الفصل الرابع

نظم الإسقاط

(٤,١) مقدمة

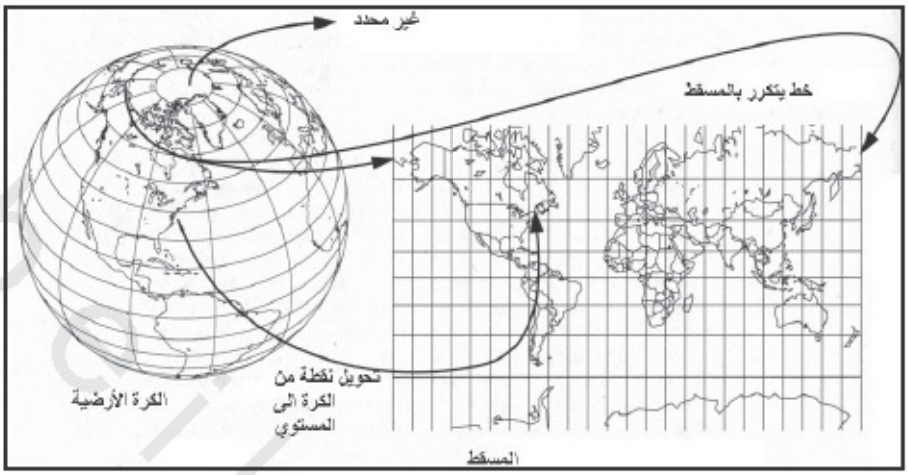
إن تمثيل سطح الأرض على مستو يعتبر من أهم مسائل علم الجيوديزيا. وعملية الإسقاط لا يمكن أن تتم بدون تشوهات في المساحات والزوايا والأطوال. إلا أنه يمكن فرض بعض الشروط على التوابع التحليلية للإسقاط، وذلك من أجل الحصول على إسقاطات مطابقة أو متساوية المسافات حسب الجاه ما [٩]، (الشكل٣٢).

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 (y،x)، الذي يمثل المسقط. ويمكن التعبير عن هذه العلاقة بالشكل التالي:

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

من العلاقة السابقة، واضح بأن عدد الإسقاطات لا نهائي. [١٨]

تعرف الإسقاط بأنه تحويل الشكل الكروي أو الاهليلجي 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 بالخريطة بشكل مستقل وهي: المساحة، الاتجاه، المسافات، إلا أن الإسقاط يمكن أن يحافظ على خاصة أو على عدة خواص من الخواص السابقة، ولا يمكن جمع تلك الخواص السابقة بنفس الوقت، إن أي إسقاط مهما كان نوعه يمكن أن يُبقي 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 المرتسم وأصلها على السطح الكروي. إلا أن ثبات هذه النسبة يؤدي إلى حدوث تشوهات ملحوظة في الأطوال والزوايا ومن ثمّ في الأشكال، (الشكل٣٣).

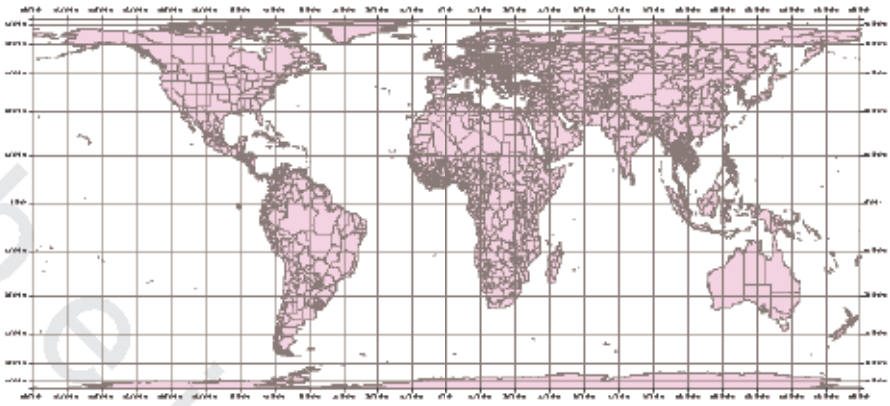
50 × 162 90×90 150×54

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

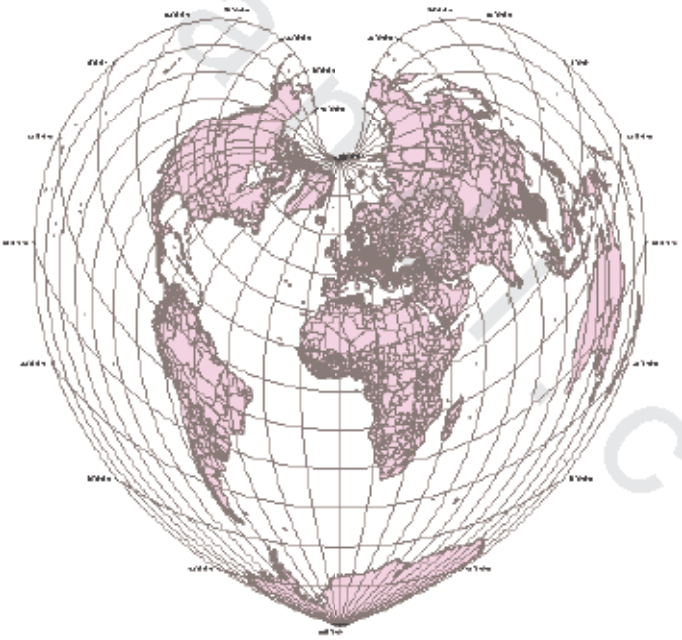
الجدير بالذكر أنه لا يوجد إسقاط يحافظ على نسبة ثابتة في الأطوال بشكل عام كما أنه لا يوجد إسقاط يحافظ على المساحات والزوايا بآن واحد، تظهر أهمية هذا الإسقاط في الخرائط الخاصة ذات المواضيع المرتبطة بالمساحات مثل الخرائط السكانية والمزروعات والغابات وغير ذلك.

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

الشكل (٣٤). إسقاط البر المكافئ.



الشكل (٣٥). إسقاط Behrmann المكافئ.



الشكل (٣٦). إسقاط Bonne.

obeikan.com

الشكل (٣٧). الإسقاط الجيبي.

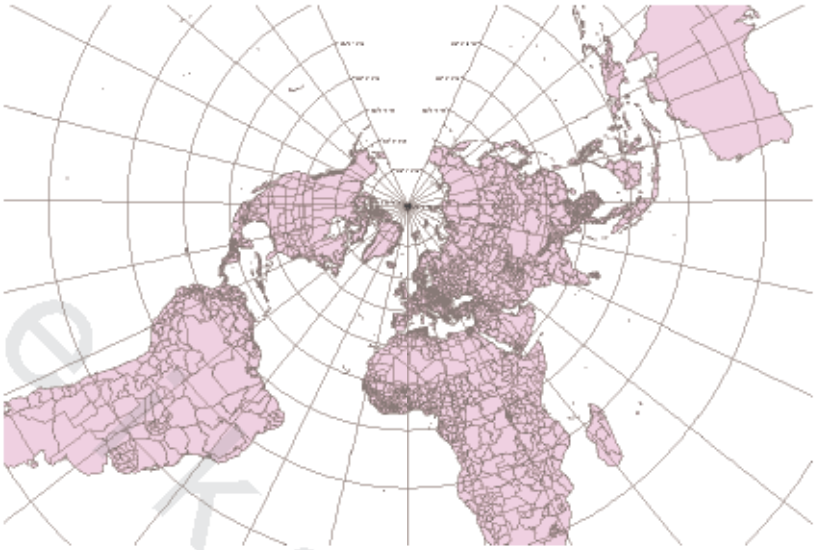
(٤,٣)التمثيل المطابق

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

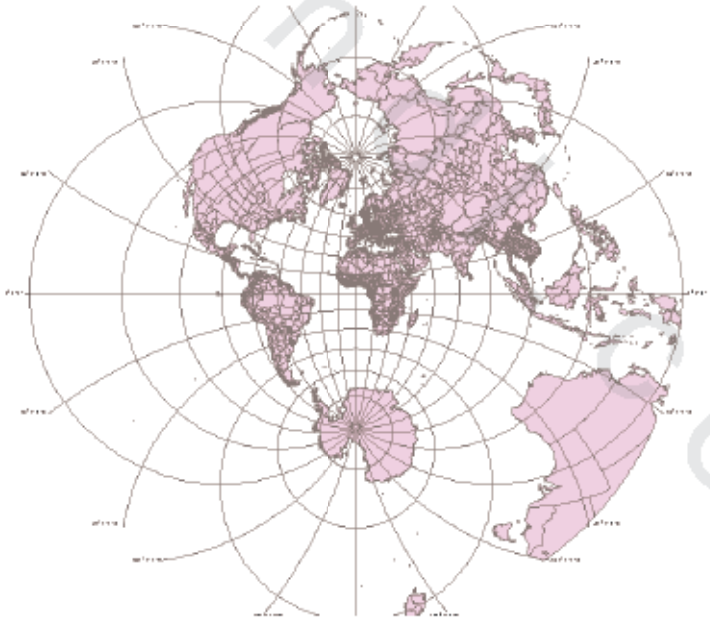
الأمثلة ميركاتور Mercator، إسقاط لامبير المخروطي المطابق Lambert Conformal Conic.

إن تمثيل ميركاتور يحافظ على الزوايا ولكن تتشوه 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).

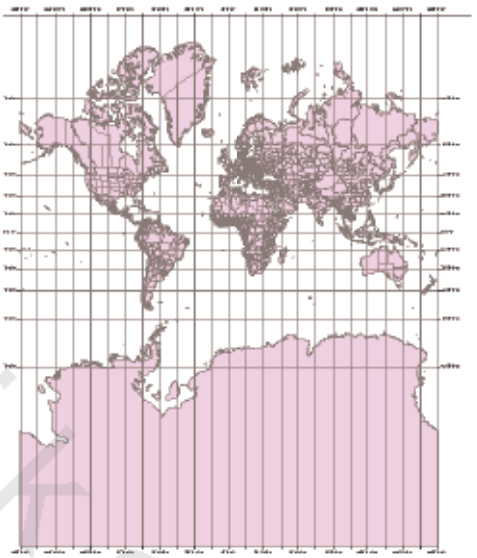


الشكل (٣٨). الإسقاط المحروطي المطابق (لامبرت).

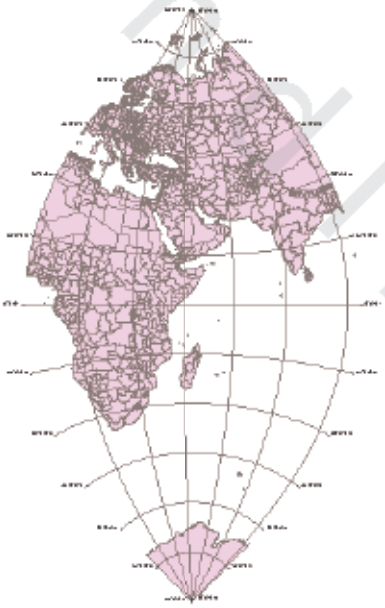


الشكل (٣٩). الإسقاط الستريوغرافي.

obeikandl.com



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

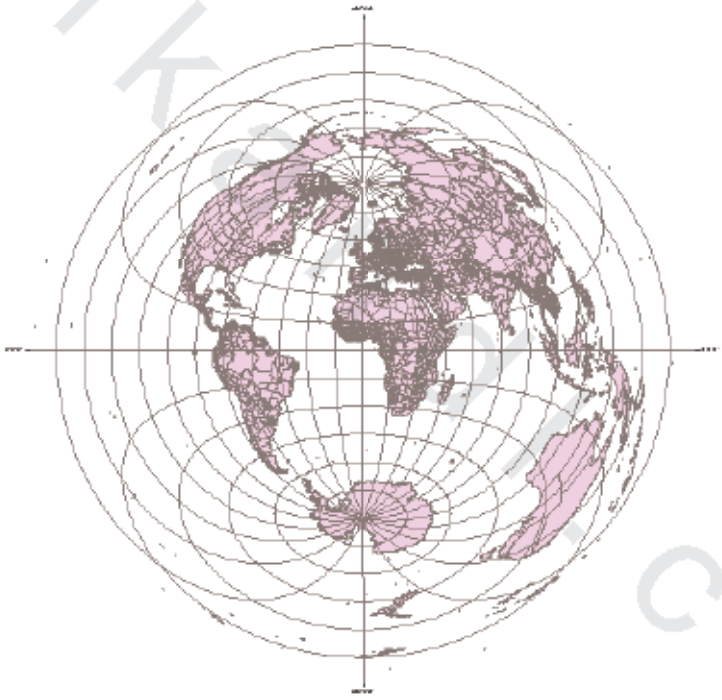


الشكل (٤١). إسقاط ميركاتور المعترض.

obeikandl.com

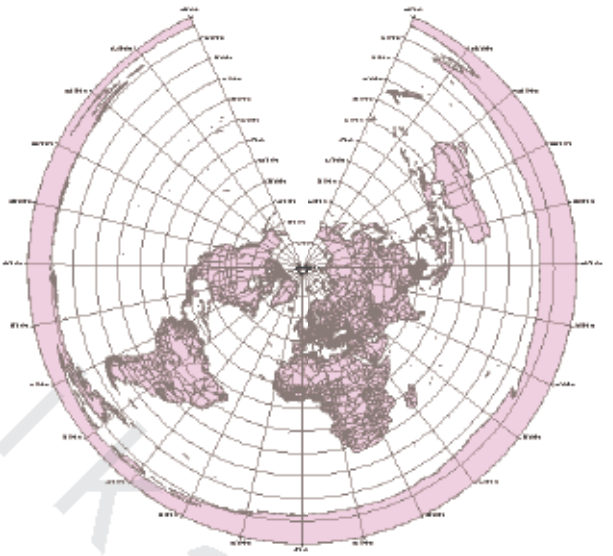
(٤,٤) التمثيل المتساوي المسافات

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 الاشكال ٤٢-٤٤).

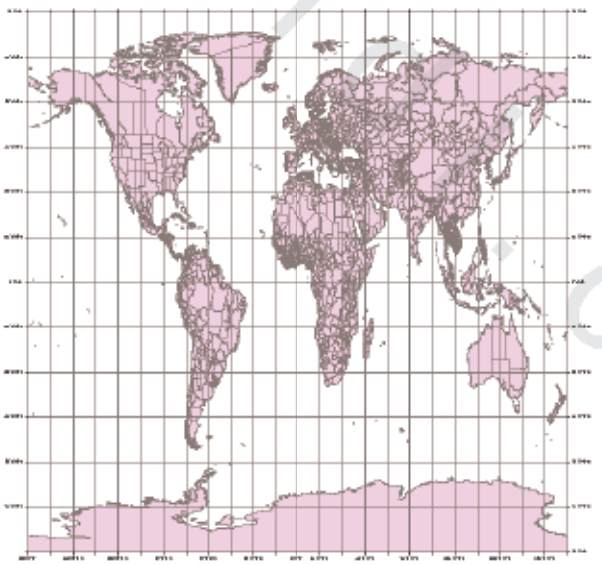


الشكل(٤٢). الإسقاط السمتي متساوي المسافات.

obeikan.com



الشكل (٤٣). الإسقاط المخروطي المتساوي المسافات.

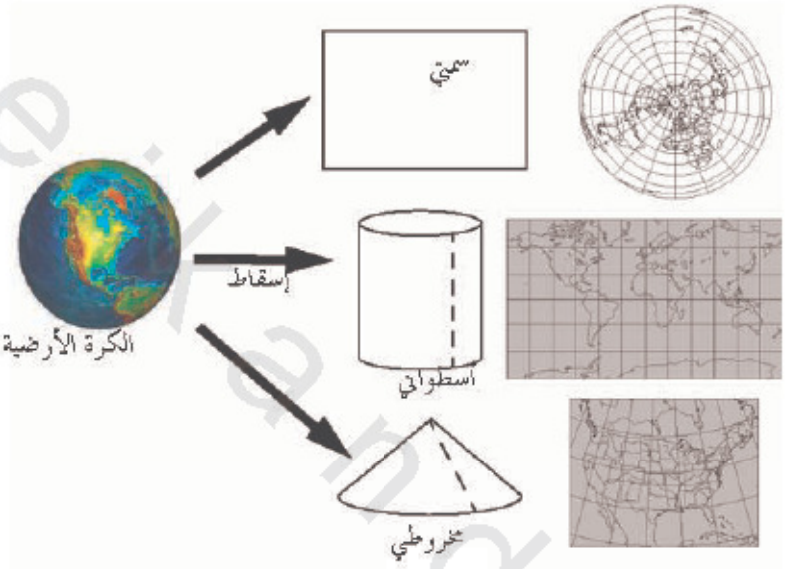


الشكل (٤٤). الإسقاط الأسطواني متساوي المسافات.

obeikan.com

(٤,٥) أنواع الإسقاطات

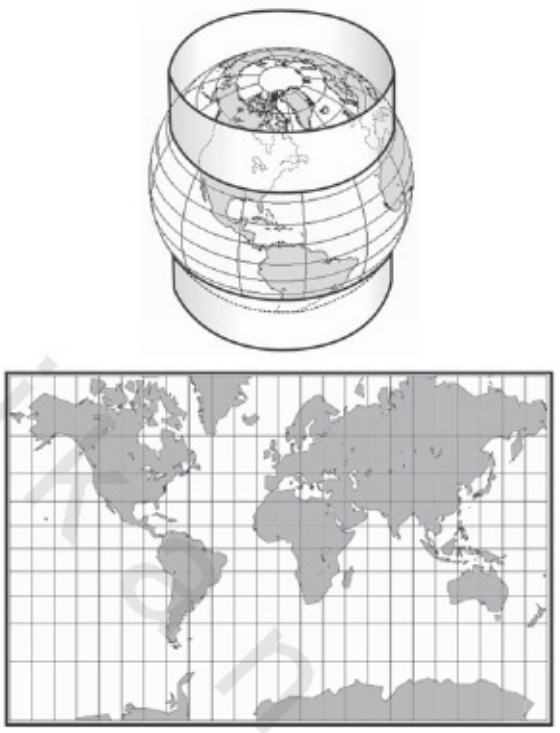
يمكن تقسيم الإسقاطات إلى ثلاثة أنواع رئيسة حسب شكل المجسم الذي يتم إسقاط الكرة عليه، وهي الإسقاط الإسطواني والمخروطي والسمتي، (الشكل٤٥).



الشكل (٤٥). أنواع الإسقاطات.

(٤,٥,١) الإسقاط الأسطواني

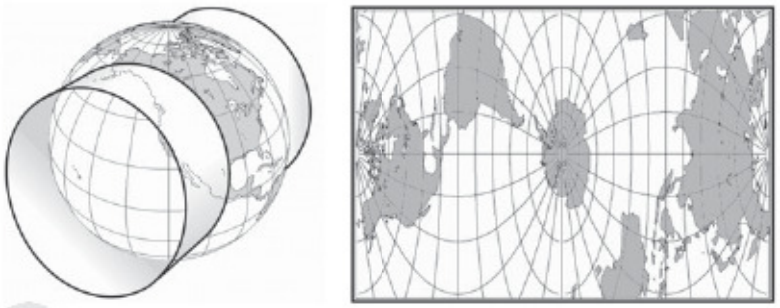
في نظم الإسقاط الأسطوانية القائمة تتمثل خطوط الطول وخطوط العرض بمجموعتي مستقيمات متعامدة (الشكل٤٦). التباعد بين مساقط خطوط الطول يتناسب مع التباعد بينها على سطح الإهليلج. أما التباعد بين مساقط خطوط العرض فيتحدد اعتماداً على نوع نظام الإسقاط من حيث التشوهات (مطابق، مكافئ، متساوي المسافات)، أو على طريقة الإسقاط على سطح الأسطوانة.



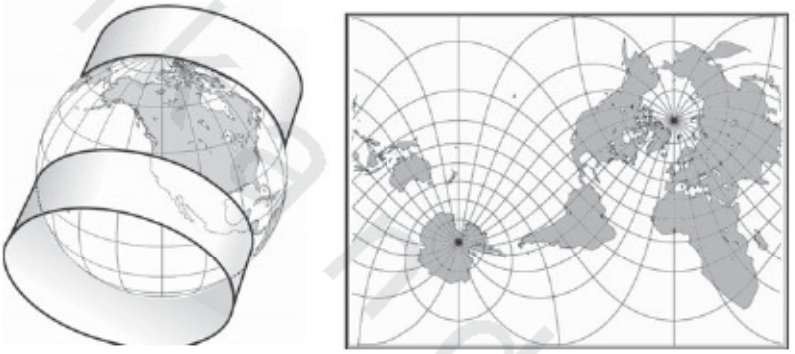
الشكل (٤٦). إسقاط أسطواني قائم.

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 ٤٨،٤٧).

إنّ إسقاط Mercator هو أحد أكثر الإسقاطات الأسطوانية شيوعاً، وخط الاستواء عادة هو الخّط المماس للأسطوانة. خطوط الطول تسقط بشكل هندسي على السطح الأسطواني، والمتوازيات تسقط رياضياً. وهو إسقاط مطابق يظهر الاتجاهات الحقيقية على طول الخطوط المستقيمة.

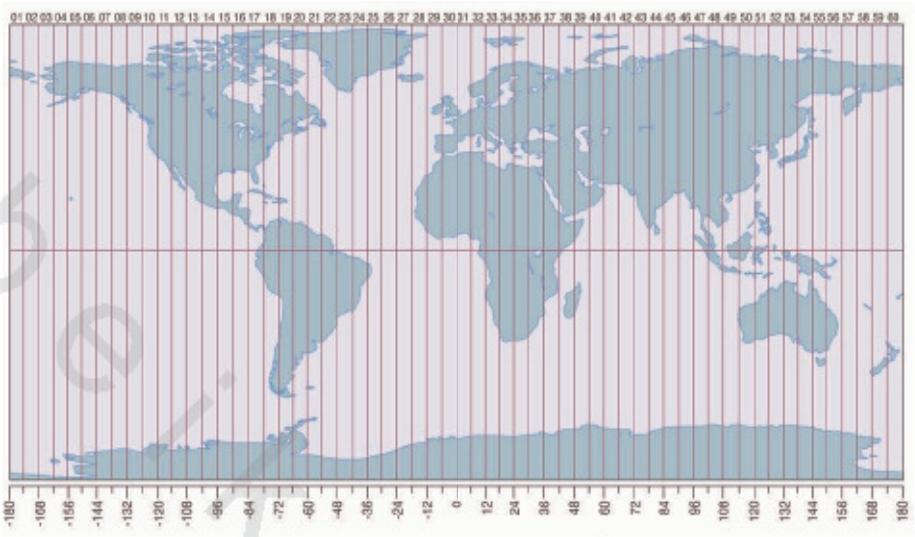


الشكل (٤٧). إسقاط أسطواني معترض.



الشكل (٤٨). إسقاط أسطواني مائل.

لقي إسقاط ميركاتور استخداماً واسعاً في إصدار خرائط الملاحة البحرية (الشكل٤٩)؛ لأنه يتميز بخاصية مهمة تسهل عملية انتقال السفن بين نقطتين مفروضتين أي حسب اتجاه محدد. فعلى سطح البحار يمكن الانتقال بين نقطتين بالمحافظة على سمت معين بأجهزة التوجيه، أي أن خط الانتقال يقطع خطوط الطول بزاوية 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.



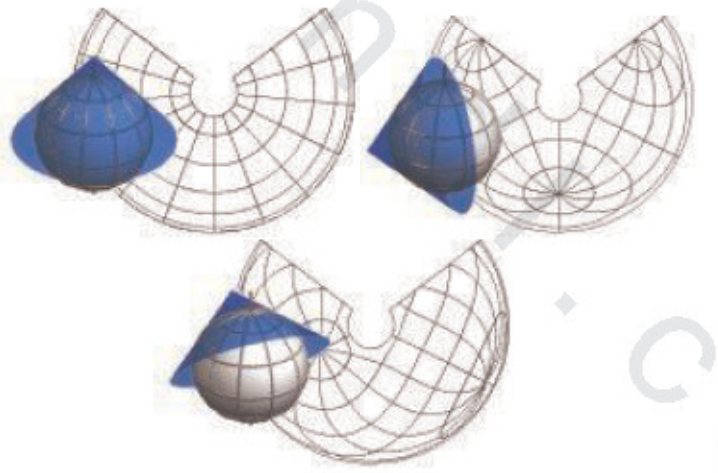
الشكل (٤٩). إسقاط موركاتور المعترض.

(٤,٥,٢) الإسقاط المخروطي

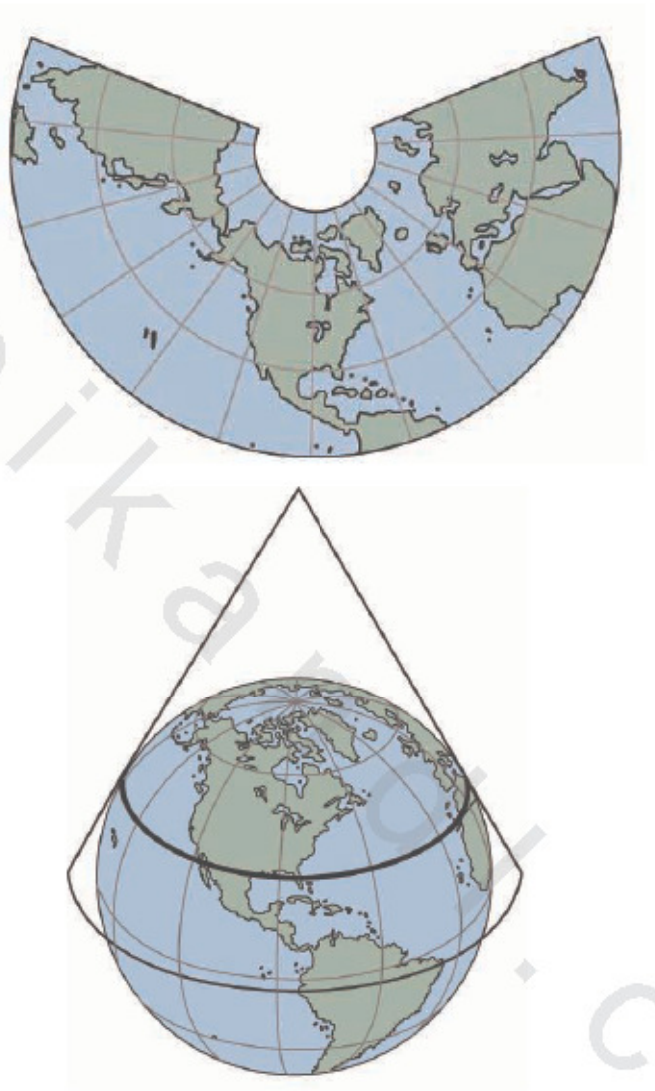
يمكن فهم نظم الإسقاط المخروطي هندسياً كما يلي : إسقاط شبكة خطوط الطول والعرض لسطح الإهليلج على سطح مخروط مغلف. ومن ثم ينشر المخروط حسب أحد مولداته على المستوي. إن هذا المخروط يمكن أن يكون ماساً أو قاطعاً لسطح الإهليلج.

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 (الشكل٥١)، مرتسم خطوط الطول عبارة عن مستقيمات متلاقية في نقطة واحدة، تمثل رأس المخروط، ويتباعد زاوي فيما بينها، يتناسب مع التباعد الزاوي لنظيرها 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 اعتبارية ولا علاقة لها بتوزع التشوهات. فيمكن اعتبار مبدأ الإحداثيات في نقطة، بحيث نحصل على قيم إحداثيات موجبة فقط.



الشكل (٥٠). 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، ونيوزيلندة.

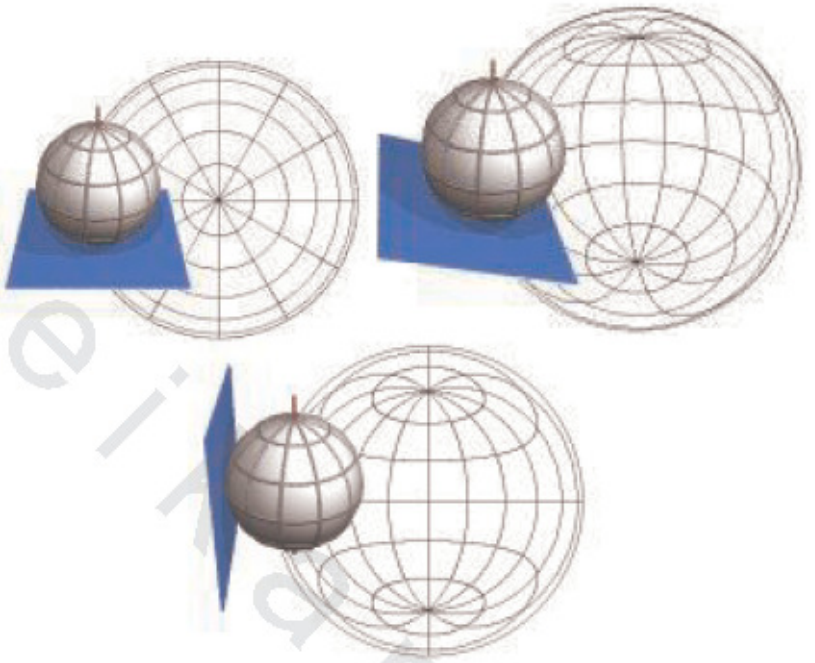
يوصى باستخدام نظم الإسقاط المخروطية، لتصوير المناطق الواقعة على خطوط العرض الوسطى، أي بين منطقة الاستواء والمنطقة القطبية. فنظم الإسقاط المخروطية تعطي توزع تشوهات أفضل مما هو عليه في نظم الإسقاط الأسطوانية، وذلك من أجل منطقة واقعة في المجال المذكور. والسبب في ذلك، هو إمكانية إمرار موازيين أساسيين في 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، يصح من أجل الخطوط تحت الاستواء، حيث يستخدم مخروط يقع رأسه على الامتداد الجنوبي لمحور الأرض.

(٤,٥,٣) الإسقاط السمتي

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

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

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



الشكل (٥٣). أنواع نظم الإسقاطات السمتية.

في نظم الإسقاط السمتية 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 تعرّف الإسقاط، على حساب التشوهات الخطية الكبيرة، أصبح أمراً غير مبرر في عصر انتشار الحواسيب، ومع إمكانية إيجاد الحلول باستخدام طرق الرياضيات العددية. فقديما 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 (لامبر)

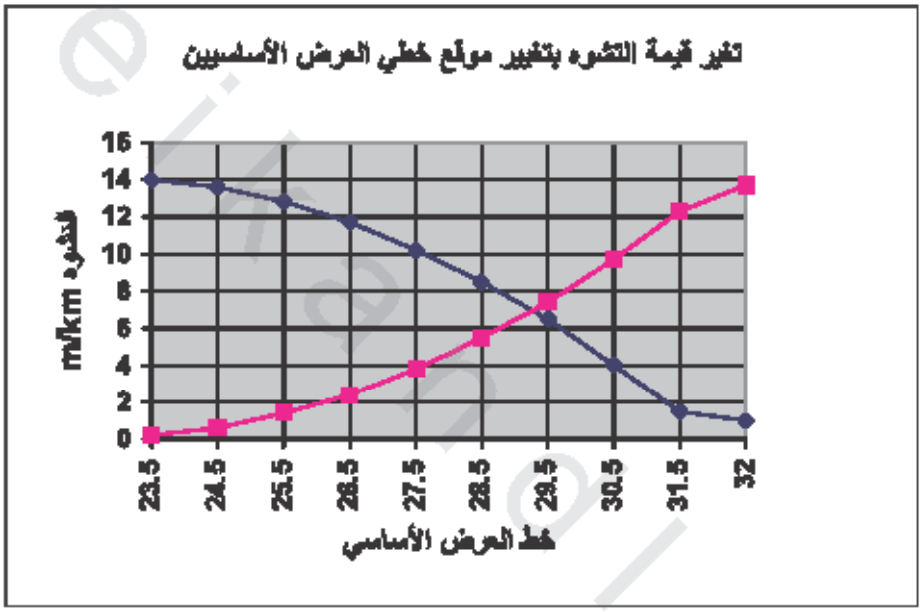
تم اعتماد هذا الإسقاط دون ملاحظة وجود استطالة نسبية في منطقة شبه الجزيرة العربية، اتجاهها جنوب شرق – شمال غرب، (الشكل٥٣).

كما اعتبر المخروط قاطعاً حسب موازيين تم اختيارهما بشكل لا يتناسب مع امتداد المنطقة. فهناك خارطة جزيرة العرب (φ_1= 17° و φ_2= 33°) وخارطة الغطاء النباتي (φ_1= 21° و φ_2= 27°) والخارطة الجيولوجية للوحة الحجاز الغربي (φ_1= 17° وφ_2= 33°).[٩]

الشكل (٣٥). الامتداد 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 n 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 ونحسب بكل مرة قيم n في النقاط المذكورة. عندها سنلاحظ أن قيم n عند الخط الأوسط ستبدأ بالازدياد بالقيمة المطلقة، وبالتناقص عند خط العرض الشمالي (أو الجنوبي).

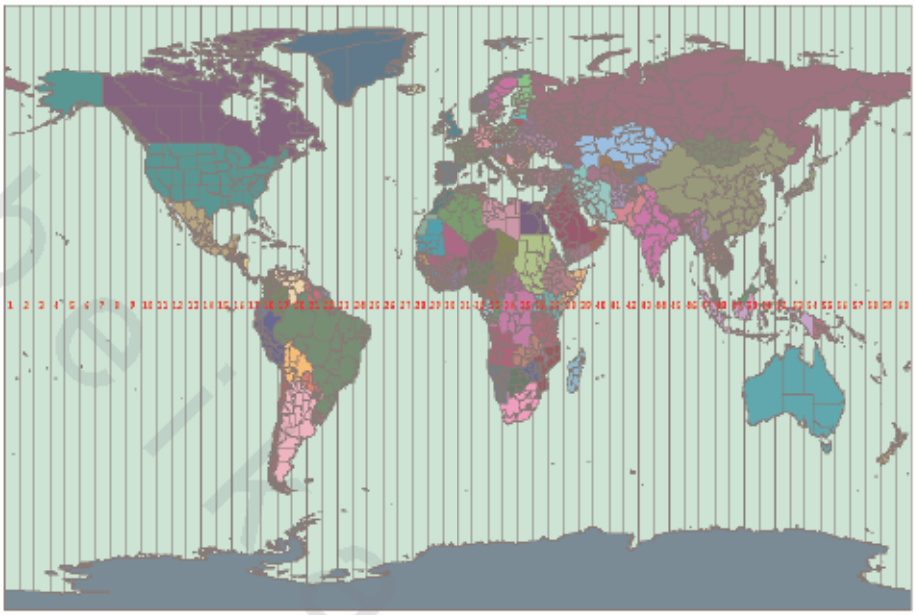
والمنحنيات في الشكل التالي توضح هذه التجربة. إن الاختيار الأفضل لموقع خطي العرض الأساسيين φ1 و φ2هو عندما تتساوى التشوهات بالقيمة المطلقة بين شمال ووسط وجنوب (الشكل٥٤)، أي أن توزيع التشوهات متجانس، ويوافق اختيار φ1= 16° و φ2= 29° [١٠].



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

(٤,٧) إشكاليات إسقاط ميركاتور المعرض

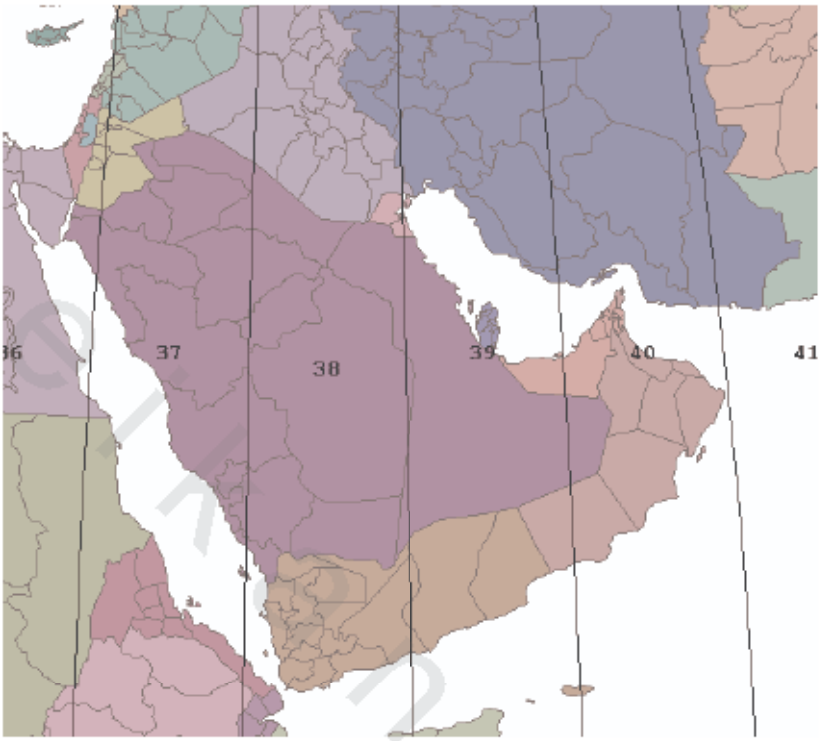
تم اعتماد إسقاط UTM من كونه إسقاطاً عالمياً وضعت له جداول موحدة من أجل كل قطاعات سطح الأرض، حيث تم تقسيم العالم إلى ٦٠ قطاع عرض كل قطاع ٦ درجات. وبالتالي فإن هذا الإسقاط استمد صفة العالمية من قياسية جداوله التي يمكن تطبيقها لكافة القطاعات، (الشكل٥٥).



الشكل (٥٥). قطاعات مسقط ميركاتور المعرض العالمي.

إلا أن هـذا يعني الحصول على عـدة إسقاطات متشابهه ذات تشوهـات قليله بالطبع ؛ لأن أبعد نقطه عن خط الطول الأوسط في كل منها على مسافة $\Delta\lambda = 3°$. ولكن بالمقابل لـم تغطى المملكة بإسقـاط واحد، وهـذا يؤدي إلى أن الإسقاطات هـذه تصلح للخرائط الطبوغرافية فقـط، أي التي تغطي مناطـق صغيره نسبياً، (الشكل٥٦).

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



الشكل (٥٦). القطاع ٣٨ حسب اسقاط موركاتور.

ويمكن حساب العلاقة بين رقم القطاع Z_{zone} و رقم خط الطول الوسطي L باستخدام العلاقة :

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

$$From = Z_{zone} * 6 - 186 \quad ، \quad To = Z_{zone} * 6 - 180$$

و يبين الجدول (١) رقم كل قطاع و خط الطول الوسطي المقابل له و مجال القطاع (من – إلى).

الجدول (٩). أرقام القطاعات 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

openkartcom

تابع الجدول (١).

Zone	central meridian(L)	From	To	Zone	central meridian(L)	From	To
٢٠	٦٣-	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

obeikandi.com