

طريقة مساحة تاكيومترية للحصول علي المسافة الأفقية وفرق المنسوب بين نقطتين أيضا باستخدام ثيودوليت لا يوجد به شعرات الاستاديا. يوضع جهاز الثيودليت عند أحد طرفي الخط بينما توضع قامة عند النقطة الأخرى ويقوم جهاز الثيودليت بقراءة و تسجيل الشعرة الوسطي علي القامة مرتين مختلفتين (أي زاويتين رأسيتين مختلفتين). تعد طريقة الظلال أقل دقة من طريقة شعرات الاستاديا لكنها تناسب حالة عدم معرفتنا قيم الثابت التاكيومتري و الإضافي للجهاز المستخدم. ولحساب المسافة الأفقية وفرق المنسوب بين طرفي الخط توجد حالتين:

حالة إمكانية أخذ نظرة أفقية:

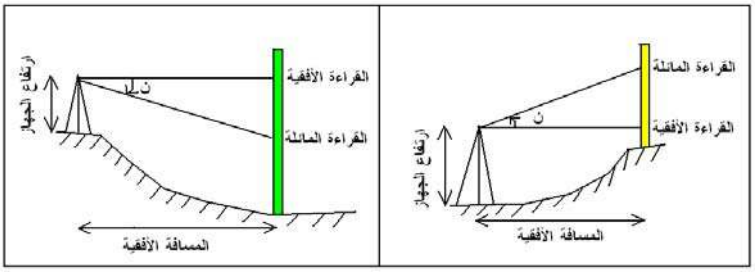
إذا سمحت طبيعة الأرض أن نأخذ قراءة الشعرة الوسطي في وضع الثيودليت أفقيا تماما بينما النظرة الثانية عندما يكون الثيودليت مائلا (سواء لأعلي أو لأسفل):

المسافة الأفقية = (القراءة الأفقية – القراءة المائلة) / ظا ن (٢-٢٤)

منسوب نقطة القامة = منسوب نقطة الجهاز + ارتفاع الجهاز - القراءة المائلة (٢-٢٥)

حيث:

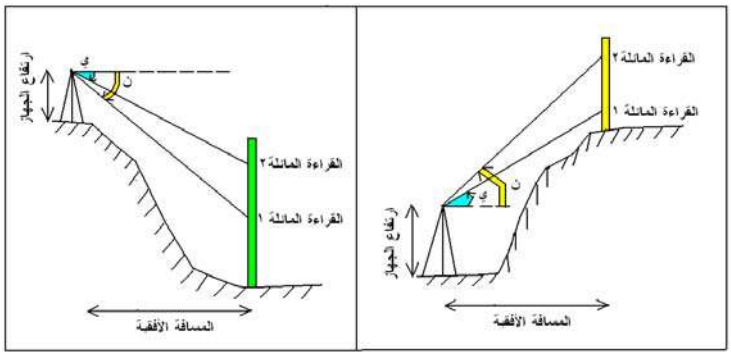
ن = الزاوية الرأسية في الحالة المائلة.



شكل (٢-٩) طريقة الظلال في حالة أحد الوضعين يكون أفقيا

حالة عدم إمكانية أخذ نظرة أفقية:

إذا لم تسمح طبيعة الأرض بأخذ قراءة الشعرة الوسطي في وضع الثيودليت أفقيا تماما ، أي أن كلا النظرتين سيتمان و الثيودليت مائلا (أي زاويتين رأسيتين):



شكل (٢-١٠) طريقة الظلال في حالة كلا الوضعين مائلين

المسافة الأفقية = (القراءة المائلة ٢ – القراءة المائلة ١) / (ظا ن – ظا ي) (٢-٢٦)

<u>في حالة زاويتين ارتفاع:</u>

منسوب نقطة القامة = منسوب نقطة الجهاز + ارتفاع الجهاز +

(المسافة الأفقية × ظا ن) - القراءة المائلة الأولي (٢-٢٧)

وللتحقيق فأن:

منسوب نقطة القامة = منسوب نقطة الجهاز + ارتفاع الجهاز +

(المسافة الأفقية × ظا ي) - القراءة المائلة الثانية (٢-٢٨)

<u>في حالة زاويتين انخفاض:</u>

منسوب نقطة القامة = منسوب نقطة الجهاز + ارتفاع الجهاز -

(المسافة الأفقية × ظا ن) - القراءة المائلة الأولي (٢-٢٩)

وللتحقيق فأن:

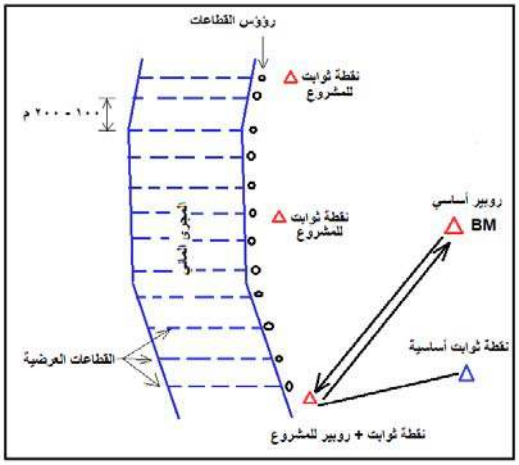
منسوب نقطة القامة = منسوب نقطة الجهاز + ارتفاع الجهاز -

(المسافة الأفقية × ظا ي) - القراءة المائلة الثانية (٢-٣٠)

حيث: ن = الزاوية الرأسية الأولي (الأكبر)، ي = الزاوية الرأسية الثانية (الأصغر).

٢-٢-٢-٣ العمل الحقلي للقطاعات بالمحطة الشاملة

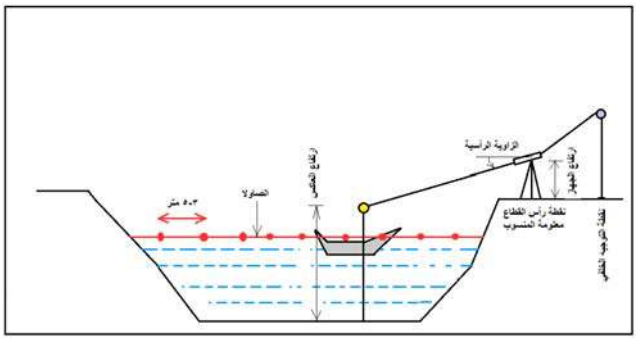
تبدأ أعمال ما قبل رصد القطاعات بإنشاء بعض نقاط الثوابت الأرضية (المعلوم احداثياتها و منسوبها أيضا) في منطقة المشروع. للوصول لدقة جيدة يجب عمل ترافرس بين نقطتي ثوابت معلومتي الاحداثيات الأفقية وحتى الوصول لمنطقة المشروع و تثبيت نقطتين جديدتين يمكن حساب احداثياتهم. ومن هاتين النقطتين يمكن انشاء عدة نقاط ثوابت مساعدة علي طول المجري المائي في حالة كون منطقة المشروع تمتد لمسافة طويلة (عدة كيلومترات). أما في الأعمال التي لا تتطلب دقة عالية فمن الممكن الاكتفاء باستخدام أجهزة الجي بي أس المحمولة يدويا أو الملاحية Hand-Held or Navigation GPS للحصول علي احداثيات أفقية لنقطتين في منطقة المشروع لاستخدامهما في أعمال المحطة الشاملة (دقة هذه النوعية من الأجهزة في حدود تقريبا ±٣ متر في المستوي الأفقي). وعلي الجانب الآخر فأن تحديد الاحداثيات الرأسية (المنسوب) يجب أن يتم من خلال عمل ميزانية طولية من أقرب روبير لحساب المنسوب الدقيق لأحدي هاتين النقطتين (كما في حالة استخدام جهاز الميزان السابق شرحها).



شكل (٢-١١) أعمال ما قبل القطاعات المائية للرفع بالمحطة الشاملة

كما في طريقة استخدام الميزان فتبدأ الرفع المائي للقطاع الأول من خلال شد سلسلة من الصلب مركب عليها علامات مرقمة كل ٢ او ٣ او ٥ متر (تسمي الصاولا في مصر) بين وتدين علي كلا جانبي المجري المائي. ومن ثم يبدأ جهاز المحطة الشاملة في احتلال نقطة رأس القطاع (السابق تحديد احداثياتها الأفقية و منسوبها أيضا) وتوجيه القراءة الخلفية علي نقطة الثوابت المجاورة (المعلوم احداثياتها الأفقية) ومن هنا يتم تحديد الاتجاه و الانحراف لهذا الخط الواصل بين هاتين النقطتين. ثم يبدأ جهاز المحطة الشاملة في رصد عدد من النقاط علي

امتداد القطاع المائي (كل ٢ أو ٣ أو ٥ متر طبقا للمواصفات المطلوبة) حث يتم وضع العاكس prism عند كل نقطة و تسجيل المسافة المقاسة و الزاويتين الأفقية و الرأسية. وكما سبق الذكر فأنه يمكن حساب منسوب نقطة العاكس بمعرفة منسوب النقطة المحتلة و ارتفاع الجهاز و الزاوية الرأسية. وبالرجوع للمعادلة (٢-١٤) فأنه يمكن حساب منسوب أسفل العاكس (النقطة في قاع المجري المائي). وهكذا يتم رصد كافة النقاط في هذا القطاع المائي حتى الوصول الي نهايته من الجهة الاخرى. أيضا و بنفس الأسلوب يمكن أخذ بعض القراءات علي جسر المجري المائي و أيضا علي الجزء المائل منه (في كلا الجانبين) لرسم القطاع المائي بصورة تفصيلية.

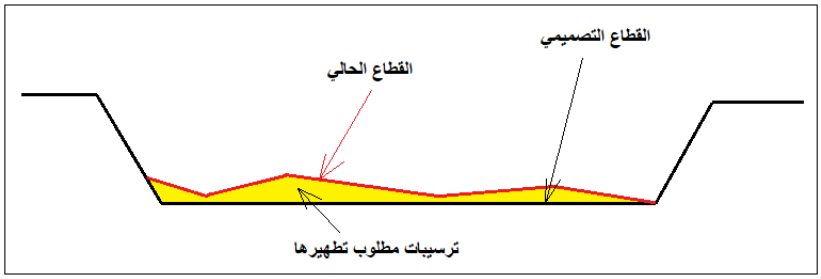


شكل (٢-١٢) مثال لأعمال رصد القطاعات المائية بالمحطة الشاملة

لانجاز العمل الحقلي لرفع القطاعات المائية بصورة أسرع و أكثر دقة فيمكن الاستغناء عن قياس المسافات الأفقية باستخدام الصاولا، و نستخدم المعادلة (٢-١٥) أو (٢-١٦) لحساب هذه المسافات. أي أن جهاز المحطة الشاملة سيقيس المسفة المائلة و زاوية انخفاض عند كل نقطة مرصودة بالعاكس و سيستطيع حساب كلا من المسافة الأفقية و منسوب نقطة العاكس المرصودة في كل مرة و بصورة دقيقة و آلية.

٢-٣ العمل المكتبى لحساب الكميات

تعتمد الفكرة الأساسية لإجراء حسابات كميات التكريك/التطهير المطلوبة علي ايجاد الفروق بين القطاع التصميمي (الأساسي) للمجري المائي و القطاع الحالي له. فلكل مجري مائي تصميم أساسي له عند انشاؤه، ومع مرور الزمن تحدث ترسيبات بالقاع تقلل من مساحة هذا التصميم الأساسي و من ثم تقلل من حجم المياه الجارية به. والهدف من عملية التكريك/التطهير ارجاع المجري المائي لحالته الأصلية من خلال ازالة أية ترسيبات حدثت به.



شكل (٢-١٣) مبدأ تكريك/تطهير المجاري المائية

تجدر الاشارة لوجود برامج تجارية software بها امكانيات حسابات كميات الحفر (التكريك) و الردم مثل: Surfer, Global Mapper, Arc GIS تكون أسرع و أدق في عمل هذه الحسابات. و سنتناول هنا بعض التطبيقات البسيطة للحساب يدويا أو باستخدام برامج الاكسل و الأوتوكاد.

٢-٣-١ الحساب يدويا

بعد الحصول علي بيانات القطاعات التي تم رفعها/قياسها في الطبيعة في صورة مسافات من بداية نقطة رأس القطاع ومنسوب كل نقطة مقاسة يمكن عمل الحسابات بصورة مبسطة و يدوية كالتالي:

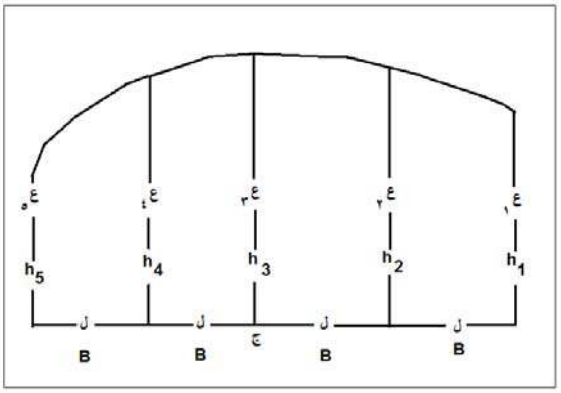
١. يتم رسم كلا من القطاع التصميمي و القطاع الحالي بمقياس رسم مناسب علي قطعة من الورق
٢. يتم حساب المساحة لكل جزء من أجزاء التكريك المطلوب (في القطاع) بطريقة سيمبسون التي تعتمد علي تقسيم هذا الجزء الي مجموعة من القطاعات/ الاجزاء من خلال عدد من الأعمدة المقامة علي مسافات متساوية:

- الصورة العامة لحساب مساحة الشكل المنحني لعدد ن من الأقسام (عدد زوجي) و عدد ن+١ من الأعمدة (عدد فردي) هي كالتالي:

س = ل × [(ع١ + ع ن+١) + ٤ (ع٢ + ع٤ + ع٦ +..... ع ن) + ٢ (ع٣ + ع٥ + ع٧ + ... + ع ن-١)] / ٣ ..... (٢-٣١)

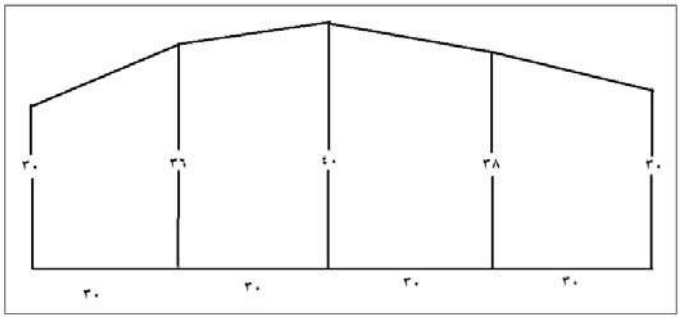
أو:

$$Area = B\frac{(h_1 + h_{N+1}) + 4(h_2 + h_4 + ...h_N) + 2(h_3 + h_5 + ... + h_{N-1)})}{3}$$



- أما في حالة كون عدد الأقسام المتساوية (ن) سيكون عددا فرديا فيتم تطبيق المعادلة السابقة لعدد زوجي من الأقسام (أي لعدد ن-١ فقط) مع حساب مساحة القسم الأخير باعتباره شبه منحرف ويتم جمع كلتا القيمتين للحصول علي المساحة الكلية لقطعة الأرض.

مثال: احسب مساحة الشكل التالي باستخدام طريقة سيمبسون:

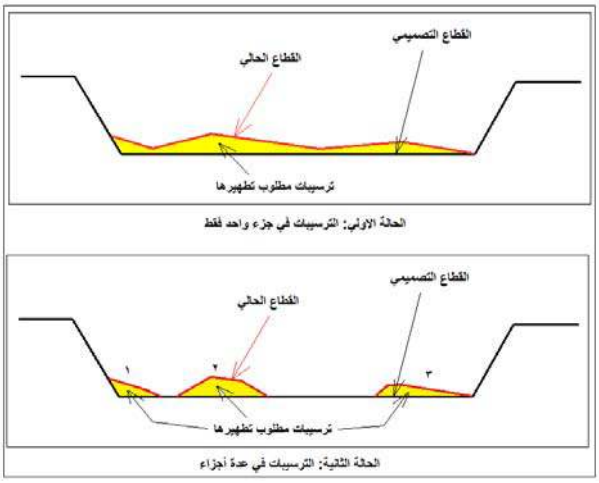


$$Area = B\frac{(h_1 + h_{N+1}) + 4(h_2 + h_4 + ...h_N) + 2(h_3 + h_5 + ... + h_{N-1)})}{3}$$

$$Area = \frac{30}{3}(30 + 30 + 4(38 + 36) + 2(40)) = 4360$$

٣. في حالة أن الترسيبات في القطاع الأول تكون جزءا واحدا فيتم حساب مساحته كما سبق، و في حالة أن الترسيبات تتكون من عدة أجزاء فيتم حساب مساحة كل جزء

بالخطوات السابقة ثم يتم تجميع المساحات لكل أجزاء التكريك المختلفة في هذا القطاع (الأول).



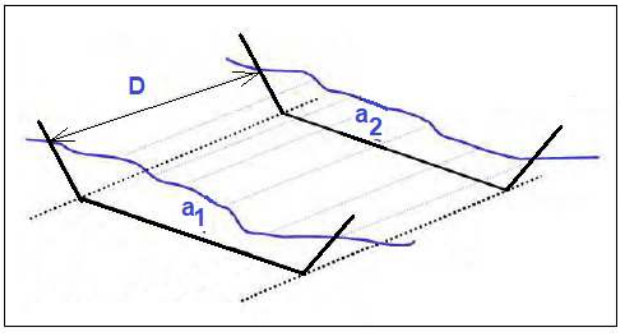
٤. يكرر هذا العمل للقطاع التالي (الثاني) لحساب مساحات جميع أجزاء التكريك المطلوبة به.

٥. يتم حساب المتوسط بين ناتج الخطوتين السابقتين للحصول علي متوسط مساحة التكريك المطلوب بين القطاعين (الأول و الثاني).

$$A_1 = (a_1 + a_2)/2 \qquad (2\text{-}32)$$

٦. لحساب حجم التكريك المطلوب يتم ضرب ناتج الخطوة السابقة في المسافة بين القطاعين (الأول و الثاني).

$$V_1 = A_1 * D \qquad (2\text{-}33)$$



٧. يتم تكرار كل الخطوات السابقة بين القطاعين التاليين (الثاني و الثالث) ثم القطاعين التاليين (الثالث و الرابع) وهكذا حتى نهاية المجري المائي.

٨. الحجم الكلي لأعمال التكريك المطلوبة لتطهير هذا المجري المائي هو ناتج جمع الحجوم المحسوبة (من الخطوة السابقة) لجميع القطاعات.

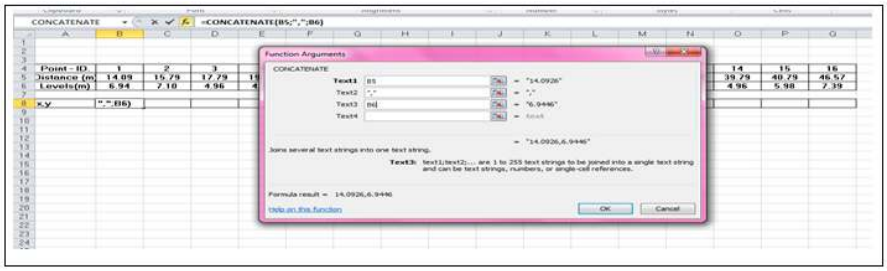
تجدر الاشارة لوجود أجهزة لقياس المساحات علي الخريطة (أو القطاع المرسوم بمقياس رسم) حيث يعد جهاز البلانيميتر أشهر أنواع تلك الأجهزة. توجد عدة أنواع من هذا الجهاز بعضها قديم عادي أو ميكانيكي مثل البلانيميتر القطبي، وبعضها حديث مثل البلانيميتر الرقمي. يتكون البلانيميتر القطبي من ذراعين من المعدن متصلات بمفصل كروي ويسمي الأول بذراع الثقل أو الذراع الثابت والثاني بذراع التخطيط أو ذراع الراسم. وعند تحريك سن الراسم علي الخريطة فتدور عجلة القياس رأسيا وبالتالي يتحرك القرص الأفقي. يبدأ الراسم من نقطة محددة علي الشكل المطلوب قياس مساحته ثم يتحرك بكل دقة و عناية علي حدود محيط هذا الشكل الي أن يعود مرة أخري لنفس النقطة التي بدأ منها، وتكون القراءة علي الجهاز مساوية لقيمة مساحة هذا الشكل علي الخريطة، وتتكون قراءة المساحة من ثلاثة أجزاء فالقرص الأفقي يقرأ رقم الآلاف بينما العجلة الرأسية تقرأ المئات و العشرات والورنية تقرأ الآحاد و كسورها. وطبقا لمواصفات كل جهاز توجد خطوات معينة لتحويل المساحة المقاسة علي الخريطة الي القيمة الحقيقية المناظرة لها اعتمادا علي قيمة مقياس رسم الخريطة المستخدمة. أما البلانيميتر الرقمي الحديث فيتميز بأن قيمة المساحة تظهر مباشرة علي شاشة الجهاز بمجرد الانتهاء من عملية القياس علي الخريطة بعد تحديد مقياس الرسم المستخدم.

شكل (٢-١٤) أجهزة البلانيميتر

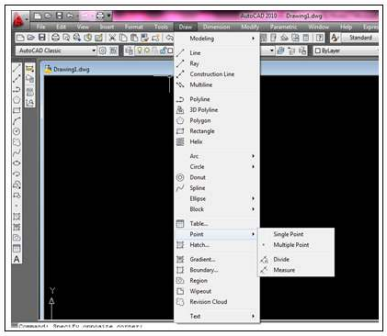
٢-٣-٢ الحساب ببرنامجي الأوتوكاد و الاكسل

بعد الحصول علي بيانات القطاعات التي تم رفعها/قياسها في الطبيعة في صورة مسافات من بداية نقطة رأس القطاع ومنسوب كل نقطة مقاسة (في ملف اكسل) يمكن عمل الحسابات كالآتي:

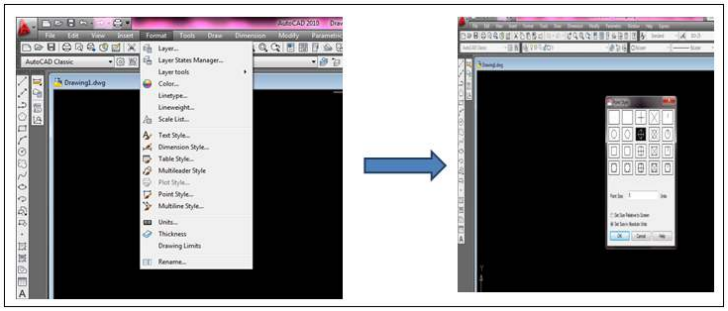
- يتم انشاء صف اخر بجدول الاكسل يدمج كل من المسافة الافقية و المنسوب في خلية واحدة، و ذلك باستخدام دالة Concatenate



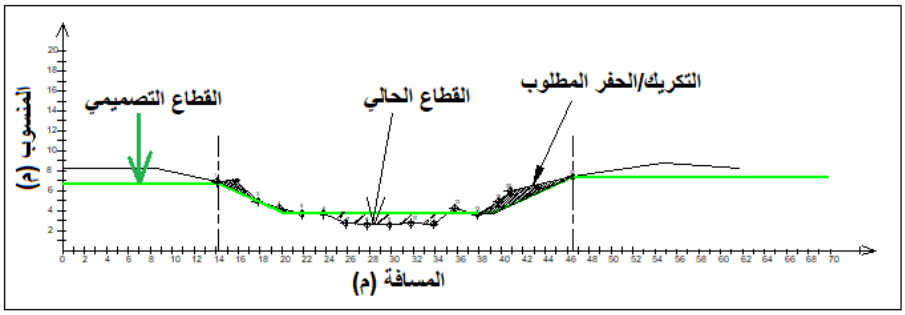
- نقوم بنسخ البيانات بهذا الصف (من أول خلية و حتى نهاية بيانات القطاع المطلوب رسمه)
- نقوم بفتح برنامج الاوتوكاد و نستخدم قائمة الرسم Draw و نختار امر Multiple Point و نعمل لصق Paste



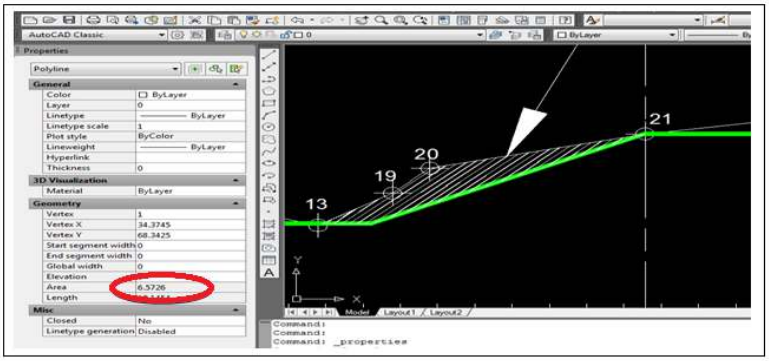
- في حالة عدم ظهور النقط على الأوتوكاد فيجب ان نختار شكل للنقطة و نحدد الحجم المناسب لها و ذلك من خلال قائمة Format و نختار Point Style و نختار الحجم و الشكل المناسب للنقطة:



- نبدأ بترقيم النقاط التى تم تنزيلها على برنامج الاوتوكاد كناحية تنظيمية و ذلك باستخدام أمر Text، و بذلك يكون لدينا القطاع الذى تم رفعه حقليا
- يتم التوصيل بين هذه النقط بأمر Line من قائمة Draw
- نستخدم أمر الرسم Line لرسم القطاع التصميمى (وفقا للأبعاد التي تم الحصول عليها من الجهة المختصة) مع كتابة المناسيب باستخدام أمر Text
- يتم وضع القطاع التصميمى فوق القطاع الحقلى مع مراعاة وضعهم بدقة وفقا للمناسيب لتوضيح الفروق بينهم و التى يلزمها حفر/تكريك :



- لحساب مساحة منطقة التكريك: نستخدم أمر Polyline من قائمة Draw و نعيد الرسم فوق المنطقة المهشرة:
- ثم بالضغط بالزر الأيمن للماوس نختار Properties نختار المساحة Area فتظهر لنا قيمة المساحة المطلوبة.



- نستكمل باقي الخطوات كما في الحالة السابقة للحسابات لكن مع استخدام الاكسل بدلا من الحساب اليدوي.

الفصل الثالث

تقنيات و أجهزة المسح المائي

٣-١ مقدمة

تشمل مسئوليات المساحة المائية/الهيدروجرافية توفير قياسات دقيقة لأعماق المياه في المجاري المائية من أنهار و بحار و محيطات لأغراض الملاحة الآمنة من بين عدة أغراض أخرى. وتتعدد تقنيات و طرق قياس الأعماق ما بين القياس لنقطة واحدة و القياس لمقطع والقياس لمساحة و طرق أخري. ومن هنا فأن تقنيات و أجهزة المسح المائي تتعدد بدرجة كبيرة من حيث الدقة و الامكانيات التقنية و الأسعار الاقتصادية. ويتعرض هذا الفصل لبعض تلك التقنيات الأرضية و الفضائية و الأجهزة المستخدمة ومنها:

- جهاز الجس الصوتي أحادي الشعاع
- جهاز الجس الصوتي متعدد الأشعة
- جهاز المسح بالسونار
- جهاز المسح الجانبي بالسونار
- ماسح ما تحت السطح
- أجهزة مسح الأعماق عالية الوضوح المكاني

٣-٢ جهاز الجس الصوتي أحادي الشعاع

تعد هذه النوعية من أجهزة قياس الأعماق الأكثر انتشارا في تطبيقات المسح المائي للأنهار و المجاري المائية ولمشروعات ملاحة الموانئ. وبدأ ظهور هذه الاجهزة في الثلاثينات من القرن العشرين، لكنها انتشرت بشدة في الستينات من هذا القرن.

تعتمد نظرية عمل أجهزة المجس الصوتي أحادي الشعاع Single-Bean Echo Sounders (SBES) علي تحديد (أو حساب) عمق المياه من خلال قياس الفترة الزمنية التي تستغرقها نبضة صوتية sonic pulse من انبعاثها من الجهاز و حتى عودتها مرة أخري اليه بعد ارتطامها بالقاع. فالجهاز يقوم بتحويل الطاقة الكهربية الي طاقة صوتية (من خلال مولد النبضات pulse generator) ثم يطلق هذه الطاقة في المياه في صورة شعاع، والذي يرتد عند ارتطامه بالقاع الي الجهاز مرة أخري.

$$Z_m = \tfrac{1}{2} t \hat{c} \qquad (3\text{-}1)$$

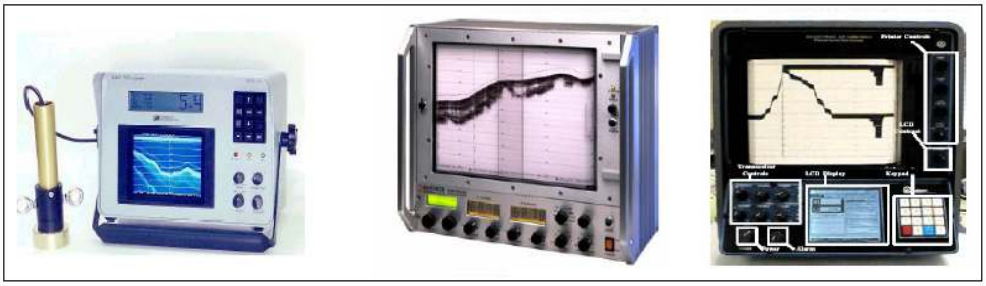
حيث: Z_m عمق المياه المقاس، t الفترة الزمنية بين انبعاث و عودة النبضة، $\hat{c}$ يمثل السرعة المتوسطة للصوت في الماء. ومن المعلوم أن سرعة الصوت في المياه تبلغ ١٥٠٠ متر/ثانية إلا أنها تتغير مع كثافة و ملوحة المياه و العمق المقاس (قد تتراوح بين ١٢١٩.٢ و ١٥٢٤.٠ متر/ثانية)، ومن ثم فيجب معايرة الجهاز لتصحيح العمق المقاس و استنباط العمق الدقيق (قد يتم استخدام جهاز مقياس السرعة velocity profiler لقياس و تسجيل التغير في سرعة الصوت أثناء عملية المسح المائي).

يتكون جهاز المسح الصوتي أحادي الشعاع من أربعة أجزاء: المرسل transmitter و المذبذب (أو السماعة كما يطلق عليها في مصر) transducer و المستقبل receiver و نظام التحكم و العرض control and display system. فالمرسل - و كما هو واضح من اسمه - هو من يولد الاشارة الكهربائية المتأرجحة oscillating electric signal عند تردد محدد. أما المذبذب فهو الجهاز الذي يحول هذه الطاقة الكهربية الي اهتزازات ميكانيكية mechanical vibration يتم اطلاقها في الماء في صورة موجة صوتية، و التي عند ارتدادها بالقاع يقوم المستقبل receiver باستقبالها و اعادتها مرة أخري الي اشارة كهربية. ثم يقوم نظام التحكم و العرض بحساب الفترة الزمنية التي استغرقتها رحلة الاشارة ذهابا و عودة في الماء ومن ثم حساب العمق و عرضه و تسجيله. وبإرسال موجات متعاقبة من الاشارات يمكن اتمام المسح المائي/الهيدروجرافي في مسار حركة المركب.

حديثا فأن معظم أجهزة الجس الصوتي أحادي الشعاع تكون أجهزة رقمية، لكنها تختلف فيما بينها من حيث الدقة و مدي العمق الممكن قياسه. ويمكن وضع المذبذب transducer في جانب المركب أو في أي مكان بعيدا عن مصادر الضجيج، و عادة ما يتم وضعه بحيث يظل تحت سطح الماء في جميع الأحوال (١٠ - ١٥ سنتيمتر أسفل سطح الماء). وعادة ما يتم معايرة الجهاز مع بداية العمل الحقلي وذلك من خلال قياس العمق بطريقة أخري (مقياس التحقيق bar check مثلا) و مقارنته مع العمق المقاس بالجهاز. ومن ثم فأن:

$$Z = \frac{1}{2}(t\hat{c}) + k + Z_r \qquad (3\text{-}2)$$

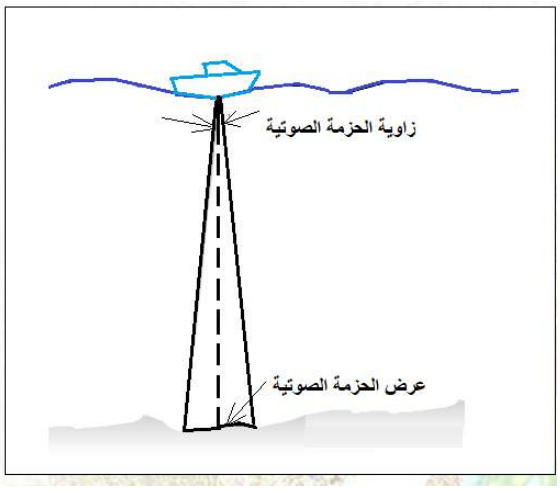
حيث: Z العمق الحقيقي، k ثابت النظام الناتج من المعايرة، Z_r المسافة من سطح المياه الي المرجع (منسوب سطح الماء مقاسا من المرجع الرأسي المطلوب).



شكل (٣-١) نماذج لأجهزة الجس الصوتي أحادي الشعاع

تستطيع أجهزة الجس الصوتي أحادي الشعاع قياس و تسجيل الأعماق بمعدل ١٠ قياسات أو أكثر في الثانية. ومن ثم فأن برنامج الحسابات software المتخصص عليه أن يربط زمنيا بين قياسات الأعماق و قياسات تحديد المواقع (أيا كانت التقنية المستخدمة) ليمكن في نهاية أعمال المسح المائي الحصول علي الاحداثيات ثلاثية الأبعاد X,Y,D لجميع النقاط المرصودة.

من عيوب جهاز الجس الصوتي أحادي الشعاع أن الحزمة الصوتية المرسلة في المياه ليست خطا مستقيما انما عبارة عن دائرة يزداد قطرها كلما زاد عمق الماء. ويعتمد قطر هذه الدائرة علي زاوية الحزمة beam angle المرسلة ذاتها، فكلما كانت الحزمة عريضة كان نصف قطرها عند القاع أقل، فعلي سبيل المثال فأن حزمة زاويتها ٣٠° عند تردد ١٢ كيلو هرتز يبلغ قطرها ٢٥ سنتيمتر عند القاع. وبالتالى فأن العمق المحسوب لا يتعلق بنقطة محددة انما دائرة كاملة عند القاع. ومن هنا فأن أجهزة المسح الصوتي أحادي الشعاع (مع أنها الأرخص سعرا) ليست هي الأنسب في تطبيقات المساحة المائية/الهيدروجرافية التي تتطلب دقة عالية.

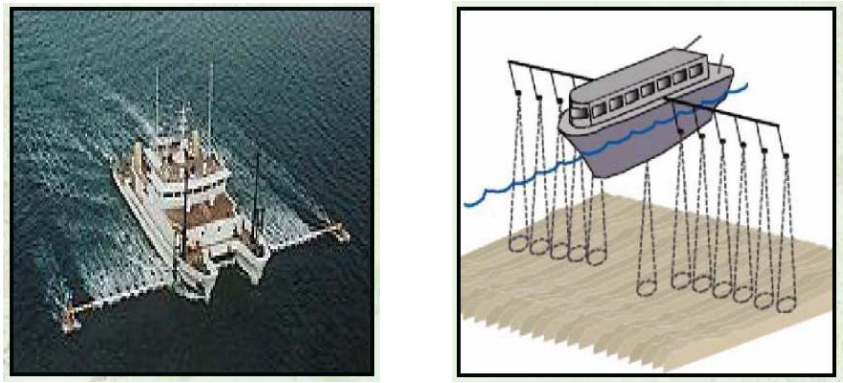


شكل (٣-٢) دقة المسح المائي لأجهزة الجس الصوتي أحادي الشعاع

تجـدر الاشـارة أيـضا لوجـود تقنيـة المجـس الـصوتي متعـدد الـسماعات Multi-Transducer Echo Sounder (MTES) وفيها يتم ربط مجموعة من السماعات (لأجهزة جس أحادية الشعاع) علي جانبي المركب لعمل قياسات الأعماق. ظهرت هذه التقنية في الستينات من القرن العشرين للمياه ذات الأعماق الضحلة (الأقل من ١٠ أمتر)، إلا أنها لم تنتشر كثيرا لصعوبة عملية الملاحة بها.

شكل (٣-٣) مقياس التحقيق لأجهزة الجس الصوتي أحادي الشعاع

شكل (٣-٤) مقياس سرعة الصوت لأجهزة الجس الصوتي أحادي الشعاع

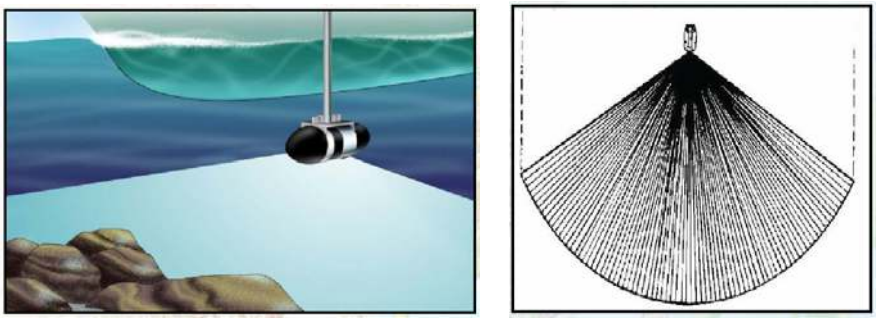


شكل (٣-٥) المجس الصوتي متعدد السماعات

في بعض تطبيقات المساحة المائية يلزم الحصول علي الأعماق المقاسة منسوبة للمرجع الرأسي الأرضي المحلي (متوسط منسوب سطح البحر MSL) خاصة عند عمل خرائط كنتورية تجميع ما بين تضاريس الأرض و أعماق المجري المائي (نهر مثلا). من أمثلة هذه الحالات مشروع انشاء الخرائط الطبوغرافية و الهيدروجرافية لنهر النيل في مصر الذي قام به معهد بحوث النيل منذ عدة سنوات. ومن المعروف أن معظم المجاري المائية في مصر بها محطات مد و جزر (قطعة من الرخام المدرج) كل خمسة كيلومترات تقريبا وتقوم ادارات الري بتسجيل منسوب الماء عندها بصفة يومية. هنا يمكن حساب منسوب سطح المياه (في بداية يوم العمل الحقلي) من خلال الاستنباط interpolation لأقرب محطتين من محطات المد و الجزر بالقرب من منطقة المشروع. ومن ثم يتم ادخال هذا المنسوب في برنامج الحسابات ليمكن تصحيح الأعماق المقاسة و نسبتها الي المرجع الأرضي الرأسي.

٣-٣ جهاز الجس الصوتي متعدد الأشعة

في بداية السبعينات من القرن العشرين ظهر أول جهاز للجس الصوتي متعدد الأشعة Multi-Bean Echo Sounder (MBES) والتي تعتمد نظرية عملها علي اطلاق مجموعة أو حزمة من الأشعة/ النبضات - و ليس شعاع واحد فقط - التي تسمح بتغطية أو قياس العمق لمنطقة و ليس نقطة واحدة .



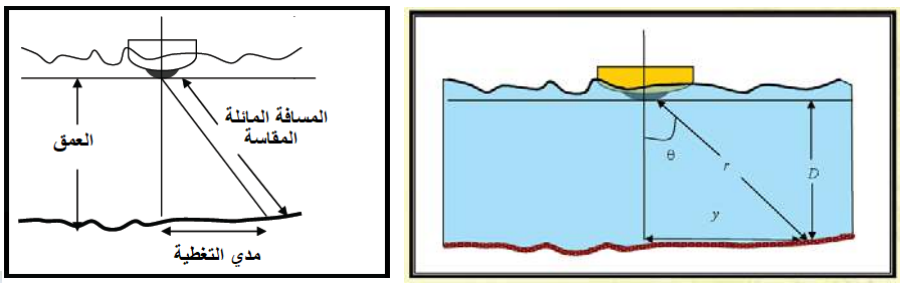
شكل (٣-٦) فكرة عمل المجس الصوتي متعدد الأشعة

يقوم المجس الصوتي متعدد الأشعة بتحويل المسافة المائلة المقاسة الي مسافة رأسية (عمق المياه) عند كل نقطة من مجال أو مدى تغطية حزمة الأشعة:

$$D_i = r_i \cos \vartheta_i \qquad (3\text{-}3)$$

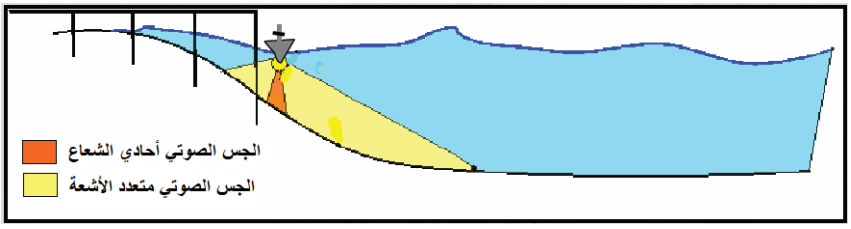
$$y = r_i \sin \vartheta_i \qquad (3\text{-}4)$$

حيث: D_i العمق عند الشعاع i، r_i نصف الفترة الزمنية للشعاع i، θ_i زاوية الشعاع i.



شكل (٣-٧) قياسات المجس الصوتي متعدد الأشعة

للحصول علي قياسات دقيقة بهذه النوعية من الأجهزة فيجب أن تكون زاوية اطلاق الأشعة صغيرة narrow beam (من ٣ الي ٣٠ درجة) أو أن تكون حركة المركب ذاتها بطيئة أو يتم المسح المائي في خطوط متقاربة. أما مميزات هذه الأجهزة فالسرعة في انجاز العمل الميداني بالمقارنة بأجهزة الجس الصوتي أحادي الأشعة الذي يتطلب مسح الخطوط عموديا علي المجري المائي مما قد يجعل العمل الميداني يتطلب وقتا أكبر (في حالة وجود حركة ملاحية كبيرة بالمجري المائي). أيضا فأن هذه الأجهزة تستطيع اجراء المسح المائي في المناطق الضحلة القريبة من الشاطئ بعكس الأجهزة أحادية الشعاع.



شكل (٣-٨) مقارنة المجس الصوتي أحادي و متعدد الأشعة في الأرض الضحلة

للمقارنة بين كلا نوعي الأجهزة أحادية و متعددة الأشعة واستخدامات كلا منهما في تطبيقات المساحة المائية، فيقدم الجدول التالي (نقلا عن كتيب المساحة البحرية بسلاح المهندسين بالجيش الأمريكي) بعض عناصر هذه المقارنة:

جدول (٣-١): مقارنة بين أجهزة الجس الصوتي أحادية و متعددة الأشعة

البند	الأجهزة أحادية الشعاع	الأجهزة متعددة الأشعة
عمق المشروع	أي عمق	أعمق من ٤ م
تغطية القاع بصورة كاملة	لا	نعم
التكريك للمشروعات الجديدة	اختياري	يوصى به
التكريك في قاع صخري	لا يوصى به	يوصى به
مشروعات تحديد حجم خزان مائي	اختياري	يوصى به
تكلفة الجهاز	٢٠-٧٠ ألف دولار	٢٠٠-٤٠٠ ألف دولار
الانجاز الحقلي	نعم	نعم
العمل المكتبي	سريع	وقت أطول
دقة حسابات الحجوم	بالاستنباط interpolation	دقيق

٣-٤ جهاز المسح ثنائي التردد بالسونار

تعتمد هذه الأجهزة علي المسح الصوتي بالسونار من خلال ترددين مختلفين Dual-Head Profiler Scanning Sonar مما يعطي جودة أعلي للبيانات الممسوحة بالسونار. ومن ثم فأن أهم استخداماتها يتمثل في التطبيقات الهندسية التي تحتاج دقة عالية مثل مشروعات مد الأنابيب و الأنفاق و قواعد الكباري تحت سطح الماء. ويكون العمق الأقصى للمياه في حدود ٤٠ متر للأجهزة ذات الترددات العالية (حوالي ١.١ ميجاهرتز) أو حوالي ٨٠ متر للأجهزة ذات الترددات المنخفضة (٦٠٠ كيلو هرتز تقريبا).

شكل (٣-٩) مثال لأجهزة المسح الصوتي بالسونار ثنائية التردد

٣-٥ جهاز المسح الجانبي بالسونار

تم ابتكار تقنية الملاحة و قياس المسافات بالصوت Sound Navigation And Ranging: SONAR المعروفة اختصارا باسم السونار في منتصف القرن العشرين الميلادي. نظم السونار اما أن تكون سالبة passive أي تستقبل فقط الموجات الصوتية أو أن تكون موجبة active أي ترسل و تستقبل الموجات الصوتية بعد ارتطامها بالهدف (هذا هو نوع أجهزة المسح الجانبي بالسونار Side Scan Sonar: SSS المستخدم في المساحة المائية). ومن الممكن أن نقول أن تقنية السونار تشبه - بصورة عامة - تقنيات التصوير الجوي aerial photography ما عدا أن الحزم الصوتية هي المستخدمة بدلا من الحزم الضوئية.

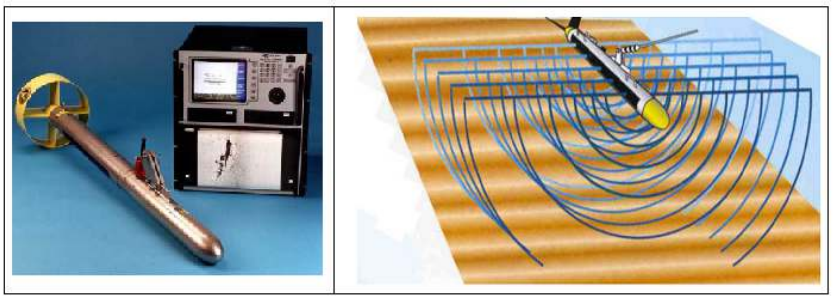
يتكون نظام المسح الجانبي بالسونار من جزأين: projector الذي يحول الاشارات الكهربية الي موجات صوتية، hydrophone الذي يقوم بالعكس. و كلاهما معا هو ما نطلق عليه اسم السماعة transducer.

تختلف نظم المسح الجانبي بالسونار بناءا علي درجة الوضوح الرأسي vertical resolution وهي القدرة علي التمييز بين هدفين. نظريا فأن أقل مسافة هو نصف الطول

الفيزيائي للنبضة أو ربع طول الموجة. وتعتمد أقل مسافة علي عدة عوامل منها العرض الأفقي للحزمة و سرعة المركب و عمق المياه. ويتم المسح الجانبي من خلال المسح بقناة واحدة أو قناتين، ففي الطريقة الاولي single channel يتم وضع سماعة transducer واحدة بينما في طريقة المسح بقناتين dual channel يتم استخدام سماعتين لإرسال و استقبال الحزم الصوتية.

بصورة عامة فأن تطبيقات المسح الجانبي بالسونار تشمل:

- التأكد من أن قاع البحر خالي من العوائق في تطبيقات الملاحة البحرية.
- البحث عن الحطام و الألغام في قاع البحر في تطبيقات مد خطوط الأنابيب تحت سطح المياه.
- تصنيف أنواع القاع (رمال، طين، صخور .... الخ) في تطبيقات البحث عن البترول و الغاز الطبيعي.
- تحديد مدي ثبات مناطق القاع تجنبا للانزلاقات الأرضية في المناطق القريبة من الشواطئ.
- التطبيقات البيئية و تحديد مسببات التلوث البحري.
- تحديد مناطق تجمع الأسماك و بيان مدي كثافتها.

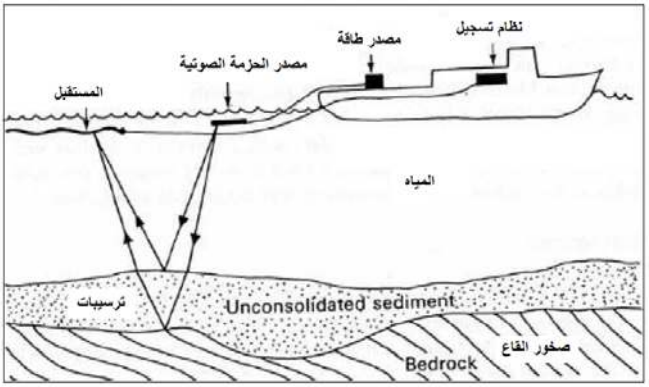


شكل (٣-١٠) نظرية عمل و نموذج لجهاز المسح الجانبي بالسونار

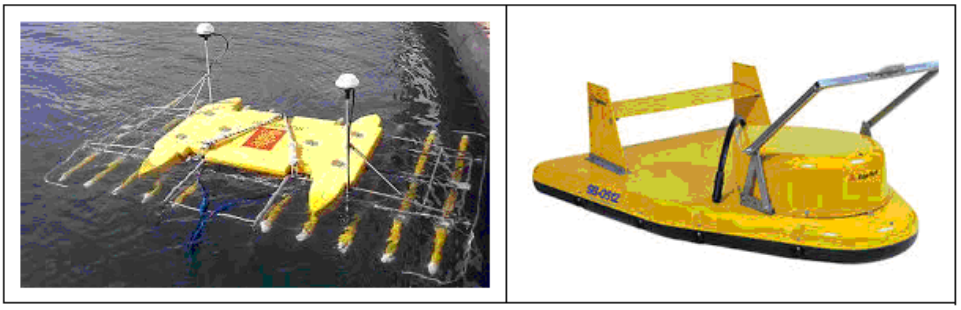
٣-٦ ماسح ما تحت السطح

عند استخدام طاقة أكبر و تردد أقل فأن أجهزة المسح/الجس الصوتي Sub-Bottom Profiler يمكنها اختراق قاع البحر ذاته لتوفير معلومات جيولوجية عن مكونات القاع ومواقع المراكب الغارقة المدفونة و عمق الترسيبات sediments السطحية. ويمكن أن يصل العمق المخترق الي ١٠-٥٠ متر تحت سطح القاع في النظم/الأجهزة السطحية و الي حوالي ٣٠٠ متر تحت سطح القاع للنظم/الأجهزة المتوسطة و الي حوالي ١٠٠٠ متر تحت سطح القاع

للنظم/الأجهزة العميقة. ومن ثم يطلق علي هذا التقنيات اسم المسح الجيولوجي للأعماق، ومن أهم استخداماتها تحديد الأماكن المحتملة للحفر في مشروعات البحث عن موارد البترول و الغاز تحت قاع البحر، وتحديد الأهداف المدفونة تحت القاع، تصنيف الرسوبيات، تطبيقات الأنفاق و التجريف تحت سطح البحر.



شكل (٣-١١) نظرية عمل ماسح ما تحت السطح



شكل (٣-١٢) أمثلة لأجهزة ماسح ما تحت السطح

٣-٧ أجهزة مسح الأعماق عالية الوضوح المكاني

نوعية من الأجهزة الهيدروجرافية المتقدمة High-Resolution Bathy Systems التي غالبا ما تجمع بين مبدأين: المسح متعدد الأشعة و قياس الأعماق متعدد التردد وتطبيقهما في جهاز واحد يسمح بالحصول علي بيانات عالية الوضوح المكاني و عالية الدقة وفي صورة ثلاثية الأبعاد. فبعض هذه النوعية من الأجهزة يجمع ما بين جهازي المسح الجانبي بالسونار و ماسح ما تحت الأعماق في جهاز واحد متكامل. ومن ثم فأنها مستخدمة في تطبيقات المشروعات الهندسية للموانئ ومشروعات التجريف/التكريك بالإضافة لأعمال تطوير الخرائط الملاحية.

شكل (٣-١٣) أمثلة لأجهزة الأعماق عالية الوضوح المكاني

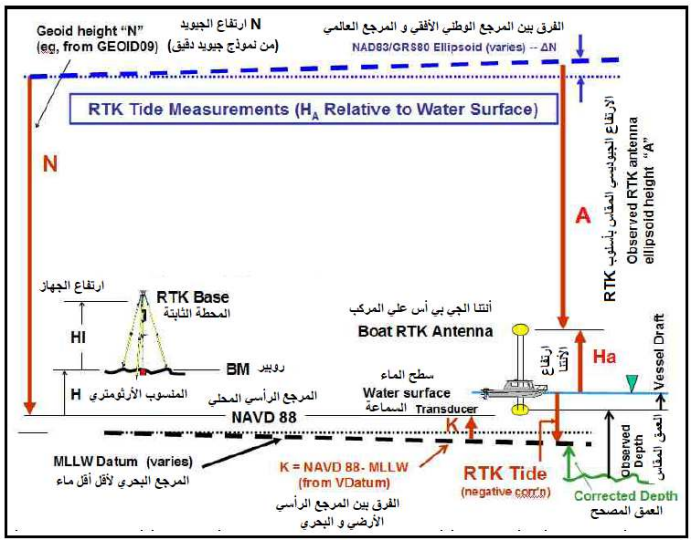
٣-٨ تقنية الرصد المتحرك مع التصحيح اللحظي لقياسات الجي بي أس

يتناول الملحق الرابع في نهاية الكتاب بصورة تفصيلية لتقنية النظام العالمي لتحديد المواقع أو الجي بي أس، بينما يقدم الفصل القادم الطرق و الأساليب المستخدم بها الجي بي أس في توجيه (تحديد احداثيات) المسح المائي/الهيدروجرافي. ومن أساليب وطرق الرصد باستخدام الجي ي أس أسلوب الرصد المتحرك مع التصحيح اللحظي Real-Time Kinematic أو اختصارا RTK. والعاملين في مجال المساحة سواء الأرضية أو المائية قد يستخدمون هذا الأسلوب في الحصول علي الاحداثيات الدقيقة/النهائية للمواقع المرصودة وذلك لحظيا أثناء تنفيذ العمل الميداني. إلا أن نفس الأسلوب من الممكن استخدامه في الحصول علي قيم الأعماق أيضا في المساحة المائية لكن بشروط محددة.

في الشكل التالي فأن عمق المياه منسوبا للمرجع البحري (أو ما يسمي RTK Tide) يمكن حسابه من قيمة الارتفاع الجيوديسي/الاليبسويدي لأنتنا جهاز الجي بي أس الموضوعة علي المركب A من خلال اضافة تصحيح:

$$\text{RTK correction} = (N - K) - A + H_a \qquad (3\text{-}5)$$

حيث: N ارتفاع الجيويد أو الفرق بين سطح الجيويد و سطح الاليبسويد، K الفرق بين المرجع الرأسي الأرضي و المرجع الرأسي البحري، A الارتفاع الجيوديسي المقاس للأنتنا علي المركب، H_a ارتفاع الأنتنا علي المركب مقاسا من سطح الماء.



شكل (٣-١٤) مبدأ قياس الأعماق بتقنية الرصد المتحرك مع التصحيح اللحظي

أي أن قياس/حساب عمق المياه باستخدام هذه التقنية يتطلب: (١) توافر نموذج جيويد دقيق لمنطقة الدراسة ليتم حساب/استنباط قيمة N منه عند كل لحظة أو كل نقطة يتم رصدها أثناء حركة المركب، (٢) توافر نموذج مد و جزر دقيق يسمح بحساب/استنباط قيمة K الفرق بين المرجع الرأسي الأرضي و المرجع الرأسي البحري.

٣-٩ تقنية ألتيمتري الأقمار الصناعي

تجدر الاشارة لوجود نوع محدد من الأقمار الصناعية الرادارية الذي يرسل أشعة رادار لتصطدم بسطح المياه (في البحار و المحيطات) و ترتد اليه مرة أخري مما يمكنه من حساب ارتفاع سطح البحر علي المستوي العالمي، وهي ما يطلق عليها الأقمار الصناعية الألتيمترية Altimetry Satellites. ومع استمرار دوران هذه الأقمار حول الأرض فأنها تمكننا من رسم سطح المياه عالميا و أيضا مراقبة و حساب معدلات ارتفاع سطح البحر. هذا و قد بدأت هذه التقنية في الظهور في سبعينيات القرن العشرين الميلادي، ومن هذه الأقمار الصناعية الخاصة أقمار: Seasat, TOPEX/Poseidon, ERS-1, ERS-2, Jason-1, Hason-2, and Envisat.

يعتمد مبدأ تقنية ألتيمتر الرادار Radar Altimetry علي ارسال جهاز الألتميتر موجات قصيرة microwave بتردد في حدود ١٣.٥ ميجا هرتز (أي بطول موجه تقريبا ٢.٢ سنتيمتر) والتي عند اصطدامها بالماء تنعكس مرة أخري حيث يسجلها جهاز الألتميتر الموجود في القمر الصناعي. ومن ثم فالجهاز قادر علي قياس المسافة (a) بين القمر الصناعي و

المنسوب اللحظي لسطح البحر instantaneous sea level والتي منها يمكن كتابة المعادلة التالية:

$$h = N + H + \Delta H + a + d \qquad (3\text{-}6)$$

حيث:

h الارتفاع الاليبسويدي ellipsoidal height للقمر الصناعي

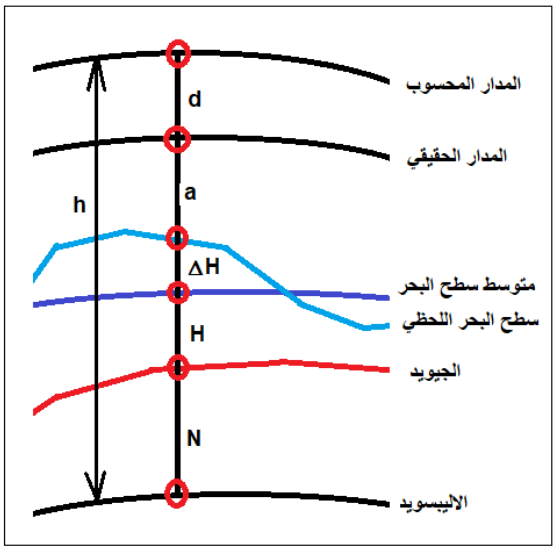
N ارتفاع الجيويد geoidal height أو حيود الجيويد

H طبوغرافية سطح البحر SST: Sea Surface Topography أو الفرق بين المنسوب اللحظي لسطح البحر و متوسط سطح البحر

ΔH تأثير المد و الجزر اللحظي instantaneous tidal effect

d الفرق بين المدار المحسوب و المدار الحقيقي للقمر الصناعي

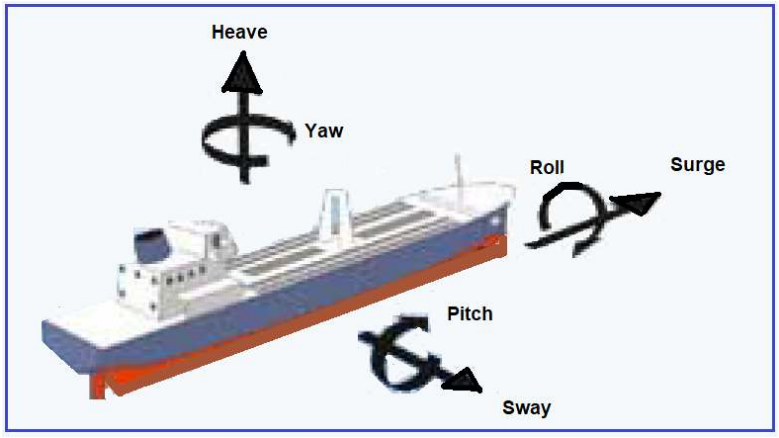
ومن هذه المعادلة يمكن حساب طبوغرافية سطح البحر SST في هذه اللحظة، ومع دوران القمر الصناعي حول الأرض يمكن لعلماء المحيطات تطوير خريطة ثلاثية الأبعاد لقيمة SST (بدقة أقل من ±١ متر) ومن ثم دراسة حركة المياه في البحار و المحيطات على المستوي العالمي و استخلاص العديد من خصائصها. تجدر الاشارة الي أن علماء مجال الجيوديسيا الطبيعية physical geodesy يستخدمون تقنية ألتيمتر الرادار لحساب N المسافة بين الجيويد و الاليبسويد بحيث يمكنهم تطوير نماذج الجيويد البحري marine geoid.



شكل (٣-١٥) مبدأ تقنية ألتيمتري الأقمار الصناعي

٣-١٠ الأخطاء و التصحيحات في المسح المائي

تتعرض حركة المركب vessel المخصصة لأعمال المساحة المائية أثناء ابحارها الي ٦ درجات من الحركة: ثلاثة حركات خطية Linear motion و ثلاثة حركات زاويةAngular motion . فالحركات الخطية تشمل: surge, sway, heave وتشمل الحركات الزاوية للمركب: roll, pitch, yaw كما في الشكل التالي:

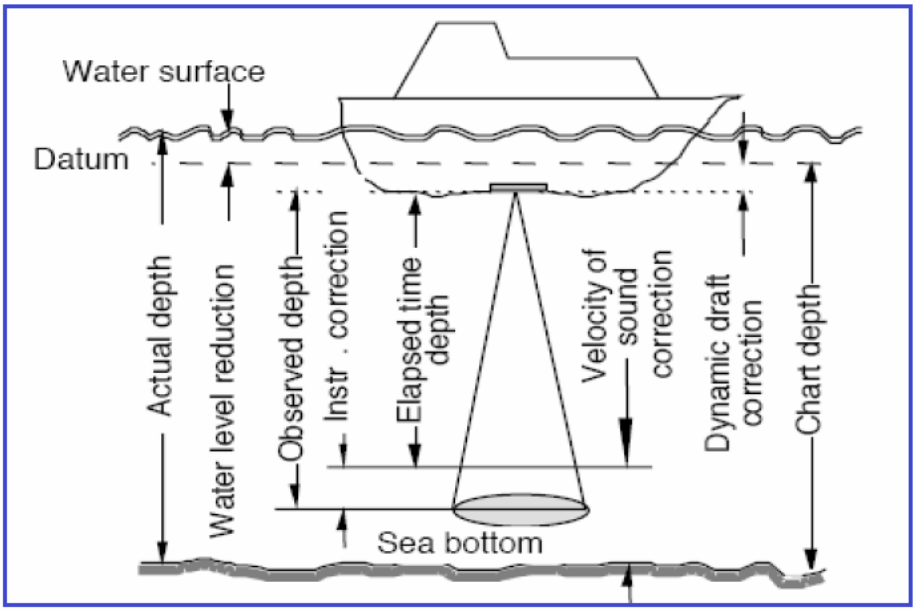


شكل (٣-١٦) الحركات المؤثرة علي المركب أثناء الابحار

غالبا ما توجد وسيلة تقنية لقياس هذه الحركات الستة و تصحيحها اما أثناء الحركة لإعادة التوازن الصحيح للمركب أو قياسها و معالجتها في الحسابات، مثل استخدام أجهزة الجيرو gyro-stabilizer أو البندول pendulum-stabilizer أو أجهزة الموازن compensator أو من أرصاد GPS.

يعد العمق المصحح chart depth (المنسوب الي مرجع رأسي بحري محدد) حاصل جمع كلا من:

- العمق المقاس بجهاز المسح الصوتي observed or raw sounding
- تصحيحات أخطاء الجهاز instrumental corrections
- تصحيح سرعة الجس الصوتي sound velocity correction
- منسوب الماء أو تصحيح المد و الجزر water level or tidal correction
- تصحيح الخطأ الديناميكي لجهاز الجس الصوتي dynamic drift correction : ويتكون من ثلاثة أجزاء: static drift أي عمق السماعة عندما تكون المركب ساكنة، settlement أي الفرق بين وضع الثبات و وضع الحركة للمركب، squat الفرق في التوازن trim عندما يكون الجهاز وضع الحركة.



شكل (٣-١٧) العمق المرصود و العمق المصحح

٣-١١ مواصفات المسح المائي

تعتمد مواصفات المسح المائي/الهيدروجرافي في أي مشروع علي عدة عوامل منها الهدف من المشروع و مساحة منطقة المشروع. وتوجد عدة تقسيمات لأنواع الأعمال المساحية المائية/الهيدروجرافية. فكمثال فأنه يمكن تقسيم أعمال المسح المائي الي ثلاثة مجموعات:

- الاستكشاف و التصميم المبدئي: الدرجة ٣
- تصميم أو ادارة المشروعات: الدرجة ٢
- المشروعات الانشائية و تقدير تكلفة أعمال التكريك/التجريف المطلوبة: الدرجة ١

ويقدم الجدول التالي مثالا للدقة المطلوبة (أقصي خطأ متوقع) للدرجات الثلاثة في هذا التصنيف.

جدول (٣-٢) مثال ١ للخطأ الأقصى المتوقع في المسح المائي

نوع المسح	الدرجة ٣	الدرجة ٢	الدرجة ١
الدقة الرأسية (ملليمتر)	٥٠٠	٣٠٠	١٥٠
الدقة الأفقية (متر)	١٠٠	١٢	٦

أما في المثال الثاني فأن المنظمة الدولية للهيدروجرافيا تقسم درجات المسح المائي الي ٤ درجات كآلاتي:

- الدرجة الخاصة special order: لأعمال الموانئ والقنوات المائية التي تتطلب رعاية خاصة.
- الدرجة الاولي order 1: لأعمال مداخل الموانئ والمناطق الساحلية ذات الأعماق الأقل من ١٠٠ متر.
- الدرجة الثانية order 2: للمناطق غير الخاضعة للدرجتين السابقتين والمناطق الساحلية ذات الأعماق التي تصل الي ٢٠٠ متر.
- الدرجة الثالثة order 3: للمناطق البعيدة عن الشاطئ غير الخاضعة للدرجات الثلاثة السابقة.

ويقدم الجدول التالي مثالا للدقة المطلوبة لهذه الدرجات الأربعة.

جدول (٣-٣) مثال ٢ للخطأ الأقصى المتوقع في المسح المائي

نوع المسح	الدرجة الخاصة	الدرجة ١	الدرجة ٢	الدرجة ٣
الدقة الرأسية (ملليمتر): a (متر) = = b	٠.٢٥ ٠.٠٠٧٥	٠.٥٠ ٠.٠١٣	١.٠ ٠.٠٢٣	١٠ ٠.٠٢٣
	الدقة الرأسية: $= \pm\sqrt{(a^2 + (bd)^2}$ حيث d = العمق بالمتر			
الدقة الأفقية (متر)	٢	٥ + ٥% من العمق	٢٠ + ٥% من العمق	١٥٠ + ٥% من العمق

الفصل الرابع
تقنيات و طرق توجيه المسح المائي

٤-١ مقدمة

هناك عدة تقنيات و طرق و مستخدمة للحصول علي الاحداثيات الأفقية X,Y للمركب عند كل نقطة يتم عندها قياس عمق المياه أو ما يطلق عليه مصطلح التوجيه Positioning. وتختلف هذه التقنيات اختلافا كبيرا من حيث الأساليب التقنية و دقة الاحداثيات الناتجة و أيضا التكلفة الاقتصادية. يتناول هذا الفصل بعض التقنيات المستخدمة في التوجيه في المساحة البحرية/الهيدروجرافية.

٤-٢ التوجيه بأجهزة المساحة الأرضية

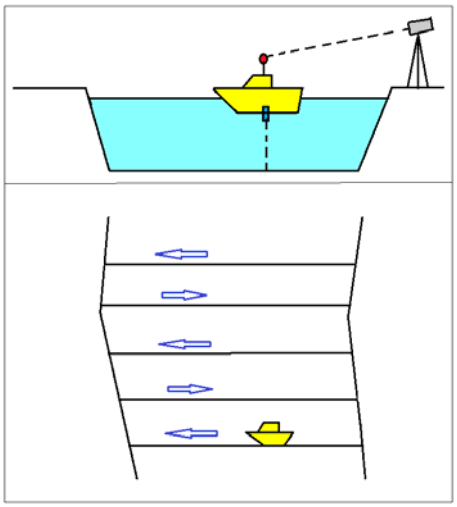
مازالت أجهزة المساحة الأرضية مستخدمة بكثير في تطبيقات المساحة المائية/الهيدروجرافية حتى مع انتشار أجهزة التوجيه بالرصد علي الأقمار الصناعية. حديثا يتم استخدام جهاز المحطة الشاملة/المتكاملة Total Station في توجيه أو تحديد الاحداثيات في أعمال المساحة المائية في المناطق الساحلية أو في مشروعات الهندسة المدنية للترع و الأنهار، حيث أن معظم أنواع هذه الاجهزة تعمل في حدود عدة كيلومترات فقط و ليس في مناطق شاسعة. أيضا في حالة عدم توافر جهاز محطة شاملة يمكن العمل باستخدام الثيودوليت لقياس الزوايا فقط. يقدم الملحق رقم ٣ نبذة موسعة عن هذه النوعية من أجهزة المساحة الأرضية، إلا أن هذا الجزء يقدم الناحية التقنية للرفع المساحي المائي بالمحطة الشاملة أو الثيودوليت.

٤-٢-١ التوجيه بالمحطة الشاملة

يتسم استخدام المحطة الشاملة بالسرعة في انجاز العمل الحقلي بالإضافة للدقة العالية التي تتطلبها بعض تطبيقات المساحة المائية. والأسلوب الأكثر انتشارا - علي الأقل في مصر - هو استخدام المحطة الشاملة لقياس الاحداثيات الأفقية X,Y مع استخدام جهاز الجس الصوتي أحادي الشعاع Single-Bean Echo Sounder لقياس العمق D.

يتم العمل الحقلي من خلال انشاء مجموعة من نقاط الثوابت الأرضية معلومة الاحداثيات الأفقية (نقاط الترافرس) علي الشاطئ في منطقة المشروع. وكما في أساليب المساحة الأرضية فيتم رصد و حساب الاحداثيات الأفقية X,Y لهذه النقاط قبل البدء في أعمال المساحة المائية ذاتها.

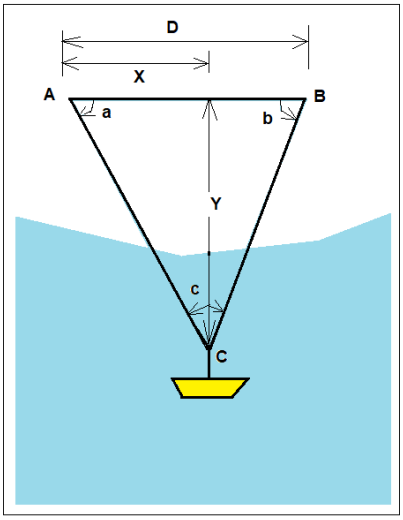
لرصد القطاعات في المجاري المائية متوسطة العمق و العرض (الأنهار و الترع و المصارف) فيتم احتلال احدي نقاط الثوابت علي الأرض بجهاز المحطة الشاملة و يوضع العاكس علي المركب رأسيا أعلي جهاز الجس الصوتي. مبدأ القياس في هذه الطريقة يعتمد علي توجيه المحطة الشاملة الي العاكس و رصده (الزاوية الأفقية و المسافة المائلة) في نفس اللحظة التي يقوم بها جهاز الجس الصوتي بقياس عمق المياه. أي أن في هذه اللحظة يمكن الحصول علي X,Y من المحطة الشاملة و الحصول علي D من جهاز الجس الصوتي. المطلوب فقط هو ضبط الوقت أو عمل تزامن synchronization بين كلا الجهازين لجعل كلاهما يرصدان نفس النقطة في نفس اللحظة. ويتم ذلك اما عن طريق وسيلة صوتية (بالموبايل/الجوال مثلا) لجعل كلا الراصدين يضغطان زر القياس و التسجيل في نفس اللحظة أو من خلال ضبط الزمن في كلا الجهازين (أجهزة المحطة الشاملة الحديثة تسجل الوقت). و يتم العمل الحقلي في صورة قطاعات متوازية عمودية علي اتجاه جريان المياه في المجري المائي. ومن هذه القياسات ثلاثية الأبعاد X,Y,D يمكن عمل خرائط الأعماق (في صورة خطوط كنتورية) باستخدام البرامج المخصصة لذلك مثل Surfer, Global Mapper, Arc GIS علي سبيل المثال.



شكل (٤-١) توجيه الرفع المائي بجهاز المحطة الشاملة

٤-٢-٢ التوجيه بالثيودوليت

من أهم مميزات جهاز المحطة الشاملة قياس المسافات المائلة الكترونيا بين الجهاز و العاكس، ومن هنا فأن عند كل نقطة مرصودة يتم قياس الزاويتين الأفقية و الرأسية و المسافة المائلة مما يمكننا من حساب احداثيات هذه النقطة بخطوات بسيطة. وعند عدم توافر جهاز محطة شاملة وتوافر جهاز ثيودوليت فقط لا يمكننا قياس المسافات، ومن ثم يلزمنا عمل قياسات و حسابات أكثر. من احدي الطرق المعروفة في توجيه المساحة المائية استخدام جهازين ثيودوليت معا وهي الطريقة المعروفة باسم طريقة النقطتين أو طريقة الزاويتين من الشاطئ. وتعتمد مبدأ هذه الطريقة علي وجود نقطتين معلومتين علي الشاطئ يمكن احتلالهما بجهازي ثيودوليت و رصد الزاويتين الأفقيتين من كلاهما الي النقطة المطلوبة علي المركب. و بعد عمل الحسابات يمكن تحديد الموقع النسبي للنقطة علي المركب (نسبة لإحدى هاتين النقطتين المعلومتين) التي يتم عندها في نفس الوقت قياس العمق. و بتكرار هذه الأعمال مع حركة المركب في القطاع المائي المطلوب فيمكن الحصول علي الموضع الأفقي و عمق المياه في كل نقاط القطاع المائي.



شكل (٤-٢) طريقة الزاويتين من الشاطئ

بمعلومية النقطتين A, B وطول خط القاعدة بينهما D وقياس الزاويتين الأفقيتين a, b من كلاهما الي نقطة المركب C يمكن حساب المسافتين X,Y لتحديد موقع C باعتبار أن الخط A B يمثل المحور س والعمودي عليه يمثل المحور ص. و تكون الخطوات الحسابية كالتالي:

$$X = D \tan b \Big/ (\tan 1 + \tan b) \qquad (4\text{-}1)$$

$$Y = D \tan a \tan b \Big/ \tan a + \tan b \qquad (4\text{-}2)$$

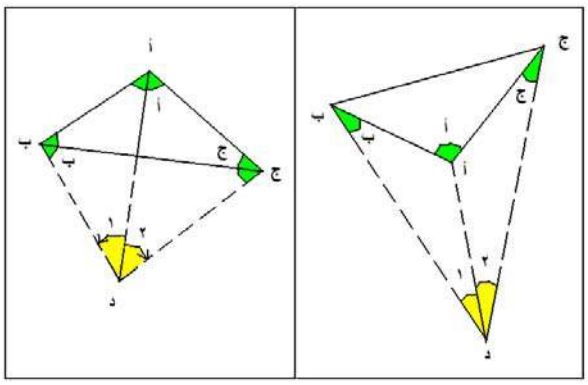
من عيوب هذه الطريقة الحاجة الي جهازي ثيودوليت، و يجب ألا تقل الزوايا المرصودة a,b عن ٣٠ درجة لضمان الوصول لدقة جيدة في الحسابات.

٤-٢-٣ التوجيه من المركب

قديما كانت الطريقة التقليدية لتوجيه (تحديد مواقع/احداثيات) النقاط في المسح المائي/الهيدروجرافي تتم من خلال القياس من المركب و ليس من الشاطئ. و بالطبع فأن هذه الطريقة الكلاسيكية لا تناسب أجهزة المساحة الدقيقة حيث لا يمكن وضع الثيودوليت أو المحطة الشاملة علي المركب و ضمان ثباتهما أثناء الرصد. ومن ثم فقد كان جهاز السكستان (المحمول يدويا) هو المستخدم وخاصة في التطبيقات التي لا تحتاج دقة عالية في التوجيه. وتعتمد هذه الطريقة التقريبية علي رصد زاويتين من النقطة علي المركب الي ثلاثة أهداف معلومة علي الشاطئ (مثل فنار أو برج ... الخ)، ولذلك كان يطلق علي هذا الأسلوب اسم طريقة النقاط الثلاثة. ومن أهم شروط تطبيق هذه الطريقة ألا تقع النقاط/الأهداف الثلاثة علي محيط دائرة واحدة.

في علم المساحة فأن تحديد موضع/موقع نقطة مجهولة بالرصد عندها علي ثلاثة نقاط معلومة هو ما يسمي بأسلوب "التقاطع العكسي Resection". وتوجد عدة طرق لحل التقاطع العكسي لكن الطريقة التالية هي طريقة هيئة المساحة الأمريكية:

يتم احتلال النقطة الجديدة د وقياس الزاويتين ١ ، ٢ (في اتجاه دوران عقرب الساعة) إلي نقاط الربط المعلومة أ ، ب ، ج.



شكل (٤-٣) التقاطع العكسي أو طريقة النقاط الثلاثة

خطوات الحل:

(١) نحسب الزاوية ر:

ر = ب + ج = ٣٦٠ – (أ + ١ + ٢) (٤-٣)

(٢) نحسب الزاوية ج:

ظتا ج = ظتا ر + (أ ج جا ١ / أ ب جا ر) (٤-٤)

(٣) نحسب الزاوية ب:

ب = ر – ج (٤-٥)

(٤) نحسب المسافة أ د:

أ د = أ ج جا ج / جا ٢ (٤-٦)

أو:

أ د = أ ب جا ب / جا ١ (٤-٧)

(٥) نحسب الزاوية ج أ د = ١٨٠ – (١ + ٢) (٤-٨)

(٦) ومنها نحسب انحراف الخط أ د

(٧) باستخدام قاعدة الجيب نحسب المسافة ج د أو ب د (أو كلاهما).

(٨) نحسب إحداثيات النقطة د باستخدام انحراف وطول ضلع الخط أ د

(٩) للتحقيق:

نحسب إحداثيات النقطة د باستخدام انحراف وطول ضلع الخط ب د أو الخط ج د.

مثال:

إحداثيات النقاط المعلومة كالتالي:

النقطة	س	ص
ب	١٠٠٠٠.٠٠	٢٠٠٠٠.٠٠
أ	١٦٦٧٢.٥٠	٢٠٠٠٠.٠٠
ج	٢٧٧٣٢.٧٦	١٤٢١٥.٢٤

زاوية ١ = ٥٣" ٠٥' ٢٠° ، زاوية ٢ = ٠٨" ٠٦' ٣٥°

الضلع أ ب = ٦٦٧٢.٥ ، الضلع أ ج = ١٢٤٨١.٧

من إحداثيات نقاط الربط (أ ، ب ، ج) يمكن حساب انحراف خطي المثلث أ ب ، أ ج ثم حساب الزوايا الداخلية أ:

زاوية أ = ٢٢" ٢٣' ١٥٢°

(١) نحسب الزاوية ر:

ر = ب + ج = ٣٦٠ – (أ + ١ + ٢) = ٣٦٠ – (٢٢" ٢٣' ١٥٢° + ٥٣" ٠٥' ٢٠° + ٠٨" ٠٦' ٣٥°) = ٣٧" ٢٤' ١٥٢°

(٢) نحسب الزاوية ج:

ظتا ج = ظتا ر + (أ ج جا ١ / أ ب جا ر) = ظتا ٣٧" ٢٤' ١٥٢° +

(١٢٤٨١.٧ جا ٥٣" ٠٥' ٢٠° / ٦٦٧٢.٥ جا ٣٧" ٢٤' ١٥٢°

= ٠.٤٩٩٩٥٦٣٨ إذن الزاوية ج = ١٣" ٢٦' ٦٣°

(٣) نحسب الزاوية ب:

ب = ر – ج = ٣٧" ٢٤' ١٥٢° - ١٣" ٢٦' ٦٣° = ٢٤" ٥٨' ٨٨°

(٤) نحسب المسافة أ د:

أ د = أ ج جا ج / جا ٢

= ١٢٤٨١.٧ جا ١٣" ٢٦' ٦٣° / جا ٠٨" ٠٦' ٣٥° = ١٩٤١٤.٦٩٣

للتحقيق: أ د = أ ب جا ب / جا ١

= ٦٦٧٢.٥ جا ٢٤" ٥٨' ٨٨° / جا ٥٣" ٠٥' ٢٠° = ١٩٤١٤.٦٩٣

(٥) نحسب الزاوية ج أ د = ١٨٠ – (١ + ٢)

= ١٨٠ – (٥٣" ٠٥' ٢٠° +٠٨" ٠٦' ٣٥°) = ٣٩" ٢٧' ٨١°

(٦) نحسب طول الخط أ د:

أ د = أ ج جا ج أ د / جا ٢

= ١٢٤٨١.٧ جا ٣٩" ٢٧' ٨١° / جا ٠٨" ٠٦' ٣٥° = ٢١٤٦٥.٢٨٩

(٧) نحسب انحرافات الخطوط:

الخط	الزاوية	الانحراف	ملاحظات
أ ج		٣٨" ٣٦' ١١٧°	الانحراف الأمامي أ ج
	٣٩" ٢٧' ٨١°		الزاوية ج أ د
أ د		١٧" ٠٤' ١٩٩°	الانحراف الأمامي أ د
د أ		١٧" ٠٤' ١٩°	الانحراف الخلفي د أ
	٠٨" ٠٦' ٣٥°		الزاوية ٢
د ج		٢٥" ١٠' ٥٤°	الانحراف الأمامي د ج
		٢٥" ١٠' ٢٣٤°	الانحراف الخلفي ج د
	١٣" ٢٦' ٦٣°		الزاوية ج
ج أ		٣٨" ٣٦' ٢٩٧°	تحقيق = الانحراف الخلفي للخط أ ج

(٨) نحسب إحداثيات النقطة د باستخدام انحراف وطول ضلع الخط أ د وإحداثيات النقطة المعلومة أ:

س د = ١٠٣٢٨.٨ ، ص د = ١٦٥٠.٩

٤-٣ التوجيه بالجي بي أس

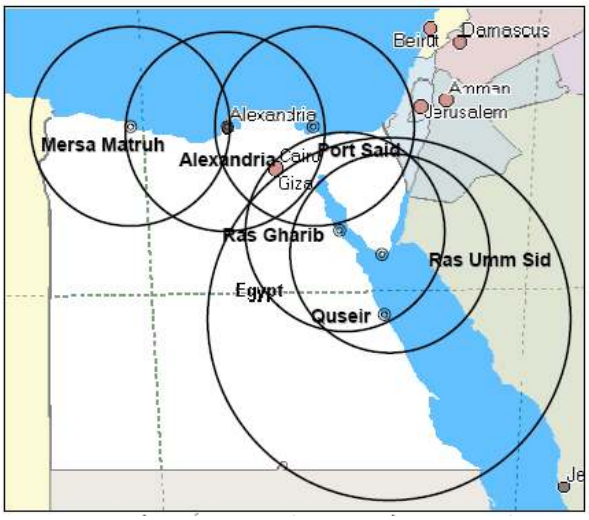
منذ عدة عقود يتم استخدام تقنية النظام العالمي لتحديد المواقع Global Positioning System (GPS) أو اختصارا "الجي بي أس" في توجيه أو تحديد المواقع أو تحديد الاحداثيات في أعمال المساحة المائية. يقدم الملحق رقم ٤ نبذة موسعة عن هذه التقنية، إلا أن هذا الجزء سيتناول عرض الطرق التقنية و العملية لاستخدامات الجي بي أس في المسح المائي بصورة مبسطة.

هناك عدة طرق أو أساليب عملية لاستخدام أجهزة الجي بي أس في التوجيه (تحديد الاحداثيات خاصة الأفقية) أثناء عملية المسح المائي. فمن المعلوم أن استخدام جهاز واحد GPS Receiver للحصول علي الاحداثيات لحظيا يعطي دقة متوسطة في حدود ± ٣ - ٥ متر للإحداثيات الأفقية، ومن ثم فأنه لا يوفر دقة عالية تكون مطلوبة في مشروعات المساحة المائية. ومن هنا يتم اللجوء الي بعض الأساليب التقنية لزيادة هذه الدقة سواء لحظيا real time أو حسابيا بعد انتهاء العمل الحقلي post processing. ويطلق علي أساليب التصحيح اللحظي مصطلح نظم الازدياد Augmentation Systems أي التي توفر مصدر اضافي لنظام الجي بي أس يحسن من مستوي دقته.

٤-٣-١ أسلوب التصحيح اللحظي لقياسات الشفرة

عادة ما تتوافر في معظم الدول شبكة من محطات الجي بي أس الثابتة التي يمكنها حساب تصحيحات اشارات الشفرة code correction للأقمار الصناعية و بثها لحظيا بحيث يمكن لأي مستخدم التقاطها و تصحيح موقعه المحسوب من اشارات الجي بي أس. وعادة ما تشرف الجهة المسئولة عن الملاحة البحرية علي ادارة مثل هذه الشبكات بحيث يتم استخدامها من قبل كافة السفن المبحرة بالقرب منها بحيث تصل دقة الاحداثيات المصححة الي أقل من ١ متر فقط. ويطلق علي هذا الأسلوب اسم الجي بي أس التفاضلي Differential GPS: DGPS. وعلي سبيل المثال ففي مصر فأن الهيئة المصرية لسلامة الملاحة البحرية (مصلحة

الموانئ و المنائر المصرية سابقا) لديها شبكة من محطات التصحيح اللحظي مكونة من ٧ محطات كلا منها تبث التصحيحات لاسلكيا في منطقة دائرية يبلغ نصف قطرها ٢٠٠ كيلومتر.



شكل (٤-٤) المحطات الأرضية ومجال تغطيتها في شبكة هيئة الموانى المصرية

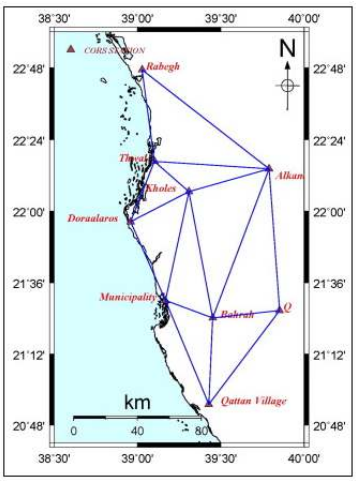
٤-٣-٢ أسلوب التصحيح اللحظي لقياسات الموجة الحاملة

يعتمد هذا الأسلوب علي توافر جهازين جي بي أس لدي المستخدم، بحيث يتم وضع أحدهما علي نقطة معلومة الاحداثيات base والآخر يتحرك لرصد النقاط الجديدة rover (علي المركب). يقوم الجهاز الثابت بحساب قيم التصحيحات و بثها من خلال وصلة لاسلكيا (من خلال وحدة راديو) الي الجهاز المتحرك الذي يستقبلها (به وحدة راديو أيضا) و يصحح قيمة احداثيات النقطة المرصودة في هذه اللحظة. ومن ثم فيطلق علي هذا الأسلوب اسم الرصد المتحرك اللحظي Real-Time Kinematic أو اختصارا RTK. الا أن من عيوب هذا الأسلوب انقطاع التواصل بالراديو بين الجهاز الثابت و المتحرك عند وجود عوائق بينهما، بالإضافة الي أن هذه النوعية من أجهزة الجي بي أس تكون أغلي ثمنا من الأجهزة العادية و عادة ما تحتاج تصاريح أمنية اضافية. ومن ثم فأن هذا الأسلوب يصلح للمساحة المائية في المجاري المائية الصغيرة مثل الترع و الأنهار أو بالقرب من الشواطئ لمسافات غير كبيرة.

شكل (٤-٥) أسلوب RTK في المساحة المائية

٤-٣-٣ أسلوب الشبكات الدائمة العمل

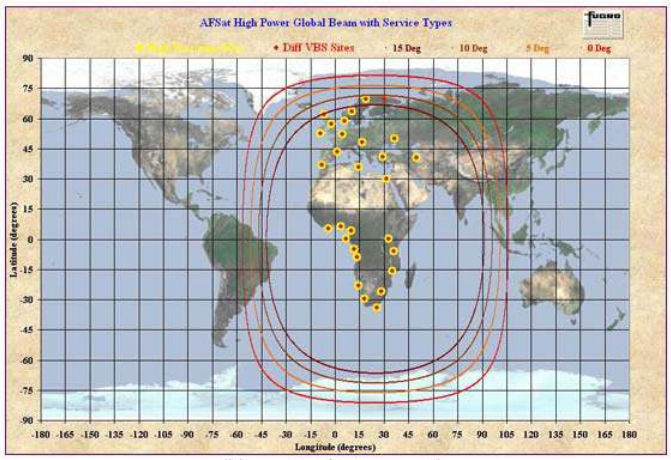
في بعض الدول - بل و بعض المدن - تقوم الجهة المسئولة عن أعمال المساحة بإنشاء شبكات من النقاط المرجعية دائمة العمل Continuously Operating Reference Stations أو اختصارا CORS، والتي تعتمد نظرية عملها علي أن كل محطة تستقبل اشارات الجي بي أس ٢٤ ساعة/يوم ومن خلال معرفة الاحداثيات الدقيقة لكل نقطة فيمكنها حساب تصحيحات اشارات الأقمار الصناعية طوال اليوم. ثم تقوم هذه المحطات أو الشبكة ببث قيم هذه التصحيحات (لاسلكيا أو عبر الانترنت) بحيث يمكن للمستخدم استقبالها (غالبا مجانا) و تصحيح احداثيات النقاط التي يرصدها جهازه المتحرك rover لحظيا. أي أن المستخدم يكون لديه جهاز جي بي أس واحد فقط لكن يمكنه الوصول لدقة السنتيمترات في الموقع real-time. ومن المدن التي تطبق هذا الأسلوب (علي سبيل المثال فقط) كلا من جدة و الرياض في المملكة العربية السعودية و دبى في الامارات العربية المتحدة.



شكل (٤-٦) مثال لشبكة CORS في مدينة جدة

٤-٣-٤ أسلوب التصحيح اللحظي من الأقمار الصناعية التجارية

تقوم عدة شركات عالمية تجارية بعمل شبكة من المحطات الجي بي أس الثابتة - التي تعمل ٢٤ ساعة في اليوم - حول العالم ومنها يمكن حساب تصحيحات اشارات الأقمار الصناعية في أي لحظة. ثم تقوم هذه الشركات ببث التصحيحات الي أقمار صناعية خاصة بها والتي بدورها تقوم بإعادة بث هذه التصحيحات الي الأرض بحيث يمكن للمشتركين استقبال هذه التصحيحات لحظيا وبالتالي تصحيح المواقع/الاحداثيات المرصودة في نفس اللحظة. وكمثال لهذه النظم فأن شركة OminStar تتيح خدماتها علي المستوي العالمي مقابل اشتراكات مالية، من خلال ٣ أنواع من الخدمة: خدمة VBS بدقة أقل من متر واحد ، خدمة HP بدقة حوالي ٣٠ سنتيمتر ، خدمة XP بدقة حوالي ١٠ سنتيمتر. ويغطي أحد أقمار OmniStar المنطقة العربية كلها بحيث يتيح خدماته لكل المستخدمين بها.



شكل (٤-٧) تغطية نظام التصحيح التجاري OmniStar في المنطقة العربية

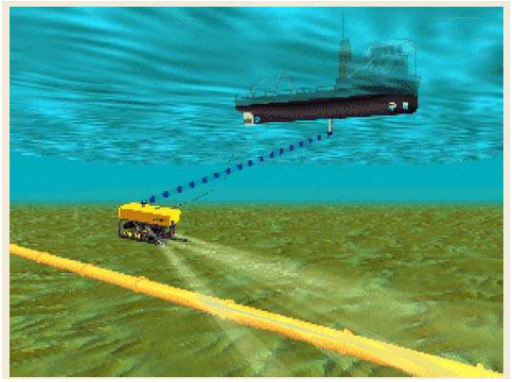
٤-٣-٥ أسلوب معالجة الأرصاد لاحقا

في بعض الأعمال المساحية سواء المساحة الأرضية أو المساحة المائية لا يكون هناك حاجة للحصول علي الاحداثيات الدقيقة/النهائية في الحقل. في هذه الحالة تتم معالجة/حسابات أرصاد الجي بي أس لاحقا (في المكتب) لعمل التصحيحات المطلوبة للوصول للدقة المنشودة. ويطلق علي هذا الأسلوب اسم الرصد المتحرك مع الحساب اللاحق Post-Processing Kinematic أو اختصارا PPK. يتكون هذا الأسلوب من احتلال جهاز جي بي أس Base لنقطة معلومة الاحداثيات بينما الجهاز الآخر أو المتحرك Rover يكون في المركب أثناء عملية الرفع المائي/الهيدروجرافي. بعد انتهاء العمل يتم تفريغ الأرصاد من كلا الجهازين الي جهاز الكمبيوتر و استخدام البرامج المتخصصة في عمل التصحيحات اللازمة و الحصول علي الاحداثيات النهائية/الدقيقة لجميع النقاط التي رصدها الجهاز المتحرك أثناء العمل الحقلي. تصل

دقة هذا الأسلوب الي عدة سنتيمترات غالبا، ومن ثم فهو أدق أساليب التوجيه باستخدام تقنية الجي بي أس.

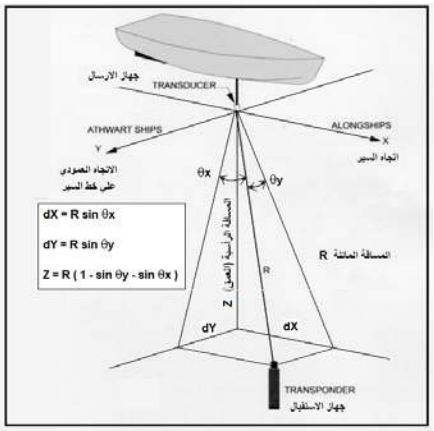
٤-٤ التوجيه تحت سطح المياه

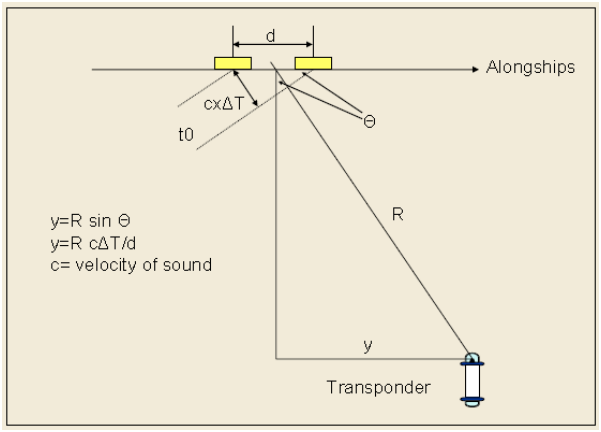
هناك عدة تقنيات للتوجيه (تحديد المواقع) تحت سطح الماء منها يمكن أن نطلق عليها مصطلح التوجيه بالصوت Acoustic Positioning. ومن هذه التقنيات: خطوط القواعد فائقة الصغر Ultra Shorty Base Line: USBL، و خطوط القواعد كبيرة الصغر Supper Short Base Line: SSBL، و خطوط القواعد الطويلة Long Base Line: LBL. وتعتمد نظرية عمل هذه التقنيات علي جهاز ارسال موجات صوتية في المركب Hydrophone وجهاز استقبال هذه الموجات علي القاع Transponder. ومن ثم فيمكن تحديد الموقع النسبي للجهاز الثاني (مقاسا من موقع الجهاز الأول) من خلال بعض القياسات و المعادلات الرياضية.



شكل (٤-٨) تقنية التوجيه بالصوت تحت سطح المياه

يقوم جهاز الارسال أسفل المركب بإرسال الحزمة الصوتية الي جهاز الاستقبال الذي عند استقبالها يرسل معلومات و زمن الاستقبال مرة أخري الي الجهاز الأول. من خلال تجميع المعلومات عند لحظتي ارسال متتاليتين (معلوم فرق الزمن بينهما و من ثم طول خط القاعدة d علي السفينة) فأنه يمكن حساب فرق الاحداثيات بين جهاز الاستقبال وجهاز الارسال (الاحداثي y في اتجاه خط سير السفينة) .أما عند قياس زاويتي انحراف الحزمة الصوتية عن المستويين X (اتجاه خط السير) و Y (الاتجاه العمودي علي خط السير) فيمكن حساب الاحداثيات النسبية dX , dY لجهاز الاستقبال بالإضافة لقيمة العمق Z عند هذه اللحظة. وبمعرفة الاحداثيات المطلقة لجهاز الارسال (باستخدام الجي بي أس مثلا) فأن الاحداثيات المطلقة لجهاز الاستقبال تحت سطح المياه يمكن حسابها مع قيمة العمق المقاس.

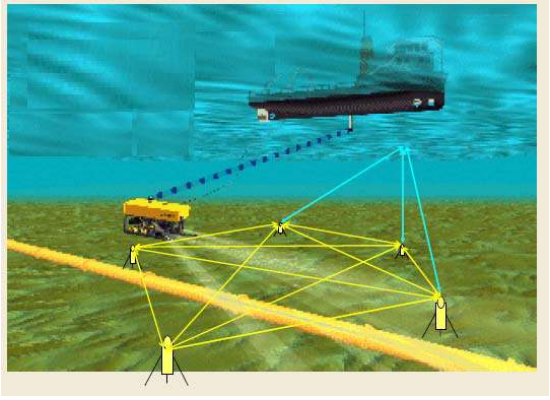




شكل (٤-٩) مبدأ التوجيه بالصوت تحت سطح المياه (تقنية خطوط القواعد الصغيرة)

شكل (٤-١٠) نماذج لأجهزة التوجيه بالصوت تحت سطح المياه

أما التقنية الثانية المستخدمة في التوجيه الصوتي تحت سطح المياه فهي تقنية خطوط القواعد الطويلة Long Base Line: LBL التي تعتمد علي انشاء خطوط القواعد عند القاع و ليس عند أسفل السفينة كما في التقنية الاولي، وذلك من خلال استخدام أكثر من جهاز استقبال في نفس اللحظة.



شكل (٤-١١) تقنية خطوط القواعد الطويلة للتوجيه بالصوت تحت سطح المياه

بصفة عامة يتم تطبيق التوجيه الصوتي تحت سطح المياه في مشروعات مد الأنابيب وإنشاء محطات الحفر للبحث عن البترول و الغاز.

منذ سبعينات القرن العشرين الميلادي بدأ تطوير أجهزة عالية التقنية تحت اسم المركبات الآلية تحت الماء Unmanned Underwater Vehicle: UUV وهي اما يمكن التحكم فيها من بعد Remotely Operated Underwater Vehicles: ROVs أو أن التحكم بها يكون آليا Autonomous Underwater Vehicles: AUVs. وتعتمد هذه الاجهزة في التوجيه علي تقنية الجس الصوتي تحت سطح المياه أو يكون بها جهاز الملاحة القصور الذاتي Inertial Navigation System: INS. وتشمل المجسات الموجودة داخل هذه الأجهزة البوصلة و الجس الجانبي بالسونار بالإضافة لعدة مستشعرات أخرى. وتستخدم هذه الاجهزة في عدد كبير من التطبيقات المدنية و العسكرية مثل البحث عن الألغام البحرية و رسم خرائط قاع البحار و المحيطات والمسح ثلاثي الأبعاد للمواقع قبل البدء في تنفيذ المشروعات و مد خطوط الأنابيب داخل البحر وأيضا مراقبة حالة الأنابيب و سلامتها بصفة دورية.

شكل (٤-١٢) أمثلة للمركبات اللآلية تحت الماء

٤-٥ المسح المائي في المناطق البسيطة

حديثا فأن أعمال المساحة المائية/الهيدروجرافية في المجاري المائية البسيطة (حول الميناء أو في الأنهار و البحيرات ...الخ) يمكن تنفيذها بصورة بسيطة و بتكلفة اقتصادية معقولة. في هذه التطبيقات فأن العمل الحقلي يتم من خلال مركب/لنش بسيط يحتوي جهاز كمبيوتر و موصول به كلا جهازي الجس الصوتي أحادي الشعاع Echo sounder و أنتنا (مستقبل) جهاز الجي بي أس. ويكون محملا علي هذا الكمبيوتر برنامج حسابات متخصص (مثلا برنامج HYPACK) لعمل التزامن أو الربط الزمني بين أرصاد/قياسات كلا الجهازين و تخزينها. وحيث أن مثل هذه التطبيقات لا تحتاج دقة عالية في تحديد الاحداثيات الأفقية فيمكن اختيار أسلوب "التصحيح اللحظي من الأقمار الصناعية التجارية" لتجنب الحاجة لوجود جهاز جي بي أس علي نقطة معلومة Base وأيضا لتجنب الحاجة لأعمال الحسابات لاحقا في المكتب Post Processing. ومن ثم فأن الاحداثيات المرصودة في الموقع لنقاط قياس الأعماق ستكون احداثيات "نهائية" جاهزة مباشرة لإنتاج الخريطة المائية أو عمل القطاعات المطلوبة.

شكل (٤-١٣) نظام بسيط للمسح المائي في الوقت الحالي

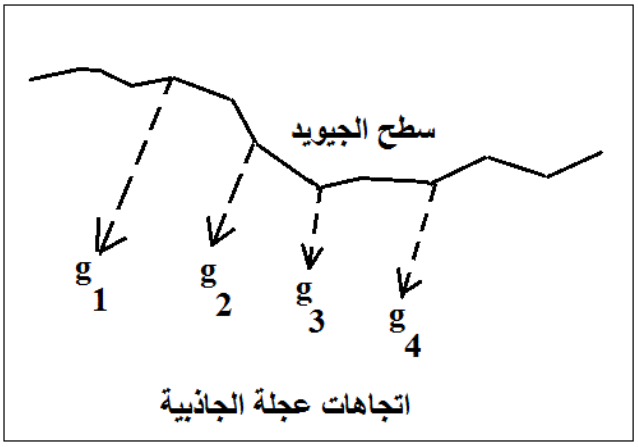
الفصل الخامس
محطات و أجهزة قياس المد و الجزر

٥-١ مقدمة

تعد قياسات منسوب سطح البحر من أنواع القياسات الهامة في علوم المساحة و الجيوماتكس بصفة عامة. فمن هذه النوعية من القياسات يمكن تحديد متوسط منسوب سطح البحر وأيضا يمكن منها متابعة التغيرات البيئية التي تسببها ظاهرة الاحتباس الحراري وتأثيرها سواء علي المستوي العالمي أو المحلي. وتستخدم أجهزة قياس المد و الجزر في الحصول علي هذه القياسات عند محطات المد و الجزر Tide Gauges في كل دول العالم تقريبا. ويوجد عدد من هذه المحطات في مصر - بعضها يعمل منذ أكثر من مائة عام تقريبا - كما سيتم تناوله في هذا الفصل.

٥-٢ الجيويد

كلمة جيويد geoid كلمة لاتينية مكونة من مقطعين: ge أي الأرض و oid أي شبيه، أي أن كلمة جيويد تعني شبيه الأرض. وظهرت هذه الكلمة لأول مرة علي يد العالم جاوس في القرن السابع عشر الميلادي. يتميز كوكب الأرض بمجال الجاذبية المؤثرة علي كل نقطة علي سطحه، ولكي نحدد الشكل الحقيقي للأرض يجب الاعتماد علي هذا المجال. أبسط تعريفات الجيويد أنه الشكل الحقيقي للأرض الذي يكون عموديا علي اتجاه الجاذبية عند كل نقطة. لكن – وهذه أول مشكلة – فأن قيمة عجلة الجاذبية الأرضية تختلف من نقطة لأخرى بناءا علي عدة عوامل (مثل دائرة العرض ونوع المواد تحت سطح الأرض وهكذا)، وبالتالي فأن شكل سطح الجيويد لن يكون منتظما بل سيكون شديد التعرج. ومن هنا ستنتج المشكلة الثانية وهي أن تعرج هذا الشكل لن يمكن معه وصف الجيويد بمعادلات رياضية (مثل معادلات الكرة أو الاليبسويد) وبالتالي فلن يمكن استخدامه في تحديد المواقع (حساب الإحداثيات) وإنشاء الخرائط. لكن مع كل ذلك فأن الجيويد هو الشكل الحقيقي للأرض.



شكل (٥-١) الجيويد سطح متعرج

لتعريف الجهد Potential (أو جهد الجاذبية الأرضية Gravitational Potential) ننظر لحركة الكتلة الصغيرة (وحدة الكتلة) أثناء مسارها في المسافة بينها و بين الكتلة الكبرى (كتلة الأرض) في الشكل الذي يعبر عن قوة الجذب بين أي كتلتين (شكل ٦-١). نجد أن الكتلة m ستبذل شغل work لكي تتحرك مسافة صغيرة باتجاه الكتلة الكبرى M، وهذا الشغل W يبلغ:

$$W = F\ dr \qquad (5\text{-}1)$$

حيث: F تمثل قيمة عجلة الجذب بين الكتلتين، dr تمثل وحدة المسافة.

بتعويض المعادلة (٦-٢ بقيمة g الممثلة لعجلة الجذب):

$$W = (G\ M / r^2)\ dr \qquad (5\text{-}2)$$

أما الجهد U فيعرف بأنه قيمة الشغل اللازم لانتقال الكتلة m من ما لا نهاية إلي المسافة المعلومة r (المسافة بين الكتلتين). أي أن الجهد هو تكامل لكل قيم الشغل المبذولة عند كل وحدة مسافة dr طوال المسافة المطلوبة r:

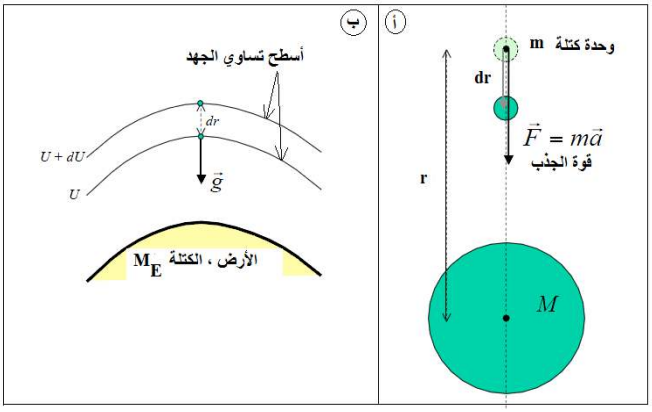
$$U = \int_{\infty}^{r} (M/r2)\ dr$$

$$= -\ G\ M / r \qquad (5\text{-}3)$$

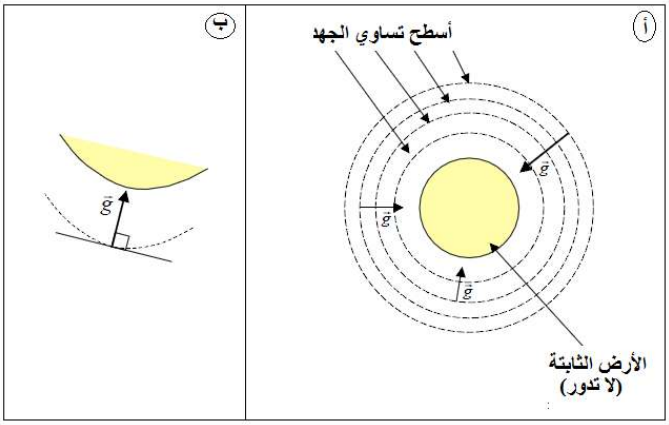
حيث G هو ثابت نيوتن للجاذبية الأرضية، والإشارة السالبة في المعادلة السابقة للدلالة علي أن الجهد يكون في اتجاه تناقص المسافة r.

يمكن النظر للجهد علي أنه انحدار gradient لعجلة الجاذبية الأرضية. فان كانت الأرض جسم ثابت (لا يدور) متساوي الكثافة فأن الخط الواصل بين قيم الجهد المتساوية سيسمي سطح تساوي الجهد equi-potential surface (يمكن تخيله كما لو كان خط كنتور

يصل بين النقاط المتساوية المنسوب). وفي هذه الحالة ستوجد عدة سطوح من أسطح تساوي الجهد وستكون كلها متوازية حول الأرض، وسيكون اتجاه عجلة الجاذبية الأرضية هو الاتجاه العمودي علي أي سطح من هذه الأسطح.



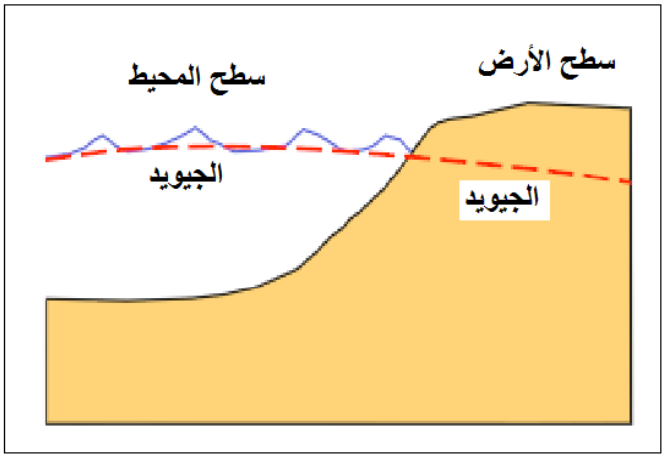
شكل (٥-٢) أسطح تساوي الجهد (جهد الجاذبية الأرضية)



شكل (٥-٣) توازي أسطح تساوي الجهد للأرض الثابتة

لكن الواقع الحقيقي للأرض أنها جسم يدور حول نفسه (غير ثابت) مما يجعل عجلة الجذب هب محصلة قوة الجذب و قوة الطرد المركزية، كما أن كثافة المادة داخل الأرض مختلفة وليست ثابتة. من هنا فأن أسطح تساوي الجهد في الحقيقية لن تكون متوازية. بالنظر إلي أن ثلاثة أرباع الأرض تقريبا مغطي بالماء، وأن سطح المياه ما هو إلا سطح متساوي الجهد (من وجهة نظر علم ديناميكا السوائل Fluid Dynamics) فسيكون هناك سطح متساوي الجهد ينطبق مع سطح البحر. تم اختيار (اعتبار) أن السطح متساوي الجهد الذي ينطبق مع متوسط سطح البحر هو الذي يمثل الشكل الحقيقي للأرض (بفرض امتداده تحت اليابسة أيضا)، ومن ثم تم إطلاق اسم الجيويد علي هذا السطح. أي أن في البحار و المحيطات فأن متوسط

سطح المياه (بافتراض عدم وجود أي تيارات أو أمواج) هو سطح الجيويد، أما في اليابسة فأن الجيويد سطح تخيلي أو افتراضي لا يمكن تحديده فيزيائيا بل يمكن حسابه من بعض القياسات.



شكل (٥-٤) سطح الجيويد

٥-٣ المرجع الجيوديسي الرأسي و شبكات التحكم الرأسية

المرجع الرأسي vertical datum (أي مرجع الارتفاعات height datum) يتم تمثيله من خلال شبكة تحكم رأسية vertical control network لكي يقدم الأساس لتحديد ارتفاعات النقاط علي سطح الأرض. وتعرف شبكة التحكم الرأسية باسم شبكة الميزانية levelling network حيث أنه يتم انشاؤها باستخدام الميزانية الهندسية كتقنية أساسية أو بالميزانية المثلثية في بعض الأحيان. أيضا فأن الميزانيات يمكن تقسيمها الي أربعة درجات حيث الدرجتين الاولي و الثانية يعرفان باسم الميزانية الدقيقة precise levelling بينما الدرجتين الثالثة و الرابعة هما الميزانية العادية. ومن ثم فأن شبكات التحكم الرأسية أيضا يمكن تقسيمها الي أربعة درجات.

٥-٣-١ المرجع الرأسي الأرضي و مركز الميزانية

المرجع الرأسي هو السطح المرجعي reference surface الذي يتم نسبة الارتفاعات المقاسة اليه. أي أن جميع ارتفاعات الميزانيات في شبكة التحكم الرأسية الوطنية يتم حسابها و تحديدها الي المرجع الرأسي الذي يتكون من سطح صفر الارتفاعات zero elevation surface ونقطة مركز دائمة. نظريا فأن الجيويد هو المستخدم كسطح مرجعي للارتفاعات، إلا أنه عمليا فأن متوسط سطح البحر Mean Sea Level (أو اختصارا MSL) - الذي يتم تحديده من خلال أخذ متوسط القراءات عند محطة المد و الجزر tide gauge لمدة طويلة - هو المستخدم كسطح مرجعي للارتفاعات. وهذا هو المفهوم المطبق في

أغلب دول العالم حيث أن MSL يمكن تحديده بدقة كما أنه علي المستوي العالمي فهو قريب جدا من الشكل الطبيعي للأرض.

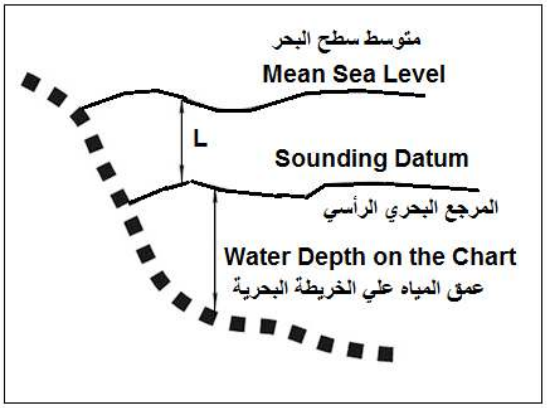
لتحديد متوسط سطح البحر MSL يتم انشاء محطة مد و جزر علي الساحل وعندها يتم تسجيل سطح البحر عبر الزمن. يتغير سطح البحر نتيجة عدة عوامل مثل تغير وضع الأرض مع كلا من الشمس و القمر، وهذه التغيرات تكون دورية periodic وأكبر دورة لها هي الدورة الفلكية التي تتكرر كل ١٨.٦ سنة. ومن ثم فأن الاحصاءات أشارت الي أن متوسط قراءات سطح البحر في هذا المدة الزمنية يمثل متوسط سطح البحر MSL لهذه المنطقة. إلا أنه تجدر الاشارة الي أنه قد حدث ارتفاع عدة سنتيمترات في متوسط سطح البحر علي المستوي العالمي خلال المائة عام الماضية نتيجة عدة عوامل منها زيادة معدلات ذوبان الجليد والتمدد الحراري لمياه المحيطات. ومن ثم فيجب تصحيح متوسط سطح البحر كمرجع رأسي نتيجة هذه التغيرات طويلة المدي.

عند محطة المد و الجزر الذي يتحدد عندها متوسط سطح البحر يجب اقامة علامة محددة تحدد لنا المرجع الذي ستقاس الارتفاعات نسبة اليه، وهذه العلامة تسمي النقطة معلومة الارتفاع (أو الروبير) benchmark أو اختصارا BM. ويتم ربط النقطة الاساسية مع محطة المد و الجزر من خلال الميزانية ليتم تحديد ارتفاع هذه العلامة الأرضية. وهذه العلامة الأساسية هي التي يطلق عليها اسم مركز الميزانية levelling origin. وعلي سبيل المثال فأن مركز الميزانية في مصر يقع داخل ميناء الاسكندرية وتم تحديده في عام ١٩٠٦ (الشكل التالي) و مركز الميزانية في المملكة العربية السعودية يقع داخل ميناء جده و تم تحديده في ١٩٦٩. ومن مركز الميزانية يتم البدء في انشاء نقاط شبكة التحكم الرأسية حيث يتم استخدام الميزانيات للحصول علي ارتفاع كل نقطة من نقاط هذه الشبكة.

٥-٣-٢ المرجع الرأسي البحري

تتطلب المساحة البحرية marine surveying تحديد مرجع لقياس الأعماق depths وهو ما يعرف باسم المرجع الرأسي البحري sounding datum وأيضا باسم مرجع الخرائط البحرية chart datum. فالأعماق التي يتم قياسها تبدأ من سطح البحر لحظة القياس (أي سطح البحر اللحظي instantaneous sea surface) وهو سطح متغير نتيجة عدة عوامل مثل المد و الجزر و التيارات و الأمواج البحرية ...الخ. ومن ثم فأن قيم الأعماق التي يتم قياسها عند نفس الموقع في عدة أزمنة مختلفة لن تكون متساوية. وبالتالي فهناك حاجة الي تحديد سطح مياه ثابت كمسطح مرجعي لقياسات الأعماق يمكن نسبة جميع القياسات

المأخوذة في أوقات مختلفة اليه، وهو ما يعرف باسم المرجع الرأسي البحري كما يعرف أيضا باسم مرجع الخرائط البحرية. ويتم تحديد هذا المرجع باستخدام قياسات طويلة المدي للمد و الجزر وبتطبيق نماذج رياضية لتحديد هذا المرجع الاختياري. وعادة ما يتم اختيار المرجع البحري الرأسي علي مسافة L أقل من متوسط سطح البحر MSL (الشكل التالي). ويراعي اختيار هذا المرجع البحري عمليات السلامة الملاحية ومعدل استخدام الممرات المائية، ولذلك فغالبا ما يكون هذا المرجع تقريبا هو سطح أقل مد و جزر tidal surface of lowest water level.



شكل (٥-٥) المرجع البحري الرأسي

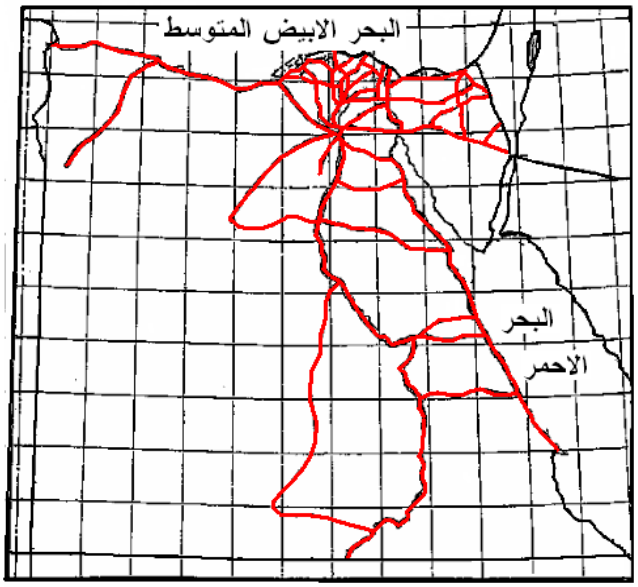
وتختلف طرق تحديد المرجع البحري الرأسي في الدول المختلفة (أي حساب قيمة المسافة L) طبقا لنظم تغيرات المد و الجزر في كل منطقة، ومن ثم فهناك عدد طرق لاختيار المرجع البحري الرأسي مثل أقل مد و جزر نظري Theoretical Lowest Tide: TLT و أقل مد و جزر قمري Lowest Astronomical Tide: LAT و متوسط أقل أقل مياه Mean Lower Low Water: MLLW و أقل أقل مياه Lowest Low Water: LLW و متوسط أقل مياه Mean Low Water: MLW ..... الخ.

٥-٣-٣ انشاء شبكة التحكم الرأسية

تكاد أسس انشاء شبكات التحكم الرأسية مشابهه لأسس شبكات التحكم الأفقية بصورة عامة، فالشبكات الرأسية يتم انشاؤها من أربعة درجات وتبدأ مراحل الانشاء من الدرجات العالية الي الدرجات الأقل. وتكون خطوط الميزانيات levelling lines or routs في صورة حلقات مغلقة closed loops أو يتم انهاء الخط عند نقاط من الدرجة الأعلى، وذلك بهدف تقليل تراكم الأخطاء المنتظمة. وحيث أن شبكات الدرجة الاولي هي الأساس لشبكة التحكم الرأسية الوطنية فغالبا ما يتم انشاء خطوطها علي الطرق الرئيسية للدولة وفي مناطق

ثابتة أو مستقرة جيولوجيا. ويكون محيط حلقة الميزانية الدرجة الاولي في حدود ١٠٠٠ - ١٥٠٠ كيلومتر في المناطق المنبسطة و بسيطة الانحدار و في حدود ٢٠٠٠ كيلومتر للمناطق الجبلية (المواصفات الصينية). أما في حلقات الميزانية من الدرجة الثانية فأن محيط الحلقة عادة ما يكون في حدود ٥٠٠ - ٧٥٠ كيلومتر، بينما يصل المحيط الي حوالي ٣٠٠ كيلومتر في الدرجة الثالثة.

يمثل الشكل التالي - كنموذج - شبكة الثوابت الرأسية في جمهورية مصر العربية.

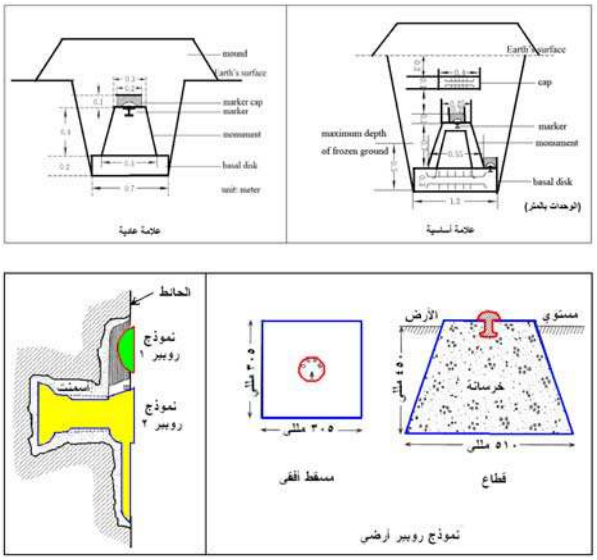


شكل (٥-٦) شبكة الميزانية من الدرجة الاولي في مصر

تقاس صحة precision خطوط الميزانية في درجاتها المختلفة من خلال قيمة الخطأ التربيعي المتوسط العشوائي random mean square error (M_Δ) للكيلومتر الواحد وأيضا قيمة الخطأ التربيعي المتوسط الكلي total mean square error (M_w) لفرق الارتفاع كما يوضح الجدول التالي:

درجة الميزانية		الاولي	الثانية	الثالثة	الرابعة
M_Δ	(ملليمتر)	≤ 0.45	≤ 1.0	≤ 3.0	5.0
M_w	(ملليمتر)	≤ 1.0	≤ 2.0	≤ 6.0	10.0

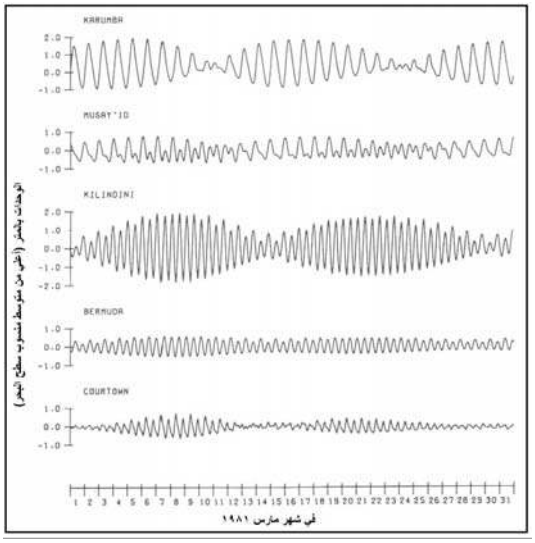
أما الأشكال التالية فتقدم أمثلة لبناء علامة شبكة التحكم الرأسية الأساسية و العادية (الروبيرات) في عدد من الدول.



شكل (٥-٧) نماذج للروبيرات

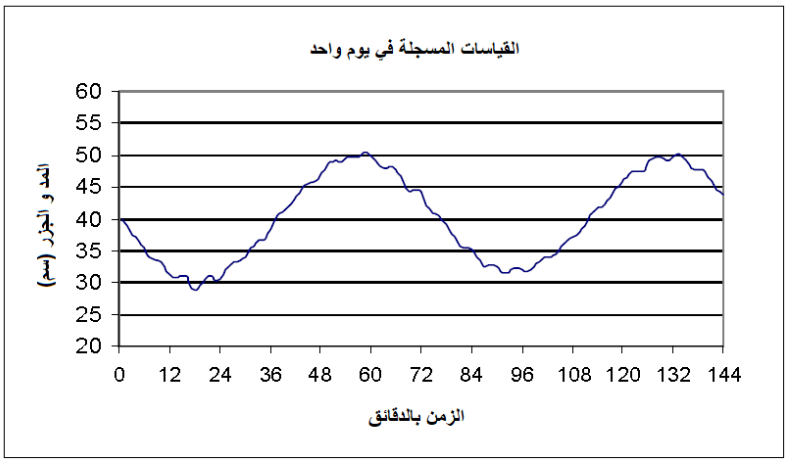
٥-٤ المد و الجزر

يعد المد و الجزر ظاهرة طبيعية ناتجة عن استجابة المياه (في البحار و المحيطات) لجاذبية كلا من الشمس و القمر. وتختلف طبيعة و قيمة هذه الظاهرة باختلاف الموقع المكاني علي سطح الأرض (الشكل التالي) وباختلاف الزمن أيضا.



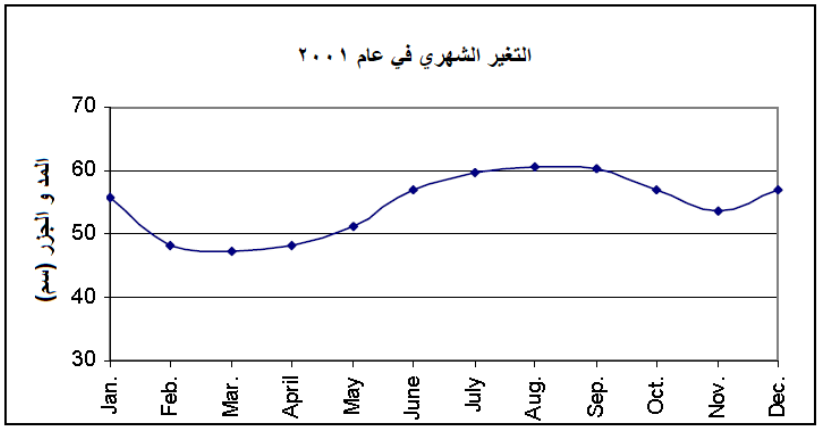
شكل (٥-٨) اختلاف طبيعة المد و الجزر باختلاف الموقع المكاني

توجد أربعة خصائص لطبيعة حركة المد و الجزر: نصف يومية (دورتان في اليوم الواحد) و شهرية، و سنوية، وقمرية (دورة كل ١٨.٦ سنة) كما في الأشكال التالية لمحطة الاسكندرية كمثال.



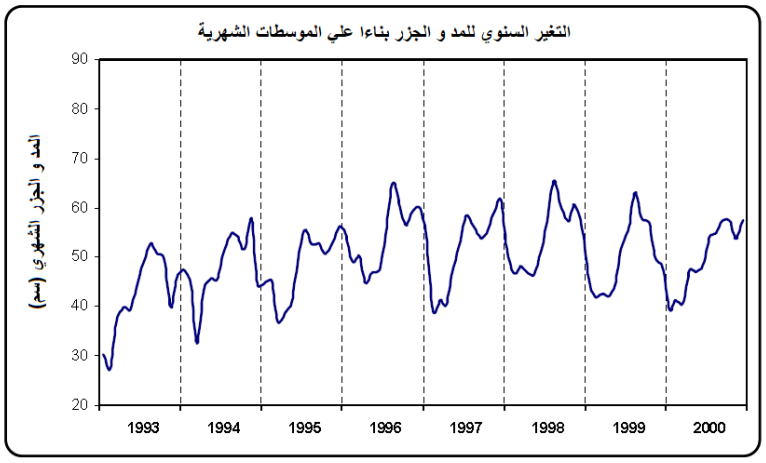
شكل (٥-٩) مثال للتغير اليومي للمد و الجزر بمحطة الاسكندرية

(القيم كمثال فقط و ليست حقيقية)



شكل (٥-١٠) مثال للتغير الشهري للمد و الجزر بمحطة الاسكندرية في عام ٢٠٠١

(القيم كمثال فقط و ليست حقيقية)



شكل (٥-١١) مثال للتغير السنوي للمد و الجزر بمحطة الاسكندرية (١٩٩٣-٢٠٠٠)

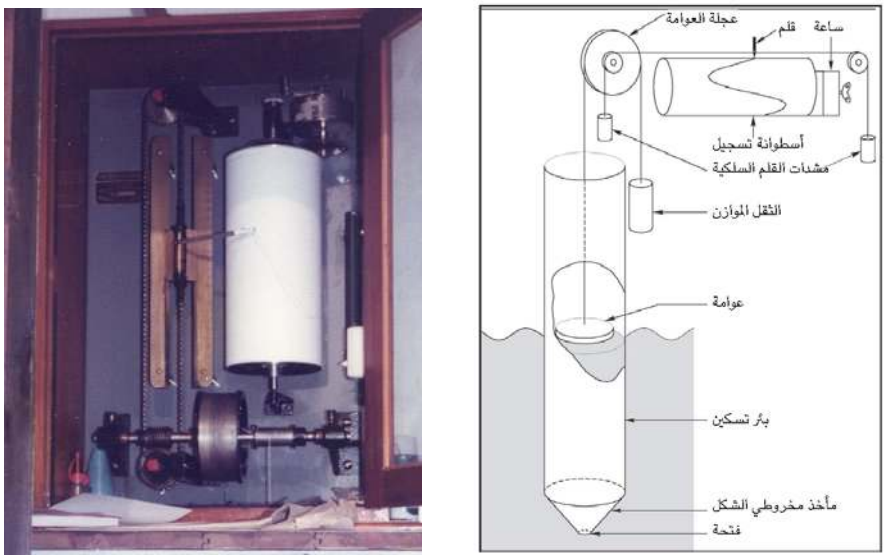
(القيم كمثال فقط و ليست حقيقية)

٥-٥ أجهزة قياس المد و الجزر

توجد أربعة أنواع من أجهزة قياس المد و الجزر:

(١) أجهزة الطفو داخل بئر:

كان النوع القديم في قياس المد و الجزر متمثلا في عوامة تطفو علي سطح الماء داخل بئر متصل بماسورة تسمح بمياه البحر بالدخول، ويتصل بهذه العوامة الطافية سلك في نهاية قلم رصاص يتحرك علي قطعة من الورق. وكلما ارتفع أو انخفض سطح الماء في البئر يتحرك القلم الرصاص ليرسم منحني الصعود والهبوط علي الورقة. وفي نهاية يوم يتم تغيير الورقة للبدء في رسم هذا الشكل البياني لليوم التالي، بينما يتم تحويل الشكل البياني لليوم السابق الي جدول من قيم منسوب سطح البحر. وهذا النوع من الأجهزة غير مستخدم منذ عشرات السنين.



شكل (٥-١٢) أجهزة قياس المد و الجزر للعوامة الطافية

(٢) أجهزة الضغط:

تعتمد أجهزة الضغط لقياس المد و الجزر pressure tide gauges علي قياس ضغط عمود الماء أعلي نقطة مرجعية (داخل أو خارج بئر) ثم تحويل الضغط الي مسافة رأسية تمثل عمق الماء في هذه اللحظة:

$$h = (p - p_a) / (d\ g) \qquad (5\text{-}4)$$

حيث:

h : ارتفاع سطح البحر عن العلامة المرجعية، p : الضغط المقاس، p_a : الضغط الجوي، d: كثافة الماء، g : عجلة الجاذبية الأرضية.

وتتميز هذه الأجهزة بوجود ذاكرة داخلية للتسجيل و امكانية التوصيل بالحاسب الالي بحيث يمكن تفريغ القياسات كل فترة زمنية (شهرين أو ثلاثة مثلا) وليس بصفة يومية.

شكل (٥-١٣) مثال لأجهزة الضغط لقياس المد و الجزر

(٣) أجهزة الصوت:

أما أجهزة الصوت لقياس المد و الجزر acoustic tide gauge فتقيس زمن رحلة نبضة صوتية تنعكس رأسيا عند اصطدامها بسطح الماء ومن ثم تحسب ارتفاع سطح الماء من نقطة مرجعية. ولكي تنعكس النبضة الصوتية (و لا تتشتت) غالبا ما يوضع جهاز الارسال داخل أنبوبة.

شكل (٥-١٤) مثال لأجهزة الصوت لقياس المد و الجزر

(٤) أجهزة الرادار:

تعد أجهزة الرادار لقياس المد و الجزر Radar Tide Gauge أحدث أنواع هذه الأجهزة في الوقت الراهن، و تعتمد في نظرية عملها علي نفس الفكرة السابقة لكن باستخدام نبضة رادار بدلا من النبضة الصوتية. وتتميز هذه الأجهزة بأنها أسهل في التركيب في الموقع، كما أنها أجهزة رقمية ومن ثم يمكن توصيلها لإرسال القياسات لحظيا real-time الي محطة معالجة بيانات مركزية.

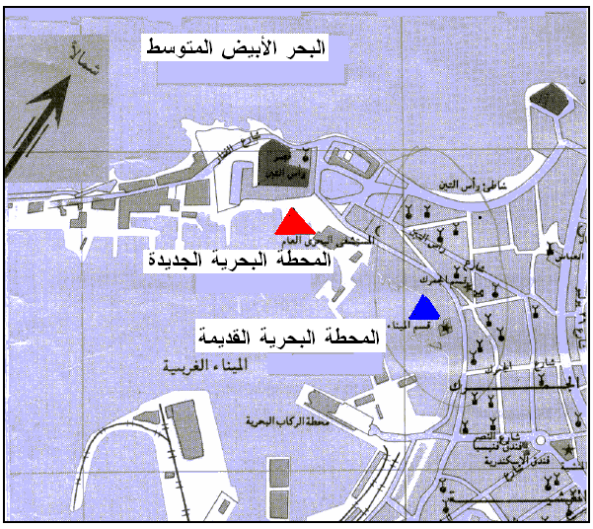
شكل (٥-١٥) مثال لأجهزة الرادار لقياس المد و الجزر

ولأهمية قياسات المد و الجزر و حركة المياه فأن هذه القياسات غالبا ما تكون مطلوبة أنيا أو شبه آنيا في عدد كبير من التطبيقات الملاحية و البيئية. فعلي سبيل المثال فأن نظام للإنذار بالأمواج البحرية العاصفة أو أمواج التسونامي يتطلب توافر هذه القياسات لدي السلطات المختصة في وقت قصير جدا. ويمكن نقل القياسات من مصدرها الي محطة مراقبة مركزية من خلال وصلة اتصالات محلية (من خلال الهاتف المحمول أو الأرضي) أو من خلال نقل البيانات عبر الأقمار الصناعية المخصصة. ويوجد حوالي ٣٠ قمر صناعي لنقل بيانات المد و الجزر (مثل أقمار ARGOS, ELLIPSO, EYESAT, OCEAN-NET).

٥-٦ محطات المد و الجزر في مصر

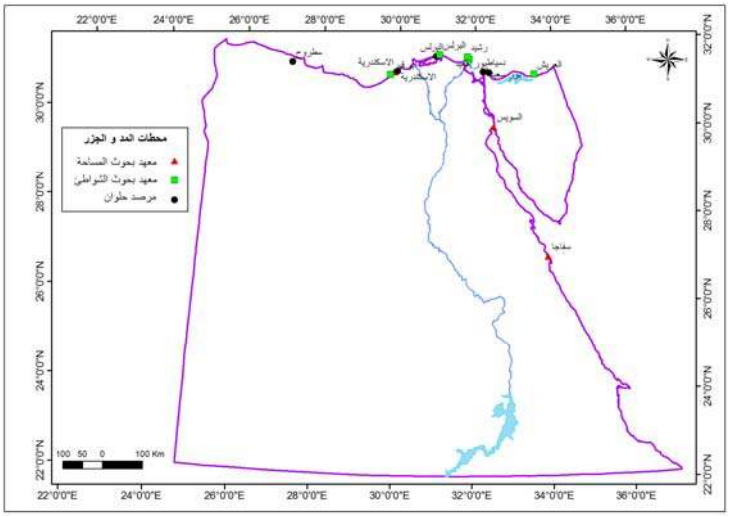
تم بناء أول محطة مد و جزر tide gauge في مصر مع نهاية القرن التاسع عشر الميلادي في ميناء الاسكندرية علي البحر الابيض المتوسط. وبدأ القياسات بها في عام ١٨٩٨، وفي عام ١٩٠٦ تم حساب متوسط القياسات لهذه الفترة وتعريفه علي أنه متوسط منسوب سطح البحر MSL واعتباره المرجع الجيوديسي الرأسي لجمهورية مصر العربية. ومن هذه النقطة بدأ انشاء و رصد شبكات الميزانية لكامل الجمهورية.

في عام ٢٠٠١ تقريبا قام معهد بحوث المساحة بالمركز القومي لبحوث المياه بتحديث محطة المد و الجزر التابعة لشعبة المساحة البحرية بالقوات المسلحة البحرية من خلال تثبيت أجهزة حديثة و رقمية لقياس المد و الجزر و أيضا لقياس العوامل المناخية. وهذه المحطة مستمرة في تجميع بياناتها يوميا (بمعدل كل ٣٠ دقيقة) وحتى الآن.



شكل (٥-١٦) محطتي المد و الجزر في الاسكندرية

حديثا قام معهد بحوث المساحة بإنشاء محطة مد و جزر لأخرى علي البحر الأبيض المتوسط في مدينة بورسعيد، بالإضافة لمحطتين أخرتين علي البحر الأحمر في كلا من السويس و سفاجا. أما معهد بحوث حماية الشواطئ بالمركز القومي لبحوث المياه فلديه أربعة محطات مد و جزر علي البحر الأبيض المتوسط في كلا من رشيد و البرلس و أبو قير و العريش. كما يمتلك معهد بحوث البحار محطة أخري في الاسكندرية، ويمتلك المعهد القومي للبحوث الفلكية و الجيوفيزيقية ثلاثة محطات مد و جزر في كلا من دمياط و أبوقير و مرسي مطروح.



شكل (٥-١٧) محطات المد و الجزر في مصر

الفصل السادس

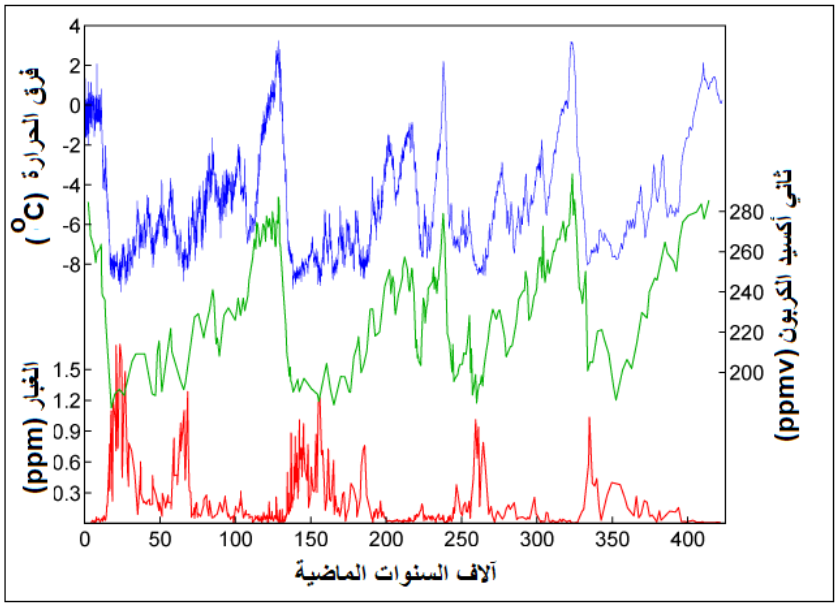
التغيرات المناخية و ارتفاع متوسط منسوب سطح البحر

٦-١ مقدمة

أثبتت الدراسات العالمية الحديثة وجود العديد من الأسباب التي أدت الي ارتفاع متوسط منسوب سطح البحر - علي المستوي العالمي - في القرن الأخير وخاصة ظاهرة الاحتباس الحراري Global Warming. لكن و علي الجانب الآخر فأن بعض الدراسات الجيولوجية تري أن ظاهرة ارتفاع منسوب سطح البحر ما هي إلا ظاهرة متكررة ولها دورات متكررة كل ثلاثمائة أو أربعمائة عام، أي أن الارتفاع الحالي ليس بأمر جديد. ويشير بعض علماء البيئة أن التركيز الحالي علي ظاهرة الاحتباس الحراري (اندفاع كميات كبيرة من غاز ثانى أكسيد الكربون في طبقات الجو العليا نتيجة حرق المواد الهيدروكربونية مما قد يسبب ارتفاع درجات الحرارة علي المستوى العالمي) قد يكون له أسباب سياسية واقتصادية لاستغلاله كوسيلة ضغط علي الدول المنتجة للبترول. لكن الفصل الحالي سيتعرض فقط للنقاط العلمية في موضوع التغيرات المناخية و ارتفاع منسوب سطح البحر.

٦-٢ التغيرات المناخية

تغير المناخ هو أي تغير مؤثر وطويل المدى في معدل حالة الطقس يحدث لمنطقة معينة. معدل حالة الطقس يمكن ان يشمل معدل درجات الحرارة، معدل التساقط، وحالة الرياح. هذه التغيرات يمكن ان تحدث بسبب العمليات الديناميكية للأرض كالبراكين، أو بسبب قوى خارجية كالتغير في شدة الاشعة الشمسية أو سقوط النيازك الكبيرة، ومؤخراً بسبب نشاطات الإنسان. لقد أدى التوجه نحو تطوير الصناعة في الاعوام ال ١٥٠ المنصرمة إلى استخراج وحرق مليارات الاطنان من الوقود الاحفوري لتوليد الطاقة. هذه الأنواع من الموارد الاحفورية اطلقت غازات تحبس الحرارة كثاني أوكسيد الكربون وهي من أهم أسباب تغير المناخ .وتمكنت كميات هذه الغازات من رفع حرارة الكوكب إلى ١.٢ درجة مئوية مقارنة بمستويات ما قبل الثورة الصناعية. و من ثم فأن التغير المناخي يحصل بسبب رفع النشاط البشري لنسب غازات الدفيئة في الغلاف الجوي الذي بات يحبس المزيد من الحرارة. وهناك أسباب عديدة لظاهرة التغير المناخي منها: التلوث بأنواعه الثلاث البري والجوي والبحري، نشاطات الإنسان مثل قطع الغابات وحرق الاشجار مما يؤدي إلى اختلال في التوازن البيئي، الثورات البركانية.

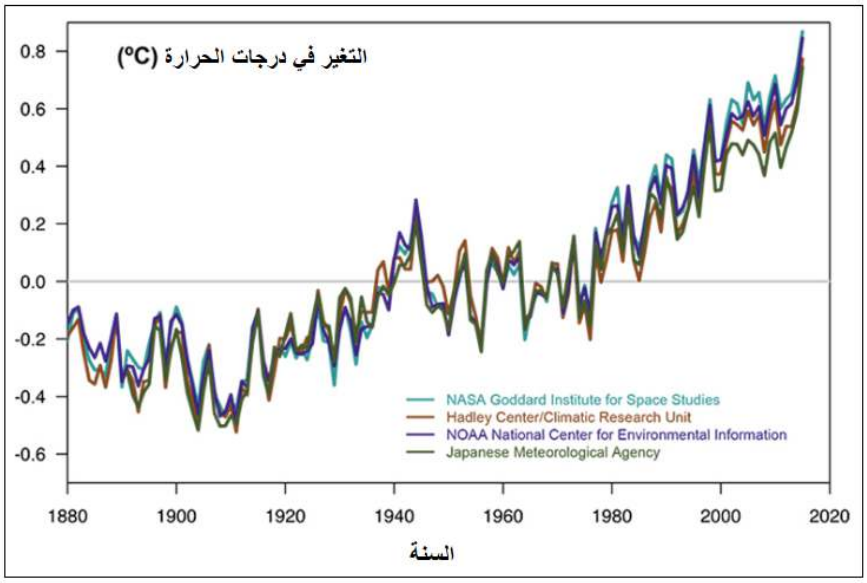


شكل (٦-١) التغيرات المناخية علي مستوي العالم

من المهم التفرقة بين مصطلحي التغير المناخي والاحتباس الحراري فعادة ما يستخدم الناس المصطلحين بالتبادل، على افتراض أنهما يدلان على الأمر نفسه. لكن هناك فرق بين الاثنين: إذ يشير الاحتباس الحراري إلى ارتفاع متوسط درجة الحرارة قرب سطح الأرض، أما التغير المناخي فيشير إلى التغيرات التي تحدث في طبقات الغلاف الجوي مثل درجة الحرارة وهطول الأمطار وغيرها من التغيرات التي يتم قياسها على مدار عقود أو فترات أطول. فالاحتباس الحراري أو الدفيئة Global Warming هو ظاهرة يحبس فيها الغلاف الجوي بعضا من طاقة الشمس لتدفئة الكرة الأرضية والحفاظ على اعتدال مناخنا. ويشكل ثاني أوكسيد الكربون أحد أهم الغازات التي تساهم في مضاعفة هذه الظاهرة لإنتاجه أثناء حرق الفحم والنفط والغاز الطبيعي في مصانع الطاقة والسيارات والمصانع وغيرها، إضافة إلى ازالة الغابات بشكل واسع. غاز الدفيئة المؤثر الاخر هو الميثان المنبعث من مزارع الارز وتربية البقر ومطامر النفايات واشغال المناجم وأنابيب الغاز.

هذا و قد أفادت اللجنة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ IPCC أنه منذ بدء الحقبة الصناعية قرابة عام ١٧٥٠، كان التأثير الإجمالي للأنشطة البشرية على المناخ باتجاه رفع درجة الحرارة. وقد ارتفع متوسط درجة حرارة سطح الأرض بمقدار ٠.٧ درجة سيلسيوس منذ أواخر القرن التاسع عشر. وعلى صعيد المتوسط العالمي، حدث ارتفاع درجة الحرارة في القرن العشرين على مرحلتين: من ١٩١٠ إلى ١٩٤٠ (٠.٣٥ درجة سيلسيوس)، وازدادت بقوة من فترة السبعينيات إلى الوقت الحاضر (٠.٥٥ درجة سيلسيوس). وقد ازداد ارتفاع درجة

الحرارة على مدى الـ ٢٥ عاماً الماضية، وقد تم تسجيل ١١ من أكثر ١٢ سنة ارتفاعاً في درجات حرارة خلال الـ ١٢ عاماً الماضية. كما أشارت اللجنة أيضا فإن زيادة نسبة ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي قد نجمت عن الأنشطة البشرية لأن خواص نسبة ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي، خاصة نسبة ثقل ذرات الكربون إلى الذرات الخفيفة، قد تغيرت بطريقة يمكن أن تُعزى إلى إضافة الكربون الناتج من الوقود الأحفوري. ويقدر العلماء أن احتراق الوقود الأحفوري، مع إسهام أقل من عمليات تصنيع الأسمنت، هي المسئولة عن أكثر من ٧٥ بالمائة من انبعاثات ثاني أكسيد الكربون التي تنتج عن الأنشطة البشرية.



شكل (٦-٢) تغيرات درجات الحرارة علي مستوي العالم بين ١٨٨٠ و ٢٠١٠

أما جمهورية مصر العربية فتشير تقارير جهاز شئون البيئة أن التأثيرات الضارة لتغير المناخ علي مصر تشمل:

١. ارتفاع مستوي سطح البحر بما قد يؤدي الي غرق المناطق الساحلية المنخفضة و تأثر مخزون المياه الجوفية القريبة من السواحل و تأثر جودة الاراضي الزراعية و المستصلحة بالإضافة الي تأثر السياحة و التجارة و الموانئ بالمناطق الساحلية،
٢. ارتفاع درجات الحرارة والتذبذب في معدل سقوك الأمطار كميا و مكانيا زيادة معدلات التصحر و الجفاف
٣. التأثير علي الموارد المائية حيث سيؤثر ارتفاع درجات الحرارة علي منسوب مياه نهر النيل بالإضافة الي تملح الخزانات الجوفية الساحلية نتيجة لزيادة تداخل مياه البحر

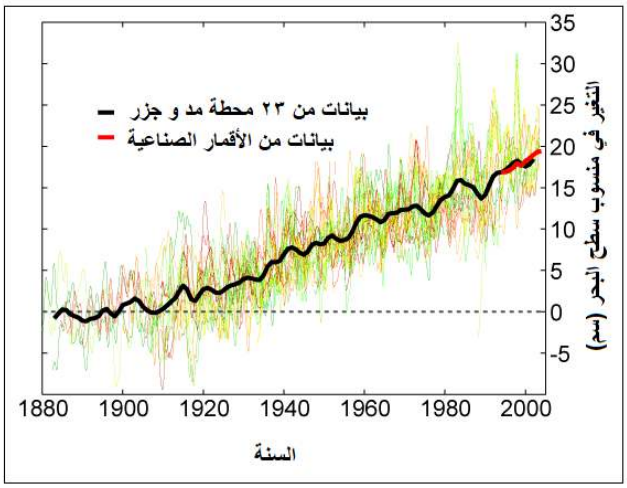
٤. تأثر قطاع الزراعة و الثروة الحيوانية بفقد كبير لكميات المياه و تدهور انتاجية الاراضي مما سيتسبب في نقص انتاجية المحاصيل وتزايد معدلات تآكل التربة ومن ثم ستسبب ذلك في العديد من التأثيرات الاجتماعية و الاقتصادية
٥. التأثير علي المناطق الساحلية من غرق المناطق المنخفضة خاصة في شمال الدلتا و زيادة معدلات نحر الشواطئ وتأثر الانتاج السمكي أيضا
٦. التأثير علي الصحة نتيجة التأثيرات علي متطلباتها الاساسية مثل الهواء النقي و مياه الشرب و الغذاء
٧. التأثير علي السياحة وخاصة التداعيات السلبية لارتفاع منسوب سطح البحر علي المشروعات السياحية المقامة في المناطق الساحلية خاصة في البحر الأحمر بالإضافة للتأثير علي الشعاب المرجانية و هروب الكائنات البحرية مما سيتسبب في انخفاض معدلات السياحة.

٦-٣ منسوب سطح البحر

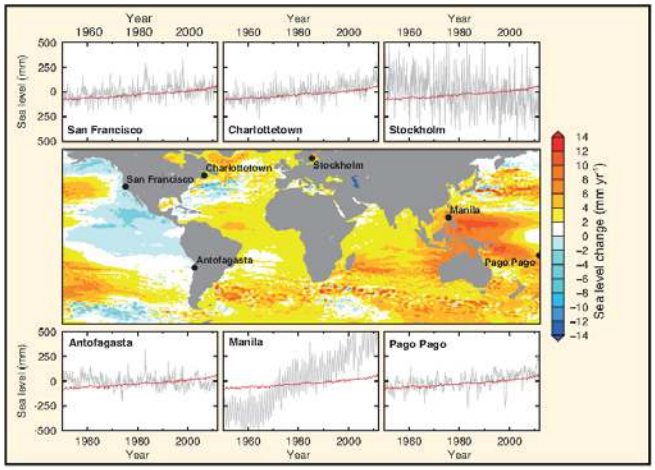
هناك نوعين من منسوب سطح البحر sea level عند أي موقع مكاني: المنسوب المقاس من الأرض الصلبة وهو ما نسميه المنسوب النسبي لسطح البحر relative sea level و المنسوب المقاس من مرجع مركزي مثل الاليبسويد وهو ما نسميه المنسوب المركزي لسطح البحر geocentric sea level. والنوع الأول هو الأكثر تأثيرا في المناطق الساحلية وما قد يسببه من أضرار، وهو ما يمكن قياسه عند محطات المد و الجزر. أما النوع الثاني فيتم قياسه من خلال الأقمار الصناعية المخصصة لهذا الغرض من نوع أقمار الألتيمتري satellite altimetry. أما القيمة المتوسطة لمنسوب سطح البحر في موقع مكاني محدد فهي ما يطلق عليها مصطلح متوسط منسوب سطح البحر Mean Sea Level أو اختصارا MSL. أيضا يمكن حساب قيمة متوسطة لقيم MSL في عدة مواقع لنحصل علي المتوسط العالمي لمنسوب سطح البحر Global Mean Sea Level أو اختصارا GMSL.

يتغير منسوب سطح البحر مكانيا (من موقع الي آخر) و زمنيا (مع مرور الزمن) نتيجة عدة أسباب محلية و اقليمية و عالمية، تشمل: حركة أمواج المحيطات ocean currents و كثافة المحيطات ocean density وحرارة و ملوحة المحيطات ocean temperature and salinity و ذوبان الكتل الجليدية في القطب الشمالي ice sheets melting و هبوط الأرض land subsidence و التغير في مجال الجاذبية الأرضية gravity field change و عوامل أخري.

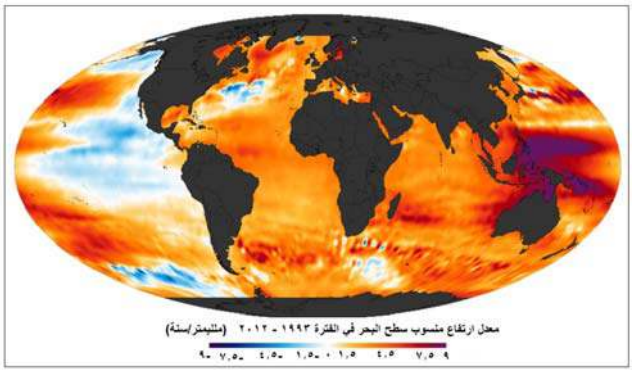
أظهرت الدراسات العلمية العالمية الي حدوث ارتفاع لمتوسط منسوب سطح البحر علي المستوي العالمي في حدود ٢٠ سنتيمتر خلال القرن العشرين. إلا أن هذا المعدل قد زاد في الفترة الماضية ما بين عامي ١٩٩٣ و ٢٠٠٣ من حوالي ١.٨ ملليمتر/سنويا الي ٣.١ ملليمتر/سنويا تقريبا.



شكل (٦-٣) التغير في منسوب سطح البحر علي المستوي العالمي للفترة ١٨٨٠-٢٠٠٠



شكل (٦-٤) التغير في منسوب سطح البحر علي المستوي العالمي للفترة ١٩٦٠-٢٠٠٠

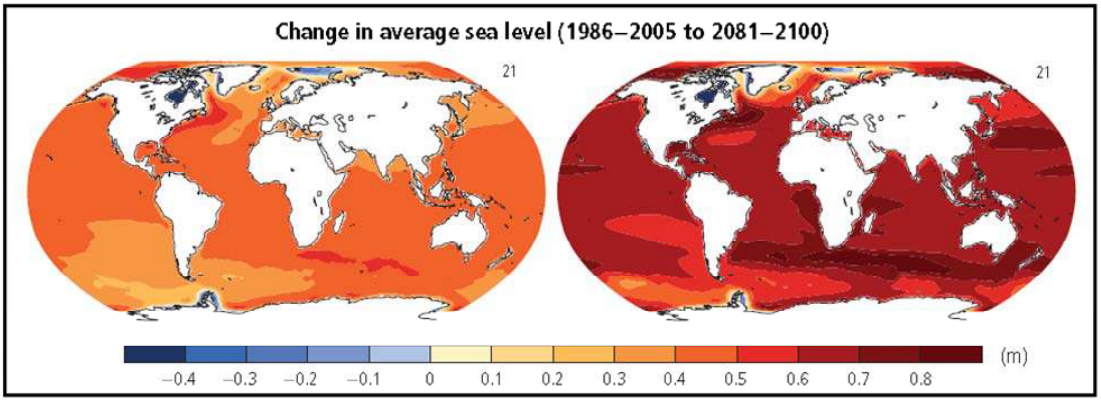


شكل (٦-٥) التغير في منسوب سطح البحر علي المستوي العالمي للفترة ١٩٩٣-٢٠١٢

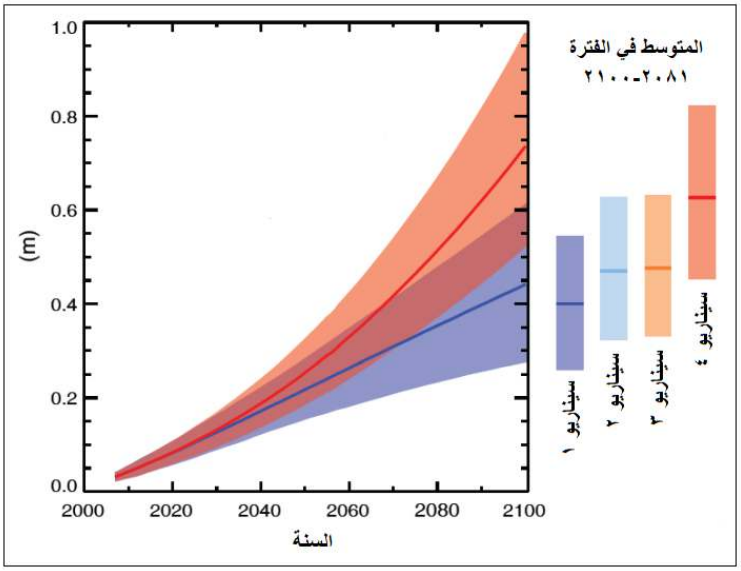
تجدر الاشارة لوجود نوعين من ارتفاع منسوب سطح البحر: الارتفاع النسبي لمتوسط منسوب سطح البحر Relative Mean Sea Level Rise والارتفاع المطلق لمتوسط منسوب سطح البحر Absolute Mean Sea Level Rise. فالنوع الأول من الناتج من حسابات أرصاد محطات المد و الجزر حيث أنه يكون منسوبا الي (أو مقاسا من) موقع جهاز المد و الجزر نفسه. أما الارتفاع المطلق فهو قيمة الارتفاع النسبي مضافا اليه قيمة هبوط الأرض Land Subsidence في نفس المنطقة حيث أن الأرض ذاتها عند محطة المد و الجزر قد تتعرض للهبوط نتيجة العوامل الطبيعية المختلفة. وهناك عدة طرق أو تقنيات لقياس معدل هبوط الأرض مثل الميزانيات المتكررة و قياسات النظم العالمية للملاحة بالأقمار الصناعية Global Navigation Satellite Systems (GNSS) المتكررة و المرئيات الفضائية الرادارية Radar Satellite Imageries المتكررة. وتجدر الاشارة لوجود تباينات كبيرة في معدل هبوط الأرض في عدة مناطق في العالم تتراوح بين عدة ملليمترات في السنة الي ما يقرب من ٢٥ سنتيمتر في السنة في منطقة جاكرتا باندونيسيا.

٦-٤ الارتفاع المتوقع لمنسوب سطح البحر

تقوم المنظمة الدولية الحكومية لعلوم المحيطات IPCC بعمل توقعات رياضية للتغير المستقبلي في متوسط منسوب سطح البحر عالميا، وتصدر المنظمة تقارير دورية (تقريبا كل سنتين أو ثلاثة) لقيم هذه التوقعات. ويعتمد التوقع المحسوب علي دراسة كافة العوامل المسببة لظاهرة ارتفاع منسوب سطح البحر وإعداد توقعات رياضية لكل عامل من هذه العوامل. كما أن الطرق الرياضية للحصول علي التوقعات المستقبلية تختلف فيما بينها. ومن ثم فهناك عدة سيناريوهات - و ليس سيناريو واحد - للتوقعات المستقبلية لارتفاع منسوب سطح البحر. و يشير أحدث تقارير هذه المنظمة في عام ٢٠١٤ أن المتوسط المتوقع لمنسوب سطح البحر علي المستوي العالمي في الفترة ٢٠٤٦-٢٠٦٥ يبلغ ٠.٣٠ متر، بينما المتوسط المتوقع لمنسوب سطح البحر في الفترة ٢٠٨١-٢١٠٠ يبلغ ٠.٦٣ متر. وكما سبق الاشارة الي أن هذه القيم هي قيم متوسطة علي المستوي العالمي وقد تتغير من موقع مكاني الي آخر علي سطح الأرض. كما يشير التقرير الي أن المعدل المتوقع لارتفاع منسوب سطح البحر يتراوح بين ٢.٨ و ٣.٦ ملليمتر/سنة بمتوسط يبلغ ٣.٢ ملليمتر/سنة. أما أسوأ السيناريوهات في حالة عدم خفض معدلات انبعاث ثاني أكسيد الكربون علي المستوي العالمي فأن متوسط منسوب سطح البحر قد يرتفع بقيمة تبلغ ١.٠٠ متر تقريبا بحلول عام ٢١٠٠.



شكل (٦-٦) الارتفاع المتوقع لمنسوب سطح البحر عالميا للفترة ٢٠٨١-٢١٠٠



شكل (٦-٧) السيناريوهات المختلفة للارتفاع المتوقع لمنسوب سطح البحر عالميا للقترة ٢٠٨١-٢١٠٠

١- المراجع العربية:

اللجنة الدولية الحكومية لعلوم المحيطات (٢٠٠٦) دليل قياس منسوب البحر و تفسيره، التقرير التقني رقم ٣١، فرنسا:
http://unesdoc.unesco.org/images/0014/001477/147773a.pdf

الشافعي، شريف فتحي (٢٠٠٥) أسس و مبادئ المساحة البحرية، دار الكتب العلمية للنشر و التوزيع، القاهرة، مصر.

برنامج الأمم المتحدة للبيئة (٢٠٠٤) دليلك الي آلية التنمية النظيفة، الطبعة الثانية:
http://www.eeaa.gov.eg/portals/0/eeaaReports/N-CC/cdm%20guidebook-arabic.pdf

جهاز شئون البيئة، وزارة البيئة بمصر (٢٠١٨) قاموس تغير المناخ:
http://www.eeaa.gov.eg/portals/0/eeaaReports/N-CC/%D9%82%D8%A7%D9%85%D9%88%D8%B3%20%D8%AA%D8%BA%D9%8A%D8%B1%20%D8%A7%D9%84%D9%85%D9%86%D8%A7%D8%AE.pdf

جهاز شئون البيئة، وزارة البيئة بمصر (٢٠١٨) التغيرات المناخية و سبل مواجهة آثارها:
http://www.eeaa.gov.eg/portals/0/eeaaReports/N-CC/%D8%A7%D9%84%D8%AA%D8%BA%D9%8A%D8%B1%D8%A7%D8%AA%20%D8%A7%D9%84%D9%85%D9%86%D8%A7%D8%AE%D9%8A%D8%A9%20%D9%88%D8%B3%D8%A8%D9%84%20%D9%85%D9%88%D8%A7%D8%AC%D9%87%D8%A9%20%D8%A3%D8%AB%D8%A7%D8%B1%D9%87%D8%A7.pdf

داود، جمعة محمد (٢٠١٠) المدخل إلي النظام العالمي لتحديد المواقع، القاهرة، مصر:
http://www.mediafire.com/file/yo8crrkhqwb2sir/%D8%A7%D9%84%D8%AC%D9%8A_%D8%A8%D9%8A_%D8%A3%D8%B3_2010.pdf

داود، جمعة محمد (٢٠١٢) مبادئ المساحة، القاهرة، مصر:
http://www.mediafire.com/file/js4qm6smhwt6trd/%D9%85%D8%A8%D8%A7%D8%AF%D8%A6_%D8%A7%D9%84%D9%85%D8%B3%D8%A7%D8%AD%D8%A9_2012.pdf

داود، جمعة محمد (٢٠١٤) رياضيات الهندسة المساحية، القاهرة، مصر:
http://www.mediafire.com/file/m5x06ayyd86jmo5/%D8%B1%D9%8A%D8%A7%D8%B6%D9%8A%D8%A7%D8%AA_%D8%A7%D9%84%D9%85%D8%B3%D8%A7%D8%AD%D8%A9_2014.pdf

داود، جمعة محمد (٢٠١٦) أجهزة الهندسة المساحية، القاهرة، مصر:
http://www.mediafire.com/file/y6t1nwizqj54vw6/%D8%A7%D9%84%D8%A7%D8%AC%D9%87%D8%B2%D8%A9_%D8%A7%D9%84%D9%85%D8%B3%D8%A7%D8%AD%D9%8A%D8%A9_2016.pdf

شكري، علي، حسني، محمود و مصطفي، محمد رشاد الدين (١٩٩٥) المساحة المستوية: طرق الرفع و التوقيع، منشأة دار المعارف، الاسكندرية، مصر.

عبد العليم، أنور (١٩٧٩) الملاحة و علوم البحار عند العرب، سلسلة عالم المعرفة، رقم ١٣، المجلس الوطني للثقافة و الفنون و الآداب، الكويت.
http://ameri.semnan.ac.ir/uploads/%D8%A7%D9%84%D9%85%D9%84%D8%A7%D8%AD%D8%A9_%D8%B9%D9%86%D8%AF_%D8%A7%D9%84%D8%B9%D8%B1%D8%A8_15640.pdf

٢- المراجع الإنجليزية:

Church, J.A., P.U. Clark, A. Cazenave, J.M. Gregory, S. Jevrejeva, A. Levermann, M.A. Merrifield, G.A. Milne, R.S. Nerem, P.D. Nunn, A.J. Payne, W.T. Pfeffer, D. Stammer and A.S. Unnikrishnan (2013) Sea Level Change. In: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the IPCC. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg1/WG1AR5_Chapter13_FINAL.pdf

CHS (Canadian Hydrographic Service) (2013) Hydrographic survey management guidelines, Edition 2, Canada.
http://www.charts.gc.ca/documents/data-gestion/guidelines-directrices/sg-ld-2013-eng.pdf

FIG (International Federation of Surveyors) (2010) Guidelines for the planning, execution and management of Hydrographic surveys in ports and harbors, Report of FIG commission 4, Copenhagen, Denmark.
https://www.fig.net/resources/publications/figpub/pub56/figpub56.pdf

IHO (International Hydrographic Organization) (2008) IHO Standards for hydrographic surveys, 5th Edition, A special publication No. 44, IHO, Monaco
https://www.iho.int/iho_pubs/standard/S-44_5E.pdf

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) (2014) Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the IPCC [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pp.
http://www.psmsl.org/train_and_info/training/manuals/ioc_14i.pdf

IOC (Intergovernmental Oceanographic Commission) (2016) Manual on sea level measurements and interpretation: Volume V: Radar gauges, Manuals and guides No. 14, IOC, France.
http://unesdoc.unesco.org/images/0024/002469/246981E.pdf

IOC (Intergovernmental Oceanographic Commission) (2006) Manual on sea level measurements and interpretation: Volume IV: An updates to 2006, Technical report No. 31, IOC, France.
http://www.psmsl.org/train_and_info/training/manuals/manual_14_final_21_09_06.pdf

IOC (Intergovernmental Oceanographic Commission) (1985) Manual on sea level measurements and interpretation: Volume I: Basic procedures, Manuals and guides No. 14, IOC, France.
http://www.psmsl.org/train_and_info/training/manuals/ioc_14i.pdf

Jong, C., Lachapelle, G., Skone, S., and Elema, I. (2010) Hydrography, eBook, 2nd edition, Delft University Press, The Netherlands.
http://www.ucalgary.ca/engo_webdocs/SpecialPublications/Hydrography_2ndEdition_eBook_2010.pdf

NOAA (US National Oceanic and Atmospheric Administration) (1976) Hydrographic manual of the office of coast survey, 4th Edition, USA.
https://nauticalcharts.noaa.gov/publications/docs/standards-and-requirements/hydrographic-manual/hydro-man-4th-edition.pdf

NOAA (US National Oceanic and Atmospheric Administration) (2014) Field procedures manual of the office of coast survey, USA.
https://nauticalcharts.noaa.gov/publications/docs/standards-and-requirements/fpm/2014-fpm-final.pdf

NOAA (US National Oceanic and Atmospheric Administration) (2017) Hydrographic surveys specifications and deliverables of the office of coast survey, USA.
https://nauticalcharts.noaa.gov/publications/docs/standards-and-requirements/specs/hssd-2017.pdf

Mohamed, H.F. (2006) Realization and redefinition of the Egyptian vertical datum based on recent heterogeneous observation, Ph. D. dissertation, Faculty of Engineering at Shoubra, Zagazig university, Egypt.
http://www.mediafire.com/file/wp7cyosdmo190dp/Hoda_PhD_2005.pdf

Seeber, G. (2003) Satellite geodesy, Walter de Gruyter, Berlin, Germany.

Shaker, A., Alnaggar, D., Saad, A., and Faisal, H. (2011) Absolute sea level rise estimation at Alexandria using tide records and GPS observations, The FIG working week 2011, Marrakech, Morocco, May 18-22.
http://www.fig.net/resources/proceedings/fig_proceedings/fig2011/papers/ts04i/ts04i_saad_shaker_et_al_5163.pdf

USACE (US Army Corps of Engineers) (2013) Hydrographic surveying, Engineering manual EM-1110-2-1003, Washington, DC, USA.
http://www.publications.usace.army.mil/Portals/76/Publications/EngineerManuals/EM_1110-2-1003.pdf?ver=2014-01-06-155809-307

٣- مقاطع فيديو مفيدة:

باللغة العربية:

https://www.youtube.com/watch?v=6YgSSYqZtR0&t=289s

https://www.youtube.com/watch?v=3LCZZheosWo

https://www.youtube.com/watch?v=6YgSSYqZtR0&t=293s

باللغة الانجليزية:

https://www.youtube.com/watch?v=sxJ5q03kQ0A&t=92s

https://www.youtube.com/watch?v=qBYjGn_TYXM

https://www.youtube.com/watch?v=xXDUoMQHxVQ

https://www.youtube.com/watch?v=6kTs7YdqrDs

https://www.youtube.com/watch?v=Y-7SsvRsoHA

https://www.youtube.com/watch?v=xxZahX746io

https://www.youtube.com/watch?v=qfuhHxLbjb8

https://www.youtube.com/watch?v=YjredLVUc9k

https://www.youtube.com/watch?v=02zYehbQ7gI

ملحق رقم ١
مقدمة في الجيوديسيا و المراجع و نظم الاحداثيات

١- مقدمة

كلمة الجيوديسيا Geodesy هي كلمة لاتينية مكونة من مقطعين: "جيو Geo" بمعني الأرض و "ديسيا Desy" بمعني القياس ورسم الخرائط، وبالتالي فأن الترجمة الحرفية لمصطلح "جيوديسيا" أنه علم القياس ورسم الخرائط لسطح الأرض.

مازال هذا التعريف البسيط ساريا حتى الآن مع أن الجيوديسيا أصبحت تتعلق بعدة أنواع من القياسات، فحيث أن سطح الأرض يتكون من الماء و اليابسة فأن الجيوديسيا تهتم بالقياس علي سطح الأرض اليابسة وأيضا بالقياس في أعماق البحار و المحيطات. أيضا الأرض في حد ذاتها كوكب متحرك في إطار المجموعة الشمسية، مما ينتج عن حركتها قوي جاذبية بينها و بين الكواكب الأخرى وهذه القوي تؤثر في القياسات علي الأرض مما يستلزم أن يمتد علم الجيوديسيا ليدرس أيضا قوة الجاذبية و تأثيراتها. بل أن الجيوديسيا – في السنوات الأخيرة – أصبحت تهتم أيضا بالقياس علي أسطح الأجرام السماوية الأخرى مثل القمر ليضاف إليها فرع جديد يسمي جيوديسيا الأجرام السماوية. مع انطلاق عصر الأقمار الصناعية في سبعينات القرن العشرين الميلادي واستخدامها في القياسات الجيوديسية فقد نتج عن ذلك فرع آخر من فروع الجيوديسيا وهو جيوديسيا الأقمار الصناعية. ويصنف علم الجيوديسيا في قائمة علوم الأرض Geo-Sciences كما أنه يصنف أيضا في قائمة العلوم الهندسية لتطبيقاته المتعددة في أعمال الهندسة المدنية و إنشاء المشروعات.

٢- تاريخ علم الجيوديسيا

منذ أن خلق الله سبحانه و تعالي الإنسان وأنزله إلي الأرض كان التنقل من مكان إلي آخر والتعرف علي مواقع جديدة غريزة داخل النفس البشرية ، ومن هنا بدأت حاجة البشر لوسائل تمكنهم من السفر و الترحال بأمان دون أن يتيهوا في الصحراء و البيئة المحيطة. تمكن الإنسان في البداية أن يتخذ بعض الأماكن و الأجسام الأرضية الخاصة – مثل الجبال – كعلامات تمكنه من معرفة طريقه بالإضافة إلي مساعدة نهارية من الشمس و الظل ، وبالتالي أستطاع أن يسافر لعدة كيلومترات ويعود لموقعه الأصلي مرة أخري. ومن ذلك الوقت ظهر في القاموس البشري مصطلح جديد ألا و هو الملاحة Navigation وهي العملية التي بواسطتها يتنقل الإنسان بين موقعين والتي تساعده في معرفة موقعه في أي وقت. وفي المرحلة الثانية من

المعرفة البشرية بدأ الاعتماد علي النجوم كعلامات مرجعية تمكن الإنسان من معرفة موقعه و اتجاهه أثناء السفر ليلا ، ومن ثم بدأ علم الفلك Astronomy . وعرفت الحضارات القديمة إقامة الفنارات Lighthouses منذ حوالي ألفي عام – و أشهرهم فنار الإسكندرية في مصر و فنار جزيرة رودس اليونانية - كعلامات ملاحية تعكس الضوء سواء ضوء الشمس نهارا أو ضوء مصدر آخر ليلا لإرشاد السفن المبحرة في البحار. لاحقا بدأ الإنسان في تسجيل ملاحظاته الملاحية والطرق التي يسير فيها ومواقع تحركاته المتعددة في البيئة المحيطة به علي قطع من الورق (ورق البردي في الحضارة المصرية القديمة كمثال) لتظهر للوجود "الخرائط" Maps. وبالتزامن مع ظهور الخرائط بدأ ظهور علم المساحة Surveying وهو علم تحديد المواقع – بأبعاد ثلاثة – للمعالم الطبيعية و البشرية علي أو تحت سطح الأرض. وتعد مصر أول من استخدم علم المساحة بصورة موسعة منذ حوالي ١٤٠٠ عام قبل الميلاد وذلك في تحديد الملكيات الزراعية وحساب الضرائب المستحقة عليها. وفي المرحلة العلمية التالية تطور علم جديد ليكون أكثر تخصصا وتعمقا في عملية تحديد المواقع ألا و هو علم الجيوديسيا (أو الجيوديزيا).

بدأت المعرفة البشرية لتكوين فكرة عن شكل كوكب الأرض بأن الأرض عبارة عن قرص يطفو فوق سطح الماء. ومن العلماء والفلاسفة الأوائل الذين قالوا بذلك كلا من فيثاغورث (٥٨٠-٥٠٠ قبل الميلاد) و أرسطو (٣٨٤-٣٢٢ قبل الميلاد)، واستمرت هذه النظرية سارية لعدة قرون. و من أولي بدايات التفكير الإنساني العلمي و التجريبي في معرفة شكل و حجم الأرض تلك التجربة الرائدة التي قام بها العالم الإغريقي أراتوستين Eratosthenes (٢٧٦-١٩٦ ق.م) والذي كان يشغل منصب أمين مكتبة الإسكندرية التي كانت تعتبر أرقي معهد علمي في العالم في ذلك الوقت. لاحظ أراتوستين أن الشمس قي يوم ٢١ يونيو (حزيران) من كل عام تكون مرئية في مياه بئر بمدينة أسوان ، أي أنها تكون عمودية تماما في هذا الموقع ، وبعد ذلك أفترض أن الإسكندرية تقع إلي الشمال مباشرة من أسوان. ثم قام بقياس زاوية ميل أشعة الشمس عند الإسكندرية ووجدها ٧.٢ درجة ، وقدر أن هذا الجزء – بين الإسكندرية و أسوان – يعادل ٥٠/١ من الدائرة التي تمثل الأرض (شكل ١-٢). وبعد ذلك قام بقياس المسافة بين كلا المدينتين فكانت حوالي ٥٠٠٠ استاديا (وحدة قياس المسافات في ذلك الوقت) أي ما يعادل ٥٠٠ ميل أو ٨٠٠ كيلومتر، ومن ثم تمكن هذا العالم من حساب محيط الأرض (٥٠ ضعف المسافة المقاسة بين أسوان و الإسكندرية) ليكون في تقديره حوالي ٢٥٠٠٠ ميلا. ومن المذهل أن نعرف أن هذه التجربة الجيوديسية في ذلك الزمن البعيد و باستخدام آلات بدائية لم تكن بعيدة إلا قليلا عن طول محيط الأرض الذي نعرفه اليوم وهو ٢٤٩٠١ ميلا.

استمرت نظرية أن الأرض كروية الشكل (لها نصف قطر ثابت في جميع الاتجاهات) عشرات القرون حتى القرن السابع عشر الميلادي حينما طور اسحق نيوتن (١٦٤٣-١٧٢٧) نظرية تفلطح شكل الأرض، أي أن الأرض شبه كروية مفلطحة قليلا عن القطبين الشمالي و الجنوبي وليست كروية تماما.

٣- تطبيقات و أقسام علم الجيوديسيا

يصنف بعض العلماء علم المساحة على أنه التطبيق العملي لعلم الجيوديسيا لتحديد المواقع (الإحداثيات) اللازمة لإنشاء الخرائط٠ إلا أن دور الجيوديسيا في التطبيقات الهندسية لا ينحصر فقط في إنشاء الخرائط وخاصة في العقود الماضية حيث تستخدم الجيوديسيا في العديد من المجالات منها:

- إنشاء الخرائط: أول الأعمال المطلوبة لإنشاء الخرائط هو إقامة شبكة مثلثات جيوديسية مكونة من عدد من المحطات الجيوديسية وتحديد إحداثياتها الأفقية والرأسية٠
- المساحة الجوية والاستشعار عن بعد: تستخدم الطرق الجيوديسية في تحديد إحداثيات نقط التحكم الأساسية التي تلعب الدور الأساسي في الحصول على خرائط وبيانات مساحية من تقنيات التصوير الجوى والأقمار الصناعية المخصصة لدراسة الموارد الطبيعية.
- المشروعات الهندسية: عند إقامة أية مشروعات هندسية (مثل الطرق ، الكباري ، السدود ، الترع ، المصانع ٠٠٠ الخ) فانه من الضروري تحديد مواقعها بدقة عن طريق تحديد إحداثيات العناصر المختلفة للمشروع. وتستخدم هذه الإحداثيات في التخطيط للمشروع وكذلك في متابعة التنفيذ طوال مراحل المشروع.
- نظم المعلومات الجغرافية: الإحداثيات الجيوديسية هي العامل المشترك الأساسي الذي يمكن من خلاله الربط بين المصادر المختلفة للمعلومات لإنشاء نظم المعلومات الجغرافية.
- الملاحة الجوية والبحرية: تعتمد الطائرات والسفن على الإحداثيات الجيوديسية للوصول إلى الهدف طبقا لخط السير المحدد.
- التخطيط العمراني : تساعد الجيوديسيا في تعيين الإحداثيات اللازمة لأعمال التخطيط العمراني والبحث عن المصادر والثروات الطبيعية ٠

- تعيين الحدود: تلعب الجيوديسيا الدور الأساسي في تحديد وتوثيق إحداثيات العلامات الحدودية بين الدول أو الحدود الإدارية بين المحافظات داخل الدولة٠
- دراسة تحركات القشرة الأرضية: تستخدم الأرصاد الجيوديسية المتكررة في الحصول على قيم دقيقة لتحركات القشرة الأرضية في المناطق الغير مستقرة ديناميكيا (مناطق الفوالق تحت سطح الأرض المسببة للزلازل) وخاصة حول المنشئات الهندسية الضخمة كالسدود والخزانات٠
- علوم البيئة : تلعب الجيوديسيا دورا مؤثرا في دراسة المتغيرات البيئية عن طريق تحديد إحداثيات المناطق ذات التغير المستمر في التركيب البيئى٠
- علوم الفضاء: تحديد إحداثيات محطات إطلاق المركبات الفضائية وكذلك إحداثيات الأقمار الصناعية في الفضاء طبقا لمدارها المحدد٠
- دراسة البحار: تستخدم الأرصاد الجيوديسية في تحديد معدلات ارتفاع سطح البحار لتجنب غرق المناطق الساحلية ٠
- الجيولوجيا: يعتمد علم الجيولوجيا على الإحداثيات الجيوديسية لإعداد الخرائط الجيولوجية٠

توجد عدة تقسيمات أو تصنيفات لأفرع علم الجيوديسيا بناءا علي وجهة النظر في التقسيم ذاته. فإذا قسمنا الجيوديسيا بناءا علي منطقة العمل أو حدود منطقة القياسات الجيوديسية فنجد ثلاثة أقسام:

(أ) الجيوديسيا العالمية Global Geodesy

الفرع المسئول عن تحديد شكل و حجم ومجال جاذبية الأرض.

(ب) المساحة الجيوديسية الوطنية National Geodetic Surveys

الفرع المسئول عن تحديد شكل ومجال جاذبية دولة معينة، وذلك عن طريق إنشاء شبكات من العلامات (الثوابت) الأرضية المعلومة الإحداثيات و قيمة الجاذبية الأرضية لها. وفي هذا القسم من أقسام علم الجيوديسيا يجب أخذ كروية الأرض في الاعتبار و مالها من تأثيرات علي القياسات والأرصاد.

(ج) المساحة المستوية Plan Surveying

الفرع المسئول عن القياسات التفصيلية اللازمة للرفع التفصيلي و الرفع الطبوغرافي و الأعمال الهندسية لمساحة صغيرة من الأرض.

العلاقة قوية بين هذه الفروع الثلاثة لعلم الجيوديسيا فالجيوديسيا العالمية تحدد عناصر شكل و مجال جاذبية الأرض ككل، ومن ثم تبدأ الجيوديسيا الوطنية في اعتماد هذه القيم في عمل شبكات جيوديسية (ثوابت) لكل دولة ثم تبدأ المساحة المستوية في الاعتماد علي هذه الثوابت لقياس تفاصيل معالم سطح الأرض لإنتاج الخرائط.

أما من حيث طبيعة العمل (القياسات) الجيوديسية ذاتها فيمكن تقسيم علم الجيوديسيا إلي خمسة أقسام رئيسية وان كان لا توجد حدود فاصلة أو قطعية بين كل قسم و آخر:

١- الجيوديسيا الأرضية أو الهندسية Terrestrial Geodesy:

يتم فيها إجراء القياسات الجيوديسية (الزوايا الأفقية و الرأسية والمسافات و فروق المناسيب) بهدف إنشاء شبكات الثوابت الأرضية وحساب الإحداثيات ثلاثية الأبعاد (س،ص،ع) لكل نقطة منها لإنشاء الهيكل الجيوديسي للدولة الذي ستعتمد عليه جميع أعمال المساحة و إنشاء الخرائط.

٢- الجيوديسيا الطبيعية أو الفيزيقية Physical Geodesy:

يتم فيها قياس و تحديد مجال الجاذبية الأرضية ومن ثم تحديد تأثيرها علي القياسات الجيوديسية وأيضا تحديد الشكل الحقيقي للأرض (الجيويد) وعلاقته بالشكل الهندسي المستخدم في إنشاء الخرائط (الاليبسويد). تتم هذه العمليات إما باستخدام أرصاد الجاذبية الأرضية أو باستخدام الأرصاد الفلكية أو حديثا باستخدام القياسات علي الأقمار الصناعية.

٣- جيوديسيا الأقمار الصناعية Satellite Geodesy:

تشمل الأرصاد و القياسات الجيوديسية المعتمدة علي الأقمار الصناعية التي بدأت في الظهور منذ عام ١٩٥٧. تستخدم تطبيقات جيوديسيا الأقمار الصناعية في الجيوديسيا الهندسية وأيضا الجيوديسيا الطبيعية و الفلكية.

٤- الجيوديسيا الفلكية Astronomical Geodesy:

يتم فيها قياس الإحداثيات الفلكية (خط الطول الفلكي و دائرة العرض الفلكية) لنقاط شبكات الثوابت الأرضية بالإضافة للانحراف الفلكي لخطوط شبكات الثوابت الأرضية للدولة من خلال الرصد علي النجوم. يعد هذا النوع من أقسام الجيوديسيا من أقدم الأنواع الجيوديسية وكان مهم جدا في الماضي لتوجيه الشبكات الجيوديسية وتحديد موقعها بدقة علي سطح الأرض، وان كان الاعتماد علي الأرصاد الفلكية قد قل كثيرا في الوقت الراهن بعد انتشار تطبيقات الرصد علي الأقمار الصناعية.

٥- الجيوديسيا الرياضية Mathematical Geodesy:

فرع الجيوديسيا الذي يهتم بالنظريات الرياضية و المعادلات و طرق الحسابات وتحليل الأرصاد المستخدمة في كافة أفرع الجيوديسيا الأخرى.

حديثا ظهرت مصطلحات أخري في الجيوديسيا مثل الجيوديسيا المتكاملة Intenerated Geodesy حيث يتم تطبيق عدة أقسام من الأقسام التقليدية لعلم الجيوديسيا في إطار واحد متكامل. أيضا يري البعض استبدال مسمي جيوديسيا الأقمار الصناعية بمسمي الجيوديسيا الفضائية Spatial Geodesy حيث لم تعد الأرصاد الجيوديسية قاصرة فقط علي الأقمار الصناعية بل امتدت إلي الرصد علي القمر الطبيعي و الكواكب الأخرى بل أيضا الرصد علي الأجرام السماوية خارج المجموعة الشمسية.

أما الأرصاد أو القياسات الجيوديسية ذاتها فيمكن أيضا تقسيمها إلي أربعة أنواع طبقا للهدف منها:

أ- الأرصاد الجيوديسية الأفقية أو ثنائية الأبعاد Horizontal 2D:

قياسات الزوايا الأفقية والرأسية والمسافات و الانحرافات التي تهدف إلي تحديد الموقع الأفقي (خط الطول و دائرة العرض) لنقاط الثوابت الأرضية. قديما ومع استخدام الأجهزة المساحية التقليدية (مثل جهاز الثيودليت) بإمكانياتها البسيطة كانت هذه النقاط تقام علي رؤوس الجبال و المرتفعات ليسهل رصد الزوايا علي مسافات كبيرة ولم يكن من السهل رصد فروق المناسيب بين هذه النقاط المرتفعة، ومن هنا كانت شبكات الثوابت الجيوديسية شبكات أفقية فقط Two-Dimensional or 2D منفصلة عن الشبكات الجيوديسية الرأسية.

ب- الأرصاد الجيوديسية الرأسية أو أحادية البعد Vertical 1D :

قياسات فروق المناسيب بين مجموعة من النقاط التي تحدد البعد الثالث (المنسوب) لشبكة جيوديسية تغطي الدولة One-Dimensional or 1D. أي أن الشبكة الجيوديسية الرأسية (شبكة الروبيرات) كانت منفصلة عن الشبكة الجيوديسية الأفقية.

ج- الأرصاد الجيوديسية ثلاثية الأبعاد 3D:

مع دخول عصر جيوديسيا الأقمار الصناعية أصبح من الممكن تحديد الإحداثيات ثلاثية الأبعاد (خط الطول و دائرة العرض و الارتفاع) Three-Dimensional or 3Dمجموعة من النقاط التي تكون شبكة جيوديسية ثلاثية الأبعاد تغطي الدولة.

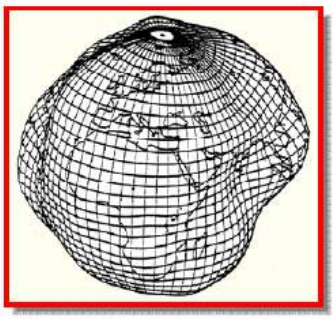
د- الأرصـاد الجيوديـسية رباعيـة الأبعـاد (الجيوديـسيا الديناميكيـة Dynamic 4D Geodesy):

حيث أن مجال جاذبية الأرض غير ثابت وأيضا بسبب حركة الصفائح الجيولوجية التي يتكون منها كوكب الأرض فأن إحداثيات أي نقطة لن تكون ثابتة مع مرور الزمن. تهتم الجيوديسيا الديناميكية برصد ودراسة التغير في الإحداثيات ثلاثية الأبعاد مع مرور الزمن (الذي يعد البعد الرابع) بحيث يتم تعريف إحداثيات أي نقطة جيوديسية (س،ص،ع) عند لحظة زمنية معينة وليست كإحداثيات مطلقة ثابتة Four-Dimensional or 4D.

٤- شكل الأرض

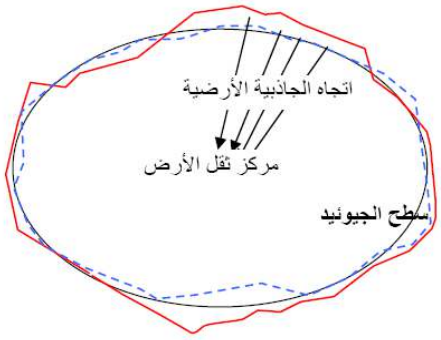
في بدايات المعرفة البشرية ظن الإنسان أن الأرض هي قرص صلب يطفو فوق سطح المـاء ، إلـي أن تطـور التفكيـر العلمـي للبـشر قلـيلا وجـاء العـالم اليونـاني فيثـاغورث Pythagoras في القرن السادس قبل الميلاد وافترض أن الأرض كروية الشكل. وكانت أولي محاولات العلماء لتقدير حجم أو محيط هذه الكرة هي تجربة العالم الإغريقي أراتوستين التي سبق الإشارة إليها في الفصل الأول. وفي القرنين الخامس عشر و السادس عشر أيد كلا من الرحالة كولومبوس Columbus و ماجلان Magellan فكرة كروية الأرض من خلال رحلاتهما الشهيرة بالدوران حول الأرض. في عام ١٦٨٧ طور العالم الشهير نيوتن Newtown عدة مبادئ نظرية علمية وكان أهمها: أن الشكل المتوازن لكتلة مائعة متجانسة خاضعة لقوانين الجذب و تدور حول محورها ليس هو شكل الكرة كاملة الاستدارة لكنه شكل مفلطح قليلا باتجاه القطبين. وفي عام ١٧٣٥ قامت أكاديمية العلوم الفرنسية بتنظيم بعثتين لإجراء القياسات اللازمة للتأكد من هذه الفرضية وأثبتت النتائج فعلا أن الأرض مفلطحة وليست كروية الشكل تماما.

إننا نعيش علي سطح كوكب الأرض وعندما نريد أن نحدد أي موقع علي الأرض فنحن بحاجة إلي أن نقوم بتعريف هذا السطح – شكله و حجمه – لكي يمكننا من معرفة في أي مكان نحن نقع بالضبط. إن شكل السطح الطبيعي للأرض كما خلقه الله تعالي بما يضمه من قارات و محيطات و جبال و أودية و بحار ليس شكلا سهلا وليس منتظما لكي يمكن التعبير عنه بسهولة.



شكل (١) الأرض غير منتظمة الشكل

بحث العلماء عن شكل افتراضي آخر للأرض يكون أقل تعقيدا واهتدوا إلي فكرة أنه طالما أن مساحة الماء في المحيطات و البحار تشكل حوالي ٧٠% من مساحة الأرض فأن شكل الأرض يكاد يكون هو الشكل المتوسط لسطح الماء (إذا أهملنا حركة سطح الماء بسبب التيارات البحرية و المد و الجزر) Mean Sea Level والمعروف اختصارا بأحرف MSL، وإذا قمنا بمد هذا السطح تحت اليابسة لنحصل علي شكل متكامل فأن هذا الشكل سيكون أقرب ما يكون للشكل الحقيقي للأرض. وتم إطلاق اسم الجيويد أو الجيوئيد Geoid علي هذا الشكل الافتراضي [يجب ملاحظة أن هناك فرق في حدود متر واحد فقط بين كلا من MSL و الجيويد إلا أنه في معظم التطبيقات الهندسية تتغاضي عن هذا الفرق و نعتبر أن كلا الشكلين أو المصطلحين يشيرا لنفس الجسم]. ولكن طبقا لمبدأ نيوتن السابق فأن شكل هذا الجيويد لن يكون منتظما لان سطح الجيويد يتعامد مع اتجاه قوة الجاذبية الأرضية وأيضا يخضع لقوة الطرد المركزية الناتجة عن دوران الأرض حول محورها ، وكلا القوتين تختلفان من مكان لآخر علي سطح الأرض بسبب عدم توزيع الكثافة بشكل منتظم (يختلف سمك القشرة الأرضية من ٦ إلي ٦- كيلومتر) . وبذلك نخلص إلي أن الجيويد هو الشكل الحقيقي للأرض إلا أنه شكل معقد أيضا و يصعب تمثيله بمعادلات رياضية تمكننا من رسم الخرائط و تحديد المواقع عليه.



شكل (٢) الجيويد: الشكل الحقيقي للأرض

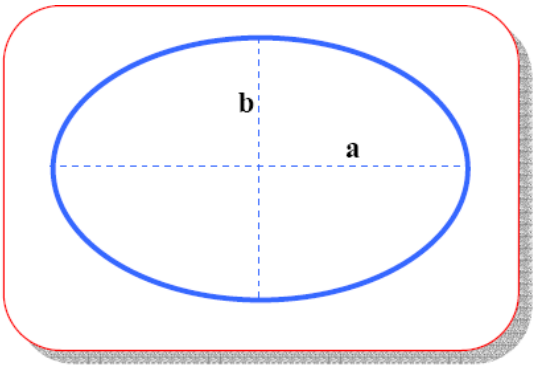
لتعقد الجيويد وصعوبة تمثيله بمعادلات رياضية أتجه العلماء إلي البحث عن أقرب الأشكال الهندسية المعروفة ووجدوا أن القطع الناقص أو الاليبس Ellipse هو الأقرب ، فإذا دار هذا الاليبس حول محوره فسينتج لنا مجسم القطع الناقص أو الاليبسويد أو الشكل البيضاوي Ellipsoid or Ellipsoid of Revolution ويعرف أيضا باسم الاسفرويد Spheroid (لكن اسم الاليبسويد هو الأكثر انتشارا وهو الذي سنستخدمه في هذا الكتاب). ربما يتبادر إلي الأذهان الآن سؤال: ما هو الفرق بين الاليبس و الدائرة أو بمعني آخر ما هو الفرق بين الاليبسويد و الكرة؟ بالنظر للشكل التالي نجد أن الاليبسويد مفلطح قليلا عند كلا القطبين بعكس الكرة التي تكون كاملة الاستدارة تماما ، أيضا الكرة لها قطر و احد له نفس القيمة في جميع الاتجاهات بينما نجد الاليبسويد له محورين مختلفين. للتعبير عن الاليبسويد يلزمنا معرفة عنصرين (لاحظ أن الكرة يعبر عنها بعنصر واحد فقط هو نصف قطرها):

- نصف المحور الأكبر (المحور في مستوي خط الاستواء) ويرمز له بالرمز a
- نصف المحور الأصغر (المحور بين كلا القطبين) ويرمز له بالرمز b

ويقوم البعض بالتعبير عن الاليبسويد بطريقة أخري من خلال العنصرين:

- نصف المحور الأكبر (المحور في مستوي خط الاستواء) ويرمز له بالرمز a
- معامل التفلطح flattening ويرمز له بالرمز f ويتم حسابه من المعادلة:

$$f = (a - b) / a \quad \text{or} \quad f = 1 - (b / a) \qquad (1)$$

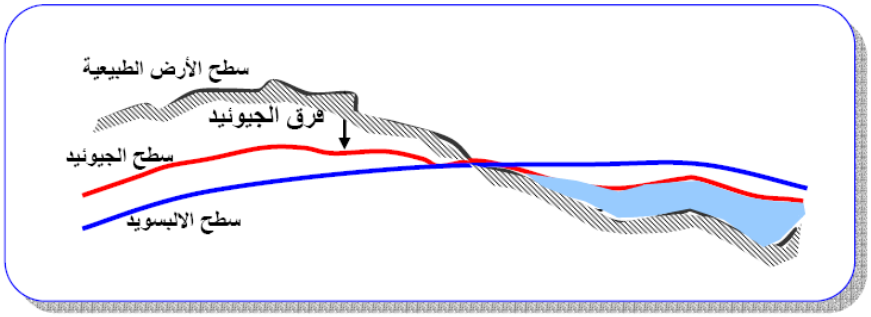


شكل (٣) الاليبسويد

ويتميز شكل الاليبسويد بعدة خصائص مثل:

أ- سهولة إجراء الحسابات علي سطحه (حيث أنه شكل هندسي معروف).

ب- لا يختلف سطح الاليبسويد الرياضي عن سطح الجيويد الفيزيقي كثيرا (أكبر فرق بين كلاهما لا يتعدي ١٠٠ متر فقط. لاحظ أن الفرق بين الجيويد و الكرة يصل إلي ٢١ كيلومتر تقريبا).



شكل (٤) العلاقة بين الجيويد و الاليبسويد

٥- المراجع الجيوديسية

لكي يمكن تحديد المواقع علي سطح الأرض يلزمنا اختيار شكل رياضي يعبر عن شكل و حجم الأرض ذاتها وهو ما نطلق عليه اسم الشكل المرجعي Reference Surface. أحد هذه الأشكال المرجعية من الممكن أن يكون الكرة والتي كانت مستخدمة لفترة طويلة لتحديد المواقع التي لا تتطلب دقة كبيرة ولرسم الخرائط التي لا يزيد مقياسها عن ١ : مليون. أيضا للمساحات الصغيرة جدا (أقل من ٥٠ كيلومتر مربع) من الممكن اعتبار المستوي Plane شكلا مرجعيا وخاصة في تطبيقات المساحة المستوية Plane Surveying. أما لتحديد المواقع بدقة عالية أو لرسم الخرائط الدقيقة فأن الاليبسويد هو الشكل المرجعي المستخدم.

طوال القرنين الأخيرين تعددت محاولات علماء الجيوديسيا لتحديد أنسب اليبسويد يعبر عن شكل الأرض بأقرب صورة ممكنه. وكلما تجمعت قياسات جيوديسية جديدة لدي أحد العلماء أو الجهات الدولية تم حساب قيم جديدة لعناصر تعريف الاليبسويد (سواء a , b أو a , f) مما أدي لوجود العديد من نماذج الاليبسويد ، ويعرض الجدول التالي بعضا من هذه النماذج.

كانت كل دولة عند بدء إقامة الهيكل الجيوديسي أو المساحي لها بغرض البدء في إنتاج الخرائط غالبا ما تختار أحدث اليبسويد – في ذلك الوقت – لتتخذه السطح المرجعي لنظام خرائطها. فإذا ظهر بعد عدة سنوات اليبسويد آخر لم يكن ممكنا – لأسباب تقنية و مادية – أن تقوم هذه الدولة بتغيير السطح المرجعي لها و إعادة إنتاج و طباعة كل خرائطها من جديد. لكن ما هو المرجع؟ من المعروف أن أي اليبسويد يكون أقرب ما يمكن لتمثيل سطح الأرض علي المستوي العالمي ، أي أن الفروق بينه وبين الجيويد تختلف من مكان لمكان علي سطح الأرض لكنها أقل ما يمكن علي المستوي العالمي. لكن كل دولة عندما تعتمد اليبسويد معين تريد أن يكون الفرق بينه و بين الجيويد أقل ما يمكن في حدودها ولا تهتم إن كانت هذه الفروق كبيرة في مناطق أخري من العالم. لذلك كانت كل دولة تلجأ لتعديل وضع الاليبسويد المرجعي قليلا

Re-Position لكي يحقق هذا الهدف. وفي هذه الحالة – أي بعد إجراء هذا التعديل البسيط – فلم يعد هذا الاليبسويد كما كان في الأصل لكنه صار في وضع مختلف ، وهنا نطلق عليه اسم مرجع أو مرجع جيوديسي أو مرجع وطني أو بيان A geodetic Datum, a local datum, or simply a datum. أي أن المرجع الوطني لأي دولة ما هو إلا اليبسويد عالمي قد تم تعديل وضعه بصورة أو بآخري ليناسب هذه الدولة ويكون أقرب تمثيلا لشكل الجيويد (الشكل الحقيقي للأرض) عند هذه الدولة. كما يجب الإشارة إلي أنه كلما قلت الفروق بين المرجع الوطني لدولة ما و الجيويد كلما زادت دقة الخرائط المرسومة اعتمادا علي هذا المرجع.

جدول (١) بعض نماذج الاليبسويد المستخدمة عالميا

اسم الاليبسويد	نصف المحور الأكبر a بالمتر	نصف المحور الأصغر b بالمتر	الدولة التي تستخدمه
Helmert 1906	٦٣٧٨٢٠٠	٦٣٥٦٨١٨	مصر
Clarke 1866	٦٣٧٨٢٧٤	٦٣٥٦٦٥١	أمريكا الشمالية
Bassel 1841	٦٣٧٧٣٩٧	٦٣٥٦٠٧٩	وسط أوروبا
Airy 1830	٦٣٧٧٥٦٣	٦٣٥٦٢٥٧	بريطانيا
WGS72	٦٣٧٨١٣٥	٦٣٥٦٧٥٠	عالمي
WGS84	٦٣٧٨١٣٧	٦٣٥٦٧٥٢	عالمي

ولتوضيح هذه النقطة الهامة أكثر سنأخذ مثال لجمهورية مصر العربية. عند بدء أعمال الجيوديسيا و إنشاء الخرائط في مصر في بداية القرن العشرين كان أحدث اليبسويد متاح في ذلك الوقت هو اليبسويد هلمرت ١٩٠٦. تم اتخاذ القرار باختيار هذا الاليبسويد ليكون سطحا مرجعيا لمصر. وبعد ذلك تم إجراء عدد من التعديلات علي وضع هذا الاليبسويد ليتكون ما يعرف باسم المرجع الوطني المصري ١٩٠٧ Old Egyptian Datum أو اختصارا OED1907. أحد هذه التعديلات كان الفرض بأن الارتفاع عن سطح الاليبسويد = الارتفاع عن متوسط سطح البحر عند النقطة الأساسية المسماة F1 أو نقطة الزهراء بجبل المقطم. هذا الفرض يعني أننا افترضنا أن سطح اليبسويد هلمرت ١٩٠٦ ينطبق مع سطح الجيويد عند هذه النقطة (هذا غير حقيقى لكنه فرض أساسي لتسهيل بدء الحسابات الجيوديسية لشبكات الثوابت الأرضية المساحية). وبمعني آخر أننا قمنا برفع سطح اليبسويد هلمرت ١٩٠٦ عدة أمتار لينطبق مع سطح الجيويد عند هذه النقطة المحددة ، وبالتالي لم يعد هلمرت ١٩٠٦ هو ذلك

الاليبسويد العالمي الذي تم تحديد شكله و حجمه ووضعه ليكون أقرب ما يمكن لتمثيل شكل الأرض علي المستوي العالمي ، إنما صار له وضع جديد يناسب المنطقة الجغرافية لجمهورية مصر العربية فقط. هنا لا نقول أنه اليبسويد أنما نطلق عليه اسم المرجع المصري.

المراجع التي تحدثنا عنها حتى الآن هي ما يمكن أن نطلق عليها اسم المراجع الأفقية Horizontal Datum وهي الخاصة بتحديد المواقع في المستوي الأفقي. أما عند التعامل مع الإحداثيات في المستوي الرأسي (أي الارتفاعات) فأننا نحتاج إلي نوع آخر من المراجع هي المراجع الرأسية Vertical Datum. ويعد الجيويد هو المرجع الرأسي المعتمد في العديد من دول العالم ، أي لتحديد هذا المرجع نحتاج لتحديد النقطة التي يكون عندها متوسط سطح البحر يساوي صفر. وكمثال في مصر فقد تم إنشاء محطة قياس المد و الجزر Tide Gauge في ميناء الإسكندرية وتم تسجيل قياساتها لمدة ٨ سنوات من عام ١٨٩٨ إلي عام ١٩٠٦ وأخذ متوسطها بحيث أن هذه القراءة (علي المسطرة المدرجة داخل المحطة) اعتبرت هي المنسوب المساوي للصفر أي هي النقطة التي تحدد موقع الجيويد. و انطلاقا من هذه النقطة المرجعية تم استخدام أسلوب الميزانية Leveling لإنشاء مجموعة من النقاط – تسمي الروبيرات أو Bench Marks: BM- المعلومة المنسوب و التي تغطي معظم أرجاء مصر. لذلك نقول أن المرجع الوطني الرأسي المصري Vertical Egyptian Datum هو قيمة متوسط سطح البحر MSL عند الإسكندرية في عام ١٩٠٦. وفي إطار هذا السياق تجب الإشارة إلي أن هذا المرجع الرأسي قد تغيرت قيمته نتيجة ارتفاع متوسط سطح البحر علي المستوي العالمي في المائة عام الأخيرة (بقيمة متوسطة تبلغ +١١.٦ سم وبمعدل ١.٧ ملليمتر/سنة في مصر).

٦- نظم الإحداثيات

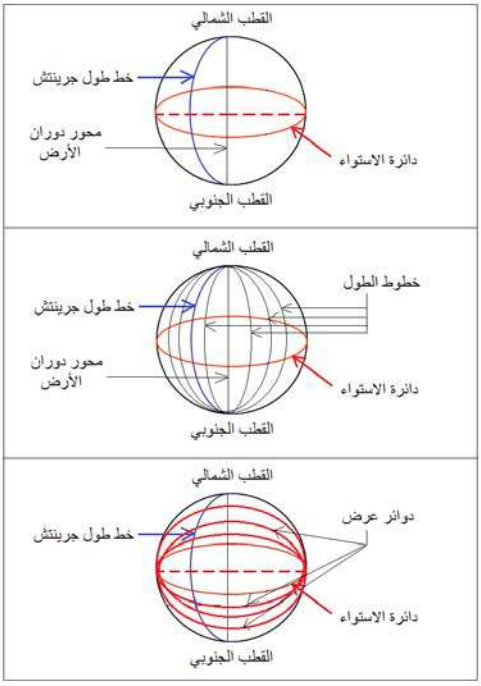
الإحداثيات Coordinates هي القيم التي بواسطتها نعبر عن موقع معين علي سطح الأرض أو علي الخريطة. وتتعدد أنظمة الإحداثيات تبعا لاختلاف السطح المرجعي الذي يتم تمثيل المواقع عليه. فعند اختيار المستوي كسطح مرجعي (مثل الخريطة) فأن الإحداثيات تكون إحداثيات مستوية أو مسقطة أو ثنائية الأبعاد Two-Dimensional (or 2D) Coordinates. ويرجع اسم ثنائية الأبعاد إلي أن كل نقطة – علي الخريطة مثلا – يلزمها قيمتين لتحديد موقعها وليكن مثلا س ، ص. بينما عند اعتماد الكرة أو الاليبسويد كسطح مرجعي فأننا نتعامل مع نوع الإحداثيات الفراغية أو الإحداثيات ثلاثية الأبعاد Three-Dimensional (or 3D) Coordinates حيث يجب إضافة ارتفاع النقطة عن سطح المرجع كبعد ثالث لتحديد موقعها الدقيق ، أي نحتاج لمعرفة القيم الثلاثة س ، ص ، ع لكل

موقع. وفي حالة الكرة تسمي الإحداثيات باسم الإحداثيات الكروية Spherical Coordinates بينما في حالة الاليبسويد تسمي بالإحداثيات الجيوديسية Geodetic Coordinates أو الإحداثيات الجغرافية Geographic Coordinates أو الإحداثيات الاليبسويدية Ellipsoidal Coordinates. كما توجد إحداثيات أحادية البعد One-Dimensional (or 1D) Coordinates وهي غالبا التي تعبر فقط عن ارتفاع النقطة من سطح الشكل المرجعي المستخدم. وفي التطبيقات الجيوديسية و الجيوفيزيقية عالية الدقة توجد إحداثيات رباعية الأبعاد Four-Dimensional (or 4D) Coordinates حيث يتم تحديد موقع النقطة في زمن محدد بحيث تكون إحداثياتها هي س ، ص ، ع ، ن حيث البعد الرابع "ن" يعبر عن زمن قياس هذه الإحداثيات لهذا الموقع. وسنستعرض بعض أنظمة الإحداثيات بالتفصيل في الأجزاء التالية.

منذ قرون مضت أبتكر العلماء طريقة لتمثيل موقع أي نقطة علي سطح الأرض (باعتبار أن الأرض كرة) وذلك عن طريق:

- تم اتخاذ الخط الأساسي الأفقي هو تلك الدائرة العظمي (أي التي تمر بمركز الأرض) والتي تقع في منتصف المسافة بين القطبين وسميت بدائرة الاستواء.
- أتخذ الخط الأساسي الرأسي ليكون هو نصف الدائرة التي تصل بين القطبين الشمالي و الجنوبي وتمر ببلدة جرينتش بانجلترا.
- قسمت دائرة الاستواء إلي ٣٦٠ قسما متساويا و رسم علي سطح الأرض ٣٦٠ نصف دائرة (وهمية أو اصطلاحية) تصل بين القطبين وتمر بأحدي نقاط التقسيم علي دائرة الاستواء ، وكل نصف دائرة تسمي خط طول Longitude. ويتضح من ذلك أن الزاوية عند مركز الأرض بين نقطتي تقسيم متجاورتين تساوي ١ درجة (يرمز للدرجة بالرمز ^{o}١) لان ٣٦٠ درجة تقابل ٣٦٠ قسما. وتم ترقيم خط طول جرينتش بالرقم صفر وخط الطول المجاور له من جهة الشرق ^{o}١ شرق ، ثم ^{o}٢ شرق ، .... إلي ^{o}١٨٠ شرق وبنفس الطريقة للخطوط الواقعة غرب جرينتش من ^{o}١ غرب ، إلي ^{o}١٨٠ غرب. وتكون زاوية خط الطول هي الزاوية الواقعة في مستوي دائرة الاستواء والمحصورة بين ضلعين يمر أحدهما بخط طول جرينتش بينما يمر الآخر بخط طول النقطة ذاتها.
- تم تقسيم خط الطول الأساسي (جرينتش) إلي ١٨٠ قسما متساويا ورسم علي الأرض دوائر صغري وهمية (الدائرة الصغرى هي التي لا تمر بمركز الأرض) توازي دائرة الاستواء وتمر كل دائرة منها بأحدي نقاط تقسيم خط طول جرينتش. وبذلك تكون

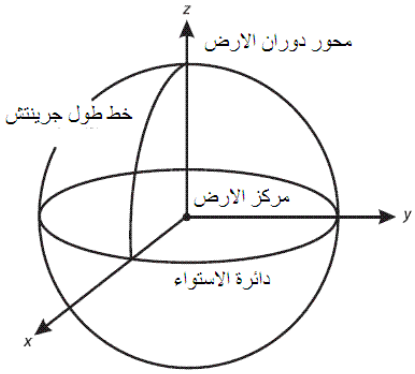
الزاوية عند مركز الأرض بين نقطتين متجاورتين من نقاط التقسيم تساوي ^{o}١ لان ١٨٠ درجة تقابل ١٨٠ قسما ، وأطلق علي هذه الدوائر اسم دوائر العرض ومنهم ٩٠ دائرة شمال دائرة الاستواء و ٩٠ دائرة جنوبه. وبنفس الأسلوب تم ترقيم دائرة الاستواء بالرقم صفر ودائرة العرض المجاور لها من جهة الشمال ^{o}١ شمال ، ثم ^{o}٢ شمال ، .... إلي ^{o}٩٠ شمال وبنفس الطريقة للدوائر الواقعة جنوب دائرة الاستواء من ^{o}١ جنوب ، إلي ^{o}٩٠ جنوب. زاوية العرض Latitude هي الزاوية الواقعة في مستوي دائرة من دوائر الطول و رأسها عند مركز الدائرة و ضلعها الأساسي يمر في مستوي الاستواء و الضلع الآخر يمر في دائرة من دوائر العرض.



شكل (٥) تحديد المواقع علي الكرة

٦-١ الإحداثيات الجغرافية أو الجيوديسية

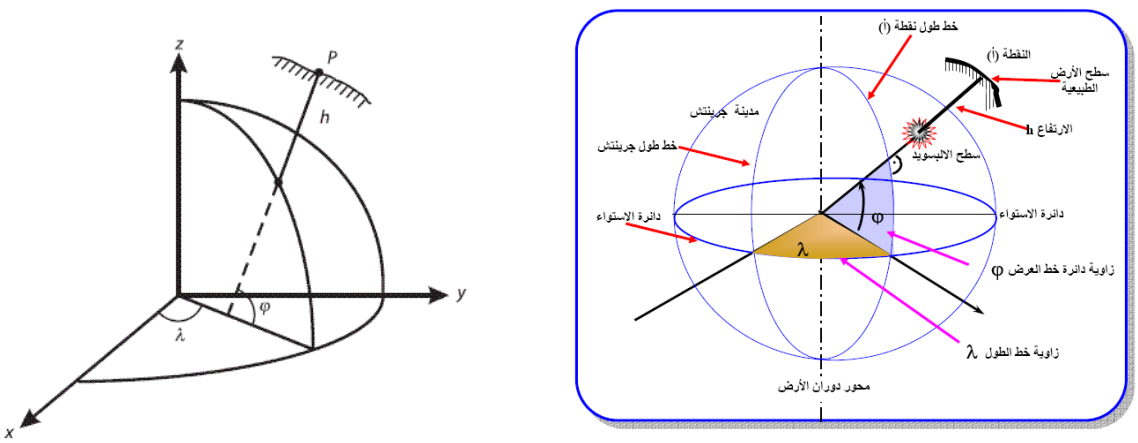
نظام الإحداثيات الجيوديسية هو أحد نظم الإحداثيات الذي مركزه هو مركز الأرض ومحاوره مثبته مع الأرض أثناء دورانها ولذلك يطلق عليه نظام مركزي أرضي ثابت Earth-Centered Earth-Fixed أو اختصارا ECEF. مركز النظام يقع في مركز جاذبية الأرض، وينطبق محوره الرأسي z مع محور دوران الأرض ، يتجه محوره الأفقي الأول x ناحية خط طول جرينتش بينما محوره الأفقي الثاني y يكون عموديا علي محور x.



شكل (٦) نظام الإحداثيات الجغرافية أو الجيوديسية

يتم تمثيل موقع أي نقطة في هذا النظام بثلاثة قيم أو ثلاثة إحداثيات ، أي أن هذا النظام ثلاثي الأبعاد 3D:

- خط الطول Longitude ويرمز له بالرمز اللاتيني λ (ينطق لامدا) ، وهو الزاوية المقاسة في مستوي دائرة الاستواء بين خط طول جرينتش (وهو خط الطول الذي أصطلح دوليا أن يكون رقم صفر) و خط طول النقطة المطلوبة.
- دائرة العرض Latitude ويرمز له بالرمز اللاتيني ϕ (ينطق فاي) ، وهي الزاوية في المستوي الرأسي والتي يصنعها الاتجاه العمودي المار بالنقطة المطلوبة مع مستوي دائرة الاستواء (يلاحظ في الشكل أن الاتجاه العمودي علي سطح الاليبسويد لا يمر بمركز الاليبسويد عكس حالة الكرة حيث يمر العمودي علي سطح الكرة بمركزها).
- الارتفاع عن سطح الاليبسويد ويرمز له بالرمز h ويسمي الارتفاع الجيوديسي أو الارتفاع الاليبسويدي Geodetic or Ellipsoidal Height



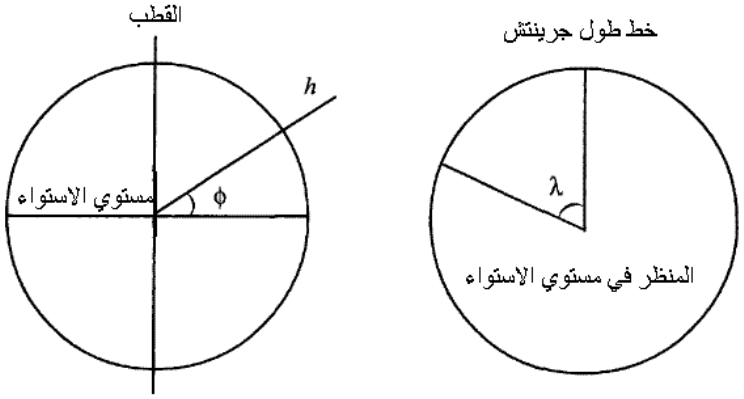
شكل (٧) الإحداثيات الجغرافية أو الجيوديسية

وتوجد عدة نظم للوحدات المستخدمة في التعبير عن خطوط الطول و دوائر العرض أشهرها نظام الوحدات الستيني ، وفيه يتم تقسم الدائرة الكاملة إلي ٣٦٠ درجة (رمز الدرجة هو °) ثم تقسم الدرجة إلي ٦٠ جزء كلا منهم يسمي الدقيقة (رمز الدقيقة هو ') ثم لاحقا تقسم الدقيقة الواحدة إلي ٦٠ جزء يسمي الواحد منهم بالثانية (رمز الثانية هو "). كمثال: خط الطول "52.3 '45 °30 يعني أن موقع هذه النقطة عند ٣٠ درجة و ٤٥ دقيقة و ٥٢.٣ ثانية.

تكون خطوط الطول أما شرق خط طول جرينتش (يرمز لها بإضافة حرف ق أو E) أو غرب جرينتش (يرمز لها بإضافة حرف غ أو W). أما بالنسبة لدوائر العرض فتكون أما شمال دائرة الاستواء (يرمز لها بإضافة حرف ش أو N) أو جنوب خط الاستواء (يرمز لها بإضافة حرف ج أو S).

٦-٢ الإحداثيات الكروية

يشبه نظام الإحداثيات الكروية Spherical Coordinates نظام الإحداثيات الجيوديسية أو الجغرافية ألا في اختلاف واحد فقط ألا وهو أن السطح المرجعي هنا هو الكرة و ليس الاليبسويد. يلاحظ في الشكل (خاصة لقياس دائرة العرض ϕ) أن الاتجاه العمودي علي سطح الكرة يمر بمركزها عكس حالة الاليبسويد حيث لا يمر العمودي علي سطح الاليبسويد بمركزه.

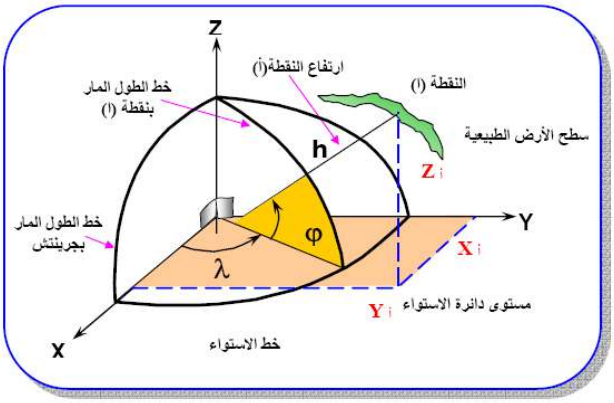


شكل (٨) الإحداثيات الكروية

٦-٣ الإحداثيات الجيوديسية الكارتيزية أو الفراغية أو الديكارتية

هو نظام إحداثيات مشابه تماما في تعريفه لنظام الإحداثيات الجيوديسية ألا أنه يتميز أن إحداثياته الثلاثة تكون طولية (أي بالمتر أو الكيلومتر) و ليس منحنية (بالدرجات) مما يجعله أسهل في التعامل وخاصة في الحسابات ، وقد أبتكره العالم الفرنسي ديكارت في القرن السابع

عشر. نقطة الأصل لنظام الإحداثيات الجيوديسية الكارتيزية Cartesian Geodetic Coordinates هي مركز الأرض ومحوره الأول X ينشأ من تقاطع مستوي خط الطول المار بجرينتش مع مستوي دائرة الاستواء ومحوره الثاني Y هو العمودي علي محور X بينما المحور الثالث (الرأسي) Z هو محور دوران الأرض و الذي يمر بمركز الأرض وكلا القطبين. ويعبر عن موقع كل نقطة بثلاثة إحداثيات: X, Y, Z.



شكل (٩) الإحداثيات الجيوديسية الكارتيزية

٤-٦ الإطار المرجعي الأرضي العالمي

نلاحظ أن المحور الرأسي في نظم الإحداثيات التي تحدثنا عنها حتى الآن كان يعرف علي أنه ينطبق مع محور دوران الأرض ، وهذا بافتراض أن محور دوران الأرض ثابت. هذا الأساس الفرضي ربما يكون مناسبا لمعظم تطبيقات تحديد المواقع – بما فيها التطبيقات الجيوديسية - التي تتطلب دقة سنتيمتر أو أكبر. لكن علماء الجيوديسيا أثبتوا منذ سنوات بعيدة أن محور دوران الأرض ليس ثابتا بصورة تامة ، لكنه يتحرك من عام لآخر في حركة أشبه بحركة النحلة (لعبة الأطفال الشهيرة!) ، وبالتالي فأن تعريف أو تحديد محور دوران الأرض يتغير من فترة زمنية لآخري ، ومع أن هذا التغير بسيط جدا جدا (سنتيمترات فقط) إلا أنه يجب أخذه في الاعتبار في حالة تحديد نظام إحداثيات عالي الدقة وخاصة للتطبيقات الجيوديسية التي تتطلب دقة ملليمترات (مثل متابعة و رصد حركة القشرة الأرضية). وبناءا عليه فقد تم تطوير فكرة الإطار المرجعي الأرضي العالمي International Terrestrial Reference Frame أو المعروف اختصارا باسم ITRF ، حيث تقوم احدي المنظمات الجيوديسية الدولية بتحديد محور دوران الأرض كل ٣ سنوات وذلك من خلال تجميع و تحليل القياسات الجيوديسية الدقيقة الموزعة علي جميع أنحاء الأرض. وبالتالي فأن هذا النظام من نظم الإحداثيات من الممكن اعتباره من الإحداثيات رباعية الأبعاد 4D حيث يتم تحديد ITRF طبقا

لسنة epoch معينة. كمثال نجد: ITRF1990 , ITRF1995, ITRF2000, and ITRF2005.

٦-٥ التحويل بين الإحداثيات الجغرافية

يمكن باستخدام مجموعة المعادلات التالية تحويل الإحداثيات الجيوديسية أو الجغرافية (ϕ, λ, h) إلي الإحداثيات الجيوديسية الكارتيزية (X, Y, Z):

$$X = (c + h) \cos \phi \cos \lambda$$
$$Y = (c + h) \cos \phi \sin \lambda \qquad (2)$$
$$Z = [\, h + c\,(1-e^2)\,] \sin \phi$$

حيث c يسمي نصف قطر التكور radius of curvature ، e تسمي المركزية الأولي first eccentricity ويتم حسابهما كالتالي:

$$c = \frac{a}{\sqrt{(1 - e^2 \sin^2 \phi)}} \qquad (3)$$

$$e = [\, \sqrt{(a^2 - b^2)}\,] / a \qquad (4)$$

أما للتحويل من الإحداثيات الجيوديسية الكارتيزية ($X, \ Y, \ Z$) إلي الإحداثيات الجيوديسية أو الجغرافية (ϕ, λ, h) فأحد الحلول يتمثل في المعادلات التالية:

$$\tan \lambda = Y / X$$

$$\tan \phi = \frac{Z \ / \ \sqrt{(X^2 + Y^2)}}{1 - e^2 \,(c / (c + h))} \qquad (5)$$

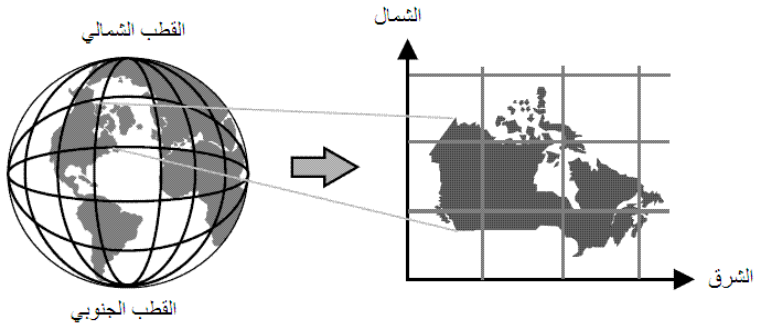
$$h = \frac{\sqrt{(X^2+Y^2)}}{\cos \phi} - c$$

نلاحظ في هذه المعادلات أننا نحتاج لمعرفة قيمة c لكي نستطيع حساب قيمة ϕ و h ، لكن لنحسب قيمة c من المعادلة ٣ فأننا نحتاج لمعرفة قيمة ϕ ! ولذلك يتم حساب هذا النوع من التحويل بطريقة تكرارية Iterative ، حيث نبدأ باستخدام قيمة تقريبية لدائرة العرض ϕ ونحسب قيمة تقريبية لنصف قطر التكور c ثم نأخذ قيمة c هذه لنحسب منها قيمة جديدة ϕ

وهكذا لعدد من المرات إلي أن نجد عدم وجود أي فرق جوهري Significant بين قيمتين متتاليتين لدائرة العرض ϕ.

٧- إسقاط الخرائط

إسقاط الخرائط Map Projection هو العملية الرياضية التي تمكننا من تحويل الإحداثيات علي مجسم الأرض - سواء كان الشكل المرجعي الذي يمثل الأرض هو الكرة أو الاليبسويد- (أي إحداثيات ثلاثية الأبعاد) إلي إحداثيات ممثلة علي سطح مستوي وهو الخريطة (أي إحداثيات ثنائية الأبعاد أو إحداثيات شبكية Grid Coordinates). أو بمعني آخر: هو العملية التي تمكننا من تحويل قيم خط الطول و دائرة العرض لموقع إلي الاحداثي الشرقي و الاحداثي الشمالي المطلوبين لتوقيع هذا الموقع علي الخريطة. ويسمي الشكل الناتج عن عملية الإسقاط بالمسقط.



شكل (١٠) عملية إسقاط الخرائط

ولا يمكن بأي حال من الأحوال أن تتم عملية تحويل الشكل المجسم للأرض إلي شكل مستوي (خريطة) بصورة تامة ولكن سيكون هناك ما نسميه " التشوه Distortion" في أي طريقة من طرق إسقاط الخرائط. تحاول الطرق المختلفة لإسقاط الخرائط أن تحافظ علي واحدة أو أكثر من الخصائص التالية بين الهدف الحقيقي علي الأرض و صورته علي الخريطة(مرة أخري لا يمكن تحقيق كل الخصائص مجتمعة):

- تطابق في المساحات
- تطابق في المسافات
- تطابق في الاتجاهات
- تطابق في الزوايا
- تطابق في الأشكال

هنـاك بعـض أنـواع الإسـقاط التـي تحـافظ علـي المـسافات وتـسمي مـساقط المـسافات المتساوية Equidistance Projection وأنواع تحافظ علي الأشكال و الزوايا معا لكن في مـساحات محـدودة وتـسمي مـساقط التماثـل Conformal Projection (وهـي الأقـرب للاسـتخدام فـي التطبيقـات المـساحية) وأنـواع ثالثـة تحـافظ علـي المـساحات وتـسمي مـساقط المساحات المتساوية Equal-Area Projection.

تنقسم مساقط الخرائط إلي ٤ مجموعات رئيسية:

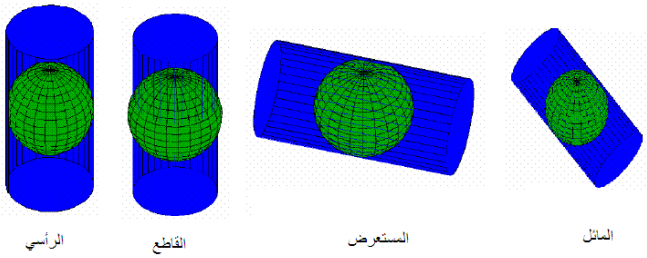
أ- المساقط الاسطوانية Cylindrical Projections: تنشأ من إسقاط سطح الأرض علـي اسطوانة والتـي أمـا تمس الأرض رأسيا أو تقطعها أو تمس الأرض عرضيا أو بصورة مائلة.

ب- المساقط المخروطية Conical Projection: تنشأ من إسقاط سطح الأرض علـي مخروط والذي أما يمس الأرض رأسيا أو يقطعها.

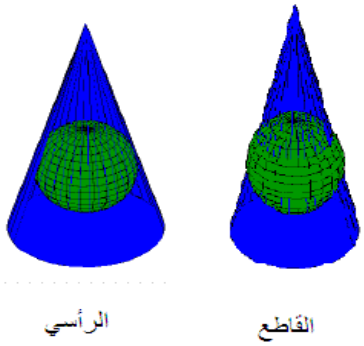
ت- المساقط السمتية أو المستوية أو الاتجاهية :Azimuthal Projection: تنشأ من إسقاط سطح الأرض علي مستوي والذي أما يمس الأرض رأسيا عند نقطة محددة أو يقطعها في دائرة.

ث- مساقط أخري خاصة.

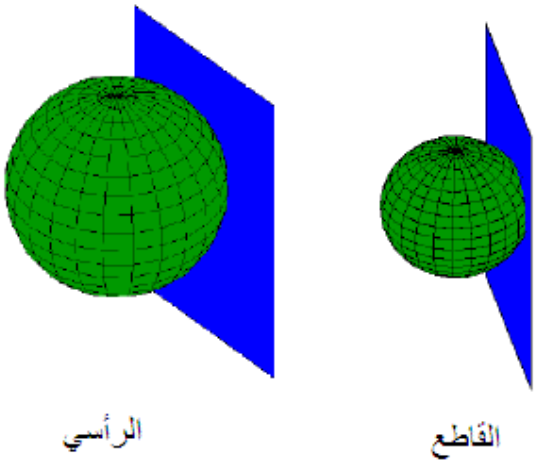
وفي الجزء التالي سنستعرض بعض نماذج مساقط الخرائط الشهيرة:



شكل (١١) طرق الإسقاط الاسطواني



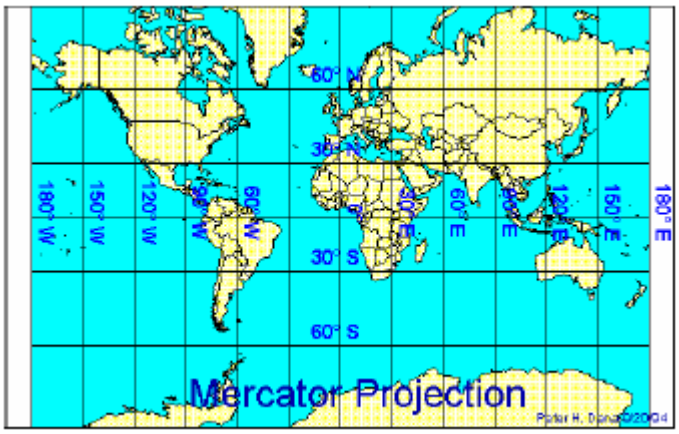
شكل (١٢) طرق الإسقاط المخروطي



شكل (١٣) طرق الإسقاط السمتي أو المستوي

مسقط ميريكاتور Mercator Projection:

مسقط أسطواني يحقق شرط أن خطوط الطول و دوائر العرض تتقاطع في زوايا قائمة تماما. يكون المقياس scale صحيحا عند دائرة الاستواء أو عند دائرتي عرض قياسيتينStandard Parallels علي مسافات متساوية من الاستواء. غالبا يستخدم هذا المسقط في الخرائط البحرية.



شكل (١٤) مسقط ميريكاتور

مسقط ميريكاتور المستعرض Transverse Mercator Projection:

ينتج هذا المسقط من إسقاط الأرض علي اسطوانة تمسها عند خط طول مركزي Central Meridian. وغالبا يستخدم هذا المسقط للمناطق التي تمتد في اتجاه شمال-جنوب أكبر من امتدادها في اتجاه شرق-غرب. يزداد التشوه (في المقياس و المسافة و المساحة) كلما ابتعدنا عن خط الطول المركزي ، ولذلك نلجأ إلي فكرة الشرائح عند استخدام هذا المسقط حيث يكون عرض الشريحة الواحدة – في اتجاه الشرق – ثلاثة أو أربعة درجات من خطوط الطول بحيث لا يكون مقدار التشوه كبيرا عند أطراف الشريحة التي يقع خط طولها المركزي في منتصفها. مسقط ميريكاتور المستعرض مستخدم في خرائط الكثير من دول العالم مثل مصر و بريطانيا.

مسقط ميريكاتور المستعرض العالمي Universal Transverse Mercator Projection:

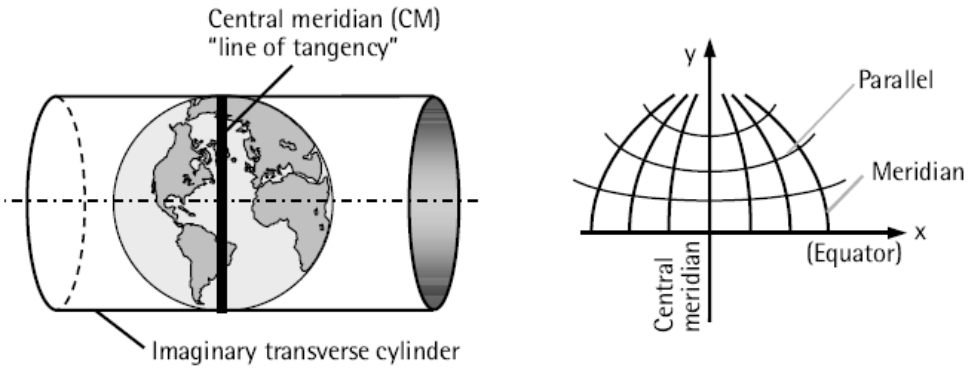
يعد أشهر أنواع مساقط الخرائط علي المستوي العالمي و يرمز له اختصارا بأحرف UTM. كما زادت أهميته في السنوات الأخيرة بسبب أنه أحد المساقط المستخدمة في أجهزة تقنية النظام العالمي لتحديد المواقع GPS.

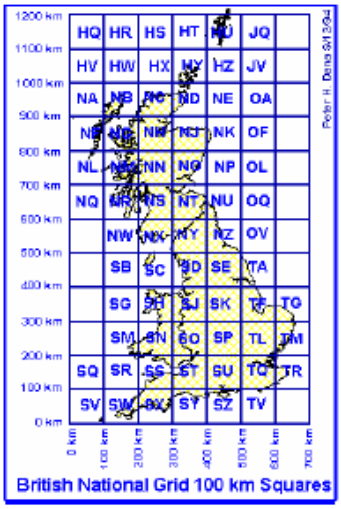
- يعتمد مسقط UTM علي إيجاد طريقة لرسم خرائط العالم كله وذلك عن طريق تقسيم الأرض إلي ٦٠ شريحة zones كلا منها يغطي **٦ درجات** من خطوط الطول بحيث يكون لكل شريحة مسقط UTM له خط طول مركزي Central Meridian يقع في مركز هذه الشريحة.
- تمتد شرائح مسقط UTM من دائرة العرض ٨٠ جنوبا إلي دائرة العرض ٨٤ شمالا.
- ترقم الشرائح من رقم ١ إلي رقم ٦٠ بدءا من خط الطول ١٨٠° غرب ، بحيث تمتد الشريحة الأولي من ١٨٠° غرب إلي ١٧٤° غرب ويكون خط طولها المركزي meridian central عند ١٧٧° غرب.
- تقسم كل شريحة طولية إلي مربعات كل **٨ درجات** من دوائر العرض.
- يكون هناك حرف خاص – كاسم - لكل مربع من هذه المربعات ، وتبدأ الحروف من حرف **C** جنوبا إلي حرف X شمالا مع **استبعاد** حرفي I و O (لقرب الشبه بينهما وبين الأرقام الانجليزية!).

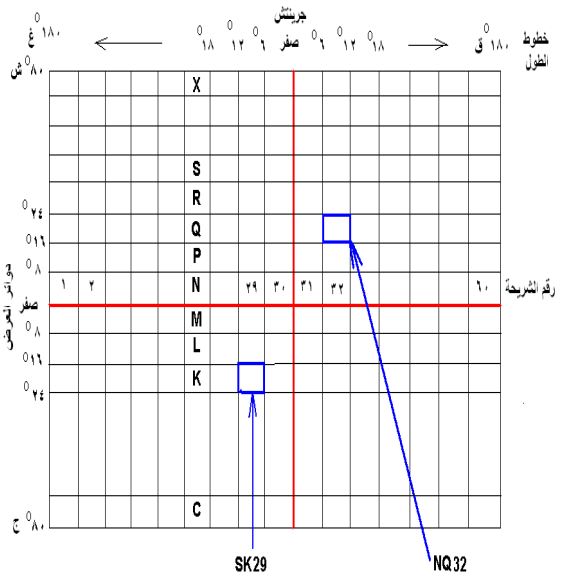
C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T
1	2	3	4	5	6	-	7	8	9	10	11	-	12	13	14	15	16

- يكون معامل المقياس scale factor مساويا ٠.٩٩٩٦ عند خط الطول المركزي ، بحيث مع ازدياد التشوه كلما بعدنا عن خط الطول المركزي فأن أقصي قيمة لمعامل القياس عند أطراف الشريحة ستكون ١.٠٠٠٩٧ عند خط الاستواء أو ١.٠٠٠٢٩ عند دائرة عرض ٤٥° ش.

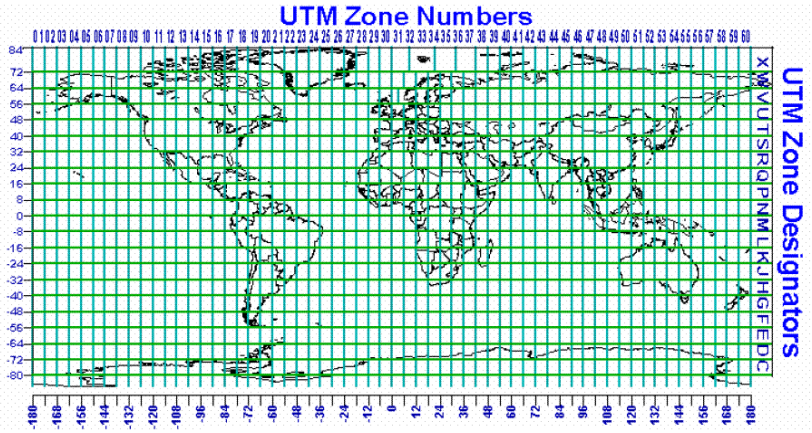
مسقط ميريكاتور المستعرض مستخدم في خرائط الكثير من دول العالم مثل مصر و بريطانيا.

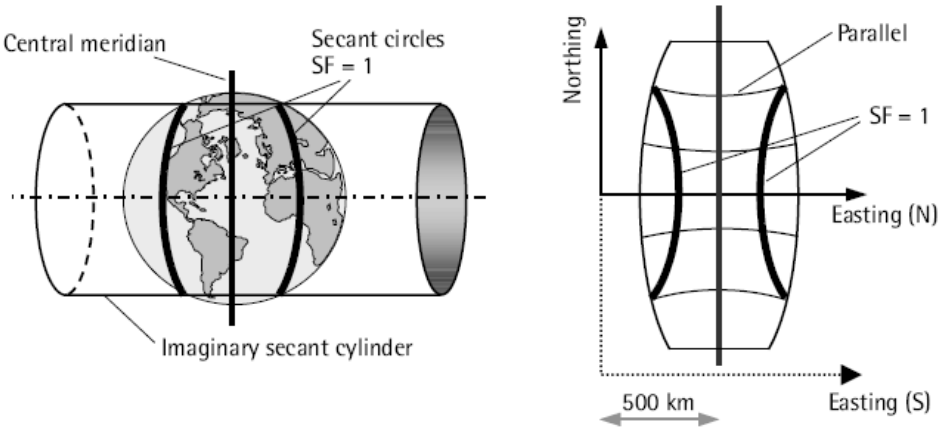






شكل (١٥) مسقط ميريكاتور المستعرض

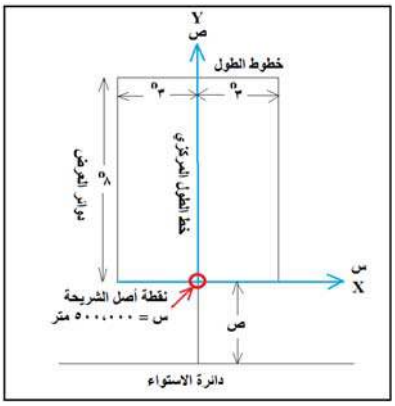


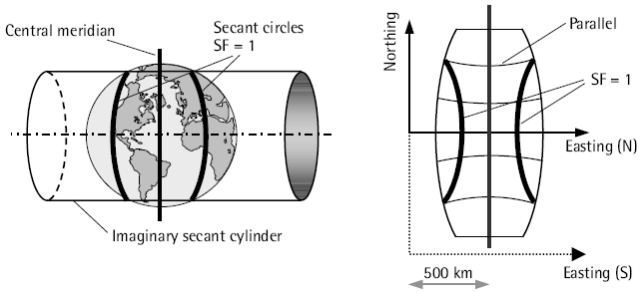


شكل (١٦) شرائح مسقط ميريكاتور المستعرض العالمي

يتكون نظام الإحداثيات المسقطة في UTM من:

- نقطة الأصل (صفر ، صفر) للشريحة تقع في تقاطع خط الطول المركزي للشريحة مع دائرة الاستواء.
- الاحداثي السيني X في اتجاه الشرق.
- الاحداثي الصادي Y في اتجاه الشمال.
- تعطي قيمة إحداثيات شرقية زائفة False Easting لنقطة الأصل بقيمة ٥٠٠،٠٠٠ متر (لذلك فأن الاحداثي السيني لا يزيد عن ٦ خانات).
- لا تعطي أي قيمة إحداثيات شمالية زائفة False Easting لنقطة الأصل، أي أن قيمة الصفر في اتجاه الشمال تكون بالفعل عند دائرة الاستواء (وبذلك فأن الاحداثي الصادي قد يصل إلي ٧ خانات).





شكل (١٧) شرائح مسقط ميريكاتور المستعرض العالمي

لا يمكن ضم شريحتين من شرائح UTM في خريطة واحدة (أو في ملف رقمي واحد) والسبب في ذلك أن نقطة أصل كل شريحة تأخذ الاحداثي السيني المفروض وهو ٥٠٠،٠٠٠ متر، مما سيجعل الإحداثيات الشرقية X للمعالم (المختلفة) علي كلا الخريطتين تتكرر في كلا الشريحتين.

تتكون معادلات التحويل من الإحداثيات الجغرافية (خط الطول و دائرة العرض) إلي الإحداثيات المترية بنظام UTM من عدة معادلات ليست بسيطة ولا يمكن حسابها بآلة حاسبة بل تحتاج لبرنامج كمبيوتر لإتمامها. الشكل التالي يقدم هذه المعادلات بصورة شاملة دون الدخول في تفاصيلها الكاملة.

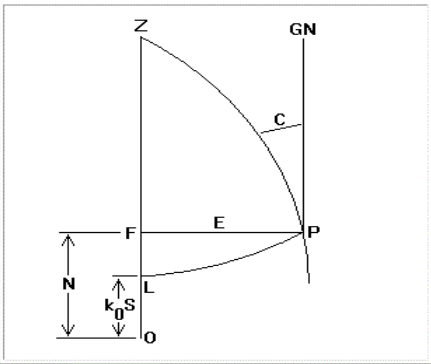
تجدر الإشارة لوجود بعض المواقع علي شبكة الانترنت التي تقدم خدمات آنية on-line لإجراء هذه الحسابات و تحويل الإحداثيات، ومنهم علي سبيل المثال:

http://www.rcn.montana.edu/resources/tools/coordinates.aspx

http://gis.dep.wv.gov/convert/llutm_conus.php

http://www.geod.nrcan.gc.ca/tools-outils/tools_info_e.php?apps=gsrug

http://home.hiwaay.net/~taylorc/toolbox/geography/geoutm.html



P = point under consideration
F = foot of perpendicular from P to the central meridian. The latitude of F is called the *footprint latitude*.
O = origin (on equator)
OZ = central meridian
LP = parallel of latitude of P
ZP = meridian of P
OL = k_0S = meridional arc from equator
LF = ordinate of curvature
OF = N = grid northing
FP = E = grid distance from central meridian
GN = grid north
C = convergence of meridians = angle between true and grid north

Symbols

- lat = latitude of point
- long = longitude of point
- $long_0$ = central meridian of zone
  k_0 = scale along $long_0$ = 0.9996. Even though it's a constant, we retain it as a separate symbol to keep the
- numerical coefficients simpler, also to allow for systems that might use a different Mercator projection.
- e = SQRT(1-b^2/a^2) = .08 approximately. This is the eccentricity of the earth's elliptical cross-section.
  $e'^2 = (ea/b)^2 = e^2/(1-e^2)$ = .007 approximately. The quantity e' only occurs in even powers so it need only be
- calculated as e'^2.
- n = (a-b)/(a+b)
- rho = $a(1-e^2)/(1-e^2\sin^2(lat))^{3/2}$. This is the radius of curvature of the earth in the meridian plane.
  nu = $a/(1-e^2\sin^2(lat))^{1/2}$. This is the radius of curvature of the earth perpendicular to the meridian plane. It
  is also the distance from the point in question to the polar axis, measured perpendicular to the earth's
- surface.
- p = ($long-long_0$) **in radians** (This differs from the treatment in the Army reference)

Calculate the Meridional Arc

S is the meridional arc through the point in question (the distance along the earth's surface from the equator). All angles are in radians.

- S = A'lat - B'sin(2lat) + C'sin(4lat) - D'sin(6lat) + E'sin(8lat), where lat is in radians and
- A' = $a[1 - n + (5/4)(n^2 - n^3) + (81/64)(n^4 - n^5) ...]$
- B' = $(3 \tan S/2)[1 - n + (7/8)(n^2 - n^3) + (55/64)(n^4 - n^5) ...]$
- C' = $(15 \tan^2 S/16)[1 - n + (3/4)(n^2 - n^3) ...]$
- D' = $(35 \tan^3 S/48)[1 - n + (11/16)(n^2 - n^3) ...]$
- E' = $(315 \tan^4 S/512)[1 - n ...]$

The USGS gives this form, which may be more appealing to some. (They use M where the Army uses S)

M = $a[(1 - e^2/4 - 3e^4/64 - 5e^6/256 ....)lat$
$- (3e^2/8 + 3e^4/32 + 45e^6/1024...)\sin(2lat)$
$+ (15e^4/256 + 45e^6/1024 + ...)\sin(4lat)$

- $- (35e^6/3072 + ...) \sin(6lat) + ...)]$ where lat is in radians

This is the hard part. Calculating the arc length of an ellipse involves functions called *elliptic integrals*, which don't reduce to neat closed formulas. So they have to be represented as series.

Converting Latitude and Longitude to UTM

All angles are in radians.

y = northing = K1 + $K2p^2$ + $K3p^4$, where

- K1 = Sk_0,
- K2 = k_0 nu sin(lat)cos(lat)/2 = k_0 nu sin(2 lat)/4
- K3 = $[k_0$ nu sin(lat)$\cos^3$(lat)/24][(5 - $\tan^2$(lat) + $9e'^2\cos^2$(lat) + $4e'^4\cos^4$(lat)]

x = easting = K4p + $K5p^3$, where

- K4 = k_0 nu cos(lat)

شكل (١٨) معادلات تحويل الإحداثيات من نظام UTM إلي النظام الجغرافي

(المرجع: http://www.uwgb.edu/dutchs/usefuldata/utmformulas.htm)

Converting UTM to Latitude and Longitude

In response to innumerable e-mails, you *cannot* use UTM grid coordinates without knowing your zone. There are sixty points on the earth's surface that have the same numerical UTM coordinates, 120 if you consider that northing is duplicated in both hemispheres.

y = northing, x = easting (relative to central meridian; subtract 500,000 from conventional UTM coordinate).

Calculate the Meridional Arc

This is easy: $M = y/k_0$.

Calculate Footprint Latitude

- $mu = M/[a(1 - e^2/4 - 3e^4/64 - 5e^6/256...)$
- $e_1 = [1 - (1 - e^2)^{1/2}]/[1 + (1 - e^2)^{1/2}]$

footprint latitude $fp = mu + J1\sin(2mu) + J2\sin(4mu) + J3\sin(6mu) + J4\sin(8mu)$, where:

- $J1 = (3e_1/2 - 27e_1^3/32 ..)$
- $J2 = (21e_1^2/16 - 55e_1^4/32 ..)$
- $J3 = (151e_1^3/96 ..)$
- $J4 = (1097e_1^4/512 ..)$

Calculate Latitude and Longitude

- $e'^2 = (ea/b)^2 = e^2/(1-e^2)$
- $C1 = e'^2\cos^2(fp)$
- $T1 = \tan^2(fp)$
- $R1 = a(1-e^2)/(1-e^2\sin^2(fp))^{3/2}$. This is the same as rho in the forward conversion formulas above, but calculated for fp instead of lat.
- $N1 = a/(1-e^2\sin^2(fp))^{1/2}$. This is the same as nu in the forward conversion formulas above, but calculated for fp instead of lat.
- $D = x/(N1k_0)$

$lat = fp - Q1(Q2 - Q3 + Q4)$, where:

- $Q1 = N1\tan(fp)/R1$
- $Q2 = (D^2/2)$
- $Q3 = (5 + 3T1 + 10C1 - 4C1^2 - 9e'^2)D^4/24$
- $Q4 = (61 + 90T1 + 298C1 + 45T1^2 - 3C1^2 - 252e'^2)D^6/720$

$long = long0 + (Q5 - Q6 + Q7)/\cos(fp)$, where:

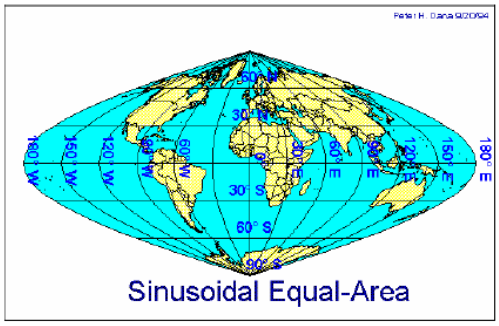
- $Q5 = D$
- $Q6 = (1 + 2T1 + C1)D^3/6$
- $Q7 = (5 - 2C1 + 28T1 - 3C1^2 + 8e'^2 + 24T1^2)D^5/120$

شكل (١٩) معادلات تحويل الإحداثيات من النظام الجغرافي إلي نظام UTM

(المرجع: http://www.uwgb.edu/dutchs/usefuldata/utmformulas.htm)

مسقط ساينسويدال متساوي المساحات Sinusoidal Equal-Area Projection :

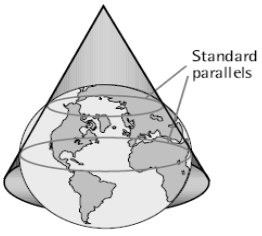
في هذا المسقط الذي يحافظ علي المساحات تتعامد دوائر العرض علي خط الطول المركزي فقط ، بينما مع باقي خطوط الطول فأن دوائر العرض تكون مقوسة بما يشبه منحني جيب الزاوية sin curves (من هنا جاء اسم هذا المسقط: المسقط الجيبي). ويكون مقياس الرسم صحيحا فقط عند خط الطول المركزي و دوائر العرض ، ويستخدم هذا المسقط للمناطق التي تمتد في أنجاه شمال-جنوب.

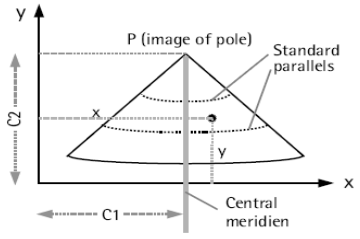


شكل (٢٠) مسقط ساينسويدال متساوي المساحات

مسقط لامبرت المخروطي المتماثل Lambert Conformal Conic Projection:

يستخدم هذا المسقط المخروط (وليس الاسطوانة مثل المساقط السابقة) وفيه تكون المساحات و الأشكال متماثلة عند دائرتي العرض القياسيتين Standard Parallels ويزداد التشوه كلما ابتعدنا عنهما ، كما تكون الاتجاهات صحيحة في مناطق محدودة. وهذا المسقط مستخدم في أمريكا الشمالية.

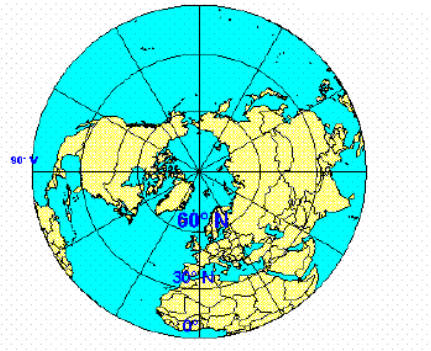




شكل (٢١) مسقط لامبرت المخروطي المتماثل

مسقط لامبرت السمتي متساوي المساحات Lambert Azimuthal Equal-Area Projection:

يستخدم هذا المسقط المستوي (وليس الاسطوانة أو المخروط) غالبا لرسم مناطق واسعة من المحيطات. وفيه يكون خط الطول المركزي خطا مستقيما بينما تكون باقي خطوط الطول منحنية.



شكل (٢٢) مسقط لامبرت السمتي متساوي المساحات

المسقط الارثوجرافي أو المتعامد Orthographic Projection:

مسقط سمتي أيضا (أي يستخدم المستوي في الإسقاط) يستخدم غالبا لإظهار صورة عامة أو منظور لنصف الكرة الأرضية. وبه يوجد تشوه لكلا من المساحات و الأشكال وتكون المسافات صحيحة علي دائرة الاستواء ودوائر العرض الأخرى.

شكل (٢٣) المسقط المتعامد أو الارثوجرافي

٨- نظم الإحداثيات المسقطة أو المستوية

الإحداثيات المسقطة Projected Coordinates هي الإحداثيات المستوية ثنائية الأبعاد 2D الناشئة عن تطبيق احدي طرق إسقاط الخرائط ، أي هي إحداثيات أي نقطة علي الخريطة وليس علي سطح الأرض. وغالبا يرمز لها بالاحداثي الشرقي Easting أو اختصارا E و الاحداثي الشمالي Northing أو اختصارا N (البعض يقع في غلطة و يستخدم الرمزين x, y الذين أصبح استخدامهما متعارفا عليه بصورة شائعة للدلالة علي الإحداثيات الجيوديسية الكارتيزية X, Y, Z). وحيث أن طرق إسقاط الخرائط متعددة بصورة كبيرة جدا فسنستعرض هنا مثالي واحد فقط لنظم الإحداثيات المصرية

(أ) نظام الإحداثيات المصرية ETM

نظام إحداثيات الخرائط المصرية Egyptian Transverse Mercator أو اختصارا ETM هو نظام إسقاط ميريكاتور مستعرض. وحتى يمكن تقليل التشوه في الخرائط فقد تم تقسيم جمهورية مصر العربية إلي أربعة مناطق أو شرائح Zones وتسمي عاده باسم أحزمة Belts (٣ أحزمة). في هذا النظام تم اعتماد المرجع الجيوديسي Geodetic Datum المستخدم في خرائط الهيئة المصرية العامة للمساحة هو اليبسويد هلمرت ١٩٠٦ Helmert 1906.

توجد عدة عناصر يجب تعريفها لكل شريحة من شرائح مسقط ميريكاتور المستعرض، وهذه العناصر تختلف قيمها من دولة لأخرى حتى لو استخدمت الدولتان نفس المسقط. هذه العناصر الخمسة (تسمي معاملات الإسقاط Projection Parameters) تشمل:

- موقع نقطة الأصل للإسقاط Origin والذي يحدد من خلال قيمتين: خط الطول المركزي Central Meridian ودائرة العرض القياسية Standard Parallel.
- لتفادي وجود إحداثيات سالبة (غير مستحبة في الخرائط) فيتم إعطاء قيم إحداثيات مفترضة أو زائفة لنقطة الأصل بدلا من إعطائها الإحداثيات صفر شرقا و صفر شمالا، وذلك عن طريق تحديد عنصرين آخرين هما: الاحداثي الشرقي الزائف False Easting والاحداثي الشمالي الزائف False Northing.
- العنصر الخامس - من معاملات الإسقاط - المطلوب تحديده هو قيمة معامل مقياس الرسم عند خط الطول المركزي.

إن معادلات حساب الإحداثيات المسقطة ذاتها (أي معادلات تحويل الإحداثيات الجغرافية أو الجيوديسية إلي إحداثيات الخريطة) معروفة للجميع وأصبحت مبرمجه داخل كل

برامج الحاسب الآلي software الخاصة بتطبيقات المساحة و الخرائط و نظم المعلومات الجغرافية. إلا أن المهم في حالة استخدام أي برنامج هو تحديد معاملات الإسقاط الخمسة المطلوبة لهذا النوع من الإسقاط ، فربما نجد بعض البرامج لا تحتوي داخل قواعد بياناتها إسقاط خاص بدولة معينة لكنها تسمح بإنشاء مسقط جديد داخل البرنامج إذا حددنا قيم عناصره الخمسة. بمعني آخر: من الممكن أن نجد برنامج كمبيوتر لا يحتوي علي نظام الإسقاط المصري لكنه يسمح بإنشاء مسقط من نوع ميريكاتور المستعرض إذا قمنا بتحديد قيم العناصر الخمسة المستخدمة في الخرائط المصرية. وتجدر الإشارة إلي أن عناصر الإسقاط لأي دولة لا يمكن استنباطها أو محاولة حسابها لان هذه العناصر افتراضية ومن اختيار الجهة المسئولة عن الخرائط في هذه الدولة ، لأن وللأسف الشديد ما زالت بعض الدول العربية تعتبر قيم عناصر الإسقاط لها من الأسرار التي لا يجوز نشرها!. تجدر الإشارة إلي أنه في بعض برامج الكمبيوتر software يسمي هذا النظام Old Egyptian Datum 1907 أو اختصارا باسم OED 1907. يتميز هذا النظام بقيم عناصر الإسقاط تخص مصر. وتتغير قيم هذه العناصر مع كل حزام (منطقة) من الخرائط المصرية كالآتي:

١- الحزام الأحمر Red Belt:

يغطي هذا الحزام المنطقة الوسطي من مصر وذلك من خط طول ٢٩ شرقا إلي خط طول ٣٣ شرقا. وتكون قيم عناصر نظام ETM في هذا الحزام هي:

الاحداثي الشرقي المفترض	False Easting = 615 000 m
الاحداثي الشمالي المفترض	False Northing = 810 000 m
دائرة العرض	Latitude = 30° 0' 0"
خط الطول	Longitude = 31° 0' 0"
معامل مقياس الرسم	Scale on central Meridian = 1.00
عرض المنطقة	Zone width = 4° 0' 0"

٢- الحزام الأزرق Blue Belt:

يغطي هذا الحزام المنطقة الشرقية من مصر وذلك من خط طول ٣٣ شرقا إلي خط طول ٣٧ شرقا. وتكون قيم عناصر نظام ETM في هذا الحزام هي:

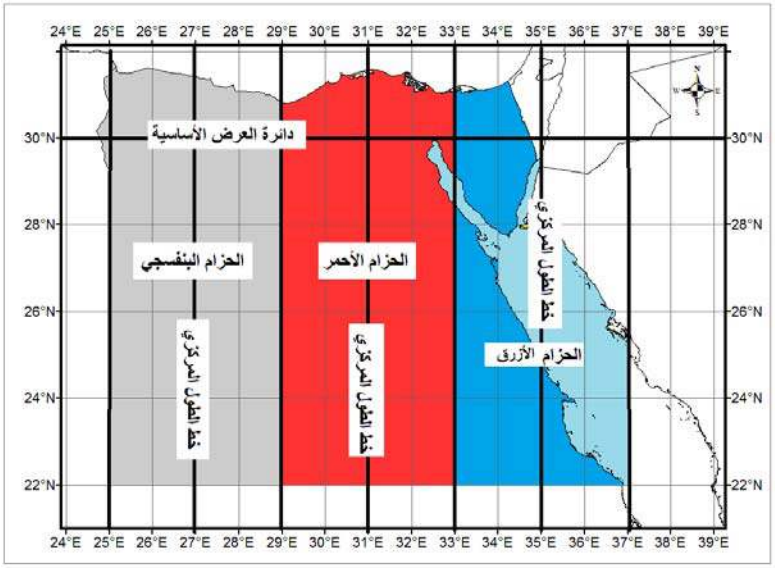
الاحداثي الشرقي المفترض	False Easting = 300 000 m
الاحداثي الشمالي المفترض	False Northing = 110 000 m
دائرة العرض	Latitude = 30° 0' 0"

خط الطول	Longitude = 35° 0' 0"
معامل مقياس الرسم	Scale on central Meridian = 1.00
عرض المنطقة	Zone width = 4° 0' 0"

٣- الحزام البنفسجي Purple Belt:

يغطي هذا الحزام المنطقة الغربية في مصر وذلك من خط طول ٢٥ شرقا إلي خط طول ٢٩ شرقا. وتكون قيم عناصر نظام ETM في هذا الحزام هي:

الاحداثي الشرقي المفترض	False Easting = 700 000 m
الاحداثي الشمالي المفترض	False Northing = 200 000 m
دائرة العرض	Latitude = 30° 0' 0"
خط الطول	Longitude = 27° 0' 0"
معامل مقياس الرسم	Scale on central Meridian = 1.00
عرض المنطقة	Zone width = 4° 0' 0"



شكل (٢٤) شرائح نظام الإسقاط المصري ETM

تجدر الإشارة إلي وجود شريحة رابعة ثانوية تسمي امتداد الحزام الأحمر Extended Red Belt تغطي المنطقة جنوب مدينة أسوان. أتضح أن قيمة الاحداثي الشمالي المفترض (٨١٠ كيلومتر) لشريحة الحزام الأحمر سيتسبب في وجود إحداثيات شمالية سالبة في هذه المنطقة الجنوبية من الأراضي المصرية (أعتقد أنه لم يكن متخيلا منذ مائة عام أن تتم أي مشروعات مساحية أو إنتاج خرائط لهذه المنطقة أقصي جنوب مصر ولذلك تم

اختيار قيمة ٨١٠ كيلومتر و هي تقريبا المسافة من القاهرة إلي أسوان!). وفي هذه الشريحة الرابعة يتم تغيير قيمة الاحداثي الشمالي المفترض من ٨١٠،٠٠٠ متر إلي ١,٠٠٠،٠٠٠ متر.

(ب) نظام الإحداثيات المصرية المطورة MTM

نظرا لانتشار استخدام تقنية GPS في الأعمال المساحية في مصر فقد أعلنت الهيئة المصرية العامة للمساحة منذ عدة أعوام عن تطوير نظام جديد للإحداثيات المستخدمة في الخرائط المصرية وعرف هذا النظام باسم: نظام ميريكاتور المستعرض المعدل Modified Transverse Macerator أو اختصارا باسم MTM (نفس النظام مطبق في بعض أجزاء من كندا أيضا). لم يتم التحول لهذا النظام بصورة رسمية بعد ، إلا أن خرائط بعض المشروعات الجديدة قد تم تطويرها اعتمادا عليه. وسيعتمد نظام MTM علي المرجع الجيوديسي أو اليبسويد WGS84 وليس اليبسويد هلمرت ١٩٠٦ كالنظام السابق.

مثل النظام السابق سيكون نظام MTM مستخدما لنوع إسقاط الخرائط من نوع ميريكاتور المستعرض، لكن سيتم تقسيم مصر إلي ٥ شرائح (وليس ٣ فقط في النظام السابق) لتقليل قيمة التشوه إلي أقل ما يمكن للوصول لدقة عالية للخرائط.

توجد عدة عناصر مشتركة بين الشرائح الخمسة كالآتي:

الاحداثي الشرقي المفترض	False Easting = 300 000 m
الاحداثي الشمالي المفترض	False Northing = 0 m
دائرة العرض	Latitude = 0° 0' 0"
معامل مقياس الرسم	Scale on central Meridian = 0.9999
عرض المنطقة	Zone width = 3° 0' 0"

والقيمة الوحيدة التي تتغير من شريحة لآخري هي خط الطول كالآتي:

الشريحة رقم ١	Longitude = 25° 30' 0"
الشريحة رقم ٢	Longitude = 28° 30' 0"
الشريحة رقم ٣	Longitude = 31° 30' 0"
الشريحة رقم ٤	Longitude = 34° 30' 0"
الشريحة رقم ٥	Longitude = 37° 30' 0"

ملحق رقم ٢
مبادئ رياضية و احصائية

١- مقدمة

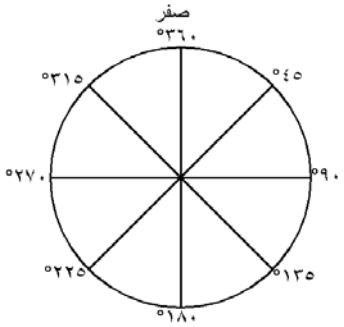
يتناول هذا الملحق مراجعة سريعة لبعض المبادئ و الأسس الرياضية و الاحصائية المستخدمة في الهندسة المساحية بصفة عامة.

٢- نظم قياس الزوايا

توجد ثلاثة أنظمة لقياس الزوايا (والاتجاهات) وهي النظام الستيني و النظام المئوي و النظام الدائري:

٢-١ النظام الستيني لقياس الزوايا

في النظام الستيني تقسم الدائرة إلي ٣٦٠ قسما يسمي الجزء الواحد منها الدرجة الستينية ويرمز له بالرمز (°) ، ثم تقسم الدرجة الستينية الواحدة إلي ٦٠ جزءا يسمي الواحد منهم الدقيقة الستينية ويرمز له بالرمز (') ، ثم تقسم الدقيقة الستينية الواحدة إلي ٦٠ جزءا يسمي الواحد منهم الثانية الستينية ويرمز له بالرمز (").



شكل (١) النظام الستيني لقياس الزوايا

أي أن:

١ درجة ستينية ° = ٦٠ دقيقة ستينية '

١ دقيقة ستينية ' = ٦٠ ثانية ستينية "

١ درجة ستينية ° = ٦٠ × ٦٠ = ٣٦٠٠ ثانية ستينية "

وتكتب الزاوية الستينية بالشكل التالي: ٤٥" ٥٢' ١٢٧° أي: ١٢٧ درجة و ٥٢ دقيقة و ٤٥ ثانية.

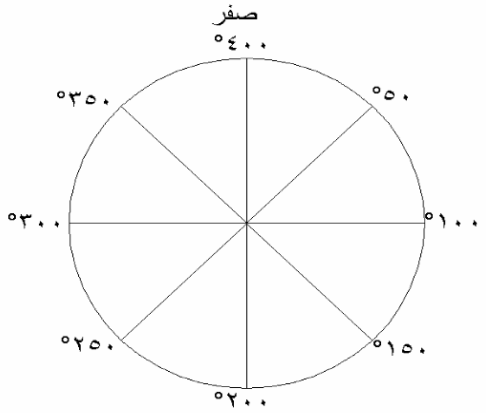
مثال: الزاوية ٤٥" ٥٢' ١٢٧° = (٤٥" ÷ ٦٠) + ٥٢' + ١٢٧° = ٥٢.٧٥' ١٢٧°

= (٥٢.٧٥' ÷ ٦٠)' + °١٢٧ = °١٢٧.٨٧٩١٦٧

= (٤٥" ÷ ٦٠) + (٥٢' ÷ ٦٠) + °١٢٧ = °١٢٧.٨٧٩١٦٧

٢-٢ النظام المئوي لقياس الزوايا

في النظام المئوي (يسمي أيضا جراد) تقسم الدائرة إلي ٤٠٠ قسما يسمي الجزء الواحد منها الدرجة المئوية أو الجراد ويرمز لـه بـالرمز (^{g}) ، ثم تقسم الدرجة المئوية الواحدة إلي ١٠٠ جزءا يسمي الواحد منهم الدقيقة المئوية ويرمز له بـالرمز (^{c}) ، ثم تقسم الدقيقة المئوية الواحدة إلي ١٠٠ جزءا يسمي الواحد منهم الثانية المئوية ويرمز له بالرمز (^{cc}).



شكل (٢) النظام المئوي لقياس الزوايا

أي أن:

١ درجة مئوية ^{g} = ١٠٠ دقيقة مئوية ^{c}

١ دقيقة مئوية ^{c} = ١٠٠ ثانية مئوية ^{cc}

١ درجة مئوية ^{g} = ١٠٠ × ١٠٠ = ١٠٠٠٠ ثانية مئوية ^{cc}

وتكتب الزاوية الستينية بالشكل التالي: ^{g}٣٧٢ ^{c}٦٢ ^{cc}٨٥ أي: ٣٧٢ درجة و ٦٢ دقيقة و ٨٥ ثانية.

مثال:

الزاوية ^{g}٣٧٢ ^{c}٦٢ ^{cc}٨٥

= (٨٥ ^{cc} ÷ ١٠٠) + ٦٢ ^{c} + ٣٧٢ ^{g} = ٣٧٢ ^{g} ٦٢.٨٥ ^{c}

= (٦٢.٨٥ ^{c} ÷ ١٠٠) ^{c} + ٣٧٢ ^{g} = ٣٧٢.٦٢٨٥ ^{g}

= (٨٥ ^{cc} ÷ ١٠٠) + (٦٢ ^{c} ÷ ١٠٠) + ٣٧٢ ^{g} = ٣٧٢.٦٢٨٥ ^{g}

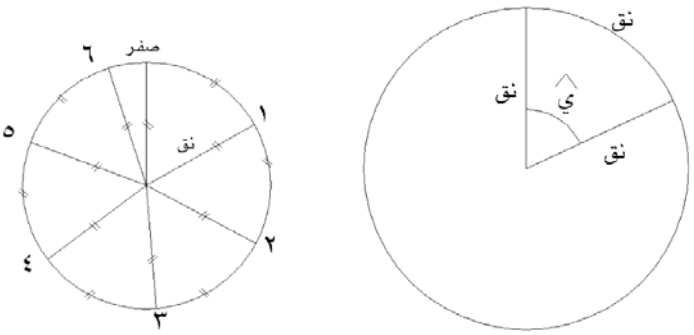
٢-٣ النظام الدائري لقياس الزوايا

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 تسمي "الراديان" - ويرمز له بالرمز ʳ - حيث يكون محيط الدائرة الكاملة = ٢ ط = ٢ × ٢٢ ÷ ٧ = ٦.٢٨٣١٨٥٣٠٧ راديان.

أي أن:

١ راديان = ٥٧.٢٩٥٧٧٩٥° = ٥٧° ١٧' ٤٤.٨"

= ٢٠٦٢٦٥" = ٦٣.٦٦١٩٩٧٢ ᵍ



شكل (٣) النظام الدائري لقياس الزوايا

٢-٤ التحويل بين نظم قياس الزوايا

(أ) للتحويل بين النظام الستيني و النظام المئوي:

بما أن الدائرة تعادل ٣٦٠ درجة ستينية وفي نفس الوقت تعادل ٤٠٠ درجة مئوية ، أي أن:

٣٦٠ درجة ستينية = ٤٠٠ درجة مئوية

إذن:

١ درجة ستينية = ١.١١١١١١ درجة مئوية

١ درجة مئوية = ٠.٩ درجة ستينية

(ب) للتحويل بين النظام الستيني و النظام الدائري:

بما أن الدائرة تعادل ٣٦٠ درجة ستينية وفي نفس الوقت تعادل ٢ ط راديان ، أي أن:

٣٦٠ درجة ستينية = ٢ ط راديان

إذن: ١ درجة ستينية = ط ÷ ١٨٠ راديان

١ درجة دائرية = ١٨٠ ÷ ط درجة ستينية

(ج) للتحويل بين النظام المئوي و النظام الدائري:

بما أن الدائرة تعادل ٤٠٠ درجة مئوية وفي نفس الوقت تعادل ٢ ط راديان ، أي أن:

٤٠٠ درجة مئوية = ٢ ط راديان

إذن:

١ درجة مئوية = ط ÷ ٢٠٠ راديان

١ درجة دائرية = ٢٠٠ ÷ ط درجة مئوية

٣- مساحة الأشكال الهندسية البسيطة

مساحة المربع = مربع طول الضلع = طول الضلع × نفسه (١)

مساحة المستطيل = الطول × العرض (٢)

مساحة متوازي الأضلاع = القاعدة × الارتفاع (٣)

مساحة المعين = القاعدة × الارتفاع أو = نصف حاصل ضرب القطرين (٤)

مساحة شبه المنحرف = نصف مجموع القاعدتين × الارتفاع (٥)

مساحة الشكل الرباعي = نصف حاصل ضرب القطرين × جيب الزاوية المحصورة بينهما (٦)

مساحة الدائرة = مربع نصف قطر الدائرة × ط = ط $(نق)^{٢}$ (٧)

حيث:

ط = ٧/٢٢ ، نق = نصف قطر الدائرة

مساحة سطح الكرة = ٤ ط $(نق)^{٢}$ (٢-١)

مساحة الشكل البيضاوي = ط × نصف المحور الأكبر × نصف المحور الأصغر (٨)

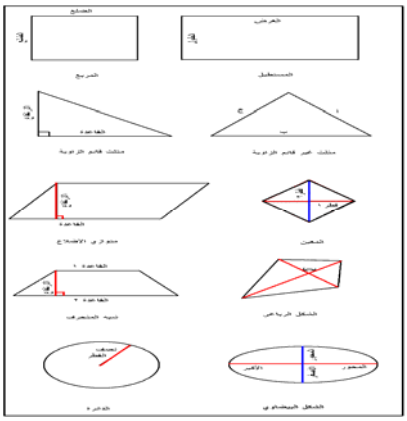
مساحة المثلث القائم الزاوية = ٠.٥ × القاعدة × الارتفاع (٩)

مساحة المثلث غير قائم الزاوية = الجذر التربيعي [س × (س-أ) × (س-ب) × (س-ج)] (١٠)

حيث:

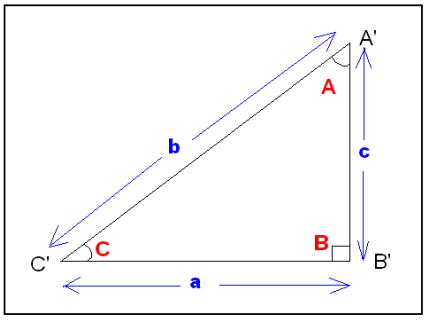
أ ، ب ، ج قيم أطوال الأضلاع الثلاثي للمثلث

س = نصف مجموع أضلاع المثلث = (أ + ب + ج) ÷ ٢



شكل (٤) الأشكال الهندسية البسيطة

المثلث قائم الزاوية:



شكل (٥) المثلث قائم الزاوية

النسب المثلثية:

جا أو sin لأي زاوية = طول الضلع المقابل / طول الوتر (١١)

جتا أو cos لأي زاوية = طول الضلع المجاور / طول الوتر (١٢)

ظا أو tan لأي زاوية = طول الضلع المقابل / طول الضلع المجاور (١٣)

في المثلث الموضح فأن:

$\sin C = c / b$, $\cos C = a / b$, $\tan C = c / a$ (14)

معادلة فيثاغورث:

مربع طول الوتر = مربع طول المقابل + مربع طول المجاور

$b^2 = a^2 + c^2$ (15)

So:

$b = \sqrt{(a^2 + c^2)}$

$a = \sqrt{(b^2 - c^2)}$

$c = \sqrt{(b^2 + a^2)}$

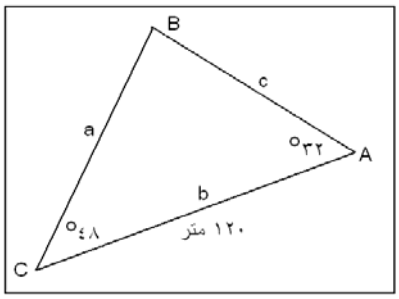
قانون جيب الزاوية:

لأي مثلث سواء كان قائم الزاوية أو لا فأن:

طول الضلع الأول / جا الزاوية المقابلة له = طول الضلع الثاني / جا الزاوية المقابلة له = طول الضلع الثالث / جا الزاوية المقابلة له

$$a / \sin A = b / \sin B = c / \sin C \qquad (16)$$

وبذلك يمكن حل المثلث (أي حساب باقي معلوماته) إذا علمنا منه زاويتين و ضلع:



شكل (٦) مثال للمثلث غير قائم الزاوية

مثال:

$B = 180^\circ - (32^\circ + 48^\circ) = 100^\circ$

$120 / \sin 100^\circ = a / \sin 32^\circ = c / \sin 48^\circ$

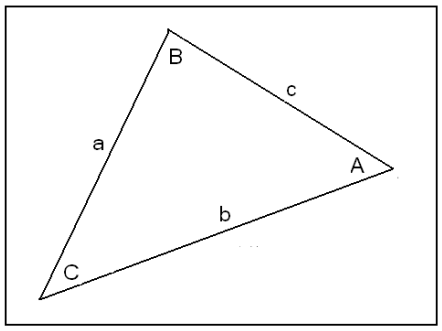
$a = 120 \times \sin 32^\circ / \sin 100^\circ = 64.57$ m

$c = 120 \times \sin 48^\circ / \sin 100^\circ = 90.55$ m

قانون جيب تمام الزاوية:

لأي مثلث سواء كان قائم الزاوية أو لا فأن:

مربع طول أي ضلع = مجموع مربعي الضلعين الآخرين ناقص ضعف حاصل ضربهما في جيب تمام الزاوية المحصورة بينهما:



شكل (٧) المثلث غير قائم الزاوية

$$a^2 = b^2 + c^2 - 2\,b\,c \cos A \qquad (17)$$

$b^2 = a^2 + c^2 - 2\ a\ c \cos B$ (18)

$c^2 = a^2 + b^2 - 2\ a\ b \cos C$ (19)

وبذلك يمكن حل المثلث (أي حساب باقي معلوماته) إذا علمنا منه ضلعين و زاوية.

معادلات مثلثيه أخري:

$\sec = 1 / \cos$ (20)

حيث: sec = قا الزاوية

$\csc = 1 / \sin$ (21)

حيث: csc = قتا الزاوية

$\cot = 1 / \tan$ (22)

حيث: cot = ظتا الزاوية

$\sin^2 + \cos^2 = 1$ (23)

$\tan^2 + 1 = \sec^2$ (24)

$\cot^2 + 1 = \csc^2$ (25)

$\sin (A + B) = \sin A \cos B + \cos A \sin B$ (26)

$\cos (A + B) = \cos A \cos B - \sin A \sin B$ (27)

$\tan (A+B) = (\tan A + \tan B) / (1 - \tan A \tan B)$ (28)

$\sin 2A = 2 \sin A \cos A$ (29)

$\cos 2A = \cos^2 A - \sin^2 A = 1 - 2 \sin^2 A = (2 \cos^2 A) - 1$ (30)

$\tan 2A = (2 \tan A) / (2 \cot A)$ (31)

$\sin (A - B) = \sin A \cos B - \cos A \sin B$ (32)

$\cos (A - B) = \cos A \cos B + \sin A \sin B$ (33)

$\tan (A+B) = (\tan A - \tan B) / (1 + \tan A \tan B)$ (34)

$\sin (A/2) = \pm \sqrt{} [(1 - \cos A) / 2]$ (35)

$\cos (A/2) = \pm \sqrt{} [(1 + \cos A) / 2]$ (36)

$\tan (A/2) = \pm \sqrt{} [(1 - \cos A) / (1+\cos A)]$ (37)

٤- أنواع اتجاه الشمال

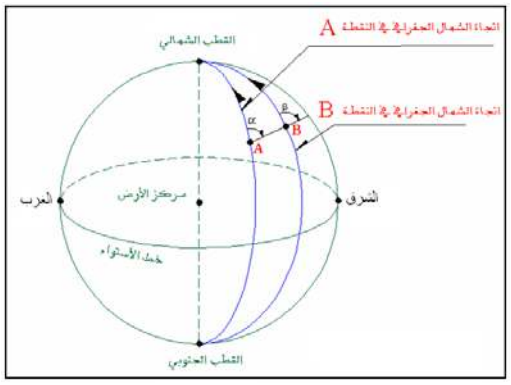
أتفق العاملون بالمساحة منذ مئات السنين علي اعتبار اتجاه الشمال هو الاتجاه المرجعي Reference Direction عند قياس الاتجاهات في الطبيعة وأيضا في الخريطة. لكن يوجد نوعين من أنواع اتجاه الشمال:

٤-١ الشمال المغناطيسي Magnetic Meridian

هو الاتجاه الذي تحدده أبره مغناطيسية حركة الحركة كاملة الاتزان وليست تحت أي تأثير مغناطيسي محلي. فإذا تركت هذه الإبرة حركة الحركة فأنها ستتجه ناحية اتجاه الشمال الذي يطلق عليه أسم الشمال المغناطيسي. وهذه هي الفكرة التي بنيت عليها أجهزة البوصلة المغناطيسية التي يمكن استخدامها في الطبيعة لتحديد اتجاه الشمال. لكن أهم مشاكل الشمال المغناطيسي أنه غير ثابت (غير متوازي عند مجموعة من النقاط) بل أنه يتغير عند نفس النقطة من عام لآخر.

٤-٢ الشمال الجغرافي Geographic or True Meridian

هو الاتجاه أو الخط الواصل بين أي نقطة وكلا القطبين الشمالي و الجنوبي للأرض. الشمال الحقيقي هو اتجاه ثابت غير متغير ويتم تحديده من خلال الأرصاد و القياسات الفلكية ، وحيث أنه ثابت وغير متغير فهو المستخدم في إنشاء الخرائط.



شكل (٨) اتجاه الشمال

٤-٣ زاوية الاختلاف Declination Angle

يطلق أسم زاوية الاختلاف علي الزاوية المحصورة بين اتجاهي الشمال المغناطيسي و الجغرافي عند نقطة معينة في زمن معين. فإذا كان الشمال المغناطيسي شرق الشمال الجغرافي فتكون إشارة زاوية الاختلاف موجبه ، وإذا كان الشمال المغناطيسي غرب الشمال الجغرافي فتكون إشارة زاوية الاختلاف سالبة:

الانحراف الجغرافي = الانحراف المغناطيسي ± زاوية الاختلاف (٣٨)

حيث:

+ إن كانت زاوية الاختلاف شرقا

- إن كانت زاوية الاختلاف غربا

يمكن معرفة قيمة زاوية الاختلاف من خلال مواقع بعض الجهات المتخصصة علي شبكة الانترنت مثل موقع الوكالة الأمريكية للمحيطات والمناخ المعروفة باسم NOAA في الرابط التالي:

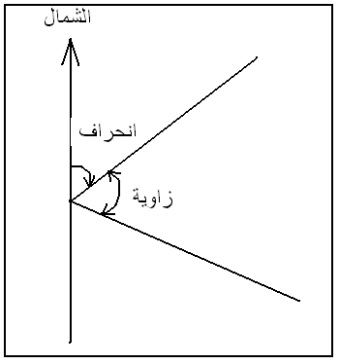
http://www.ngdc.noaa.gov/geomagmodels/Declination.jsp

٤-٤ الشمال الاختياري أو المفروض Arbitrary or Assumed Meridian

في حالة عدم معرفة الراصد في الطبيعة لأيا من اتجاهي الشمال المغناطيسي أو الجغرافي فأنه يقوم بافتراض اتجاه شمال لكي يبدأ منه أعمال القياس المساحي (غالبا يكون اتجاه أحد خطوط العمل المساحي) كاتجاه مرجعي مفروض لهذا العمل. ولاحقا قد يتمكن الراصد من معرفة العلاقة بين هذا الشمال الاختياري والشمال الحقيقي ومن ثم يقوم بتصحيح قياساته لينسبها إلي اتجاه الشمال الحقيقي.

٥- أنواع الانحرافات

يطلق مصطلح "الزاوية" علي الزاوية المقاسة بين خطين ، بينما يطلق مصطلح "الانحراف Bearing or Azimuth" علي الزاوية المقاسة بدءا من اتجاه الشمال إلي الخط المطلوب. فان كان الاتجاه المرجعي (لبدء القياس) هو الشمال المغناطيسي فنحصل علي الانحراف المغناطيسي ، بينما إن كان الاتجاه المرجعي (لبدء القياس) هو الشمال الجغرافي فنحصل علي الانحراف الجغرافي أو الحقيقي.

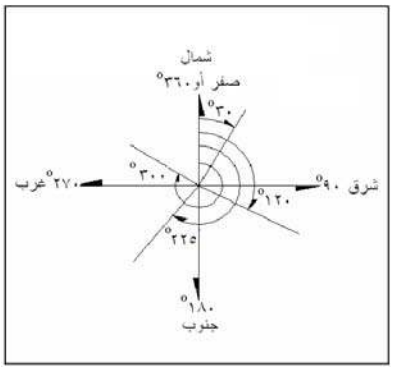


شكل (٩) الزاوية و الانحراف

يوجد نوعين من أنواع الانحرافات المستخدمة في المساحة: الانحراف الدائري و الانحراف المختصر.

٥-١ الانحراف الدائري Azimuth

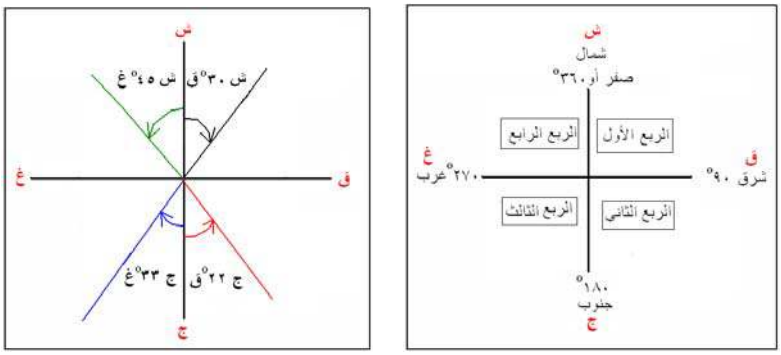
هو الزاوية المقاسة (١) بدءا من اتجاه الشمال (٢) وباتجاه دوران عقرب الساعة ، وتتراوح قيمته بين الصفر و ٣٦٠ درجة ستينية.



شكل (١٠) الانحراف الدائري

٥-٢ الانحراف المختصر Bearing

هو الزاوية المقاسة (١) بدءا من اتجاه الشمال (٢) أو اتجاه الجنوب (٣) وباتجاه دوران عقرب الساعة (٤) أو ضد اتجاه دوران عقرب الساعة، وتتراوح قيمته بين الصفر و ٩٠ درجة ستينية فقط. ولذلك فلا بد من ذكر ربع الدائرة الواقع به الانحراف المختصر.

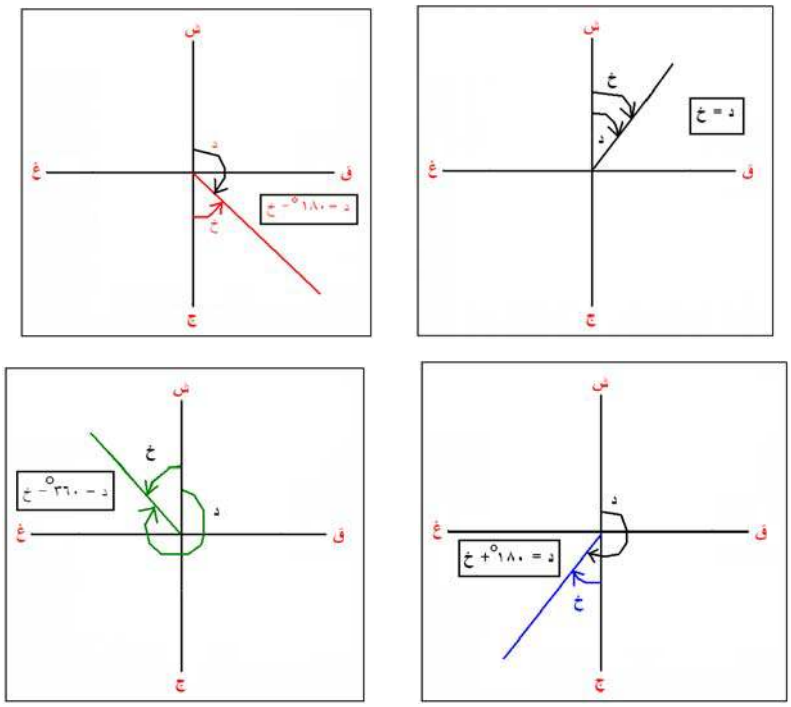


شكل (١١) الانحراف المختصر

٥-٣ التحويل بين الانحراف الدائري و الانحراف المختصر

طبقا للربع الواقع به الانحراف المختصر فيمكن استنباط المعادلات الأربعة التالية للتحويل بين الانحراف الدائري (د) والانحراف المختصر (خ) كما في الشكل التالي:

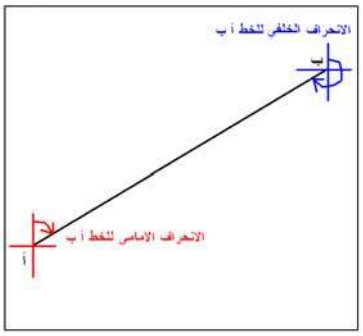
الربع	المعادلة	
الأول	د = خ	(٣٩)
الثاني	د = ١٨٠° – خ	(٤٠)
الثالث	د = ١٨٠° + خ	(٤١)
الرابع	د = ٣٦٠° – خ	(٤٢)



شكل (١٢) التحويل بين الانحراف الدائري و المختصر

٤-٥ الانحراف الأمامي و الانحراف الخلفي لخط

يتكون أي خط من نقطتي البداية و النهاية ، ولذلك فيكون له انحرافين: الانحراف الأمامي وهو الانحراف المقاس عند بداية الخط ، والانحراف الخلفي وهو الانحراف المقاس عند نهاية الخط.



شكل (١٣) الانحراف الأمامي و الخلفي

والعلاقة بينهما هي:

الانحراف الخلفي = الانحراف الأمامي ± ١٨٠° (٤٣)

حيث:

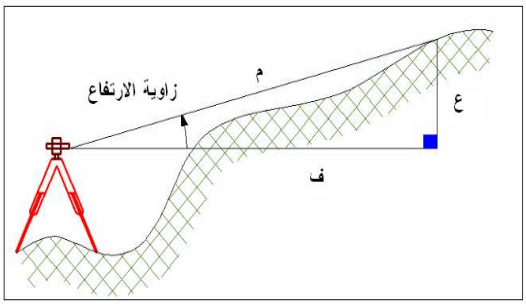
+ عندما يكون الانحراف المعلوم منهما أقل من ١٨٠°

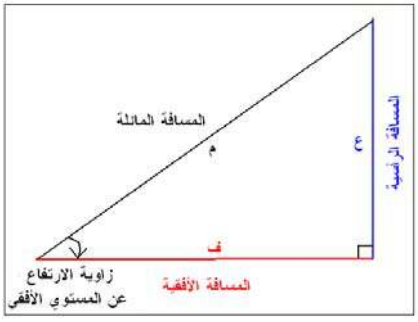
- عندما يكون الانحراف المعلوم منهما أكبر من ١٨٠°

٦- أنواع المسافات

تنقسم المسافات إلي ثلاثة أنواع: الأفقية والمائلة و الرأسية. فعند قياس المسافة بين نقطتين يقعان علي مستوي أفقي واحد (لا يوجد فرق ارتفاع بينهما) فهذه المسافة تسمي المسافة الأفقية. بينما إذا كانت احدي النقطتين مرتفعة عن الأخرى فالمسافة المقاسة بينهما يطبق عليها اسم المسافة المائلة. أما الفرق في المستوي الرأسي بين هاتين النقطتين (فرق الارتفاع بينهما) فيسمي المسافة الرأسية.

يجمع مثلث قائم الزاوية بين المسافات الثلاثة مما يمكننا من حساب مسافة من مسافة أخري بعدة طرق:





شكل (١٤) أنواع المسافات

$م^{٢} = ف^{٢} + ع^{٢}$

أي أن:

$ف = \sqrt{(م^{٢} - ع^{٢})}$ (٤٤)

وبذلك يمكن حساب المسافة الأفقية (التي يتم توقيعها علي الخرائط) بمعلومية قيمة المسافة المائلة (المقاسة في الطبيعة) والمسافة الرأسية (فرق الارتفاع بين النقطتين).

جتا (زاوية الارتفاع) = ف / م

أي أن:

ف = م × جتا (زاوية الارتفاع) (٤٥)

وبذلك يمكن حساب المسافة الأفقية (التي يتم توقيعها علي الخرائط) بمعلومية قيمة المسافة المائلة (المقاسة في الطبيعة) وقيمة زاوية الارتفاع بين النقطتين.

٧- نظرية الأخطاء

يعتمد علم المساحة في المقام الأول علي الأرصاد (القياسات) والتي مهما بلغت دقة قياسها فلن تعطي نتائج صحيحة بصورة مطلقة بل سيكون بها خطأ مهما كان صغيرا جدا. فعلي سبيل المثال إذا قام راصد ذو خبرة كبيرة مستخدما جهاز ثيودليت دقيق بقياس زاوية ما عدد من المرات فلن تكون قيمة الزاوية واحدة في كل هذه القياسات. لذلك من الضروري علي دارس المساحة أن يلم بمصادر الأخطاء و أنواعها و كيفية التغلب عليها – إن أمكن – أو كيفية التعامل معها حسابيا للوصول إلي قيمة أقرب للصحة للكمية (مسافة أو زاوية أو فرق منسوب ...الخ) التي يتم قياسها.

٧-١ مصادر و أنواع الأخطاء

الخطأ هو مقدار الفرق بين القيمة المقاسة (المرصودة) والقيمة الحقيقية لها. لكن من الصعب – إن لم يكن من المستحيل – أن نعرف القيمة الحقيقية لأي قياس، ولذلك فنستعيض عنه بالقيمة الأكثر احتمالا له.

تحدث الأخطاء نتيجة ثلاثة أسباب أو مصادر هي:

(أ) أخطاء إلية:

أخطاء ناتجة عن عيوب الأجهزة المستخدمة في القياس والتي يمكن التغلب عليها من خلال ضبط الجهاز ضبط دائم و معايرته كل فترة و إتباع خطة معينة في الرصد (مثل الرصد متيامن و متياسر بجهاز الثيودليت) وتصحيح أو ضبط الأرصاد من خلال معادلات رياضية (مثلا ضبط زوايا المثلث بحيث يساوي مجموع زواياه ١٨٠ درجة).

(ب) أخطاء شخصية:

أخطاء ترجع للراصد ذاته مثل عدم اعتنائه بعملية الرصد بصورة سليمة أو قلة خبرته العملية.

(ج) أخطاء طبيعية:

أخطاء ترجع أسبابها لتغير الظروف الطبيعية أثناء عملية الرصد مثل تغير تأثير الانكسار الجوي علي الميزان في فترات اليوم الواحد.

تنقسم أنواع الأخطاء إلي أربعة أنواع تشمل:

(١) الغلط أو الخطأ الجسيم Mistake or Blunder or Gross Error:

هو قيمة شاذة تجعل القيم المرصودة غير متجانسة مع بقية الأرصاد المماثلة، وينتج عن قلة الخبرة أو الإهمال في القياس. مثلا عند قياس زاوية عدة مرات فتكتب قيمتها في احدي المرات ١٥٣ درجة بدلا من ١٣٥ درجة، أو التوجيه علي نقطة "أ" وتسجيل قراءة الزاوية علي أنها لنقطة "ب". فإذا تم قياس مسافة عدة مرات كالتالي: ٥٦.٣٢، ٥٦.٣٨، ٥٦.٤٠، ٥٧.٣٨، ٥٦.٣٥، ٥٦.٣٩ متر، فيمكن بالملاحظة اكتشاف أن القيمة ٥٧.٣٨ تعد غلط أو خطأ جسيم حيث أن باقي القيم متقاربة مع بعضها في حدود سنتيمترات بينما هذه القيمة تبعد عنهم بمتر كامل تقريبا. يمكن اكتشاف الغلط من خلال الحرص في المراجعة والتحقق من كل خطوة من خطوات الرصد ثم استبعاده نهائيا من عملية الحسابات المساحية. تجدر الإشارة إلي أن الغلط هو أخطر أنواع الأخطاء وأشدها تأثيرا علي دقة العمل في حالة عدم اكتشافه.

(٢) الخطأ التراكمي Accumulative Error:

هو خطأ صغير القيمة نسبيا (عند مقارنته بقيمة الغلط) يتكرر بنفس المقدار و الإشارة إذا تكرر القياس تحت نفس الظروف وباستخدام نفس الأجهزة ونفس الراصدين. الخطأ المنتظم خطا تراكمي بمعني أن قيمته تزيد كلما تكرر القياس، فمثلا إذا كان هناك خطأ ١٠ سنتيمتر في شريط طوله ٢٠ متر وأستخدمنا هذا الشريط في قياس مسافة تبلغ ١٠٠ متر فأن خطا منتظم قيمته ١٠ سنتيمتر سيكون في كل طرحة (رصدة أو جزء من المسافة، أي في كل ٢٠ متر مقاسه) مما سيجعل الخطأ المنتظم سيبلغ ١٠ سنتيمتر × ٥ مرات قياس = ٥٠ سنتيمتر في نهاية هذه المسافة. يتم التغلب علي الخطأ المنتظم إما بإضافة التصحيحات اللازمة له أو بوضع خطة دقيقة لعملية الرصد ذاتها، ويجب أن يتم ذلك قبل استخدام الأرصاد في العمليات الحسابية المساحية.

(٣) الخطأ المنتظم Systematic Error:

يشبه الخطأ المنتظم الخطأ التراكمي في طبيعته إلا أنه قد يكون تراكميا بنفس المقدار والإشارة وقد يختلف في قيمته و إشارته من أجزاء العمل الحقلي. كمثال تأثير عوامل الطقس (الحرارة والرطوبة) علي قياسات الزوايا و المسافات المقاسة الكترونيا سواء بأجهزة EDM أو المحطات الشاملة، ولذلك توجد معادلات رياضية لحساب قيمة هذا الخطأ المنتظم بناءا علي قيم درجات الحرارة و الرطوبة المقاسة أثناء عملية الرصد الميداني. يتم التغلب علي الأخطاء المنتظمة من خلال إجراء التصحيحات اللازمة أو بوضع خطة دقيقة لعملية الرصد واختيار أنسب ظروف القياس. أيضا يجب أن يتم التغلب

علي الأخطاء المنتظمة و تصحيحها (مثل الأخطاء التراكمية) قبل استخدام الأرصاد في العمليات الحسابية المساحية.

(٤) الخطأ العشوائي أو العارض Random or Accidental Error:

الخطأ العشوائي خطأ متغير غير ثابت لا في القيمة ولا في الإشارة ولا يمكن التنبؤ به ولا معرفة مصدره الرئيسي، ولذلك فأسمه العشوائي. توجد الأخطاء العشوائية - مهما صغرت قيمتها - في كل القياسات ويتم التعامل معها بطرق رياضية لمحاولة الوصول إلي القيمة الأكثر احتمالا للكميات المطلوب حساب قيمتها الدقيقة. وهذا هو موضوع نظرية الأخطاء Theory of Errors أو عملية الضبط Adjustment.

٨- مبادئ إحصائية في المساحة

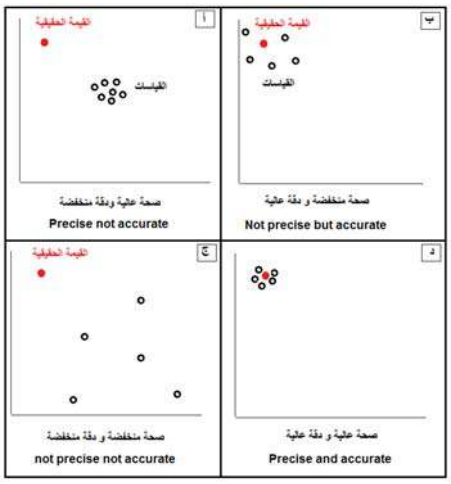
(أ) الدقة Accuracy والصحة Precision:

يجب علي دارس المساحة أن يفرق بين كلا المفهومين وخاصة – للأسف – أن بعض الكتب باللغة العربية تترجم كلا الكلمتين إلي "دقة" مع أنه يوجد اختلاف جذري بينهما. فالصحة (البعض يسميها الإحكام أو الدقة الظاهرية) Precision تدل علي مدي تقارب مجموعة من القياسات لنفس الهدف، أي أن الصحة هي درجة التوافق بين عدة قياسات لقيمة واحدة، أو هي درجة تنقية الأرصاد من الأخطاء معروفة المصدر وإزالة تأثيرها علي القياسات. بينما الدقة Accuracy تدل علي مدي قرب هذه الأرصاد من القيمة الحقيقية لها، أو بمعني آخر فالدقة هي درجة الكمال في الأرصاد وخلوها من الأخطاء بقدر الإمكان.

لنأخذ مثالا: تم قياس مسافة عدد من المرات فكانت النتائج ٨.٢٤ ، ٨.٢٦ ، ٨.٢٠، ٨.٢٢ متر. هذه الأرصاد متقاربة جدا من بعضها مما يجعلنا نقول أن "صحة" الأرصاد عالية. لكن ماذا لو كان الشريط المستخدم في هذه الأرصاد به خطأ منتظم قيمته ٢٠ سنتيمتر مثلا، هنا ستكون كل القياسات بعيدة عن القيمة الحقيقية للمسافة المقاسة ، أي أنها "دقة" الأرصاد ستكون منخفضة.

الشكل التالي يمثل أربعة حالات للفرق بين الدقة و الصحة: (أ) فان كانت القياسات متقاربة جدا من بعضها البعض لكنها في نفس الوقت بعيدة عن القيمة الحقيقية فهنا تكون الصحة عالية لكن الدقة منخفضة، (ب) أما إن كانت القياسات متباعدة عن بعضها البعض لكنها في نفس الوقت قريبة من القيمة الحقيقية فهنا تكون الصحة منخفضة لكن الدقة عالية،

(ج) أما إن كانت القياسات متباعدة عن بعضها البعض وأيضا بعيدة عن القيمة الحقيقية فهنا تكون الصحة منخفضة والدقة منخفضة أيضا، (د) أما إن كانت القياسات متقاربة جدا من بعضها البعض وفي نفس الوقت قريبة من القيمة الحقيقية فهنا تكون الصحة عالية والدقة عالية أيضا.



شكل (١٥) الدقة و الصحة

من الصعب معرفة القيمة الحقيقية لأي قيمة مقاسة لتحديد دقة القياسات، وغالبا نستطيع حساب قيمة هي الأكثر احتمالا أو الأكثر قربا للقيمة الحقيقية. مثلا إذا قمنا بقياس زاوية عدة مرات – وتأكدنا من عدم وجود أية أغلاط أو أخطاء منتظمة أو أخطاء تراكمية – ثم قمنا بحساب متوسط هذه الأرصاد فأنه سيكون أقرب وأكثر احتمالا للقيمة الحقيقية لهذه الزاوية. لكي نحدد مقياس للدقة يتم مقارنة القيمة الأكثر احتمالا (المتوسط) بقيمة المسافة التي تم قياسها بطريقة أدق، فمثلا نقارن متوسط المسافات المقاسة بالشريط مع قيمة المسافة المقاسة بالمحطة الشاملة ونقارن متوسط الزاوية المقاسة بالثيودليت مع قيمة الزاوية المحسوبة من أرصاد النظام العالمي لتحديد المواقع GPS، ونقارن إحداثيات GPS مع إحداثيات تقنية أخري أكثر تقدما ودقة مثل VBLI. Accurate

يمكن تقسيم الأرصاد المساحية إلي مجموعتين:

(١) أرصاد مباشرة Direct Observations:

عند قياس الكمية المطلوبة قياسا مباشرا فمثلا قياس المسافة مباشرة وكذلك قياس الزوايا المطلوبة ... الخ. تسمي هذه الكميات في هذه الحالة كميات مستقلة Independent Observations أي لا تعتمد علي أية أرصاد أو كميات أخري.

(٢) أرصاد غير مباشرة Indirect Observations:

هي الكميات التي لا يمكن قياسها مباشرة لكن يتم عمل أرصاد لكميات أخري والتي منها سيتم تحديد أو حساب قيم الكميات الأصلية المطلوبة. فمثلا قياس طول وعرض مربع بهدف حساب مساحته، وعند حساب إحداثيات نقاط ترافرس فنقيس زوايا و أضلاع الترافرس والتي هنا تمثل أرصاد غير مباشرة. وتسمي الأرصاد غير المباشرة كميات تابعة Dependant Observations لأنها تعتمد في تحديد قيمتها علي قيم أرصاد أخري تتأثر بها.

القيمة الأكثر احتمالا Most-Probable Value:

من الصعب – إن لم يكن من المستحيل – معرفة القيمة الحقيقية لأي كمية مقاسة وذلك لوجود أخطاء في القياس مهما كانت قيمة هذه الأخطاء صغيرة جدا. إن كانت الأرصاد مستقلة ولا تعتمد علي بعضها البعض وقمنا بتكرار القياس عدة مرات فأن قيمة المتوسط الحسابي ستمثل القيمة الأكثر احتمالا أو الأكثر توقعا أو الأكثر قربا للقيمة الحقيقية.

المتوسط الحسابي = مجموع الأرصاد / عدد الأرصاد (٤٦)

$$\bar{y} = \frac{\sum_{i=1}^{n} y_i}{n} \qquad (46)$$

حيث:

y_i تمثل الأرصاد $y_1, y_2, y_3, \ldots\ldots y_n$

n تمثل عدد الأرصاد

الخطأ الحقيقي True Error:

هو الفرق بين القيمة المرصودة والقيمة الحقيقية لها. وبما أن القيمة الحقيقية لا يمكن معرفتها ففي معظم الأحيان فان الخطأ الحقيقية أيضا لا يمكن معرفته. لكن في بعض الحالات يمكن معرفة الخطأ الحقيقي من خلال مواصفات أو قواعد هندسية معلومة فمثلا عند قياس الزوايا الثلاثة لمثلث فيجب أن يساوي مجموع الزوايا ١٨٠ درجة، ففي هذه الحالة يكون الخطأ الحقيقي هو ناتج طرح مجموع الزوايا المقاسة من ١٨٠.

الخطأ الحقيقي = القيمة المرصودة – القيمة الحقيقية (٤٧)

$$\varepsilon_i = y_i - \mu \qquad (47)$$

حيث:

μ القيمة الحقيقية

ε الخطأ الحقيقي

الأخطاء المتبقية أو الفروق Residuals or Discrepancies:

الفرق أو الخطأ المتبقي (أو الباقي) هو الفرق بين القيمة المرصودة و القيمة الحقيقية لها. لكننا نستعيض عن القيمة الحقيقية بالقيمة الأكثر احتمالا لها وبذلك يكون الخطأ المتبقي:

الفرق = القيمة الأكثر احتمالا – القيمة المرصودة (٤٨)

$$v_i = \bar{y} - y_i \qquad (48)$$

حيث:

v الخطأ المتبقي أو الفرق

التباين Variance:

التباين هو مؤشر إحصائي يحدد مدي تباين أو انتشار أو تشتت مجموعة من الأرصاد حول القيمة الحقيقية لها أو القيمة الأكثر احتمالا لها، ولذلك يوجد نوعين من التباين:

تباين المجتمع Population Variance:

إذا تم قياس **كل** الأرصاد الممكنة للقيمة المطلوبة فأن تباين المجتمع يساوي مجموع مربعات الأخطاء **الحقيقية** مقسوما علي عدد الأرصاد:

$$\sigma^2 = \frac{\sum_{i=1}^{n} \varepsilon_i^2}{n} \qquad (49)$$

حيث ε الخطأ الحقيقي لكل رصدة (وهو كما ذكرنا غير معلوم بسبب أن القيمة الحقيقية البا غير معلومة).

تباين العينة Sample Variance:

إذا تم قياس **عينة** أو مجموعة من الأرصاد للقيمة المطلوبة فأن تباين هذه العينة يساوي مجموع مربعات الأخطاء **المتبقية** (وليست الأخطاء الحقيقية) مقسوما علي عدد الأرصاد ناقص واحد:

$$S^2 = \frac{\sum_{i=1}^{n} v_i^2}{n-1} \quad (50)$$

حيث: v الخطأ المتبقي أو الفرق لكل رصدة.

أي أننا في حسابات المساحة نتعامل مع تباين العينة وليس تباين المجتمع وذلك بسبب حساب تباين المجتمع يتطلب معرفة القيمة الحقيقية وهي غير معلومة وبالتالي لا يمكننا معرفة قيم الأخطاء الحقيقية (في المعادلة ٤٧) وذلك بالإضافة إلي أننا لا نستطيع قياس كل الأرصاد الممكنة للقيمة المطلوب قياسها.

الخطأ المعياري Standard Error:

الخطأ المعياري هو الجذر التربيعي لقيمة تباين المجتمع.

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n} \varepsilon_i^2}{n}} \quad (51)$$

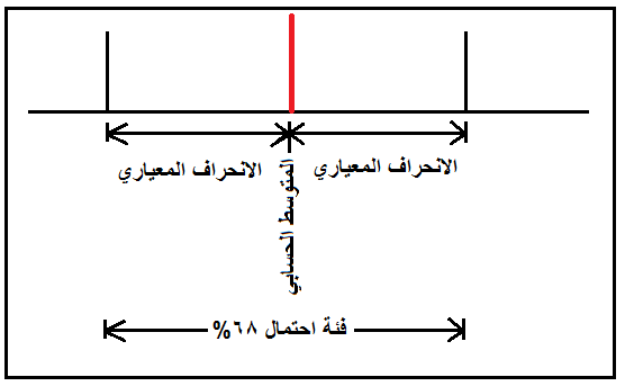
الانحراف المعياري Standard Deviation:

يعبر الانحراف المعياري (يطلق عليه أيضا أسم الخطأ التربيعي المتوسط Mean Square Error) عن مدي انحراف (ابتعاد أو اقتراب) القيمة المقاسة عن القيمة الأكثر احتمالا لها، وقيمته تساوي الجذر التربيعي لقيمة تباين العينة:

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n} v_i^2}{n-1}} \quad (52)$$

ترجع أهمية قيمة الانحراف المعياري إلي وجود احتمال بنسبة ٦٨% أن القيمة الحقيقية ستقع في مدي يتراوح بين (المتوسط + الانحراف المعياري) و (المتوسط - الانحراف المعياري). مثال: إذا كان متوسط عدد من القياسات لمسافة يساوي ٥٣.٢١ متر وكان الانحراف المعياري للقياسات يساوي ± ٠.٠٣ متر فأن القيمة الحقيقية لهذه المسافة ستقع باحتمال ٦٨% بين ٥٣.٢١+٠.٠٣ و ٥٣.٢١-٠.٠٣ أي بين ٥٣.٢٤ و ٥٣.١٩ متر. بمعني آخر يمكن القول أن ٦٨% من القياسات أو الأرصاد يحتمل أن يكون بها خطأ قيمته تساوي قيمة الانحراف المعياري سواء بإشارة موجبة أو سالبة.

كلما صغرت قيمة الانحراف المعياري صغرت حدود هذه الفئة مما يدل علي أن القياسات أقرب ما تكون للقيمة الحقيقية، والعكس صحيح فكلما كبرت قيمة الانحراف المعياري زادت حدود الفئة مما يعطي انطباعا أن القياسات أو الأرصاد بعيدة عن القيمة الحقيقية.



شكل (١٦) العلاقة بين المتوسط و الانحراف المعياري

أيضا يجب ملاحظة أن الانحراف المعياري يعتمد علي عدد الأرصاد، أي أن كلما زاد عدد الأرصاد أو القياسات كلما زاد اقتراب هذه القياسات من القيمة الحقيقية لها وبالتالي تزداد الثقة في القياسات. وهذا من أهم مبادئ العمل المساحي بصفة عامة حيث دائما نفضل أن نقيس الكمية عدد من المرات ولا نكتفي بقياسها مرة واحدة فقط.

الانحراف المعياري للمتوسط Standard Deviation of the Mean:

الانحراف المعياري للمتوسط الحسابي هو حاصل قسمة الانحراف المعياري للعينة علي الجذر التربيعي لعدد الأرصاد:

$$S_{\bar{y}} = \pm\frac{S}{\sqrt{n}} \qquad (53)$$

تعبر قيمة الانحراف المعياري عن مدي تشتت أو تباعد القياسات عن بعضها البعض وبالتالي فهي قيمة معبرة عن مدي التوافق بين الأرصاد ومن ثم فأن الانحراف المعياري يؤخذ علي أنه مقياس أو مؤشر للصحة Precision. وفي العمل المساحي لا نعبر عن القيمة الأكثر احتمالا بقيمة المتوسط فقط إنما بقيمتي المتوسط و الانحراف المعياري معا، فنقول أن المسافة المقاسة – علي سبيل المثال – تساوي ٥٣.٢١ ± ٠.٠٣ متر.

بالعودة لتعريف كلا من الصحة و الدقة نستطيع القول أن الانحراف المعياري (الذي هو أساسا مؤشر للصحة Precision) يمكنه أن يعبر عن الدقة Precision في حالة خلو الأرصاد بقدر الإمكان من الأخطاء المنتظمة والأخطاء التراكمية والأغلاط. ففي حالة خلو الأرصاد من مصادر الأخطاء المعروفة فأن القياسات لن يكون بها إلا الأخطاء العشوائية فقط وبالتالي ستقترب قيم الأخطاء المتبقية أو الفروق من قيم الأخطاء الحقيقية وستقترب القيمة الأكثر احتمالا من القيمة الحقيقية للكمية المقاسة، ومن هنا فأن قيمة الانحراف المعياري ستقترب من قيمة الخطأ الحقيقي مما يجعل الانحراف المعياري يعبر -

بدرجة كبيرة - عن الدقة. هنا تأتي أهم مبادئ العمل المساحي وهو أنه يحاول تحقيق أعلي درجة من الدقة في الرصد الحقلي سواء دقة الأجهزة المستخدمة أو دقة أساليب الرصد الميداني واتخاذ كافة الاحتياطات و تطبيق مواصفات الرصد وزيادة عدد الأرصاد مما يجعل الأرصاد المساحية خالية بقدر الإمكان من الأخطاء معلومة المصدر وبذلك فتكون نتائج الحسابات المساحية معبرة عن دقة الكميات المطلوب تحديدها.

مثال ١:

قيست مسافة ستة مرات فكانت الأرصاد كالتالي: ٥١.١٢، ٥١.١٤، ٥١.١٨، ٥١.١٩، ٥١.٢٢، ٥١.١٦ متر. أحسب القيمة الأكثر احتمالا لهذه المسافة.

مجموع المسافات المقاسة = ٥١.١٢ + ٥١.١٤ + ٥١.١٨ + ٥١.١٩ + ٥١.٢٢ + ٥١.١٦ = ٣٠٧.٠١ متر

المتوسط الحسابي = مجموع المسافات ÷ عددهم = ٣٠٧.٠١ ÷ ٦ = ٥١.١٦٨ متر

نحسب الخطأ المتبقي لكل قياس = المتوسط - الرصدة

الخطأ المتبقي للرصدة رقم ١ = ٥١.١٦٨ – ٥١.١٢ = ٠.٠٤٨ متر

الخطأ المتبقي للرصدة رقم ٢ = ٥١.١٦٨ – ٥١.١٤ = ٠.٠٢٨ متر

وهكذا كما في العمود الثالث من الجدول التالي.

نحسب مربع كل خطأ متبقي للقياسات:

مربع الخطأ المتبقي للرصدة رقم ١ = ٠.٠٤٨ × ٠.٠٤٨ = ٠.٠٠٢٣٣٦ متر مربع

مربع الخطأ المتبقي للرصدة رقم ٢ = ٠.٠٢٨ × ٠.٠٢٨ = ٠.٠٠٠٨٠٣ متر مربع

وهكذا كما في العمود الرابع من الجدول التالي.

نحسب مجموع مربعات الأخطاء المتبقية = ٠.٠٠٦٤٨٣ متر مربع

نحسب تباين العينة = ٠.٠٠٦٤٨٣ ÷ (٦-١)) = ٠.٠٠١٢٩٦٧ متر مربع

نحسب الانحراف المعياري (المعادلة ١٢-٧) = جذر (٠.٠٠١٢٩٦٧) = ٠.٠٣٦ متر.

م	القياسات Y	الفروق v	مربع الفروق v2
1	51.12	0.048	0.002336
2	51.14	0.028	0.000803
3	51.18	-0.012	0.000136
4	51.19	-0.022	0.000469
5	51.22	-0.052	0.002669
6	51.16	0.008	0.000069

العدد	6		
المجموع	307.010		0.006483
المتوسط	51.168		

تباين المجتمع			0.0012967
الانحراف المعياري			0.036
الانحراف المعياري للمتوسط			0.015

القيمة الأكثر احتمالا = المتوسط ± الانحراف المعياري

= ٥١.١٦٨ ± ٠.٠١٥ متر.

٩- مبدأ الوزن في القياسات المساحية

في المثال السابق قمنا بحساب المتوسط و الانحراف المعياري للمسافة التي تم قياسها عدد من المرات لكننا افترضنا أن كل القياسات متساوية في الدقة و الأهمية. ماذا لو كانت بعض القياسات قد تمت باستخدام الشريط بينما القياسات الأخرى تمت باستخدام جهاز EDM؟ هل ستكون كل القياسات متساوية في الأهمية ومقدار الثقة بها؟ هنا يأتي دور الوزن weight ليكون مفهوما يعبر عن مدي اختلاف أهمية أو الثقة في بعض القياسات. فكلما كانت الثقة في الرصدة كبيرة فيكون وزنها (أهميتها النسبية) كبيرا والعكس صحيح فكلما كانت الثقة ضعيفة في رصدة معينة فيجب أن يكون وزنها أقل. فعلي سبيل المثال إذا قمنا برصد زاوية معينة مرة باستخدام محطة شاملة دقتها ١" ومرة أخري باستخدام جهاز ثيودوليت دقته ٥" فأن وزن الزاوية الأولي يجب أن يكون – منطقيا- أكبر من وزن الزاوية الثانية حيث أن دقة الجهاز المستخدم أعلي في الأولي من الثانية.

وبناءا علي مبدأ الوزن (أو الأهمية النسبية) فأن طريقة حساب المتوسط ستتغير لنحسب ما نطلق عليه أسم المتوسط الموزون Weighted Mean (لنفرق بينه وبين المتوسط العادي في المعادلة (٤٦) والذي كان يعتمد علي أن كل القياسات متساوية في الأهمية أو متساوية في الوزن):

المتوسط الموزون = مجموع (حاصل ضرب كل رصدة× وزنها) / مجموع الأوزان

$$\bar{y} = \frac{\sum_{i=1}^{n} y_i \, w_i}{\sum_{i=1}^{n} w_i} \qquad (54)$$

كما ستتغير أيضا طريقة حساب الانحراف المعياري عند وجود أوزان مختلفة للقياسات (بدلا من المعادلة ٥٢) وذلك بحساب الجذر التربيعي لقيمة الناتج من قسمة مجموع حاصل ضرب (مربع الخطأ المتبقي لكل رصدة في وزن الرصدة) علي عدد الأرصاد ناقص واحد:

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n} v_i^2 \, w_i}{n-1}} \qquad (55)$$

كذلك ستتغير معادلة حساب الانحراف المعياري للمتوسط (٥٣) لتصبح ناتج قسمة الانحراف المعياري علي الجذر التربيعي لمجموع الأوزان:

$$S_{\bar{y}} = \pm \frac{S}{\sqrt{w}} \qquad (56)$$

مثال ٢:

قيست مسافة ستة مرات فكانت الأرصاد كالتالي: ٥١.١٢، ٥١.١٤، ٥١.١٨، ٥١.١٩، ٥١.٢٢، ٥١.١٦ متر، وكانت أوزان الأرصاد بالترتيب هي ٦، ٥، ٣ ، ١، ١، ٣. أحسب القيمة الأكثر احتمالا لهذه المسافة.

نحسب مجموع الأوزان = ٦ + ٥ + ٣ + ١ + ١ + ٣ = ١٩

نحسب حاصل ضرب الرصدة × وزنها:

للرصدة رقم ١ = ٥١.١٢ × ٦ = ٣٠٦.٧٢٠

للرصدة رقم ٢ = ٥١.١٤ × ٥ = ٢٥٥.٧٠٠

وهكذا كما في العمود الرابع من الجدول التالي.

مجموع (الرصدة×الوزن) أي مجموع العمود الرابع = ٩٧١.٨٥٠

المتوسط الحسابي الموزون = مجموع (الرصدة×الوزن) ÷ مجموع الأوزان

= ٩٧١.٨٥٠ ÷ ١٩ = ٥١.١٥٠ متر

نحسب الخطأ المتبقي لكل قياس = المتوسط الموزون - الرصدة

الخطأ المتبقي للرصدة رقم ١ = ٥١.١٥٠ – ٥١.١٢ = ٠.٠٣٠ متر

الخطأ المتبقي للرصدة رقم ٢ = ٥١.١٥٠ – ٥١.١٤ = ٠.٠١٠ متر

وهكذا كما في العمود الخامس من الجدول التالي.

نحسب مربع كل خطأ متبقي للقياسات:

مربع الخطأ المتبقي للرصدة رقم ١ = ٠.٠٣٠ × ٠.٠٣٠ = ٠.٠٠٠٩ متر مربع

مربع الخطأ المتبقي للرصدة رقم ٢ = ٠.٠١٠ × ٠.٠١٠ = ٠.٠٠٠٠١ متر مربع

وهكذا كما في العمود السادس من الجدول التالي.

نحسب حاصل ضرب (الخطأ المتبقي× الوزن):

للرصدة رقم ١ = ٠.٠٠٠٩ × ٦ = ٠.٠٠٥٤ متر

للرصدة رقم ٢ = ٠.٠٠٠١ × ٥ = ٠.٠٠٠٥ متر

وهكذا كما في العمود السابع من الجدول التالي.

نحسب مجموع حاصل ضرب (مربعات الأخطاء المتبقية × الوزن) أي مجموع العمود السابع = ٠.٠١٥٤ متر مربع

نحسب تباين العينة = ٠.٠١٥٤ ÷ (٦-١)) = ٠.٠٠٣٠٨ متر مربع

نحسب الانحراف المعياري (المعادلة ١٢-١٠) = جذر (٠.٠٠٣٠٨) = ٠.٠٥٥ متر.

القيمة الأكثر احتمالا = المتوسط ± الانحراف المعياري = = ٥١.١٥٠ ± ٠.٠١٣ متر.

م	القياسات y	الأوزان w	الرصدة × الوزن y.w	الفروق V	مربع الفروق v2	مربع الفروق × الوزن w.v2
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

العدد	6					
المجموع	307.01	19	971.85		0.00850	0.01540
المتوسط الموزون			51.150			

تباين المجتمع					0.001700	0.003080
الانحراف المعياري						0.055
الانحراف المعياري للمتوسط						0.013

بمقارنة نتائج هذا المثال بنتائج المثال السابق نجد أن:

- قيمة المتوسط الموزون (٥١.١٥٠ متر) تختلف عن قيمة المتوسط العادي (٥١.١٦٨ متر).
- قيمة الانحراف المعياري للمتوسط الموزون (± ٠.٠١٣ متر) أقل من قيمة الانحراف المعياري العادي (± ٠.٠١٥ متر).

يرجع السبب في هذه الاختلافات إلي أننا في المثال الأول قد تعاملنا مع كل الأرصاد بنفس قيمة الوزن أو الأهمية أو مقدار الثقة فيها، بينما في المثال الثاني 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. وكذلك فأن قيمة الانحراف المعياري في المثال الثاني أقل من المثال الأول بسبب أن الأرصاد صغيرة الوزن لم تعد مؤثرة بدرجة كبيرة مما يقلل من قيمة التباين أو التشتت بين مجموعة الأرصاد ككل وهذا يؤدي لتحسن قيمة الانحراف المعياري للمتوسط.

١٠- سريان الأخطاء

كما سبق القول فأن الأرصاد المساحية إما أن تكون أرصاد مباشرة (كميات مستقلة) أو أرصاد غير مباشرة (كميات تابعة). وفي حالة الأرصاد غير المباشرة فيتم حساب (وليس قياس) القيم المطلوبة بواسطة معادلات رياضية تعتمد علي القيم المقاسة. وحيث أن القيم المقاسة سيكون بها قدر من الخطأ فأنه سينتقل بصورة أو بآخري إلي القيم المحسوبة ومن ثم يؤثر علي دقتها، وهذا ما يسمي بسريان الأخطاء error propagation.

١٠-١ المعادلة العامة لسريان الأخطاء

إذا كان لدينا عدد من الكميات المقاسة المستقلة (independent observations):

مثل a, b, c, ...n وتم قياس كلا منهم بأخطاء تبلغ $E_a, E_b, E_c, ...E_n$ وكانت القيمة Z قيمة محسوبة من هذه الأرصاد بدالة رياضية عامة:

$$Z = f (a, b, c, ... n) \quad (57)$$

فأن الخطأ في القيمة المحسوبة يساوي:

$$E_Z = \pm\sqrt{(\partial f/\partial a)E_a)^2 + (\partial f/\partial b)E_b)^2 + (\partial f/\partial c)E_c)^2 + ... + (\partial f/\partial n)E_n)^2} \quad (58)$$

حيث:

$\delta f/\delta a$ هو تفاضل الدالة f بالنسبة للمتغير a ،

$\delta f/\delta b$ هو تفاضل الدالة f بالنسبة للمتغير b ، ..... وهكذا.

١٠-٢ سريان الأخطاء للمعادلات الخطية

١٠-٢-١ سريان الأخطاء في حساب المجموع

في حالة حساب القيمة Z كمجموع لعدة قياسات ..... a, b, c, :

Z = a + b + c + ...

فأن التفاضل $\delta Z/\delta a$ سيساوي ١، وبالمثل سيكون تفاضل الدالة Z لجميع العناصر الأخرى، ومن ثم فأن المعادلة (٥٨) ستصبح:

$$E_{sum} = \pm\sqrt{E_a^2 + E_b^2 + E_c^2 + ...} \qquad (59)$$

مثال:

تم قياس خط علي ثلاثة أجزاء فكانت القيم كالتالي: ٧٥٣.٨١±٠.٠١٢ و ١٢٣٨.٤٠±٠.٠٢٨ و ١٠٦٢.٩٥±٠.٠٢٠ متر، أحسب طول الخط الإجمالي والانحراف المعياري المتوقع له؟

طول الخط = ٧٥٣.٨١ + ١٢٣٨.٤٠ + ١٠٦٢.٩٥ = ٣٠٥٥.١٦ متر

وبتطبيق المعادلة ١٠-٣ فأن الانحراف المعياري لطول الخط:

$$E_{sum} = \pm\sqrt{0.012^2 + 0.028^2 + 0.020^2} = \pm 0.036$$

١٠-٢-٢ سريان الأخطاء في مجموعة قياسات

في حالة قياس مجموعة من الأرصاد (زاويا أو مسافات مثلا) بعدد وليكن n وكانت قيمة الخطأ المتوقع في كل قياس من المجموعة متساويا، وليكن E ، فأن الخطأ المتوقع في مجموع هذه الأرصاد يساوي:

$$E_{seies} = \pm\sqrt{E^2 + E^2 + E^2 + ...} = \pm\sqrt{nE^2} = \pm E\sqrt{n} \qquad (60)$$

مثال ١:

إذا تم استخدام شريط لقياس مسافة بطول ١٠٠ متر فأن الخطأ المتوقع سيكون ± ٠.٠٢ متر، أحسب كم سيكون الخطأ المتوقع عند استخدام هذا الشريط لقياس مسافة تبلغ ٥٠٠٠ متر؟

عدد مرات القياس n = ٥٠٠٠ / ١٠٠ = ٥٠

$$E_{seies} = \pm E\sqrt{n} = \pm 0.02\sqrt{50} = \pm 0.14m$$

مثال ٢:

إذا كان المطلوب قياس مسافة تبلغ ١٠٠٠ متر بخطأ لا يزيد عن ± ٠.١٠ متر، فكم سيكون الخطأ في قياس كل ١٠٠ متر للحصول علي هذه الدقة المطلوبة؟

سنغير قليلا في المعادلة (٦٠) لتنتج لنا المعادلة:

$$E = E_{seies} / \sqrt{n} \qquad (61)$$

وحيث أن عدد مرات القياس n = ١٠٠/١٠٠٠ = ١٠

فأن دقة القياس للمسافة ١٠٠ متر تساوي:

$$E = E_{seies} / \sqrt{n} = 0.10 / \sqrt{10} = \pm 0.03m$$

١٠-٢-٣ سريان الأخطاء في معادلة ضرب

في حالة أن الكمية المحسوبة تساوي حاصل ضرب قيمتين مقاستين فأن الخطأ المتوقع سيكون:

C = A B

$$E_C = \pm\sqrt{A^2 E_b^2 + B^2 E_a^2} \qquad (62)$$

مثال ١:

تم قياس طول و عرض قطعة أرض مستطيلة الشكل فكانت الأرصاد كالتالي: ٢٥٢.٤٦ ± ٠.٠٥٣ متر و ٦٠٥.٠٨ ± ٠.٠٧٢ متر، أحسب مساحة قطعة الأرض و الخطأ المتوقع بها؟

المساحة = ٢٥٢.٤٦ × ٦٠٥.٠٨ = ١٥٢٧٦٠ متر مربع

$$E_C = \pm\sqrt{A^2 E_b^2 + B^2 E_a^2} = \pm\sqrt{(252.46)^2 (0.072)^2 + (605.08)^2 (0.053)^2} = \pm 36.9m^2$$

١٠-٢-٤ سريان الأخطاء في المتوسط

عند قياس قيمة عدد n من المرات وكان خطأ القياس في كل رصده هو E فأن الخطأ المتوقع في متوسط هذه القياسات يبلغ:

$$E_{mean} = \pm E / \sqrt{n} \qquad (63)$$

مثال:

قيست مسافة عدد من المرات فكانت الأرصاد كالتالي: ٥٣٨.٥٧، ٥٣٨.٣٩، ٥٣٨.٣٧، ٥٣٨.٣٩، ٥٣٨.٤٨، ٥٣٨.٤٩، ٥٣٨.٣٣، ٥٣٨.٤٦، ٥٣٨.٤٧، ٥٣٨.٥٥ متر.

عدد الأرصاد n = ١٠

المتوسط = مجموع الأرصاد / n = ٥٣٨٤.٥٠ / ١٠ = ٥٣٨.٤٥ متر

وبإتباع معادلة حساب الانحراف المعياري للرصدة الواحدة:

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n} v_i^2}{n-1}} \quad = \pm 0.078 \text{ m}$$

وهو ما سنستخدمه علي أنه الخطأ المتوقع للرصدة الواحدة، ومن ثم فأن الخطأ المتوقع للمتوسط سيكون:

$$E_{mean} = \pm E/\sqrt{n} = \pm 0.078/\sqrt{10} = \pm 0.025m$$

٣-١٠ سريان الأخطاء للمعادلات غير الخطية

في حالة كون المعادلة الأساسية (لحساب قيمة بطريقة غير مباشرة من قيم مقاسة مباشرة) معادلة غير خطية non-linear فيتم استخدام ما يعرف باسم مجموعة مشتقات تايلور Taylor series expansion لتحويل المعادلة غير الخطية إلي معادلة خطية.

بافتراض أن لدينا القيمة المرصودة L التي لها معادلة أو دالة function غير خطية تجمعها مع القيم المجهولة x, y كالآتي:

$$L = f(x,y) \qquad (64)$$

فان نظرية تايلور تجعل المعادلة في الصورة:

$$L = f(x_o, y_o) + (\partial L/\partial x)_o/1!)dx + (\partial^2 L/\partial x^2)_o/2!)dx^2 + \ldots\ldots + (\partial^n L/\partial x^n)_o/n!)dx^n + (\partial L/\partial y)_o/1!)dy + (\partial^2 L/\partial y^2)_o/2!)dy^2 + \ldots\ldots + (\partial^n L/\partial y^n)_o/n!)dy^n + R$$

..... (65)

حيث:

x_o, y_o قيم تقريبه لكلا من x, y المجهولين

$f(x_o,y_o)$ قيمة الدالة (المعادلة) f باستخدام القيم التقريبية x_o, y_o

R المتبقيات remainder

dx, dy التصحيحات المطلوبة للقيم التقريبية بحيث أن:

$$x = x_o + dx$$

$$y = y_o + dy \qquad (66)$$

لكن القيم التي في المعادلة (٦٥) للحدود العليا لن تكون ذات تأثير كبير، مما يسمح لنا بتبسيط معادلة تايلور (بالتعامل مع التفاضل الأول للدالة الأصلية فقط) كما في الصورة التالية:

$$L = f(x_o, y_o) + (\partial L/\partial x)_o dx + (\partial L/\partial y)_o dy \qquad (67)$$

وهذه صورة مبسطة لمعادلة تايلور ويسهل حسابها بمجرد اختيار القيم التقريبية x_o, y_o، إلا أن الناتج لن يكون دقيقا (بسبب إهمال الحدود العليا في المعادلة الأصلية) ومن ثم فتتم عملية تكرارية iterative بحيث أن الناتج من التكرار الأول يتم اعتباره قيم تقريبية مرة أخري لعمل التكرار الثاني ،،،،، وهكذا. أي أن خطوات الحساب ستتكون من:

١. نحدد قيم تقريبية x_o, y_o للقيم المجهولة، والتي يمكن الحصول عليها من الأرصاد الأساسية مع ملاحظة أنه كلما كانت القيم التقريبية قريبة من القيم الحقيقية (المجهولة) كلما أدي ذلك إلي عدد أقل من الخطوات التكرارية.
٢. نعوض بالقيم التقريبية في المعادلة (٦٧) فينتج لنا حل المعادلة أي قيم dx, dy
٣. نحسب قيم جديدة للمجاهيل (من المعادلة ٦٦) بإضافة التصحيحات السابقة إلي القيم التقريبية
٤. نستخدم القيم من الخطوة السابقة علي أنها قيم تقريبية جديدة، ونكرر الخطوتين السابقتين.
٥. تستمر هذه الخطوات التكرارية حتى تكون قيم التصحيحات dx, dy صغيرة جدا أو غير مؤثرة، وهذا ما يطلق عليه مصطلح أن حل المعادلة صار متقاربا converged.

<u>مثال:</u>

حول المعادلتين غير الخطيتين التاليتين إلي الصورة الخطية بهدف حلهما معا:

$F(x,y): \quad x + y - 2y^2 = -4$

$G(x,y): \quad x^2 + y^2 = 8$

نحسب التفاضل الأول لكل معادلة بالنسبة لكلا المجهولين x, y كالتالي:

$\delta F/\delta x = 1$ and $\delta F/\delta y = 1 - 4y$

$\delta G/\delta x = 2x$ and $\delta G/\delta y = 2y$

وبتطبيق المعادلة (٦٧) نحصل علي :

$$L = f(x_o, y_o) + (\partial L/\partial x)_o dx + (\partial L/\partial y)_o dy$$

$F = (x+y-2y^2) + 1\ dx + (1-4y)\ dy = -4$

$G = (x2+y2) + 2x\ dx + 2\ y\ dy = 8$

الآن سنختار قيم تقريبية للمجهول x = ١ وللمجهول y = ١ ، أي أن:

$x = 1 + dx$

$y = 1 + dy$

نعوض بهذه القيم التقريبية في المعادلتين السابقتين:

$F(x,y): \quad (x + y - 2y^2) + 1\,dx + (1-4y)\,dy = -4$

$F(x,y): \quad 1 + 1 - 2(1)^2 + dx + (1 - 4(1))\,dy = -4$

$dx + dy - 4\,dy = -4$

$dx - 3\,dy = -4$

$G(x,y): \quad (x^2 + y^2) + 2x\,dx + 2y\,dy = 8$

$G(x,y): \quad ((1)^2 + (1)^2) + 2(1)\,dx + 2(1)\,dy = 8$

$2 + 2\,dx + 2\,dy = 8$

$2\,dx + 2\,dy = 6$

$dx + dy = 3$

الآن أصبح لدينا معادلتين خطيتين (بدلا من المعادلتين الأصليتين غير الخطيتين) مما يجعل حلهما معا أسهل و أسرع وأبسط. فنقوم بحلهما آنيا simultaneously لحساب قيمة كلا من dx, dy كالتالي:

من المعادلة الأولي:

$dx - 3\,dy = -4$

$dx = -4 + 3\,dy$

نعوض في المعادلة الثانية:

$dx + dy = 3$

$(-4 + 3\,dy) + dy = 3$

$4\,dy = 7$

$dy = 7/4 = 1.75$

ونعوض فنعوض بهذه القيمة في المعادلة الأولي:

$dx - 3\,dy = -4$

$dx - 3(1.75) = -4$

$dx = -4 + 5.25 = 1.25$

إذن القيمة المحسنة للمجهولين x, y تصبح الآن (من المعادلة ١٠-١٠):

$x = x_0 + dx = 1 + 1.25 = 2.25$

$y = y_0 + dy = 1 + 1.75 = 2.75$

كانت هذه هي خطوات التكرار الأول first iteration، والآن سنبدأ في إعادة نفس الخطوات للتكرار الثاني:

$F(x,y): \quad (x + y - 2y^2) + 1\,dx + (1-4y)\,dy = -4$

$F(x,y): \quad 2.25 + 2.75 - 2\,(2.75)^2 + dx + (1 - 4(2.75))\,dy = -4$

$G(x,y): \quad (x^2 + y^2) + 2x\,dx + 2y\,dy = 8$

$G(x,y): \quad ((2.25)^2 + (2.75)^2) + 2\,(2.25)\,dx + 2\,(2.75)\,dy = 8$

وبنفس الطريقة نحل هاتين المعادلتين الخطيتين معا، فنحصل علي النتائج التالية:

$dx = -0.25$

$dy = -0.64$

ومن ثم فأن القيم المحسنة للمجهولين x, y تصبح:

$x = x_0 + dx = 2.25 - 0.25 = 2.00$

$y = y_0 + dy = 2.75 - 0.64 = 2.11$

ثم نستمر بنفس الأسلوب في التكرار الثالث:

$F(x,y): \quad (x + y - 2y^2) + 1\,dx + (1-4y)\,dy = -4$

$F(x,y): \quad 2.00 + 2.11 - 2\,(2.11)^2 + dx + (1 - 4(2.11))\,dy = -4$

$G(x,y): \quad (x^2 + y^2) + 2x\,dx + 2y\,dy = 8$

$G(x,y): \quad ((2.00)^2 + (2.11)^2) + 2\,(2.00)\,dx + 2\,(2.11)\,dy = 8$

وبنفس الطريقة نحل هاتين المعادلتين الخطيتين معا، فنحصل علي النتائج التالية:

$dx = 0.00$

$dy = -0.11$

ومن ثم فأن القيم المحسنة للمجهولين x, y تصبح:

$x = x_0 + dx = 2.00 + 0.00 = 2.00$

$y = y_0 + dy = 2.11 - 0.11 = 2.00$

ثم نستمر بنفس الأسلوب في التكرار الرابع:

$F(x,y): \quad (x + y - 2y^2) + 1\,dx + (1-4y)\,dy = -4$

$F(x,y): \quad 2.00 + 2.00 - 2\,(2.00)^2 + dx + (1 - 4(2.00))\,dy = -4$

$G(x,y): \quad (x^2 + y^2) + 2x\,dx + 2y\,dy = 8$

$G(x,y): \quad ((2.00)^2 + (2.00)^2) + 2\,(2.00)\,dx + 2\,(2.00)\,dy = 8$

وبنفس الطريقة نحل هاتين المعادلتين الخطيتين معا، فنحصل علي النتائج التالية:

dx = 0.00

dy = 0.00

وهنا سنجد أن قيم التصحيحات (dx, dy) أصبحت صفرا، أي أن حل المعادلتين أصبح متقاربا converged ومن ثم فأن آخر قيم حصلنا عليها للمجهولين x, y (من التكرار الثالث) هي القيم المطلوبة:

x = 2.00 , y = 2.00

١٠-٤ أمثلة لسريان الأخطاء للمعادلات غير الخطية في التطبيقات المساحية

مثال ١:

لقياس ارتفاع برج تم استخدام ثيودليت لقياس زاوية ارتفاع قمة البرج فكان متوسط عدة قياسات ٣٠' ٢° ± ١'. وتم قياس المسافة الأفقية فكانت النتيجة ١٤٣.٥ ± ٠.٥ متر. أحسب القيمة الأكثر احتمالا لارتفاع هذا البرج.

المعادلة غير الخطية لارتفاع البرج (الميزانية المثلثية) :

$h = D \tan \theta$

$= 143.5 \tan 2^{\circ} 30' = 6.268$ m

حيث:

h ارتفاع البرج

D المسافة الأفقية

θ الزاوية الرأسية

وتكون المشتقة التفاضلية لهذه المعادلة بالنسبة لكلا من h, D كالآتي:

$$\delta h / \delta D = \tan \theta$$

$$\delta h / \delta \vartheta = D / \cos^2 \theta$$

ومن ثم فأن تطبيق المعادلة (١٠-٦):

$$E_C = \pm \sqrt{A^2 E_b^2 + B^2 E_a^2}$$

يعطي في المثال الحالي المعادلة التالية:

$$\sigma_h^2 = \sqrt{\sigma_D^2 (\delta h / \delta \theta)^2 + \sigma_\theta^2 (\delta h / \delta D)^2}$$

$$\sigma_h^2 = \sqrt{\sigma_D^2 (\tan^2 \theta)^2 + \sigma_\theta^2 (D / \cos^2 \theta)^2}$$

$$\sigma_h^2 = \sqrt{0.5^2(\tan^2\theta)^2 + 1'(143.5/\cos^2\theta)^2}$$

ولتوحيد وحدات أية معادلة بها وحدات طولية و وحدات زاوية: فيتم تحويل وحدات الزاوية بالثواني إلي وحدات طولية بقسمتها علي الثابت ٢٠٦٢٦٥ ، أو تحويل وحدات الزاوية بالدقائق إلي وحدات طولية بقسمتها علي الثابت ٦٠/٢٠٦٢٦٥=٣٤٣٨.

$$\sigma_h^2 = \sqrt{0.5^2(\tan^2\theta)^2 + (1'/3438)(143.5/\cos^2\theta)^2} = \pm 0.047m$$

أي أن ارتفاع البرج يبلغ ٦.٢٦٨ ± ٠.٠٤٧ متر

ملحق رقم ٣
أجهزة المساحة الأرضية

١- مقدمة

تطور علم المساحة بدرجة هائلة في القرن العشرين الميلادي مع ابتكار أجهزة قياس المسافات بالليزر وإطلاق الأقمار الصناعية واختراع الحاسبات الآلية. ومع تعدد تطبيقات علم المساحة في المجالات المدنية و العسكرية علي كافة تخصصاتها بدأ البعض يطلق أسماء جديدة علي هذا العلم مثل علم الجيوماتكس Geomatics ليكون تعبيرا شاملا عن التكامل بين المساحة الأرضية و المساحة الفضائية و الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية. ومن التعريفات الحديثة لعلم الجيوماتكس أنه العلم و الفن و التقنيات الخاصة بالطرق والوسائل المختلفة لقياس و تجميع المعلومات الخاصة بالسطح الفيزيائي و البيئي للأرض والتعامل مع هذه المعلومات لإنتاج خرائط متعددة الأغراض مع رفع كفاءة تجميع و تدقيق و تحديث البيانات المكانية ذات البعد الجغرافي وإدارة هذه البيانات داخل قاعدة بيانات نظم المعلومات الجغرافية مع ضمان تطورها و استدامتها. يتعرض هذا الملحق لأجهزة قياس المسافات و أجهزة الميزان و الثيودوليت و المحطة الشاملة.

٢- أجهزة قياس المسافات

تعد المسافات أحد أهم أنواع القياسات المساحية ، وان كانت هي أقدمها تاريخيا إلا أنها مازالت تحتل جانبا كبيرا من الأهمية في العمل المساحي. وكم هو معروف فأننا نقوم بقياس المسافة المائلة (المباشرة أو الفراغية) في الطبيعة ثم نحولها – حسابيا – إلي المسافة الأفقية التي يتم توقيعها في الخرائط. يوجد أسلوبين لقياس المسافات في الطبيعة: إما بالشريط أو باستخدام جهاز قياس المسافات الكترونيا.

٢-١ قياس المسافات بالشريط

تصنع الشرائط Tapes إما من (١) الصلب أو من (٢) مادة الكتان أو التيل ، بينما للقياسات الدقيقة يتم استخدام (٣) شريط الأنفار (٣٥% من مادة النيل و ٦٥% من الحديد) حيث أن لا يتأثر كثيرا بالحرارة إلا أنه أغلي سعرا من كلا النوعين السابقين. تأتي الشرائط في أطوال محددة هي ١٠، ٢٠ ، ٣٠ ، ٥٠ ، ١٠٠ متر.

شكل (١) أنواع الشريط

يتميز شريط التيل بسهولة حمله لأنه خفيف وعادة يتم استخدامه في الأعمال التي لا تتطلب دقة عالية لأنه يتأثر بالبلل ويتغير طوله نتيجة الشد. أما الشريط الصلب فهو أدق من النوع الأول نظرا لصلابته وقله تمدده أو انكماشه إلا أنه أثقل وزنا من الشريط الكتان كما أنه قابل للصدأ.

أدوات مساعدة مع الشريط

عند قياس المسافات بالشريط (في حالة أن المسافة المطلوب قياسها أكبر من طول الشريط ذاته) فتوجد عدة أدوات مساعدة تشمل:

١- الشواخص Range Pole or Rod:

يتكون الشاخص من عمود خشبي (أو معدني أحيانا) يتراوح طوله بين ٢ و ٥ متر ، ويستخدم في توجيه الخط المطلوب قياسه حتى تكون جميع الأجزاء المقاسة بالشريط واقعه علي الخط المستقيم الواصل بين النقطتين المطلوب قياس المسافة بينهما.

٢- الأوتاد Pegs:

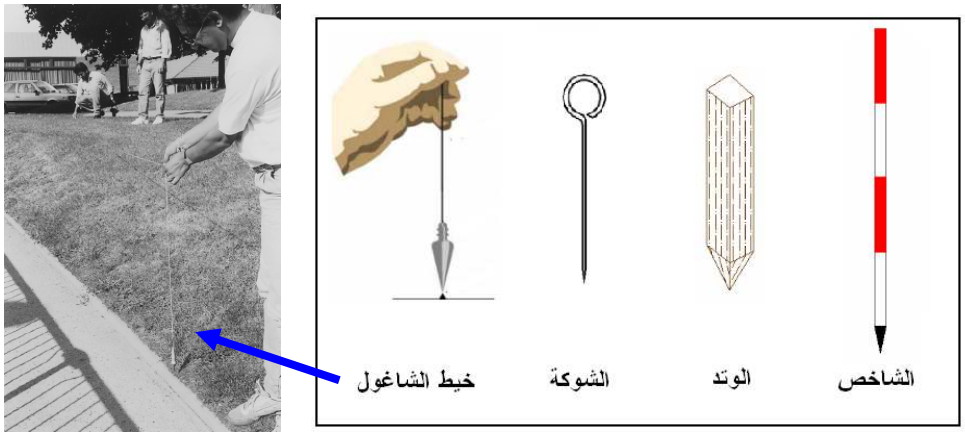
الوتد هو قطعة مضلعة أو مستديرة يتراوح طولها بين ٢٠ و ٣٠ سنتيمتر ويكون طرفها السفلي مدببا ليسهل غرزه في الأرض، وتستخدم لتحديد مكان علامات بداية و نهاية الخط المقاس. الأوتاد أما خشبية تستخدم في الأراضي الزراعية أو حديدية تستخدم في الأراضي الصلبة.

٣- الشوك Pins or Arrows:

وهي عبارة عن أسياخ من الصلب بطول يتراوح بين ٣٠ و ٤٠ سنتيمتر تستخدم لتحديد بداية ونهاية الشريط.

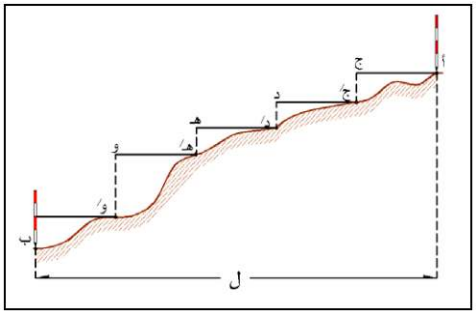
٤- خيط الشاغول Plumb Bob:

وهو خيط ينتهي بقطعة معدنية مخروطة الشكل ذات رأس مدبب ، يستخدم لتحديد مسقط بداية الشريط عندما يكون في وضعه الأفقي أعلي من سطح الأرض.



شكل (٢) أدوات مساعدة مع الشريط

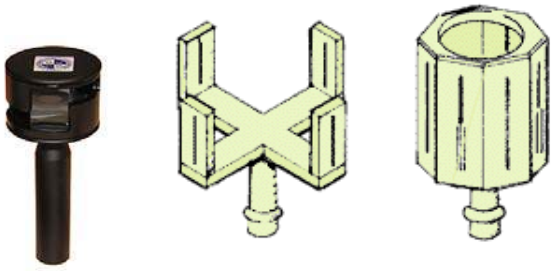
إذا كان قياس المسافة المطلوبة سيتم علي أرض غير منتظمة الميل فيتم تجزئتها إلي عدة أقسام بحيث يكون الشريط في وضع أفقي في كل جزء ، وذلك باستخدام خبط الشاغول:



شكل (٣) قياس المسافات علي أرض مائلة

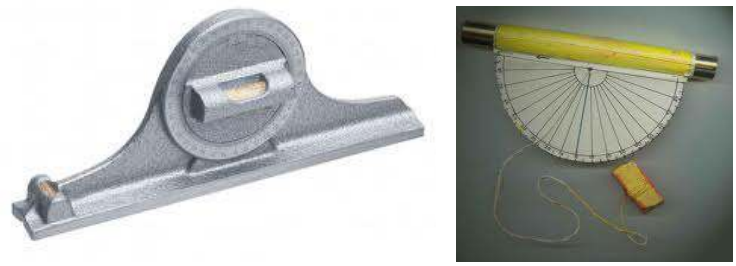
للأعمال المساحية الدقيقة يتم أيضا استخدام ترمومتر لقياس درجة حرارة الجو أثناء القياس ليتم لاحقا تصحيح الخط المقاس بالشريط طبقا لتأثره بالحرارة. كما أيضا يتم استخدام ميزان ماء لضمان أفقية الشريط أثناء قياس المسافة.

يستخدم الشريط أيضا في إقامة عمود (خط يتعامد علي خط موجود في الطبيعة) وذلك بالاستعانة بجهاز آخر يسمي المثلث المساح Cross Staff أو بجهاز المثلث ذو المرآة.



شكل (٤) المثلث المساح

عند قياس مسافة مباشرة كبيرة باستخدام الشريط يتم الاستعانة بجهاز الكلينومتر Clinometer لقياس زاوية الارتفاع حتى يمكن – لاحقا – حساب المسافة الأفقية المناظرة للمسافة المائلة المقاسة:



شكل (٥) الكلينومتر

٢-٢ قياس المسافات الكترونيا

يعتمد مبدأ قياس المسافات الكترونيا علي المعادلة الرياضية التي تجمع كلا من المسافة و السرعة و الزمن:

المسافة = السرعة × الزمن (١)

فإذا تمكننا من قياس سرعة شعاع أو موجة (كهرومغناطيسية electro-magnetic أو كهروبصرية electro-optical) 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 الأولي من الخط المطلوب قياسه) إلي النهاية الثانية للخط حيث يوجد جهاز عاكس يقوم بعكس هذه الموجه في نفس مسارها ، ويقوم الجهاز المرسل بقياس الفترة الزمنية التي استغرقتها هذه الموجة منذ إطلاقها:

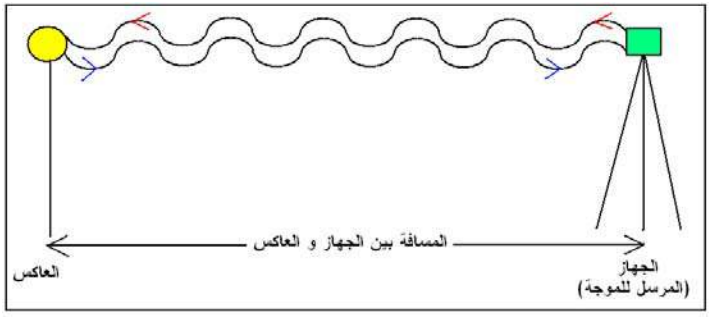
الفترة الزمنية = وقت الاستقبال – وقت الإرسال (٢)

لكن هذه الفترة الزمنية المقاسة هي الزمن الذي استغرقته الموجه (١) منذ صدورها من الجهاز المرسل حتى وصولها للعاكس ثم (٢) عودتها مرة أخري للجهاز المرسل ، أي أنها ضعف الفترة الزمنية بين المرسل و العاكس. لذلك فأن المسافة المحسوبة ستعادل ضعف المسافة بين جهازي المرسل و العاكس:

ضعف المسافة بين المرسل و العاكس = الفترة الزمنية × سرعة الموجة (٣)

المسافة بين المرسل و العاكس = (الفترة الزمنية × سرعة الموجة) ÷ ٢ (٤)

من المعلوم أن أي موجه تسير في الفضاء تكون سرعتها هي سرعة الضوء التي تعادل تقريبا ثلاثمائة ألف كيلومتر في الثانية (أو بالضبط ٢٩٩٧٩٢.٤٥٨ كيلومتر في الثانية) ، أي أن قياس الفترة الزمنية للموجه هو كل ما يلزم لحساب المسافة بين كلا من جهاز الإرسال والعاكس. ومن هنا جاءت فكرة ابتكار أجهزة قياس المسافات الكترونيا Electronic Distance Measurement والتي اختصرت إلي الأحرف الثلاثة EDM.



شكل (٦) مبدأ قياس المسافات الكترونيا

تتعدد أنواع الأشعة المستخدمة في قياس المسافات الكترونيا وتشمل (١) موجات الراديو وتستخدم في قياس المسافات الطويلة حتى ٥٠-٦٠ كيلومتر ، (٢) الموجات تحت الحمراء وهي الأكثر استخداما الآن في أجهزة المحطات الشاملة Total Station وتستخدم لقياس المسافات ١٠-٣٠ كيلومتر ، (٣) الموجات الضوئية المرئية والتي تستخدم لقياس المسافات الأقل من ١٠ كيلومتر ، (٤) الليزر المرئي للمسافات متناهية الصغر والتي تبلغ عشرات الأمتار.

بدأ إنتاج أجهزة قياس المسافات الكترونيا EDM منذ بداية الخمسينات من القرن العشرين الميلادي وكانت أجهزة منفصلة يتم تركيبها فوق أجهزة قياس الزوايا (الثيودوليت) بحيث يتم قياس الزاوية و المسافة في نفس الوقت. وتم بعد ذلك دمج كلا جهازي الثيودوليت و EDM في جهاز واحد (مع بعض المكونات و المميزات التقنية المتقدمة) في جهاز واحد أطلق عليه اسم المحطة الشاملة أو المحطة المتكاملة Total Station.

شكل (٧) أجهزة قياس المسافات الكترونيا

معظم أجهزة المساحة لقياس المسافات الكترونيا تعتمد علي وجود عاكس Reflector أو منشور عاكس Prism يقوم بعكس الموجة إلي جهاز الاستقبال مرة أخري. يتكون العاكس من منشور من الزجاج النقي مطلي بمادة الفلوريسنت - لزيادة قوة انعكاس الأشعة - يوضع غاليا داخل إطار بلاستيكي ملون لسهولة رؤيته من مسافات كبيرة. وقد يوضع العاكس علي حامل ثلاثي لضمان وقوعه رأسيا أعلي النقطة المحتلة بالضبط (للقياسات المساحية الدقيقة) أو يوضع أعلي عصا pole يمسكها الراصد بيده.

شكل (٨) عواكس أجهزة قياس المسافات الكترونيا

أيضا توجد أهداف عاكسة Reflective Sheet يمكن استخدامها بديلا عن العاكس وهي عبارة عن ألواح رقيقة يتم طلاؤها بمادة الفلوريسنت العاكسة للأشعة. تستخدم الأهداف العاكسة في الطبيعة للمواقع التي لا يمكن تثبيت العاكس عندها مثل الحوائط و الأعمدة الخرسانية.

كما توجد أجهزة مساحية يمكنها قياس المسافات الكترونيا بدون عاكس Reflector-Less (للمسافات القصيرة وحني مئات الأمتار) وذلك باستخدام موجات تتميز بخاصية الانعكاس عند اصطدامها بأي هدف. وبذلك فأن هذه النوعية من الأجهزة المساحية تمكننا من قياس المسافات دون الحاجة لاحتلال نقطة نهاية الخط ، أي يمكنها قياس المسافة إلي أعلي قمة برج أو إلي خط تيار كهربائي .... الخ.

تم إنتاج بعض أجهزة قياس المسافات الكترونيا (باستخدام موجات الليزر المرئي) مخصصة للأعمال الهندسية البسيطة (غير المساحية) حيث أصبحت هذه الأجهزة محمولة يدويا hand-held ليتم استخدامها بصورة سريعة و بسيطة (داخل المنشئات و المباني مثلا) لقياس المسافات الصغيرة وبدقة سنتيمترات.

شكل (٩) أجهزة محمولة لقياس المسافات الكترونيا

تتأثر أجهزة قياس المسافات الكترونيا بعدة مصادر للأخطاء أهمها هو تأثير عوامل الطقس (الحرارة و الضغط الجوي و الرطوبة النسبية) عند نقطة جهاز الإرسال. لذلك توجد بعض التصحيحات الواجب حسابها لتصحيح المسافة المقاسة وتقدير المسافة الدقيقة بين جهازي المرسل و العاكس.

٣- جهاز الميزان

تستخدم تطبيقات المساحة مثل الشريط و الثيودوليت في تحديد مواقع (إحداثيات) المعالم الجغرافية في مستوي ، أي من خلال تحديد بعدين (س ، ص) لكل نقطة. إلا أن الأرض ليست مستوي إنما هي مجسم شبه كروي وسطحه ليس مستويا بل تتخلله الجبال و الوديان و المنخفضات ، ولتمثيل أي معلم علي الأرض يلزمنا ثلاثة أبعاد وليس أثنين فقط. هذا البعد الثالث (البعد الرأسي) هو الهدف الذي تسعي الميزانية لقياسه. الميزانية هي فرع المساحة الذي يبحث في الطرق المختلفة لقياس البعد الثالث (الارتفاعات) للمعالم الجغرافية علي سطح الأرض.

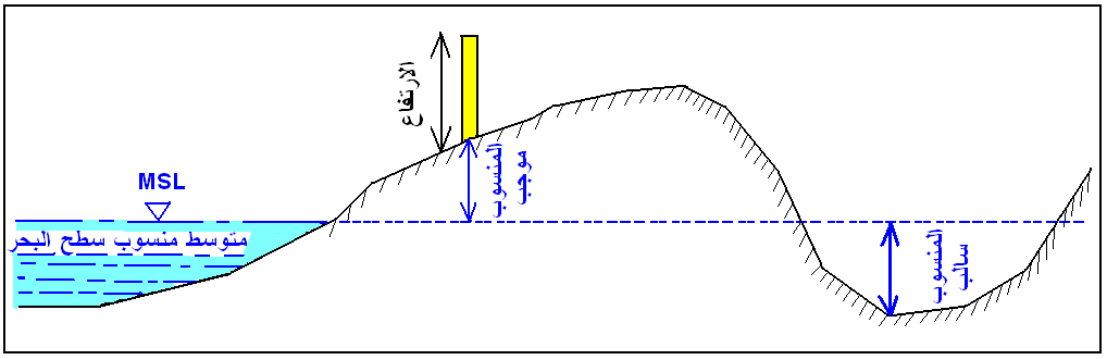
الميزانية (أو التسوية) من أهم تطبيقات علم المساحة في كافة المشروعات المدنية و العسكرية علي الأرض، فهي أساس العمل المساحي في تنفيذ مشروعات البناء و الجسور و الكباري و الطرق و السكك الحديدية والترع و المصارف والسدود وتسوية الأراضي ... الخ.

٣-١ المنسوب والارتفاع

لتحديد البعد الرأسي (ارتفاع أو الانخفاض) لمجموعة من النقاط يلزم سطح مرجعي أو مستوي مقارنه تنسب إليه جميع القياسات ، أي سطح عين يكون الارتفاع عنده مساويا للصفر. يتكون كوكب الأرض من مياه (بحار و محيطات) تغطي ٧٥% من إجمالي سطح الكوكب بينما تمثل اليابسة (القارات) الجزء المتبقي. لذلك أتخذ علماء المساحة منذ مئات السنين مستوي سطح البحر (وامتداده الوهمي تحت اليابسة) كسطح مرجعي لقياس الارتفاعات. بما أن مياه البحار و

المحيطات تتأثر علي سطحها بالتيارات البحرية اليومية و تأثيرات المد و الجزر فأن مستوي المقارنة هو متوسط منسوب سطح البحر Mean Sea Level أو اختصارا MSL. فإذا تم قياس البعد الرأسي لأي معلم بدءا من أي مرجع فنطلق علي هذا القياس أسم "الارتفاع Height" بينما إذا تم القياس بدءا من متوسط منسوب سطح البحر MSL فنطلق علي هذا البعد أسم "المنسوب Level". أي أن المنسوب هو ارتفاع من نوع خاص تم قياسه أو تحديده بدءا من متوسط منسوب سطح البحر. يكون المنسوب موجبا إن كان أعلي من منسوب متوسط سطح البحر ، ويكون سالبا إن كان أقل منه.

قامت كل دولة بتحديد متوسط منسوب سطح البحر MSL في نقطة محددة ومن ثم تم اعتبار تلك النقطة هي أساس كل القياسات الرأسية (المناسيب) في هذه الدولة. مثلا في مصر فأن محطة تحديد متوسط منسوب سطح البحر كانت في ميناء الإسكندرية (علي ساحل البحر الأبيض المتوسط) في عام ١٩٠٧م ولذلك نجد في أسفل كل خريطة مصرية جملة "المناسيب مقاسة نسبة إلي متوسط منسوب سطح البحر عند الإسكندرية في عام ١٩٠٧م". أما في المملكة العربية السعودية فالنقطة الأساسية كانت في مدينة جدة (علي ساحل البحر الأحمر) في عام ١٩٦٩م. كانت هذه العملية تتم من خلال قياس و تسجيل ارتفاع مياه سطح البحر داخل بئر - قريب من ساحل البحر وتدخله مياه البحر عن طريق أنبوبة – كل ساعة علي مدار اليوم ولمدة زمنية طويلة تتجاوز عدة سنوات حتى يمكن حساب متوسط هذه القياسات وبالتالي تحديد النقطة (داخل هذا البئر) التي يكون عندها متوسط منسوب سطح البحر مساويا للصفر. في مصر تمت هذه القياسات للفترة ١٨٩٨م - ١٩٠٧م حتى تم تحديد MSL لمصر.



شكل (١٠) الارتفاع و المنسوب

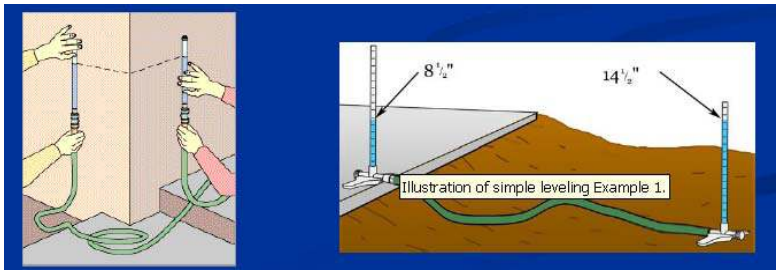
بعد تحديد متوسط منسوب سطح البحر للدولة يتم بناء نقطة ثوابت (علامة أرضية) بالقرب من هذا البئر ويتم قياس ارتفاع هذه النقطة عن متوسط منسوب سطح البحر (أي يتم تحديد منسوب هذه النقطة). أطلق أسم Bench Mark أو اختصارا "BM" أو "الروبير" علي هذه النقطة وعلي كل نقطة معلومة المنسوب. وبطريقة معينة (الميزانية التي سنتحدث عنها

لاحقا) تم بناء مجموعة من علامات BM الروبيرات بحيث تغطي كافة الأنحاء المعمورة من الدولة، وهذا ما يطلق عليه أسم شبكة الثوابت الرأسية أو شبكات الميزانية أو الشبكات المساحية الرأسية. وبالتالي فتكون فأن من مهام الجهة الحكومية المسئولة عن المساحة في الدولة (هيئة المساحة في مصر أو إدارة المساحة العسكرية في السعودية) توفير نقاط روبيرات داخل كل مدينة في هذه الدولة بحيث يمكن لأي مشروع هندسي أن يبدأ من نقطة BM معلومة المنسوب بالقرب من موقع المشروع. تكون الروبيرات أما مثبتة في حائط أي مبني (غالبا مبني حكومي) وتسمي روبيرات الحائط أو مثبتة في الأرض وتسمي روبيرات أرضية. ويتم الحصول علي معلومات أي روبير (موقعه بالتحديد وقيمة منسوبة) من الجهة المسئولة عن أعمال المساحة في هذه المدينة أو هذه الدولة.

٣-٢ الميزانية

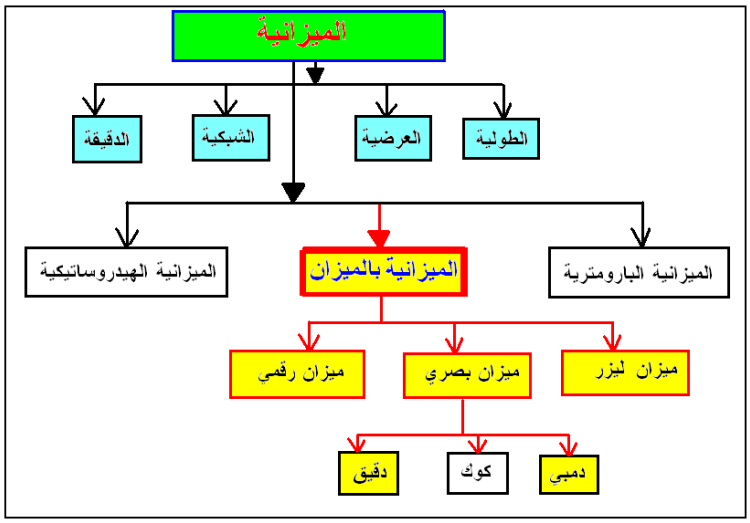
الميزانية Levelling هي العملية المساحية التي من خلالها يتم تحديد ارتفاع أي نقطة عن متوسط منسوب سطح البحر. تنقسم الميزانية إلي نوعين رئيسيان: (١) ميزانية مباشرة أو ميزانية هندسية Direct or Spirit Levelling وهي الموضوع الأساسي في هذا الفصل ، (٢) ميزانية غير مباشرة مثل الميزانية البارومترية و الميزانية الهيدروستاتيكية و الميزانية المثلثية. تعتمد الميزانية البارومترية علي مبدأ أن الضغط الجوي يتناسب عكسيا مع الارتفاع فوق مستوي سطح البحر ، فإذا تمكننا من قياس فرق الضغط الجوي بين نقطتين (باستخدام جهاز البارومتر) فيمكن تحويله حسابيا إلي فرق المنسوب بين هاتين النقطتين. تعد دقة الميزانية البارومترية دقة منخفضة ولا تستخدم إلا في أعمال الاستكشاف. تعتمد الميزانية الهيدروستاتيكية علي نظرية الأواني المستطرقة ، فإذا وضعنا أسطوانتين زجاجيتين مملوءتان بسائل (علي نقطتين) وبينهما أنبوب من المطاط ويوجد تدريج علي جدار كلا منهما فأن فرق قراءة هذين التدريجين يعبر عن فرق المنسوب بين كلتا النقطتين. ينحصر استخدام الميزانية الهيدروستاتيكية في المسافات القصيرة جدا حيث أن طول الأنبوب الواصل بين كلا الزجاجتين لا يكون طويلا بصفة عامة. تعتمد الميزانية المثلثية علي قياس الزاوية الرأسية بين نقطتين (باستخدام الثيودوليت) وقياس المسافة المائلة بينهما (بالشريط أو باستخدام EDM) ثم حساب فرق الارتفاع بين هاتين النقطتين. حديثا أمكن قياس فرق الارتفاع بين النقاط باستخدام تقنية النظام العالمي لتحديد المواقع المعروف بأسم GPS ثم تحويله حسابيا إلي فرق المنسوب بين هذه النقاط.

شكل (١١) أجهزة الميزانية البارومترية



شكل (١٢) الميزانية الهيدروستاتيكية

تنقسم الميزانية المباشرة من حيث أسلوب تنفيذها في الطبيعة إلي ميزانية طولية (في اتجاه طولي مثل محور طريق) و عرضية (مثل قطاعات عرضية علي المحور الأساسي للمشروع) و شبكية (تغطي منطقة من الأرض) ، وفي حالة الوصول لدقة عالية في تحديد فروق المناسيب (باستخدام أجهزة خاصة عالية الدقة) فتسمي الميزانية بالميزانية الدقيقة.

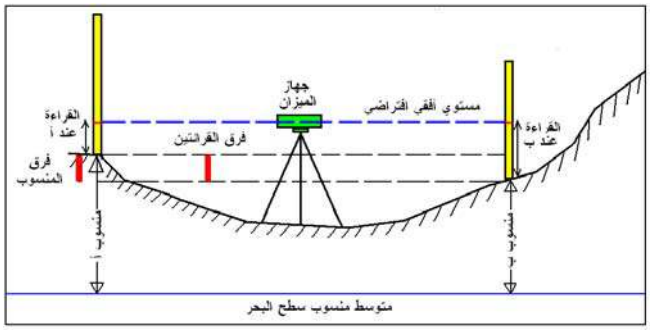


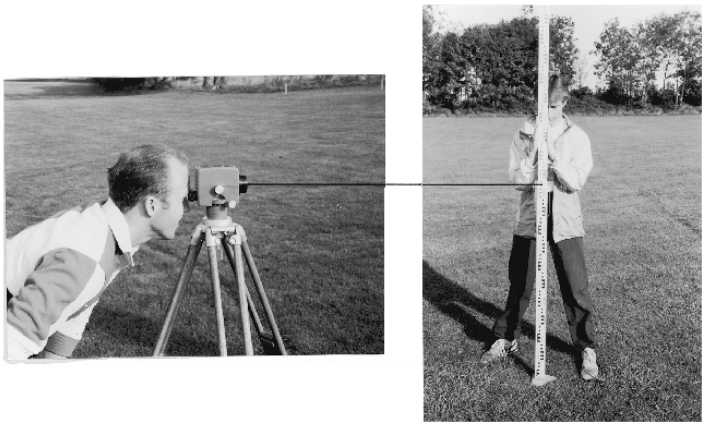
شكل (١٣) الميزانية

تعتمد فكرة الميزانية المباشرة (أو الميزانية الهندسية) علي وجود جهاز يحدد المستوي الأفقي بين نقطتين (يسمي جهاز الميزان) مع وجود مسطرة مدرجة (تسمي قامة) توضع رأسيا عند كل نقطة. فإذا تم تحديد تقاطع المستوي الأفقي مع المسطرة (القامة) عند كل نقطة وتسجيل

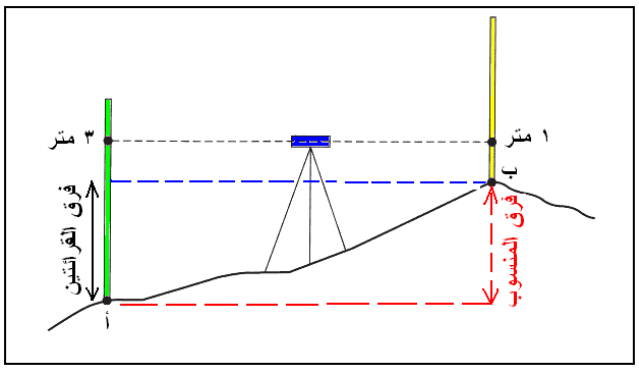
هاتين القراءتين فأن فرق الارتفاع (فرق المنسوب) بين النقطتين هو فرق قراءتي القامتين. فإذا علمنا منسوب نقطة منهما أمكن حساب منسوب النقطة الثانية.

أذا أخذنا المثال التالي حيث وضعت القامة الأولي عند النقطة أ معلومة المنسوب ووضعت القامة الثانية عند النقطة ب المطلوب تحديد منسوبها. وضع جهاز الميزان بين النقطتين وكانت قراءة القامة عند أ تبلغ ٣ متر بينما قراءة القامة عند ب تبلغ ١ متر. إذن فرق القراءتين يساوي ٢ متر ، وهو نفس قيمة فرق المنسوب بين النقطتين أ و ب. فإذا علمنا منسوب النقطة أ (ارتفاعها عن منسوب متوسط سطح البحر) فيمكن حساب منسوب النقطة الثانية ب.





شكل (١٤) مبدأ الميزانية المباشرة



شكل (١٥) مثال للميزانية المباشرة

٣-٣ جهاز الميزان البصري

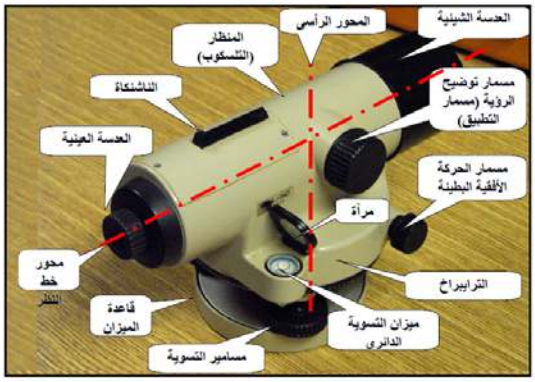
الميزان Level هو الجهاز المساحي المستخدم للحصول علي مستوي أفقي وهمي يوازي متوسط منسوب سطح البحر. تتكون أجهزة الميزان بصفة عامة من مجموعتين الميزان البصري والميزان الالكتروني أو الرقمي. تشمل أجهزة الميزان البصري فئتين: (أ) ميزان كوك Cook's Level (القديم غير المستخدم حاليا) والذي كان منظاره مركب علي طوقين أو حلقتين بحيث يمكن فك المنظار وعكس اتجاهه ثم تركيبه علي قاعدته مرة أخري ، (ب) ميزان دمبي Dumby's Level وهو الأحدث والشائع حاليا حيث منظاره غير قابل للعكس.

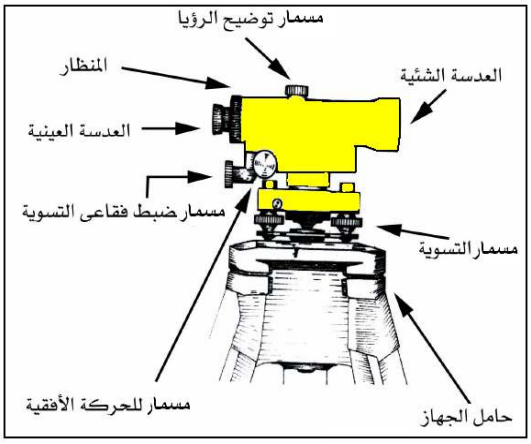
شكل (١٦) أجهزة ميزان بصري من نوع دمبي

يتكون جهاز الميزان البصري من: المنظار أو التلسكوب ويوجد علي أحد طرفيه العدسة العينية وعلي الطرف الآخر العدسة الشيئية ومثبت أعلاه أداة التوجيه نحو الهدف (الناشنكاه) ومركب علي جانبه مسمار توضيح الرؤية المسمي مسمار التطبيق، علي التربراخ يوجد مسمار الحركة الأفقية البطيئة للميزان بالإضافة لميزان التسوية الدائري وثلاثة مسامير لضبط أفقية الجهاز. ويركب الميزان علي قاعدته التي توضع علي الحامل الثلاثي (الخشبي أو الألمونيوم) عند الرصد. بعض أجهزة الميزان بها مراه أعلي ميزان التسوية الدائري لكي يتمكن الراصد من التحقق من أفقية الجهاز باستمرار. أجهزة الميزان الحديثة يوجد بداخلها ميزان تسوية آخر يمكن رؤيته من داخل العدسة العينية لكي يتم الحصول علي أفقية تامة للجهاز عند كل رصدة. أيضا في بعض أجهزة الميزان يوجد أسفل التربراخ قرص (منقلة أو دائرة أفقية) مدرج لقياس الزوايا الأفقية ، بدقة الدرجة أو كسورها.

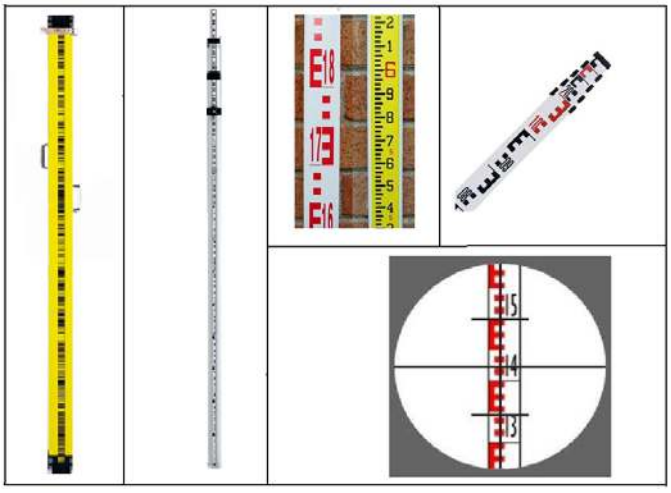
تعد القامة Staff أهم الأدوات المستخدمة مع جهاز الميزان لإجراء أعمال الميزانية (قياس فرق الارتفاع) في الطبيعة. القامة هي مسطرة مدرجة لأمتار وسنتيمترات يتراوح طولها بين ٣ و ٥ أمتار وان كان الطول الشائع للقامة هو ٤ أمتار. تصنع القامة إما من الخشب أو من الألمونيوم و توجد عدة أنواع من القامات فمنها: (أ) القامة المطوية التي تتكون من أكثر من قطعة متصلين و يمكن طيهم و عند الاستعمال تفرد القامة في استقامة واحدة ، (ب) القامة التلسكوبية أو المتداخلة حيث تتكون من ثلاثة (أو أربعة) أجزاء متداخلة تنزلق داخل بعضها

وتتميز بصغر طولها عند عدم الاستخدام و ضمان عدم وجود ميل في أي جزء من أجزاء القامة ، (ج) القامة المنزلقة وتتكون من جزأين منفصلين أحداهما ينزلق و راء الآخر في مجرى صغير ، (د) القامة ذات القطعة الواحدة والتي غالبا لا يتجاوز طولها المترين حتى يسهل حملها. يتم استخدام قامتين (أو أكثر) مع كل ميزان لإتمام أعمال الميزانية أو التسوية وذلك لسرعة إتمام العمل الحقلي.



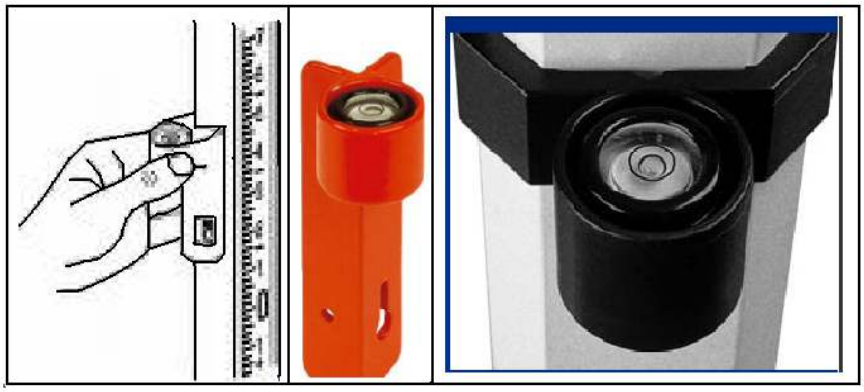


شكل (١٧) مكونات الميزان البصري



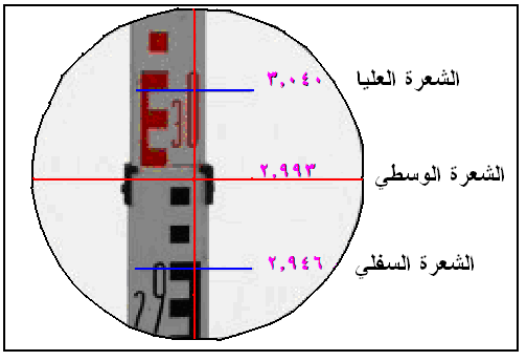
شكل (١٨) القامة

تشمل أدوات الميزان المساعدة أيضا: (١) ميزان تسوية صغير يتم تثبيته خلف أو جانب القامة لضمان رأسية القامة ذاتها وعدم ميلها أثناء الرصد ، (٢) قاعدة حديدية توضع تحت القامة عند الرصد في الأراضي الرخوة أو الترابية أو الرملية ، (٣) دفتر الميزانية لتسجيل القراءات (أو الأرصاد) في الطبيعة.



شكل (١٩) ميزان تسوية القامة

يوجد بالميزان حامل للشعرات يمكن الراصد من أخذ ٣ قراءات علي القامة: الشعرة الوسطي هي التي تحدد قراءة القامة المستخدمة في حساب فرق المنسوب ، بينما الشعرتين العليا و الوسطي (يطلق عليهم أسم شعرات الاستاديا) يتم استخدامهما في حساب المسافة الأفقية بين القامتين.



شكل (٢٠) القراءات علي القامة

٣-٤ جهاز الميزان الرقمي

تطورت أجهزة الميزان لتظهر مجموعة أخري منها تسمي الميزان الرقمي أو الالكتروني والذي يتميز بإمكانية تسجيل القراءات في ذاكرة الميزان (بدلا من استعمال دفتر الميزانية) وأيضا وجود لوحة مفاتيح علي الجهاز لتسجيل أية بيانات متعلقة بالمشروع. بعض الأجهزة الالكترونية تستخدم قامة من نوع خاص bar-code staff (ليست قامة مدرجة

بالأرقام العادية) بحيث أن الميزان يحدد تقاطع المستوي الأفقي مع هذه القامة بصورة الكترونية ومنها يحس قيمة فرق الارتفاع بين الميزان و القامة. وبالتالي فيزيد سعر الميزان الرقمي عن سعر مثيله العادي. أيضا توجد بعض أنواع الميزان الالكتروني تسمي أجهزة ذاتية الضبط self-levelling حيث يوجد داخل الميزان جهاز موازنة compensator يمكنه الحفاظ علي أفقية الميزان (بعد ضبطه أول مرة) ، فإذا مال الميزان قليلا يقوم جهاز الموازنة بإعادته مرة أخري للوضع الأفقي السليم. يستخدم الميزان ذاتي الضبط في المواقع الإنشائية التي تكثر بها حركة المعدات الثقيلة واهتزازات الأرض مما يؤثر علي أفقية الميزان كثيرا.

شكل (٢١) أجهزة ميزان بصري رقمي أو الكتروني

٣-٥ جهاز الميزان الليزري

يعتمد ميزان الليزر علي مبدأ إطلاق أشعة ليزر في مستوي أفقي حتى تنعكس عند اصطدامها بقامة من نوع خاص وبالتالي يقوم جهاز مستقبل الليزر - الذي يتحرك علي القامة - بتحديد قراءة تدريج هذه النقطة الكترونيا ، ويتم تسجيل القياسات آليا داخل ذاكرة الجهاز. أي أن العمل بميزان الليزر لا يتطلب أي توجيه بصري إلي القامة وبالتالي فأن الراصد يتواجد مع القامة (وليس الميزان). يشيع استخدام أجهزة ميزان الليزر في أعمال التشييد والبناء لكن سعرها أغلي من أجهزة الميزان البصري.

شكل (٢٢) أجهزة ميزان ليزر

٣-٦ جهاز الميزان الدقيق

الميزانية الدقيقة Precise Levelling هي ميزانية طولية عادية إلا أنها تهدف للوصول لدقة عالية في قياس فروق المناسيب بين نقطتين مما يجعل لها مواصفات خاصة في الأجهزة المستخدمة و أسلوب العمل الحقلي وخطوات الحساب. تستخدم الميزانية الدقيقة في إنشاء علامات روبير BM جديدة لتكون أساسا لتنفيذ أعمال الميزانية في منطقة المشروع ، كما تستخدم أيضا في مراقبة وقياس هبوط المنشئات الهندسية الضخمة مثل السدود و القناطر.

يسمي جهاز الميزان المستخدم في الميزانية الدقيقة بالميزان الدقيق Precise Level وهو ميزان لا يختلف في شكله أو تصميمه عن الميزان البصري العادي إلا أنه يختلف عنه في النقاط الجوهرية التالية:

- المنظار ذو قوة تكبير عالية (لا تقل عن ٤٠ ضعف) كما يكون قطر العدسة الشيئية كبيرا وكذلك البعد البؤري للعدسة وكل ذلك بغرض أن تكون صورة القامة واضحة جدا حتى من مسافات بعيدة.
- أقل وحدة قياس لا تزيد عن ٠.١ ملليمتر و دقة القياس لا تزيد عن ٠.٢ ملليمتر/كيلومتر.
- لا يكون المنظار مثبتا في المحور الرأسي بل يكون قابل للحركة بدرجة معينة بحيث يتم تحريك المنظار لأعلي أو لأسفل بدرجة بسيطة (من خلال مسمار التطبيق) لضمان أفقية الميزان بدقة ، أي أنه يسمح بإمالة خط النظر دون تغيير منسوب هذا الخط.
- يزود الميزان الدقيق بميكرومتر داخلي ذو لوح متوازي Micrometer with parallel plate وهو جهاز يسمح بقراءة القياس علي القامة بدقة ١ ملليمتر أو أقل.
- المنظار مزود بشعرات الاستاديا لإمكانية حساب المسافات بين الميزان و القامة.
- ميزان التسوية يحتوي فقاعة مائية طويلة (وليست دائرية) ومن نوع لا يتغير طولها باختلاف درجات الحرارة ، وأن يكون ذو حساسية عالية.
- تكون معظم الموازين الدقيقة من النوع ذاتي الضبط Self-Levelling.

أما ملحقات الميزان الدقيق فلها أيضا بعض المواصفات الخاصة:

- تكون القامة المستخدمة في الميزانية الدقيقة من نوع خاص و غالبا فأن تدريج القامة لا يحفر علي خشب القامة لكن علي شريط من مادة الأنفار (تسمي قامة أنفار) التي تتميز بمعامل تمدد قليل جدا ثم يثبت هذا الشريط تماما من طرفيه علي القامة الخشبية ذاتها.

- تستخدم قاعدة معدنية ثقيلة توضع أسفل القامة – خاصة في الأرض الرخوة أو الترابية- بحيث لا تتعرض القامة ذاتها للهبوط أثناء دورانها بعد أخذ القراءة الأمامية عليها استعدادا لأخذ قراءتها الأمامية.
- يتميز الحامل الثلاثي (الخشبي) للجهاز بالثبات.
- تستخدم مظلة شمسية أثناء الرصد لتمنع أشعة الشمس من الوقوع علي الميزان الدقيق في الحقل.

للحصول علي دقة عالية في الميزانية الدقيقة فأن عملية الرصد لا بد أن تراعي الاشتراطات التالية:

- يتم رصد كل خط مرتين ذهابا وإيابا ويكون كلا منهما مستقلا عن الآخر.
- تكون المسافة بين الميزان و كلتا القامتين الخلفية و الأمامية متساوية بقدر الإمكان.
- العمل بقامتين علي الأقل وليس بقامة واحدة.
- تفادي أن يكون خط النظر قريبا من سطح الأرض بقدر الإمكان حتى لا يتأثر بالانكسار الضوئي القريب من سطح الأرض.
- سرعة أخذ القراءات (علي القامتين الخلفية و الأمامية) بحيث لا تزيد عن فترة دقائق معدودة حتى لا تتغير ظروف الطقس كثيرا بين كلتا القراءتين.
- في كل رصدة (كل قراءة قامة) يتم تسجيل قراءة الشعرات الثلاثة ثم نحسب الفرق بين قراءة الشعرة العليا والشعرة الوسطي وكذلك الفرق بين قراءة الشعرة الوسطي و الشعرة السفلي ونقارن كلا الفرقين ويجب أن يكونا بنفس القيمة.
- في كل وقفة نحسب المسافة بين الميزان و القامة الخلفية وبين الميزان و القامة الأمامية لضمان أن الميزان بقدر الإمكان يكون في منتصف المسافة بين القامتين ، ويجب ألا يزيد الفرق بين مسافة الميزان وكلتا القامتين عن خمسة أمتار.
- لحساب تأثير عوامل المناخ علي أرصاد الميزانية الدقيقة يتم استخدام أجهزة قياس درجة الحرارة و الضغط الجوي عند كل نقطة ميزان.
- في نهاية خط الميزانية الدقيقة نحسب مجموع مسافات أرصاد المقدمة (القراءات الأمامية) و مجموع مسافات أرصاد المؤخرة (القراءات الخلفية) ويجب ألا يزيد الفرق بين هذين المجموعين عن ٢٠ مترا.

- يجب أن يظلل الميزان الدقيق أثناء العمل الحقلي بمظلة شمسية حتى لا يتأثر الجهاز أو ميزان التسوية به بأشعة الشمس. ولا يترك الميزان أبدا في الشمس حتى أثناء عدم العمل به.
- عادة تكون المسافة بين الميزان وأيا من القامتين (الخلفية و الأمامية) في حدود ٣٠-٤٠ مترا وفي كل الأحوال يجب ألا تزيد عن ٥٠ متر.
- بعض القامات يكون لها تدريجين وعند استخدام هذا النوع من القامات يجب قراءة و تسجيل كلا التدريجين في كل نقطة ميزان.

عادة تتم أعمال الميزانية الدقيقة في الصباح الباكر وفترة ما قبل الغروب علي أن نتحاشى تماما الرصد في فترة الظهيرة (قبل وبعد الظهر بساعتين علي الأقل) ضمانا لتقليل تأثير الانكسار الجوي.

شكل (٢٣) أجهزة موازين دقيقة

٤- جهاز الثيودوليت

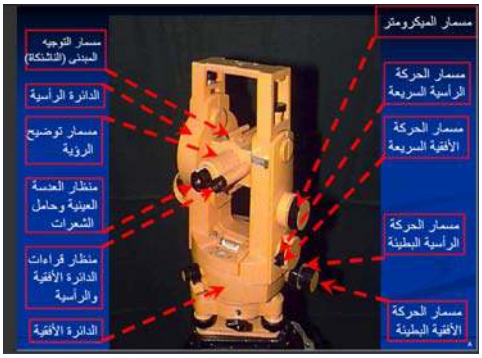
يمكن تقسيم أجهزة الثيودوليت المساحية إلي مجموعتين: الأجهزة البصرية و الأجهزة الرقمية. وحاليا فأن الثيودوليت الرقمي هو الأكثر انتشارا في التطبيقات المساحية بصفة عامة. وفي الوقت الحالي قل الاعتماد علي الثيودوليت في الأعمال المساحية حيث أصبحت أجهزة المحطة الشاملة Total Station هي الأكثر انتشارا و استخداما في التطبيقات المساحية.

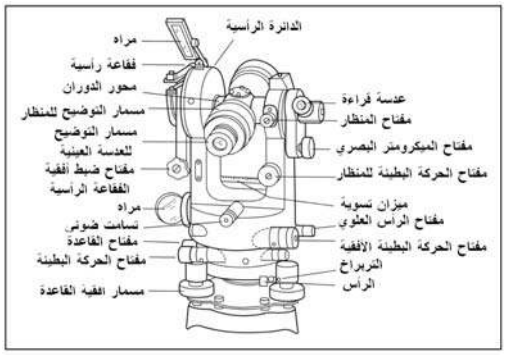
تجدر الاشارة لوجود أنواع خاصة من أجهزة الثيودوليت مثل جهاز الجيرو-ثيودوليت Gyro-Theodolite المستخدم للقياسات تحت سطح الأرض (في المناجم و الأنفاق).

٤-١ الثيودوليت البصري

يتكون الثيودوليت البصري (التقليدي) من عدد من الأجزاء الأساسية تشمل:

- التربراخ: القاعدة التي تجمع فوقها كل أجزاء الجهاز والتي بها ثلاثة مفاتيح لضبط أفقية ميزان التسوية (فقاعة الماء) المثبت عليها ، بالإضافة لمنظار تسامت ضوئي لضمان وقوع محور الجهاز أعلي النقطة الأرضية.
- الجزء السفلي: يحتوي الدائرة الأفقية لقياس الزوايا الأفقية ولها مفتاحين للحركة أحدهما للحركة الأفقية السريعة والآخر للحركة الأفقية البطيئة.
- الجزء العلوي أو الأليداد: يحتوي الدائرة الرأسية لقياس الزوايا الرأسية بالإضافة لميزان تسوية (فقاعة) رأسي.
- المنظار (التلسكوب) المجهز أيضا بمفتاحين للحركة الرأسية (السريعة و البطيئة) بالإضافة لعدستين عينية (القريبة من عين الراصد) و شيئية (الموجهة للهدف) ومعهما مفتاح لتوضيح الرؤية لكل عدسة.



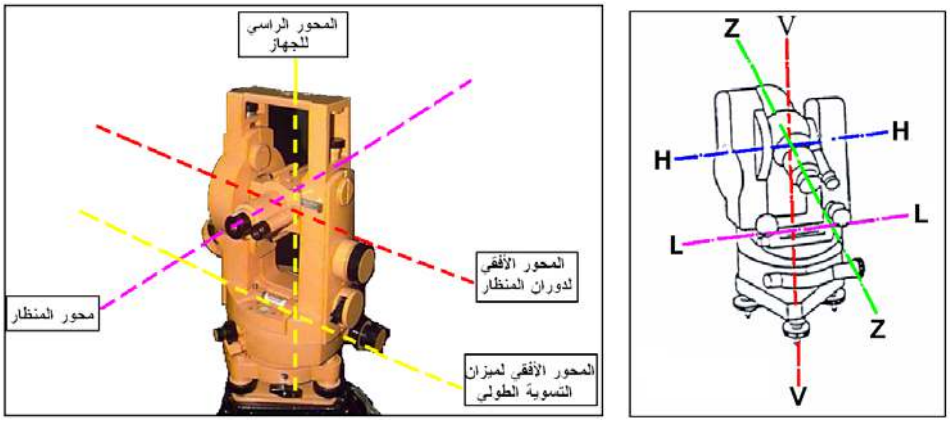


شكل (٢٤) أجزاء الثيودوليت

لجهاز الثيودوليت ٤ محاور تتكون من:

١. المحور الرأسي V-V: يمر بمركز الدائرة الأفقية ويدور الجهاز حوله في مستوي أفقي.

٢. المحور الأفقي H-H: يمر بمركز الدائرة الرأسية ويدور الجهاز حوله في مستوي رأسي.
٣. محور ميزان التسوية الطولي L-L: الخط المستقيم المماس لميزان التسوية الطولي عند المنتصف.
٤. محور خط النظر Z-Z: الخط الواصل بين نقطة تقاطع حامل الشعرات للعدسة العينية والمركز الضوئي للعدسة الشيئية.



شكل (٢٥) محاور الثيودوليت

٢-٤ الثيودوليت الرقمي

الثيودوليت الرقمي أو الالكتروني هو ثيودوليت عادي تم إضافة شاشة الكترونية له لتظهر عليها الزوايا المرصودة بدلا من قرائنها يدويا في الثيودوليت العادي. يحتاج الثيودوليت الرقمي لبطارية لتشغيله وبعض أنواعه تحتوي علي كارت ذاكرة لتخزين القياسات ثم نقلها مباشرة للحاسب الآلي.

شكل (٢٦) الثيودوليت الرقمي

يتميز الثيودوليت الرقمي بسهولة تشغيله وسرعته في انجاز العمل المساحي إلا أنه أغلي سعرا من الثيودوليت العادي.

٤-٣ ضبط الثيودوليت

يتكون ضبط الثيودوليت من نوعين:

(١) الضبط الدائم وهو ضمان وضع و كفاءة تشغيل جميع أجزاء الثيودوليت ، وغالبا يتم هذا النوع من الضبط في المصنع أو لدي الوكيل. يشمل الضبط الدائم ضمان العلاقات الأساسية بين محاور الثيودوليت:

- مستوي الدائرة الأفقية عمودي علي المحور الرأسي للجهاز.
- مستوي الدائرة الرأسية عمودي علي المحور الأفقي للجهاز.
- المحور الأفقي للجهاز عمودي علي المحور الرأسي للجهاز.
- محور خط النظر عمودي علي المحور الأفقي للجهاز.

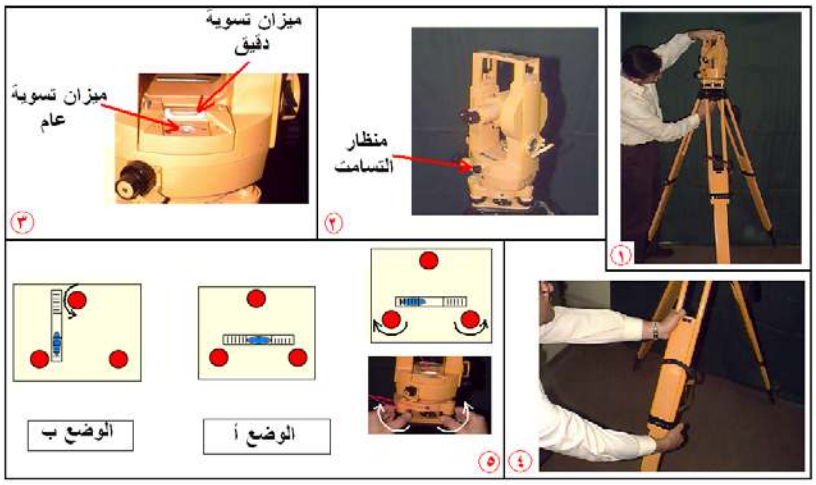
(٢) الضبط المؤقت وهو ما يتم عند كل استخدام للجهاز لقياس الزوايا أي عند كل نقطة في الموقع.

يتكون الضبط المؤقت للثيودوليت من خطوتين يتم إجراؤهما بالتبادل و التكرار: ضبط الأفقية levelling لضمان وضع الجهاز في وضع أفقي تماما و ضبط التسامت centring لضمان وقوع المحور الرأسي للجهاز أعلي النقطة المساحية الأرضية تماما.

خطوات الضبط المؤقت للثيودوليت (شكل ٤-٧):

- وضع الحامل الثلاثي أعلي النقطة الأرضية بالتقريب مع غرس الحامل في الأرض لضمان ثباته ، ثم ربط جهاز الثيودوليت فوقه علي أن تكون أرجل الحامل الثلاثي متساوية الطول تقريبا (١).
- النظر في منظار التسامت (٢) لمعرفة موقع الجهاز من النقطة الأرضية ، ثم تحريك رجلين (أو شعبتين) من أرجل (شعب) الحامل الثلاثي بصورة دائرية حتى نري النقطة الأرضية في مركز منظار التسامت.
- ننظر لميزان التسوية العام (٣) لنري وضع فقاعة المياه التقريبية.
- إن كانت أفقية الجهاز غير مضبوطة نقوم بضبطها من خلال رفع أحد شعب (أرجل) الحامل الثلاثي لأعلي أو لأسفل من المسمار الذي يربط كلا جزأي الشعبة من منتصفها (٤).
- لضبط أفقية الجهاز بصورة تامة ننظر في ميزان التسوية الدقيق (٣) ونحرك الجهاز أفقيا حتى يكون موازيا لمسمارين من مسامير التسوية ثم نحرك كلا المسمارين معا بنفس الاتجاه سواء للداخل أو للخارج حتى تصبح الفقاعة في المنتصف تماما (٥ الوضع أ).

- ندير الجهاز أفقيا بزاوية ٩٠ درجة حتى يكون ميزان التسوية الدقيق عمودي علي الاتجاه السابق ، وننظر في ميزان التسوية الدقيق ونضبطه باستخدام المسمار الثالث من مسامير التسوية (٥ الوضع ب).
- نعود للنظر في منظار التسامت فان كانت النقطة الأرضية لم تعد في مركزه تماما فنقوم بفك مسمار تثبيت الثيودوليت في قاعدة الحامل الثلاثي ثم نحرك الثيودوليت (وليس الحامل الثلاثي) حتى نعيد وضع النقطة الأرضية في مركز منظار التسامت مرة أخري.
- أحيانا – وبعد إعادة ضبط التسامت في الخطوة السابقة – تكون أفقية الجهاز قد تغيرت قليلا مما يلزم إعادة ضبطها بنفس الطريقة مرة أخري.
- نكرر هذه الخطوات بالتبادل حتى نضمن أن كلا من التسامت و الأفقية قد تحققا تماما.

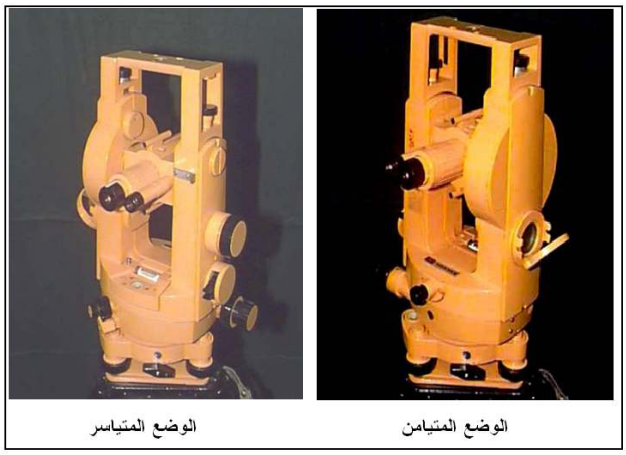


شكل (٢٧) الضبط المؤقت للثيودوليت

٤-٤ العمل المساحي بالثيودوليت

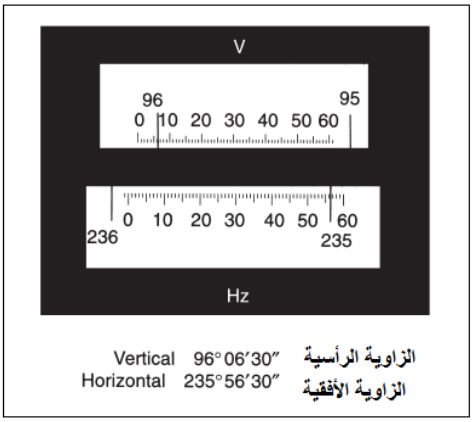
للحصول علي دقة عالية في قياس الزوايا الأفقية بجهاز الثيودوليت فيتم قياس (أو رصد) كل زاوية في وضعين مختلفين للجهاز: (أ) الوضع المتيامن Face Right وهو عندما تكون الدائرة الرأسية للثيودوليت علي يمين الراصد ، (ب) الوضع المتياسر Face Left وهو عندما تكون الدائرة الرأسية للثيودوليت علي يسار الراصد. فإذا بدأنا بالوضع المتيامن فبعد قراءة الزاوية نقوم بلف الجهاز أفقيا ١٨٠ درجة ثم لف المنظار رأسيا ٩٠ درجة لنحصل علي الوضع المتياسر ونقوم بإعادة التوجيه وقراءة الزاوية الأفقية مرة أخري. الفرق بين كلا قراءتي الوضعين المتيامن و المتياسر هو ١٨٠ درجة إلا أنه ربما يوجد فرق بسيط سواء في الثواني أو الدقائق. تجدر الإشارة إلي أنه للتغلب علي تأثير الانكسار الضوئي علي أرصاد الثيودوليت فأن

أفضل أوقات الرصد تكون في فترة الصباح الباكر وفترة ما قبل الغروب مع تجنب العمل في الفترة قبل و بعد الظهر مباشرة حيث يحدث أكبر تأثير للانكسار في الغلاف الجوي.



شكل (٢٨) أوضاع الرصد بالثيودوليت

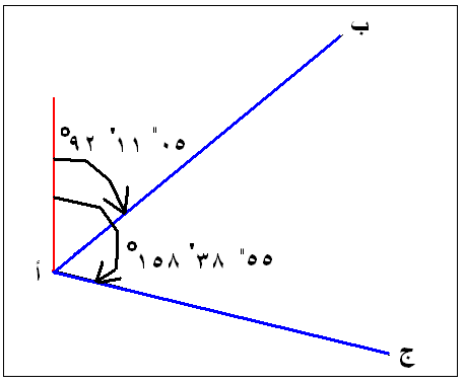
تختلف طريقة قراءة الزوايا (الأفقية و الرأسية) باختلاف نوع الثيودوليت و دقته (أقل قراءة يمكن الحصول عليها). ويقدم الشكل التالي مثالا لقراءات ثيودوليت Wild T16 الذي تبلغ دقته ٣٠".



شكل (٢٩) مثال لقراءات زوايا الثيودوليت

توجد عدة طرق لرصد الزوايا الأفقية بالثيودوليت مثل طريقة التكرار و طريقة الزوايا الفردية و طريقة الاتجاهات. تعد طريقة الزوايا الفردية أسهل و أسرع طرق الرصد بالثيودوليت وهي تعتمد علي قياس كل زاوية منفردة من خلال الوضعين المتيامن و المتياسر للثيودوليت. يتم حساب متوسط كلا الوضعين (للدقائق والثواني فقط) لحساب قيمة الاتجاه لكل نقطة مرصودة، ثم نحسب قيمة الزاوية عن طريق طرح متوسط الاتجاهين. الجدول التالي يمثل أرصاد قياس الزاوية أ ب ج:

النقطـــــــة المرصودة	الوضع المتيامن	الوضع المتياسر	المتوسط	الزاوية
ب	٠٠" ١١' ٩٢°	١٠" ١١' ٢٧٢°	٠٥" ١١' ٩٢.٥°	٥٠" ٢٧' ٠.٦٦°
ج	٥٠" ٣٨' ١٥٨°	٠٠" ٣٩' ٣٣٨°	٥٥" ٣٨' ١٥٨°	

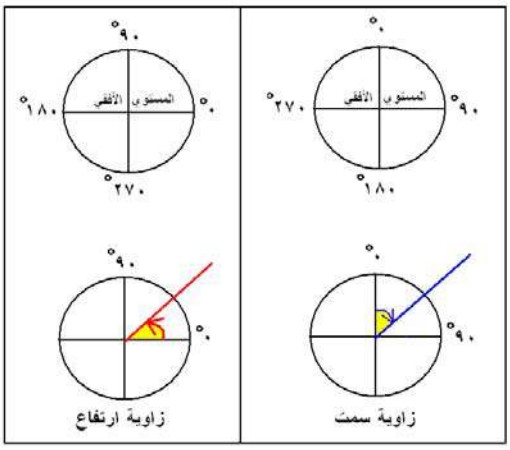


شكل (٣٠) مثال لزاوية مرصودة بالثيودوليت

يوجد في كل جهاز ثيودوليت طريقة معينة لكي يتم بدء قياس الزوايا من نقطة محددة علي تدريج الدائرة الأفقية. مثلا إذا أردنا أن نقيس زاوية بحيث نبدأ القياس (التوجيه علي النقطة الأولي) عند صفر الدائرة الأفقية بالضبط ، أو عند قيمة زاوية تساوي ٩٠ درجة بالضبط. تختلف طريقة الحصول علي زاوية أفقية معينة من جهاز ثيودوليت لآخر فبعض الأجهزة خاصة القديمة منها يوجد بها مسمار معين يسمي تثبيت الدائرة الأفقية بينما الأجهزة الحديثة يوجد بها زر يسمي زر الصفر. في حالة مسمار تثبيت الدائرة (للأجهزة القديمة) فيقوم الراصد بتحريك الثيودوليت أفقيا حتى يحصل علي القراءة صفر في تدريج الدائرة الأفقية ثم يحرك هذا المسمار لوضع معين وبذلك يكون قد قام بتثبيت الدائرة الأفقية (أي أن قراءتها لن تتغير مهما تحرك الثيودوليت نفسه). ثم يقوم الراصد بالتوجيه علي الهدف الأول (الضلع الأول أ ب من الزاوية المطلوب قياسها) وبعد ذلك يعيد المسمار لوضعه الأصلي (أي يكون قد حرر الدائرة الأفقية من وضعها الثابت إلي وضعها العادي). ثم يقوم الراصد بالتوجيه علي الهدف الثاني (الضلع الثاني أ ج للزاوية المطلوبة) وقراءة الدائرة الأفقية وبذلك يحصل مباشرة علي قيمة هذه الزاوية المرصودة. أما في أجهزة الثيودوليت الحديثة فيوجد زر يقوم مباشرة – عند الضغط عليه – بجعل قراءة الدائرة الأفقية تساوي الصفر.

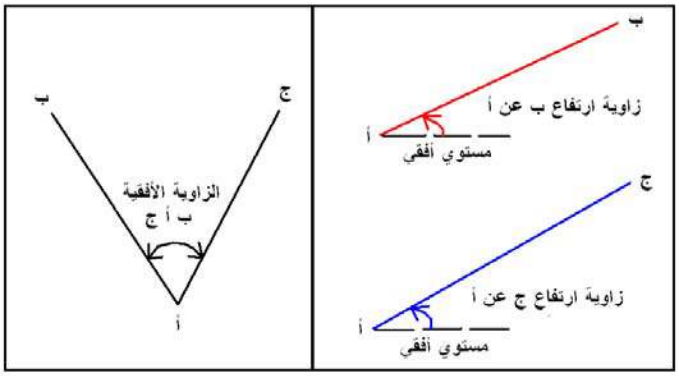
تختلف أجهزة الثيودوليت في وضع أو تدريج الدائرة الرأسية ، فبعض الأجهزة يكون الوضع الأفقي لها عند زاوية رأسية تساوي صفر درجة بينما توجد أجهزة أخري يكون الأفق لها عند زاوية رأسية تساوي ٩٠ درجة. في الحالة الأولي فأن الزاوية الرأسية المرصودة تسمي زاوية الارتفاع Elevation Angle بينما في الحالة الثانية فأن الزاوية الرأسية المرصودة زاوية السمت Zenith Angle. يجب معرفة نوع الزاوية الرأسية لجهاز الثيودوليت المستخدم لأن حسابات الارتفاع بين النقاط المرصودة ستعتمد علي نوع هذه الزاوية. العلاقة بين كلا نوعي الزاوية الرأسية هي:

زاوية الارتفاع + زاوية السمت = ٩٠° (٦)



شكل (٣١) زاوية الارتفاع و زاوية السمت

يجب ملاحظة أن كل نقطة مرصودة سيكون لها زاوية رأسية بينما توجد زاوية أفقية واحدة بين كل نقطتين:



شكل (٣٢) زوايا الثيودوليت الأفقية والرأسية

٥- جهاز المحطة الشاملة

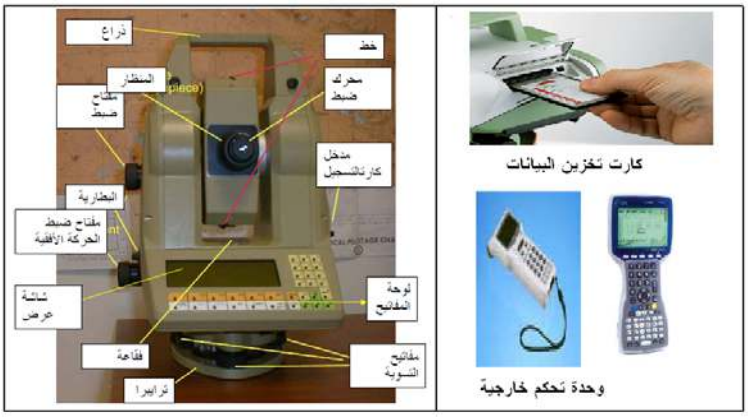
يعد جهاز المحطة الشاملة أو المحطة المتكاملة Total Station أكثر الأجهزة المساحية استخداما و تكاملا ودقة في الوقت الراهن، حتى أنه يمكن القول أنه قد حل محل جهاز الثيودوليت سواء البصري أو الرقمي. يدل اسم الجهاز علي أنه يشمل داخله عدد من الأجهزة و الإمكانيات في إطار متكامل كجهاز واحد. و كما سبق الإشارة إلي أن الأجهزة المساحية قد تطورت في النصف الثاني من القرن العشرين الميلادي بصورة سريعة فقد تم ابتكار أجهزة قياس المسافات الكترونيا EDM لتصبح بديلا دقيقا و سريعا عن الشريط في قياس المسافات ، ثم تم ابتكار أجهزة الثيودوليت الرقمي أو الالكتروني التي زادت من دقة قياس الزوايا الأفقية والرأسية وتجاوزت أخطاء الراصد في تسجيل القياسات يدويا ، ثم تلا ذلك ابتكار أجهزة المحطات الشاملة. و حديثا تم دمج جهاز المحطة الشاملة مع جهاز النظام العالمي لتحديد المواقع بالرصد علي الأقمار الصناعية GPS لدمج تقنيتي المساحة الأرضية والمساحة الفضائية معا.

شكل (٣٣) تطور الأجهزة المساحية

٥-١ مكونات و مميزات المحطة الشاملة

يتكون جهاز المحطة الشاملة من مجموعة من الأجهزة (تم جمعها في إطار واحد) تشمل:

١. جهاز ثيودوليت رقمي.
٢. جهاز قياس المسافات الكترونيا EDM.
٣. ذاكرة الكترونية لتسجيل القياسات.
٤. وحدة كمبيوتر micro-processor لتشغيل البرامج الحسابية.
٥. أجهزة ملحقة مثل البطارية ومجموعة العواكس والحامل الثلاثي وكابل التوصيل بالكمبيوتر.



شكل (٣٤) مثال لجهاز المحطة الشاملة

تتميز أجهزة المحطات الشاملة بالعديد من المميزات و المواصفات مثل:

١. الدقة في قياس الزوايا الأفقية والرأسية (قد تصل إلي جزء من الثانية).
٢. الدقة في قياس المسافات (عدة ملليمترات).
٣. الرصد لمسافات كبيرة (تتعدي كيلومترات).
٤. منظار له قوة تكبير عالية لإمكانية رصد المعالم البعيدة.
٥. تسمح وحدة الكمبيوتر بأداء الحسابات في الموقع والحصول علي الإحداثيات آنيا.
٦. إمكانية قياس المسافات بدون عاكس (بالليزر) لعدة مئات من الأمتار.
٧. سرعة في قياس المسافات الكترونيا (ثانية واحدة أو أقل).
٨. التحقق من أخطاء ضبط أفقية الجهاز وتعديلها (في حالة وجود موازن Compensator بالجهاز) أو تصحيح القياسات حسابيا.
٩. البطارية تمد الجهاز بالطاقة اللازمة لعدة ساعات.
١٠. نظام تشغيل مثل النوافذ windows لسهولة العمل (بعض الأجهزة تدعم اللغة العربية).
١١. ذاكرة تخزين كبيرة لتخزين القياسات بالجهاز (ذاكرة داخلية أو كارت تخزين).
١٢. بعض الأجهزة تسمح بتوصيل وحدة تحكم خارجية control unit أو وحدة تجميع البيانات Data Collector لسهولة العمل.
١٣. سهولة نقل البيانات للكمبيوتر (من خلال كابل أو وحدة بلوتوث).
١٤. القدرة علي تحمل ظروف الطقس المختلفة في الموقع (حتى حرارة تصل ٥٠ درجة مئوية).

١٥.بعض الأجهزة بها كاميرا رقمية داخلية لتصوير مواقع الرصد كنوع من أنواع توثيق بيانات المشروع.

١٦.صغر الحجم و خفة الوزن مما يسهل التنقل بها بين المواقع المختلفة.

٥-٢ تشغيل المحطة الشاملة

لا تختلف خطوات الضبط المؤقت لجهاز المحطة الشاملة عن تلك المطبقة مع جهاز الثيودوليت (ضبط التسامت و ضبط الأفقية). إلا أن تشغيل المحطة الشاملة قد يختلف خاصة أنها جهاز الكتروني في المقام الأول.

بصفة عامة فأن جهاز المحطة الشاملة يطلب البيانات التالية كمدخلات input عند تشغيله:

- وحدة قياس الزوايا (نظام ستيني أم مئوي).
- ثابت العاكس المستخدم.
- ارتفاع الجهاز (يتم قياسه عند كل محطة).
- ارتفاع العاكس المستخدم.
- أسم المشروع.
- أسم النقطة المحتلة وإحداثياتها.
- بعض الأجهزة تسمح بإدخال كود معين لكل نقطة مرصودة (نوع النقطة إن كانت شجرة أم مبني أم طريق ...الخ) بحيث يتم جمع النقاط من كل نوع بطريقة الطبقات layers عند تصدير النتائج إلي برامج الخرائط مثل AutoCAD أو برامج نظم المعلومات الجغرافية مثل Arc GIS.

تشمل مخرجات output عملية الرصد (عامة) الآتي:

- الزوايا الأفقية والرأسية.
- المسافات المائلة المقاسة و المسافات الأفقية المحسوبة وكذلك فروق الارتفاعات.
- الانحرافات (عند البدء بخط معلوم انحرافة أو بواسطة نقطتين معلومتين الإحداثيات).
- إحداثيات النقطة المرصودة (س ، ص ، ع).
- خطأ قفل المضلع – في حالة رصده – و قيم تصحيحاته.
- نتائج التقاطع الأمامي و العكسي.

– كما تستخدم أجهزة المحطة الشاملة في توقيع الأهداف المطلوبة setting out المعلوم إحداثياتها التصميمية مسبقا.

٥-٣ أنواع متقدمة من المحطة الشاملة

تقدمت تقنيات إنتاج المحطات الشاملة في السنوات الأخيرة لتظهر أنواع متقدمة من الأجهزة تناسب تطبيقات الرفع المساحي في مجالات متعددة من المشروعات الهندسية. ومن هذه الأجيال الحديثة من المحطة الشاملة ما يلي:

٥-٣-١ المحطة الشاملة المتحركة

تقليديا كان الراصد هو الذي يقف بجوار جهاز المساحة ويقوم بالرصد وتسجيل القراءات بينما المساعد هو الذي يحمل الشاخص (أو العاكس) ويتحرك من نقطة لأخرى. مع ابتكار أجهزة قياس المسافات الكترونيا EDM زادت المسافة بين الراصد و مساعده (المسافة بين الجهاز و العاكس) حتى وصلت إلي عدة كيلومترات مما جعل التواصل بينهما يتطلب وجود أجهزة راديو لاسلكي مع كلا منهما. هذا المبدأ هو أساس تطوير المحطات الشاملة المتحركة Motorized or Robotic Total Station وهي جهاز محطة شاملة مركب علي قاعدة متحركة بموتور داخلي بحيث أن الجهاز يستطيع الدوران حول نفسه أفقيا ٣٦٠ درجة كاملة (مع ضمان بقائه في الوضع الأفقي الدقيق من خلال الموازن الداخلي به compensator). تتم حركة الجهاز من خلال وحدة تحكم control unit متصلة لاسلكيا بالمحطة الشاملة ذاتها. هذه الوحدة تكون مع الراصد ومن خلالها يمكنه التحكم في المحطة الشاملة ذاتها حتى إن كان يبعد عنه كيلومترات. تعتمد هذه التقنية علي مبدأ "التعرف الآلي علي الهدف" Automatic Target Recognition أو اختصارا ATR ، وهو إمكانية أن يتعرف جهاز المحطة الشاملة أثناء دورانه علي الهدف (العاكس) ويحدد موقعه. بالتالي أصبح الراصد هو من يحمل العاكس ويتحكم في الجهاز ويقوم بعملية الرصد و تسجيل القياسات آليا. بهذا أصبح العمل الحقلي أسرع في التنفيذ مما يقلل من تكلفة أعمال الرفع المساحي الميداني. يمكن تمييز جهاز المحطة الشاملة المتحركة من خلال راديو الاستقبال اللاسلكي المثبت أعلاه.

شكل (٣٥) مثال لجهاز المحطة الشاملة المتحركة

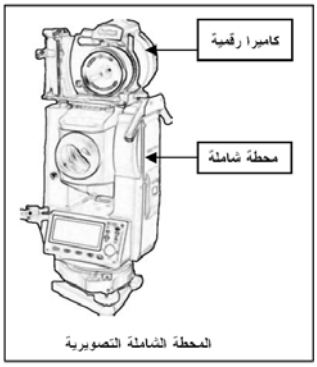
٥-٣-٢ المحطة الشاملة بالمسح الليزري

يتطلب الرفع المساحي الطبوغرافي تحديد إحداثيات النقاط (س ، ص ، ع) بسرعة ودقة للعديد من المشروعات الهندسية ، وربما يتجاوز عدد النقاط المطلوب رصدها المئات في مشروع واحد. فعلي سبيل المثال إن كان هناك مشروع هندسي لقطع جزء من جبل صخري وعلي مهندس المساحة أن يتابع العمل لتحديد كمية الأحجار المقطوعة. في هذا المثال سيقوم الراصد بتحديد إحداثيات مئات من النقاط (علي هذا الجبل) لرسم خريطة كنتورية أو سطح مجسم له قبل بدء أعمال الحفر ، ثم سيقوم بإعادة هذا الرفع الطبوغرافي مرة أخري كل فترة زمنية لحساب حجم جزء الجبل الذي تم حفره. باستخدام المحطة الشاملة العادية فأن هذا الرفع المساحي سيستغرق وقتا طويلا في كل مرة. تم ابتكار جهاز المحطة الشاملة بالمسح الليزري Laser Scanner Total Station بحيث أن جهاز الليزر (الذي يقيس المسافة أوتوماتكيا ومن ثم يحسب إحداثيات نقطة الرصد) يستطيع الحركة أفقيا و رأسيا بصورة آلية. أي أن الراصد يبدأ بتحديد مجال الرؤية الذي يريد رفع معالمه مساحيا (الأركان الأربعة) كما يحدد المسافة المطلوبة للقياس بين كل نقطتين متتاليتين. يبدأ الجهاز في الرفع المساحي بالليزر آليا وبصورة مستمرة حتى يكتمل رفع جميع المعالم في مجال الرؤية المحدد ، ويتم تخزين هذه القياسات آليا في ذاكرة الجهاز. هذا النوع من المحطات الشاملة يعتمد علي مبدأ أن الموجة المرسلة من الجهاز ستنعكس عند اصطدامها بأي هدف (أي لا يستخدم عاكس مع الجهاز) مما يجعله مناسبا للرفع المساحي للمعالم التي لا يمكن الوصول إليها. وبهذا فأن ناتج المسح الليزري سيكون مجسم ثلاثي الأبعاد للمعالم المرفوعة. من أمثلة استخدامات المحطة الشاملة بالمسح الليزري: مشروعات الهندسية المدنية التي تحتاج تقدير كميات الحفر و الردم ، توثيق المواقع الأثرية في حالة نقلها من مكان لآخر حتى يمكن إعادة تركيبها بنفس أبعادها و مواقعها النسبية.

شكل (٣٦) مثال لجهاز المحطة الشاملة بالمسح الليزري

٥-٣-٣ المحطة الشاملة التصويرية

تتكون نظم المحطة الشاملة التصويرية Photogrammetric Total Station Systems: PTTS من الدمج بين المحطة الشاملة و الكاميرا الرقمية لإنتاج جهاز يعتمد علي التكامل بين تقنيتي المسح الأرضي و المساحة التصويرية الأرضية. تعد تقنية المساحة التصويرية الأرضية Close-Range Photogrammetry من التقنيات المساحية التي تمكن من تحديد المواقع (الإحداثيات) من خلال صورة فوتوغرافية عالية الدقة سواء كانت صورة تقليدية (مطبوعة) أو صورة رقمية. كانت فكرة وضع كاميرا علي جهاز ثيودوليت موجودة منذ السبعينات من القرن العشرين وكانت هناك أجهزة تسمي الثيودوليت التصويري Photo-Thedolite مثل أجهزة Wild P30 and Ziess 19/1318. إلا أن هذه الأجهزة توقف إنتاجها بعد ذلك ، وفي بداية التسعينات عادت الفكرة للظهور مرة أخري لكن تم استخدام المحطة الشاملة بديلا عن الثيودوليت وتم دمجها مع كاميرا رقمية عالية الدقة في جهاز واحد. تستخدم المحطة الشاملة التصويرية في تطبيقات عديدة مثل تقدير كميات الحفر و الردم في المشروعات الهندسية وكذلك أعمال الرفع الطبوغرافي و إنشاء الخرائط الكنتورية للمناطق الشاسعة ، حيث تتميز بتخفيض مدة و تكلفة العمل الحقلي.



شكل (٣٧) المحطة الشاملة بالمسح التصويرية

٥-٣-٤ المحطة الشاملة الجيرو

في هذا النوع من أجهزة المحطات الشاملة يوجد جهاز جيرو (مركب علي المحطة الشاملة) يمكنه قياس الانحراف azimuth في أي مكان و خاصة تحت سطح الأرض. ومن ثم فأن هذه النوعية من المحطات الشاملة تستخدم في مشروعات الأنفاق أو التطبيقات تحت الأرضية. ومن أمثلة هذه الأجهزة جهاز Sokkia Gyro X II التي يمكنها قياس الانحرافات بدقة ١٥" وقياس الزوايا بدقة ١" وقياس المسافات بالعاكس حتى ٢٥٠٠ متر بدقة ١.٥ مللي ± ٢ ppm.

شكل (٣٨) المحطة الشاملة الجيرو Sokkia Gyro X II

٥-٣-٥ المحطة الشاملة مع الجي بي أس

تعد هذه الأجهزة هي الأحدث في مجال العمل المساحي الأرضي حيث تقدم هذه النوعية من الأجهزة دمجا بين جهازين: المحطة الشاملة و مستقبل receiver للنظام العالمي لتحديد المواقع بالرصد علي الأقمار الصناعية: الجي بي أس. ومن هنا فأن جهاز الجي بي أس يمكنه تجميع القياسات في المناطق المفتوحة أو تثبيت نقاط تحكم معلومة ثم يمكن العمل بالمحطة الشاملة لأعمال الرفع المساحي التفصيلي خاصة في المناطق المغلقة (التي لا تتوافر بها اشارات الأقمار الصناعية). ومن أمثلة هذه الأجهزة جهاز شركة ليكا: Leica Smart Station

شكل (٣٩) المحطة الشاملة مع الجي بي أس Leica Smart Station

ملحق رقم ٤
النظام العالمي لتحديد المواقع

١- مقدمة

تطورت نظم الملاحة بالأقمار الصناعية مع إطلاق نظام الملاحة الأمريكي Navy Navigation Satellite System الذي عرف باسم ترانزيت Transit وأيضا باسم نظام دوبلر Doppler - في الستينات من القرن العشرين الميلادي، وكان الهدف الرئيسي منه تحديد مواقع القطع البحرية في البحار و المحيطات والمعرفة الدقيقة لإحداثيات المواقع الإستراتيجية. وبالرغم من هذه الأهداف العسكرية إلا أن المهندسين المدنيين قد استخدموا هذا النظام في العديد من التطبيقات المساحية وخاصة إنشاء شبكات الثوابت الأرضية الدقيقة. أعتمد نظام الدوبلر علي عدد من الأقمار الصناعية التي تدور علي ارتفاع حوالي ١٠٠٠ كيلومتر من سطح الأرض حيث يكمل كل قمر دورة كاملة حول الأرض في مدة تبلغ ١٠٧ دقيقة وكانت دقة تحديد المواقع الأرضية اعتمادا علي هذا النظام في حدود ٣٠-٤٠ متر. ومع أن أقمار الدوبلر تغطي معظم أنحاء الأرض إلا أن عددها (٦ أقمار صناعية فقط) لم يكن يسمح بتواصل الإشارات طوال ٢٤ ساعة يوميا – بل لعدة ساعات طبقا للموقع المطلوب علي الأرض – مما لم يلبي حاجة مستخدمي النظام سواء العسكريين أو المدنيين وأدي ذلك إلي بدء وزارة الدفاع الأمريكية - مع بداية السبعينات - في تطوير نظام ملاحي آخر.

بدأت عدة جهات علمية و حكومية اقتراح نظم جديدة و في عام ١٩٦٩ قامت وزارة الدفاع بإنشاء برنامج جديد تحت اسم البرنامج العسكري للملاحة بالأقمار الصناعية DNSS لتوحيد الجهود وراء إطلاق نظام ملاحي جديد. وبالفعل تم اقتراح تقنية جديدة تحت اسم ***"النظام العالمي الملاحي لتحديد المواقع بقياس المسافة و الزمن باستخدام الأقمار الصناعية NAVigation Satellite Timing And Ranging Global Positioning System"*** أو اختصارا باسم NAVSRAT GPS ، إلا أنه عرف علي نطاق واسع – بعد ذلك – باسم النظام العالمي لتحديد المواقع أو اختصارا ***"جي بي أس GPS"***. تم إطلاق أول قمر صناعي في هذا النظام في ٢٢ فبراير ١٩٧٨ وفي ٨ ديسمبر ١٩٩٣ تم إعلان اكتمال النظام مبدئيا Initial Operational Capability (IOC) ، أما الإعلان النهائي لاكتمال النظام رسميا Fully Operational Capability (FOC) فقد كان في ٢٧ أبريل ١٩٩٥. وفي بدايته كان الجي بي أس مقصورا علي الاستخدامات العسكرية للقوات المسلحة الأمريكية وحلفاؤها حتى أعلن الرئيس الأمريكي ريجان في عام ١٩٨٤ السماح للمدنيين

باستخدامه (لكن ليس جميع مميزاته أو مستوي الدقة العالية في تحديد المواقع !) ، وكان ذلك بعد حادثة إسقاط القوات المسلحة الروسية لطائرة ركاب كورية مدنية بعد دخولها بالخطأ في المجال الجوي الروسي. ويدار الجي بي أس من خلال وزارة الدفاع الأمريكية وهي الجهة المسئولة عن إطلاق الأقمار الصناعية و مراقبتها و التأكد من كفاءة تشغيلها واستبدالها كل فترة زمنية بحيث تكون إشارات هذه التقنية متاحة ٢٤ ساعة يوميا وعلي مدار كل الأيام لجميع المستخدمين علي سطح الأرض. وفي عام ١٩٩٦ تم تكوين لجنة عليا تضم عدد من الوزارات الأمريكية لكي تشرف علي نظام الجي بي أس و تضع السياسات المستقبلية اللازمة ، وسميت باللجنة التنفيذية مابين الوزارات Inter-Agency GPS Executive Board أو اختصارا IGEB (الرابط علي شبكة الانترنت في: http://www.igeb.gov/charter.shtml) .

تشتمل تقنية الجي بي أس علي العديد من المميزات التي ساعدت علي انتشارها بصورة لم يسبق لها مثيل ومنها:

- متاح طوال ٢٤ ساعة يوميا ليلا و نهارا وعلي مدار العام كله.
- يغطي جميع أنحاء الأرض.
- لا يتأثر بأية ظروف مناخية مثل درجات الحرارة و المطر و الرطوبة والرعد و البرق و العواصف.
- الدقة العالية في تحديد المواقع لدرجة تصل إلي ملليمترات في بعض التطبيقات و طرق الرصد الجيوديسية أو دقة أمتار قليلة للتطبيقات الملاحية.
- الوفرة الاقتصادية بحيث أن تكلفة استخدام الجي بي أس تقل بنسبة أكبر من ٢٥% بالمقارنة بأي نظام ملاحي أرضي أو فضائي آخر.
- لا يحتاج لخبرة تقنية متخصصة لتشغيل أجهزة الاستقبال (وخاصة المحمولة يدويا) لدرجة أن بعض مستقبلات الجي بي أس أصبحت تدمج في الساعات اليدوية و أجهزة الاتصال التليفوني.

تعددت التطبيقات المساحية لتقنية الجي بي أس بصورة كبيرة في السنوات الماضية وتشمل بعضها:

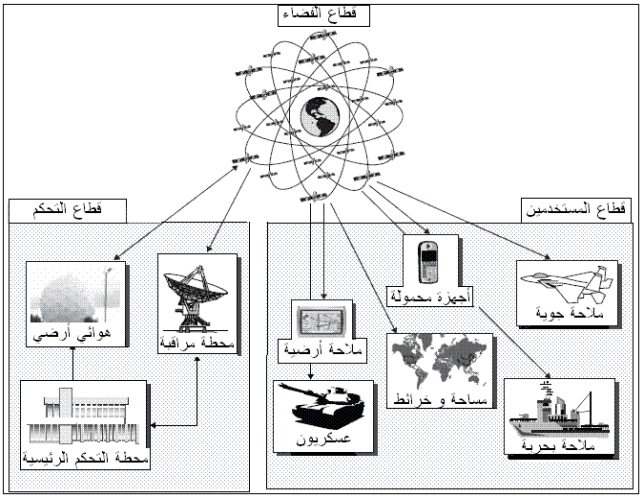
- إنشاء الشبكات الجيوديسية للثوابت الأرضية الدقيقة وتكثيف الشبكات القديمة منها (عن طريق إضافة محطات جديدة لها).
- رصد تحركات القشرة الأرضية.
- رصد إزاحة أو هبوط المنشئات الحيوية كالكباري و الجسور و السدود و القناطر.

- أعمال الرفع المساحي التفصيلي و الطبوغرافي.
- إنتاج خرائط طبوغرافية و تفصيلية دقيقة و في صورة رقمية.
- تحديد المواقع لعلامات الضبط الأرضي للصور الجوية Aerial Photogrammetry و المرئيات الفضائية لنظم الاستشعار عن بعد Remote Sensing.
- تطبيقات المساحة التصويرية الأرضية Close-Range Photogrammetry.
- تطوير نماذج الجيويد الوطنية بالتكامل مع أسلوب الميزانية الأرضية.
- تجميع البيانات المكانية عند استخدام تقنية نظم المعلومات الجغرافية Geographic Information Systems أو GIS ، وخاصة لتطبيقات تحديد مواقع الخدمات المدنية Location-Based Services وتطبيقات النقل الذكي Intelligent Transportation وأيضا تطبيقات نظم معلومات الأراضي Land Information Systems أو LIS.
- الربط بين المراجع الجيوديسية المختلفة للدول في حالات المشروعات الحدودية المشتركة.
- نظم الخرائط المحمولة Mobile Mapping Systems أو MMS.
- الرفع الهيدروجرافي و تطوير الخرائط البحرية و النهرية.
- تثبيت و توثيق مواقع العلامات الحدودية بين الدول.
- بدمج تقنيتي الجي بي أس و نظم المعلومات الجغرافية أمكن إنتاج خرائط رقمية و قواعد بيانات محمولة يدويا للمدن بكافة تفاصيلها و خدماتها.

٢- مكونات نظام الجي بي أس

يتكون نظام الجي بي أس من ثلاثة أجزاء أو أقسام هي:

- قسم الفضاء ويحتوي الأقمار الصناعية Space Segment.
- قسم التحكم و السيطرة Control Segment.
- قسم المستقبلات الأرضية أو المستخدمون User Segment.



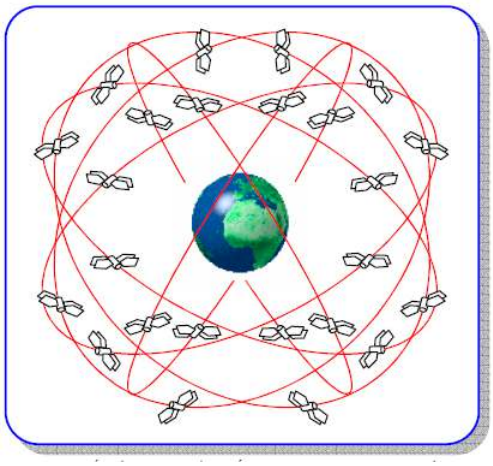
شكل (١) أقسام الجي بي أس

قسم الفضاء أو الأقمار الصناعية:

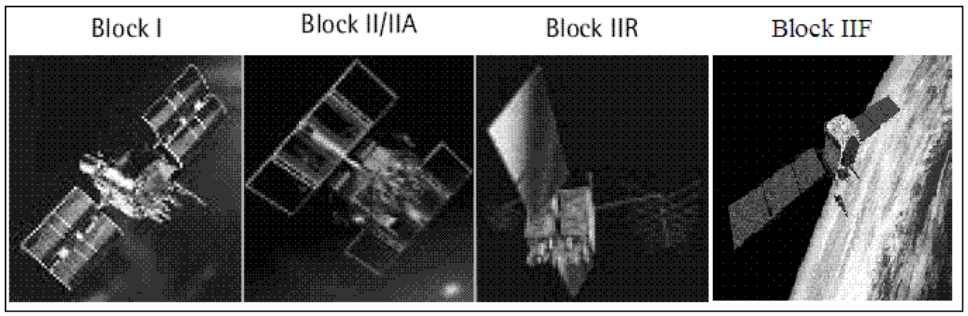
يتكون قسم الفضاء - اسميا - من ٢٤ قمرا صناعيا (٢١ قمر عامل + ٣ أقمار احتياطية spare موجدة في الفضاء) موزعة في ٦ مدارات بحيث يكون هناك ٤ أقمار صناعية في كل مدار مما يسمح بالتغطية الدائمة (أي وجود علي الأقل ٤ أقمار صناعية) لكل موقع علي سطح الأرض في أي لحظة طوال اليوم (شكل ٥-٥). وقد يصل عدد الأقمار الصناعية في وقت معين إلي ما هو أكثر من ٢٤ قمرا طبقا لخطة إطلاق الأقمار الصناعية. وتدور الأقمار الصناعية في مدارات شبه دائرية علي ارتفاع حوالي ٢٠٢٠٠ كيلومتر من سطح الأرض ليكمل كل قمر صناعي دورة كاملة حول الأرض في مدة ١١ ساعة و ٥٦ دقيقة بالتوقيت الزمني الأرضي العالمي GMT. ويتراوح وزن القمر الصناعي بين ٤٠٠ و ٨٥٠ كيلوجرام ويبلغ عمره الافتراضي (للأجيال الحديثة من الأقمار الصناعية) حوالي سبعة سنوات و نصف، ويستمد طاقته من خلال صفيحتين لالتقاط الطاقة الشمسية بالإضافة لوجود ثلاثة بطاريات احتياطية من النيكل تزوده بالطاقة عندما يمر بمنطقة ظل الأرض. ويقوم كل قمر صناعي بتوليد موجتين علي ترددين مختلفين Frequency يسموا L1 و L2 بالإضافة لشفرتين Codes و رسالة ملاحية Navigation Message يتم بثهم علي هذين الترددين. كما يحتوي كل قمر علي

عدد من الساعة الذرية Atomic Watch سواء من نوع السيزيوم cesium أو الرابيديوم rubidium.

تغيرت مواصفات و كفاءة الأقمار الصناعية في نظام الجي بي أس علي مر السنوات بحيث يمكن تقسيم الأقمار إلي عدد من الأجيال. بدأت أقمار الجيل الأول – يسمي Block I – وعددهم ١١ قمرا مع بداية تقنية الجي بي أس منذ إطلاق القمر الأول في ٢٢ فبراير ١٩٧٨ وكان آخر أقمار هذا الجيل الذي أطلق في ٩ أكتوبر ١٩٨٥. وكان ميل مدار أقمار الجيل الأول ٦٣° علي مستوي دائرة الاستواء والعمر الافتراضي المصمم للقمر الواحد هو أربعة سنوات و نصف (إلا أن بعضهم بقي يعمل بكفاءة لحوالي عشرة سنوات). وكان الجيل الثاني من الأقمار الصناعية Block II/IIA أكثر كفاءة من سابقه وتكون من ٢٨ قمرا صناعيا تم إطلاقها في الفترة بين فبراير ١٩٨٩ و نوفمبر ١٩٩٧ بحيث يبلغ ميل مدار القمر الصناعي ٥٥° علي دائرة الاستواء ، و زاد العمر الافتراضي للقمر الواحد إلي سبعة سنوات و نصف. ثم تعددت الأجيال الفرعية من الجيل الثاني لتصبح هناك أقمار IIR (٢١ قمر بعمر افتراضي يبلغ عشرة سنوات) وأقمار IIR-M وأقمار IIF (بعمر افتراضي يصل إلي خمسة عشر عاما) ، كما بدأ العمل في تصميم أقمار الجيل الثالث من الأقمار الصناعية Block III.



شكل (٢) قطاع الفضاء في تقنية الجي بي أس



شكل (٣) نماذج للأقمار الصناعية في نظام الجي بي أس

قسم التحكم و المراقبة:

يتكون قسم التحكم و المراقبة من محطة التحكم الرئيسية في ولاية كلورادو الأمريكية وأربعة محطات مراقبة في عدة مواقع حول العالم (شكل ٥-٧). تستقبل محطات المراقبة كل إشارات الأقمار الصناعية وتحسب منها المسافات لكل الأقمار المرصودة وترسل هذه المعطيات بالإضافة لقياسات الأحوال الجوية إلي محطة التحكم الرئيسية والتي تستخدم هذه البيانات في حساب المواقع اللاحقة للأقمار وسلوك (تصحيحات) ساعاتها وبالتالي تكون الرسالة الملاحية لكل قمر صناعي. تقوم محطة التحكم الرئيسية بعمل التصحيحات اللازمة لمدارات الأقمار الصناعية وكذلك تصحيح ساعات الأقمار ، ثم تقوم بإرسال هذه المعلومات للأقمار الصناعية (مرة كل ٢٤ ساعة) والتي تقوم بتعديل مساراتها و أزمانها وبعد ذلك ترسل هذه البيانات المصححة كإشارات إلي أجهزة الاستقبال الأرضية.

شكل (٤) قسم التحكم و السيطرة

قسم المستقبلات الأرضية:

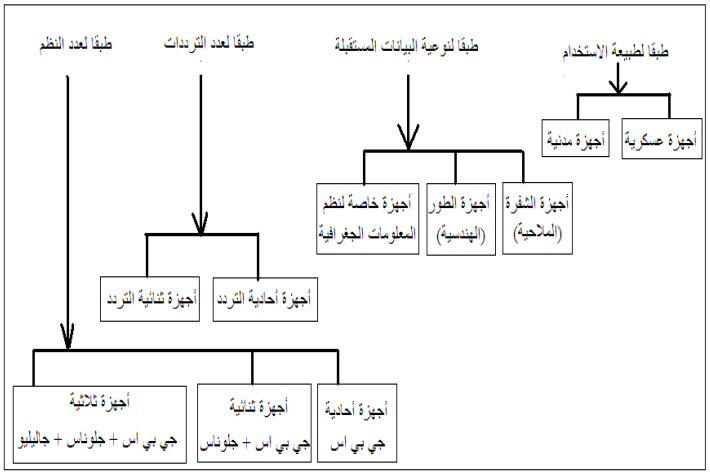
يضم هذا القطاع أجهزة استقبال الجي بي أس (مستخدمو النظام) التي تستقبل إشارات الأقمار الصناعية وتقوم بحساب موقع – إحداثيات – المكان الموجود به المستقبل سواء علي الأرض أو في الجو أو في البحر، بالإضافة لسرعة واتجاه حركة المستقبل إن كان متحركا أثناء فترة الرصد. بصفة عامة يتكون جهاز الاستقبال من: هوائي مع مضخم إشارة ، وحدة تردد راديوي أو لاقط الإشارات، مولد ترددات ، وحدة تأمين الطاقة الكهربائية ، وحدة التحكم للمستخدم ، بالإضافة إلي وحدة ذاكرة لتخزين القياسات. تتعدد أنواع أجهزة الاستقبال بصورة كبيرة جدا طبقا لعدد من العوامل:

أ- طبقا لطبيعة الاستخدام: توجد أجهزة استقبال عسكرية (تستطيع التعامل مع الشفرة العسكرية التي تبثها الأقمار الصناعية وتفك شفرتها للحصول علي دقة عالية جدا في حساب المواقع) وأجهزة استقبال مدنية.

ب- طبقا لنوعية البيانات المستقبلة: توجد مستقبلات تسمي بأجهزة الشفرة Code ومشهورة أيضا باسم الأجهزة الملاحية Navigation Receivers أو الأجهزة المحمولة يدويا Hand-Held Receivers ، وتوجد أجهزة تسمي بأجهزة قياس الطور Phase ومعروفة أيضا باسم الأجهزة الهندسية أو الجيوديسية Geodetic Receivers ، وظهرت حديثا الفئة الثالثة من الأجهزة والتي أطلق عليها أجهزة تجميع البيانات لنظم المعلومات الجغرافية GIS-Specific Receivers (شكل ٥-٩).

ج- طبقا لعدد الترددات: توجد أجهزة تستقبل تردد واحد من الترددين الذين تبثهما الأقمار الصناعية وتسمي أجهزة أحادية التردد Single-Frequency Receivers أو أجهزة التردد الأول L1-Receivers ، وأجهزة ثنائية التردد Dual-Frequency Receivers التي تستطيع استقبال كلا ترددي الجي بي أس L1 and L2 (وهي أغلي قليلا من الأجهزة أحادية التردد).

د- طبقا لعدد النظم: هناك أجهزة تتعامل فقط مع إشارات نظام الجي بي أس ، وأجهزة ثنائية النظام تستقبل الإشارات من كلا من الجي بي أس و النظام الملاحي الروسي جلوناس، وأجهزة ثلاثية أو رباعية النظم حيث يمكنها أيضا استقبال إشارات النظام الملاحي الأوروبي جاليليو والصيني بيدو عند بدء العمل بهما.



شكل (٥) أنواع أجهزة استقبال الجي بي أس

شكل (٦) بعض أجهزة استقبال الجي بي أس

٣- فكرة عمل الجي بي أس في تحديد المواقع

تعتمد نظرية عمل نظم الملاحة أو الجيوديسيا بالأقمار الصناعية علي مبدأ قياس الزمن الذي تستغرقه الموجة الراديوية منذ صدورها من وحدة البث (القمر الصناعي) وحتى وصولها لوحدة الاستقبال (المستقبل) ، ومن ثم يمكن حساب المسافة بين القمر الصناعي و جهاز الاستقبال من المعادلة:

$$D = c \cdot \Delta t \qquad (1)$$

حيث D المسافة بين القمر الصناعي و جهاز الاستقبال ، c سرعة الإشارة وتساوي سرعة الضوء = ٢٩٩٧٩٢.٤٥٨ كيلومتر/ثانية ، Δt فرق الزمن = زمن الاستقبال – زمن الإرسال لهذه الموجة الراديوية.

يمكن التعبير عن هذه المسافة بدلالة الإحداثيات الجيوديسية الكارتيزية لكلا من القمر الصناعي (Xs, Ys, Zs) و جهاز الاستقبال (Xr, Yr, Zr) كالآتي:

$$D = \sqrt{[(Xs-Xr)^2 + (Ys-Yr)^2 + (Zs-Zr)^2]} \qquad (2)$$

حيث أن إحداثيات القمر الصناعي في أي لحظة تكون معلومة فأن المعادلة (٢) تحوي علي ٣ قيم مجهولة وهم إحداثيات جهاز الاستقبال ذاته (Xr, Yr, Zr). مما يدل علي أنه يلزم وجود ٣ معادلات حتى يمكن حلهم معا آنيا simultaneously لحساب قيم الإحداثيات الثلاثة لجهاز الاستقبال. أي بمعني آخر: يلزم لجهاز الاستقبال رصد ٣ أقمار صناعية في نفس اللحظة.

حيث أن سرعة الإشارة (سرعة الضوء) كبيرة جدا فأنه للوصول لدقة عالية في حساب المسافة يلزمنا دقة عالية أيضا في قياس الزمن أو حساب فرق الزمن Δt. لاحظ أن الإشارة لا تستغرق أكثر من ٠.٠٦ ثانية لتقطع مسافة ٢٠،٠٠٠ كيلومتر من القمر الصناعي إلي سطح الأرض. إن الساعة الموجودة في القمر الصناعي من النوع الذري عالي الدقة جدا في تحديد زمن الإرسال (زمن خروج الإشارة من القمر الصناعي) لكن الساعة الموجودة في جهاز الاستقبال ليست بنفس هذه الدقة العالية (وإلا فأن سعرها سيكون مرتفعا جدا بصورة تجعل سعر أجهزة الاستقبال غير متاحة لكل المستخدمين). أبتكر العلماء فكرة جديدة وذكية للتغلب علي مشكلة عدم دقة الساعة في أجهزة الاستقبال ، وهي إضافة قيمة الخطأ في ساعة المستقبل وحلها من خلال معادلة رياضية. أي أن المعادلة (١) والمعادلة (٢) ستتحولان إلي:

$$D = c \cdot (\Delta t + Et) \qquad (3)$$

$$D + \Delta D = \sqrt{[\,(Xs-Xr)^2 + (Ys-Yr)^2 + (Zs-Zr)^2\,]} \qquad (4)$$

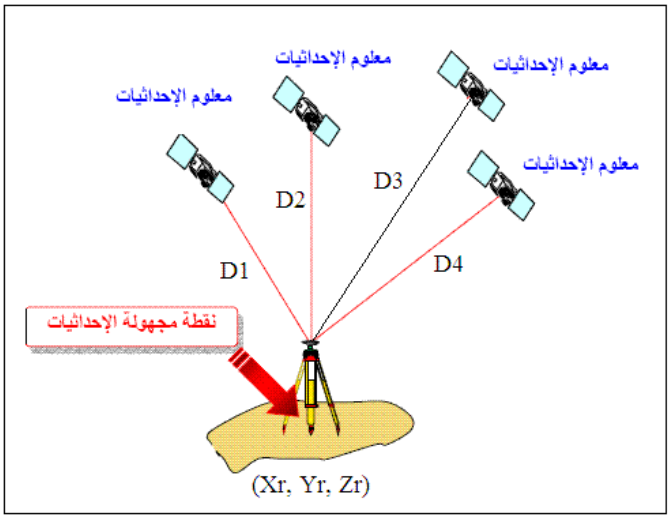
حيث Et هو الخطأ المطلوب حسابه لزمن الاستقبال الذي يقيسه جهاز المستقبل ، ΔD هو قيمة الخطأ في المسافة المحسوبة بين القمر الصناعي و جهاز الاستقبال. وبالتالي فأن عدد القيم المجهولة Unknowns أصبح ٤ وليس ٣ (ثلاثة إحداثيات لموقع جهاز الاستقبال Xr, Yr, Zr وتصحيح المسافة الناتج عن خطأ ساعة الجهاز ΔD) مما يلزم وجود ٤ معادلات حتى يمكن حساب قيم العناصر الأربعة المجهولة:

$$\begin{aligned}
D_1 + \Delta D_1 &= \sqrt{[\,(Xs_1-Xr)^2 + (Ys_1-Yr)^2 + (Zs_1-Zr)^2\,]} \\
D_2 + \Delta D_2 &= \sqrt{[\,(Xs_2-Xr)^2 + (Ys_2-Yr)^2 + (Zs_2-Zr)^2\,]} \qquad (5) \\
D_3 + \Delta D_3 &= \sqrt{[\,(Xs_3-Xr)^2 + (Ys_3-Yr)^2 + (Zs_3-Zr)^2\,]} \\
D_4 + \Delta D_4 &= \sqrt{[\,(Xs_4-Xr)^2 + (Ys_4-Yr)^2 + (Zs_4-Zr)^2\,]}
\end{aligned}$$

حيث D_1, D_2, D_3, D_4 المسافات المقاسة بين جهاز الاستقبال و الأقمار الصناعية الأربعة ، (Xs_1, Ys_1, Zs_1) و(Xs_2, Ys_2, Zs_2) و (Xs_3, Ys_3, Zs_3) و (Xs_4, Ys_4, Zs_4) تمثل إحداثيات الأقمار الصناعية الأربعة ، (Xr, Yr, Zr) تمثل إحداثيات جهاز الاستقبال، Er يمثل خطأ زمن جهاز الاستقبال.

إذن: المطلوب لحل مجموعة المعادلات هذه هو أن يقوم جهاز الاستقبال برصد ٤ أقمار صناعية في نفس اللحظة. وهذا هو ***الشرط الأساسي*** لحساب الإحداثيات ثلاثية الأبعاد باستخدام الجي بي أس (نكتفي برصد ٣ أقمار صناعية فقط لحساب الإحداثيات ثنائية الأبعاد أي بإهمال حساب ارتفاع الموقع). فإذا توفر لدينا عدد من المعادلات أكبر من ٤ (أي تم رصد أكثر من ٤

أقمار صناعية في نفس اللحظة) فستؤدي هذه الأرصاد الزائدة Redundant Measurement إلي زيادة دقة و جودة حل المعادلات ومن ثم زيادة دقة الإحداثيات المستنبطة.



شكل (٧) مبدأ الرصد في نظام الجي بي أس

٤- إشارات الأقمار الصناعية في الجي بي أس

يقوم كل قمر صناعي من أقمار الجي بي أس بإرسال إشارتين راديوتين علي ترددين carrier frequencies ومحمل عليهما نوعين من الشفرات الرقمية digital codes بالإضافة لرسالة ملاحية navigation message. يبلغ تردد الإشارة الأولي – تسمي L1 – ١٥٧٥.٤٢ ميجاهرتز بينما يبلغ تردد الإشارة الثانية – تسمي L2 – ١٢٢٧.٦٠ ميجاهرتز. كما يبلغ طول الموجة wavelength لتردد L1 ١٩ سنتيمتر بينما يبلغ ٢٤.٤ سنتيمتر لتردد L2. السبب الرئيسي وراء وجود ترددين صادرين من كل قمر صناعي هو تقدير و حساب الخطأ الذي تتعرض له الإشارات عند مرورها في طبقات الغلاف الجوي (سنتعرض للأخطاء بالتفصيل لاحقا). أما طريقة وضع modulation الشفرة علي التردد الحامل له فتختلف من قمر صناعي لآخر حتى يتم تقليل أخطاء تداخل الإشارات. تجدر الاشارة الي أنه قد بدأ منذ عام ٢٠١٤ بث التردد الثالث المسمي L5.

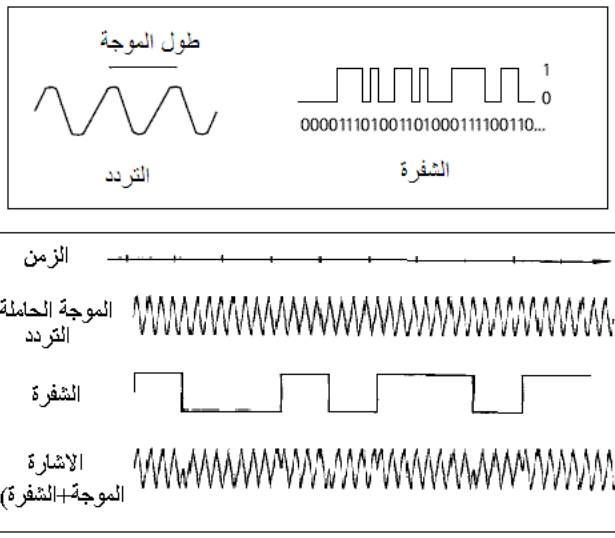
الشفرة الأولي تسمي شفرة الحصول الخشن Coarse-Acquisition Code وترمز لها بالرمز C/A وأحيانا نسميها الشفرة المدنية (لأنها المتاحة للأجهزة المدنية للتعامل معها وقراءة محتوياتها) ، بينما الشفرة الثانية تسمي الشفرة الدقيقة Precise Code ويرمز لها بالرمز P والبعض يطلق عليها أحيانا اسم الشفرة العسكرية (لان التعامل معها وقراءتها لا يتم

إلا باستخدام أجهزة استقبال خاصة غير متاحة إلا لأفراد الجيش الأمريكي). تتكون كل شفرة من سيل من الأرقام صفر و واحد ، ولذلك تعرف الشفرة بمصطلح الضجة العشوائية الزائفة Pseudo Random Noise أو PRN لان الشفرة تشبه الإشارة العشوائية ، لكن في الحقيقة فأن الشفرة يتم توليدها من خلال نموذج رياضي وليست عشوائية (شكل ٥-١١). تحمل شفرة C/A علي التردد الأول L1 فقط بينما تحمل الشفرة P علي كلا الترددين L2 ,L1. تجدر الإشارة – دون الدخول في تفاصيل فنية معقدة – أن الشفرة P أدق كثيرا من الشفرة C/A ولذلك فقد تم منع إمكانية قراءتها من قبل المستخدمين المدنيين منذ فبراير ١٩٩٤ وقصرها فقط علي التطبيقات العسكرية للولايات المتحدة الأمريكية و حلفاؤها (عن طريق إضافة قيم مجهولة لها تسمي W-code بحيث تتغير الشفرة من P إلي ما يسمي الشفرة Y-code).

وبذلك يمكن القول أن نظام الجي بي أس يقدم نوعين من الخدمات:

- خدمة التحديد القياسي للمواقع Standard Positioning Service أو اختصارا SPS والتي تعتمد علي استقبال و قراءة واستخدام البيانات من الشفرة المدنية C/A ، ولذلك تسمي هذه الخدمة بالخدمة المدنية.
- خدمة التحديد الدقيق للمواقع Precise Positioning Service أو اختصارا PPS والتي تعتمد علي استقبال و قراءة واستخدام البيانات من الشفرة الدقيقة P ولذلك تسمي هذه الخدمة بالخدمة العسكرية.

تتكون الرسالة الملاحية لكل قمر صناعي من مجموعة من البيانات ، وهي تضاف علي كلا الترددين L2 ,L1. تحتوي بيانات الرسالة الملاحية علي إحداثيات القمر الصناعي ، معلومات عن حالة و كفاءة القمر (صحة القمر satellite health) وأيضا الأقمار الأخرى ، تصحيح خطأ ساعة القمر ، الإحداثيات المتوقعة أو المحسوبة للقمر الصناعي (ولباقي الأقمار) في الفترة المستقبلة وتسمي almanac ، بالإضافة لبيانات عن الغلاف الجوي.



شكل (٨) التردد و الشفرة في إشارات الأقمار الصناعية

٥- نظم ملاحية أخري لتحديد المواقع

لا يعد الجي بي أس هو النظام الملاحي الوحيد المتوافر حاليا لتحديد المواقع باستخدام الأقمار الصناعية ، فتوجد عدة نظم شبيهه سواء نظم عالمية (تغطي خدماتها كل الأرض) أو نظم إقليمية (تغطي خدماتها مناطق معينة). وسنلقي الضوء – في الجزء القادم – علي بعض هذه النظم.

النظام الروسى جلوناس

تتشابه بدايات النظام الروسي للملاحة بالأقمار الصناعية (أسمه باللغة الروسية هو: GLObal'naya NAvigatsionnaya Sputnikovaya Sistema وبالانجليزية: GLObal Navigation Satellite System) المعروف اختصارا باسم جلوناس GLONASS مع بدايات الجي بي أس من حيث أنه نظام عسكري بدأ التفكير بتطويره في عام ١٩٧٦ أثناء فترة الحرب الباردة بين الولايات المتحدة الأمريكية والاتحاد السوفيتي السابق (روسيا الآن) ، كما أنه مثل الجي بي أس فيدار بواسطة وزارة الدفاع. في ١٢ أكتوبر ١٩٨٢ تم إطلاق أول قمر صناعي في نظام جلوناس وأعلن النظام يعمل مبدئيا في ٢٤ سبتمبر ١٩٩٣.

يتكون نظام جلوناس – رسميا – من ٢١ قمرا صناعيا موزعة في ٣ مدارات حول سطح الأرض ، وتدور علي ارتفاع ١٩١٠٠ كيلومتر من سطح الأرض وزاوية ميل ٦٤.٨° بحيث يكمل كل قمر دورة حول الأرض كل ١١ ساعة و ١٥ دقيقة. يرسل كل قمر صناعي نوعين من الخدمات: الإشارة الدقيقة Precision Signal أو اختصارا SP ، الإشارة عالية

الدقة High-Precision Signal أو اختصارا HP علي ترددات تتراوح بين ١٦٠٢.٥٦٢٥ و ١٦١٥.٥ ميجاهرتز(في النطاق المعروف باسم تردد L1). تبلغ الدقة المدنية جراء استخدام إشارات نظام جلوناس حوالي ٥٥ متر أفقيا و ٧٠ متر رأسيا عند رصد ٤ أقمار صناعية ، لكن دقة الإشارة عالية الدقة HP تكون أدق بكثير من هذه المستويات. من المتوقع أن تصل دقة نظام جلوناس لتحديد المواقع إلي حدود نفس الدقة التي يوفرها الجي بي أس بحلول عام ٢٠١١. تقع محطة التحكم الرئيسية في موسكو بينما توجد ٤ محطات مراقبة أخري داخل الأراضي الروسية.

النظام الأوروبي جاليليو

في عام ١٩٩٩ تم اقتراح إقامة نظام جاليليو كمشروع مشترك بين الاتحاد الأوروبي EU و وكالة الفضاء الأوروبية ESA كبديل مدني تديره جهة مدنية بعكس وزارتي الدفاع اللتين تديران كلا من الجي بي أس و جلوناس. كما أن مشروع نظام ملاحي فضائي بهذا الحجم سيتيح قدرات هائلة للصناعة في الدول الأوروبية التي تشترك في تنفيذه ، حيث من المتوقع أن يتيح المشروع وظائف لحوالي ١٠٠ ألف شخص في أوروبا ، وسيكون العائد الاقتصادي للنظام ضخما حيث سيبلغ عدد مستخدميه ٣.٦ مليون مستخدم حتى عام ٢٠٢٠. كما تم السماح لعدة دول غير أوروبية (مثل الصين و كوريا الجنوبية و إسرائيل و المغرب و السعودية) بالمشاركة في تطوير جاليليو عن طريق المساعدات المادية أو الصناعية أو البحثية. اكتملت الدراسات التقنية المبدئية لهذا المشروع العملاق ، وبدأت مرحلة التطوير في عام ٢٠٠١ ، ومن المتوقع اكتمال النظام في عام ٢٠٢٠.

سيتكون نظام جاليليو من ٣٠ قمر صناعي (٢٧ قمر عامل + ٣ أقمار احتياطية) موزعين في ثلاثة مدارات تميل بزاوية ٥٦° و علي ارتفاع ٢٣٦١٦ كيلومتر من سطح الأرض ، بحيث يكمل كل قمر دورة حول الأرض كل ١٤ ساعة و ٧ دقائق. وسيكون هناك مركزين أرضيين للمراقبة و التحكم في الأقمار الصناعية. ستقوم الأقمار الصناعية في نظام جاليليو ببث ١٠ إشارات: ٦ مخصصة للخدمة العامة و خدمة البحث و الانقاذ ، ٢ للخدمة التجارية ، ٢ لخدمة المرافق العامة. وستكون الإشارات في نطاقين من الترددات: ١١٦٤-١٢١٥ ميجاهرتز ، ١٥٥٩-١٥٩١ ميجاهرتز.

تم إطلاق أول قمر صناعي في منظومة جاليليو (GIOVE-A) في ٢٨ ديسمبر ٢٠٠٥ وكان إطلاق القمر التجريبي الثاني (GIOVE-B) في عام ٢٠٠٨ لوضع اللمسات النهائية علي النظام و مواصفاته و التأكد من تشغيله بجودة عالية.

النظام الصيني بيدو

بدأ نظام بيدو (أو البوصلة) كنظام ملاحي يهدف لتغطية الصين فقط ، إلا أنه تطور لاحقا بهدف تحقيق تغطية إقليمية ثم الوصول بعد ذلك إلي التغطية العالمية. من المتوقع أن يتكون النظام من ٥ أقمار صناعية ثابتة المدار Geostationary Erath Orbit Satellites أو اختصارا GEO بالإضافة إلي ٣٠ قمرا صناعيا متوسطة المدار Medium Earth Orbiting Satellites أو اختصارا MEO موزعين في ٦ مدارات علي ارتفاع ٢١٥٠٠ كيلومتر من سطح الأرض وبزاوية ميل ٥٥° ، وينتظر اكتمال هذا النظام بحلول عام ٢٠٢٠. ترسل الأقمار الصناعية إشارتها في عدد من الترددات: ١١٩٥.١٤ ، ١٢١٩.١٤ ، ١٢٥٦.٥٢-١٢٨٠.٥٢، ١٥٥٩.٠٥-١٥٦٣.١٥ ، ١٥٨٧.٦٩-١٥٩١.٧٩ ميجاهرتز. تم إطلاق القمر الصناعي الثاني في هذا النظام الصيني في ١٤ أبريل ٢٠٠٩ ، والذي قامت الأكاديمية الصينية للفضاء و التكنولوجيا بتصنيعه. يتكون قطاع التحكم والسيطرة من ٣ محطات: محطة تحكم رئيسية ، محطة متابعة ، و محطة إرسال بيانات للأقمار الصناعية. من المتوقع أن يوفر نظام البوصلة خدماته بأسلوبين: الخدمة المفتوحة Open Service لكل المستخدمين والتي ستوفر دقة تحديد المواقع في حدود ١٠ متر ، الخدمة الخاصة Authorized Service للمستخدمين الخاصين.

نظم ملاحية إقليمية

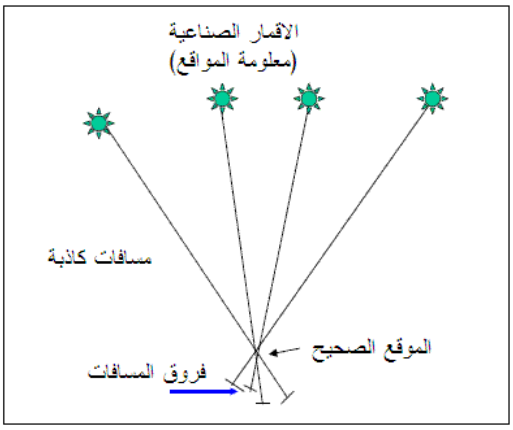
بالإضافة للنظم الملاحية الأربعة (الجي بي أس و جلوناس و جاليليو و بيدو) التي لها تغطية عالمية فتوجد عدة نظم ملاحية أخري تهدف لزيادة كفاءة الملاحة بالأقمار الصناعية في مناطق محددة من الأرض. قامت اليابان بتطوير نظام QZSS (مكون من ٣ أقمار صناعية) ليغطي حدودها الإقليمية. أيضا تقوم الهند بتطوير نظام ملاحي إقليمي – يسمي IRNSS – ليتم الانتهاء منه فيما بين عامي ٢٠٠٨ و ٢٠١١ ليزيد كفاءة الملاحة في حدودها الجغرافية الإقليمية.

٦- أرصاد الجي بي أس

إن دراسة الأرصاد (أساليب القياس) التي يوفرها نظام الجي بي أس من الأهمية لمستخدم هذه التقنية حتى يلم بطرقها المختلفة ودقة تحديد الموقع الممكن الوصول إليها في كل نوع من الأرصاد المستخدمة. يوفر نظام الجي بي أس أربعة أنواع من الأرصاد (أو طرق قياس المسافات بين جهاز الاستقبال و الأقمار الصناعية) إلا أن نوعين فقط هما الشائعي الاستخدام والمطبقين في أجهزة الاستقبال ، وهما المسافة الكاذبة باستخدام الشفرة (البعض يسميها أشباه المسافات) و فرق طور الإشارة الحاملة. تختلف دقة تحديد المواقع بدرجة كبيرة جدا باختلاف نوع الأرصاد ، فالأجهزة الملاحية تطبق طريقة المسافة الكاذبة ودقتها في حساب الإحداثيات بحدود عدة أمتار بينما تطبق الأجهزة الجيوديسية أسلوب فرق طور الإشارة الحاملة لتصل إلي مستوي عدة سنتيمترات في دقة تحديد المواقع. وسنتعرض لكلا نوعي الأرصاد في الأجزاء التالية.

٦-١ أرصاد المسافة الكاذبة باستخدام الشفرة

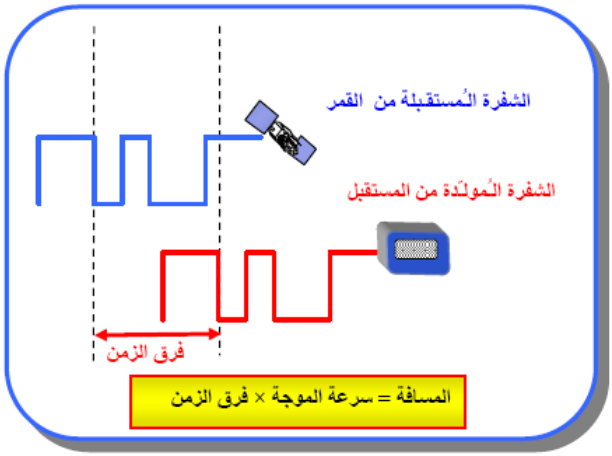
يعتمد هذا الأسلوب أو هذا النوع من أرصاد الجي بي أس علي الفكرة البسيطة التي تعرضنا إليها سابقا وهي أن المسافة بين جهاز الاستقبال و القمر الصناعي تساوي سرعة الإشارة مضروبة في الزمن المستغرق. لكن بسبب وجود عدة مصادر للأخطاء فأن هذه المسافة المحسوبة لن تساوي المسافة الحقيقية بين القمر الصناعي و جهاز الاستقبال ، ولذلك تسمي المسافة الكاذبة Pseudorange.



شكل (٩) مبدأ المسافات الكاذبة

لقياس المسافة الكاذبة يقوم جهاز الاستقبال بتطوير شفرة داخله (سواء الشفرة المدنية C/A أو الشفرة العسكرية الدقيقة P طبق لنوع جهاز الاستقبال ذاته) مماثلة للشفرة التي يستقبلها من القمر الصناعي. بمقارنة كلا الشفرتين يمكن حساب فرق الزمن الذي استغرقته

الإشارة منذ صدورها من القمر الصناعي وحتى وصولها لجهاز الاستقبال ، ومن ثم يمكن حساب قيمة المسافة الكاذبة.



شكل (١٠) طريقة قياس المسافة الكاذبة باستخدام الشفرة

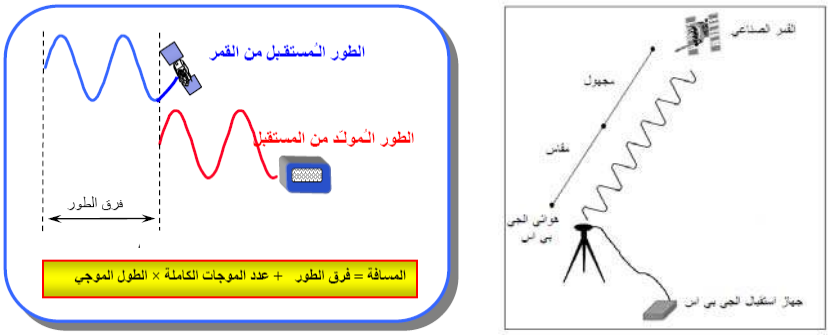
من أهم مميزات ها النوع من أرصاد تقنية الجي بي أس أنه لا يتطلب مواصفات تقنية عالية تدخل في تصنيع أجهزة الاستقبال ، فاستخدام الشفرة لا يتطلب أجزاء الكترونية متقدمة وبالتالي فأن سعر جهاز الاستقبال لن يكون غاليا. ومن هنا فأن جميع أجهزة الاستقبال الملاحية Navigation أو المحمولة يدويا Hand-Held تطبق أسلوب المسافة الكاذبة باستخدام الشفرة في تحديد المواقع.

علي الجاني الآخر فأن أهم عيوب هذا النوع من أرصاد الجي بي أس يتمثل في أن الدقة المتوقعة لتحديد المواقع بهذا الأسلوب لن تكون عالية الدقة. يمكن تقدير دقة أرصاد المسافة الكاذبة بقيم تتراوح بين ±٦ متر (عند انحراف معياري 1σ أي بنسبة احتمال تبلغ ٦٨.٣%) و ±١٩ متر (عند انحراف معياري 3σ أي بنسبة احتمال تبلغ ٩٩.٧%) للإحداثيات الأفقية ، بينما ستكون الدقة أكبر من هذه الحدود في الاحداثي الرأسي (من ±١١ إلي ±٤٢ متر). وبالطبع فقد تكون هذا الدقة في تحديد المواقع مناسبة للأعمال الاستكشافية و الجغرافية والخرائط ذات مقياس الرسم الصغير و بعض تطبيقات نظم المعلومات الجغرافية ، إلا أنها دقة غير مناسبة للأعمال المساحية و الجيوديسية.

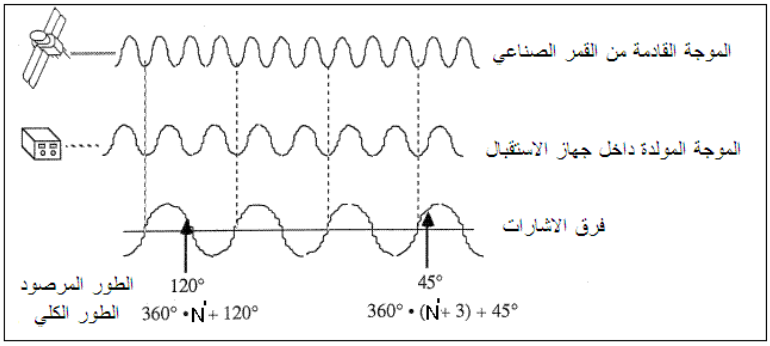
تجدر الإشارة إلي أن هذا النوع من أرصاد الجي بي أس يسمي أيضا التحديد المطلق للنقطة Absolute Point Positioning حيث أنه يعتمد علي استخدام جهاز استقبال واحد فقط لتحديد موقع أو إحداثيات النقطة المرصودة في نفس لحظة رصدها.

٦-٢ أرصاد فرق طور الإشارة الحاملة

يقوم جهاز الاستقبال (الجيوديسي النوع) بتطوير موجة داخلية ثابتة تشبه الموجة التي يبثها القمر الصناعي ، ثم يقوم بمقارنة طور phase كلا الموجتين عن طريق قياس فرق الطور carrier phase or carrier beat phase والذي يكون دالة في المسافة بين القمر الصناعي و جهاز الاستقبال في لحظة الرصد. لكن هذا الفرق في الطور يتكون من جزأين: (١) العدد الصحيح integer للموجات الكاملة ، (٢) أجزاء الموجات عند كلا من جهاز الاستقبال و القمر الصناعي. وهنا تأتي أهم المشاكل التي تواجه نوع هذه الأرصاد: جهاز الاستقبال يستطيع وبكل دقة قياس أجزاء الموجات لكنه لا يستطيع تحديد عدد الموجات الكاملة. ومن ثم فأن العدد الصحيح للموجات الكاملة ويسمي الغموض الصحيح Integer Ambiguity أو اختصارا الغموض Ambiguity (N') يتم اعتباره قيمة مجهولة مطلوب حسابها أثناء إجراء حسابات تحديد المواقع.



شكل (١١) أرصاد فرق طور الموجة الحاملة



شكل (١٢) كيفية قياس فرق طور الموجة الحاملة

من عيوب ها النوع من أرصاد تقنية الجي بي أس أنه يتطلب مواصفات تقنية عالية تدخل في تصنيع أجهزة الاستقبال ، فتوليد موجة داخل أجهزة الاستقبال يتطلب أجزاء الكترونية متقدمة وبالتالي فأن سعر جهاز الاستقبال سيكون غاليا مقارنة بأجهزة قياس المسافات الكاذبة.

ومن هنا فأن أجهزة الاستقبال الملاحية Navigation أو المحمولة يدويا Hand-Held لا تطبق هذا الأسلوب ، إنما هو فقط مطبق في تحديد المواقع باستخدام الأجهزة الجيوديسية.

علي الجاني الآخر فأن أهم مميزات أرصاد الجي بي أس باستخدام فرق طور الإشارة الحاملة يتمثل في أن الدقة المتوقعة لتحديد المواقع بهذا الأسلوب تكون عالية. فالقاعدة العامة أن أقل مسافة يمكن قياسها بهذا النوع من الأرصاد = (٣٦٠/٢) من طول الموجة ، فمثلا طول موجة التردد الأول L1 = ١٩ سنتيمتر ، مما يسمح لنا بقياس مسافات تصل إلي ١ ملليمتر. وبالطبع فأن هذا المستوي العالي من الدقة في تحديد المواقع مناسبة للأعمال المساحية و الجيوديسية.

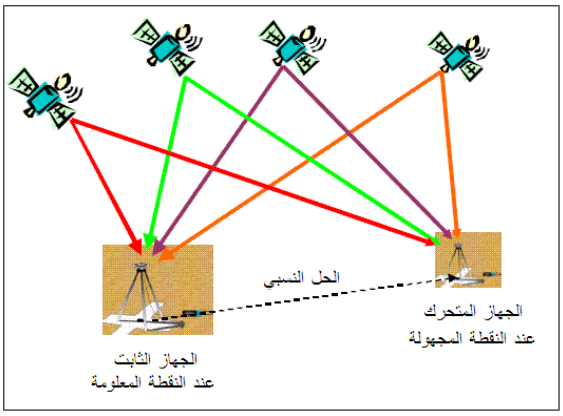
٧- طرق الرصد

لتحديد إحداثيات موقع أو نقطة معينة يكفي استخدام جهاز استقبال واحد يقوم باستقبال الموجات المرسلة من الأقمار الصناعية ، وهذا ما يطلق عليه التحديد المطلق للمواقع Absolute Point Positioning. لكن دقة هذه الإحداثيات ستكون في حدود عدة أمتار مما يجعل هذا الأسلوب مناسبا للتطبيقات الملاحية وبعض تطبيقات نظم المعلومات الجغرافية أو للخرائط ذات مقياس الرسم الصغير ، لكنه بالطبع لن يكون مناسبا للتطبيقات المساحية و الجيوديسية التي تتطلب دقة عالية في تحديد المواقع.

تتعدد طرق الرصد المساحية بنظام الجي بي أس بطريقة كبيرة بناءا علي عدة عوامل مثل عدد أجهزة الاستقبال المتوفرة و الدقة المطلوبة أو طبيعة المشروع. يجب علي مستخدم الجي بي أس أن يلم بمميزات و عيوب كل طريقة قبل أن يقرر الطريقة التي يتبعها في مشروع معين.

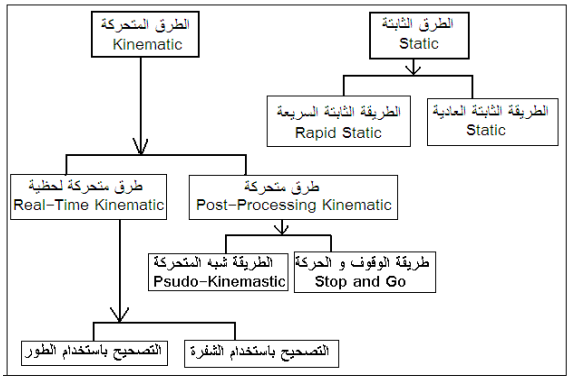
تعتمد الطرق المساحية لتجميع أرصاد الجي بي أس علي أسلوب الرصد النسبي أو الرصد التفاضلي Relative or Differential حيث يكون هناك جهازي استقبال أحدهما يسمي القاعدة Base Receiver أو الجهاز المرجعي Reference Receiver موجودا علي نقطة مساحية معلومة الإحداثيات ، بينما الجهاز الثاني يسمي المتحرك Rover Receiver وهو الذي يتولي رصد النقاط المطلوب تحديد موقعها ، ويقوم كلا الجهازين برصد الأقمار الصناعية آنيا simultaneously في نفسي الوقت. يقوم الجهاز الثابت أو القاعدة بتحديد قيمة الخطأ في إشارات الأقمار الصناعية في كل لحظة وذلك عن طريق مقارنة الإحداثيات المعلومة لهذه النقطة مع إحداثياتها المحسوبة من أرصاد الجي بي أس. بافتراض أن المسافة بين جهاز القاعدة و الجهاز المتحرك ليست كبيرة فيمكن اعتماد مبدأ أن تأثير أخطاء

الرصد عند النقطة المتحركة تساوي تقريبا نفس التأثير عند النقطة القاعدة ، ومن ثم يمكن أيضا تصحيح إحداثيات النقاط التي يرصدها الجهاز الآخر أو الجهاز المتحرك ، عن طريق نقل هذه التصحيحات من الجهاز الثابت إلي الجهاز المتحرك. قد تتم عملية نقل التصحيحات في المكتب بعد انتهاء تجميع البيانات الحقلية (نسميها المعالجة اللاحقة Post-Processing) أو تتم لحظيا في الموقع (نسميها التصحيح اللحظي Real-Time). وتجدر الإشارة إلي أن الحل الناتج من هذه الطرق يكون حلا نسبيا - أي فرق الإحداثيات - بين النقطة المعلومة و النقطة المجهولة ($\Delta X, \Delta Y, \Delta Z$) والذي سيضاف إلي إحداثيات النقطة المعلومة ليمكننا حساب إحداثيات النقطة المجهولة.



شكل (١٣) مبدأ الرصد النسبي لأرصاد الجي بي أس

بصفة عامة يمكن تقسيم طرق الرصد إلي مجموعتين رئيسيتين: الطرق الثابتة Static – ومنها الطريقة التقليدية و الطريقة السريعة – والطرق المتحركة Kinematic ومنها طرق تعتمد علي الحساب اللاحق و أخري تعتمد علي استقبال تصحيحات بهدف إكمال عملية حساب الإحداثيات في الموقع مباشرة. وتجدر الإشارة إلي أن الطريقة الثابتة التقليدية هي الأنسب لمشروعات المساحة الجيوديسية التي تتطلب دقة عالية (مثل إنشاء شبكات الثوابت الأرضية) بينما باقي الطرق تكون مناسبة للأعمال المساحية والرفع المساحي.



شكل (١٤) طرق رصد الجي بي أس

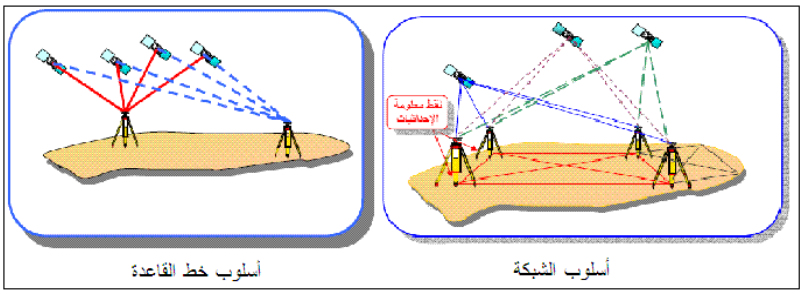
طرق الرصد الثابتة Static

تعد طرق الرصد الثابتة أنسب طرق رصد الجي بي أس للتطبيقات المساحية و الجيوديسية التي تتطلب دقة عالية (تصل إلي مستوي المليمتر) في تحديد المواقع. الطريقة الثابتة التقليدية هي أقدم – و أدق أيضا - طرق رصد الجي بي أس بينما ظهرت بعدها طريقة أخري (أو تعديل لها) سميت بالرصد الثابت السريع.

طريقة الرصد الثابت التقليدي Static

في هذه الطريقة يحتل الجهاز الثابت نقطة معلومة الإحداثيات بينما يقوم الجهاز الآخر (أو عدد من الأجهزة) باحتلال النقطة (أو النقاط) المجهولة المطلوب تحديد مواقعها ، وفي نفس الوقت تبدأ كل الأجهزة في استقبال إشارات الأقمار الصناعية. الأجهزة الجيوديسية ثنائية التردد Dual-Frequency Geodetic Receivers هي الأجهزة المستخدمة في هذه الطريقة حتى يمكن الوصول لمستوي الدقة المطلوبة ، وان كان يمكن استخدام الأجهزة أحادية التردد Single-Frequency Receivers للمسافات الصغيرة التي لا تتجاوز ٢٠ كيلومتر. تتراوح فترة الرصد المشترك session التي تعمل خلالها أجهزة الاستقبال بين ٣٠ دقيقة و عدة ساعات طبقا لطول المسافات بين الجهاز الثابت و الأجهزة الأخرى (ما يطلق عليه خط القاعدة أو خطوط القواعد Base Line). تقوم أجهزة الاستقبال بتجميع الأرصاد بمعدل (Sample Rate) رصده كل ١٥-٢٠ ثانية.

توجد عدة أساليب لتجميع البيانات تعتمد علي عدد أجهزة الاستقبال المتوفرة. أذا لم يتوفر إلا جهازين استقبال فقط فيتم العمل بأسلوب خط القاعدة Base Line حيث يوضع الجهاز الثابت أعلي النقطة المعلومة و الجهاز الآخر أعلي أولي النقاط المجهولة لفترة زمنية معينة ، ثم ينتقل لرصد النقطة المجهولة الثانية ثم الثالثة و هكذا. بينما في حالة توافر أكثر من جهازين فأن أسلوب العمل يتم بطريقة الشبكة Network حيث جهاز (أو أثنين أحيانا) فوق النقطة (أو النقطتين) المعلومتين بينما توضع باقي الأجهزة علي النقاط المجهولة.

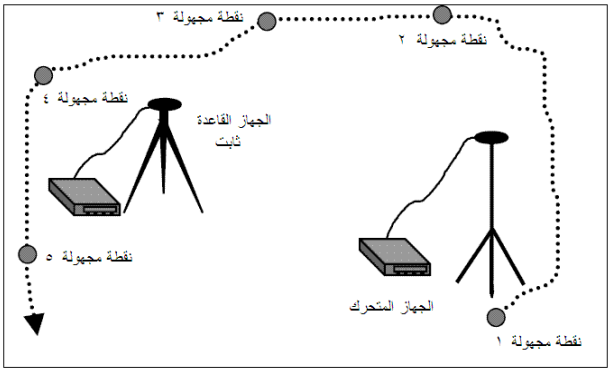


شكل (١٥) أساليب الرصد الثابت التقليدي

بعد انتهاء تجميع الأرصاد الحقلية يتم نقل البيانات (من جميع الأجهزة) إلي الحاسب الآلي حيث تتولي برامج متخصصة GPS Data Processing Software تنفيذ عمليات الحساب و الضبط للوصول إلي قيم دقيقة لإحداثيات النقاط المجهولة. الدقة المتوقعة لطريقة الرصد الثابت التقليدية تكون ٥ ملليمتر ± ١ جزء من المليون (ppm) أي ٥ ملليمتر + ملليمتر لكل واحد كيلومتر من طول خط القاعدة. كمثال: لخط قاعدة طوله ٢٠ كيلومتر ، فأن الدقة المتوقعة = ٥ + ٢٠ = ± ٢٥ ملليمتر. تجدر الإشارة إلي أنه بمكن الوصول لدقة أحسن من هذا المستوي العام باستخدام أجهزة جيوديسية حديثة وأيضا باستخدام مدارات أكثر دقة للأقمار الصناعية.

طريقة الرصد الثابت السريع Rapid Static

في حالة وقوع النقاط المجهولة (المطلوب تحديد إحداثياتها) في نطاق مسافة قصيرة – في حدود ١٠-١٥ كيلومتر - من موقع النقطة المعلومة أو المرجعية فيمكن للجهاز المتحرك أن يرصد نقطة مجهولة لمدة زمنية بسيطة ، ثم ينتقل لرصد نقطة مجهولة ثانية و ثالثة و هكذا. يكون الجهاز القاعدة أو الجهاز المرجعي مستمرا في تجميع الأرصاد طوال فترات الرصد كلها لتتوفر أرصاد مشتركة مع الجهاز المتحرك عند كل نقطة مجهولة يقوم برصدها. لذلك سميت هذه الطريقة بالرصد الثابت السريع Fast or Rapid Static (شكل ٥-١٩). تتراوح فترة الرصد session عند كل نقطة مجهولة بين ٢ و ١٠ دقائق ، وبمعدل رصد sample rate كل ١٥-٢٠ ثانية مثل الطريقة الثابتة التقليدية. وأيضا يتم نقل الأرصاد من كلا الجهازين إلي الحاسب الآلي لإجراء عمليات الحسابات و استنتاج إحداثيات النقاط المجهولة التي تم رصدها.



شكل (١٦) طرق الرصد الثابت السريع

تتميز طريقة الرصد الثابت السريع أنها تقلل بدرجة كبيرة من الوقت اللازم لتجميع البيانات الحقلية ، مما يجعلها مناسبة للأعمال المساحية التفصيلية و الطبوغرافية في منطقة صغيرة. لكن وعلي الجانب الآخر فأن الدقة المتوقعة لهذه الطريقة (١٠ ملليمتر ± ١ ppm)

لا تصل لنفس مستوي دقة طريقة الرصد الثابت التقليدية مما يجعلها غير مطبقة في الأعمال الجيوديسية الدقيقة.

طرق الرصد المتحركة Kinematic

تعتمد فكرة الرصد المتحرك علي وجود جهاز ثابت مرجعي Base علي النقطة المعلومة بينما يتحرك الجهاز الآخر Rover (أو الأجهزة) لرصد عدد من النقاط المجهولة. تختلف طرق الرصد المتحرك بناءا علي عاملين: أسلوب حركة الجهاز الثاني ، طريقة نقل التصحيحات من الجهاز الثابت لباقي الأجهزة.

طرق الرصد المتحرك والحساب لاحقا

في هذه النوعية من أساليب الرصد المتحرك يتم الاعتماد علي أن التصحيحات - التي يقوم بحسابها الجهاز المثبت فوق النقطة المعلومة – سيتم نقلها إلي أرصاد الأجهزة المتحركة عن طريق برنامج الحساب software في الحاسب الآلي بعد انتهاء الأعمال الحقلية. أي أن حساب إحداثيات النقاط المرصودة سيكون في المكتب أو Post-Processing وليس في الحقل(تسمي هذه الطرق PPK اختصارا لكلمات Post-Processing Kinematic).

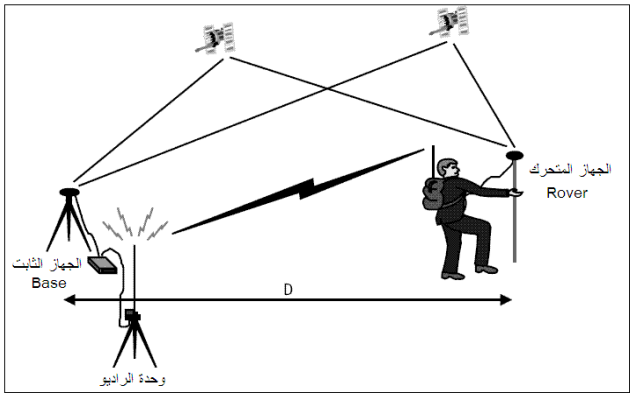
من طرق الرصد المتحرك هي ما تعرف باسم طريقة الرصد شبه المتحرك Pseudo-Kinematic والبعض يسميها طريقة الرصد المتحرك Kinematic مباشرة. وأهم مميزاتها أنها لا تتطلب الوقوف عند كل نقطة مجهولة ، إنما تكتفي برصدها حتى ولو ثانية واحدة. أيضا لا تتطلب طريقة الرصد شبه المتحرك إجراء عملية الإعداد لأنها تطبق مبدأ رياضي حديث يسمح بحساب قيمة الغموض أثناء بدء حركة الجهاز Rover من نقطة لآخري (يسمي الحل الطائر On-The-Fly أو اختصارا OFT). أيضا في هذه الطريقة يتم ضبط جهاز الاستقبال بحيث يسجل الأرصاد آليا كل فترة زمنية معينة (مثلا كل ثانية) ولا توجد حاجة للمستخدم لإعطاء أمر الرصد في جهاز الاستقبال عند كل نقطة مجهولة كما في طريقة الذهاب و التوقف. كل هذه المميزات جعلت طريقة الرصد شبه المتحرك أكثر جاذبية وأسهل و أرخص لتطبيقات الرفع المساحي.

طرق الرصد المتحرك مع الحساب اللحظي

كانت الطرق التقليدية للرصد المتحرك تعتمد علي فكرة تجميع الأرصاد في الموقع ثم إجراء الحسابات علي الحاسب الآلي في المكتب. لكن وجد مهندسو المساحة أن هناك حالات

معينة – مثل توقيع نقاط معلومة الإحداثيات علي أرض الواقع Stack Out – تحتاج حساب قيم إحداثيات النقط المرصودة في نفس لحظة الرصد. من هنا بدأ التفكير في تطوير طرق رصد متحركة جديدة. تعتمد هذه الطرق علي وجود جهاز راديو عند النقطة الثابت يقوم بإرسال أو بث التصحيحات التي يقوم الجهاز المرجعي بحسابها إلي الجهاز (أو الأجهزة) المتحرك والذي بدورها يكون متصل بجهاز راديو لاسلكي آخر. أي أن الجهاز المتحرك سيتكون من وحدتين: وحدة استقبال إشارات الأقمار الصناعية ، بالإضافة إلي وحدة استقبال لا سلكية لاستقبال التصحيحات المرسلة من الجهاز الثابت. من أرصاد الأقمار الصناعية يقوم الجهاز المتحرك بحساب إحداثيات النقطة المرصودة (لكنها إحداثيات غير دقيقة تماما) ومن تصحيحات الجهاز المرجعي يقوم الجهاز المتحرك بتصحيح الإحداثيات للوصول إلي قيم دقيقة في نفس اللحظة ، ولذلك فتسمي هذه الطرق بطرق الرصد المتحرك الآني Real-Time.

بناء علي نوع التصحيحات التي يحسبها الجهاز الثابت فتوجد طريقتين من طرق الرصد المتحرك مع الحساب اللحظي. إذا كانت التصحيحات خاصة بأرصاد الشفرة code فأن الطريقة تسمي الجي بي أس التفاضلي Differential GPS أو اختصارا DGPS. بينما إن كان الجهاز الثابت يقوم بحساب و تصحيح أرصاد طور الموجة Carrier Phase فأن الطريقة تسمي الرصد المتحرك اللحظي Real-Time Kinematic أو اختصارا RTK. وكما سبق الإشارة فأن أرصاد طور الموجة تكون أكثر دقة من أرصاد الشفرة مما يؤدي إلي أن دقة طريقة الجي بي أس التفاضلي DGPS تكون عدة ديسيمترات أو ما هو أقل من المتر، بينما تصل دقة طريقة الرصد المتحرك اللحظي RTK إلي ٢-٥ سنتيمتر. ولذلك فأن طرق الرصد التفاضلي تستخدم في التطبيقات الملاحية و نظم المعلومات الجغرافية بينما طريقة الرصد المتحرك اللحظي هي المطبقة في الأعمال المساحية.



شكل (١٧) طريقة الرصد المتحرك اللحظي

نبذة عن المؤلف

- الدكتور جمعة محمد داود محمود من مواليد السويس بجمهورية مصر العربية في عام ١٩٦٢ (الموافق ١٣٨٣هـ).
- حصل علي درجة البكالوريوس في الهندسة المساحية في عام ١٩٨٥ من كلية الهندسة بشبرا – جامعة بنها بمصر ، ودرجة الماجستير من قسم العلوم الجيوديسية والمساحة من جامعة ولاية أوهايو بالولايات المتحدة الأمريكية في عام ١٩٩١، ودرجة الدكتوراه في عام ١٩٩٨ من كلية الهندسة بشبرا، جامعة بنها بمصر.
- حصل د. جمعة داود علي درجة أستاذ مشارك في عام ٢٠٠٤ وكذلك درجة الأستاذية في الهندسة المساحية في عام ٢٠٠٩.
- يعمل د. جمعة داود منذ عام ١٩٨٧ بمعهد بحوث المساحة بوزارة الموارد المائية والري بمصر، وعمل أيضا مابين عامى ٢٠٠٥ و ٢٠١٤ بجامعة أم القرى بمكة المكرمة بالمملكة العربية السعودية.
- فاز د. جمعة داود بجائزة أفضل بحث في المساحة في مصر في أعوام ٢٠٠٥، ٢٠٠٦، ٢٠٠٧، ٢٠٠٩ كما تم اختياره في الموسوعة الدولية للعلوم والهندسة Who is Who للفترة ٢٠١١-٢٠١٢.
- نشر د. جمعة داود حتى الآن أكثر من ستون بحثا في الهندسة المساحية منهم ما يزيد علي عشرون ورقة علمية في مجلات عالمية و مؤتمرات دولية في كل من الولايات المتحدة الأمريكية و انجلترا و ايطاليا و استراليا بالإضافة للنشر في مجلات و مؤتمرات في كلا من المملكة العربية السعودية و مملكة البحرين والمملكة المغربية و جمهورية مصر العربية، كما نشر ستة عشر كتابا باللغة العربية في مجالات و تقنيات الجيوماتكس.
- د. جمعة داود متزوج من د. هدي فيصل الباحثة بمعهد بحوث المساحة وله ثلاثة أبناء: مصطفي و محمد و سلمي و حفيدة واحدة: ريانة مصطفي.
- حج د. جمعة داود بيت الله الحرام أربعة مرات وأعتمر عدة مرات.