المحاضرة الأولى

الباب الأول

شكل الأرض و أنظمة الإحداثيات

The Earth & Coordinates Systems

1. تعريف علم المساحة (Definition of Surveying).

يبحث علم هندسة المساحة في الطرق المختلفة لتمثيل سطح الأرض تمثيلاً كاملاً لما يحتويه من معالم طبيعية كالجبال والهضاب والوديان والأنهار والبحار والغابات ، ومعالم صناعية أو مدنية كالمنشآت الهندسية المختلفة من مباني وطرق ومطارات. ويتم هذا التمثيل بإسقاط الجزء الذي تجري دراسته من سطح الأرض على مستوى أفقي بمقياس رسم معين يوافق الغرض المطلوب ، و يطلق على المسقط الأفقي الذي نحصل عليه "الخريطة المساحية". كما يمكن أن يبين عليها أيضاً ارتفاع أو انخفاض المعالم الطبيعية أو الصناعية بالنسبة لسطح مقارنة أفقي معين وفي أغلب الأحيان يستعمل السطح الوسطي للبحر كمرجع لمقارنة الارتفاعات.

وكما تبحث هندسة المساحة في كيفية تمثيل سطح الأرض و ما عليه من ظواهر طبيعية ومنشآت مدنية على الخرائط في عملية يطلق عليها عملية "الرفع" فإنها تبحث كذلك في عملية تنفيذ المشروعات الهندسية المختلفة على سطح الأرض و ذلك بتوقيع أو تخطيط حدود ومسارات المنشآت في الطبيعة من واقع لوحات التصميم الهندسي في عملية يطلق عليها عملية "التوقيع".

يعتبر علم المساحة الأساس لتخطيط وتنفيذ ومتابعة معظم المشاريع الهندسية ذات الصلة بسطح الأرض مثل المباني والطرق والمطارات والسدود وقنوات الري. كما وأنها ذات أهمية لعلومٍ أخرى ذات اتصال مباشر أو غير مباشر بالأعمال المساحية مثل علوم الجغرافيا والجيولوجيا وعلوم البحار والمحيطات وعلوم الغابات والزراعة والعلوم العسكرية.

2. أقسام المساحة (Categories of Surveying).

تقسم المساحة عموماً إلى قسمين أساسيين هما:

1- المساحة المستوية (Plane Surveying): وهي التي يتم العمل المساحي فيها ضمن مساحات صغيرة نسبياً ومحدودة بحيث لا تؤثر خاصية كروية الأرض في نتائج القياس . وهذا هو النوع من المساحة الذي يهم كثيراً من المهندسين وغيرهم من المستفيدين من العمل المساحي، ولذا سيكون موضوع هذا المقرر .

2- المساحة الجيوديزية (Geodetic Surveying) : تأخذ المساحة الجيوديزية باعتبارها أبعاد وشكل الأرض، وهذا يتطلب دقةً عالية في الأعمال (قياسات ، معالجة عددية). تغطي المساحة الجيوديزية مساحاتٍ واسعةً نسبيا (دولة، ولاية) بحيث يدخل بالحسبان أثر كروية أو إهليلجية الأرض في المعالجة العددية للشبكة الجيوديزية المساحية.

3. فروع علم المساحة (Branches of Surveying).

هنالك العديد من فروع المساحة التي يطبق فيها منهج المساحة المستوية ، نذكر منها:

أ- المساحة التفصيلية (Detail Surveying): إن الغرض من المساحة التفصيلية هو إنشاء خرائط تفصيلية بمقياس رسم كبير من أجل إظهار حدود الملكيات الزراعية و الأبنية والشوارع وغير ذلك من تفاصيل في

مساحة أرض محدودة . ويستخدم مقياس رسم كبير يتراوح فيما بين 1:500 إلى 1:1000 في المدن و 1:2500 إلى 1:5000 في المناطق الريفية . و نظراً لكبر المقياس المستخدم فإن دقة هذه الخرائط تكون عالية مما يسمح باستخدامها في نزاعات الملكيات و تقسيم الأراضي .

ب .المساحة الطبوغرافية (Topographic Surveying): والغرض من هذه المساحة هو إنشاء ورسم الخرائط للمناطق المتسعة نسبياً مع بيان ما تحتويه من معالم طبيعية و صناعية و بيان ارتفاع وانخفاض سطح الأرض باستخدام خطوط تساوي الارتفاعات والتي تعرف بخطوط التسوية ، ويستفاد منها في الدراسات الأولية لتخطيط المشاريع الهندسية ذات الصلة بسطح الأرض مثل مشاريع الري والطرق والمطارات وتستخدم أيضاً في الدراسات الجيولوجية و العسكرية.

ج .المساحة الهندسية (Engineering Surveying): وهي تختص بتوقيع مخططات المشاريع الهندسية على سطح الأرض و تشمل هذه المشاريع الطرق والخطوط الحديدية والمنشآت الهندسية الأخرى مثل السدود و قنوات الري و المطارات و الجسور. ويتسع التطبيق ليشمل الرفع المساحي للمنشئات و متابعة و رصد أي تغيرات هندسية تحدث لها. ويكون الرفع بدقة عالية والرفيع بمقاييس رسم كبيرة تناسب حجم المنشأة .

د .مساحة الأنفاق (Mining Surveying): ويختص هذا الفرع من المساحة بعمليات تنفيذ المنشآت تحت سطح الأرض مثل الأنفاق و أنابيب الماء والغاز والزيت وشبكات التصريف التي يتم إنشاؤها تحت سطح الأرض.

هـ .المساحة التصويرية (Photogrametry): وتستخدم فيها الصور الأرضية و الجوية و الفضائية (المرئية والرقمية) لعمليات القياس المساحي المختلفة ومن أهم تطبيقاتها إنتاج الخرائط الطبوغرافية.

و .المساحة المائية (Hydrographic Surveying): وتستخدم في عمل خرائط لشواطئ الأنهار والبحار والمحيطات . ويتم فيها أيضاً عمل الخرائط الطبوغرافية لقاع الماء.

ز .الاستشعار عن بعد (Remot Senseng): وهي تقنية التعرف على المعلومات المساحية عن سطح الأرض بواسطة دراسة وتحليل الصور التي يتم التقاطها بآلات استشعار تحملها الأقمار الصناعية التي تدور حول الأرض .

4.تنفيذ العمل المساحي (The Process of Surveying).

يتطلب العمل المساحي تنفيذ المراحل التالية:

1. استطلاع المنطقة Reconnaissance.

في مرحلة التحضير يجب استطلاع المنطقة وأخذ صورة عامة عن موقع العمل. فيتم اختيار مواقع تثبيت نقاط الضبط المساحية، والدقة المطلوبة للمعاجة العددية، وأنواع الأجهزة المساحية الضرورية لتنفيذ القياسات المساحية.

2. القياس وتعليم النقاط Measurement and Marking.

في مرحلة القياس وتعليم النقاط يقوم المساح بإجراء جميع القياسات الضرورية لحساب إحداثيات نقاط الضبط، وتثبيت وحساب النقاط المساعدة المؤقتة.

3. إنجاز المخطط المساحي Plan Preparation.

في هـذه المرحلـة تـتم المعالجـة العدديـة للقياسـات المنفـذة فـي الحقـل، وذلـك بعـد التصـحيح والحصول على مخرجات العمل المساحي ورسم المخطط أو الخارطة.

5.واحدات القياس (Unites of Measurement).

نورد فيما يلي واحدات القياس الأكثر استخداماً في العمل المساحي.

الرمز Symbol	الواحدة Unit	الكمية Quantity
كم Km	كيلومتر kilometre	الطول Length
م m	متر metre	
مم mm	ميليمتر millimetre	
م^2 m^2	متر مربع square metre	المساحة Area
ha	هكتار hectare	
م^3 m^3	متر مكعب cubic metre	الحجم Volume
$(\ )^o$	degrees	الزاوية Angle
$(\ )'$	minutes	
$(\ )''$	seconds	
كغ Kg	Kilogram	الكتلة (الوزن) Mas (Weight)
°C	Degrees Celsius	الحرارة Temperature

تمارين

1- عرف علم المساحة؟

2- ما هي أهمية علم المساحة ؟

3- وضح الفرق بين المساحة المستوية و المساحة الجيوديزية .

4- أذكر فروع المساحة المختلفة و تطبيقات كل منها.

5. عدد واشرح باختصارمراحل إنجاز العمل المساحي.

6.سطوح الإسقاط المستخدمة في المساحة والجيوديزيا.

السطح الفيزيائي الحقيقي للأرض هو غير منتظم، ولايمكن التعبير عنه بمعادلة رياضية. من أجل صياغة نتائج القياسات الجيوديزية المنفذة على سطح الأرض نقبل بسطوح إسقاط رياضية تقريبية محددة، يتم عليها إسقاط النقاط المتواجدة على السطح الحقيقي للأرض.

بالعلاقة مع السطح الذي نجري عليه القياسات يمكن قبول سطوح الإسقاط الآتية:

الإهليلج الدوراني ، الكرة ، المستوي.

(Plane , Sphere , Ellipsoide)

وتفيد الدراسات العملية بأنه عند إجراء القياسات الأقفية نعتمد سطوح الإسقاط كما يلي:

.**المستوي:** ضمن المساحات التي لاتتجاوز $800km^2$ ،

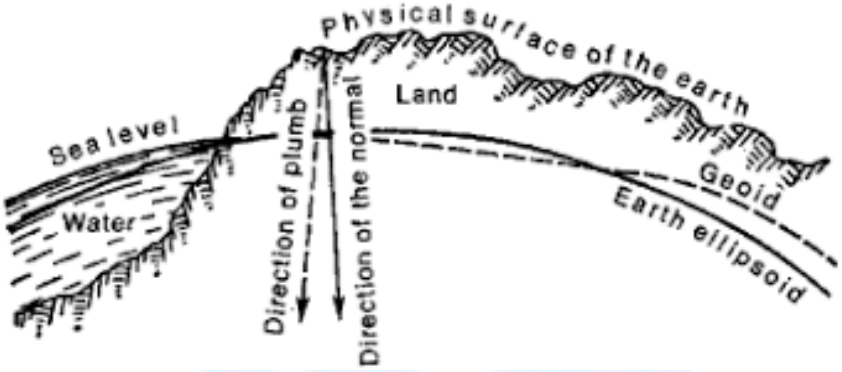
. **الكرة:** ضمن المساحات التي لاتتجاوز $15000km^2$،

. **الإهليلج الدوراني:** ضمن المساحات الأكبر من $15000km^2$.

ومن أجل القياسات الارتفاعية يجب اعتماد طرق أخرى في الحسابات للحصول على الدقة المطلوبة، وذلك بسبب التأثير الكبير لإنحناء سطح الأرض على قياسات الإرتفاعات. فمثلاً يبلغ أثر الكروية على قياس الإرتفاع ضمن مسافة 1 كم مقدار 8 سم.

يمثل اتجاه الشاقول الاتجاه الرئيس في جملة الإحداثيات المحلية التي نجري ضمنها القياسات الجيوديزية على السطح الحقيقي للأرض (ينطبق اتجاه الشاقول مع اتجاه قوة الثقالة الأرضية في نقطة إجراء القياسات). ويمكن تحديد اتجاه قوة الثقالة على نحوٍ تقريبي باستخدام خيط المطمار، وبشكلٍ دقيقٍ باستخدام الزئبقيات المختلفة المصممة ضمن الأجهزة المساحية المختلفة، إذاً تتم القياسات الأفقية في مستوٍ متعامدٍ مع خط الشاقول. ونسمي السطح الذي يحقق العلاقة السابقة **سطح السوية**، ونعرفه بأنه المحل الهندسي للنقاط التي تتساوى عندها قوة الجاذبية الأرضية.

يمكننا مقاطعة اتجاه قوة الثقالة الأرضية في مستويات متوضعة على أبعاد مختلفة من مركز الأرض، لنحصل بذلك على عددٍ غير محددٍ من سطوح السوية. ويبين الشكل(1) تمثيلاً للسطح الحقيقي للأرض والإهليلج والجيوئيد.



الشكل(1) تمثيل السطح الحقيقي للأرض والجيوئيد والإهليلج الدوراني

عالمياً تم قبول مايسمى **الجيوئيد** (سطح السوية المار من المستوي الوسطي للبحار) سطحاً للإسقاط، وتنسب إليه الإرتفاعات كافّةً. ونتيجةً لوجود البحار والبحيرات والجبال والأنهار واختلاف توزع الكتل ضمن القشرة الأرضية يطرأ على اتجاهات قوى الثقالة الأرضية انحرافات عن اتجاهاتها النظامية، وبالتالي يمكن التأكيد أن سطح الجيوئيد غير نظامي ولايمكن التعبير عنه بمعادلة رياضية، لذا نعتبر الجيوئيد (عموماً سطوح السوية) سطحاً فيزيائياً.

أظهرت الدراسات الأستروجيوديزية أن الإهليلج الدوراني هو الأقرب من بين سطوح الإسقاط إلى الجيوئيد، وأن أكبر انحراف للجيوئيد عن الإهليلج لايتجاوز المئة متر.

على الإهليلج أو الكرة نميز المصطلحات الآتية:

. **القطبان الشمالي والجنوبي:** يقطع المحور الصغير للإهليلج أو محور الكرة السطح في نقطتين هما (P_N و P_S)، نسمي النقطة P_N القطب الشمالي والنقطة P_S القطب الجنوبي.

. **مستوي الزوال:** ينتج عن تقاطع أي مستوٍ مارٍ من القطبين مع الإهليلج أو الكرة، فينتج عن تقاطع المستوي مع الإهليلج قطع ناقص ومع الكرة دائرة. نسمي منحني التقاطع الناتج خط الزوال أو خط الطول.

. **الموازي:** ينتج عن تقاطع أي مستوٍ عمودي بالنسبة إلى خط القطبين مع الإهليلج أو الكرة. إذا مر المستوي المذكور من نقطة المركز ندعوه مستوي الاستواء، وإلا فإننا ندعوه المستوي الموازي. وكل موازٍ يتقاطع مع الإهليلج أو الكرة بدائرةٍ صغيرة نسميها خط العرض.

تؤلف خطوط الطول والعرض جملة إحداثيات منحنية متعامدة تسمح بتعيين كافة نقاط سطح الإهليلج الدوراني أو الكرة، ونطلق على جملة الإحداثيات السابقة اسم جملة الإحداثيات الجيوديزية. حيث تعرّف النقطة بزاوية العرض الجيوديزي φ وزاوية الطول الجيوديزي λ.

. **زاوية العرض** φ_P **للنقطة** P: هي تلك الزاوية التي يصنعها الناظم المار من النقطة P مع مستوي الاستواء، وتقاس من 0^o إلى 90^o انطلاقاً من مستوي الاستواء نحو القطب الشمالي ومن 0^o إلى -90^o نحو القطب الجنوبي.

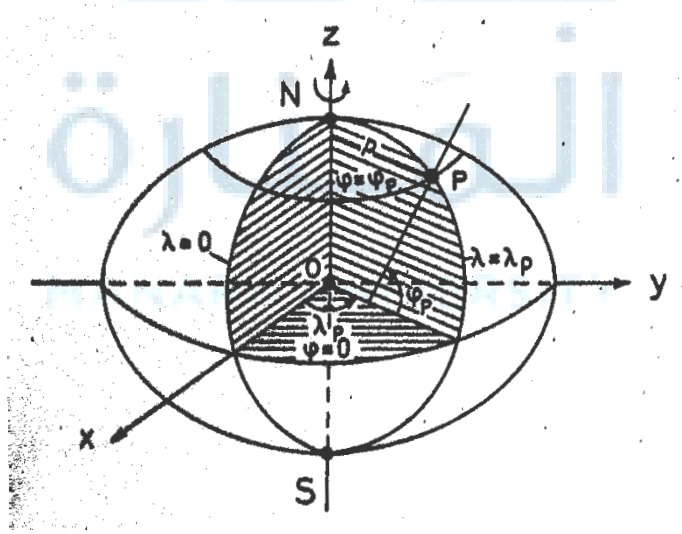
. **زاوية الطول** λ_P **للنقطة** P: هي الزاوية الثنائية بين مستوي زوال النقطة P ومستوي زوال ابتدائي مار من نقطة اصطلاحية تقع في مدينة غرينتش. وتعتبر الزاوية موجبة باتجاه معاكس لدوران عقارب الساعة.

7. أنظمة الإحداثيات المستخدمة في العلوم المساحية والجيوديزية.

1.7. نظام الإحداثيات الجيوديزية.

كما وجدنا أعلاه، الإهليلج الدوراني هو الأقرب إلى الجيوئيد. نعرّف الشاقول بأنه المحور العمودي بالنسبة إلى الجيوئيد في نقطةٍ منه، ونعرّف الناظم بأنه المحور العمودي على الإهليلج في نفس النقطة السابقة، ونطلق على الزاوية بين الناظم والشاقول المارين بالنقطة نفسها اسم زاوية انحراف الشاقول.

لنعتبر الإهليلج الدوراني أو الكرة سطحاً للإسقاط، ولتكن النقطة P من سطح الإهليلج [انظر الشكل(2)]. تتعين النقطة P بتحديد زاوية عرضها φ_P وزاوية الطول المقابلة λ_P.



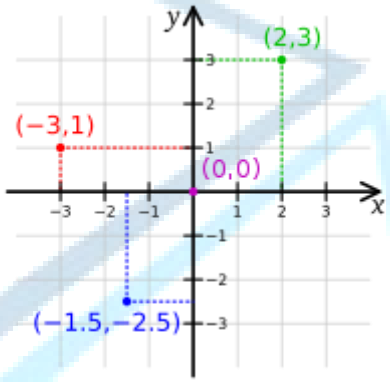
الشكل (2): تعيين النقطة P بإحداثياتها الجيوديزية

2.7. نظام الإحداثيات الجيومركزية (Geocentric).

ينطبق مبدأ الإحداثيات في هذه الجملة على مركز الأرض، ويقع المحوران OX و OY ضمن مستوي الاستواء، ويتطابق المحور الثالث OZ مع مستوي الاستواء. ينطلق المحور OX من المركز ماراً بنقطة تقاطع خط غرينتش مع خط الاستواء، ويتعامد المحور OY مع المحور OX ضمن مستوي الاستواء [انظر الشكل (2-1)].

3.7. نظام الإحداثيات الديكارتية المستوية (Cartesian).

تتكون جملة الإحداثيات من محورين متعامدين، بحيث يقع المحور الرأسي OY باتجاه الشمال ويتعامد محور الفواصل OX مع المحور الرأسي، ونتبع هنا قاعدة دوران اليد اليسرى. ويبين الشكل (3) التوضع المشترك لمحاور هذا النظام.



الشكل (3): نظام الإحداثيات الديكارتية المستوية.

8. أنظمة الإرتفاعات المستخدمة في الجيوديزيا (Hight Systems).

وفقاً لسطح السوية المستخدم بالنسبة للقياسات الارتفاعية يمكن إيجاد ارتفاعات النقاط الجيوديزية ضمن نظام الإرتفاعات الأورتومترية أو الطبيعية أو الديناميكية.

. الإرتفاع الأورتومتري H_A^O للنقطة A (Orthometric): هو بعد النقطة عن الجيوئيد المار بالمستوي الوسطي للبحر، ويقاس هذا البعد وفق اتجاه خط قوة الثقالة، ويمكن حسابه من العلاقة:

$$H_A^O = \frac{W_0 - W_A}{g_m^A} \qquad (1)$$

حيث:

W_0 : قوة الجاذبية الأرضية عند الجيوئيد،

W_A: قوة الجاذبية الأرضية عند النقطة A ،

g_m^A : القيمة الوسطية لتسارع الجاذبية الأرضية عند النقطة A .

.الإرتفاع الطبيعي H_A^N للنقطة A / نظام موودبينسكي (Natural): هو بعد النقطة عن سطح سوية محدد غير الجيوئيد. يقاس هذا البعد على طول خط قوة الثقالة الأرضية ، ويمكن حسابه من العلاقة الآتية:

$$H_A^O = \frac{W_0 - W_A}{\gamma_m^A} \qquad (2)$$

ونعني بـ γ_m^A التسارع الطبيعي للجاذبية الأرضية عند نقطة متوسطةٍ من المسافة العمودية الواصلة بين سطح السوية المحدد والنقطة A.

.الإرتفاع الديناميكي H_A^d للنقطة A (Dynamic):

ويحسب من العلاقة الآتية:

$$H_A^d = \frac{W_0 - W_A}{\gamma_{45^o}} \qquad (3)$$

حيث:

γ_{45^o}: قيمة التسارع الطبيعي للجاذبية الأرضية على الإهليلج عند زاوية العرض $\varphi = 45^o$.

من قانون حساب الإرتفاع الديناميكي نجد أن قيمته غير مرتبطة بالتسوية الهندسية لأن:

$$\gamma_{45^o} = const. \ , \ W_0 - W_A = const.$$

وكذلك فإن الإرتفاعات الديناميكية لنقاط السطح الأفقي الواحد هي متساوية، فمثلاً تتميز كافة نقاط سطح البحيرة بالإرتفاع الديناميكي نفسه.

إن مفهوم الإرتفاع الديناميكي مهمٌ جداً في بعض الدراسات الهيدروتكنيكية، وكمثال على ذلك نجد أن المياه الجوفية تتسرب من المناطق ذات الارتفاع الديناميكي الأكبر إلى المناطق ذات الإرتفاع الديناميكي الأصغر.

جامعة المنارة
MANARA UNIVERSITY