(المحاضرة الثانية من مجموع خمسة محاضرات)

مساقط الخرائط

الجزء الثاني

(4) القياس على سطح الأرض الكروي

هناك مجموعة من المقادير التي يمكن قياسها أو حسابها سواء لإيجاد شكل الأرض أو لتحديد مواقع نقاط على سطحها أو لإيجاد المسافات والاتجاهات. وإذا اعتبرنا الأرض كرة فان هذه القياسات تصبح بسيطة ويصبح التعامل معها حسابيا أمرًا سهلا. وكما ذكرنا سابقا فانه يمكن في كثير من أعمال التخريط اعتبار الأرض كرة بدون الوقوع في أخطاء كبيرة.

الميل البحري

يستعمل الميل البحري (Nautical Mile) في الملاحة، ويسمى كذلك الميل الجغرافي، وهو يساوي 1.853 كم تقريبا. وإذا اعتبرنا أن محيط الأرض يساوي من 40000 إلى 40029 كيومترا واستعملنا القيمة 40029 فإن الدرجة الواحدة = 40029 ÷ 360 = 111.192 كيلومترا والدقيقة الواحدة تساوي 111.192÷ 60 = 1.853 كم، وهذا يساوي ميلا بحريا واحدا. أي أن الدقيقة الواحدة على دائرة كبرى على سطح الأرض تساوي ميلا بحريا واحدا، أو أن الميل البحري هو طول القوس على سطح الأرض المقابل لزاوية مركزية قدرها دقيقة واحدة. كذلك فانه يمكن بنفس الطريقة اعتبار الثانية الواحدة = 31 مترا تقريبا، لأن الثانية = 1853 ÷ 60 = 30.88 متر. وهذه قيمة ثابتة تقريبا على امتداد سطح الأرض.

طول درجة العرض

يمكن حساب المسافة بين دائرتي عرض مقابلة لدرجة عرض واحدة أي قياس طول القوس المرسوم على دائرة كبرى والمقابل لدرجة مركزية واحدة بقسمة المحيط على 360 درجة فتكون المسافة حوالي 111.2 كيلومترا. وهذه القيمة ثابتة تقريبا على سطح الأرض الكروية.

طول درجة الطول

يتغير طول درجة الطول من مكان إلى آخر على سطح الأرض حسب موقعها من دائرة الاستواء، فهي تقل كلما ابتعدنا شمالا أو جنوبا عن دائرة الاستواء فتكون أكبر ما يمكن على هذه الدائرة وتقل تدريجيا حتى تصل إلى الصفر عند القطبين حيث تلتقي جميع خطوط الطول. ويحسب طول درجة الطول الواحدة بحساب طول درجة الطول على دائرة الاستواء وضرب القيمة في جيب تمام درجة العرض. فإذا أخذنا درجة الطول الواقعة على دائرة الاستواء = 111.2 كيلومترا فإن درجة الطول الواقعة على دائرة عرض 60 = 111.2 × جتا 60 = 111.2 × 0.5 وهذا يساوي 55.6 كم.

تقوس سطح الأرض وانكسار الضوء

نظرا لأن سطح الأرض يتقوس في جميع الاتجاهات عند أية نقطة، فإن الخط الأفقي عند أية نقطة يبتعد عن سطح الأرض كلما ابتعدنا عن النقطة. كذلك فإن أشعة الضوء تنكسر مقتربة إلى سطح الأرض. وتدمج عادة قيمتا التقوس والانكسار ويحسب الابتعاد الناتج عن ذلك من القانون :

الابتعاد بالمتر = 0.0675 × ك^2
حيث ك = المسـافة بالكيلومتـر

قد تبدو قيم الابتعاد صغيرة، وهذا صحيح إذا تعاملنا مع مسافات قصيرة على سطح الأرض فهي أقل من مليمتر في مسافة 100 متر. إلا أن القيمة تزداد كلما زادت المسافة، فتصل إلى 6.75 سم عندما تكون المسافة = 1 كيلومتر وتصل إلى 6.75 مترا في مسافة 10 كيلومترات وإلى 27 متر في مسافة 20 كيلومتر وإلى أكثر من 100 متر في مسافة 40 كيلومترا. ويعتبر تقوس الأرض ذو أهمية كبيرة بالنسبة لمدى الرؤية في المساحات المفتوحة مثل البحار والمحيطات والصحاري المنبسطة. ويزداد مدى الرؤية مع ارتفاع الجسم المرصود، فلو كنا نرصد باخرة في عرض البحر ارتفاعها 15.18 مترا فإنه يمكن مشاهدة أعلى جزء منها عندما تكون على مسافة 15 كيلومترا.

المسافة على دائرة كبرى

المسافة المقطوعة على دائرة كبرى هي أقصر مسافة بين نقطتين. لذلك فإن السفن والطيارات تتبع عادة دوائر كبرى في انتقالها من ميناء إلى ميناء ومن مطار إلى مطار. والقانون الذي يستعمل في إيجاد المسافة المقطوعة على دائرة كبرى هو :

جتا ف = (جا أ × جا ب) + (جتا أ × جتا ب × جتا ل)

حيث ف = طول القوس بين النقطتين على الدائرة الكبرى
أ = درجة عرض النقطـة الأولى
ب = درجة عرض النقطة الثانية
ل = الفرق بين درجتي طول النقطتين.

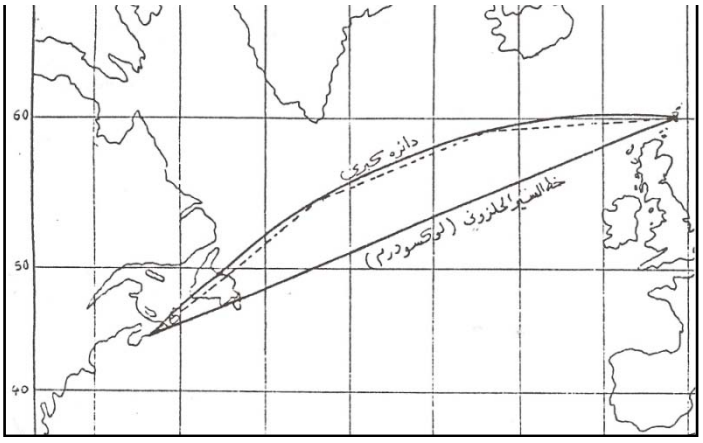
مثال: إذا كانت إحداثيات مدينة طرابلس هي '55 12^o شرقا و '40 32^0 شمالا وإحداثيات مدينة صفاقص هي '50 10^oشرقا و '55 34^o شمالا فأوجد أقصر مسافة بين المدينتين ؟

جتا ف = جا(أ) جا(ب) + جتا(أ) جتا (ب) جتا(ل)
جتا ف = جا('40 32^o) جا('55 34^o)+جتا('40 32^o) جتا ('55 34^o)
جتا('05 2^o) = 99877277.
ف = 2.83887168
المسافة = (ف ÷ 360) × 40032 = 315.683 كيلومترا

رسـم الدائرة الكبرى

تستعمل الدوائر الكبرى وخطوط السير الحلزوني (لوكسودرم) في الملاحة لأن الدائرة الكبرى هي أقصر مسافة بين نقطتين على سطح الأرض ولأن خط السير الحلزوني يكون اتجاهه ثابتا بالنسبة لخطوط الطول. وفي الملاحة سواء الجوية منها أو البحرية، يكون من الصعب تتبع دائرة كبرى لأن اتجاهها غير ثابت وهو يتغير باستمرار. أما الخط الحلزوني فمن السهل تتبعه لأن الزاوية بينه وبين الشمال تكون دائما ثابتة . لذلك فانه يتم عادة تقريب الدائرة الكبرى إلى مجموعة من خطوط السير الحلزوني كما في الشكل (6).

شكل (6) مقارنة بين الدائرة الكبرى وخط السير الحلزوني



يمكن رسم الدائرة الكبرى بين النقطتين (1) و (2) باستعمال القانون :

$$\text{ظا ع} = \left[\frac{\text{ظا } (ع_2) \text{ جا } (ل - ل_1) \ - \ \text{ظا } (ع_1) \text{ جا } (ل - ل_2)}{\text{جا } (ل_2 - ل_1)} \right]$$

حيث (ل) = درجة طول أية نقطة و (ع) درجة عرضها
($ع_1$ ، $ل_1$) = نقطة البداية و ($ع_2$ ، $ل_2$) = نقطة النهاية
ويمكن استعمال هذا القانون في حساب درجة عرض أية نقطة بين تقطتي البداية والنهاية بمعلومية درجة طولها.

مثال : إذا كان المطلوب رسم دائرة كبرى بين النقطتين (40 شمال ، 70 غرب) و (30 شمال ، 10 غرب) فان الدائرة الكبرى تمر بالنقاط الآتية:

ل	10 -	20 -	30 -	40 -	50 -	60 -	70 -
ع	30.00	34.17	37.23	39.28	40.39	40.36	40.00

(5) أنواع الإسقاطات

هناك أنواع كثيرة من الإسقاطات، وهناك طرق كثيرة لتحويل السطح المقوس للأرض إلى سطح مستو. كما أن هناك مجموعة من المساقط التي تحافظ على بعض العلاقات الموجودة على سطح الأرض. وتصنف المساقط على أسس مختلفة، فيمكن تصنيفها من حيث ما يحققه الإسقاط من علاقات رياضية إلى ثلاثة أنواع رئيسية كما ذكر أعلاه هي مساقط تشابهية، ومساقط تكافئية، ومساقط المسافات الصحيحة.

كما يمكن تصنيف المساقط من حيث طرق إنشائها أو طرق تغليف الكرة بمستوى الإسقاط إلى ثلاثة أنواع (شكل 7)، هي المساقط المخروطية والمساقط الإسطوانية والمساقط المستوية أو الانحرافية.

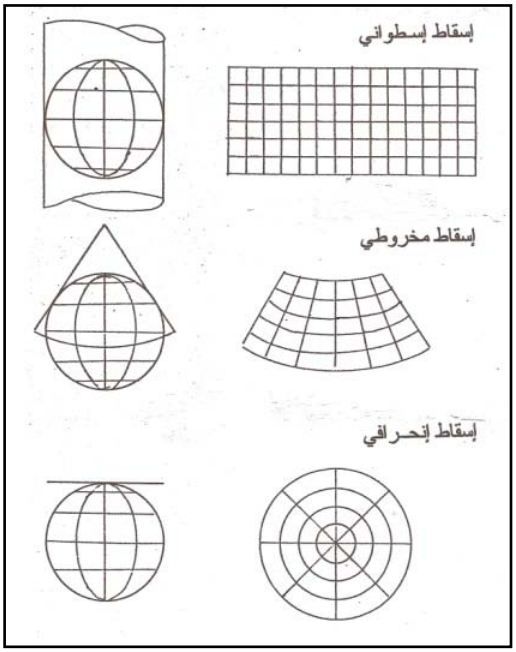
المساقط الإسطوانية (Cylindrical Projections) : يتم فيها تغليف الأرض بإسطوانه تسقط عليها جميع دوائر العرض وخطوط الطول (شكل 8) ثم يفرد سطح الإسقاط الاسطواني ليصبح مستويا.

المساقط المخروطية (Conical Projections) : هي المساقط التي يتم الحصول عليها عند تغليف نصف الأرض بمخروط يتم الإسقاط عليه من الكرة ثم يفرد المخروط ليصبح مستويا (شكل 9).

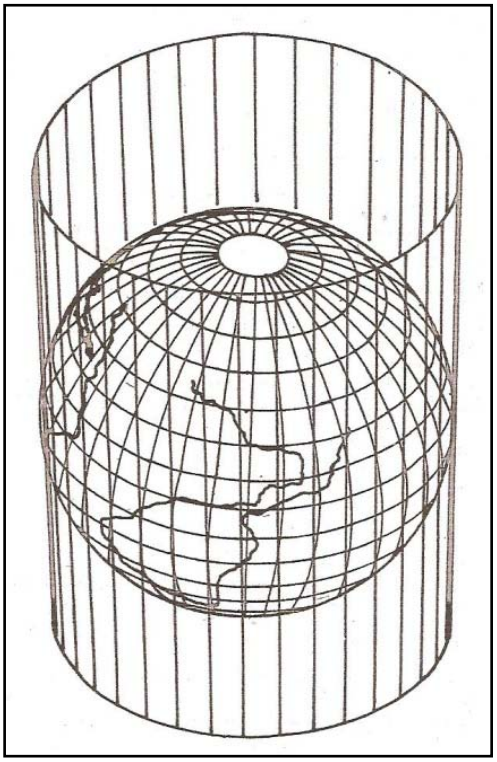
المسقط الانحرافية (Azimuthal Projections) وتعرف كذلك بالمساقط المستوية (Plane Projections) عندما يمس سطح الإسقاط المستوي سطح الكرة في نقطة أو يقطعها في دائرة صغرى (شكل 10).

ي ملكن تصنيف المساقط عى أساس ميل سطح الإسقاط (شكل 11) إلى مساقط عمودية ومساقط مائة ومساقط مستعرضة.

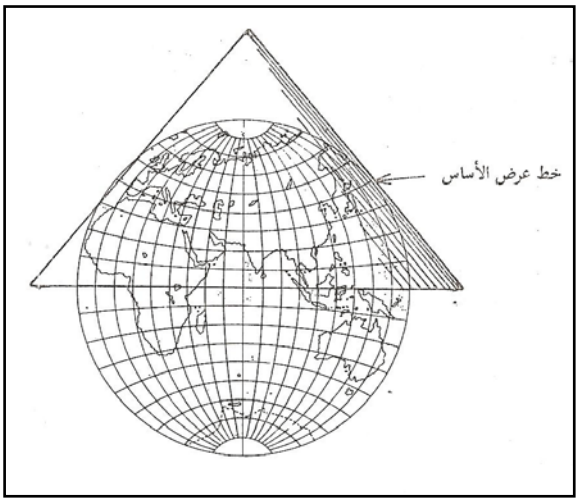
شكل (7) أنواع الإسقاطات من حيث تغليف الكرة



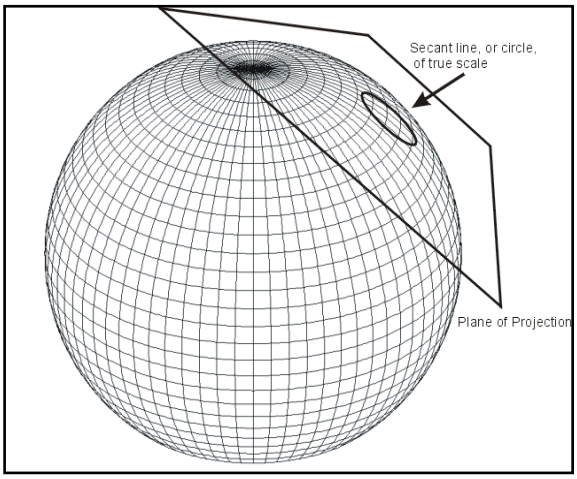
شكل (8) تغليف الكرة بإسطوانة



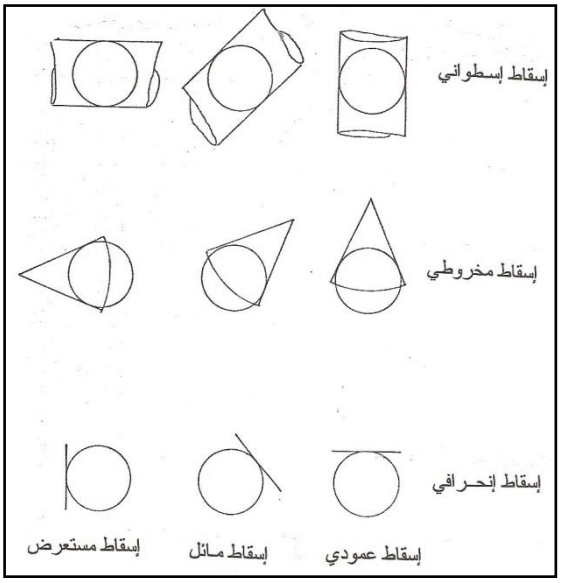
شكل (9) تغليف الكرة بمخروط



شكل (10) سطح الإسقاط المستوي يمس سطح الكرة



شكل (11) ميل سطح الإسقاط عن سطح الأرض



- **المساقط العمودية** (Normal Projections): يكون فيها وضع سطح الإسقاط عموديا أي في اتجاه محور دوران الأرض ويمس الأرض في دائرة الاستواء إذا كان الإسقاط اسطوانيا، ويكون عموديا وفي اتجاه المحور ويمس إحدى دوائر العرض إذا كان مخروطيا، ويكون عموديا على المحور ويمس سطح الأرض في أحد القطبين إذا كان إسقاطا مستويا.

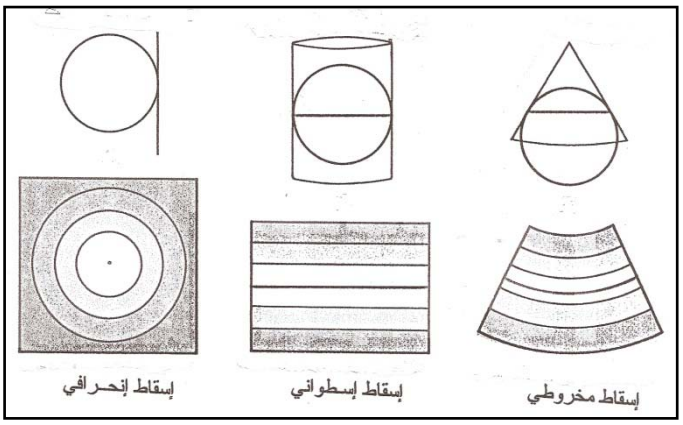
- **المساقط المائلة** (Oblique Projections) : يمس المسقط المائل سطح الأرض إذا كان اسطوانيا في دائرة كبرى ليست دائرة الاستواء وليست أي من الهواجر (خطوط الطول)، وإذا كان الاسقاط مخروطيا فانه يمس سطح الأرض في دائرة صغرى ليست أي من دوائر العرض وليست موازية لخطوط الطول، أما إذا كان مستويا فانه يمس الأرض في أية نقطة غير القطبين ولا يمسها في دائرة الاستواء.

- **المساقط المستعرضة** (Transverse Projections): وفيها يمس سطح الإسقاط أحد الهواجر (خطوط الطول) إذا كان إسطوانيا ويمس دائرة صغرى موازية لمحور الدوران إذا كان مخروطيا ويمس نقطة على دائرة الاستواء إذا كان مستويا.

تصنف المساقط كذلك على أساس الوضع الهندسي أو طريقة التقاء سطح الإسقاط بسطح الأرض إلى مساقط ماسة ومساقط قاطعة.

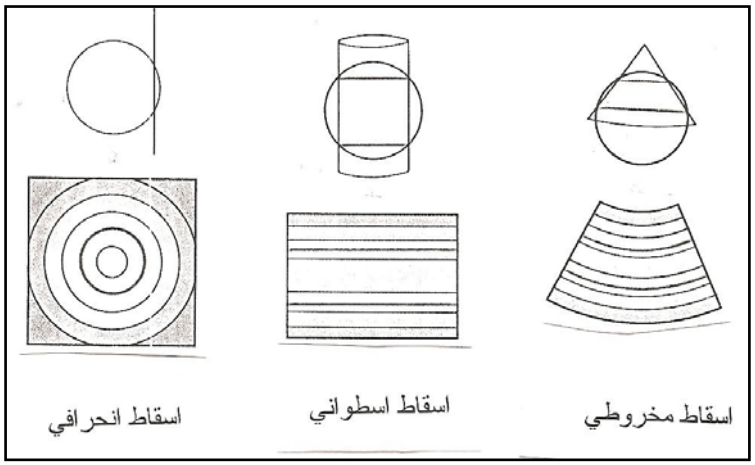
- **المساقط الماسة** (Tangential Projections) : يتلاقى فيها سطح الإسقاط مع سطح الأرض في نقطة واحدة إذا كان إسقاطا مستويا وفي دائرة كبرى واحدة إذا كان إسقاطا اسطوانيا وفي دائرة صغرى واحدة إذا كان مخروطيا (شكل 12).

شكل (12) المســـاقط الماسة



- **المساقط القاطعة** (Secant Projections) : يقطع فيها سطح الإسقاط سطح الأرض (شكل 13) لجعل جزء أكبر من السطح بأقل ما يمكن من تشويه. وسطح الإسقاط في هذه الحالة يقطع سطح الأرض في دائرة صغرى إذا استعملنا إسقاطا مستويا وفي دائرتين صغرتين إذا استعملنا الإسقاط الاسطواني أو الإسقاط المخروطي.

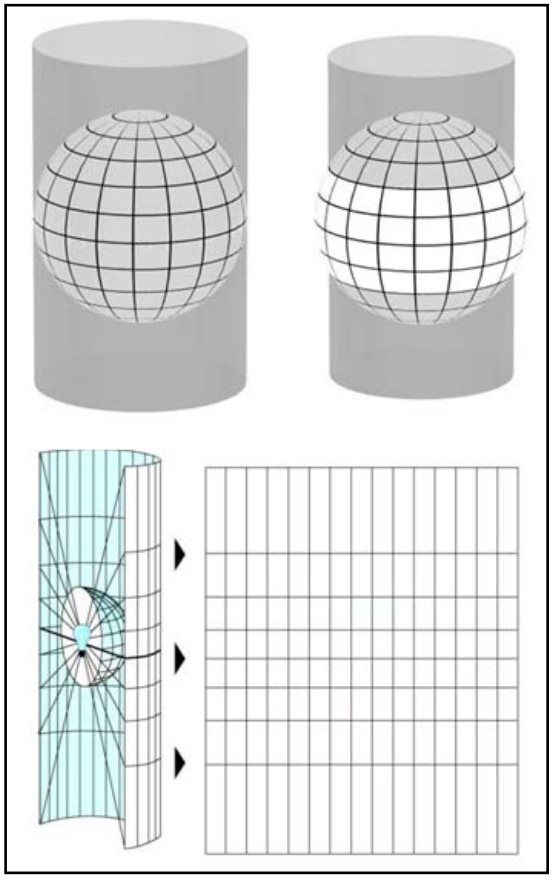
شكل (13) المساقط القاطعة



(3) المساقط الاسطوانية

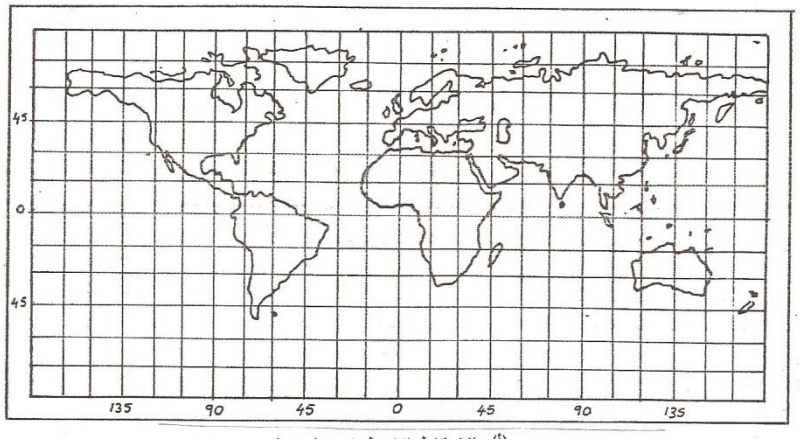
ذكرنا أنه يمكن فهم هذا الإسقاط بتخيل اسطوانة تحيط بالأرض وتغلفها وتمسها في دائرة كبرى أو تقطعها في دائرتين صغيرتين (شكل 14). وشبكة الاسقاط في هذه الحالة هي الشبكة الناتجة عن فرد الاسطوانة المغلفة للكرة بعد اسقاط الهواجر والمتوازيات عليها، فتظهر على شكل خطوط مستقيمة متقاطعة بزوايا قائمة.

شكل (14) تغليف الكرة باسطوانة



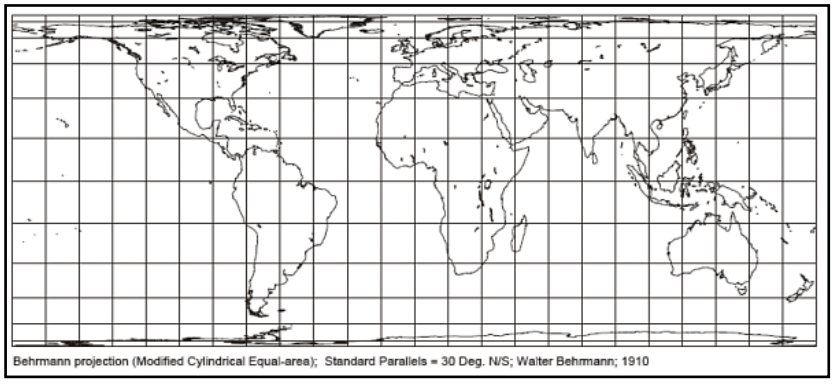
يعرف المسقط الاسطواني في أبسط أشكاله بالمسقط الإسطواني البسيط وشبكة الإسقاط فيه عبارة عن مستطيل طوله يساوي ضعف عرضه ومقسم إلى شبكة مربعات، ويمثل طول المستطيل طول دائرة الاستواء الذي يساوي حوالي 40000 كيلومترا تقريبا كما يمثل عرضه طول الهاجر الذي يساوي 20000 كيلومترا (شكل 15). ولا ينصح باستعماله في رسم خرائط العالم لأن التشويه في المساحات يكون كبيرا عندما نبتعد عن دائرة الاستواء في اتجاه أحد القطبين، كما أن جميع دوائر العرض تظهر على شكل خطوط متوازية ومتساوية

شـــكل (15) الإســـقاط الإســـطواني البســـيط



في الطول لدائرة الاستواء، ونحن نعرف أن هذا ليس صحيحا لأن طول دوائر العرض على الكرة يتناقص كلما ابتعدنا عن دائرة الاستواء. ولهذا السبب فإن المساحات على هذا الإسقاط تزيد عن حقيقتها كلما اقتربنا من أحد القطبين. ولكن يمكن استعمال هذا الإسقاط في رسم خرائط للمناطق القريبة من دائرة الاستواء. وعلى كل حال فإن هذا الإسقاط غير منتشر الاستعمال لوجود إسقاطات أخرى تعطي نتائج أفضل ويمكن إنشاؤها بسهوله ومنها الإسقاط الاسطواني متساوي المساحات (Cylindrical Equal-area Projection) الذي يحافظ على المساحات على حساب الصفات الأخرى (شكل 16). ويستخدم المسقط الإسطواني متساوي المساحات في بيان التوزيعات

شـــكل (16) خريطة العالم على مســـقط إســـطواني متســـاوي المســـاحات

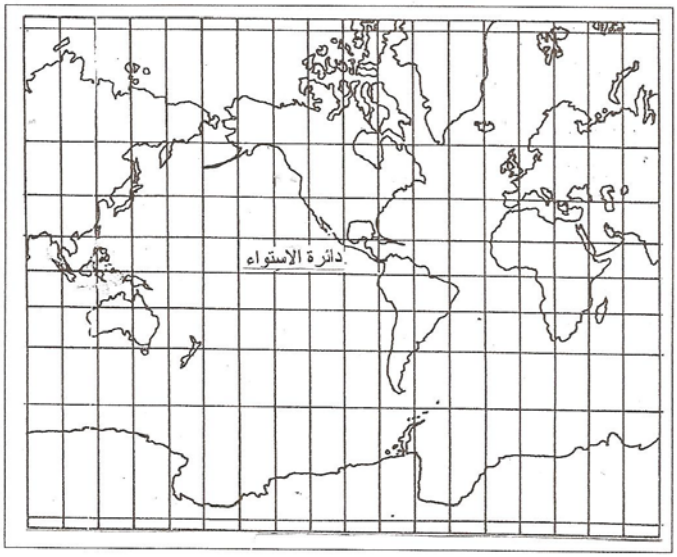


الجغرافية في المناطق الاستوائية والمعتدلة. ولا يفضل استخدامه في المناطق القطبية لأن الشكل في هذه المنطقة يكون مشوها بدرجة كبيرة. وأنسب منطقة لاستعمال هذا النوع من المساقط هي الواقعة بين 45 شمالا و 45 جنوبا.

مسقط مركاتور (Mercator Projection)

يعتبر الخرائطي جيراردوس ماركاتور (1512-1594) صاحب هذا الاسقاط من أشهر خرائطي القرن السادس عشر ومازالت أعماله الخرائطية تحتل أماكن هامة في علم الخرائط الحديث. ومسقط مركاتور هو مسقط اسطواني تشابهي يستعمل بكثرة في الخرائط الملاحية قي المناطق المعتدلة وتظهر فيه خطوط الطول ودوائر العرض متعامدة على بعضها (شكل 17)، وتظهر المسافات بين خطوط الطول متساوية خلافا لما هو على سطح الكرة. ونظرا لأن الاسطوانة المغلفة تمس الأرض عند دائرة الاستواء فانه لا يو جد أي تشويه على هذه الدائرة.

شـــكل (17) العالم على مســـقط مركاتور



من عيوب هذا الاسقاط أنه ليس ملائما للمناطق القطبية لزيادة التشويه في هذه المناطق بشكل كبير، وأن الدوائر الكبرى باستثناء خطوط الطول ودائرة الاستواء وبقية دوائر العرض لا تظهر في المسقط على شكل خطوط مستقيمة، بل على شكل أقواس (شكل 18) وبالتالي فإن الخط المستقيم على المسقط لا يمثل أقصر المسافات بين نقطتين، إلا إذا كانت النقطتان تقعان على دائرة الاستواء أو على أحد خطوط الطول

شكل (18) الدائرة الكبرى واللوكسودرم على إسقاط مركاتور