الجمهورية العربية السورية
جامعة البعث
كليــة العلـوم

# الجيولوجيا البنيوية-2

## لطـــــلاب

## السنة الثالثة – علوم جيولوجية

## تكملة جلسات العملي

الدكتور علي شحود

أستاذ في قسم الجيولوجيا

**1441-1440**

**2020-2019**

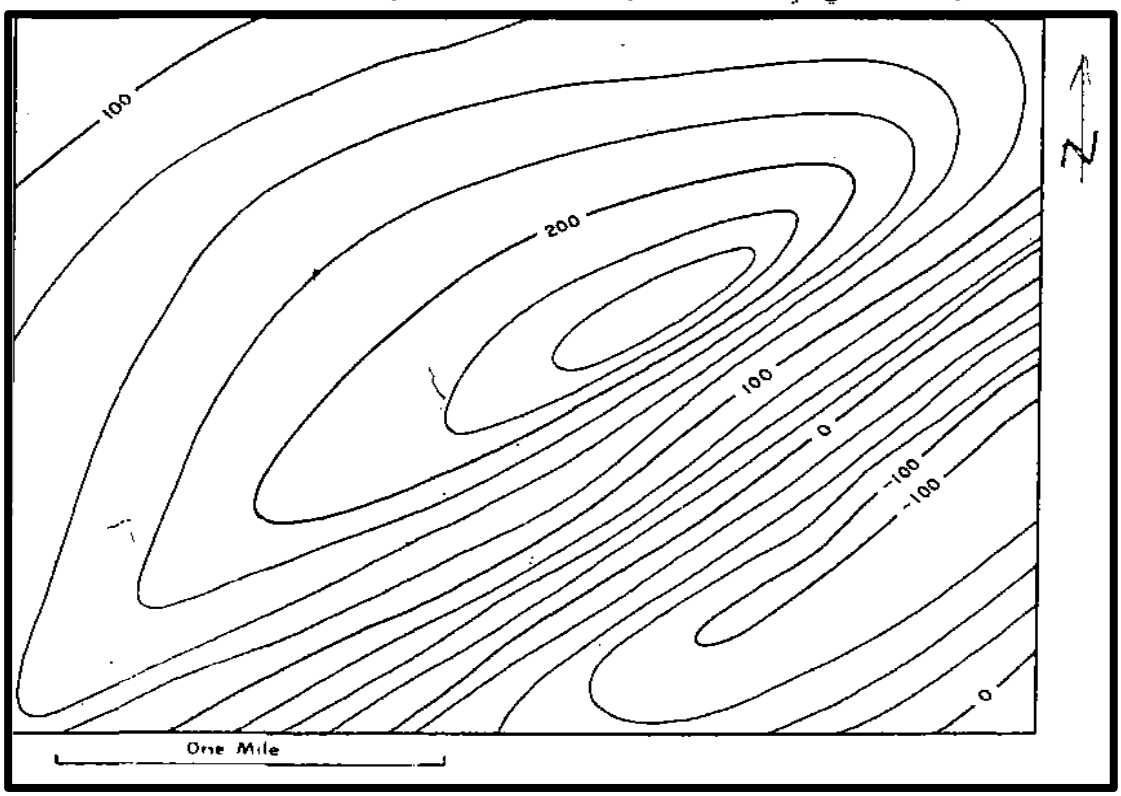
## جلسات العملي الثامنة والتاسعة

## خطوط التسوية البنيوية وخطوط تساوي الثخانة.

**11-1- خطوط التسوية البنيوية Structural contours:** هي خطوط وهمية تصل بين النقاط متساوية الارتفاع (أو العمق) عن مستوي مرجعي معين (سطح البحر على الأغلب). وتقع على سطح محدّد غير مستوي. وتمس كل نقطة من نقاطها هذا السطح مما يعطيها الشكل غير المستقيم. ترسم هذه الخطوط غالباً من أجل السطوح العلوية للطبقات أو التشكيلات الرسوبية. وقد ترسم أيضاً من أجل سطوح أخرى كالصدوع وسطوح اللاتوافق والركيزة البلورية. تتشابه خطوط التسوية البنيوية إلى حد ما مع خطوط التسوية الطبوغرافية وتتبّع القواعد نفسها تقريباً في إنشاء تلك الخطوط. ومع ذلك فإن خرائط خطوط التسوية البنيوية (الخرائط البنيوية) تتمتع بصفات خاصة. فهي تُظهر الشكل الذي يأخذه سطح طبقة أو تشكيلة مثلاً. وهذه قد تكون مصابة بصدع. بينما تظهر خرائط خطوط التسوية الطبوغرافية (الخرائط الطبوغرافية) شكل تضاريس سطح الأرض.

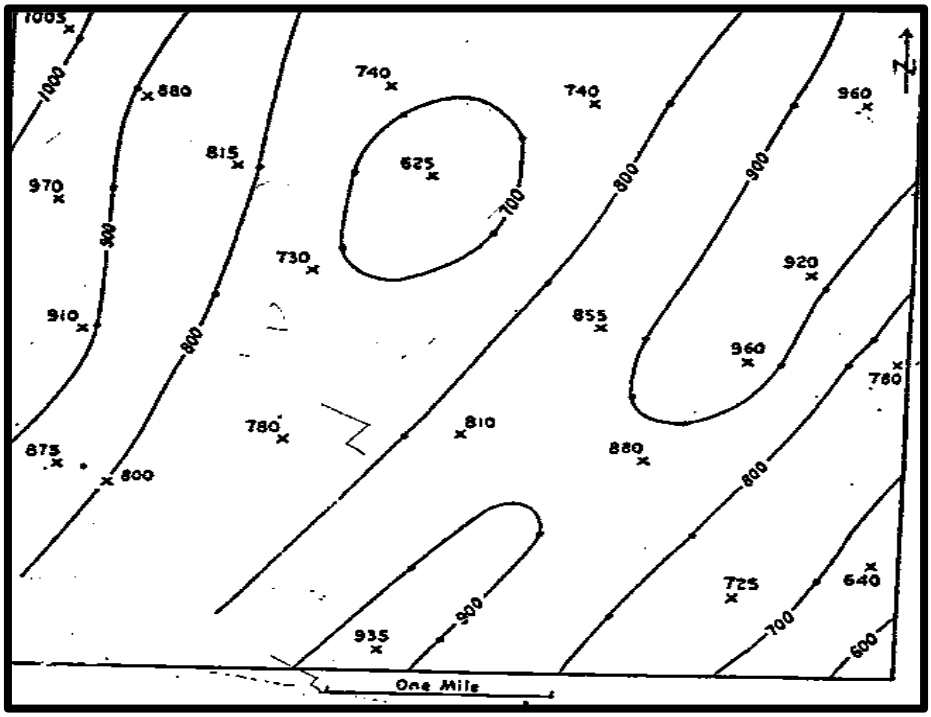
وتساعد خطوط التسوية البنيوية على تحديد ميل السطح الممثل بدقة. وكما هو الحال في الخرائط الطبوغرافية. كلما تقربت الخطوط (التي تكون الفواصل الشاقولية بينها ثابتة) كلما كان ميل السطح شديداً. هذا وإن لخرائط خطوط التسوية البنيوية أهمية خاصة في المناطق التي تكون ميول السطح فيها خفيفة أو لإظهار البنيات المنتشرة على مساحات واسعة.

**مثال:** تمثل خارطة خطوط التسوية البنيوية المبينة في الشكل (11-1) محدّباً غير متناظر متغرق باتجاهين. يحدد من الجهة الجنوبية الشرقية مقعر متغرق نحو الشمال الشرقي. ويلاحظ أن الجناح الجنوبي الشرقي للمحدب حيث تتقارب منحنيات التسوية أشد ميلاً من الجناح الشمالي الغربي. كما أن تغريق المحدب باتجاه الشمال الشرقي أكبر من تغريقه باتجاه الجنوب الغربي. ويمكن تحديد زاوية الميل في أي مكان من الخارطة وذلك من خلال معرفة المقياس.




**الشكل (11-1): خارطة خطوط تسوية بنيوية تمثل محدّباً ومقعراً (أنظر الفقرة 11-1).**

**11-1-1- طريقة انشاء خرائط خطوط التسوية البنيوية:** يمكن شرح هذه الطريقة من خلال الخارطة المبينة في الشكل (11-2) حيث حددت مواقع عدد من النقاط معروفة الارتفاع وتقع على السطح العلوي لطبقة كلسية. والمطلوب رسم خطوط التسوية البنيوية لهذا السطح بفواصل شاقولية مقدارها (100م). يلاحظ على الخارطة أن هناك نقطة واقعة عند الزاوية الجنوبية الغربية يبلغ ارتفاعها 800م. إن خط الـ 800م سيمر من هذه النقطة. وكذلك يجب استنتاج مواقع مرور الخطوط بين كل زوج من النقاط المعطاة في هذه الخارطة. حيث يلاحظ مثلاً عند الزاوية الشمالية الشرقية نقطتين واقعتين على سطح الطبقة يبلغ ارتفعهما 740 و960م. ولهذا فإن خط الـ 800م وخط الـ 900م سيمران بين هاتين النقطتين بحيث أن بعد خط الـ 800م عن النقطة 740م سيأخذ نسبة 6/22 من المسافة الكلية المحصورة بين هاتين النقطتين. أما خط الـ 900م فيمر على بعد يعادل 16/22 من المسافة الكلية المحصورة بينهما. ويمكن بنفس الطريقة إيجاد مواقع خطوط التسوية في المناطق الأخرى من الخارطة. ويتم تعديل مسارات الخطوط المرسومة بهذه الطريقة بحيث تتحول المنعطفات الحادة إلى منعطفات لطيفة أقل حدة.




**الشكل (11-2) طريقة إنشاء خطوط التسوية البنيوية (أنظر الفقرة 11-1-1).**

تعطي خرائط خطوط التسوية البنيوية الموضوعة بهذا الشكل تقديراً أولياً للصورة البنيوية الحقيقية. ويمكن إدخال تحسينات عليها من خلال معطيات إضافية ومن خلال خبرة الجيولوجي الذي قام بتنفيذها. ومن الطبيعي أن تزداد الخارطة دقة كلما كانت كثافة النقاط المعطاة أكبر. وكلما كانت المعطيات الإضافية أكثر. كما أن خطوط التسوية البنيوية لنفس السطح المدروس قد تأخذ شكلين مختلفين. يوضّح الشكل (11-3-a) أن أحد جناحي الطية ذا ميل شديد شاذ نتيجة الرسم المباشر للخطوط. ولكن إذا أخذنا بالحسبان أن رسم الخطوط يجب أن يتم بمسافات أفقية متعادلة تقريباً وأن تغير الاتجاه تدريجي وليس فجائي. فستظهر لدينا بنية مصدعة الشكل (11-3-b).

**11-1-2- خطوط التسوية البنيوية والصدوع: يؤدي** وجود الصدوع إلى فصل السطح البنيوي المدروس إلى جزأين أو أكثر على خلاف السطح الطبوغرافي. وهذا مايسبب انقطاعات في خطوط التسوية البنيوية. نميز فيها ثلاث حالات رئيسة هي الشكل (11-4-a):

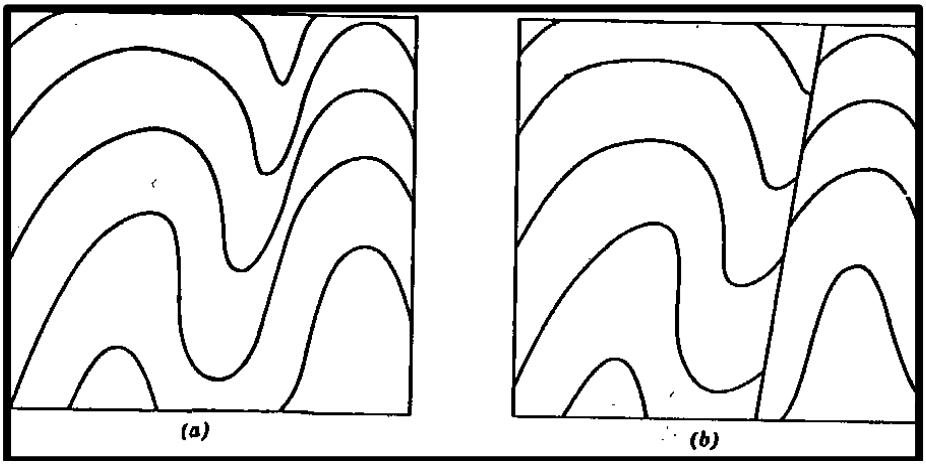
أ- حالة الصدوع الشاقولية Vertical faults:

تسبب هذه الحالة انزياحاً لخطوط التسوية البنيوية الشكل (11-4-a).

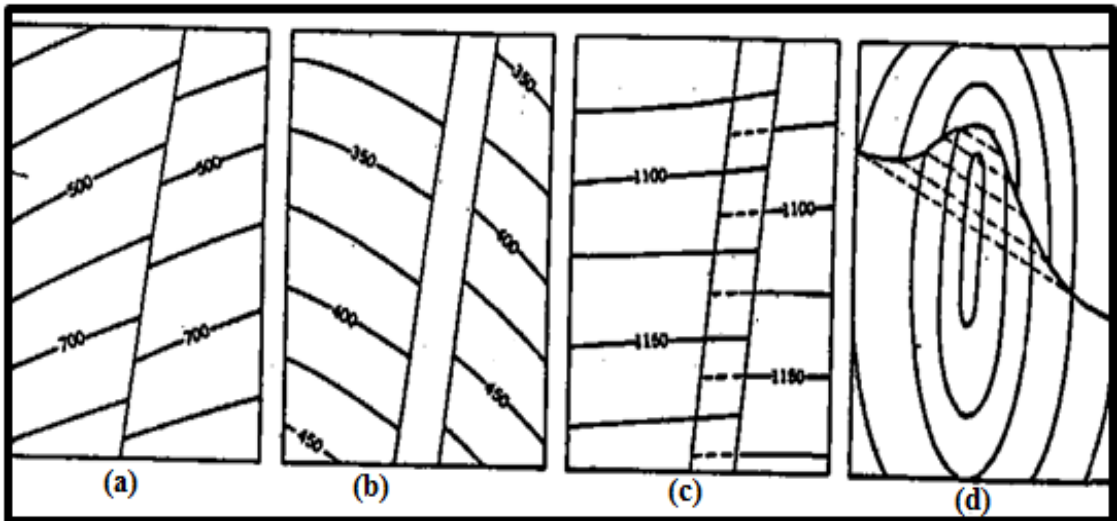
ب- حالة الصدوع العادية normal faults: تسبب وجود ثغرة على امتداد الخطوط الشكل (11-4-b).

جـ- حالة الصدوع المقلوبة أو التراكبية reverse or thrust faults: تسبب تراكباً للخطوط، حيث يرمز عادة للخطوط المغطاة بخطوط منقطعة الشكل (11-4-c).

ويمكن تمثيل سطوح الصدوع بمنحنيات تسوية بنيوية خاصة الشكل (11-4-d) تساعد في التحديد الهندسي للصدوع.




**الشكل (11-3): تدقيق الخارطة (أنظر النص).**




**الشكل (11-4): خطوط تسوية بنيوية عائدة لسطوح مصدعة. a-صدع شاقولي. b- صدع عادي. c-صدع مقلوب. d-طية مصدعة.**

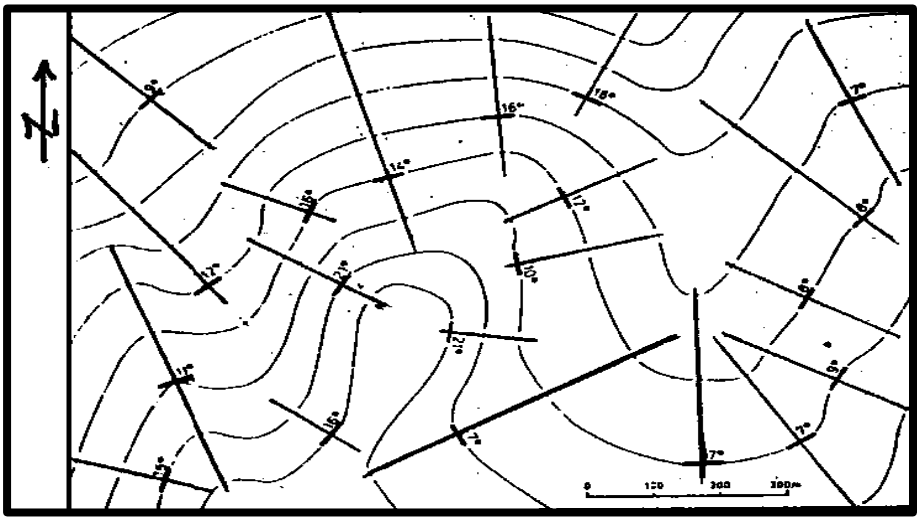
## 11-2- انشاء خرائط خطوط التسوية الشكلية:

ينشأ هذا النوع من الخرائط في المناطق التي يتعذر فيها تمييز سطح معلم لنقص في التكشفات. أو لأن الطبقات كتلية ثخينة يصعب تحديد سطحها العلوي والسفلي. إن الشرط الأساسي لإنشاء تل هذه الخرائط هو وجود عدد كافٍ من قياسات الاتجاه والميل. وأن لاتكون الطبقات مشوهة إلى حد كبير. تمكّن هذه الطريقة من وضع خرائط تقريبية لشكل البنية السائدة في المنطقة. ولإنشاء هذه الخرائطن توقّع المعلومات المتعلقة بالاتجاه والميل على مخطط المنطقة المدروسة. ويمدد الخط المعبّر عن اتجاه الميل نحو الجانبين الشكل (11-5). ثم يقسّم هذا الخط إلى أجزاء بقدر المسافات الأفقية الفاصلة بين خطوط

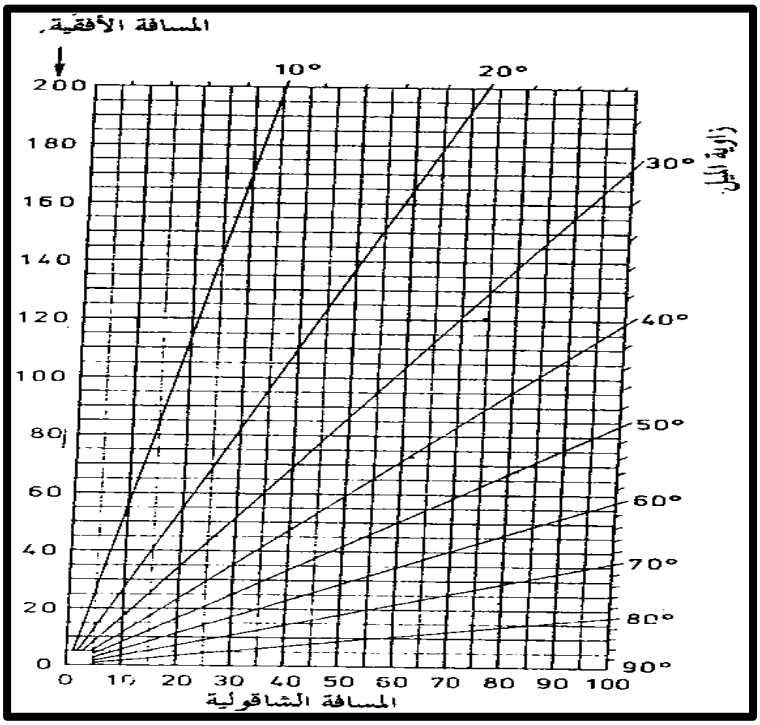
التسوية الشكلية (وذلك بعد اختيار المسافات الشاقولية بينها بما يتناسب ووضع البنية المدروسة). تحدّد قيمة المسافات الأفقية على كل خط من خلال العلاقة:

**المسافة الأفقية=المسافة الشاقولية × تظل زاوية الميل**

أو من خلال المخطط البياني الموضّح في الشكل (11–6).



**الشكل (11–5): انشاء خارطة خطوط التسوية الشكلية.**




**الشكل (11–6): مخطط بياني لتحديد المسافة الأفقية الكائنة بين خطوط التسوية عن إنشاء الخرائط الجيولوجية أو الطبوغرافية أو خرائط خطوط التسوية البنيوية. يتم توقيع قيمة المسافة الشاقولية لخطوط التسوية على المحور الأفقي. ثم توجد النقطة الناتجة عن تقاطع الخط الشاقولي المحدد لهذه القيمة مع الشعاع المعبر عن قيمة زاوية الميل المناسبة. أن الخط الأفقي المار من هذه النقطة يقطع المحور الشاقولي في نقطة تعبر عن المسافة الأفقية المطلوبة.**

**مثال: المسافة الشاقولية 50م وزاوية الميل 40° فتكون المسافة الأفقية 60م.**

يتم بعد ذلك رسم هذه الخطوط بحيث يراعى أن تكون معامدة في مسارها لاتجاه الميل. يجب التنويه مرة أخرى إلى أن الخارطة التي تحصل عليها بهذه الطريقة هي خارطة تقريبية للبنية المدروسة. كما وأنه بسبب غياب سطح المعلم فإنه من غير الممكن إعطاء قيم ارتفاعات الخطوط المدروسة.

### 11-3- خرائط تساوي الثخانة Isopach map وخرائط تساوي الثخانة الشاقولية Isochore map

تعتمد خرائط تساوي الثخانة على قيم الثخانة الحقيقية للطبقة أو للتشكيلة الصخرية المدروسة. وتعبر المنحنيات في هذه الخرائط عن تساوي الثخانة في النقاط التي تمر بها. ولهذه الخرائط أهمية خاصة في دراسة الثخانة الإقليمية وتغيراتها للوحدات الترسيبية مما يساعد في فهم النواحي الباليوجغرافية خلال زمن الترسيب. يوجد نوع آخر من هذه الخرائط يختلف هذا النوع السابق باعتماد قيم الثخانة الشاقولية بدلاً من الحقيقية. وتتضمن هذه الخرائط خطوطاً تمر من النقاط التي تتساوى فيها المسافة الشاقولية بين السطح العلوي والسطح السفلي للطبقة أو للتشكيلة الصخرية وهي تدعى خرائط تساوي الثخانة الشاقولية. تتبع أهمية هذه الخرائط من أنها تبين الوضع الحالي للطبقات أكثر من تعبيرها عن الثخانة الحقيقية الناتجة بشكل أساسي عن شروط الطبقة الأولية. وإذا وجدت خارطة خطوط تسوية بنيوية للسطح العلوي لطبقة ما وخارطة الثخانة الشاقولية لها. فإنه يمكن من خلالهما وضع خارطة ثالثة تعبر عن السطح السفلي لهذه الطبقة (أو السطح العلوي للطبقة التي تدنوها) وذلك من خلال إجراء عملية طرح بسيطة. وفي حال كون الطبقات ضعيفة الميول فإن خرائط تساوي الثخانة تتشابه إلى حد كبير مع خرائط تساوي الثخانة الشاقولية أو أنها متكافئة من الناحية العملية. تشابه طريقة رسم هذه الخرائط بشكل عام طريقة رسم خرائط التسوية الأخرى (البنيوية والطبوغرافية وغيرها...).

**مثال:**

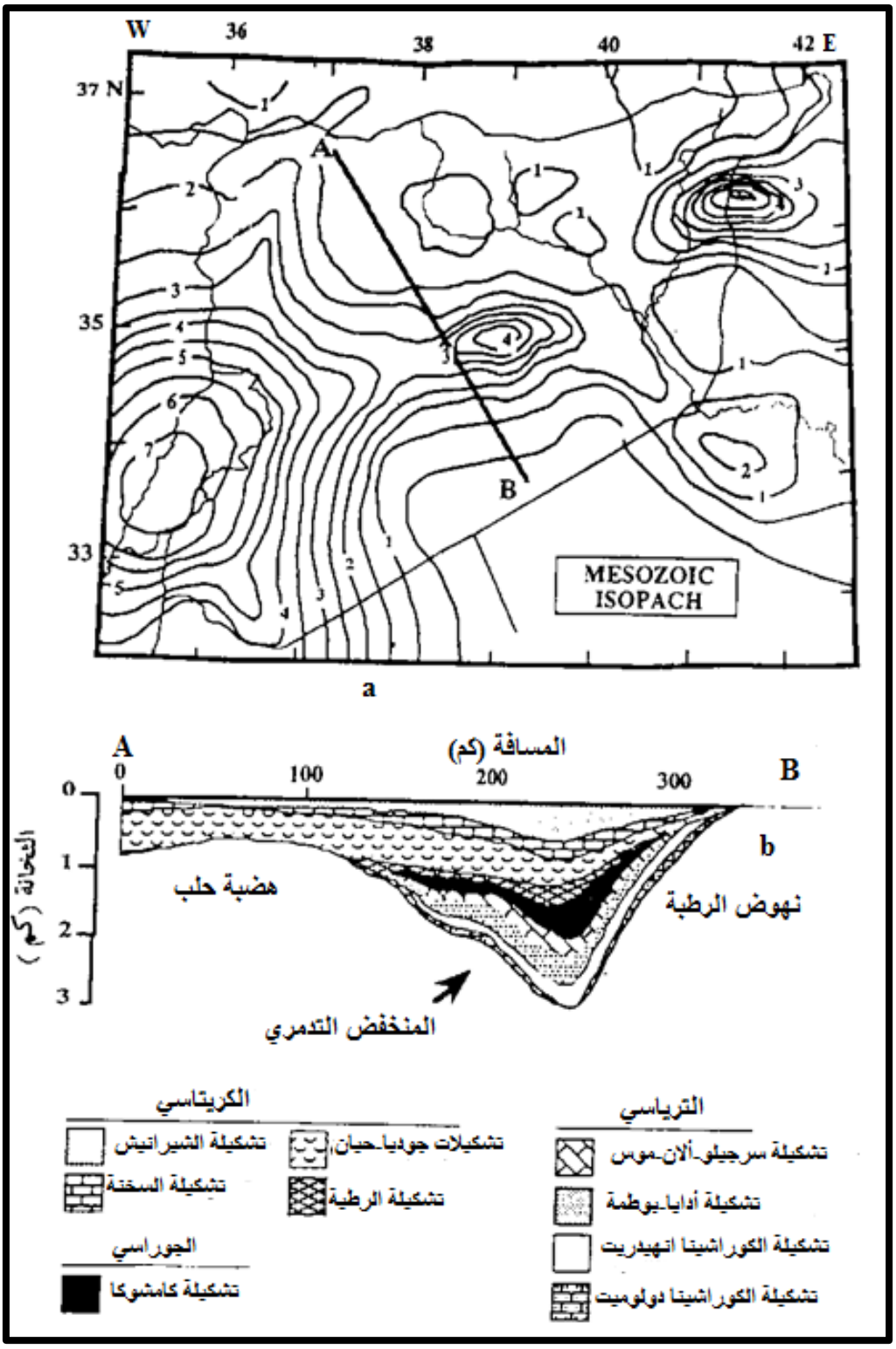
يبين الشكل (11-7-a) خارطة تساوي تشكيلات الحقب الثاني (الميزوزوي) في سورية. لاحظ المنخفض الضيق المتميز بازدياد ثخانة هذه التشكيلات في وسط سورية (الحوض التدمري). وكذلك الحوض الترسيبي الميزوزوي الرئيس في مناطق غرب سورية ولبنان وشرق المتوسط. أما الشكل (11-7-b) فيبين المقطع AB الظاهر على الخارطة ويوضّح الثخانات والصفات الليتولوجية لتشكيلات الحقب الثاني.

### 11-4- تمارين:

#### 11-4-1- التمرين الأول:

يبين الشكل (11-8) ست خرائط خطوط تسوية بنيوية. فلو افترضنا أن هذه الخرائط تعبر عن نفس سطح المعلم وأن سطح الأرض مستوي يبلغ ارتفاعه 1500م فوق سطح البحر، المطلوب:

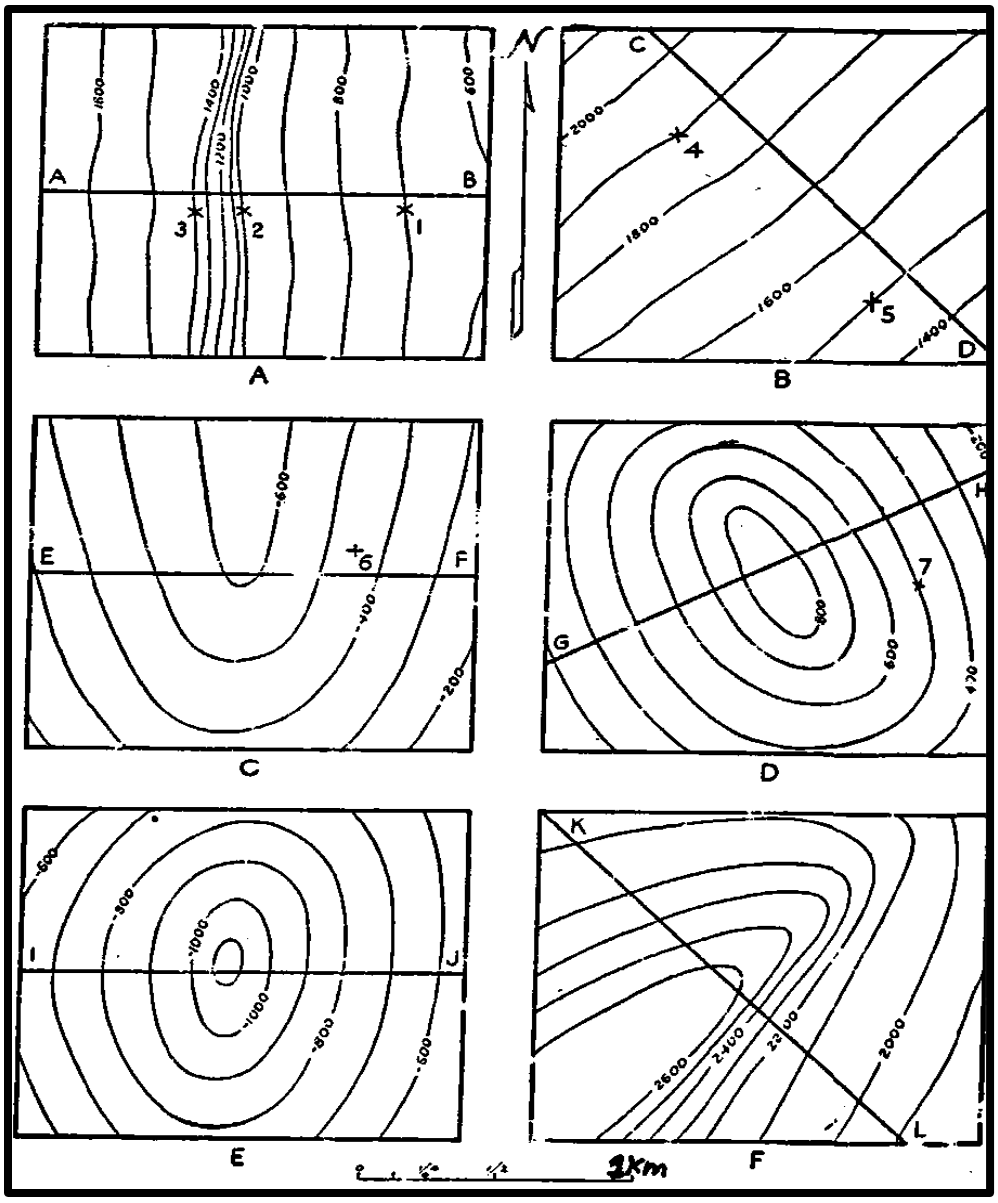
- تفسير البنيات التي تعبر عنها كل خارطة مستعيناً برسم المقاطع البنيوية الموضحة في كل خارطة (المقياس الشاقولي 1:10000.
- حدّد مايلي:
- ماهو ميل سطح المعلم في الخارطة A وذلك بين النقطتين 1 و2 وكذلك بين 2 و3.
- ماهو ميل سطح المعلم في الخارطة B وذلك بين النقطتين 4 و5.
- ماهو عمق سطح المعلم في الخارطة C وذلك عند النقطة 6 اعتباراً من سطح الأرض.
- ماهو عمق سطح المعلم في الخارطة D وذلك في النقطة 7 اعتباراً من سطح الأرض.




الشكل (11-7):

a-خارطة تساوي ثخانة تشكيلات الحقب الثاني. الفواصل بين خطوط التسوية تعادل 500م.

b-مقطع AB المبين على الخارطة يوضّح الثخانات والصفات الليتولوجية لتشكيلات الحقب الثاني.




**الشكل (11–8): الخرائط البنيوية المستخدمة في التمرين الأول (فقرة 11–4–1).**

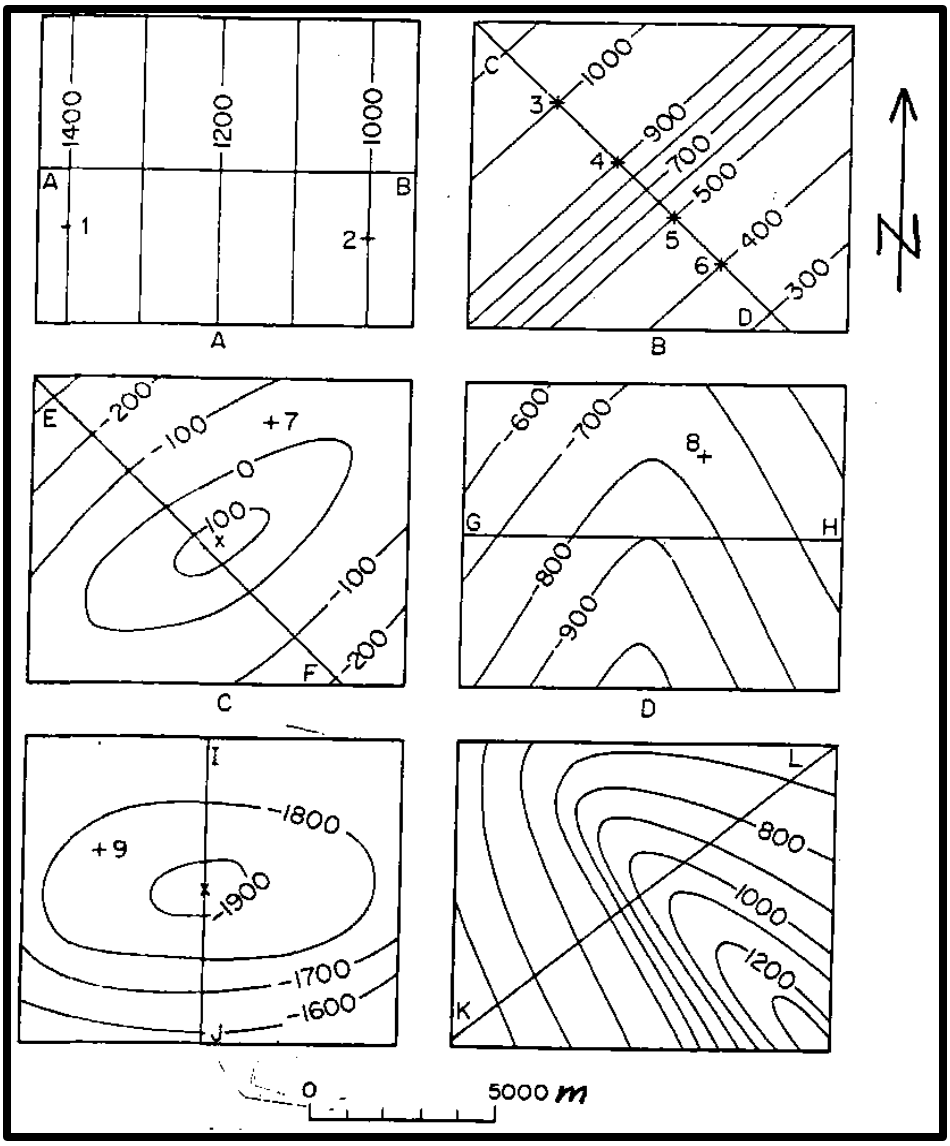
### 11–4–2– التمرين الثاني:

يبين الشكل (11–9) عدداً من خرائط التسوية البنيوية. وكما هو الحال في التمرين السابق. لو افترضنا أن كل هذه الخرائط تعبر عن نفس سطح المعلم وأن سطح الأرض مستوي ويبلغ ارتفاعه 1500م عن سطح البحر (لاحظ أن بعض أرقام منحنيات التسوية سالبة في بعض الحالات) المطلوب:

– فسّر البنية الظاهرة في كل خارطة وارسم المقاطع الموضّحة فيها (من الضروري إجراء مبالغة شاقولية لمقياس رسم المقاطع بقيمة 10).

– ماهو ميل سطح المعلم بين النقطتين 1 و2 وبين 3 و4 وبين 4 و5 وبين 5 و6.

– ماهو عمق سطح المعلم عند النقاط 7 و8 و9 وذلك اعتباراً من سطح الأرض.




**الشكل (11–9): الخرائط البنيوية المستخدمة في التمرين الثاني (فقرة 11–4–2). (أرقام الخطوط بالأمتار).**

**11–4–3– التمرين الثالث:** يبين الشكل (11–10) نقاط معطيات تحت سطحية. تتضمن ارتفاع سطح التشكيلة المدروسة في كل نقطة والثخانة الشاقولية للتشكيلة (الرقم الموجود بين قوسين) والمطلوب:

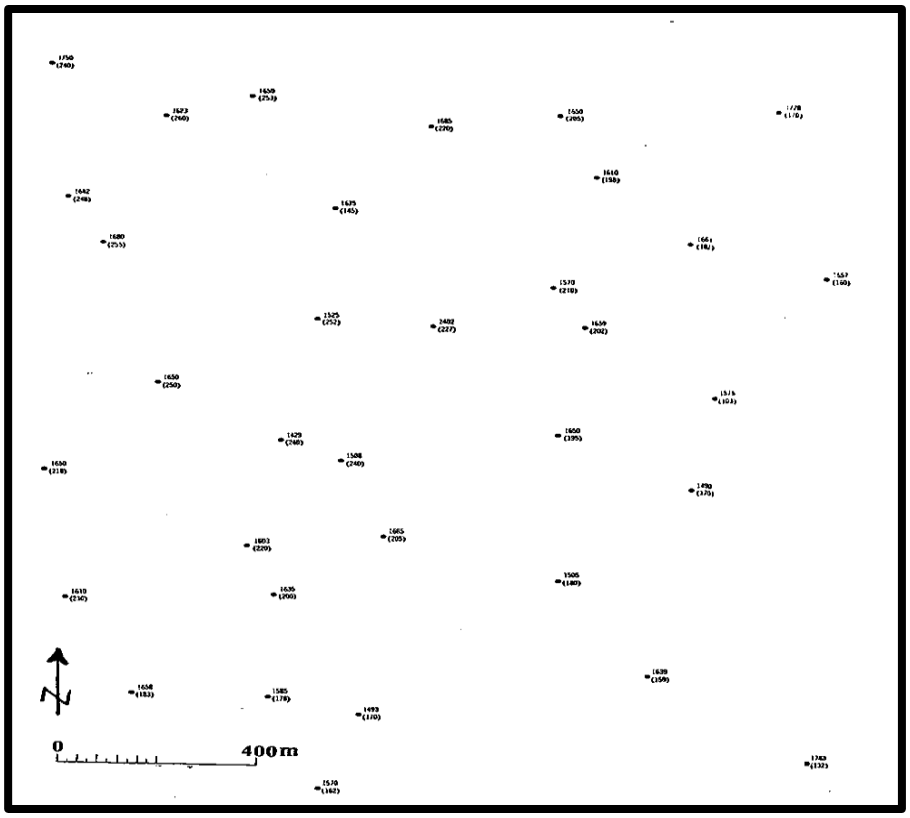
– رسم خارطة خطوط تسوية بنيوية للسطح العلوي للتشكيلة.

– رسم خارطة تساوي الثخانة الشاقولية.

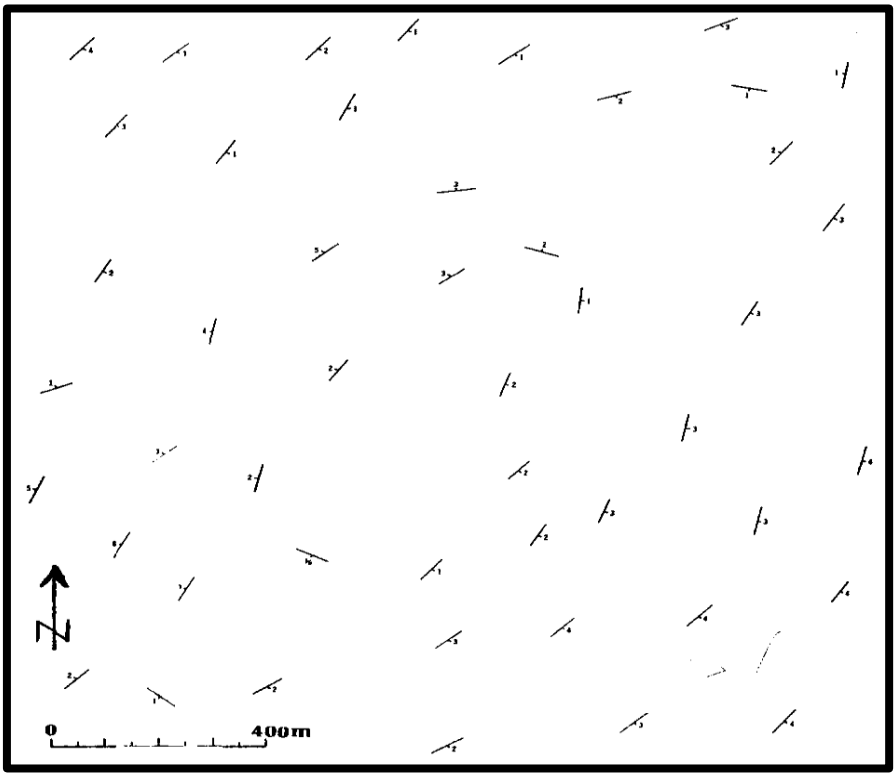
– رسم خارطة خطوط تسوية بنيوية للسطح السفلي للتشكيلة.

**11–4–4– التمرين الرابع:** يبين الشكل (11–11) مواقع قياسات الاتجاه والميل لتشكيلة صخرية. تتميز المنطقة بتضاريس بسيطة، ولم يكن تحديد سطح معلم ممكناً. وضّح هذه البنية من خلال خطوط التسوية الشكلية.

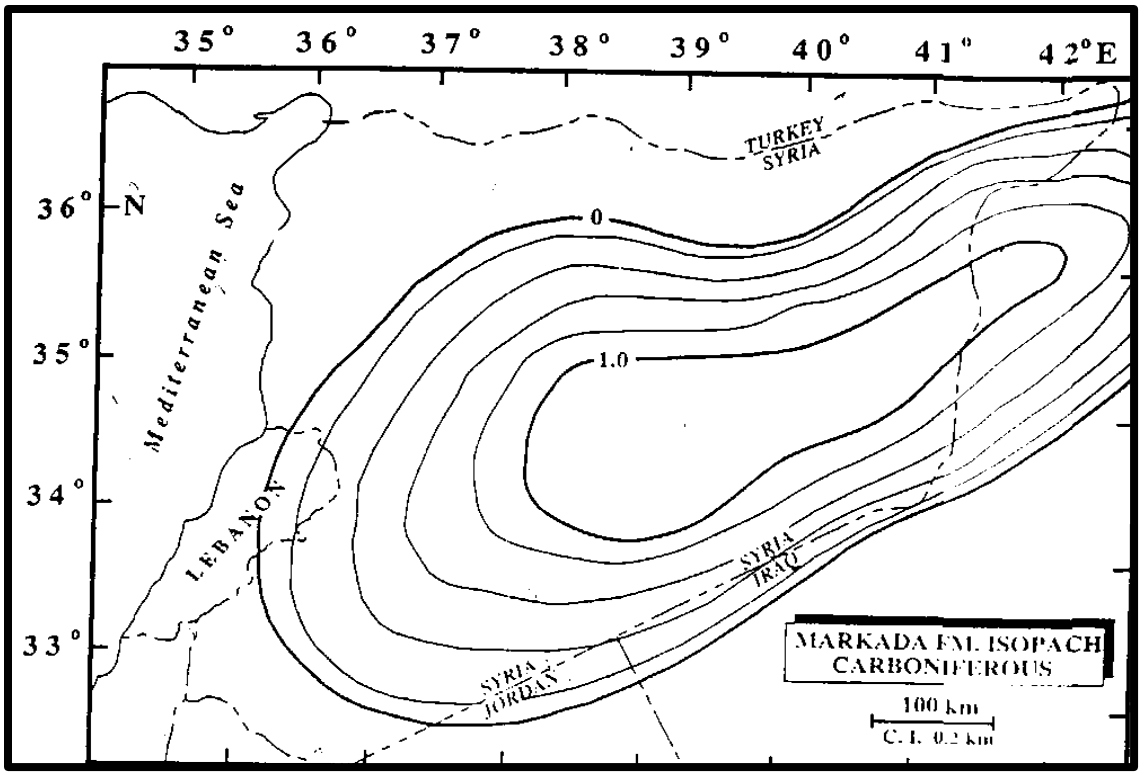
**11–4–5– التمرين الخامس:** يبين كل من الشكلين (11–12 و11–13) خارطة تساوي ثخانة تشكيلة مرقدة (كربوني) وخارطة تساوي ثخانة الكريتاسي في سورية على التتالي. فسّر هاتين الخارطتين وارسم المقاطع التي تراها مناسبة لبيان تغيرات الثخانة.



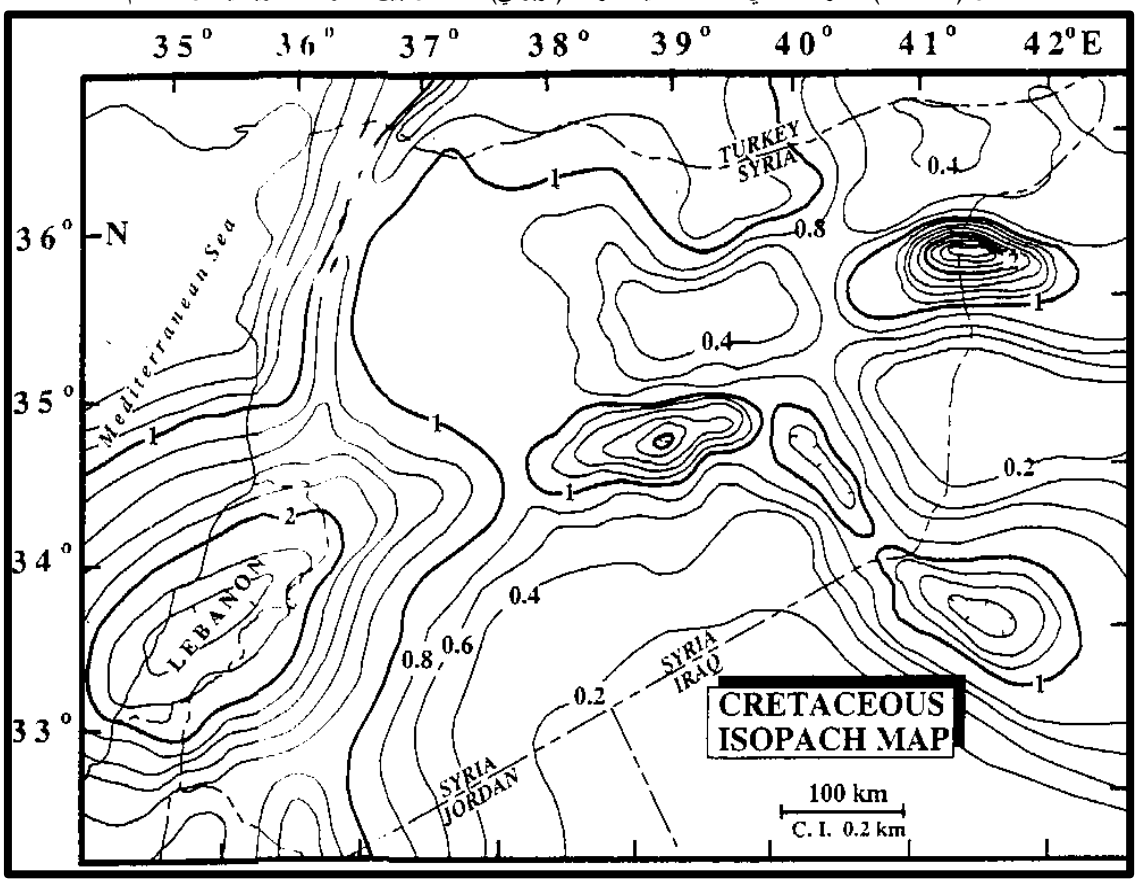

**الشكل (11–10): الخارطة المستخدمة في التمرين الثالث (فقرة 11–4–3).**




**الشكل (11–11): الخارطة المستخدمة في التمرين الرابع (فقرة 11–4–4).**




الشكل (11–12): خارطة تساي ثخانة تشكيلة مرقدة (كربوني). الفاصل بين خطوط التسوية يعادل 200م.




الشكل (11–13): خارطة تساوي ثخانة صخور الكريتاسي. الفاصل بين خطوط التسوية يعادل 200م.

## العاشرة والحادية عشر

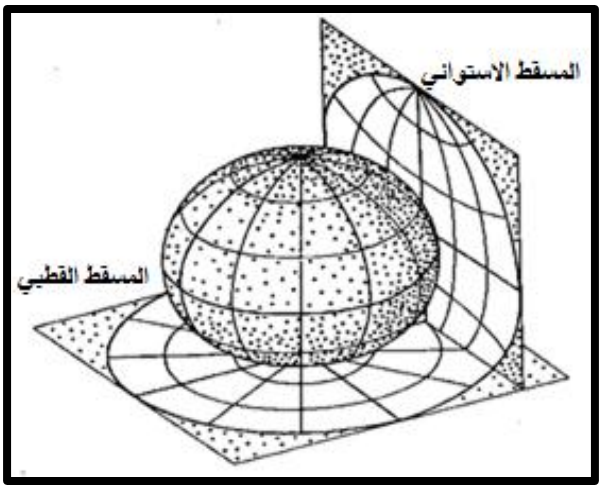
## شبكة شميت واستخدامها في الجيولوجيا البنيوية

**12-1- مقدمة:** تستخدم شبكة شميت Schmidt net لتمثيل الوضعيات الفراغية للبنيات. وهي تعطى هذا الاسم نسبة لفولفغانغ شميت Wolfgang Schmidt الذي كان أول من استخدمها عام 1925 في تطبيقات الجيولوجيا البنيوية. تعد شبكة شميت إسقاطاً محافظاً على المساحة لكرة على مستوٍ. وذلك إما على شكل مسقط استوائي (حيث أن مستوي الإسقاط يمس الكرة في نقطة واقعة على خط استوائها) أو على شكل مسقط قطبي (حيث أن مستوي الإسقاط يمس الكرة في نقطة قطبها) الشكل (12-1) والشكل (12-2). تتبع أهمية هذا النوع من المخططات في أن الوضعيات الفراغية للسطوح (طبقات صدوع، شقوق...) أو للخطوط (محاور طيات، خدوش...) تتمثل بنقطة عليها. وعلى العكس أيضاً فإنه يمكن من خلال نقطة موجودة على شبكة شميت تحديد قيم الوضعية الفراغية (الاتجاه والميل) للعنصر الذي تمثله هذه النقطة. يعني الاسقاط المحافظ على المساحة أن تناقص مساحة فتحات شبكة شميت (المحصورة بين خطوط الطول والعرض) اعتباراً من خط الاستواء باتجاه القطبين يحدث بنفس النسبة التي تتناقص بها مساحات فتحات الشبكة على سطح الكرة وبنفس الاتجاه. وهذا يعني أن فتحات الشبكة يكون لها مساحات متساوية عندما تكون محاطة بنفس الدائرتين الصغيرتين (خطي العرض) فقط. وبشكل عام فإن المسقط الاستوائي لشبكة شميت هو الأكثر استخداماً في التطبيقات. خاصة عندما يتعلق الأمر بإنشاء الدوائر الكبيرة. إلا أن المسقط القطبي له فوائده أيضاً خاصة عندما يراد إسقاط عدد عدد كبير من النقاط يدوياً من حيث أنه يخفض الزمن اللازم لعملية الاسقاط. النوع الآخر هو الاسقاط المحافظ على الزوايا. والذي نحصل من خلاله على شبكة وولف Wulf net الأكثر استخداماً في علم البلورات الشكل (12-2). ويمكن تمييز المسقط الاستوائي لشبكة شميت عنه لشبكة وولف بسهولة إذا نظرنا إلى الدائرة الصغيرة (خط العرض) المحيطة بالقطب. فإذا كانت هذه تأخذ مساراص إهليجياً فهذا يعني أن هذه الشبكة هي شبكة شميت. أما إذا كانت تأخذ مساراً دائرياً فهي شبكة وولف. علاوة على ذلك فإن الدوائر الكبيرة والدوائر الصغيرة (خطوط الطول وخطوط العرض) تتعامد مع بعضها في شبكة وولف بينما تكون غير متعامدة في شبكة شميت الشكل (12-2). أما المسقط القطبي لشبكة شميت فيتميز بأن المسافة بين الدوائر الصغيرة تتناقص من مركز الشبكة باتجاه المحيط بينما تزداد بنفس الاتجاه في شبكة وولف. يعد الاسقاط المحافظ على المساحة الشرط الأساسي لإنشاء خطوط تساوي الكثافة (عند إجراء الدراسات الإحصائية للشقوق مثلاً). وهذا مايجعل شبكة شميت الأكثر استخداماً في مجال الجيولوجيا البنيوية من شبكة وولف. ومن هنا فإننا سنعتمد في تطبيقاتنا اللاحقة شبكة شميت كأساس للإسقاط.

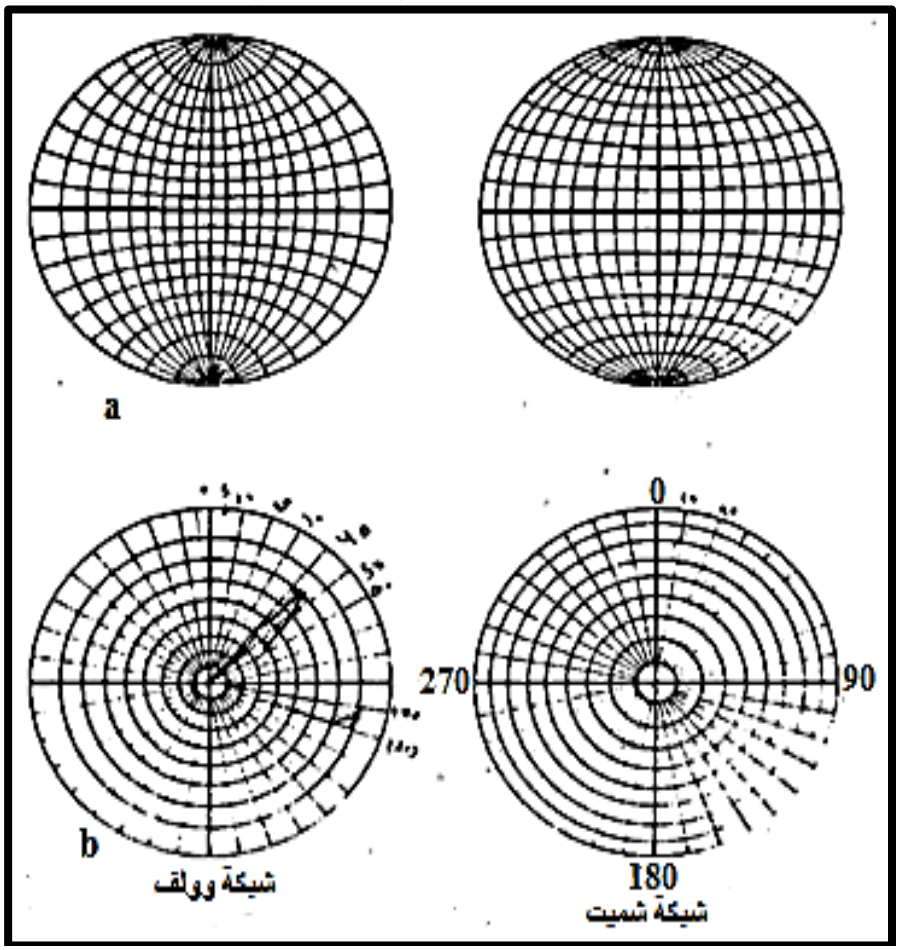
**12-2- نصف الكرة:**

تمثل شبكة شميت الدوائر الكبيرة والصغيرة لنصف كرة. ويمكن للعناصر المستوية والخطية أن تسقط سواء في النصف الأسفل لكرة (مفتوح نحو الأعلى ∪) أو في النصف الأعلى لكرة (مفتوح نحو الأسفل ∩). إلا أن الأكثر شيوعاً في المراجع والأعمال العلمية هو استخدام نصف الكرة الأسفل.

إن استخدام نصف الكرة الأسفل يؤدي لوجود نقطة اختراق ناظم المستوي في الربع المعاكس لاتجاه ميل هذا المستوي في شبكة شميت أنظر الأشكال (12-3 و12-4). أما استخدام نصف الكرة الأعلى فيؤدي لوجود نقطة اختراق ناظم المستوي في الربع الموافق لاتجاه ميل هذا المستوي في شبكة شميت. لذلك يجب عند استخدام شبكة شميت توضيح ماإذا كان نصف الكرة الأسفل أم الأعلى هو المستخدم في الاسقاط. وفيما يلي عرض لكيفية استخدام شبكة شميت (المسقط الاستوائي، نصف الكرة الأسفل) في تمثيل الوضعيات الفراغية للمستويات والخطوط وبعض التطبيقات المستخدمة في مجال الجيولوجيا البنيوية.




**الشكل (12–1): المسقط الاستوائي والمسقط القطبي لكرة.**



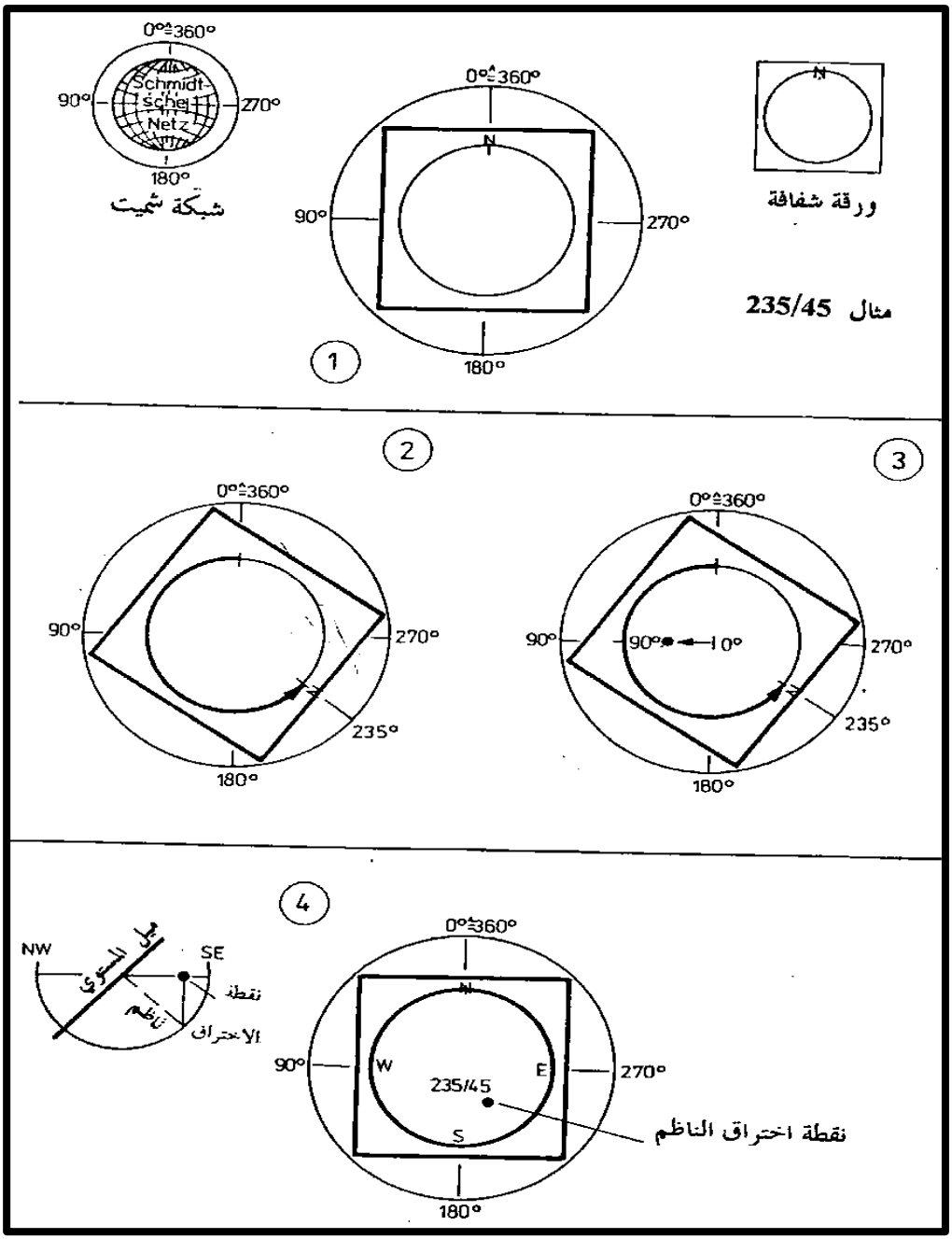

**الشكل (12–2): شبكة شميت وشبكة وولف بمسقطيها الاستوائي (a) والقطبي (b).**

**12–3– تمثيل المستويات والخطوط في شبكة شميت (المسقط الاستوائي–نصف الكرة الأسفل).**

**12–3–1– تمثيل مستوي من خلال نقطة اختراق ناظمة بطريقة الاتجاه:** تسقط النقاط بهذه الطريقة في حال كون طريقة القياس الحقلية بواسطة البوصلة الجيولوجية أجريت بطريقة الاتجاه (أنظر الفصل 4).

– المعطيات: سمت الاتجاه وزاوية الميل.

- **خطوات الاسقاط الشكل (12-3):**




**الشكل (12-3): مراحل تمثيل مستوي بنقطة اختراق ناظمة في شبكة شميت بطريقة الاتجاه. قارن مع أرقام المراحل في الفقرة (12-3-1).**

1- توضع ورقة شفافة فوق شبكة شميت ويرسم عليها محيط الشبكة، كما يحدد على هذا المحيط علامة الشمال (N) عند القطب الشمالي للشبكة (قيمة $0^{\circ}$). ويجب الانتباه هنا إلى أن قيم زوايا الاتجاه (السموت) على محيط شبكة شميت يجب أن تزداد بجهة معاكسة لدوران عقارب الساعة.

2- تدوّر الورقة الشفافة حول مركز الشبكة (مع المحافظة على وجود مركز الدائرة المرسومة على الورقة الشفافة فوق مركز الشبكة) بشكل معاكس لدوران عقارب الساعة حتى تأتي علامة الشمال (العائدة للورقة الشفافة) إلى قيمة سمت الاتجاه المعطى.

3- توقع نقطة فوق النصف الأيسر من خط استواء الشبكة (خط الشرق-غرب) توافق قيمة زاوية الميل معتبرين أن:

الميل $0^{\circ}$ عند مركز الشبكة.

الميل $90^{\circ}$ يقع على محيط الشبكة.

4- تعاد علامة شمال الورقة الشفافة إلى وضعها الأصلي، أي إلى حالة انطباقها على علامة شمال ($0^{\circ}$) محيط الشبكة.

- **النتيجة:** نقطة على الورقة الشفافة تمثّل نقطة اختراق ناظم السطح المدروس.

**12-3-2- تمثيل مستوي من خلال نقطة اختراق ناظمة بطريقة اتجاه الميل:**

تسقط النقاط بهذه الطريقة عند إجراء القياسات الحقلية بواسطة البوصلة الجيولوجية بطريقة اتجاه الميل (أنظر الفصل 4).

- المعطيات سمت الميل وزاوية الميل.

- **خطوات الاسقاط الشكل (12-4):**

1- توضع ورقة شفافة فوق شبكة شميت ويرسم محيط الشبكة على الورقة الشفافة، ويحدد عليه علامة الشمال (N). ويجب الانتباه هنا إلى أن قيم زوايا اتجاه الميل (السموت) تزداد على محيط شبكة شميت بجهة معاكسة لدوران عقارب الساعة.

2- تدوّر الورقة الشفافة حول مركز الشبكة (مع المحافظة على وجود مركز الدائرة المرسومة على الورقة الشفافة فوق مركز الشبكة) بشكل معاكس لدوران عقارب الساعة حتى تأتي علامة الشمال (العائدة للورقة الشفافة) إلى قيمة سمت الاتجاه المعطى.

3- توقع نقطة على خط الشمال-جنوب للشبكة بين مركز الشبكة وقطبها الجنوبي توافق قيمة زاوية الميل معتبرين أن:

الميل $0^{\circ}$ عند مركز الشبكة.

الميل $90^{\circ}$ عند القطب الجنوبي للشبكة.

4- تعاد علامة شمال الورقة الشفافة إلى وضعها الأصلي.

- **النتيجة:** نقطة على الورقة الشفافة تمثّل نقطة اختراق ناظم السطح المدروس.

**12-3-3- إنشاء الدائرة الكبيرة لمستوي اعتباراً من نقطة اختراق ناظمة:**

- **المعطى:**

نقطة اختراق ناظم السطح (المحدّد بإحدى الطريقتين السابقتين (12-3-1 أو 12-3-2).

- **خطوات الإنشاء الشكل (12-5):**

1- تدوّر الورقة الشفافة حول مركز الشبكة حتى تأتي النقطة المعطاة إلى الجزء الأيسر من خط استواء الشبكة.

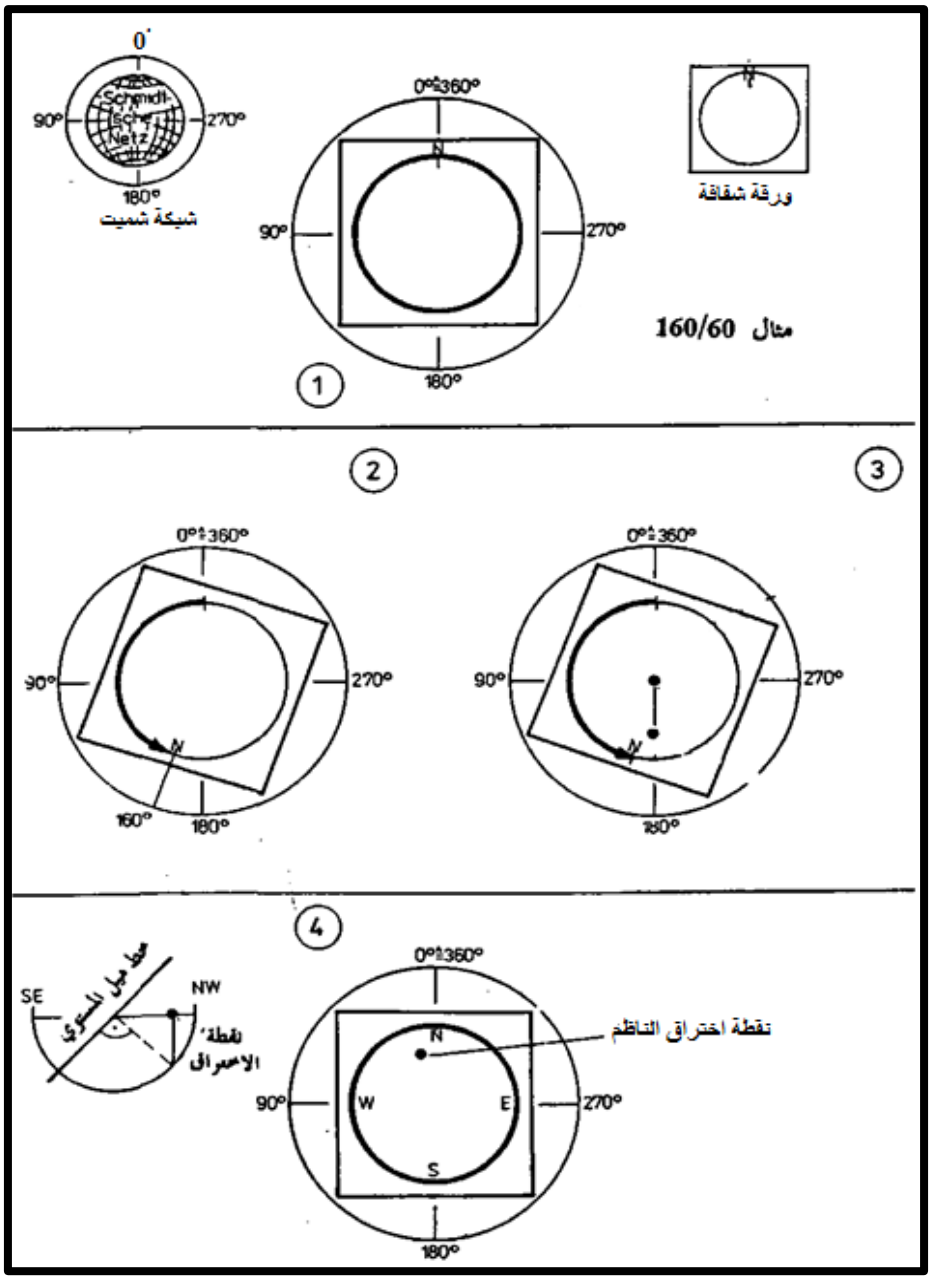
2- اعتباراً من هذا الموقع للنقطة تعد $90^{\circ}$ نحو اليمين (على امتداد خط الاستواء) ونحدّد نقطة جديدة.

3- إن النقطة الجديدة ستقع على دائرة كبيرة (خط طول) هي الدائرة المطلوبة. نرسم هذه الدائرة على الورقة الشفافة.

4- يعاد علامة الشمال إلى وضعها الأصلي.

**النتيجة:** الدائرة الكبيرة المطلوبة وهي مسقط خط تقاطع المستوي المدروس مع نصف الكرة الأسفل وذلك على المستوي الإقليمي.

– **ملاحظة:** إن أثر الدائرة الكبيرة يمر عبر ربع اتجاه ميل المستوي المدروس.




**الشكل (12–4): مراحل تمثيل مستوي بنقطة اختراق ناظمة في شبكة شميت بطريقة اتجاه الميل. قارن مع أرقام المراحل في الفقرة (12–3–2).**

### 12–3–4– تحديد قيم الوضعية الفراغية لمستوي اعتباراً من نقطة اختراق ناظمة بطريقة الاتجاه:

– **المعطى:**

نقطة اختراق ناظم المستوي (المحدّدة بإحدى الطريقتين 12–3–1 أو 12–3–2 على ورقة شفافة، مرسوم عليها أيضاً محيط الشبكة وعلامة الشمال).

– تحديد قيمة سمت الاتجاه الشكل (12–6):

1- تدوّر الورقة الشفافة حول مركز الشبكة (مع أو بعكس دوران عقارب الساعة) حتى تأتي نقطة اختراق الناظم المعطاة إلى النصف الأيسر من خط استواء الشبكة (أي بين مركز الشبكة وعلامة السمت $90^{\circ}$ على محيطها).

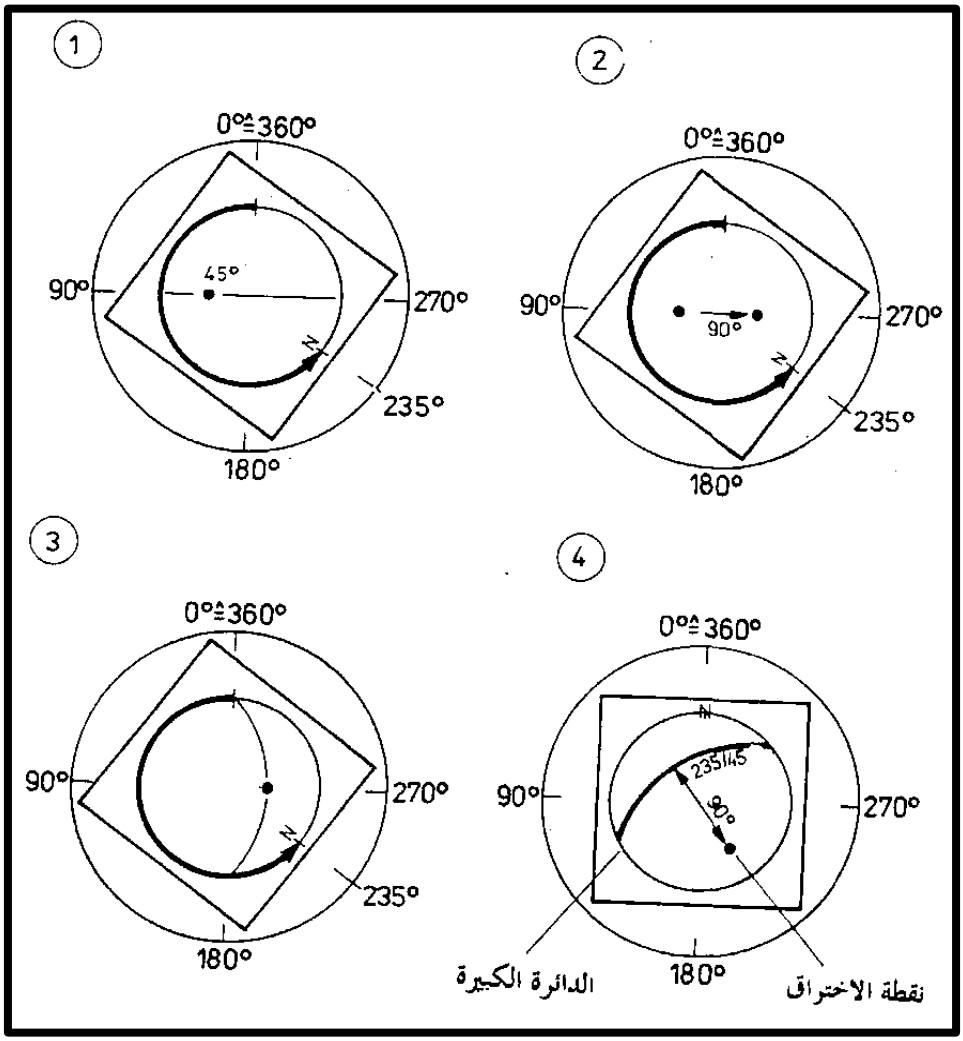
2- يقرأ الرقم الذي وصلت إليه علامة شمال الورقة الشفافة على محيط الشبكة. وهو يمثل قيمة سمت الاتجاه. ويجب التأكيد مرة أخرى على أن قراءة الدرجات على محيط الشبكة تتم بشكل معاكس لدوران عقارب الساعة.

3- تقرأ قيمة زاوية الميل على النصف الأيسر لخط استواء الشبكة من خلال موقع نقطة اختراق الناظم معتبرين أن:

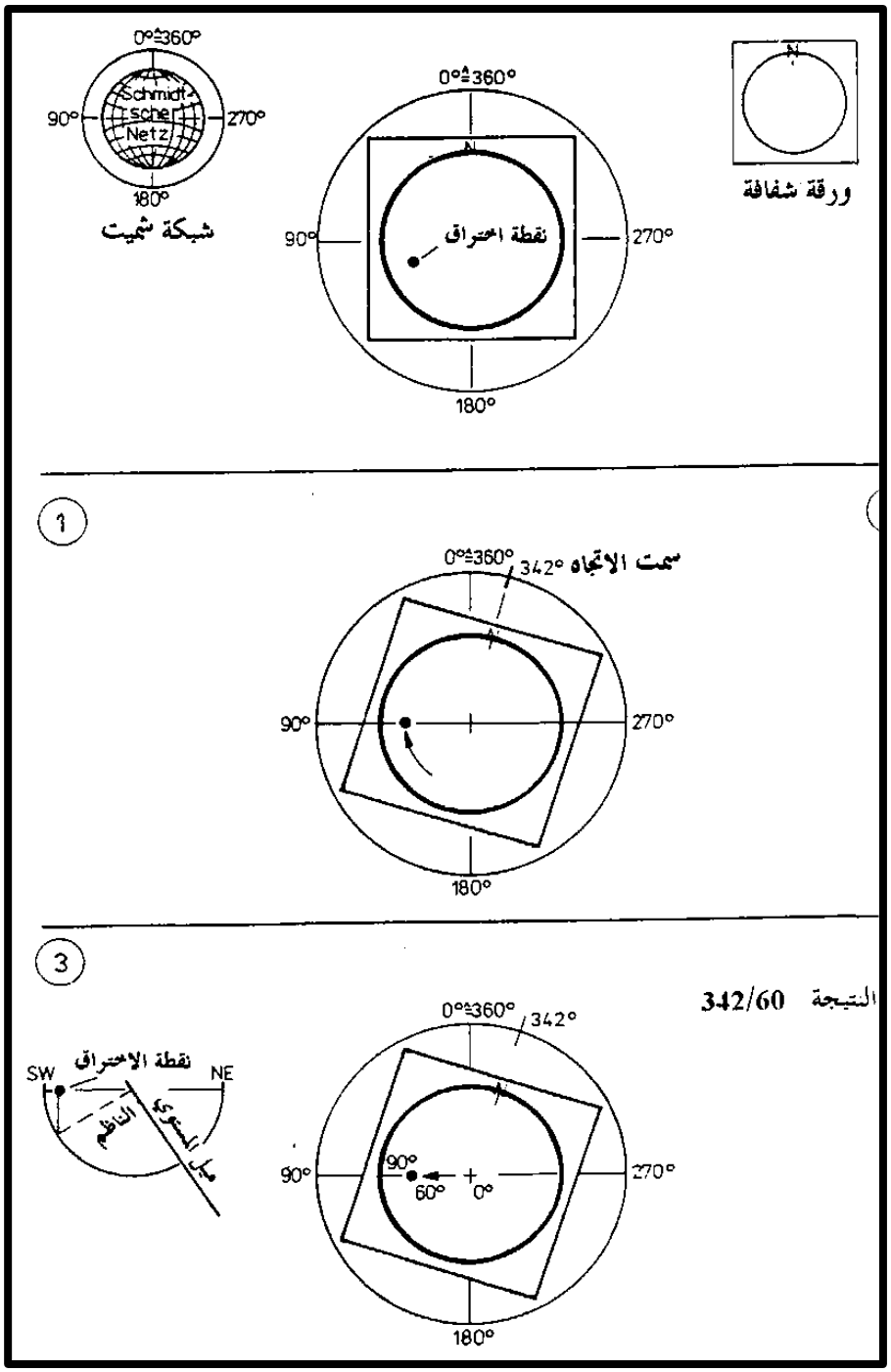
الميل $0^{\circ}$ عند مركز الشبكة.

الميل $90^{\circ}$ يقع عند محيط الشبكة.

**النتيجة:** قيمة سمت الاتجاه وزاوية الميل للمستوي المدروس.




**الشكل (12-5): مراحل إنشاء الدائرة الكبيرة لمستوي مائل اعتباراً من نقطة اختراق ناظمة. قارن مع أرقام المراحل في الفقرة (12-3-3).**




**الشكل (12–6): مراحل تحديد قيم الوضعية الفراغية لمستوي مائل اعتباراً من نقطة اختراق ناظمة بطريقة الاتجاه. قارن مع أرقام المراحل في الفقرة (12–3–4).**

### 12–3–5– تحديد قيم الوضعية الفراغية لمستوي اعتباراً من نقطة اختراق ناظمة بطريقة اتجاه الميل:

**– المعطى:**

نقطة اختراق ناظم المستوي (المحدّدة بإحدى الطريقتين 12–3–1 أو 12–3–2 على ورقة شفافة، مرسوم عليها أيضاً محيط الشبكة وعلامة الشمال).

– تحديد قيمة سمت الميل الشكل (12–7).

1– تدوّر الورقة الشفافة حول مركز الشبكة (مع أو بعكس دوران عقارب الساعة) حتى تأتي نقطة اختراق الناظم على خط الشمال–جنوب للشبكة بين مركز الشبكة والقطب الجنوبي.

2– يقرأ الرقم الذي وصلت إليه علامة شمال الورقة الشفافة على محيط الشبكة. وهو يمثل قيمة سمت الميل.

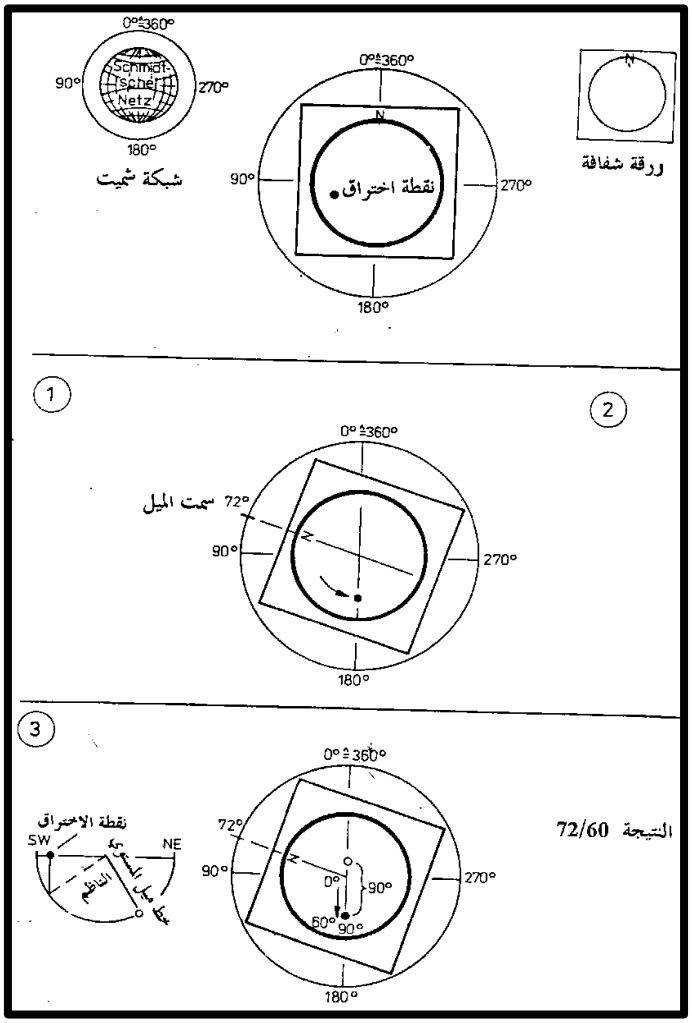
– تحديد قيمة زاوية الميل.

3– تقرأ قيمة زاوية الميل حسب موقع نقطة اختراق الناظم بين مركز الشبكة والقطب الجنوبي للشبكة معتبرين أن:

الميل $0^{\circ}$ عند مركز الشبكة.

الميل $90^{\circ}$ يقع عند القطب الجنوبي للشبكة.

**النتيجة:** قيمة سمت الميل وزاوية الميل للمستوي المدروس.



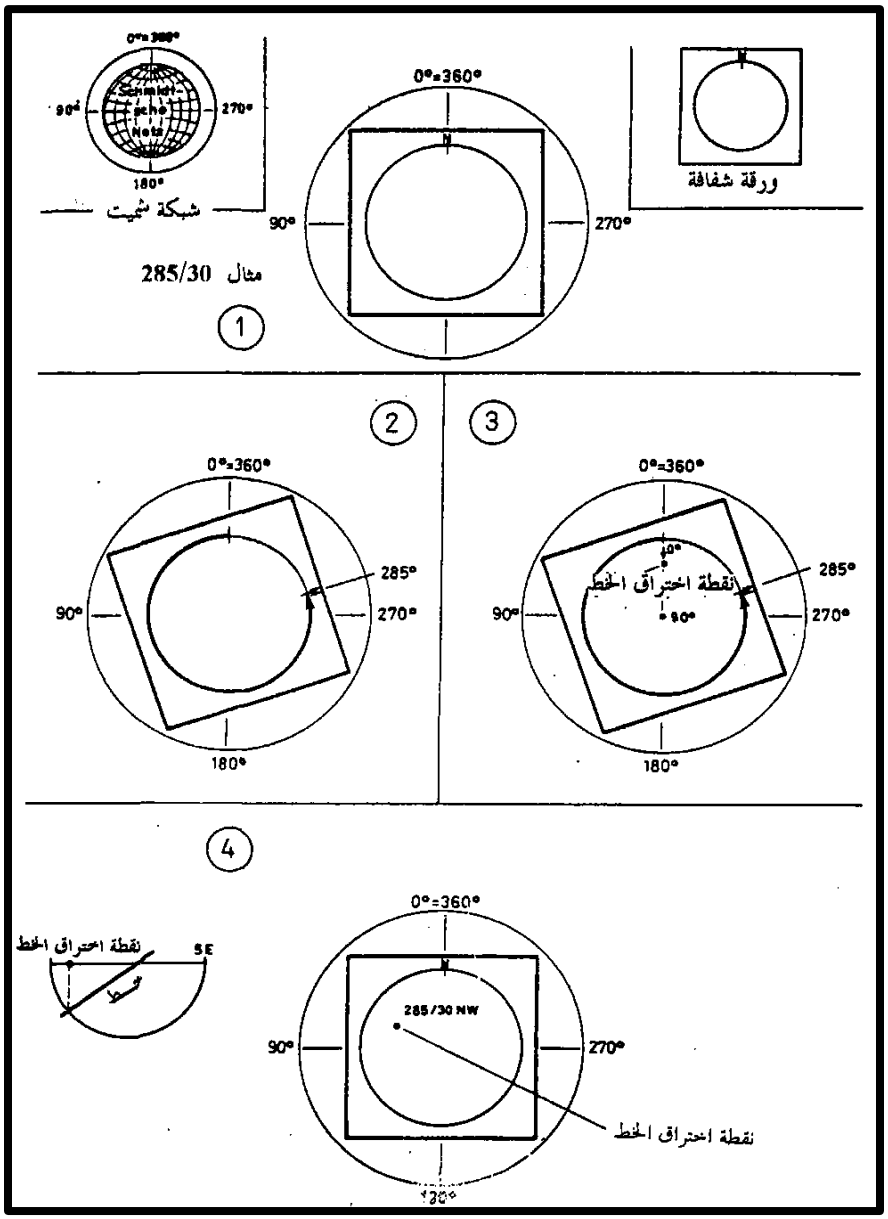

**الشكل (12–7): مراحل تحديد قيم الوضعية الفراغية لمستوي اعتباراً من نقطة اختراق ناظمة بطريقة اتجاه الميل.**

**قارن مع أرقام المراحل في الفقرة (12–3–5).**

### 12–3–6– تمثيل الوضعية الفراغية لعنصر خطي بنقطة اختراقه على شبكة شميت:

– **المعطى:** اتجاه وزاوية التغريق.

- خطوات الاسقاط الشكل (12-8):




**الشكل (12-7): مراحل تمثيل الوضعية الفراغية لعنصر خطي بنقطة اختراقه على شبكة شميت. قارن مع أرقام المراحل في الفقرة (12-3-6).**

1- توضع ورقة شفافة فوق شبكة شميت ويرسم محيط هذه الشبكة، ويحدد عليه علامة الشمال (N).

2- تدوّر الورقة الشفافة بعكس دوران عقارب الساعة حتى تأتي علامة الشمال على القيمة المعطاة لاتجاه التغريق على محيط الشبكة.

3- توقع نقطة على خط الشمال-جنوب للشبكة بين القطب الشمالي ومركز الشبكة معتبرين أن:

التغريق $0^{\circ}$ عند القطب الشمالي للشبكة.

التغريق $90^{\circ}$ عند مركز الشبكة.

4- تعاد علامة الشمال إلى وضعها الأصلي.

- **النتيجة:** نقطة اختراق العنصر الخطي.

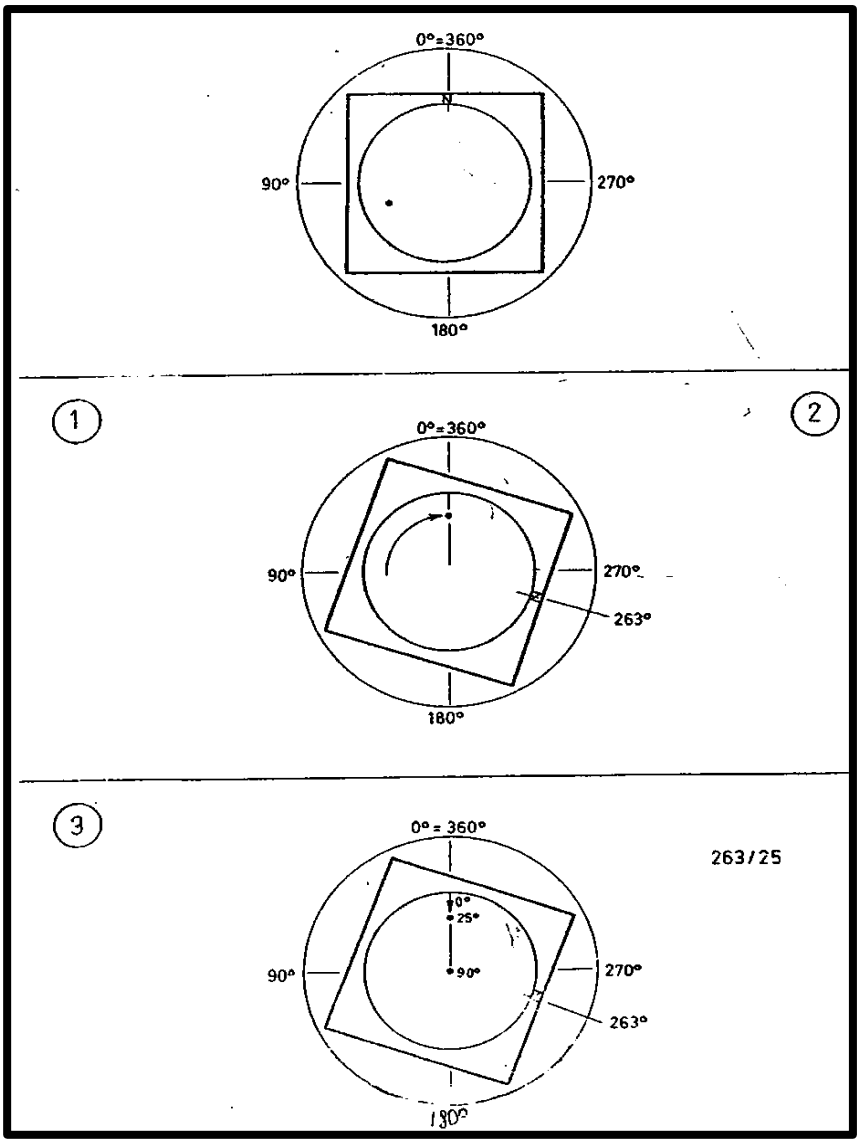
- **ملاحظة:** إن نقطة اختراق لعنصر الخطي توجد في نفس الربع المعبر عن اتجاه تغريق هذا العنصر في شبكة شميت.

**12-3-7- تحديد الوضعية الفراغية لعنصر خطي اعتباراً من نقطة اختراقه على شبكة شميت:**

- المعطى:

نقطة اختراق العنصر الخطي على ورقة شفافة مرسوم عليها محيط الشبكة وعلامة الشمال الشكل (12-9).

- **تحديد اتجاه التغريق:**




**الشكل (12-9): مراحل تحديد قيم الوضعية الفراغية لعنصر اعتباراً من نقطة اختراق على شبكة شميت.**

**قارن مع أرقام المراحل في الفقرة (12-3-7).**

1- تدوّر الورقة الشفافة حول مركز الشبكة (مع أو بعكس دوران عقارب الساعة) حتى تأتي نقطة لاختراق المعطاة على خط الشمال-جنوب للشبكة بين مركز الشبكة والقطب الشمالي.

2- تقرأ قيمة اتجاه التغريق الذي وصلت إليه علامة شمال الورقة الشفافة على شبكة شميت (القراءة بعكس دوران عقارب الساعة).

- **النتيجة:** اتجاه وزاوية تغريق العنصر الخطي.

**12-3-8- تحديد محور طية بطريقة دائرة π:**

- **تمهيد:**

تتضمن هذه الطريقة إجراء عدد من القياسات الحقلية للاتجاه والميل للسطوح الطبقية على جناحي الطية بواسطة البوصلة الجيولوجية. بحيث يتعادل عدد القياسات على الجناحين قدر الإمكان. وذلك إما حسب طريقة الاتجاه أو حسب طريقة اتجاه الميل. ثم تسقط هذه القياسات على شبكة شميت بشكل نقاط من خلال إحدى الطريقتين المذكورتين آنفاً (الفقرتين 12-3-1 أو 12-3-2).

- **مثال:**

أجريت قياسات للوضعيات الفراغية للسطوح الطبقية على جناحي الطية. وأسقطت نتائج هذه القياسات بشكل نقاط اختراق لنواظم السطوح المقيسة على شبكة شميت الشكل (12-10). المطلوب تحديد الوضعية الفراغية لمحور هذه الطية.

- خطوات العمل الشكل (12-10).

1- تدوّر الورقة الشفافة التي تحوي النقاط فوق شبكة شميت حتى تأتي جميع هذه النقاط إلى دائرة كبيرة مشتركة واحدة. وبحيث تكون هذه الدائرة هي إحدى الدوائر الكبيرة القاطعة للنصف اليميني من خط الاستواء. تدعى هذه الدوائر دائرة **π**.

2- اعتباراً من نقطة تقاطع دائرة **π** مع النصف اليميني من خط الاستواء نعد $90^{\circ}$ على امتداد هذا الخط ونحو اليسار ونحدّد الموقع الجديد بنقطة هي نقطة اختراق ناظم دائرة **π** وتدعى "نقطة **π**".

3- تحدد الوضعية الفراغية لمحور الطية (اتجاه التغريق وزاوية التغريق) من خلال نقطة **π** بالطريقة المتبعة في الفقرة (12-3-7).

- **النتيجة:** اتجاه وزاوية تغريق محور الطية.

**12-3-9- تحديد محور طية من خلال قمة β:**

- **تمهيد:**

تتضمن هذه الطريقة إجراء عدد من القياسات الحقلية للاتجاه والميل للسطوح الطبقية على جناحي الطية بواسطة البوصلة الجيولوجية. بحيث يتعادل عدد القياسات على الجناحين قدر الإمكان (قياسين على كل جناح على الأقل). وذلك بطريقة الاتجاه أو بطريقة اتجاه الميل.

- **مثال:**

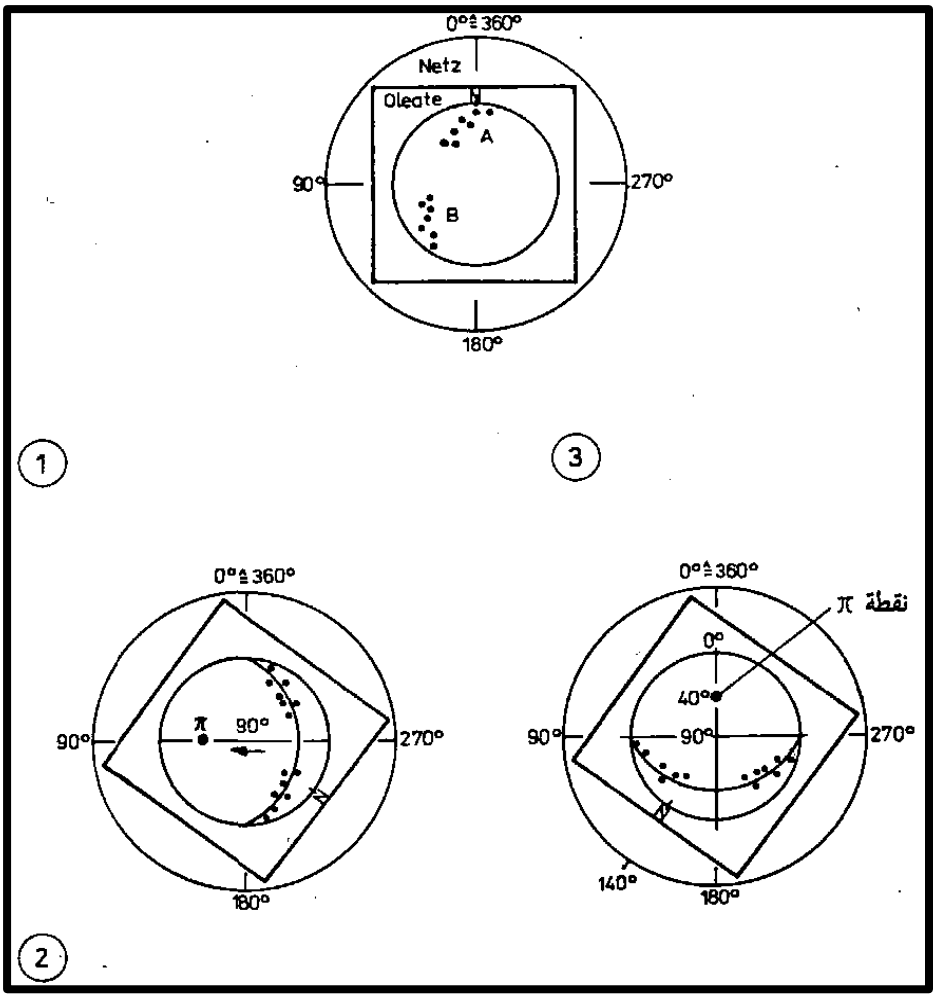
أجريت قياسات للوضعيات الفراغية للسطوح الطبقية على جناحي الطية. المطلوب تحديد الوضعية الفراغية لمحور هذه الطية بطريقة **قمة β**.

- خطوات العمل الشكل (12-11).

1- تسقط نتائج القياسات المعطاة على شبكة شميت بشكل دوائر كبيرة (كما في الفقرة 12-3-3) تحدد هذه الدوائر نقطة تقاطع مشتركة (**نقطة β**) أو مجال تقاطع (**قمة β**).

2- يتم تحديد قيم الوضعية الفراغية لمحور الطية من خلال نقطة **β** حسب الطريقة المذكورة في الفقرة (12-3-7).

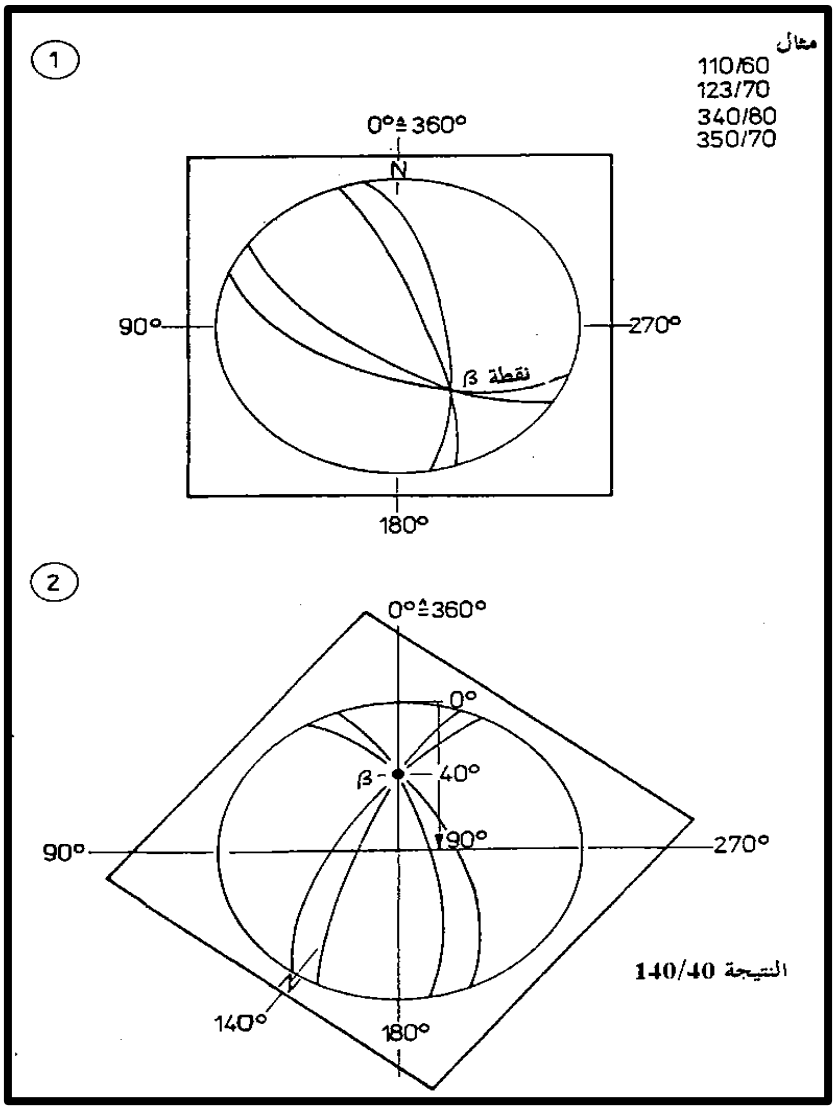
**النتيجة:** اتجاه وزاوية تغريق محور الطية.




**الشكل (12–10): مراحل تحديد محور طية بطريقة دائرة π. قارن مع أرقام المراحل في الفقرة (12–3–8).**

### 12–3–10– استخدام شبكة شميت في الدراسات الإحصائية للبنيات:

يتطلب التحليل البنيوي في كثير من الأحيان تحديد الاتجاه المتوسط لعنصر بنيوي ما. أو تحديد ماإذا كانت مجموعة من الاتجاهات لبنية محدّدة ذات نظامية معينة. ضمن هذا الإطار ولدراسة الاتجاه أو الاتجاهات السائدة للبنيات تعد شبكة شميت وسيلة هامة. يمكن تمثيل الوضعيات الفراغية للعناصر البنيوية (المستوية أو الخطية) إحصائياً على شبكة شميت لتعطي مايسمى المخطط البياني النقطي point diagram الشكل (12–12–A وشكل 12–13–A). وإذا كان عدد هذه القياسات قليلاً نسبياً (أقل من 50 قياس عموماً) فإن هذا المخطط البياني يمكن أن يعطي فكرة كافية عن التوزع الفراغي لهذه العناصر. إلا أنه مع ازدياد عدد نقاط الاسقاط الذي قد يصل إلى مئات أو أكثر يصبح المخطط النقطي غير معبّر. خاصةً عندما لاتوجد اتجاهات سائدة بارزة ضمن المخطط. وبهدف توضيح توزع الوضعيات الفراغية للعناصر المدروسة وإبراز الأكثر أهمية منها، يتم تحويل هذا النوع من المخططات البيانية إلى مخططات كثافية تتميز باحتوائها على خطوط تساوي الكثافة. تفيد هذه المخططات بشكل خاص عند إجراء الدراسات الإحصائية للشقوق لبيان الوضعيات الفراغية للمجموعات والجمل الرئيسة والثانوية منها. كما تفيد في الدراسات الإحصائية للبنيات الأخرى.




**الشكل (12–11): مراحل تحديد محور طية بطريقة دائرة β. قارن مع أرقام المراحل في الفقرة (12–3–9).**

**– مراحل انشاء مخطط تساوي الكثافة:**

**1– المرحلة الأولى، إنشاء المخطّط النقطي:** تسقط كافة القياسات اولاً على شبكة شميت بشكل نقاط اختراق نواظم السطوح (سطوح الشقوق مثلاً) أو نقط اختراق العناصر الخطية المدروسة (بإحدى الطرائق المذكورة في الفقرات 12–3–1، 12–3–2، 12–3–6). وهذا ما يعطي المخطط البياني النقطي (الشكل 12–12–A وشكل 12–13–A).

**2– المرحلة الثانية، الإحصاء:** تتضمن هذه المرحلة إحصاء عدد النقاط على المخطط النقطي وذلك من خلال مسطرة إحصائية خاصة (عدّد مركزي Center counter) وهو دائرة تعادل مساحتها 1% من مساحة المخطط البياني.روعادةً مايكون نصف قطرها مساوياً لـ 1سم، أو عدّد محيطي peripheral counter وهو مسطرة تحوي دارتين نصف قطر كل منهما 1سم. والبعد بين مركزيهما يساوي 20سم. وذلك في حين أن نصف قطر المخطط البياني هو 10سم الشكل (12–14).

**– إحصاء الحقول الداخلية للمخطط البياني:** الحقل الداخلي هو مجال ضمن المخطط يمكن تحديده بدائرة المسطرة الإحصائية دون أن تمس هذه الدائرة محيط المخطط البياني. يُجعل مركز الدائرة العداد المركزي منطبقاً على نقطة تقاطع خطين سنتمتريين

عائدين للورقة الميلمترية الظاهرة تحت المخطط النقطي. يحصى عدد النقاط الموجودة ضمن هذه الدائرة. ويكتب العدد الناتج على الورقة الشفافة في مركز هذه الدائرة. هذا ويستكمل الإحصاء في بقية أجزاء المخطط البياني بإزاحة المسطرة بحيث ينتقل مركز دائرتها من نقطة تقاطع (بين خطين سنتمترين متعامدين) إلى نقطة التقاطع المجاورة. وذلك بما يضمن تغطية شاملة للمخطط البياني الشكل (12-15).

- **إحصاء الحقول الحافيّة للمخطط البياني:** الحقل الحافي هو مجال من المخطط البياني إذا حُدّد بدائرة العداد المحيطي تقاطع مع محيط المخطط البياني. وبالتالي فإن جزءاً من هذه الدائرة سيوجد خارج المخطط البياني الشكل (12-14). يستخدم العداد المحيطي في هذه الحالة، بحيث يبقى مركز المخطط البياني محصوراً ضمن الفتحة الضيقة الموجودة وسط المسطرة الشكل (12-14). ويساعد على ذلك غرز دبوس في المركز بحيث يبرز هذا الدبوس من الفتحة. ثم تجري عملية الإحصاء للأجزاء الحافية من المخطط البياني، بحيث يبقى جزء من الدائرة خارج المخطط البياني فيلاحظ أن الدائرة الثانية ستغطي الجزء المقابل من المخطط البياني. يحصى عدد النقاط الموجودة في كلا الجزأين ويكتب في مركزي الدائرتين. وبنتيجة عملية الإحصاء هذه (سواء للحقول الداخلية أو الحافّية) ينتج لدينا مخطط جديد حاوٍ على معطيات هذا الإحصاء (شكل 12-12-A وشكل 12-13-B). وبعد ذلك يحول كل رقم مكتوب في هذا المخطط إلى نسبة مئوية حسب العلاقة.

$$\text{الكثافة (\%)} = \frac{\text{عدد النقاط المحصاة في } \mathbf{1}\% \text{ من مساحة المخطط البياني}}{\text{العدد الكلي للنقاط في المخطط}} \times \mathbf{100}$$

فمثلاً لو كان عدد النقاط الكلي 200 وعدد النقاط ضمن دائرة المسطرة الإحصائية 3 فإن الكثافة هي 1.5%.

**3- المرحلة الثالثة، إنشاء خطوط تساوي الكثافة:** تتم هذه العملية مع بقاء الورقة الميلمترية تحت المخطط البياني الناتج عن المرحلة السابقة. وذلك لتسهيل عملية رسم الخطوط.، وربط الخطوط المتساوية مع بعضها وتقدير أفضل للمسافات بين النقاط. وبذلك توصل النقاط التي تتساوى عندها قيم الكثافة بشكل مشابه جزئياً لطريقة رسم خطوط التسوية ضمن الخرائط. إلا أن الخطوط التي تنتهي عند نقطة على محيط المخطط البياني يجب أن تستكمل في الربع المقابل لها وعلى بُعد $180^{\circ}$.

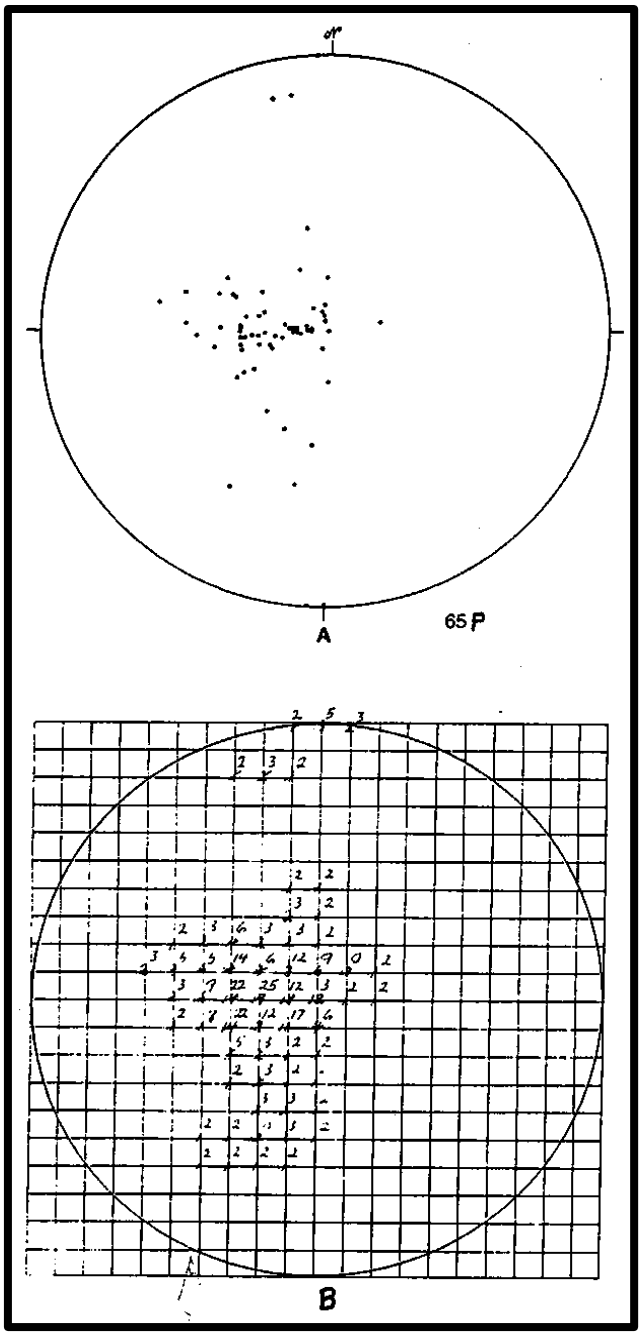
**- النتيجة:**

مخطط تساوي الكثافة الذي يمكن أن يعبر عنه بترقيم المنحنيات (شكل 12-12-C وشكل 12-23-C) أو بتهشير المجالات بين هذه المنحنيات (شكل 12-12-D وشكل 12-13-D).

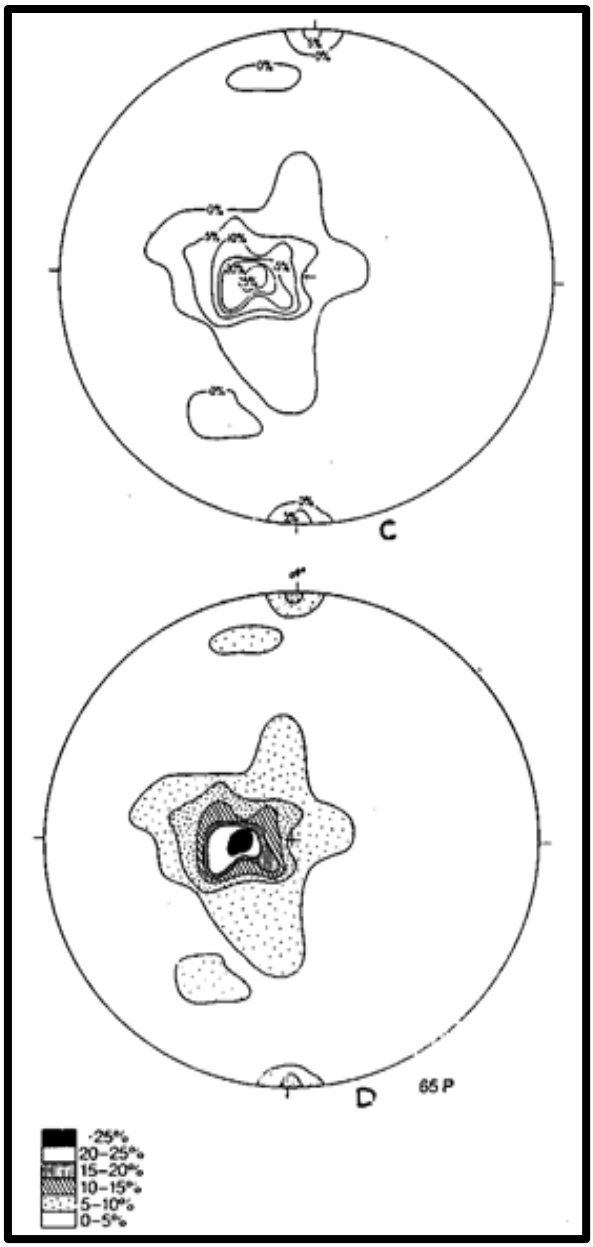
**ملاحظة:**

يمكن الاستغناء عن عملية تحويل عدد النقاط إلى نسبة مئوية. تلك التي أجريت في المرحلة الثانية. وفي هذه الحالة ترسم الخطوط اعتماداً على عدد النقاط نفسه وذلك لتسهيل العمل واختصار عمليات الحساب. إلا أن ذلك يستلزم تحويل قيم هذه الخطوط (التي رسمت حسب عدد النقاط) بعد رسمها إلى نسب مئوية حسب العلاقة:

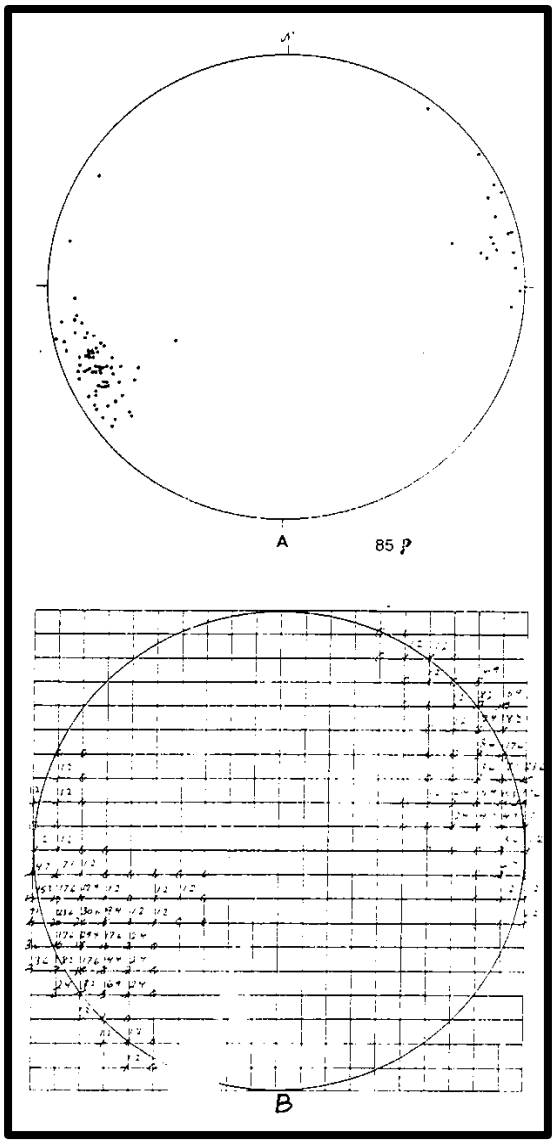
$$\text{القيمة الكثافية للخط (\%)} = \frac{\text{قيمة الخط (حسب عدد النقاط)}}{\text{العدد الكلي للنقاط}} \times \mathbf{100}$$



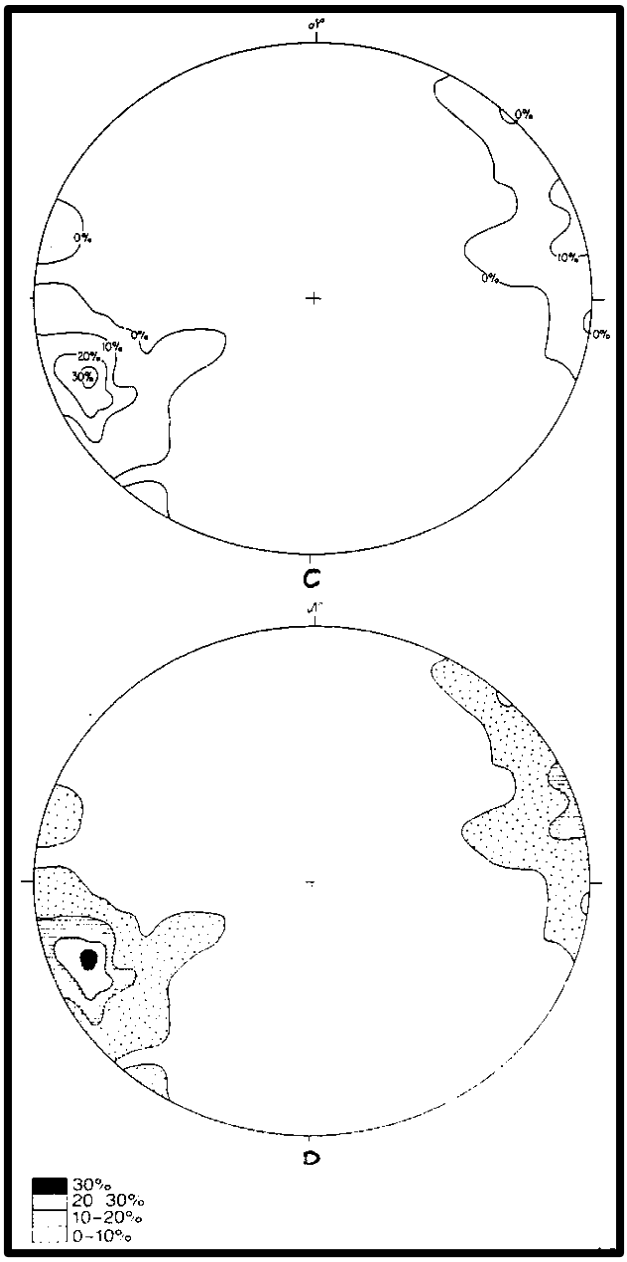

**الشكل (12-12): A: مخطط بياني نقطي. لاحظ أن معظم النقاط تقع داخل المخطط وبعيدة عن المحيط.**
**B: المخطط بعد إجراء العملية الإحصائية والتحويل إلى نسب مئوية.**



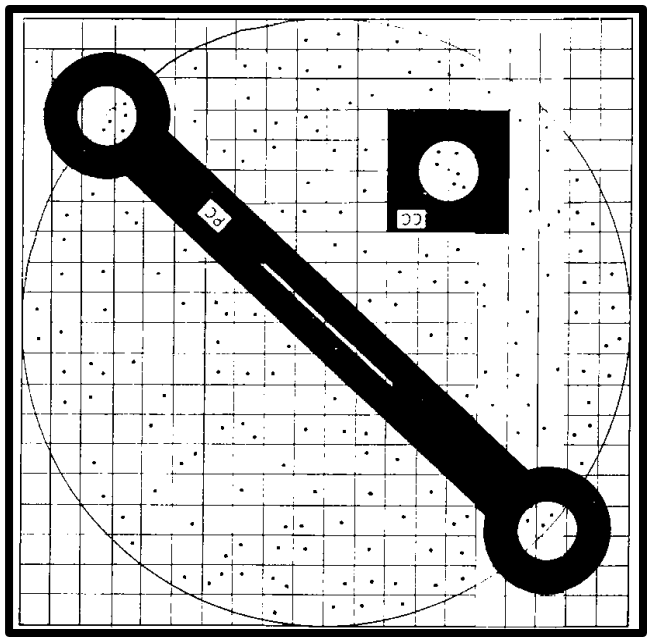

**الشكل (12–12 تتمة): C: منحنيات تساوي الكثافة. D: تهشير المجالات بين المنحنيات.**



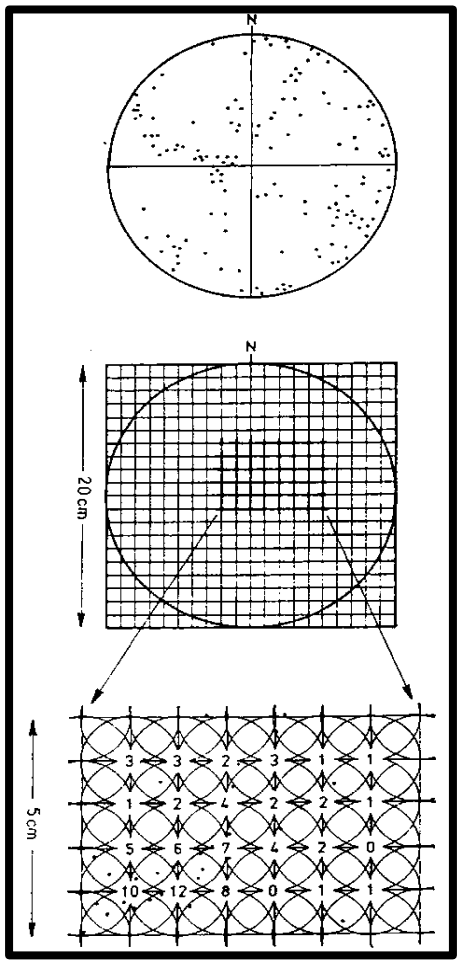

**الشكل (12–13): A: مخطط بياني نقطي. لاحظ أن الجزء الرئيس من النقاط يقع بالقرب من المحيط.**
**B: المخطط بعد إجراء العملية الإحصائية والتحويل إلى نسب مئوية.**




**الشكل (12–13 تتمة): C: منحنيات تساوي الكثافة. D: تهشير المجالات بين المنحنيات.**




**الشكل (12-14): الإحصاء باستخدام العداد المركزي CC والعداد المحيطي PC.**




**الشكل (12-15): إزاحة دائرة المسطرة الإحصائية لمسافة تعادل 1سم ومسح شامل لكافة أمحاء المخطط البياني.**