الفصل الخامس

قراءة الخرائط

(٥,١) مقدمة

قابل صناع الخرائط منذ القدم مشكلة رئيسية عند رسمهم للخرائط، وهي مشكلة تمثيل التضاريس أوالارتفاعات. ففي أول الأمر قاموا برسم الرسوم التوضيحية المجسمة لكل ظاهرة على حدة. ثم انتشر تمثيل سطح الأرض بطريقة نقط المناسيب (نقط الارتفاعات) خاصة للمناطق المرتفعة والمنخفضات، ومناطق تغير الانحدار. وكان ما يعيب هذه الطريقة هوصعوبة التعرف على شكل سطح الأرض بين هذه النقط خاصة في الحالات التي تتباعد فيها النقاط، ثم استخدموا طريقة الهاشور Hacheur وهي عبارة عن رموز شكلها على هيئة مثلثات دقيقة ترسم على الخرائط بحيث تكون قاعدتها ناحية الأجزاء المرتفعة وتشير رؤوسها نحوالمناطق المنخفضة. ويختلف شكل المثلث وحجمه حسب تضاريس المنطقة. فكلما كانت المنطقة شديدة التضاريس ازداد سمك المثلثات وقل طولها واقتربت من بعضها بعضاً وتتباعد حتى تتلاشى في المناطق المستوية. وعلى هذا فإن المناطق شديدة التضاريس تبدوداكنة اللون على عكس المناطق المستوية والقليلة الانحدار التي تظهر فاتحة اللون.

ورغم بساطة هذه الطريقة إلا أنها كانت تستلزم من الكارتوغرافي أن يبقى فترات طويلة في موقع العمل لكي يتم عمله، كما كان من الضروري أن يتمتع هذا الرسام بحس فني متميز ليستطيع تمثيل ما يراه بطريقة جيدة. إلى جانب ذلك فإن قارئ

الخريطة أومحللها لا يمكنه أن يتبين من هذه الخريطة درجات انحدار سطح الأرض أويقوم بتحليل كمي لأي جزء من أجزائها بل ستكون قراءته وصفية، بمعنى أنه يصف الأجزاء التي تتقارب فيها علامات الهاشور بمناطق شديدة التضاريس والعكس. وتفادياً لبعض هذه العيوب أضيفت بعض نقاط المناسيب إلى الخريطة. [٢٨]

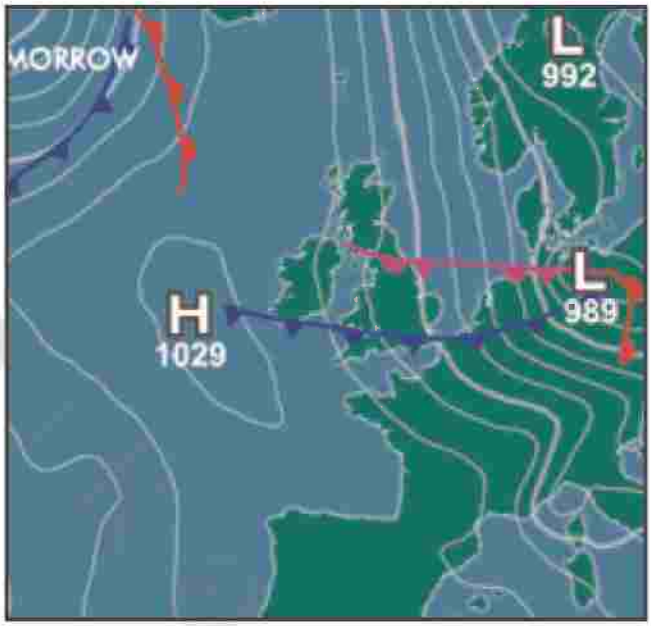
ومع الحاجة الملحة لتمثيل أشكال سطح الأرض بطريقة أكثر تعبيراً ودقة، توصل الكارتوغرافيون في نهاية القرن السادس عشر لطريقة خطوط التسوية، وذلك على يد المهندس كروكيوس سنة ١٧٣٠م، حيث استخدمها في توضيح أعماق نهر مروبد لتسهيل حركة الملاحة [٢١]، ثم طبقت الفكرة في القرن الثامن عشر على أشكال سطح الأرض لتعرف بخطوط التسوية Contour lines .

وعلى الرغم من قدم استخدام هذه الطريقة لبيان البعد الثالث لأشكال سطح الأرض، إلا أنها مازالت تستخدم حتى الآن وتعدُّ من أفضل الوسائل المستخدمة حيث يتم رسم خطوط التسوية بطرق مساحية مختلفة، تختلف حسب الغرض من رسم الخريطة.

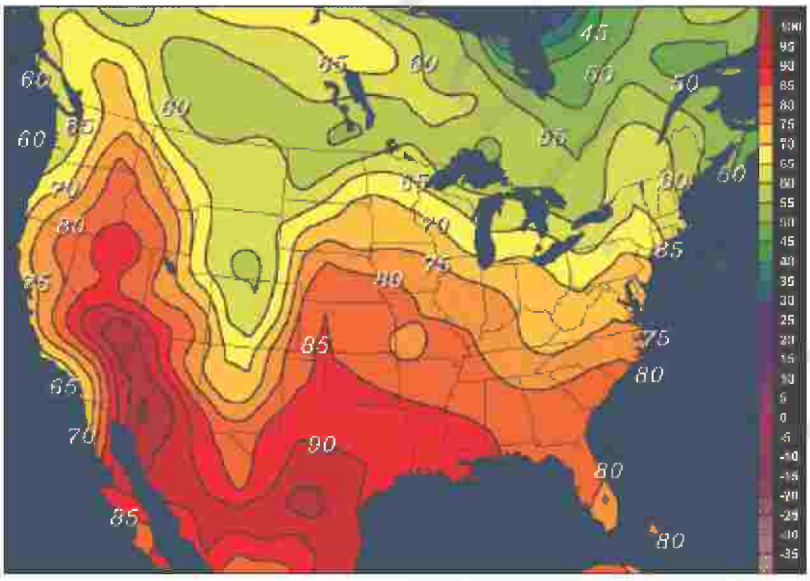
(٥,٢) خطوط التدرج

خطوط التدرج عبارة عن خطوط اعتبارية في الخارطة تمر بنقاط ذات قياس ما متساوي أوثابت أي هي الحل الهندسي للظاهرة $z = const$. أحد الأمثلة المعروفة لها هي الخطوط الايزومترية، والخط الأيزومتري هوالخط المار بنقاط ذات مواصفات مترية ثابتة (ارتفاع، عمق تشوهات).

من الأنواع المعروفة لخطوط التدرج isobar وهوخط تساوي الضغط، وخطوط تساوي درجات الحرارة isotherm وisogmic خطوط تساوي الميل والانحراف المغناطيسي، خطوط تساوي الهطول المطري Isohyetal، (انظر الأشكال ٥٧-٥٩).



الشكل(٥٧). خطوط تساوي الضغط الجوي.



الشكل (٥٨). خريطة تبين خطوط تساوي درجات الحرارة.

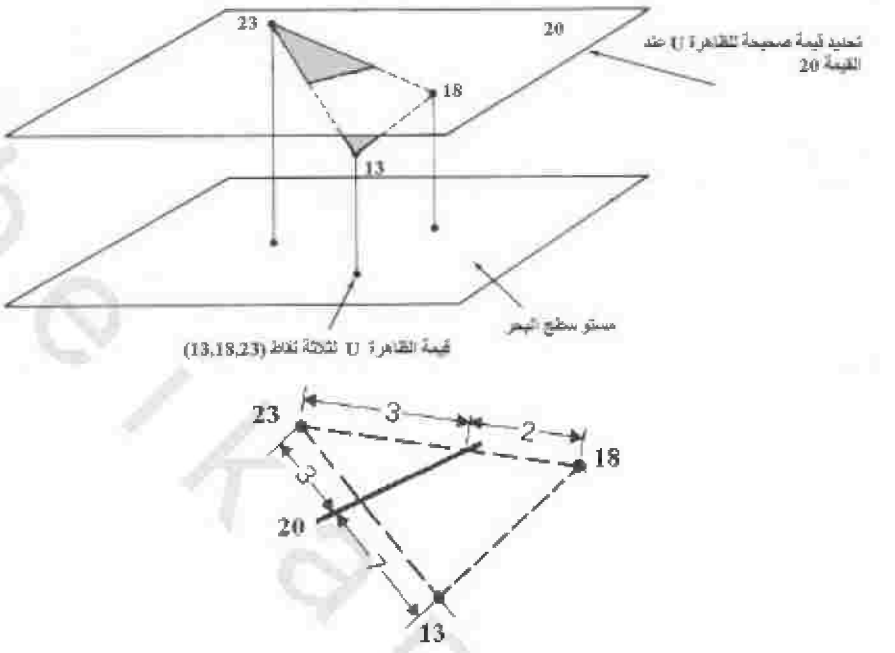
الشكل (٥٩). خطوط تساوي الهطول المطري .

الطرق الكلاسيكية لرسم خطوط التدرج تكون بقياس قيم الظاهرة U عند نقاط متعددة من الأرض، ومن ثم نقوم بدراسة كل ثلاثة نقاط على حدة، وباعتماد مبدأ التدرج الخطي بين كل نقطتين متجاورتين يمكن تحديد نقاط بينهما ذات قيم صحيحة لـ u وهي مكان مرور خطوط التدرج (تقاطع المثلث بالفراغ مع مستوي يمثل قيم صحيحة لـ u).

مثال:

ليكن لدينا ثلاثة نقاط لها الارتفاعات التالية: (١٣.١٨.٢٣) والمطلوب أوجد خط التسوية الذي ارتفاعه ٢٠ متر.

من الشكل (٦٠) نلاحظ أن خط التسوية يمر بين النقطتين ٢٣.١٨ والنقطتين ٢٣.١٣ والمطلوب تحديد موقع خط التسوية.



الشكل (٦٠). طرق تحديد القيم الصحيحة للظاهرة U.

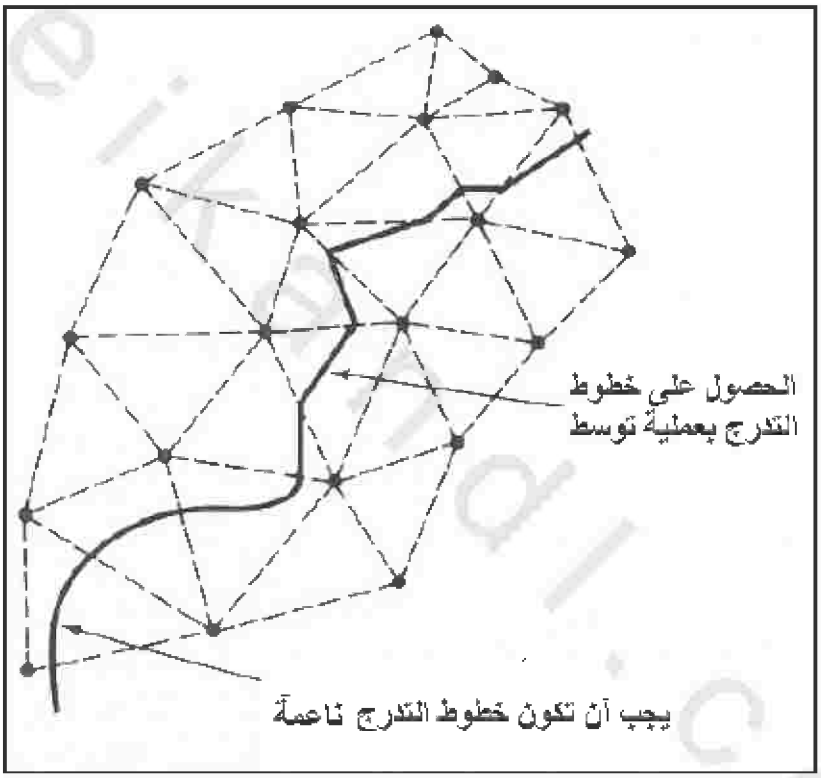
نقيس المسافة بين النقطتين ٢٣،١٨ بالمسطرة ولتكن مثلا ١٠ سم، إن خط التسوية ٢٠ يبعد عن النقطة ٢٣ مسافة وقدرها:

$$\frac{23-20}{23-18}\times 10cm=\frac{3}{5}\times 10cm$$

وذلك بإتباع طريقة توسط داخلي بسيطة.

ثم بإعادة نفس الإجراء بين جميع المثلثات نحصل على مجموعة نقاط في المستوى تمثل قيماً صحيحة للظاهرة u. نحصل على خطوط تدرج الظاهرة u بوصل النقاط ذات القيم نفسها مع بعضها بعضاً، في الوقت الحاضر هناك العديد من البرامج لرسم خطوط التدرج وتحليلها ورسم مجسمات منها. (انظر الشكل٦١)

إن المعطيات التي ترسم على أساسها خطوط تدرج ظاهرة ما، يجب أن تكون متجانسة زمنياً إن كانت الظاهرة نفسها مرتبطة بالزمن مثل الظواهر المناخية والبيئية، لذلك يجب أن تكون هناك محطات رصد لهذه الظواهر موزعة في نقاط محددة وتعطي البيانات بوقت واحد.



الشكل (٩١). طرق رسم خطوط التدرج.

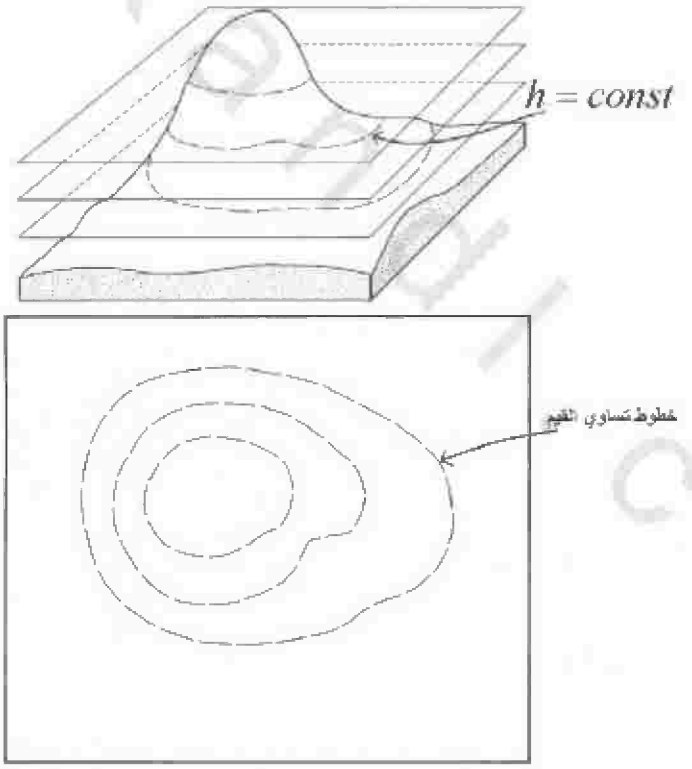
(٥,٣) أنواع خطوط التسوية

تعدُّ خطوط التسوية حالة خاصة من الخطوط الايزومترية، كما تعتبر من أهم المصطلحات الموجودة بالخارطة الطبوغرافية والتي تعبر عن طبيعة تضاريس المنطقة

المصورة، وتعرف بأنها عبارة عن خطوط منحنية وهمية تمر بكل الأماكن التي لها نفس الارتفاع عن مستوى سطح البحر.

ويمكن أن تعرف أيضا بأنها الر تقاطع مستوى أفقي وهمي نومنسوب معين $h = const$ عن سطح البحر. ويمكن القول إن منسوب خط التسوية هومنسوب المستوى القاطع. ويعدُّ مستوى سطح البحر المرجع الأساسي لبداية حساب الارتفاعات، والحد الفاصل بين الارتفاعات البرية والأعماق البحرية وعليه فإن قيمة خط الساحل هي صفر. (الشكل ٦٢)

ولكي نفهم معنى خط التسوية بصورة أوضح فعلينا أن نتصور منخفض ممتلئ جزئياً بالماء أوبحيرة بها ماء، فخط الشاطئ أوتقابل المياه مع الجوانب يعمل على تعيين خط التسوية منسوبه هومنسوب سطح الماء.



الشكل (٦٢). مبدأ قطع مستو أفقي لتضاريس سطح الأرض.

على الرغم من أن منحنيات التسوية تتفق كلها في الهدف الرئيسي الذي رسمت من أجله وهو تعيين الارتفاعات وتحديد أشكال التضاريس إلا أن الخرائط الطبوغرافية يمكن أن تتضمن ثلاثة أنواع من خطوط التسوية:

(٥,٣,١) خطوط التسوية الرئيسية

تتميز خطوط التسوية الرئيسية (Index Contour) بأنها منحنيات سميكة مقارنة بالنوعين الآخرين (العادية والمتخللة)، ولعل السبب في هذا هو تسهيل قراءة وتحليل الخريطة وتكون هذه الخطوط مرفقة برقم يدل على قيمة ارتفاعها.

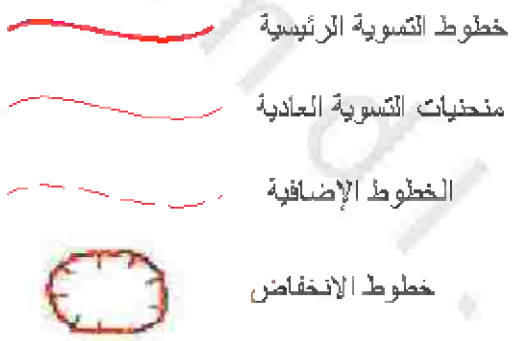
(٥,٣,٢) منحنيات التسوية العادية

وتسمى أحياناً خطوط التسوية المتوسطة (Intermediate Contour) وهي منحنيات تتخلل المنحنيات الرئيسية، ويكون التباعد الثابت بين هذه الخطوط هو نفسه التباعد الثابت المحدد للخريطة، بحيث نجد دائما بين منحنى رئيسي وآخر أربعة (٤) منحنيات عادية، هذا ويمكن حذف بعض هذه الخطوط لتخفيف التزاحم الشديد الذي قد يؤدي إلى طمس بعض معالم الخريطة ومن ثم صعوبة قراءتها وتفسيرها، وأيضاً قد تكون هناك عمليات زيادة لرسم وإضافة بعض الخطوط تحت ظروف معينة مثل إبراز تفاصيل دقيقة لظاهرات مختلفة بالخريطة.

وقد تكون هذه المنحنيات مرقمة إذا كانت بعيدة عن بعضها بعضاً نسبياً وسمحت المسافة بينها بكتابة الأرقام. وبطبيعة الحال قد يتساءل البعض عن كيفية معرفة ارتفاعات هذه المنحنيات إذا كانت لا تحمل أرقاماً. فالجواب يصبح بسيطا إذا تعرفنا على قاعدة أساسية من قواعد منحنيات التسوية وهي أن الفرق بين منحنى وآخر من منحنيات التسوية سواء أكانت رئيسية أو عادية ثابت لا يتغير في الخريطة الطبوغرافية الواحدة. فإذا فرضنا مثلا أن فارق الارتفاع بين منحنى تسوية وآخر هو ١٠ أمتار وكان المنحنى الرئيسي الذي بدأنا منه التعداد يحمل رقم ١٠٠ فإن رقم

المنحنى العادي الذي يليه سيكون بطبيعة الحال ١١٠ والذي يلي ١٢٠ ثم ١٣٠ ثم ١٤٠ إلى أن نصل إلى المنحنى الرئيسي الثاني والذي سيكون ارتفاعه ١٥٠ مترا. وهكذا يمكننا بمعرفة رقم أحد المنحنيات (منحنى رئيسي عادة) أن نعرف أرقام بقية كل المنحنيات الأخرى سواء كانت رئيسة أوعادية.

وتشير كل الخرائط الطبوغرافية، في ركنها السفلي الأيمن، إلى فارق الارتفاع بين منحنيات التسوية. فقد يكون هذا الفارق ١٠ أمتار أو٢٠ مترا أو٥٠ مترا ...إلخ ويتوقف ذلك على مقياس الخريطة أحيانا ونوعية التضاريس الموجودة في الخريطة الطبوغرافية أحيانا أخرى. وعموما فإنه كلما كان مقياس الخريطة صغيرا كان فارق الارتفاع كبيراً، وكلما كانت المنطقة شديدة التضاريس (منطقة جبلية) كان فارق الارتفاع كبيرا أيضاً، والعكس صحيح، (الشكل٦٣).



الشكل (٦٣). أنواع منحنيات التسوية.

(٥,٣,٣) الخطوط الإضافية (المتقطعة)

إن الخطوط الإضافية (Supplementary Contour) هي عكس النوعين السابقين، لانجدها في كل الخرائط الطبوغرافية؛ لأن وظيفتها محدودة، وتختلف عن النوعين الأولين في كونها منحنيات متقطعة. فهي تستعمل في خرائط المناطق

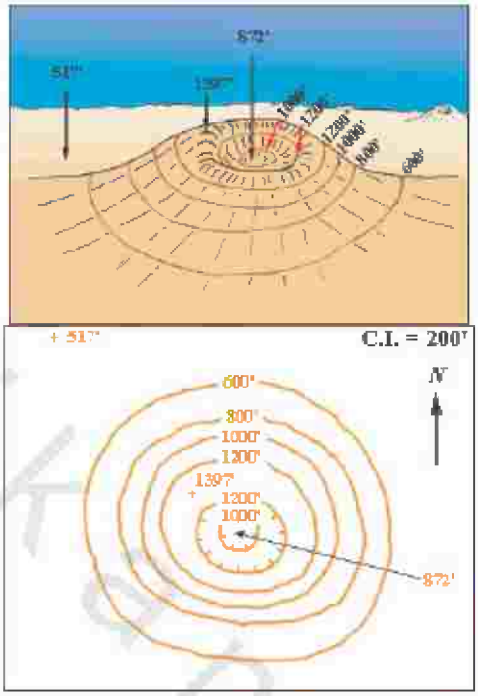
الصحراوية على الخصوص حيث يتميز سطح الأرض عادة بالاستواء فتتباعد بذلك منحنيات التسوية الرئيسية والعادية عن بعضها البعض تباعدا كبيرا قد يؤدي إلى عدم ظهور وإهمال بعض الأشكال التضاريسية كالروابي أوالأحواض الصغيرة. فإذا فرضنا أن فرق الارتفاع الثابت في خريطة طبوغرافية لمنطقة صحراوية مقياسها ١/٥٠٠,٠٠٠ هو ٥٠ مترا ولاحظنا أن خط التسوية رقم ٥٥٠ مثلا يبتعد عن خط التسوية ٥٠٠ بمسافة أفقية طولها على الخريطة ٣٠ سنتيمترا (أي ١٥٠ كم على الطبيعة) وبطبيعة الحال فإن هذه المسافة الطويلة قد تتخللها بعض المرتفعات كالتلال، التي نفرض أنها تقع على ارتفاع ٥٣٥ متراً، لكن بما أن هذه التلال لا تمر بها منحنيات التسوية الرئيسية والفرعية، نظرا لفارق الارتفاع الثابت، فإنها لا تظهر في الخريطة.

لهذا نلجأ في المناطق الصحراوية والمنبسطة إلى إضافة نوع ثالث من منحنيات التسوية غايتها إظهار ما أهملته منحنيات التسوية الرئيسية والعادية، ويسمى هذا النوع الثالث بالمنحنيات الإضافية أوالمتخللة.

(٥,٣,٤) خطوط الانخفاض

يمكن استخدام التهشير مع خطوط التسوية للتعبير عن الانخفاض أوالارتفاع (الشكلان ٦٤و٦٥)، وخطوط الانخفاض (Depression Contour) هي عبارة عن خطوط بنية قصيرة ومتشابهة تماما، تستخدم عندما لا يمكن إظهار الارتفاعات أوالانخفاضات بوسطه خطوط التسوية.

للدلالة على الانخفاض نستخدم خطوط تسوية مقفلة مهشرة باتجاه الداخل، وللدلالة على الارتفاع نستخدم خطوط مهشرة نحوالخارج.



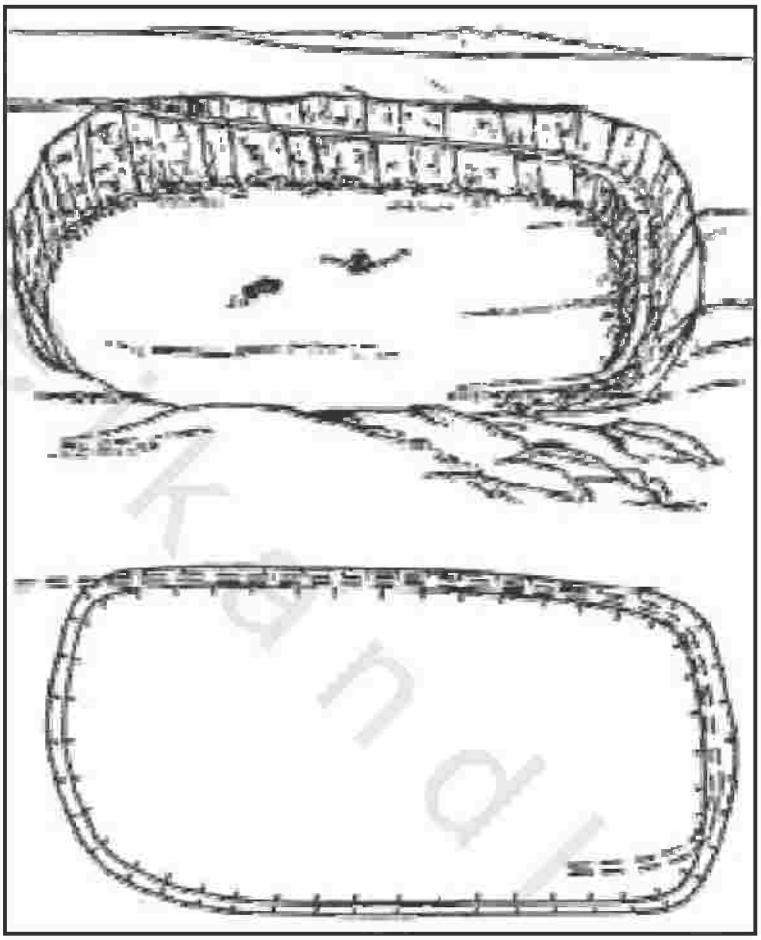
الشكل (٦٤). خطوط الانخفاض.

(٥,٤) خصائص خطوط التسوية

تتميز خطوط التسوية بخصائص أخرى يمكن إيجازها فيما يلي:

١- جميع النقط الواقعة على خط تسوية معين لها منسوب ثابت.

٢- خطوط التسوية تنغلق على نفسها سواء داخل الخريطة الموجودة أمامنا أوفي إحدى الخرائط المجاورة لها، لذا فإن بعض منحنيات التسوية قد تمتد من خريطة إلى أخرى، كما تظهر بعض خطوط التسوية مغلقة على الخرائط في المناطق المرتفعة كالقمم الجبلية أوفي قاع منخفض.



الشكل (٦٥). مظهر آخر لخطوط الانحناء.

٣- خطوط التسوية في الانحدار المنتظم تكون متوازية وعلى أبعاد متساوية.

٤- تتقارب خطوط التسوية في الانحدارات الشديدة (منطقة جبلية مثلا) وتتباعد كلما قل الانحدار (منطقة سهلية مثلا).

٥- خطوط التسوية قد تقترب جدا من بعضها بعضاً ولكنها لا تتقاطع. إلا أن هناك حالة واحدة يمكن أن تلتقي عندها منحنيات التسوية وهي حالة وجود جرف تصل زاوية انحداره إلى ٩٠٪ درجة وهو في هذه الحالة يشبه المغارة، ومثل هذه

الظاهرات الجيمومورفولجية لا تشغل مساحات كبيرة من اليابس علاوة على كونها نادرة الحدوث.

٦- لا يتلاقى خطا تسوية متحدا المنسوب إلا في حالات نادرة كأن يتماسا مثلاً ولا يمكن أن يتفرع خط التسوية إلى فرعين إطلاقاً.[١٤]

٧- كلما كانت خطوط التسوية كثيرة التعرج وملتوية دل ذلك على وعورة الأرض وعدم انتظامها.[١٧]

٨- خط التسوية المقفل الذي ليس بداخله خط تسوية آخر إما أن يكون قمة مرتفع أوقاع منخفض.

٩- الخط ذوالميل الأعظم في أي منطقة هواتجاه أقصر مسافة بين خطوط التسوية وهوالخط العمودي على كل خطوط التسوية.

(٥,٥) التباعد المتساوي بين خطوط التسوية

ويطلق عليه أحياناً الفاصل الكنتوري وهوعبارة عن الفرق في الارتفاع بين كل خط تسوية وآخر، أوبعبارة أخرى هوالمسافة الرأسية الثابتة بين خطوط التسوية، وينبغي أن تصمم الخريطة بفاصل موحد على الأقل بالنسبة لخطوط التسوية العادية وهي تعد أكثر عدداً من أي خطوط تسوية أخرى على الخريطة، وإذا كانت هناك ضرورة لتغير قيمة هذا الفاصل فمن الأفضل أن نلجأ إلى خطوط التسوية الإضافية، وفي الواقع إن التباعد المتساوي بين خطوط التسوية المناسبة على الخارطة يجب أن يحدد منذ بدء العمل، ويتوقف اختيار قيمة التباعد المتساوي على عدة اعتبارات نوجزها فيما يلي:

• مقياس الخريطة: كما هومعروف فإن مقياس الخريطة هوالنسبة بين الأبعاد الخطية على الخرائط وما يقابلها من أبعاد أصلية في الطبيعة، وهوعلى أنواع وأشكال عديدة والتباعد المتساوي يتناسب تناسباً عكسياً مع مقياس رسم الخريطة، فالخرائط ذات المقياس الكبير أي الخرائط الطبوغرافية والعقارية يكون التباعد المتساوي بينها صغيراً. وسوف نشرح بالفقرة التالية علاقة التباعد بمقياس الرسم.

* طبيعة سطح الأرض: إن تباعد خطوط التسوية يجب أن يكون كافياً لإظهار التضاريس، حيث ينبغي قبل اختيار التباعد المتساوي التعرف على أعلى وأدنى منسوب في الخريطة ومن ثم يمكن التعرف على عدد خطوط التسوية المطلوب توقيعها، وبصفة عامة عندما تكون المنطقة معقدة تضاريسياً ومتباينة في درجات انحدارها فليزم لتوضيح مظاهر سطحها إنشاء عدد أكثر من خطوط التسوية والعكس صحيح. [٢٤]

* الغرض من خطوط التسوية واتساع المنطقة المدروسة: تتباين الخرائط فيما بينها في مقدار ما توضحه من تفاصيل، وتظل هناك نقطة اتزان ينبغي أن تكون واضحة في ذهن مصمم الخريطة وذلك حتى لا تصل الخريطة إلى درجة التشبع بالمعلومات الكثيرة، فإذا كان هنالك مجال كافي في الخريطة يمكن اتباع تباعد صغير إذا ما استخدمت خطوط التسوية في التصاميم التفصيلية للأعمال الإنشائية ومن أجل احتساب الكميات الترابية بصورة دقيقة.

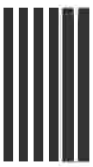
* الوقت والتكاليف: فكلما كان التباعد صغيراً ازداد مقدار العمل الحقلي ازداد الوقت المطلوب لرسم خطوط التسوية على الخارطة ازدادت بموجبها التكاليف.

(٥,٦) علاقة المقياس بتباعد خطوط التسوية

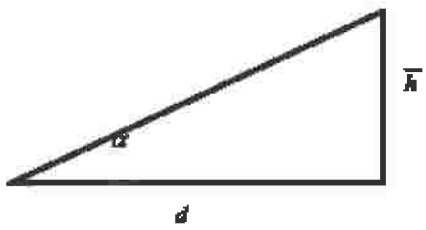
تعرف القوة التمييزية للعين بأنها أصغر مسافة يمكن لإنسان أن يميزها دون استخدام أجهزة مكبرة، وتقدر بقيمة ١ دقيقة ستينية، فلوأردنا حساب الدقة التمييزية عند قراءة خارطة على بعد ٣٠ سم نجد:

$$1'.\frac{\pi}{180}*300mm = 0.087mm \approx 0.1mm$$

لكن مع الطباعة والخطوط يختلف الوضع قليلاً، فلورسمنا عدد من الخطوط(٣-٤-٥) بمسافة ١ مم حسب الجدول التالي نجد أن العين يمكنها وبصعوبة تمييز ٤ خطوط أي بتباعد ٠,٣٣٣ مم بين الخط والآخر حسب الجدول التالي:

	عدد الخطوط في المليمتر الواحد			
	٣	٤	٥	٦
تباعد الخطوط في الرسم				
الخطوط مكررة ١٠ مرات				
التباعد بين خطين	$\frac{1}{2}mm$	$\frac{1}{3}mm$	$\frac{1}{4}mm$	$\frac{1}{5}mm$

لنفترض أن ميل التضاريس هو α ، وتباعد خطوط التسوية h ، وأنه لدينا خارطة ذات مقياس $\frac{1}{M}$ ، (الشكل ٦٦).



الشكل (٦٦). حساب تباعد خطوط التسوية.

فأن h تحدد في المسقط (الخريطة) مسافة أفقية d تحسب من العلاقة

$$h = d\,tg\alpha$$

$$d = h.\cot\alpha$$

فإذا افترضنا أنه لا يمكن ملاحظة أكثر من أربعة خطوط في عرض 1 mm (تباعد ٠,٣٣٣٣ ملم) فأن $\bar{h}$ تعطى بالعلاقة

$$d = h.\cot\alpha = \frac{20*1000}{25000} \times \frac{10}{4} = 2mm$$

$$\bar{h}_{\text{—}} = \frac{1}{3} tg\alpha . M$$

$$\bar{h}_{=} = \frac{1}{3000} tg\alpha . M$$

فعلى سبيل المثال، لوأردنا أن ندرس تضاريس منطقة مكة المكرمة، حيث تتميز بوجود المرتفعات الجبلية، نجد أنه بمقياس ١:٢٥٠٠٠، إن تباعد خطوط التسوية المتبع لرسم هذه المنطقة في خرائط المملكة العربية السعودية هو ٢٠ م، فلحساب تباعد خطوط التسوية عند جبل قويس الذي له ميل يقدر بحوالي ٠.٤ (أي ترتفع الأرض ٤٠٠ متر كل ١ كم)، نجد:

أي أن تباعد خطوط التسوية العادية عند هذا الجبل هو٢ مم.

وهناك بعض القيم الحدية التي تستخدم في الخرائط الطبوغرافية كما هو وارد في الجدول (٢).

الجدول (٢). قيم تباعد خطوط التسوية حسب مقياس الخريطة.

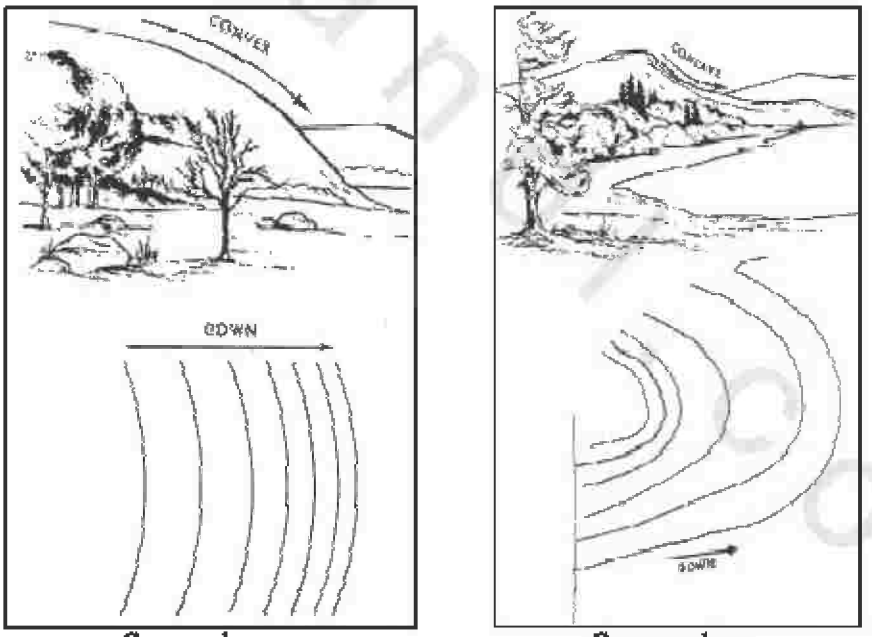
$\frac{1}{M}$	١:١٠,٠٠٠	١:٢٥,٠٠٠	١:٥٠,٠٠٠	١:١٠٠,٠٠٠	١:٢٠٠,٠٠٠	١:٢٠٠,٠٠٠	١:٥٠٠,٠٠٠
hm	٥	٥	١٠	٢٠	٢٠	٤٠	١٠٠
الميل الأعظمي	١	٠.٦	٠.٦	٠.٦	٠.٣	٠.٦	٠.٦

لكن هذه القيم ليست عالمية وتختلف من دولة إلى أخرى.

(٥,٧) أشكال الانحدارات

إن أحد أهم استخدامات خطوط التسوية هومعرفة ارتفاعات التضاريس التي توجد في منطقة من المناطق وذلك من خلال قراءة مناسيب الارتفاع. إلا أن هناك هدف آخر، لايقل أهمية عن سابقه في استعمال هذه المنحنيات ويتمثل في معرفة أشكال التضاريس. ذلك أن منحنيات التسوية تختلف عن بعضها بعضاً من حيث تقاربها وتباعدها، كما تختلف من حيث الأشكال التي تظهر بها على الخريطة ؛ فهي أحيانا متوازية وأحيانا أخرى منغلقة على شكل دائري أوإهليلجي ..إلخ وبطبيعة الحال فإن هذا التنوع في التباعد والتقارب والأشكال يعبر عن الاختلاف والتنوع في التضاريس نفسها.

ما دام الانحدار هوالذي يتحكم في أشكال التضاريس فمن الضروري التعرف على أهم أشكال الانحدارات ويمكن تقسيمها إلى ثلاثة أشكال رئيسية، (الشكل٦٧) :



Convex slope — Concave slope

المنحدر محدب — المنحدر مقعر

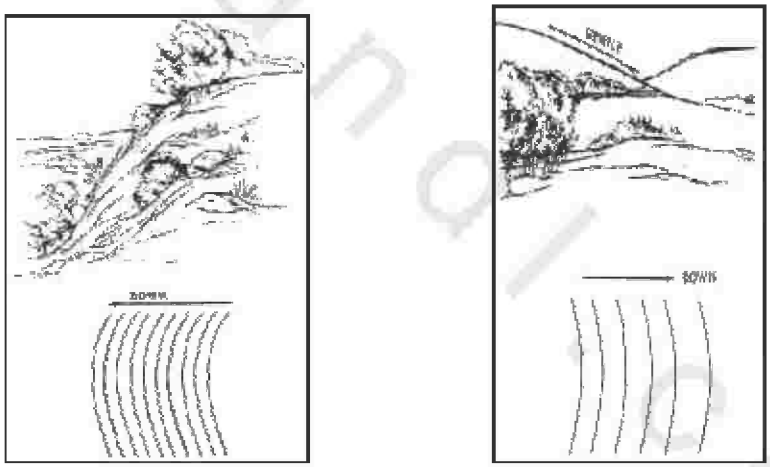
الشكل (٦٧). أشكال الانحدارات الرئيسية.

١- **الانحدار المنتظم:** وهوالانحدار الذي يسير على وتيرة واحدة سواء أكان شديداً أوخفيفاً، أي أن زاوية ميله ثابتة. ويمكن التعرف عليه من خلال وجود منحنيات تسوية متساوية البعد فيما بينها. [١٤]

٢- **الانحدار المقعر:** وهوانحدار يتضاءل ميله باستمرار من الأعلى إلى الأسفل. ونتعرف على الانحدار المقعر من خلال تباعد منحنيات التسوية أكثر فأكثر من الأعلى نحوالأسفل.

٣- **الانحدار المحدب:** وهوانحدار يتزايد ميله باستمرار من الأعلى نحوالأسفل. ويمكن التعرف على هذا الانحدار من خلال تقارب منحنيات التسوية من بعضها أكثر فأكثر من الأعلى نحوالأسفل.

ويمكن تقسيم الانحدارات من حيث شدتها إلى الأنواع التالية، (الشكل ٦٨):



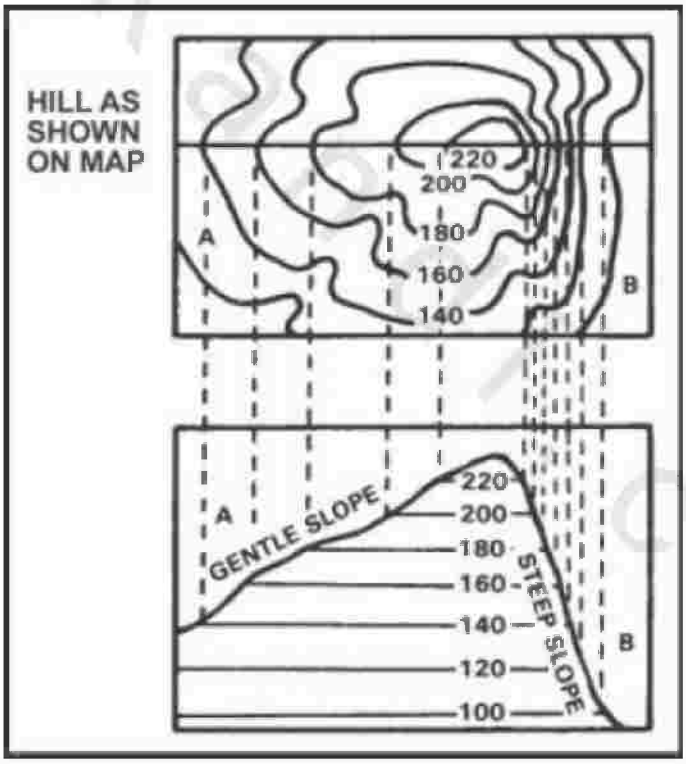
الشكل (٦٨). أشكال الانحدارات من حيث شدتها.

١- انحدار خفيف وفيه تبتعد منحنيات التسوية عن بعضها أي أن المسافة الأفقية بين منحنيات التسوية تكون كبيرة بالقياس إلى الفاصل الرأسي.

٢- الانحدار شديد وفيه تقترب منحنيات التسوية من بعضها أي أن المسافة الأفقية بين منحنيات التسوية تكون صغيرة بالقياس إلى الفاصل الرأسي.

٣- الانحدار معتدل وهو مرحلة وسطى بين النوعين السابقين إذ تتسم العلاقة بين المسافة الأفقية والفاصل الرأسي بالاعتدال.

غير أن الطريقة السابقة لتقدير الانحدار طريقة نوعية تنقصها الدقة في التمييز بين شدة أو خفة الانحدار، لذا يمكننا إتباع طريقة كمية نستطيع من خلالها إعطاء قيمة عددية لكل انحدار. وهذه القيمة العددية يمكن أن تكون بالنسب المئوية أو بالدرجات. والشكل (٦٩) يوضح جبل ذو سفح شديد الانحدار وخفيف الانحدار.



الشكل(٦٩). جبل ذوسفح شديد الانحدار وسفح خفيف الانحدار.

(٥,٨) أهم أشكال التضاريس

يمكن التعرف على المظاهر التضاريسية من الخرائط الطبوغرافية المتعددة الأشكال إذ عن طريق دراسة أشكال منحنيات التسوية ومقاطعها التضاريسية يمكن التوصل إلى نتائج قيمة في التعرف على الملامح الفيزيوجرافية فوق سطح الأرض بمعنى أن دراسة الخرائط الطبوغرافية وتحليلها يعد أمرا مهماً في التعرف على أهم الظاهرات التضاريسية منها:

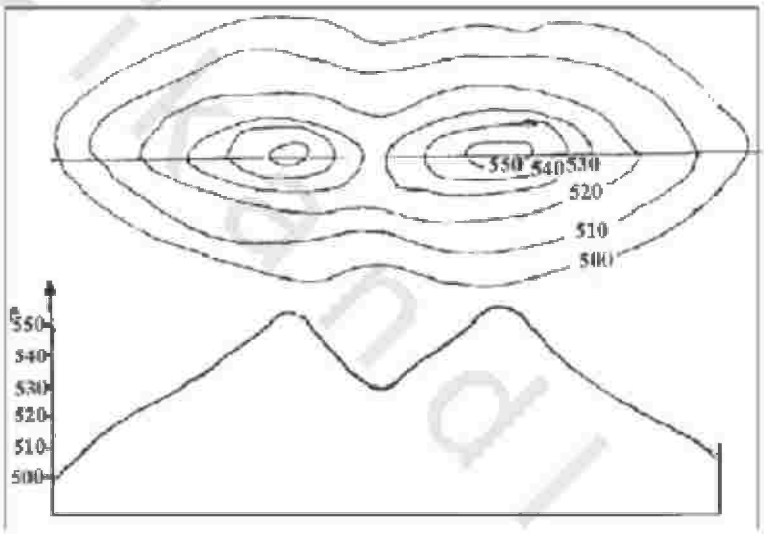
(٥,٨,١) السهل

تتألف السهول من سطح مستوأومتدرج أحياناً، ينحدر انحدارا بطيئا نحوجهة واحدة، حيث تظهر منحنيات التسوية متباعدة ومتوازية. والسهول بصورة عامة إما أن تنحدر نحوسواحل البحار والمحيطات، وتسمى بالسهول الساحلية التي قد تكون واسعة مثل السهل الأوروبي الشمالي أوضيقة مثل معظم سهول أفريقيا الساحلية. وإما أن تكون سهولاً داخلية تحيط بها المرتفعات بأكثر من جهة، كسهل المجر. ونجد أن السهول الحديثة التكوين خالية من الوديان والأخاديد وإن وجدت فتكون غير عميقة. ويزداد هذا العمق كلما بعدت فترة تكوينها، أي أنها أصبحت قديمة التكوين. وفي جميع الحالات لا يتعدى عمق هذه الوديان أوالأخاديد بضعة أمتار.

(٥,٨,٢) الجبل

وهي المنطقة التي تتميز بالارتفاع الشاهق عن مستوى الأرض المحيطة بها كالسهول والهضاب، وكما يتميز الجبل بالانحدار الشديد، الذي يتخذ أحيانا شكل شبه زاوية قائمة، وتكون الجبال إما على شكل سلاسل تمتد امتدادا طوليا وباتجاهات مختلفة وإما متوازية، وتظهر الجبال على الخرائط بمنحنيات مغلقة ترتفع فيها المناسيب من الخارج نحوالداخل. كما تكون منحنيات التسوية شديدة التقارب من بعضها بعضاً وكلما كان التقارب شديدا اشتد الانحدار، وكلما

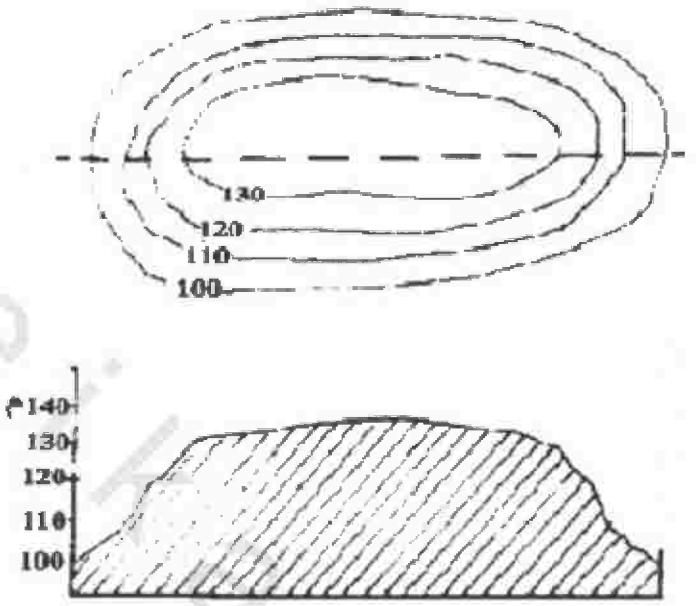
تباعدت المنحنيات كان الانحدار تدريجياً (خفيفاً). وقد تظهر بعض الجبال منفردة على شكل كتلة ضخمة شديدة الارتفاع تشبه في شكلها التلال المخروطية. كما يمكن أن تظهر على شكل جبل ذي قمتين، (الشكل٧٠) وهوعبارة عن جبل له قمتان تفصل كل منها عن الأخرى رقبة وهوالمنخفاض بين قمتي الجبل. والرقبة تكون دائما في مستوى أقل من القمم التي تحيط بها ولكنها تكون أعلى من السهول أوالوديان المجاورة له.



الشكل(٧٠). خطوط تسوية لجبل ذو قمتين.

(٥,٨,٣) الهضبة

الهضبة: هي الأرض الواسعة المرتفعة عما جوارها مثل هضبة نجد، والهضبة تشبه الجبل من حيث إنها منطقة مرتفعة ولكنها تختلف عنه من حيث إن قمتها مستوية ومن هنا فإنها أحيانا تعرف باسم الهضبة المنضدية. والخريطة الطوبوغرافية التي تمثل الهضبة تخلومن منحنيات التسوية في منطقة الوسط ولكنها تتقارب عند الأطراف المنخفضة، (انظر الشكل٧١).



الشكل (٧١). خطوط تسوية تمثل الهضبة.

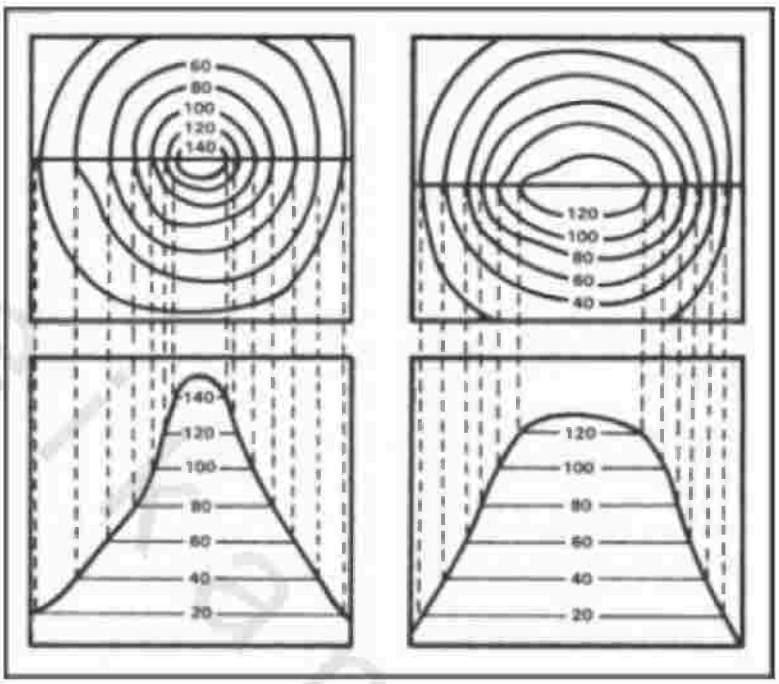
(٥,٨,٤) التل

تتكون التلال في مناطق الهضاب وأحيانا السهول، وذلك بفعل عوامل التعرية المختلفة.

ولا ترتفع عن السطح المجاور لها كثيرا. وتمثل على الخرائط الطوبوغرافية بمنحنيات مقفلة، وتتخذ أشكالاً مختلفة، أهمها:

التل القبابي: وهوعبارة عن تل مرتفع جوانبه محدبة الانحدار أي يبدأ انحداره من الأسفل بانحدار شديد ثم ينتهي من أعلى بانحدار خفيف ويمكن معرفة شكله من الخريطة من تقارب منحنيات التسوية المنخفضة وتباعد منحنيات التسوية المرتفعة، (الشكل٧٢).

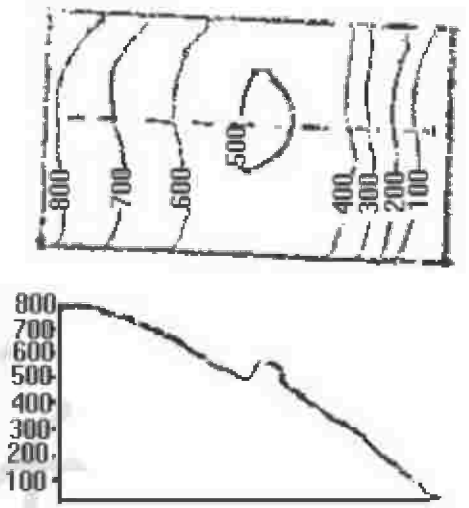
التل المخروطي: وهوعبارة عن تل مرتفع تتخذ جوانبه شكل المحدار مقعر أي أن انحداره يبدأ من الأسفل بانحدار خفيف ثم يأخذ التل في الارتفاع بانحدار أشد إلى أن ينتهي عند أعلى نقطة فيه بانحدار حاد، ويمكن معرفة شكل التل المخروطي من الخريطة من تقارب منحنيات التسوية عند القمة وتباعدها بالقرب من القاعدة، (الشكل٧٢).



الشكل(٧٢). خطوط تسوية تمثل التل القباني والتل المخروطي.

(٥,٨,٥) الربوة

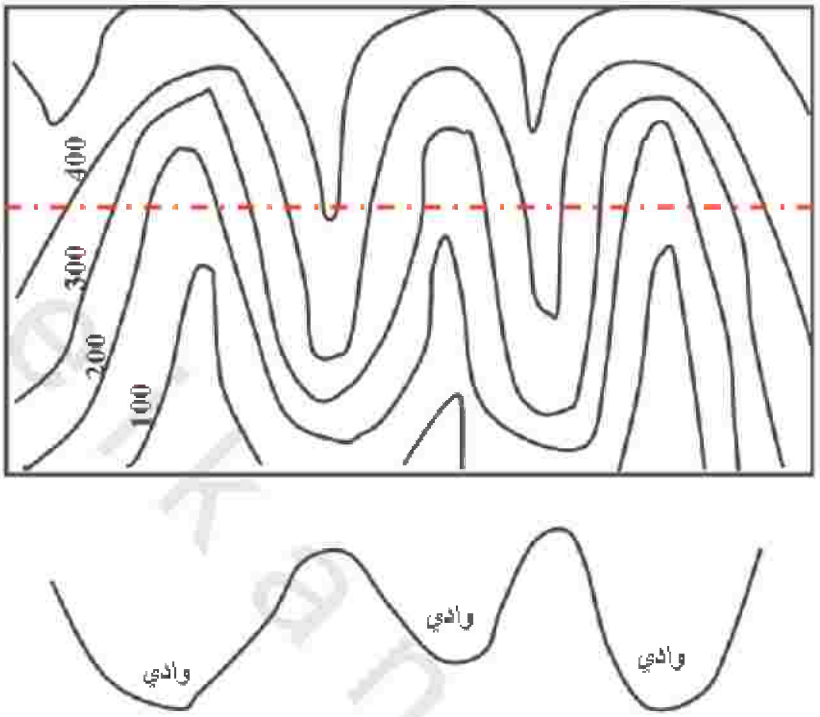
وهوالتل الصغير البارز فوق المنحدرات الجبلية أوالهضبة ، وقد يسمى أحيانا بالقمة الكاذبة. ويظهر على شكل حلقة أوحلقتين مغلقتين من منحنيات التسوية تعترض منحنيات التسوية المتتابعة والمتتالية في مناسيبها والتي تبين المنحدار جانب الجبل أوالهضبة ، (الشكل ٧٣).



الشكل(٧٣). خطوط التسوية في الربوة.

(٥,٨,٦) الوادي

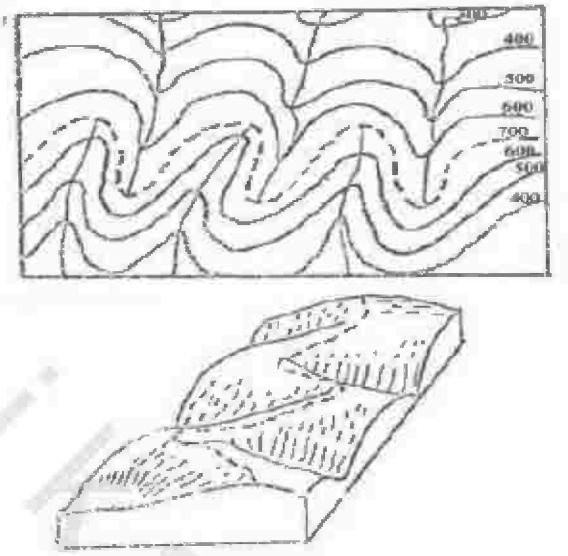
الوادي هوالأرض المنخفضة المحصورة بين سلسلتين من الجبال أوالتلال. ويكون دائما مجرى للسيول، يتكون الوادي من منخفض طولي ضيق في المناطق الجبلية ذات الانحدار الشديد، وواسع في المناطق المستوية أوشبه المستوية. وتظهر منحنيات التسوية التي تمثل الوهي إما أن تكون وديانا جافة أودائمة الجريان أوموقتة الجريان. ويتألف قاع الوادي من منطقة المسيل، أي مجرى النهر الأقل ارتفاعاً. ومن الأراضي المجاورة للمسيل وهي الأكثر ارتفاعاً وتسمى أحيانا بالغور أوقاع النهر. ولكل واد سفوحه أوحافته التي قد تطل عليه بشدة (عندما تتقارب منحنيات التسوية) أوبصورة تدريجية عندما تتباعد المنحنيات. وتتميز المناطق الجبلية بوجود عدة وديان رئيسة تتصل بها شبكة من الوديان الفرعية، التي تسمى بالروافد ويبين الشكل (٧٤) خطوط التسوية في الوادي.



الشكل (٧٤). خطوط التسوية في الوادي.

(٥,٨,٧) خط تقسيم المياه

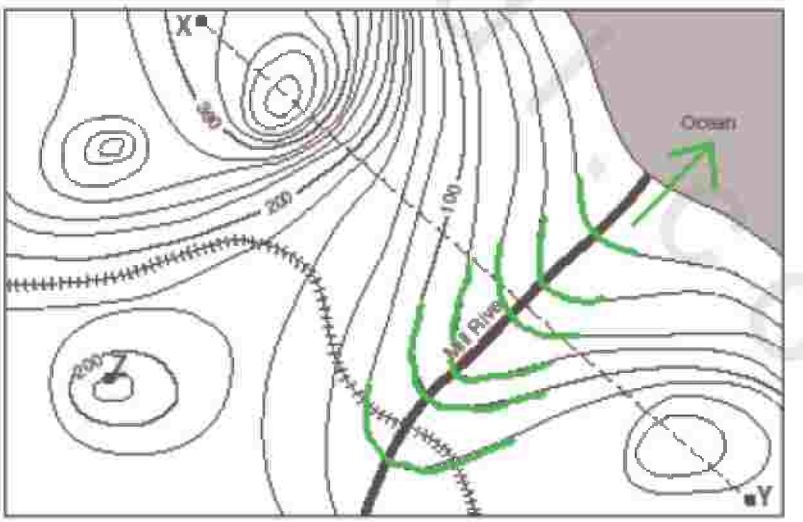
هوأعلى منحنى تسوية يخترق المنطقة الجبلية، حيث ينحدر سطح الأرض منه باتجاهين متعاكسين نحوالسهول أوالأحواض المجاورة، (الشكل٧٥).



الشكل (٧٥). خط تقسيم المياه.

(٥,٨,٨) المسيل

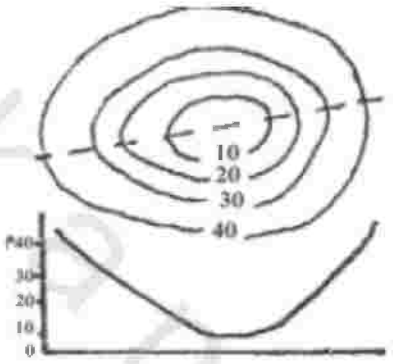
هوالخط الذي يصل أخفض نقاط الوادي وينطبق سرير النهر العادي على المسيل، (الشكل٧٦).



الشكل(٧٦). المسيل.

(٥,٨,٩) الحوض

وهومنطقة منخفضة من الأرض تحيط بها مناطق مرتفعة من جميع الجهات. وتؤلف الأحواض في البلاد ذات المناخ الرطب بحيرات أومستنقعات، تظهر الأحواض بمنحنيات تسوية مغلقة تنخفض مناسيبها من الخارج نحوالداخل، (الشكل٧٧).



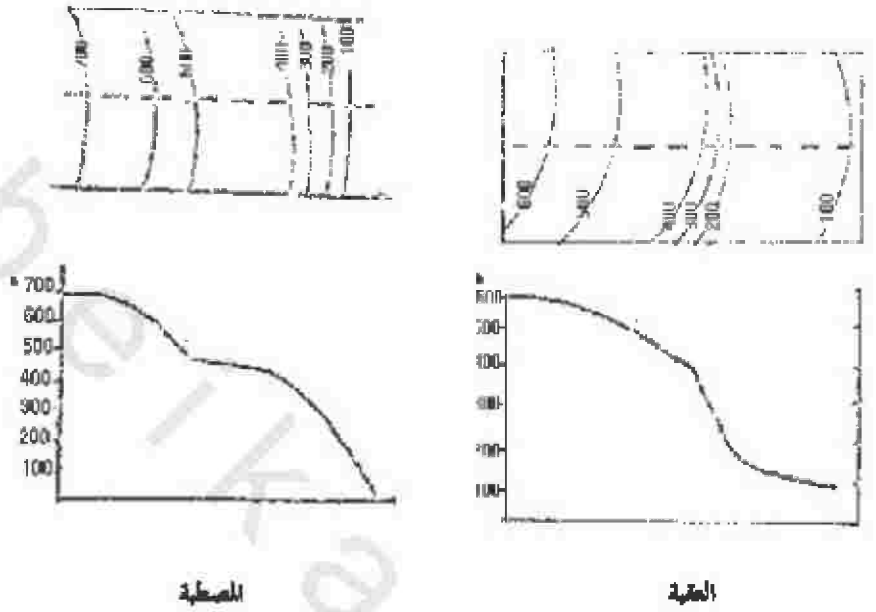
الشكل (٧٧). الحوض.

(٥,٨,١٠) المصطبة

وهي منطقة من سفح الجبل أوالهضبة تتميز بالاستواء أوالانحدار البسيط. وتنحدر حافتها السفلى بشدة نحوالمنطقة أوالجزء الذي يليها. وتتكون المصاطب أحيانا على جانبي النهر في منطقة الوادي.

(٥,٨,١١) العقبة

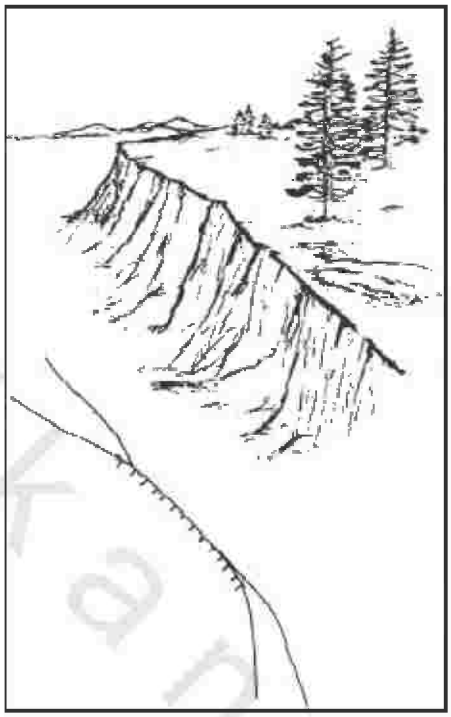
وهي عبارة عن جزء من السفح أشد انحدارا من الجزء الذي يعلوه ومن الجزء الذي يليه. أوبتعبير آخر حافة شديدة الانحدار أورأسية تقع بين انحدارين خفيفين، (الشكل٧٨).



الشكل (٧٨). المصطبة والعقبة.

(٥,٨,١٢) الجرف

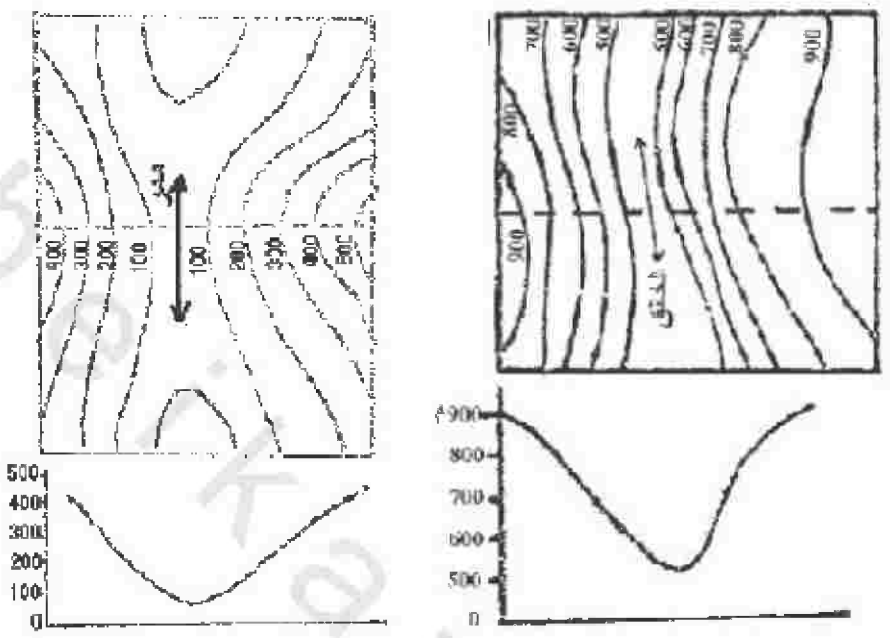
يعرف الجرف (Cliff) بأنه عبارة عن منطقة من الأرض، تنخفض فجأة نحو شاطئ البحر أي أن سطح الأرض ينحدر بزاوية قائمة وتتلاقى منحنيات التسوية كلها عند حافة الجرف، (الشكل ٧٩).



الشكل (٧٩). الجرف.

(٥,٨,١٣) الممر الجبلي والخانق

الممر الجبلي هوعبارة عن منخفض من الأرض يقع بين منطقتين مرتفعتين وليس بين قمتين ولهذا فإن الممر الجبلي يظهر في الخريطة الطبوغرافية عادة على هيئة منحني تسوية على منسوب واحد، أما الخانق فهوعبارة عن هوة سحيقة ضيقة وطولية تقع بين مرتفعين قائمين تقريبا سواء في منطقة جبلية أوهضبية، وتظهر الخوانق على الخريطة الطبوغرافية على شكل خطوط تتقارب بشدة عند الحافات ويبلغ منسوب منحني التسوية على جانبي الخناق منسوب واحد، (الشكل ٨٠).



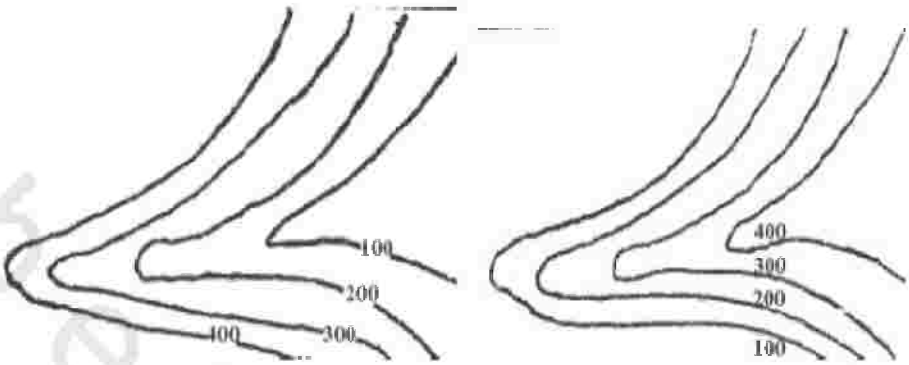
الشكل (٨٠). الممر الجبلي والخانق.

(٥,٨,١٤) النتوء أوالبروز

هونتوء جانب التل أوالجبل خارج هيئته الأصلية، وهوامتداد لجزء ضيق من المرتفع نحوالخارج على شكل لسان، وتظهر منحنيات التسوية منحنية نحوالخارج، الشكل (٨١).

(٥,٨,١٥) الحفرة

هي انحناء سطح التل أوالجبل للداخل في اتجاه هيئته الأصلية. ويكون شكل منحنيات التسوية فيه مشابها لما هوفي البروز، ولكن ترقيمها يكون معكوسا، (الشكل٨١).



الضوء الظل

الشكل (٨٩). الضوء والظل.

(٥,٩) تطبيقات خطوط التسوية

يمكن الحصول على معلومات كثيرة جدا حول ما يتعلق بطبيعة الأرض الممثلة بالخارطة ذات خطوط التسوية. إذ يتضح من مثل هذه الخارطة ما إذا كانت طبيعة الأرض جبلية أوذات تلال أومتموجة أوشديدة الانحدار أومنبسطة أوإذا كانت تتخللها أودية أوأنهار.[١٧]

إن المعلومات القيمة التي توفرها خرائط التسوية ذات فائدة كبرى في شتى الحقول والمجالات. إذ يتمكن المهندس بواسطتها أن يختار المواقع الصحيحة للسدود والخزانات المائية وغيرها. وكذلك يستطيع الزراعي بموجبها أن يقرر مواقع واتجاه جداول الري وأن يخطط لنوع الصيانة الواجب توفرها من أجل الحفاظ على التربة.

ويتوفر مثل هذه الخرائط يتمكن القائد العسكري أن يختار أصلح المواقع لتعبئة قواته وتعيين خطوط تموينه واتجاه هجومه وتراجعه وإقرار احتمال الرؤيا بين المواقع الأرضية ...إلخ.

(٥,١٠) المقاطع الطبوغرافية وتطبيقاتها

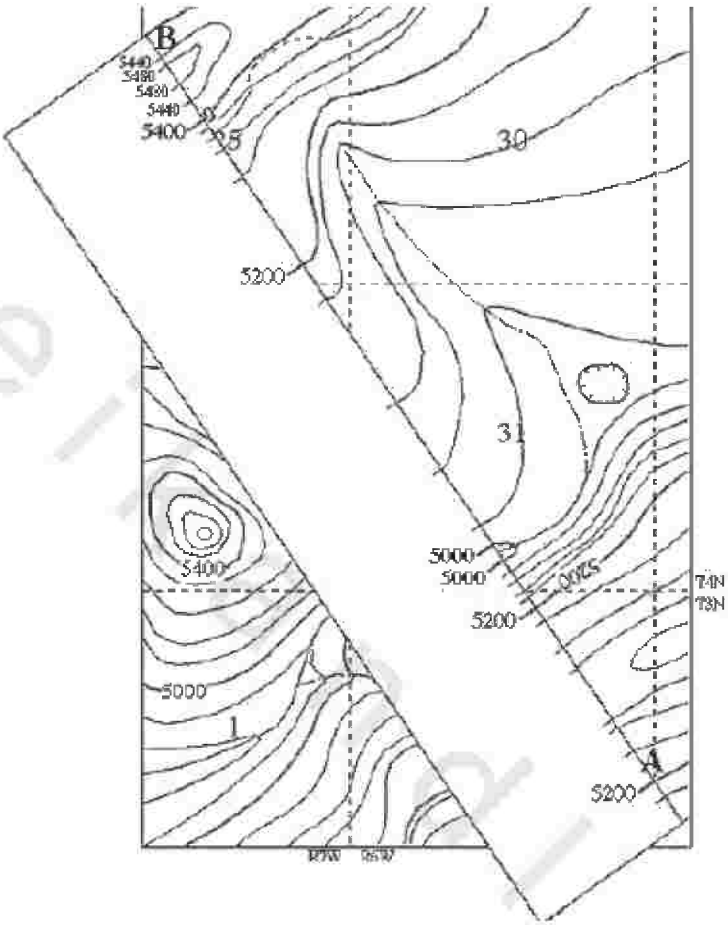
يقصد بكلمة مقطع ذلك الخط البياني الذي يجسد الشكل التضاريسي الذي ترمز إليه منحنيات التسوية على الخريطة، أوبعبارة أخرى فهوعبارة عن ترجمة بيانية لما تمثله منحنيات التسوية على الخريطة الطبوغرافية، فهويوضح شكل سطح الأرض بالنسبة لمستوى سطح البحر فيرتفع خط المقطع بارتفاع سطح الأرض من جبال وهضاب وغيرها من الظاهرات وينخفض بانخفاضه في مناطق السهول والوديان والأحواض. ويعتبر رسم المقاطع التضاريسية من أفضل الطرق لتعلم قراءة منحنيات التسوية، إذ يمكننا بعد التعود على رسم المقاطع من معرفة الشكل التضاريسي الذي تمثله منحنيات التسوية تلقائيا دون اللجوء إلى رسم المقاطع. كما يعتبر المقطع الطبوغرافي أساسي لدراسة أقنية الري ومشاريع الطرق والسكك الحديدية والكثير من المشاريع الهندسية.

(٥,١٠,١) طريقة رسم المقطع الطبوغرافي

لرسم مقطع طبوغرافي نقوم باتباع الخطوات التالية:

١- نقوم قبل كل شيء بتعيين نقطتين نحصر بينهما كل منحنيات التسوية التي نريد تحويلها إلى مقطع طبوغرافي ثم نصلهما بخط مستقيم ويسمى هذا الخط بخط المقطع.

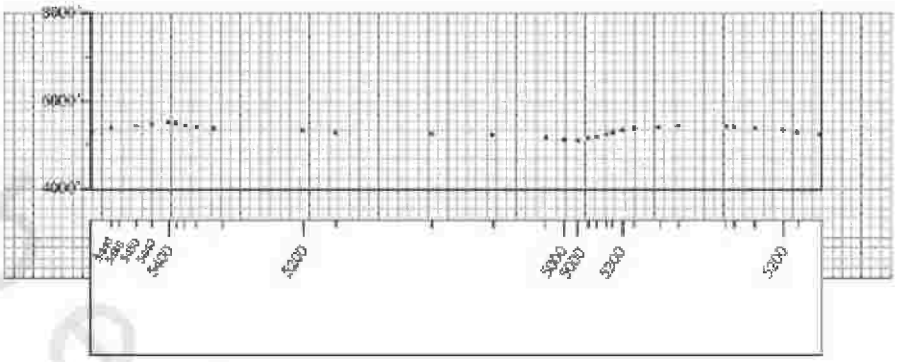
٢- نأتي بورقة مليمترية، ونرسم أسفلها خطا مستقيما يوازي حافتها العليا. يسمى هذا الخط الأفقي خط الأساس ويمثل مستوى سطح البحر، (انظر الشكل ٨٢).



الشكل (٨٢). تحديد خط المقطع.

٣- على الطرف الأيسر من خط الأساس نرسم خطا عموديا بالاتجاه العلوي نضع عليه قيم الارتفاعات التي تمثلها منحنيات التسوية المحصورة بين A، B. ويسمى هذا الخط خط الارتفاعات أوالمناسيب (ج. منسوب).

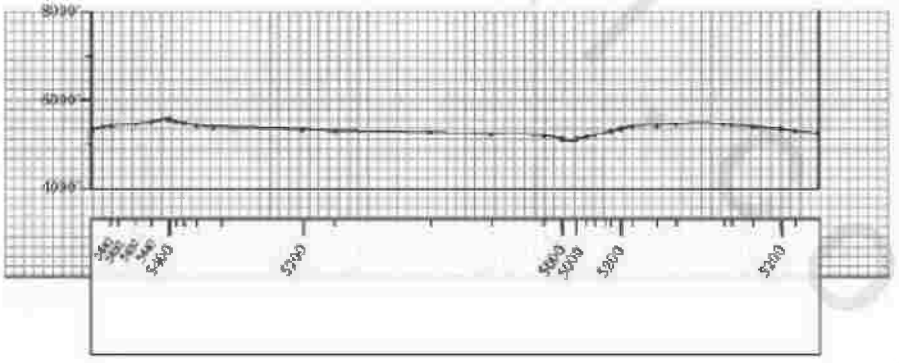
٤- نضع الحافة العليا للورقة على الخط أ ب الذي رسمناه على الخريطة الطبوغرافية بحيث تنطبق عليه تماما، ومن كل النقاط التي يتقاطع معها خط المقطع (وبالتالي حافة الورقة) بمنحنيات التسوية نسقط خطوطا رأسية نصلها بخط الأساس (خط مستوى سطح البحر)، (الشكل٨٣).



الشكل(٨٣). تؤيل النقاط عند رسم مقطع.

٥- انطلاقاً من خط الأساس نعين، بنقاط رفيعة، على كل الخطوط الرأسية الارتفاع الذي يمثله كل منحنى من المنحنيات التي أسقطنا منها هذه الخطوط، مستعينين في ذلك بالقيم المقابلة لها على خط الارتفاعات.

٦- نصل النقاط التي قمنا بتعيينها على الخطوط الرأسية بعضها ببعض فنحصل على المقطع التضاريسي الذي تمثله منحنيات التسوية. وبطبيعة الحال، يجب ألا يكون المنحنى الذي يمثل المقطع التضاريسي مرسوما بشكل مستقيم أومنكسر إلا في حالة وجود الجدار، (الشكل٨٤).



الشكل(٨٤). رسم المقطع.

نجد أحياناً منحنيي تسوية متجاورين لهما نفس الارتفاع ففي هذه الحالة يجب ألاّ نصل بينهما بخط مستقيم وإنما بخط محدب إذا كانت المنطقة المحصورة بينهما تمثل

مرتفعا (قمة جبل مثلا)، أوخط مقعر إذا كانت المنطقة المحصورة بينهما تمثل منخفضا (واد مثلا). ولمعرفة ما إذا كانت المنطقة المحصورة بينها منخفضة أومرتفعة يمكن الاستعانة ببعض النقاط الارتفاعية والتي تحمل هي الأخرى أرقاما تدل على الارتفاعات وتسمى بنقاط المناسيب.

٧- نكتب على منحنى المقطع الطبوغرافي بعض الأسماء الأساسية الموجودة ضمن المنطقة التي شملتها منحنيات التسوية مثل أسماء قمم الجبال أوأسماء بعض الأودية الرئيسية أوأسماء بعض المدن أوالقرى إن وجدت.

(٥,١٠,٢) المبالغة الرأسية

يستحسن في الحالات العادية أن يكون كل من خط الأساس وخط الارتفاعات مساويا لمقياس رسم الخريطة نفسها، أي أنه إذا كان مقياس الخريطة هو١/٥٠٠٠٠ فمعنى ذلك أن كل ١ سم على خط الأساس يساوي ٥٠٠ متراً، وكل ١سم على خط الارتفاعات يساوي ٥٠٠ متراً كذلك. وإن كان التوافق بن مقياس خط الأساس ومقياس الخريطة لا يطرح أي مشكلة بحيث نجدهما دائما متساويين فإن توافق مقياس خط الارتفاعات مع مقياس رسم الخريطة يطرح أحيانا بعض الصعوبات. فبعض الخرائط الطبوغرافية، نظراً لطبيعة الأشكال التضاريسية التي تمثلها كالسلاسل الجبلية مثلا، تجعلنا نلجأ إلى تغيير مقياس خط الارتفاعات لتوضيح تلك التفاصيل.

وغالبا ما يكون المقياس الجديد أكبر من مقياس الخريطة، وذلك لنتمكن من إبراز الظاهرة التضاريسية بوضوح أكبر. ويسمى هذا التكبير في مقياس رسم خط الارتفاعات بالمبالغة الرأسية (Vertical Exaggeration). فعلى سبيل المثال، إذا أردنا رسم مقطع من خريطة طبوغرافية مقياس رسمها ١/٥٠ ٠٠٠ وكان أعلى منسوب يمر به خط المقطع هو١٠٠٠ متر فعند الالتزام بتوحيد مقياس الرسم بين الخريطة وخط الارتفاعات سيكون طول هذا الأخير ٢ سم، وفي هذه الحالة لا يمكن رؤية شكل من

أشكال التضاريس، خاصة إذا كانت جبالا، على مقطع ينحصر ارتفاعه في ٢ سم مما يجعل هذا المقطع غير واضح وفاقدا لأهميته.

فالقاعدة العامة إذاً هوأن نتمسك بمقياس الخريطة على المحورين الرأسي والأفقي قدر الإمكان ولا نلجأ إلى المبالغة الرأسية إلا للضرورة، وحتى في هذه الحالة يجب أن تكون المبالغة معقولة ولا تزيد عن ٥ مرات. فإذا كنا أمام خريطة بمقياس ١/٥٠ ٠٠٠ مثلا فإن مقياس رسم خط الارتفاع يمكن أن يحول إلى ١/٢٥ ٠٠٠، أي أننا قمنا بالمبالغة مرتين لأن المقياس الثاني أكبر من الأول بمرتين، أوإلى ١/١٠ ٠٠٠ (المبالغة بخمس مرات). فإذا كانت المبالغة كبيرة جدا (٢٠ مرة مثلا) قد يتشوه الشكل التضاريسي ويصبح أضخم مما هوعليه في الواقع كأن تتحول الربوة الصغيرة إلى جبل ضخم بفعل هذه المبالغة الكبيرة.

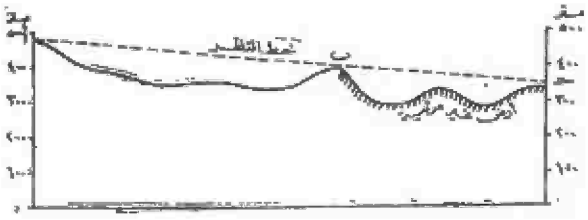
والجدير بالذكر أنه لا بد من كتابة قيمة المبالغة أومقياس محور الارتفاعات أسفل أوبجانب المقطع الطوبوغرافي.

(٣,١٠,٥) المناطق المرئية والمحجوبة

يقصد بالأرض غير المرئية هي تلك الأرض التي لا يمكن رؤيتها من نقطة معينة؛ بسبب وجود عائق يحول دون تلك الرؤية.

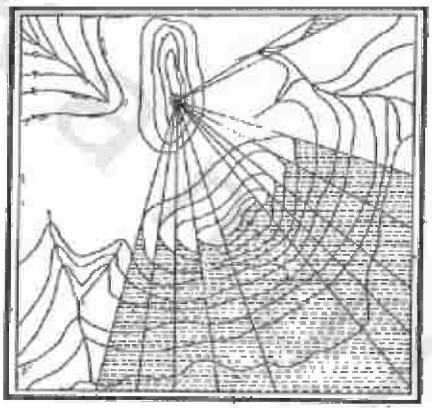
يتم تحديد المناطق المرئية والمحجوبة بهدف معرفة تحديد المناطق المرئية والمحجوبة من تلك النقطة ثم إسقاط تلك المناطق على الخارطة.

ويمكن أن نحدد الأرض غير المرئية من شكل الأرض(مقطع)، (الشكل٨٥) حيث نجد أن المنطقة المحصورة بين نقطتين (أ) ، (ب) واضحة بالنسبة لشخص الواقف عن النقطة (أ)، بينما المنطقة الواقعة بين نقطتي (ب) ، (جـ) غير واضحة لنفس الشخص فهي إذاً منطقه غير مرئية من النقطة (أ).



الشكل (٨٥). تحديد الأرض غير المرئية عن طريق رسم المقطع.

ولرسم المناطق غير المرئية ، نفترض خروج حزمة أشعه من نقطه الرصد في جميع الاتجاهات بحيث تغطي ٣٦٠درجة اعتباراً من نقطة الرصد ، وفي كل شعاع نرسم مقطعا لمحدد من خلاله المناطق المرئية والمناطق المحجوبة ، (انظر الشكل ٨٦).



الشكل(٨٦). المناطق المرئية والمحجوبة لنقطة رصد.

وتختلف المنطقة غير المرئية ، تبعاً لاختلاف النقطة التي تتم منها عمليه الرصد.

وقد استخدم بعض الباحثين طرقاً عديدة ودقيقة لتحديد المناطق المرئية والمحجوبة على الخرائط ، ليس فقط من وجهة النظر التي شرحناها سابقا ، ولكن مع الاهتمام بدرجة ميل أشعة الشمس واختلاف هذا الميل من ساعة إلى أخرى من ساعات النهار ، فلا يتم تظليل المنطقة بالكامل ولكن يتم تظليل الجزء الذي يختفي وراء خط التسوية في الجانب الذي لا يواجه أشعة الشمس فلم تعد المنطقة التي تهتم الخريطة بتظليلها أرضاً غير مرئية بل أرضاً تقع في ظل الشمس.[٢٣]