الفصل الثالث

تصنيف نظم الإسقاط

(٣,١) مقدمة

بسبب تعدد أنواع نظم الإسقاط من حيث نوع التشوهات، أو من حيث طرق الحصول على هذه النظم، أو من حيث شكل الشبكة فيها، كان لابد من تصنيفها بشكل يتناسب مع طرق استخدامها أو طلبها من قبل المهندس الكارتوغرافي، الذي يعد مشروع إصدار خارطة. لذا يجب أن تتوفر في التصنيف شروط؛ كأن يكون واضحاً، ذا هيكلية عامة، بحيث يمكن إدراج أي نظام إسقاط ضمن هذا الهيكل، وأن يستوعب من حيث النوعية إضافة أي نظام إسقاط جديد مهما كانت خصائصه.

سنعتمد في أساس تصنيف نظم الإسقاط الأسس التالية [٦]:

١- التصنيف حسب طبيعة التشوهات.

٢- التصنيف حسب شكل الشبكة الكارتوغرافية.

٣- التصنيف حسب ميل الشبكة الكارتوغرافية.

(٣,٢) تصنيف نظم الإسقاط حسب طبيعة التشوهات

كما مر معنا سابقاً يمكن هنا تقسيم نظم الإسقاط إلى ثلاثة أنواع: المطابقة، والمكافئة، والمختلطة، وهي التي تحوي بدورها نظم الإسقاط ذات الشبكة المتساوية المسافات.

في نظم الإسقاط المطابقة يتم المحافظة على تشابه الأشكال اللامتناهية في الصغر، والمقياس المحلي الخطي مستقل عن الاتجاه، والزوايا مطابقة لنظيراتها على الإهليلج. عناصر قطع التشوهات هي نفسها قيم المقياس حسب خطوط الطول والعرض $a=b=m=n$. يُعطَى المقياس المحلي المساحي بالعلاقة $\mu_s=m^2$. ومن أجل طول معين تتغير قيمة المقياس المحلي الخطي على امتداد هذا الطول، وهذا ما يؤدي إلى أن حدود منطقة ما ستتشوه. أي، كما ذكرنا سابقاً، يحافظ نظام الإسقاط على تشابه الأشكال اللامتناهية في الصغر فقط (باستثناء نظام الإسقاط السيتريوغرافي) وفي نظم الإسقاط هذه يجب أن تتحقق العلاقات التالية:

$$\begin{cases} f=\dfrac{\partial x}{\partial \varphi}\dfrac{\partial x}{\partial \lambda}+\dfrac{\partial y}{\partial \varphi}\dfrac{\partial y}{\partial \lambda}=o \quad , \quad \dfrac{e}{M^2}=\dfrac{g}{r^2} \\ \dfrac{\partial x}{\partial \lambda}=+\dfrac{r}{M}\dfrac{\partial y}{\partial \varphi} \quad , \quad \dfrac{\partial y}{\partial \lambda}=-\dfrac{r}{M}\dfrac{\partial x}{\partial \varphi} \end{cases} \qquad (٣,١)$$

في نظم الإسقاط المكافئة يتم المحافظة على نسبة ثابتة بين المساحات على سطح الإهليلج ونظيراتها على سطح المستوي. طبعاً هنا ثبات النسبة لا يتعلق فقط بالمساحات اللامتناهية في الصغر بل يشمل المساحات المحدودة. غالباً النسبة في المساحات تعتبر مساوية للواحد.

يُعطَى المقياس المحلي المساحي بالعلاقة:

$$\mu_s=a\,b=m\;n\;\sin i=1 \qquad (٣,٢)$$

المقياس المحلي الخطي حسب الاتجاهين الرئيسين:

$$a=\frac{1}{b} \quad , \quad b=\frac{1}{a} \qquad (٣,٣)$$

يُعطَى التشوه الأعظمي في زاوية مقاسة في مستوي نظام الإسقاط بالعلاقة:

$$\tan\left(45^0+\frac{\omega}{4}\right)=a \qquad (٣,٤)$$

كما يجب أن تتحقق العلاقة:

$$\frac{\partial x}{\partial \lambda}\frac{\partial y}{\partial \varphi}-\frac{\partial x}{\partial \varphi}\frac{\partial y}{\partial \lambda}=M\,r \qquad (٣,٥)$$

نلاحظ أنه في نظم الإسقاط المطابقة، وبمقابل الحصول على هذه الميزة، أي تطابق الزوايا، نتجت لدينا تشوهات في المساحات. أما في نظم الإسقاط المكافئة فعلى العكس فقد تشوهت الزوايا بسبب المحافظة على المساحات.

في نظم الإسقاط المختلطة تتشوه الزوايا والمساحات والأطوال. ولكن ضمن هذا التصنيف تندرج نظم الإسقاط ذات الشبكة المتساوية التباعد حسب خطوط الطول أو حسب خطوط العرض. ومن ثَم فإن قطع التشوهات لدينا إما: $a=1$ أو $b=1$.

(٣,٣) تصنيف نظم الإسقاط حسب شكل الشبكة

إن التصنيف المذكور فيما سبق يشمل كل نظم الإسقاط بدون استثناء، ولكن من وجهة نظر نوع التشوهات. إلا أنه لا يعطي فكرة عن شكل الشبكة؛ لذلك لابد من إجراء هذا التصنيف، أي حسب شكل الشبكة. ويقصد بالشبكة طبعاً مرتسمات خطوط الطول والعرض. ولكن هذا التصنيف خاص بنظم الإسقاط ذات الشبكة الطبيعية، والمقصود بالطبيعية هي التي يقع قطبها في نفس موقع القطب الجغرافي. أي عندما $\varphi_0=90^0$ حيث φ_0 عرض قطب منظومة الإحداثيات على الإهليلج.

حسب هذا التصنيف تقسم نظم الإسقاط إلى: الأسطوانية، والمخروطية والسمتية، وشبه الأسطوانية، وشبه المخروطية، وشبه السمتية، والنصف مخروطية، والخاصة. وفيما يلي تعريف بكل منها.

(٣,٣,١) نظم الإسقاط الأسطوانية

تمتاز ببساطة شكل الشبكة، فخطوط الطول ترتسم كمستقيمات ثابتة التباعد فيما بينها، وخطوط العرض ترتسم مستقيمات متوازية معامدة لمرتسمات خطوط

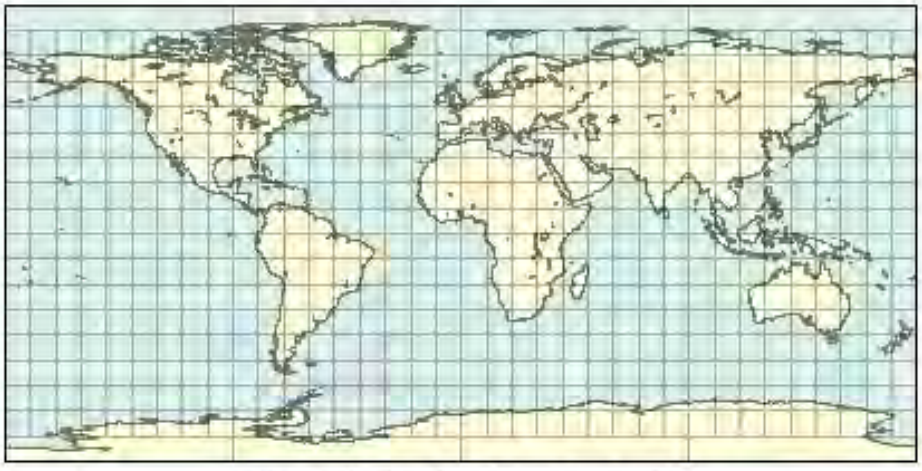
الطول (الشكل رقم ١٤)، المقياس المحلي تابع للعرض فقط. وتتطابق خطوط تساوي التشوهات مع مرتسمات خطوط العرض.

يمكن الحصول على هذه النظم بطريقة هندسية، عندها تسمى بنظم الإسقاط المنظورية.

العلاقات العامة لهذه النظم هي من الشكل:

$$x = \beta\lambda \quad , \quad y = f(\varphi) \tag{٣.٦}$$

حيث β يمثل شكل التابع f بالنسبة لـ x.



الشكل رقم (١٤). شبكة الإسقاط الأسطواني [٢].

(٣,٣,٢) نظم الإسقاط المخروطية

هي نظم الإسقاط التي يكون شكل الشبكة فيها كالآتي: خطوط الطول ترتسم مستقيمات متلاقية في نقطة واحدة، بزوايا متناسبة مع الزوايا بين خطوط الطول

المناظرة لها على الإهليلج. أما خطوط العرض فمرتسمها أقواس دوائر متمركزة، مركزها يقع في نقطة تلاقي مرتسمات خطوط الطول كما في الشكل رقم (١٥).

الشكل رقم (١٥). شبكة الإسقاط المخروطي [٢]

يمكن الحصول على هذه النظم أيضاً بطريقة هندسية. عندها تسمى هذه النظم بنظم الإسقاط المنظورية.

تُعطى المعادلات العامة لهذه الإسقاطات بالشكل التالي:

$$\begin{cases} x=\rho \sin\delta \quad , \quad y=q-\rho\cos\delta \\ \delta=\alpha\ \lambda \quad , \quad \rho=f\ (c,\varphi) \\ q=const. \end{cases} \qquad (٣.٧)$$

حيث α , c ثوابت نظام الإسقاط.

إن المقياس المحلي في نظم الإسقاط المخروطية تابع فقط لـ φ ومن ثم فإن خطوط تساوي التشوهات عبارة عن أقواس دوائر منطبقة مع مرتسم خطوط العرض.

(٣,٣,٣) نظم الإسقاط السمتية

وهي نظم الإسقاط التي يكون مرتسم خطوط الطول فيها مستقيمات متلاقية بنقطة واحدة بزوايا مساوية لنظيراتها على سطح الإهليلج، أما مرتسم خطوط العرض فهي دوائر كاملة متمركزة في نقطة تقاطع خطوط الطول (الشكل رقم ١٦).

الشكل رقم (١٦). شبكة الإسقاط السمتي [٢].

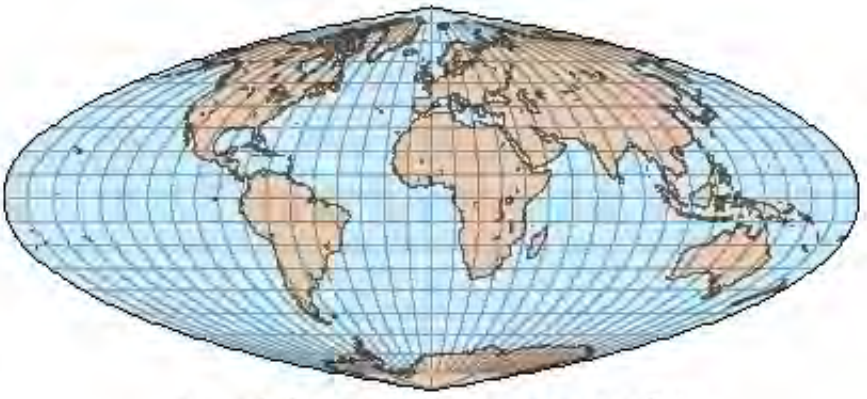
تسمى هذه النظم بنظم الإسقاط السمتية المنظورية عندما يتم الحصول عليها بطرق الإسقاط الهندسي. المقياس المحلي تابع فقط للعرض φ ، لذلك خطوط تساوي التشوهات عبارة عن دوائر منطبقة مع مرتسم خطوط العرض. علاقات نظم الإسقاط المنظورية تُعطَى بالشكل التالي:

$$\begin{cases} x = \rho \sin\delta \quad , \quad y = \rho \cos\delta \\ \delta = \lambda \quad , \quad \rho = f(\varphi) \end{cases} \tag{٣,٨}$$

(٣,٣,٤) نظم الإسقاط شبه الأسطوانية

ترتسم الموازيات في هذه النظم مستقيمات متعامدة لمرتسم خط الطول الأساسي الذي يرتسم مستقيماً أيضاً. ترتسم باقي خطوط الطول كمنحنيات (جيبية، قطعية) بالنسبة لمرتسم خط الطول الأساسي (الشكل رقم ١٧). إذاً الشبكة في هذه النظم غير متعامدة، لذلك لا يمكن أن تكون مطابقة.

تعبر خطوط تساوي التشوهات عن تشوهات خطوط العرض والتشوه المساحي، وهي تتطبق مع مرتسم خطوط العرض. أما الخطوط المعبرة عن تشوهات الزوايا وخطوط الطول، فهي عبارة عن منحنيات قطوع متناظرة بالنسبة لمرتسم خط الطول الأساسي وخط الاستواء.



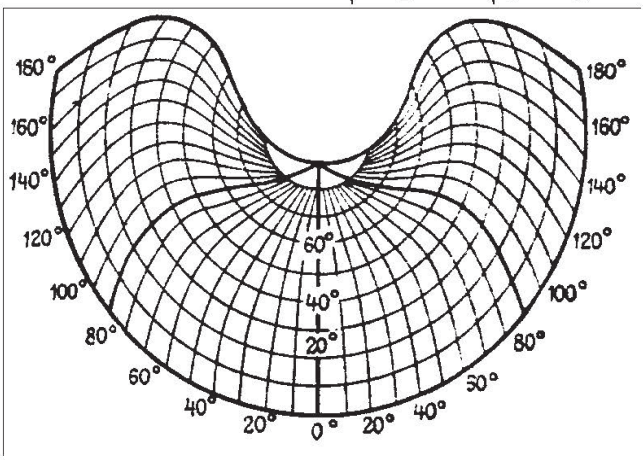
الشكل رقم (١٧). شبكة الإسقاط شبه الأسطواني [٢].

تُعطَى العلاقات العامة لهذه الإسقاطات بالشكل التالي:

$$x = F(\varphi, \lambda) \quad , \quad y = f(\varphi) \tag{٣.٩}$$

(٣,٣,٥) نظم الإسقاط شبه المخروطية

تمتاز الشبكة في هذه النظم بما يلي: ترتسم الموازيات أقواس دوائر متمركزة، أما خطوط الطول فمرتسمها منحنيات متناظرة بالنسبة لمرتسم خط الطول الأساسي، الذي هو عبارة عن مستقيم (الشكل رقم ١٨).



الشكل رقم (١٨). شبكة الإسقاط شبه المخروطي.

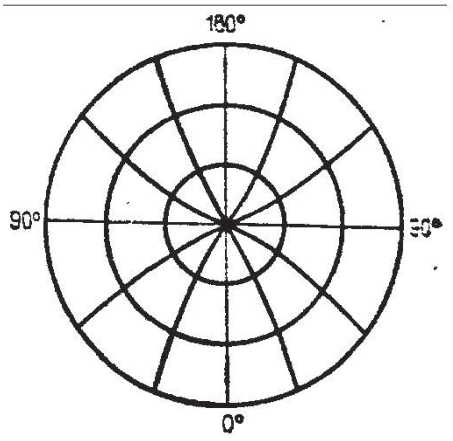
إن الشبكة في هذه الإسقاطات غير متعامدة. لذلك لا يمكن أن تكون هذه الإسقاطات مطابقة. يتحقق التعامد فقط على مرتسم خط الطول الأساسي.وعلى مرتسم أحد الموازيات المفروضة φ_0. وخطوط تساوي التشوهات عبارة عن منحنيات متناظرة بالنسبة لخط الطول الأساسي.

معادلات هذا النوع من نظم الإسقاط يمكن حصرها بالنموذج العام التالي:

$$\begin{cases} x=\rho\ \sin\delta \quad , \quad y=q-\rho\cos\delta \\ \rho=f_1(\varphi) \quad , \quad \delta=f_2(\varphi,\lambda) \\ q=const. \end{cases} \qquad (٣,١٠)$$

(٣,٣,٦) نظم الإسقاط شبه السمتية

ترتسم في هذه الإسقاطات الموازيات بشكل دوائر متمركزة. أما خطوط الطول فبشكل منحنيات باستثناء اثنين منها متعامدين يشكلان محاور التناظر في الشبكة (الشكل رقم ١٩).



الشكل رقم (١٩). شبكة الإسقاط شبه السمتي.

إن المعادلات العامة لهذه النظم هي كما يلي:

$$\begin{cases} x = \rho \sin\delta \quad , \quad y = \rho \cos\delta \\ \rho = f_1(\varphi) \quad , \quad \delta = f_2(\varphi, \lambda) \end{cases} \qquad (٣,١١)$$

أما خطوط تساوي التشوهات فهي عبارة عن منحنيات مغلقة بيضية.

(٣,٣,٧) نظم الإسقاط النصف مخروطية

هذه الإسقاطات شائعة في الكارتوغرافيا الحديثة خاصة في خرائط العالم. الشبكة في هذه الإسقاطات لها الشكل التالي: ترتسم الموازيات أقواس دوائر غير

متمركزة. أما خطوط الطول فمرتسمها منحنيات متناظرة بالنسبة لمرتسم خط الطول الأساسي المستقيم، وأيضاً بالنسبة للاستواء (الشكل رقم ٢٠).

الشكل رقم (٢٠). شبكة الإسقاط نصف المحروطي [٢].

إن خطوط تساوي التشوهات عبارة عن منحنيات معقدة، متناظرة بالنسبة لمرتسم خط الطول الأساسي المستقيم. تعتبر نظم الإسقاط الدائرية حالة خاصة من هذه النظم.

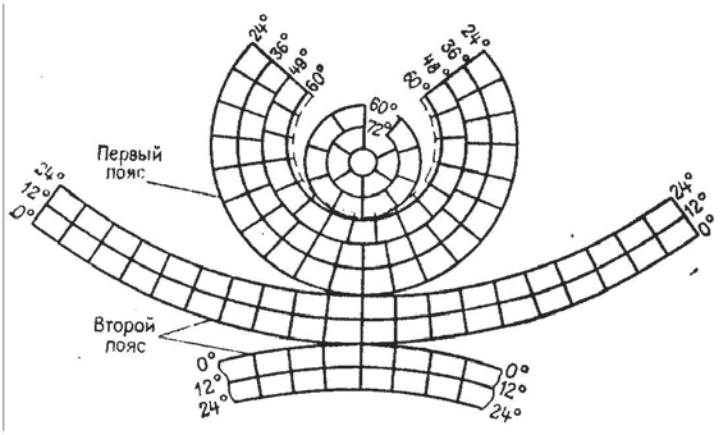
معادلات هذا النوع من نظم الإسقاط، تُعطَى بالشكل التالي:

$$\begin{cases} x=\rho \sin\delta \quad , \quad y=q-\rho\cos\delta \\ \rho=N\,c\,\tan\varphi \quad , \quad \delta=f(\varphi,\lambda) \\ q=k\,s+N\,c\tan\varphi \end{cases} \qquad (٣.١٢)$$

حيث k ثابت، s طول قوس خط الطول.

(٣,٣,٨) نظم إسقاط سطح كثير الوجوه

هذا النوع من نظم الإسقاط يستخدم لإصدار خرائط المقياس الكبير والمقياس المتوسط، وذلك بغية الإقلال من التشوهات، حيث يتم إسقاط سطح الإهليلج على كثير الوجوه الأقرب لهذا السطح، وذلك بشكل أجزاء مستقلة. يوضح الشكل رقم (٢١) أحد نماذج هذا النوع من نظم الإسقاط، بعد إسقاط سطح الإهليلج على سطوح مخروطية ونشرها. هنا توابع نظام الإسقاط غير مستمرة على كامل سطح الإهليلج.



الشكل رقم (٢١). شبكة الإسقاط الكثير الوجوه.

(٣,٤) تصنيف نظم الإسقاط حسب ميل الشبكة

يعتبر بشكل عام سطح المقارنة هو سطح كرة، من أجل نظم الإسقاط المائلة والمعترضة. في نظم الإسقاط ذات الشبكة الطبيعية تنطبق شبكة الإحداثيات الكروية مع شبكة الإحداثيات الجغرافية، أي φ , λ. أما في نظم الإسقاط المائلة والمعترضة فلا يحصل هذا الانطباق. ومن ثم لن يحصل انطباق قطب الإحداثيات الكروية

(φ_0 , λ_0) مع القطب الجغرافي ($\varphi = 90^0$). يمكن تصنيف نظم الإسقاط حسب قيمة φ_0. فعندما ($\varphi_0 = 90^0$) أي في حالة ما يحصل الانطباق فنظام الإسقاط يسمى نظام إسقاط ذي شبكة طبيعية. عندما ($\varphi_0 = 0$) هذا يعني أن قطب الإحداثيات الكروية يقع على خط الاستواء، وعندها تسمى نظم الإسقاط بنظم الإسقاط المعترضة. أما عندما ($0 < \varphi_0 < 90^0$) فإن قطب الإحداثيات الكروية يمكن أن يكون بأي نقطة بين الاستواء والقطب. ونسمي نظام الإسقاط في هذه الحالة بنظام الإسقاط المائل.

يبين الشكل رقم (٢٢) شكل الشبكة في المرتسم الأسطواني وذلك في الحالات المذكورة آنفاً.

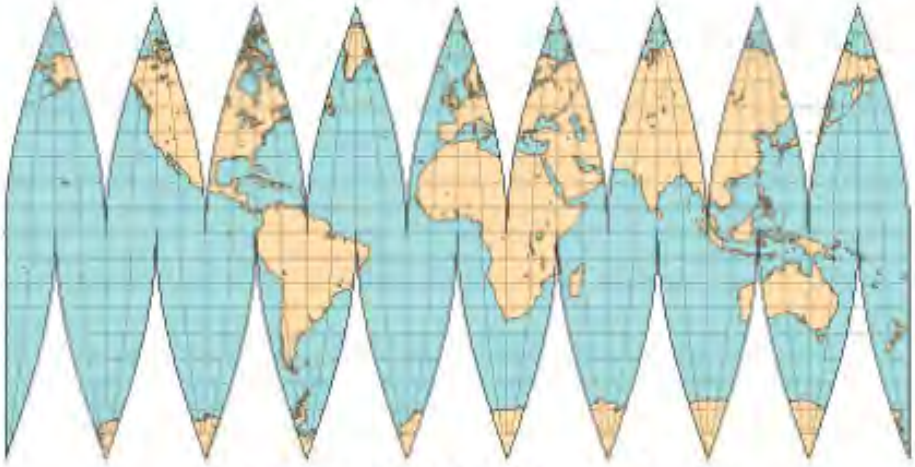
الشكل رقم (٢٢). شبكة الإسقاط الأسطواني في عدة حالات [٢].

(٣,٥) بعض نماذج نظم الإسقاط الخاصة

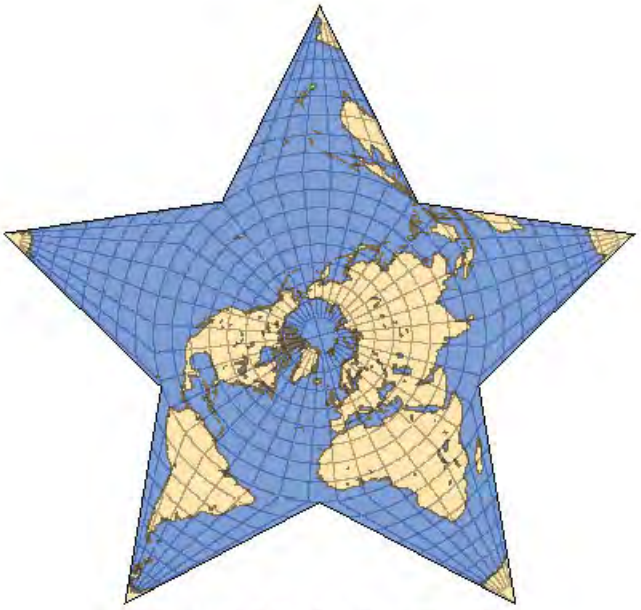
فيما يلي بعض نماذج نظم الإسقاط التي أخذت طابع الخصوصية من حيث الشكل (الأشكال من رقم ٢٣ إلى ٢٦). أما بالنسبة لنوع التشوهات وشكل خطوط الشبكة فيمكن إدراجها ضمن التصنيفات المذكورة سابقاً.

الجدير بالذكر أننا ذكرنا في هيكل التصنيف الأسس الرئيسة. وهناك أسس أخرى ولكنها ليست برئيسة. بالإضافة إلى أن التصنيف حسب شكل خطوط الشبكة يمكن أن يحوي حالات أخرى لم نمر على ذكرها لقلة استخدامها. ومن ثم يمكن إدراج أي نموذج جديد أو خاص من نظم الإسقاط ضمن التصنيفات المذكورة.

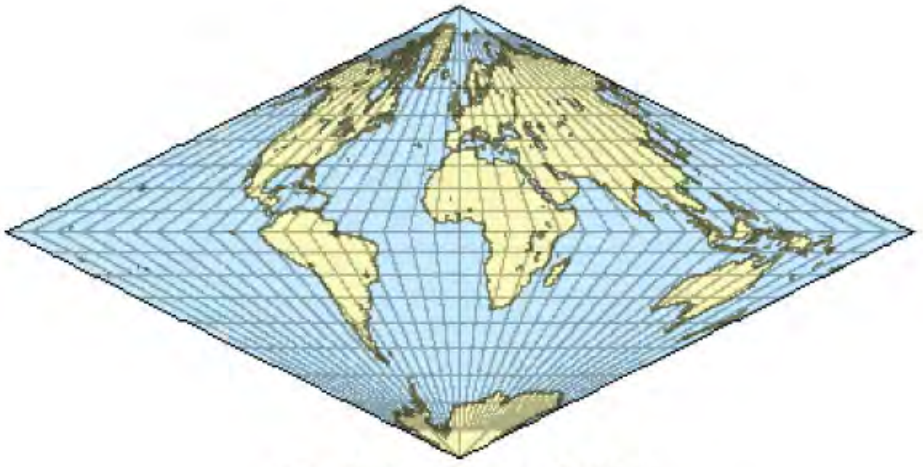
الشكل رقم (٢٣) شبكة الإسقاط الجيبي الجزأ الثلاثي [٢].



الشكل رقم (٢٤). شبكة الإسقاط الجيبي الجزأ المتعدد [٢].



الشكل رقم (٢٥). الإسقاط النجمي [٢].



الشكل رقم (٢٦). الإسقاط المعيني [٢].

(٣,٦) تحديد نظام الإسقاط

(٣,٦,١) الهدف من تحديد نظام الإسقاط

غالباً ما يقوم مستخدم الخارطة بالحصول على معلومات منها، بإجراء قياسات أطوال أو مساحات أو زوايا (قياسات كارتومترية)، أو حتى أحياناً يتم الحصول على معلومات بالعين المجردة بمقارنة عناصر الخارطة بعضها مع بعض. لذلك يجب أن تتوفر لقارئ الخارطة معلومات عن الهيكل الرياضي لها. هذه المعلومات تعتبر هامة للغاية بالنسبة للمهندس الكارتوغرافي، وذلك في حال استخدام الخارطة كمصدر كارتوغرافي لإصدار خارطة أخرى بنفس نظام الإسقاط أو بغيره. أول خطوة هي تحديد النقاط أو الخط (أو الخطوط) التي يتم المحافظة فيها على المقياس المحلي ثابتاً بدون تشوه، حيث يتم على أساس ذلك الحكم على دقة القياس. بعد ذلك يبدأ البحث عن خواص نظام الإسقاط: تصنيف نظام الإسقاط حسب ميل الشبكة وتصنيف نظام الإسقاط حسب نوع التشوهات.

من أجل تحديد نظام الإسقاط وعناصره، هناك عدة مؤشرات تساعد في حالات كثيرة على تحديد نظام الإسقاط. فمثلاً هناك تسميات محددة لبعض نظم الإسقاط، بحيث أن التسمية تدل مباشرة على نوع نظام الإسقاط ومواصفاته. مثال ذلك أنظمة إسقاط: (سانسون)، (كافرايسكي)، (ملفيد)، (U.T.M)، (كراسوفسكي) وغيرها. ولكن هناك تسميات تدل على نوع نظام الإسقاط دون أن تعطي فكرة عن توزع التشوهات، أي ثوابت نظام الإسقاط. فمثلاً إذا علم أن نظام إسقاط لامبير (السمتي المكافئ) يستخدم لخارطة أمريكا الجنوبية، فيمكن فقط معرفة موقع مركز نظام الإسقاط، أي مركز خطوط تساوي التشوهات (الخطوط الأيزومترية)

الدائرية. ولكن لا يمكن تحديد الخط الأيزومتري الذي يحافظ فيه على المقياس المحلي ثابتاً ويساوي الواحد. هذا الاعتبار ينطبق أيضاً على أنظمة إسقاط كثيرة. إن تزويد الخارطة في حاشيتها بمعلومات عن نظام الإسقاط المستخدم يؤدي إلى تسهيل استخدام الخارطة للقياسات الكارتومترية. من بين الإصدارات الكارتوغرافية التي تحوي معلومات عن نظام الإسقاط في كل خريطة، هناك أطلس " Goode's world Atlas ".

إذاً في حال غياب المعلومات عن نظام الإسقاط في أي خريطة تستخدم للقياسات، علينا البحث في عدة مؤشرات مساعدة على تحديد هذه المعلومات. ومن المعلوم أن المعلومات المطلوبة عن نظام الإسقاط يتعلق حجمها بنوع المسألة التي ستحل بهذه الخريطة. فمثلاً في بعض الحالات يكفي معرفة نوع نظام الإسقاط.أما معرفة طبيعة توزع التشوهات فإنه يلزم لتقدير دقة القياسات وأيضاً لتحديد إحداثيات نقطة ما مفروضة بإحداثياتها الجغرافية.

الجدير ذكره أن تحديد نظام إسقاط خرائط المناطق الواسعة الامتداد مثل خرائط القارات، يعتبر أسهل مما هو عليه في المناطق الصغيرة نسبياً. ثم تزيد صعوبة هذه المسألة مع تناقص مساحة المنطقة المصورة. فمثلاً للمناطق المعتبرة في لوحات الخرائط العالمية (1:1000 000) أي المناطق ذات الأبعاد $4^\circ \times 6^\circ$ وذلك في نظام إسقاط U.T.M أو نظام الإسقاط النصف مخروطي المعدل، ترتسم خطوط الطول مستقيمات تقريباً، أما الموازيات فترتسم منحنيات، ولا يمكن تمييزها إن كانت أقواس دوائر متمركزة (نظام إسقاط مخروطي) أو غير متمركزة (نظام إسقاط نصف مخروطي). أيضاً القسم الأوروبي من روسيا، المصور بنظامي إسقاط سمتي وشبه سمتي، لا يمكن ملاحظة الفروق بين النظامين عند تطبيق مركزيهما.

(٣,٦,٢) طرق تحديد نظام الإسقاط[١]

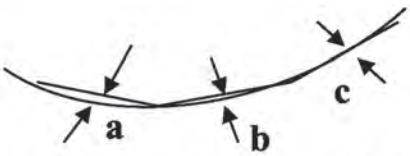
هناك عدة خطوات نقوم بها لتحديد نظام الإسقاط. ولكن قبل كل شيء يجب أن تكون أبعاد المنطقة المصورة كافية بحيث يمكن استنتاج بعض المؤشرات على نظام الإسقاط. ومن ثم يجب أن تتوفر عدة حلقات (ثلاث أو أربع) كروية في الخارطة بامتداد $\Delta\varphi = 25^\circ - 30^\circ$. فمثلاً في الشكل رقم (٢٧) تظهر منطقة ذات امتداد $\Delta\varphi \approx 30^\circ$ ، وتبدو في الخريطة ثلاث حلقات من أشباه المنحرفات. وبمقارنة بسيطة للأطوال a,b,c نلاحظ أنها غير متساوية وهي تتزايد باتجاه تزايد φ. مرتسمات خطوط الطول يمكن الحكم عليها بأنها مستقيمات أو لا بواسطة مسطرة أو بالعين المجردة. أما عن بيان ما إذا كانت مرتسمات خطوط الطول تتلاقى في نقطة أم لا ، فإن ذلك يبدو واضحاً بالنسبة للمناطق البعيدة نسبياً عن الاستواء. أما في المناطق الاستوائية فإن مرتسمات خطوط الطول تبدو مستقيمات متوازية ولا يمكن للعين المجردة الحكم عليها بأنها متوازية (نظام إسقاط أسطواني) أو لا (نظام إسقاط مخروطي). لذلك يتم الاستعانة بمسطرة دقيقة لتأكيد أحد الأمرين. من البديهي أنه كلما صغرت أبعاد المنطقة في الخريطة أدى ذلك إلى ضرورة استخدام أدوات للقياس، وليس الاعتماد على النظر. يمكن أيضاً اختبار ثبات قيمة انحناء مرتسمات خطوط العرض وذلك بوصل أطراف قوس منها بالوتر، وتكرر هذه الخطوة في عدة أماكن على طول مرتسم خط العرض، ثم تقارن قيم السهم بين الوتر والقوس، ومنه يتم الحكم على ثبات الانحناء.

يبين الشكل رقم (٢٨) أن اختيار السهم في النقاط a,b,c يدل على أن نظام الإسقاط لا يمكن أن يكون مخروطياً أو نصف مخروطي. أما عند ثبات انحناء مرتسم خط العرض، أي قوس دائرة، فإنه يتم معرفة المرتسمات إن كانت أقواساً متمركزة أو لا. من أجل ذلك يتم قياس التباعد بين مرتسمي خطي عرض في عدة نقاط وتقارن هذه

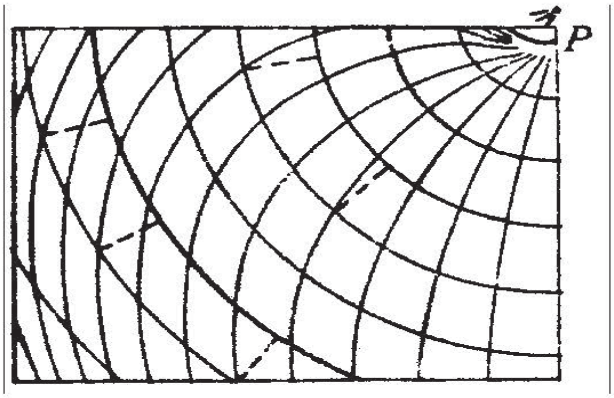
القياسات مع بعضها. تساوي هذه القياسات يعني أن الأقواس متمركزة. ويتم القياس حسب نصف قطر الانحناء الذي ينطبق مع مرتسم خط الطول في نظام الإسقاط المخروطي.

بالنسبة لنظم الإسقاط ذات الشبكة غير المتعامدة، يمكن قياس التباعد بين مرتسمات خطوط العرض حسب اتجاه أنصاف أقطارها. ويمكن تحديد ذلك برسم خط معامد للقوس كما في الشكل رقم (٢٩).

الشكل رقم (٢٧). تحديد تباعد خطوط العرض.



الشكل رقم (٢٨). تحديد تقوس خطوط العرض.



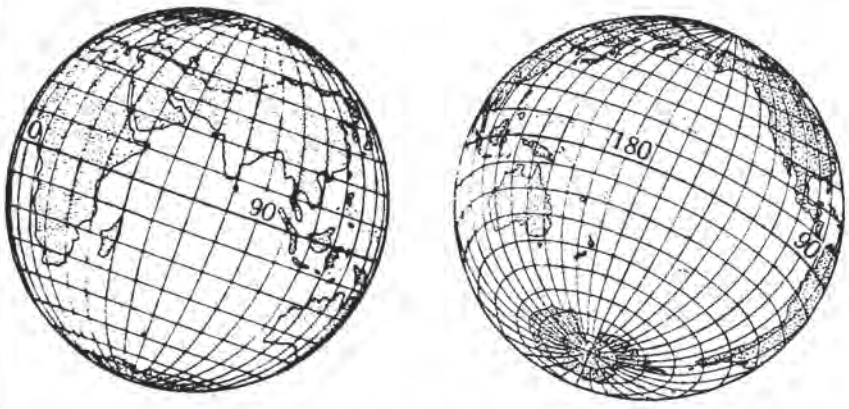
الشكل رقم (٢٩). تحديد تباعد خطوط العرض لشبكة غير متعامدة.

على ضوء مقارنة القياسات يمكن تحديد هذه الأقواس إن كانت متمركزة أو لا.

إن ما ينطبق على مرتسمات خطوط الطول والعرض في نظام الإسقاط القائم ينطبق أيضاً على مرتسماتها في نظم الإسقاط المائلة والمعترضة. ولكن شبكة نظام الإسقاط المائل لا تجسد في الخرائط، بل دائماً تظهر شبكة خطوط الطول والعرض القائمة. إذاً يجب البحث عن مؤشرات أخرى من أجل نظم الإسقاط المائلة. في نظم الإسقاط القائمة الأسطوانية، والمخروطية، والسمتية خطوط الطول ترتسم مستقيمات، أما في نظم الإسقاط الأخرى فإن خط الطول الأوسط فقط يرتسم مستقيماً. في نظم الإسقاط شبه السمتية القائمة يكون مرتسم خطوط الطول مستقيمات فقط للخطوط $\lambda = k.90^{\circ}$. في نظم الإسقاط المائلة والمعترضة خط الطول الأوسط دائماً يرتسم بشكل مستقيم. ويمر حتماً بمركز نظام الإسقاط وبقطب الإحداثيات الكروية المائلة.

يكون مرتسم خط الاستواء مستقيماً في نظم الإسقاط الأسطوانية وشبه الأسطوانية، وهو يشكل محور تناظر نظام الإسقاط. في كل نظم الإسقاط المعترضة مرتسم خط الاستواء مستقيم، ولكن في نظم الإسقاط المائلة لا يمكن أن يكون

مستقيماً. يشاهد نموذجان لنظام إسقاط خارجي في الشكل رقم (٣٠)، أحدهما معترض والآخر مائل، ويرى أن مرتسم الاستواء مستقيم في المعترض، ومنحنٍ في المائل. يستخدم النموذج الثاني لتصوير منطقة المحيط الهادي مع القارة القطبية الجنوبية. بالنسبة لمرتسم القطب، يكون في بعض نظم الإسقاط بشكل نقطة، كما في نظام الإسقاط المخروطي المطابق، والسمتي، وشبه السمتي، والدائري، أو بشكل قوس كما في نظام الإسقاط المخروطي المكافىء والمتساوي المسافات. وفي نظم الإسقاط الأسطوانية القائمة، يرتسم القطب بشكل مستقيم مساوياً بالطول لمرتسم الاستواء. ولكن في نظام الإسقاط المطابق لايمكن تمثيل القطب حيث أن مرتسمه يقع في اللانهاية.



الشكل رقم (٣٠). الإسقاط الخارجي.

أما في نظم الإسقاط شبه الأسطوانية فيمكن أن يكون مرتسم القطب بشكل نقطة كما في أنظمة إسقاط (سانسون)، و(ملفيد) وغيرها. أو أن يكون المرتسم مستقيماً بطول مساوٍ لنصف طول مرتسم الاستواء، مثل أنظمة إسقاط (كافرايسكي)

و(إيكرت). بالنسبة لشكل مرتسم الشبكة فيمكن تحديده بسهولة في نظم الإسقاط السمتية القائمة. أما في المائلة فالأمر يختلط مع نظام الإسقاط الأسطواني المائل. ولكن مع زيادة مساحة المنطقة المصورة تسهل عملية المقارنة.

إن ما ذكر فيما سبق من اعتبارات، هي بهدف تحديد نوع نظام الإسقاط. ويمكن تلخيص أنواع أنظمة الإسقاط بالجدول التالي:

الجدول رقم (١). أنواع أنظمة الإسقاط.

نظام الإسقاط	خطوط الطول	خطوط العرض	زاوية الشبكة i	القطب	الاستواء
المخروطي					
القائم	حزمة مستقيمات	اقواس ودوائر متمركزة	قائمة	نقطة أو قوس	قوس دائرة
السمتي					
القائم	حزمة مستقيمات	دوائر متمركزة	قائمة	نقطة	دائرة
المعترض	منحنيات	منحنيات	غير قائمة	نقطة	منحنٍ
المائل	منحنيات	منحنيات	غير قائمة	نقطة	منحنٍ
الأسطواني					
القائم	مستقيمات متوازية	مستقيمات متوازية	قائمة	مستقيم	مستقيم
المعترض	منحنيات	منحنيات	غير قائمة	نقطة	منحنٍ
المائل	منحنيات	منحنيات	غير قائمة	نقطة	منحنٍ

تابع الجدول رقم (١).

نظام الإسقاط	خطوط الطول	خطوط العرض	زاوية الشبكة i	القطب	الاستواء
شبه الأسطواني	منحنيات	مستقيمات متوازية	غير قائمة	نقطة أو مستقيم	مستقيم
شبه المخروطي	منحنيات	أقواس دوائر غير متمركزة	غير قائمة	نقطة أو قوس	قوس دائرة
شبه السمتي					
القائم	منحنيات	أقواس دوائر	غير قائمة	نقطة	قوس دائرة
المعترض	منحنيات	منحنيات	غير قائمة	نقطة	منحنٍ
المائل	منحنيات	منحنيات	غير قائمة	نقطة	منحنٍ
النصف مخروطي	منحنيات	أقواس دوائر غير متمركزة	غير قائمة	نقطة أو قوس	قوس دائرة
الدائري	أقواس دوائر غير متمركزة	أقواس دوائر غير متمركزة	غير قائمة	نقطة	مستقيم

نأتي الآن إلى تحديد طبيعة التشوهات في نظام الإسقاط. ففي نظم الإسقاط المطابقة يتساوى المقياس المحلي حسب خطوط الطول m مع المقياس المحلي حسب خطوط العرض n. إن قيمة m تتزايد بالابتعاد عن خط العرض الأوسط (ذي المقياس

الحدي) بالنسبة لأنظمة الإسقاط الأسطوانية والمخروطية، وعن النقطة المركزية بالنسبة نظم الإسقاط السمتية. طبعاً بالإضافة لما ذكر يجب أن يتحقق تعامد الشبكة. وفي نظم الإسقاط المتساوية المسافات، يكون المقياس m ثابتاً حسب مرتسم خط الطول، أو حسب خط العرض n. ومن ثم فإن التباعد بين خطوط الطول (أو خطوط العرض) في المرتسم يكون ثابتاً. في نظم الإسقاط المكافئة قيمة المقياس m تتناسب عكساً مع n. وبما أن n تتزايد بالابتعاد عن خط العرض ذي المقياس الحدي، فإن m تتناقص. ومن ثم فإن التباعد بين مرتسمات خطوط العرض يتناقص.

إن ما ذكرناه في هذا الفصل، يعتبر من المفاهيم العامة التي تنطبق على أنظمة إسقاط كثيرة. إلا أنه بالنسبة لأنظمة الإسقاط الأخرى يجب البحث عن مؤشرات خاصة لأجل تحديدها. وهذا يعتمد على الخبرة ودقة القياس.

في الفصول التالية سنقوم بشرح واف لمفاهيم أنظمة الإسقاط التي تم تعريفها في هذا الفصل.