

نظم الإسقاط

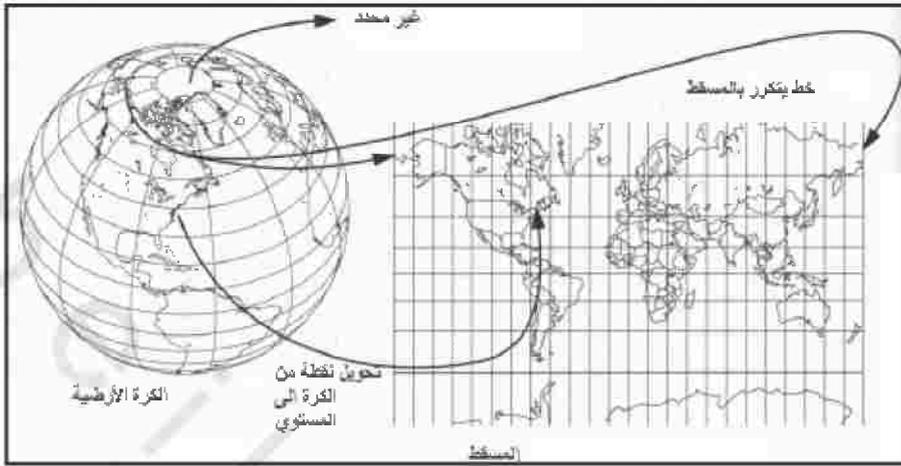
(١، ٤) مقلمة

إن تمثيل سطح الأرض على مستو يعتبر من أهم مسائل علم الجيوديزيا. وعملية الإسقاط لا يمكن أن تتم بدون تشوهات في المساحات والزوايا والأطوال. إلا أنه يمكن فرض بعض الشروط على التوابع التحليلية للإسقاط، وذلك من أجل الحصول على إسقاطات مطابقة أو متساوية المسافات حسب اتجاه ما [٩]، (الشكل ٣٢).

بشكل عام يمكن تعريف الإسقاط بأنه إيجاد علاقة وحيدة التعيين، بين نقاط سطح الإهليلج (الكرة)، المنسوبة إلى نقطة ما من سطحه بالتعيين (λ, φ) ، ونقاط المستوي، المنسوبة إلى نقطة ما منه بالتعيين (x, y) ، الذي يمثل المسقط. ويمكن التعبير عن هذه العلاقة بالشكل التالي:

$$x = f_1(\varphi, \lambda) \quad , \quad y = f_2(\varphi, \lambda)$$

من العلاقة السابقة، واضح بأن عدد الإسقاطات لا نهائي. [١٨]
نعرف الإسقاط بأنه تحويل الشكل الكروي أو الإهليلجي للأرض إلى خريطة مستوية (سطح مستو).



الشكل (٣٢). مبدأ الإسقاط و المشاكل التي تواجهه.

إن عملية الإسقاط يمكن أن تتم مباشرة على مستو أو يمكن أن تكون على سطح غير مستو لكن نستطيع نشره إلى الشكل المستوي بعملية قطع بسيطة، مثل الأسطوانة أو المخروط.

يوجد العديد من العناصر التي يمكن إجراء قياسات عليها بالخرائط بشكل مستقل وهي: المساحة، الاتجاه، المسافات، إلا أن الإسقاط يمكن أن يحافظ على خاصية أو على عدة خواص من الخواص السابقة، ولا يمكن جمع تلك الخواص السابقة بنفس الوقت، إن أي إسقاط مهما كان نوعه يمكن أن يُقَي أو يوفق بشكل وسطي أو تقريبي بين الخصائص الرئيسية فقط. [٨]

(٤, ٢) التمثيل المكافئ

وهو التمثيل الذي يتم فيه المحافظة على نسبة ثابتة بين مساحات أجزاء مختلفة من المرسم وأصلها على السطح الكروي. إلا أن ثبات هذه النسبة يؤدي إلى حدوث تشوهات ملحوظة في الأطوال والزوايا ومن ثم في الأشكال، (الشكل ٣٣).

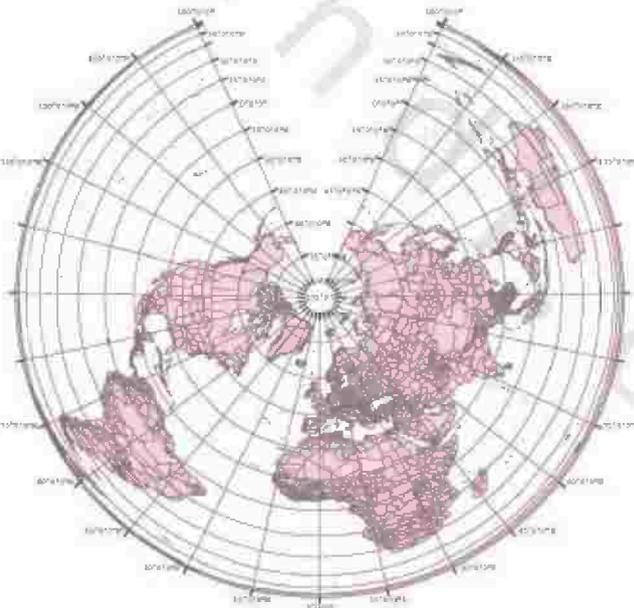
نظم الإسقاط



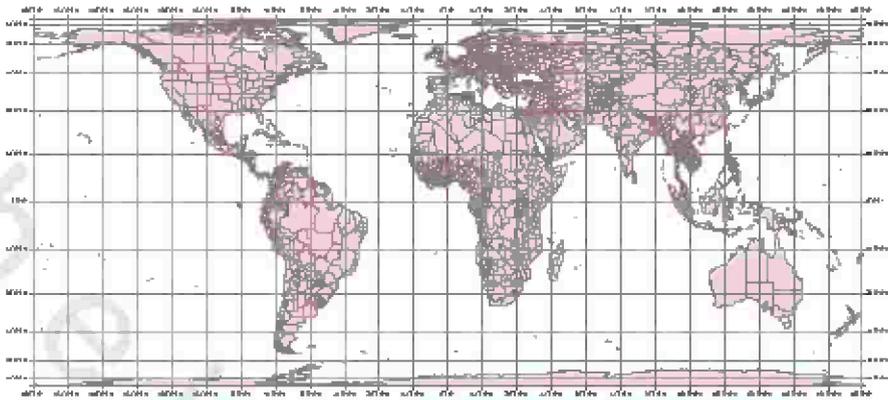
الشكل (٣٣). ثلاثة مستطيلات متساوية المساحة بأبعاد مختلفة.

الجدير بالذكر أنه لا يوجد إسقاط يحافظ على نسبة ثابتة في الأطوال بشكل عام كما أنه لا يوجد إسقاط يحافظ على المساحات والزوايا بأن واحد، تظهر أهمية هذا الإسقاط في الخرائط الخاصة ذات المواضيع المرتبطة بالمساحات مثل الخرائط السكانية والمزروعات والغابات وغير ذلك.

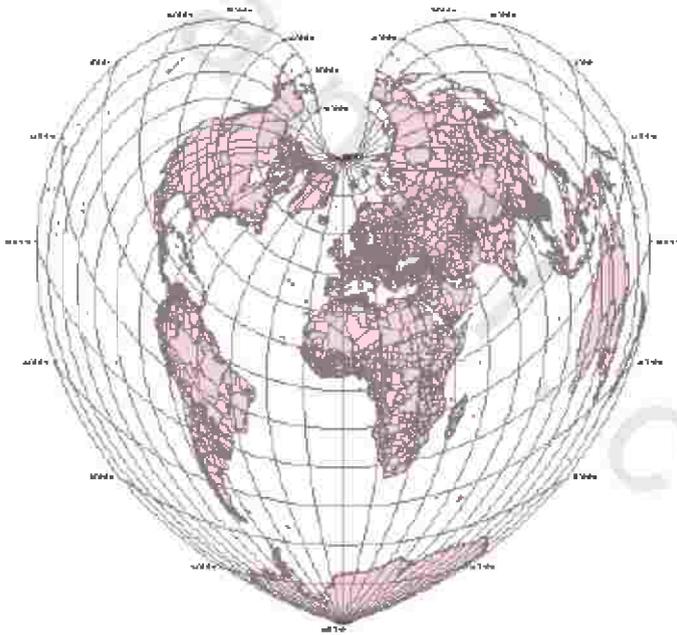
وسوف نورد فيما يلي أشكالاً نبين بعض أنواع الإسقاطات المكافئة دون الخوض والتطرق لخواصها، انظر الأشكال (٣٤-٣٧).



الشكل (٣٤). إسقاط ميركالي.



الشكل (٣٥). إسقاط Behrmann المكافئ.



الشكل (٣٦). إسقاط Bonne.



الشكل (٣٧). الإسقاط الكوني.

(٤,٣) التمثيل المطابق

يحافظ التمثيل المطابق (Conformal) على الزوايا والأشكال في المناطق الصغيرة (المخططات ذات المقياس الكبير)، ويمكن استخدام هذا الإسقاط عندما تكون دقة قياس الزوايا مهمة، مثل المخططات الملاحية أو خرائط الأرصاد الجوية.

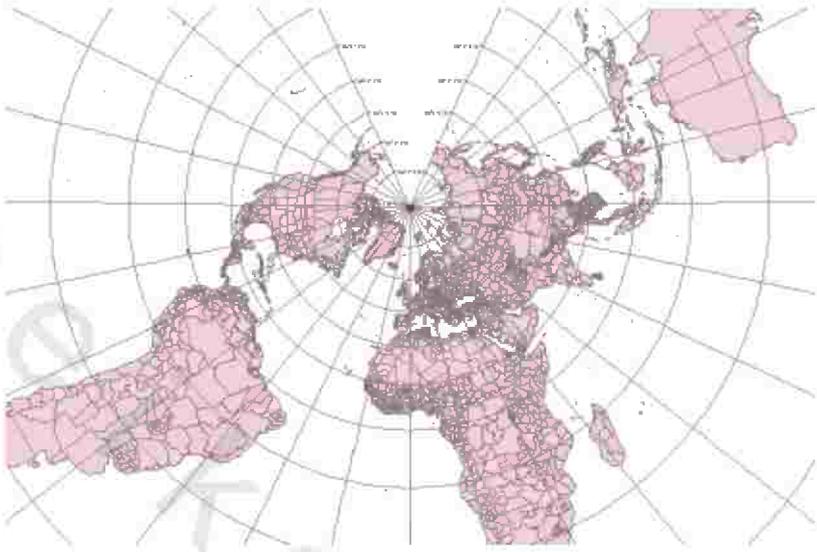
الأمثلة ميركاتور Mercator، إسقاط لاميير المخروطي المطابق Lambert

. Conformal Conic

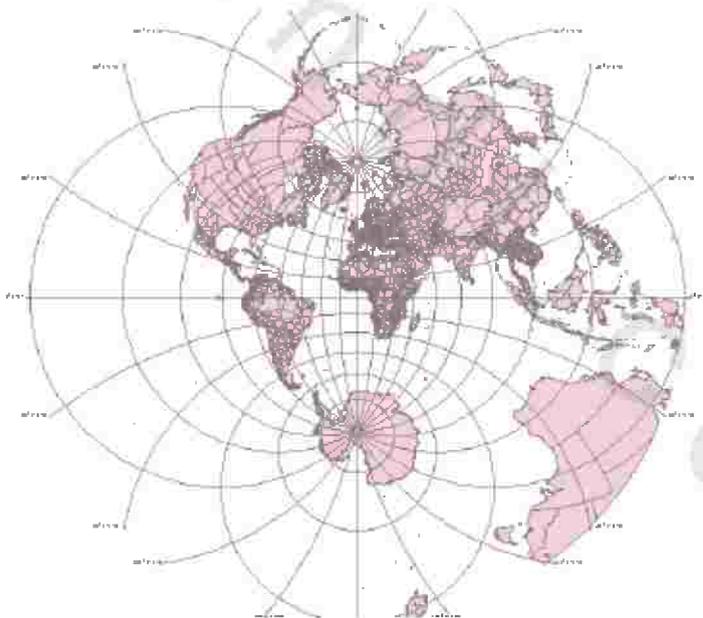
إن تمثيل ميركاتور يحافظ على الزوايا ولكن تشوه فيه الأطوال والمساحات

بشكل ملحوظ.

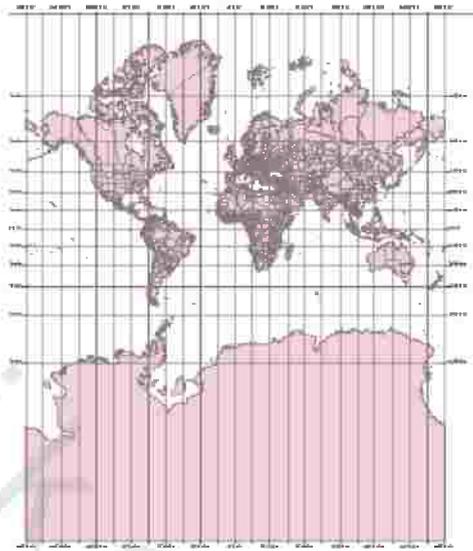
في خرائط المقياس الكبير ومن أجل منطقة صغيرة لا أهمية للتشوهات وعليه فاختيار الإسقاط المطابق أو المكافئ لا يؤثر بشكل أساسي على نوعية الخارطة، (انظر الأشكال ٣٨-٤١).



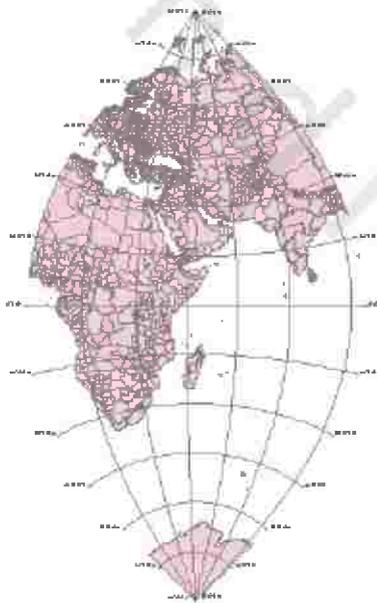
الشكل (٣٨). الإسقاط المخروطي المطاين (لاموت).



الشكل (٣٩). الإسقاط المستويوغرافي.



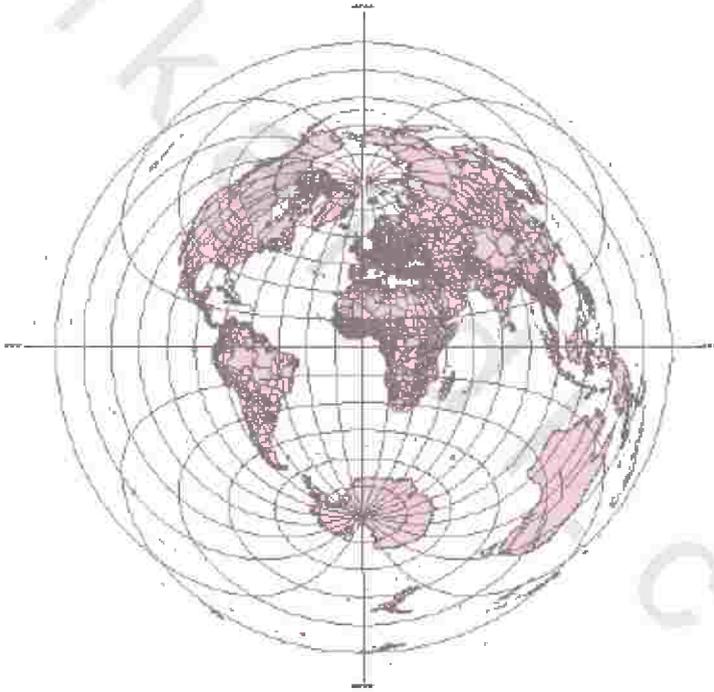
الشكل (٤٠). الإسقاط الأسطوانى المطابق (ميركاتور).



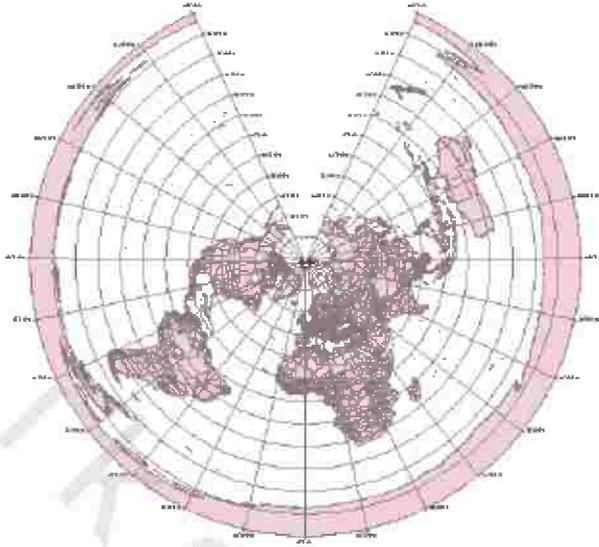
الشكل (٤١). إسقاط ميركاتور المصحح.

(٤, ٤) التمثيل المساوي المسافات

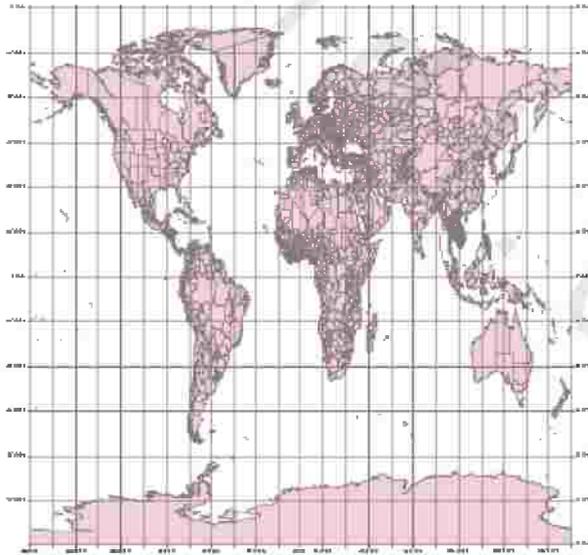
هذا التمثيل يحافظ على طول دائرة عظمى (أو عدة دوائر متلاقية في نقطة واحدة). يستخدم هذا الإسقاط لخرائط الملاحة الجوية أو خرائط الزلازل. ونورد فيما يلي بعض الإسقاطات التي تحافظ على المسافات، (انظر الأشكال ٤٢-٤٤).



الشكل (٤٢). الإسقاط السمتي مساوي المسافات.



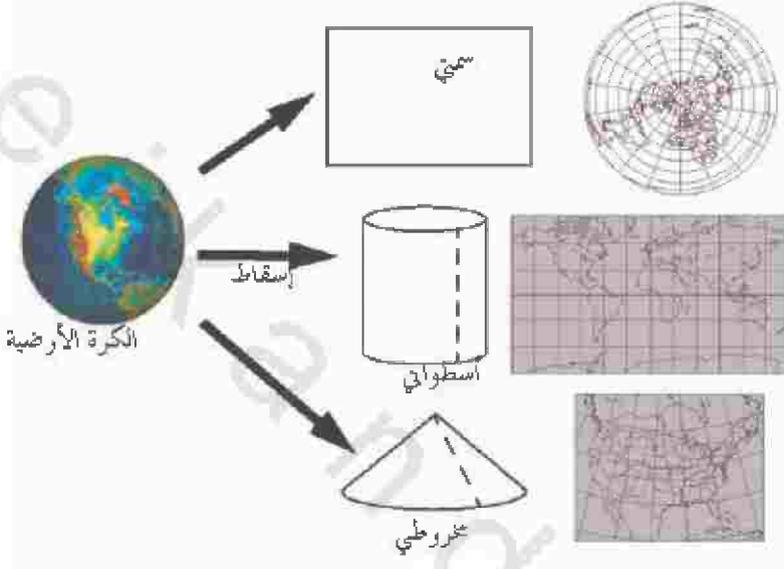
الشكل (٤٣). الإسقاط المخروطي للمساوي المسافات.



الشكل (٤٤). الإسقاط الأسطواني مساوي المسافات.

٤,٥) أنواع الإسقاطات

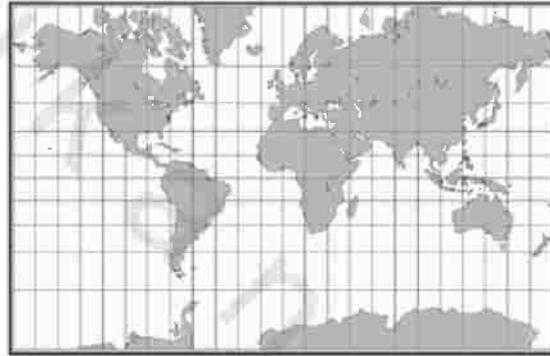
يمكن تقسيم الإسقاطات إلى ثلاثة أنواع رئيسة حسب شكل الجسم الذي يتم إسقاط الكرة عليه، وهي الإسقاط الأسطواني والمخروطي والسمتي، (الشكل ٤٥).



الشكل (٤٥). أنواع الإسقاطات.

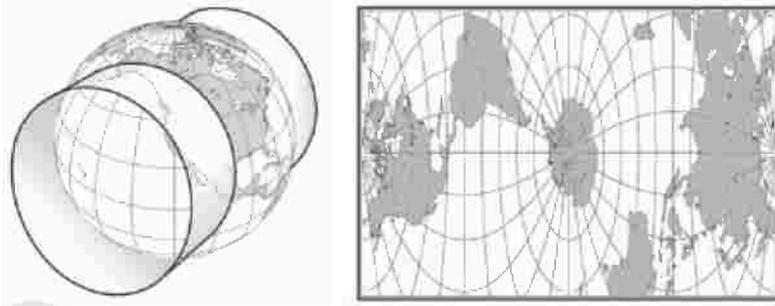
٤,٥,١) الإسقاط الأسطواني

في نظم الإسقاط الأسطوانية القائمة تتمثل خطوط الطول وخطوط العرض بمجموعتي مستقيمتين متعامدة (الشكل ٤٦). التباعد بين مساقط خطوط الطول يتناسب مع التباعد بينها على سطح الإهليلج. أما التباعد بين مساقط خطوط العرض فيتحدد اعتماداً على نوع نظام الإسقاط من حيث التشوهات (مطابق، مكافئ، متساوي المسافات)، أو على طريقة الإسقاط على سطح الأسطوانة.

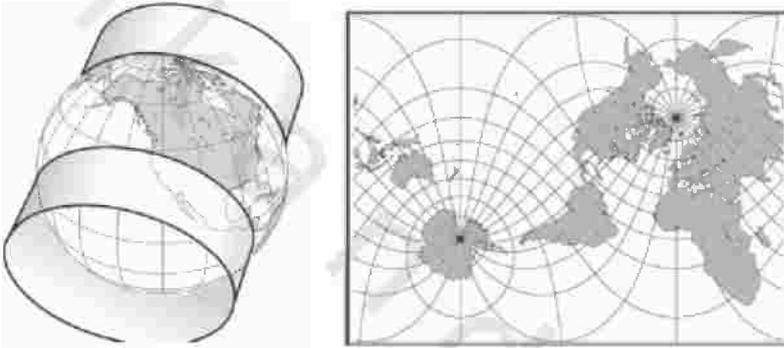


الشكل (٤٦). إسقاط أسطواني قائم.

إن نظام الإسقاط الأسطواني يمكن اعتباره حالة خاصة من نظام الإسقاط المخروطي، وذلك عندما يقع رأس المخروط في اللانهاية على امتداد المحور كما يمكن أن يكون الإسقاط الأسطواني معترضاً أو مائلاً (الشكلان ٤٧، ٤٨).
 إن إسقاط Mercator هو أحد أكثر الإسقاطات الأسطوانية شيوعاً، وخط الاستواء عادة هو الخط المماس للأسطوانة. خطوط الطول تسقط بشكل هندسي على السطح الأسطواني، والمتوازيات تسقط رياضياً. وهو إسقاط مطابق يظهر الاتجاهات الحقيقية على طول الخطوط المستقيمة.

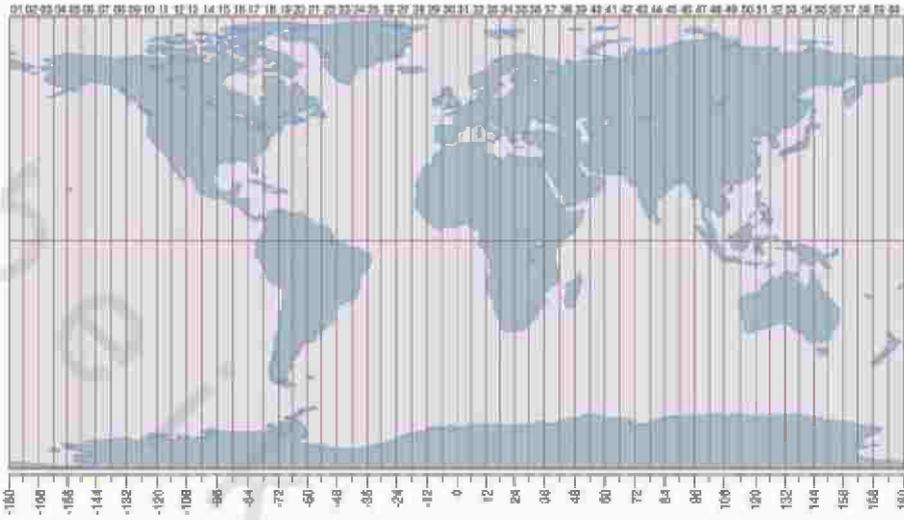


الشكل (٤٧). إسقاط أسطواني معروض.



الشكل (٤٨). إسقاط أسطواني مائل.

لقي إسقاط ميركاتور استخداماً واسعاً في إصدار خرائط الملاحة البحرية (الشكل ٤٩)؛ لأنه يتميز بخاصية مهمة تسهل عملية اتصال السفن بين نقطتين مفروضتين أي حسب اتجاه محدد. فعلى سطح البحار يمكن الانتقال بين نقطتين بالمحافظة على سمت معين بأجهزة التوجيه، أي أن خط الاتصال يقطع خطوط الطول بزوايا ثابتة. في نظام إسقاط ميركاتور وباعتباره إسقاط مطابق، فإن الخط الذي يقطع مساقط خطوط الطول بنفس الزاوية يعتبر مستقيماً؛ لأن مساقط خطوط الطول متوازية. وعليه يكفي قياس سمت أي نقطة على الخريطة، ومن ثم التحرك وفق هذا السمت مع المحافظة عليه للوصول للنقطة المقصودة.



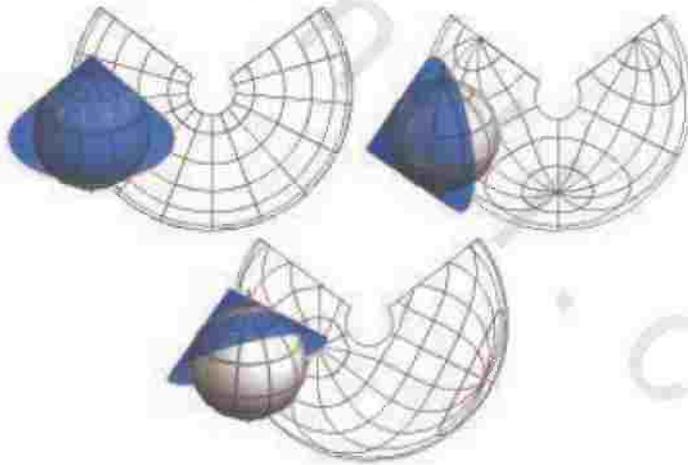
الشكل (٤٩). إسقاط ميركاتور المعرض.

(٤, ٥, ٦) الإسقاط المخروطي

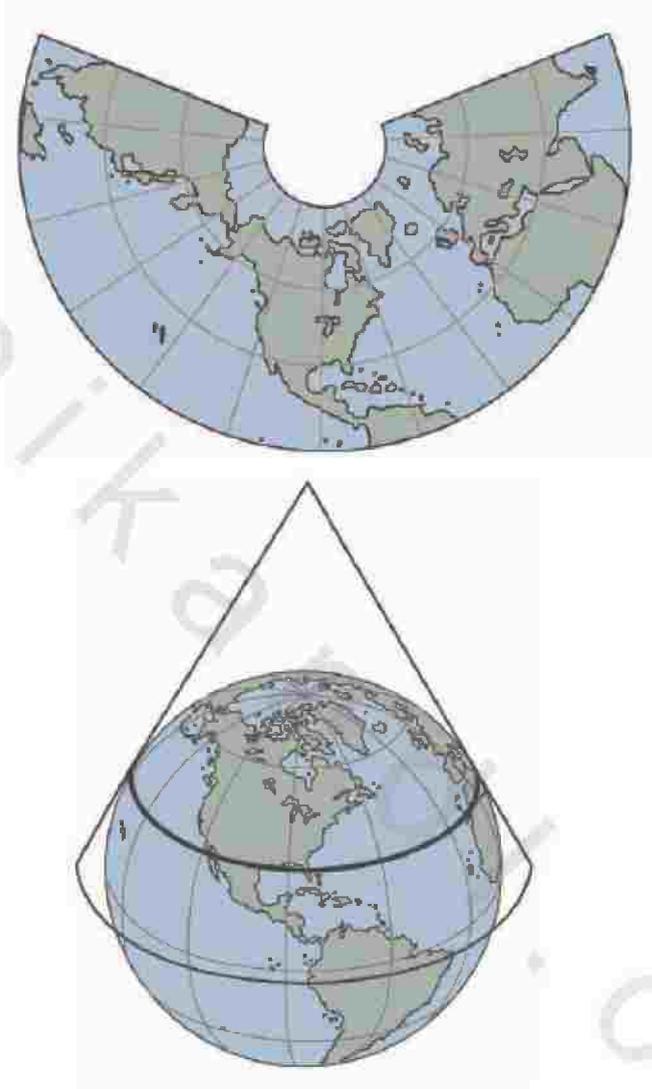
يمكن فهم نظم الإسقاط المخروطي هندسياً كما يلي : إسقاط شبكة خطوط الطول والعرض لسطح الإهليلج على سطح مخروط مغلف. ومن ثم ينشر المخروط حسب أحد مولداته على المستوي. إن هذا المخروط يمكن أن يكون ماساً أو قاطعاً لسطح الإهليلج.

نظم الإسقاط المخروطية يمكن أن تصنف أيضاً حسب ميل المخروط (الشكل ٥٠). فنظم الإسقاط القائمة هي التي ينطبق فيها محور المخروط مع محور دوران الإهليلج. نظم الإسقاط المعترضة هي التي يقع محور المخروط فيها بمستوي الاستواء. أما المائلة فهي التي يكون فيها محور المخروط منطبقاً مع الناظم على الإهليلج ولا ينطبق مع أحد محاوره .

في نظم الإسقاط المخروطية القائمة (الشكل ٥١)، مرتسم خطوط الطول عبارة عن مستقيمات متلاقية في نقطة واحدة، تمثل رأس المخروط، ويتباعد زاوي فيما بينها، يتناسب مع التباعد الزاوي لتظيرها على سطح الإهليلج. أما مرتسم خطوط العرض، فهو عبارة عن أقواس دوائر متمركزة في نفس نقطة تلاقي مساقط خطوط الطول. بالنسبة لمجموعة المحاور الإحداثية المتعامدة oxy تعتمد بالشكل التالي: محور oy غالباً ينطبق مع مرتسم خط الطول الأوسط للمنطقة. أما محور ox فهو معامد له في نقطة مرور مرتسم خط العرض الأوسط. إن وضعية هذه المحاور هي مسألة اعتباطية ولا علاقة لها بتوزيع التشوهات. فيمكن اعتبار مبدأ الإحداثيات في نقطة، بحيث نحصل على قيم إحداثيات موجبة فقط.



الشكل (٥١). أنواع نظم الإسقاطات المخروطية حسب ميل محور المخروط.



الشكل (٥١). إسقاط مخروطي قائم.

إن نظم الإسقاط المخروطية القائمة ، تناسب المناطق الممتدة حسب خط عرض ما. ولكن في حالة كون المنطقة ممتدة حسب اتجاه يصنع زاوية حادة مع خطوط العرض (أو قائمة) ، ولا ينطبق الخط الأوسط لامتداد المنطقة مع دائرة عظمى. عندئذ

نلجأ لاستخدام نظم الإسقاط المخروطية المائلة (أو المعترضة). على سبيل المثال، نظام الإسقاط المخروطي المائل يناسب مناطق: الجزيرة العربية مع سورية والأردن والعراق، والمغرب، وفيتنام، والبيرو، والمكسيك. أما نظام الإسقاط المخروطي المعترض، فيناسب مناطق: تشيلي، والسودان، ونيوزيلندا.

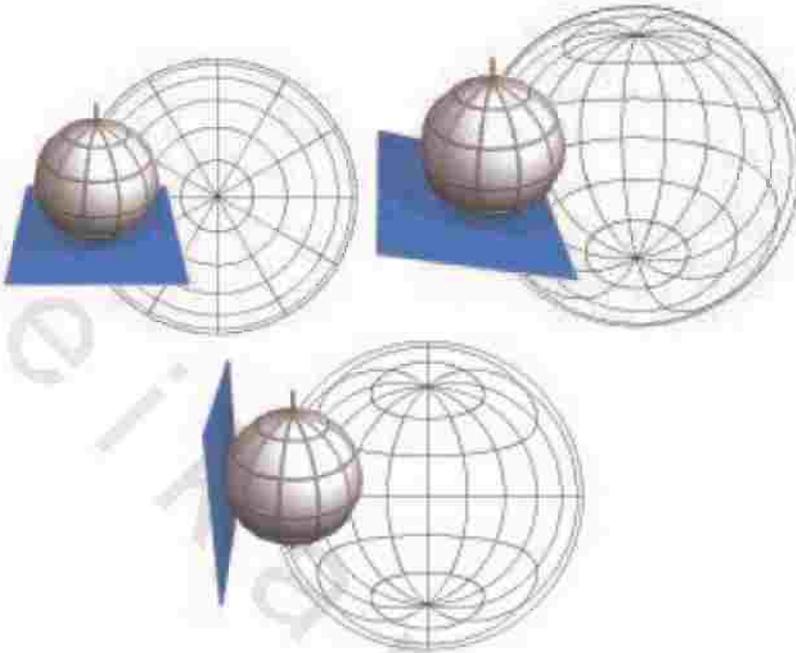
يوصى باستخدام نظم الإسقاط المخروطية، لتصوير المناطق الواقعة على خطوط العرض الوسطى، أي بين منطقة الاستواء والمنطقة القطبية. فنظم الإسقاط المخروطية تعطي توزيع تشوهات أفضل مما هو عليه في نظم الإسقاط الأسطوانية، وذلك من أجل منطقة واقعة في المجال المذكور. والسبب في ذلك، هو إمكانية إمرار موازين أساسيين في المنطقة المصورة. بخلاف نظم الإسقاط الأسطوانية؛ حيث يمكن إمرار موازٍ واحد. وعليه فإن تفاوت قيم التشوهات يكون أقل. طبعاً ما يقال عن خطوط العرض فوق الاستواء، يصبح من أجل الخطوط تحت الاستواء، حيث يستخدم مخروط يقع رأسه على الامتداد الجنوبي لمحور الأرض.

(٤, ٥, ٣) الإسقاط السمطي

نظم الإسقاط السمطي يمكن أن يستخدم بالوضعيات الثلاثة: القائمة والمائلة والمعترضة، الشكل (٥٢).

تعتمد نظم الإسقاط السمطي على مبدأ إسقاط سطح الإهليلج (الكرة) على مستو تماس أو قاطع، بحيث تكون نقطة التماس أو دائرة التقاطع واقعة ضمن المنطقة المصورة.

نظم الإسقاط السمطي عرفت قديماً لتمثيل المنطقة القطبية أو لتمثيل القبة السماوية. واستخدمت فقط بالوضعيات القائمة، أي عندما تكون نقطة التماس بين المستوي والكرة هي نقطة القطب.



الشكل (٥٢). أنواع نظم الإسقاطات السمعية.

في نظم الإسقاط السمعية القائمة تظهر شبكة خطوط الطول والعرض بالشكل التالي: خطوط العرض عبارة عن دوائر متمركزة في نقطة واحدة هي نقطة القطب. أما خطوط الطول فبشكل مستقيمات متلاقية في هذه النقطة. الزوايا بين هذه المستقيمات تساوي نظيرها على سطح الكرة. التباعد بين الدوائر التي تمثل خطوط العرض، يتبع لنوع نظام الإسقاط من حيث التشوهات (مطابقة، مكافئة، ذات الشبكة المتساوية المسافات). إذاً الشبكة في هذه النظم متعامدة.

(٤,٦) طرق الإسقاط المستخدمة في المملكة العربية السعودية

لإنتاج الخرائط

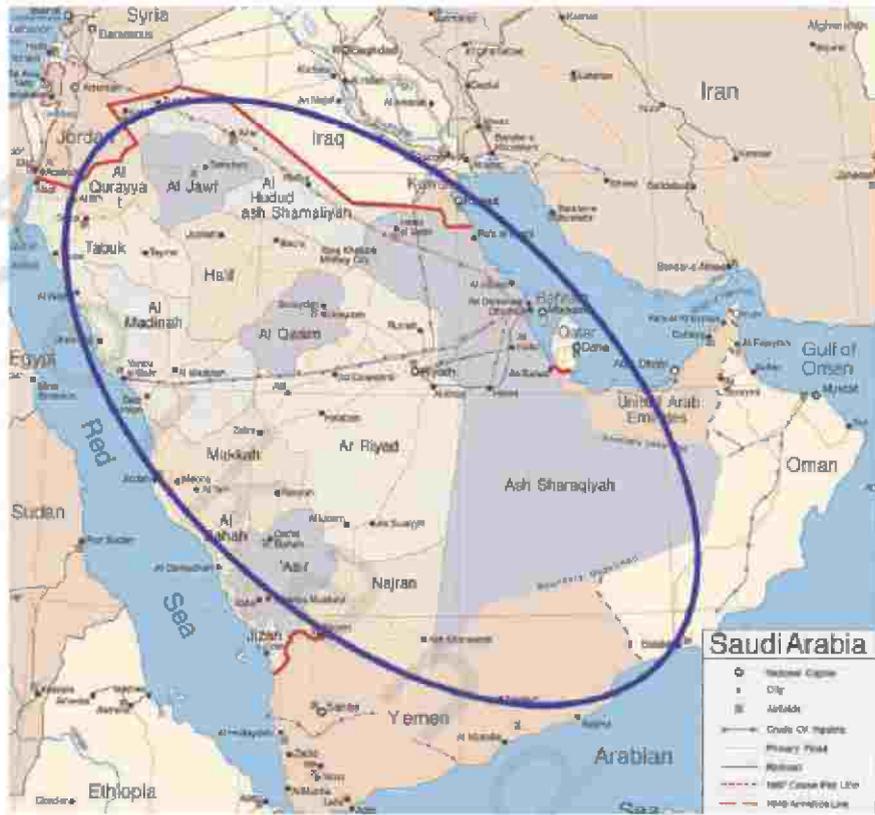
في خرائط المملكة العربية السعودية يستخدم نوعان من أنظمة الإسقاط المطابق وهي: المخروطي (Lambert) و (U.T.M). كما أنه عند اختيار نظام إسقاط ما، يؤخذ بعين الاعتبار الغاية من الخارطة أو موضوع الخارطة، أي طبيعة المسائل التي ستحل باستخدام هذه الخارطة، أو الدقة المطلوبة من الخارطة. بالإضافة إلى شكل وامتداد المنطقة.

إن توخي البساطة في المعادلات التي تعرف الإسقاط، على حساب التشوهات الخطية الكبيرة، أصبح أمراً غير مبرر في عصر انتشار الحواسيب، ومع إمكانية إيجاد الحلول باستخدام طرق الرياضيات العددية. فقديمًا كانت كثير من الدول تستخدم نظم إسقاط تقليدية في خرائطها؛ بسبب اعتمادها على علاقات رياضية سهلة نسبياً، أو على جداول تتناسب مع عصر ما قبل الحاسوب.

(٤,٦,١) الإسقاط المخروطي المطابق (لامبير)

تم اعتماد هذا الإسقاط دون ملاحظة وجود استعانة نسبية في منطقة شبه الجزيرة العربية، اتجاهها جنوب شرق - شمال غرب، (الشكل ٥٣).

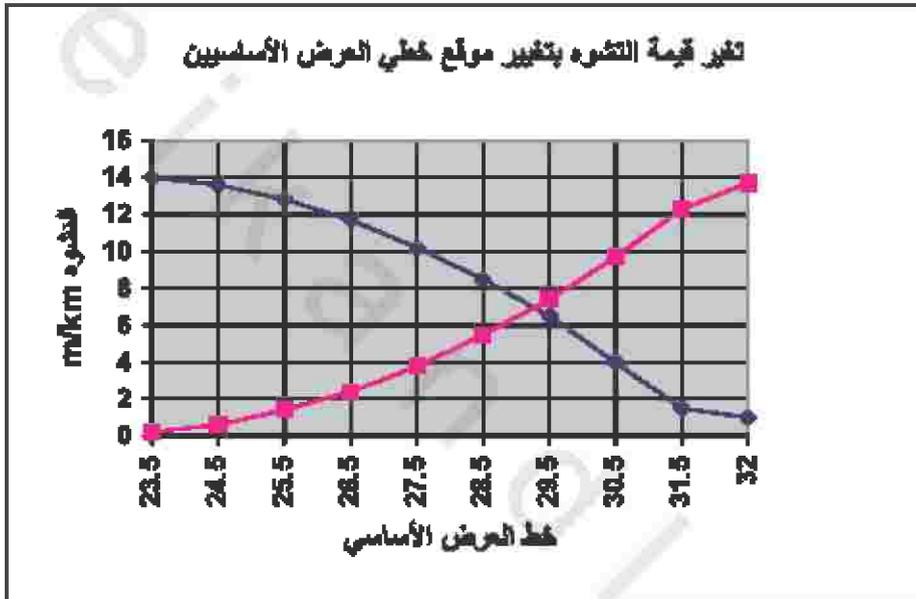
كما اعتبر المخروط قاطعاً حسب موازيين تم اختيارهما بشكل لا يتناسب مع امتداد المنطقة. فهناك خارطة جزيرة العرب ($\varphi_1 = 17^\circ$ و $\varphi_2 = 33^\circ$) وخارطة الخطأ النباتي ($\varphi_1 = 21^\circ$ و $\varphi_2 = 27^\circ$) والخارطة الجيولوجية للوحة الحجاز الغربي ($\varphi_1 = 17^\circ$ و $\varphi_2 = 33^\circ$) [٩].



الشكل (٥٣). الاسناد العام لمنطقة شبه الجزيرة العربية.

إن أفضل وضعية لخطي العرض الأساسيين للملكة يمكن استنتاجها تحليلياً أو تجريبياً بالمنحنيات. تعتمد الطريقة التحليلية على اعتماد خطي عرض أساسيين φ_1 و φ_2 يبعدان بعداً متساوياً عن خط العرض الوسط φ_0 بمقدار درجة واحدة. ثم نحسب قيمة المقياس الخطي m عند خط العرض الأوسط φ_0 وعند خط العرض الشمالي φ_1 (أو الجنوبي φ_2)، بالطبع ستكون التشوهات مختلفة بالإشارة وأيضاً بالقيمة المطلقة. ثم نبدأ بزيادة بعد الخطين الأساسيين درجة فدرجة ولحسب بكل مرة قيم m في النقاط المذكورة. عندها سنلاحظ أن قيم m عند الخط الأوسط ستبدأ بالازدياد بالقيمة المطلقة، وبالتناقص عند خط العرض الشمالي (أو الجنوبي).

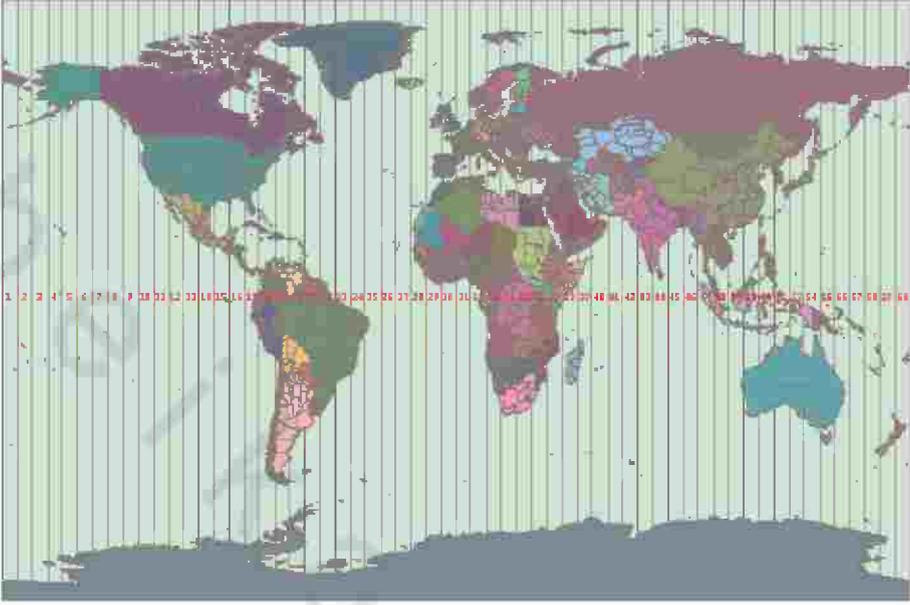
والمحنيات في الشكل التالي توضح هذه التجربة. إن الاختيار الأفضل لموقع خطي العرض الأساسيين φ_1 و φ_2 هو عندما تتسارى التشوهات بالقيمة المطلقة بين شمال ووسط وجنوب (الشكل ٥٤)، أي أن توزيع التشوهات متجانس، ويوافق اختيار $\varphi_1 = 16^\circ$ و $\varphi_2 = 29^\circ$ [١٠].



الشكل (٥٤). تغير التشوه في تغير قيم خطوط العرض الأساسية.

(٤,٧) إشكاليات إسقاط ميركاتور المعرض

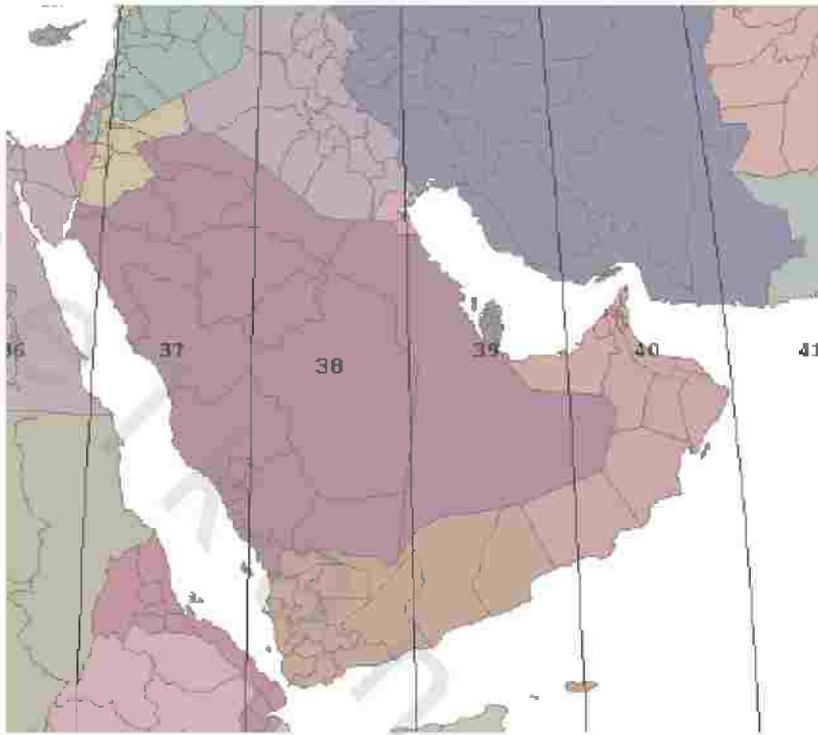
تم اعتماد إسقاط UTM من كونه إسقاطاً عالمياً وضمت له جداول موحدة من أجل كل قطاعات سطح الأرض، حيث تم تقسيم العالم إلى ٦٠ قطاع عرض كل قطاع ٦ درجات. وبالتالي فإن هذا الإسقاط استمد صفة العالمية من قياسية جداوله التي يمكن تطبيقها لكافة القطاعات، (الشكل ٥٥).



الشكل (٥٥). قطاعات إسقاط ميركاتور المعرض العالمي.

إلا أن هذا يعني الحصول على عدة إسقاطات متشابهة ذات تشوهات قليلة بالطبع؛ لأن أبعد نقطة عن خط الطول الأوسط في كل منها على مسافة $\Delta L = 3^\circ$. ولكن بالمقابل لم تغطي المملكة بإسقاط واحد، وهذا يؤدي إلى أن الإسقاطات هذه تصلح للخرائط الطبوغرافية فقط، أي التي تغطي مناطق صغيرة نسبياً، (الشكل ٥٦).

ومن ناحية أخرى هناك مشكلة تمثيل منطقتي واقعه على طرفي قطاعين متجاورين، علماً أن هناك منطقتي تغطيه في هذه الإسقاطات قدرها $15'$ وهي قيمة يشكل عام لا تحمل الإشكال المذكور أعلاه. ولا بد من إجراء حسابات إضافية لنسب كل نقطة تقع خارج القطاع إلى جملة إحداثياته. وبالطبع هنا ستبدأ قيم التشوهات بالتزايد كلما ابتعدت النقطة عن خط الطول الأوسط، وبالتالي يبدأ تمدد القطاع ويضيق مبدأ الإسقاط أصلاً. [٩]



الشكل (٥٦). القطاع ٣٨ حسب إسقاط ميركاتور.

ويمكن حساب العلاقة بين رقم القطاع Z_{max} ورقم خط الطول الوسطي L باستخدام العلاقة:

$$L = Z_{max} * 6 - 183$$

$$From = Z_{min} * 6 - 186 , To = Z_{max} * 6 - 180$$

ويبين الجدول (١) رقم كل قطاع وخط الطول الوسطي المقابل له ومجال القطاع (من - إلى).

الجدول (١). أرقام التقاطعات ووسائطه في إسقاط ميركاتور.

| Zone | central meridian(L) | From | To | Zone | central meridian(L) | From | To |
|------|------------------------|------|------|------|------------------------|------|-----|
| ١ | ١٧٧- | ١٨٠- | ١٧٤- | ٣١ | ٣ | ٠ | ٦ |
| ٢ | ١٧١- | ١٧٤- | ١٦٨- | ٣٢ | ٩ | ٦ | ١٢ |
| ٣ | ١٦٥- | ١٦٨- | ١٦٢- | ٣٣ | ١٥ | ١٢ | ١٨ |
| ٤ | ١٥٩- | ١٦٢- | ١٥٦- | ٣٤ | ٢١ | ١٨ | ٢٤ |
| ٥ | ١٥٣- | ١٥٦- | ١٥٠- | ٣٥ | ٢٧ | ٢٤ | ٣٠ |
| ٦ | ١٤٧- | ١٥٠- | ١٤٤- | ٣٦ | ٣٣ | ٣٠ | ٣٦ |
| ٧ | ١٤١- | ١٤٤- | ١٣٨- | ٣٧ | ٣٩ | ٣٦ | ٤٢ |
| ٨ | ١٣٥- | ١٣٨- | ١٣٢- | ٣٨ | ٤٥ | ٤٢ | ٤٨ |
| ٩ | ١٢٩- | ١٣٢- | ١٢٦- | ٣٩ | ٥١ | ٤٨ | ٥٤ |
| ١٠ | ١٢٣- | ١٢٦- | ١٢٠- | ٤٠ | ٥٧ | ٥٤ | ٦٠ |
| ١١ | ١١٧- | ١٢٠- | ١١٤- | ٤١ | ٦٣ | ٦٠ | ٦٦ |
| ١٢ | ١١١- | ١١٤- | ١٠٨- | ٤٢ | ٦٩ | ٦٦ | ٧٢ |
| ١٣ | ١٠٥- | ١٠٨- | ١٠٢- | ٤٣ | ٧٥ | ٧٢ | ٧٨ |
| ١٤ | ٩٩- | ١٠٢- | ٩٦- | ٤٤ | ٨١ | ٧٨ | ٨٤ |
| ١٥ | ٩٣- | ٩٦- | ٩٠- | ٤٥ | ٨٧ | ٨٤ | ٩٠ |
| ١٦ | ٨٧- | ٩٠- | ٨٤- | ٤٦ | ٩٣ | ٩٠ | ٩٦ |
| ١٧ | ٨١- | ٨٤- | ٧٨- | ٤٧ | ٩٩ | ٩٦ | ١٠٢ |
| ١٨ | ٧٥- | ٧٨- | ٧٢- | ٤٨ | ١٠٥ | ١٠٢ | ١٠٨ |
| ١٩ | ٦٩- | ٧٢- | ٦٦- | ٤٩ | ١١١ | ١٠٨ | ١١٤ |

تابع الجدول (٦).

| Zone | central meridian(L) | From | To | Zone | central meridian(L) | From | To |
|------|------------------------|------|-----|------|------------------------|------|-----|
| ٢٠ | ٦٢- | ٦٦- | ٦٠- | ٥٠ | ١١٧ | ١١٤ | ١٢٠ |
| ١٢ | ٥٧- | ٦٠- | ٥٤- | ٥١ | ١٢٣ | ١٢٠ | ١٢٦ |
| ٢٢ | ٥١- | ٥٤- | ٤٨- | ٥٢ | ١٢٩ | ١٢٦ | ١٣٢ |
| ٢٣ | ٤٥- | ٤٨- | ٤٢- | ٥٣ | ١٣٥ | ١٣٢ | ١٣٨ |
| ٢٤ | ٣٩- | ٤٢- | ٣٦- | ٥٤ | ١٤١ | ١٣٨ | ١٤٤ |
| ٢٥ | ٣٣- | ٣٦- | ٣٠- | ٥٥ | ١٤٧ | ١٤٤ | ١٥٠ |
| ٢٦ | ٢٧- | ٣٠- | ٢٤- | ٥٦ | ١٥٣ | ١٥٠ | ١٥٦ |
| ٢٧ | ٢١- | ٢٤- | ١٨- | ٥٧ | ١٥٩ | ١٥٦ | ١٦٢ |
| ٢٨ | ١٥- | ١٨- | ١٢- | ٥٨ | ١٦٥ | ١٦٢ | ١٦٨ |
| ٢٩ | ٩- | ١٢- | ٦- | ٥٩ | ١٧١ | ١٦٨ | ١٧٤ |
| ٣٠ | ٣- | ٦- | ٠ | ٦٠ | ١٧٧ | ١٧٤ | ١٨٠ |