

جامعة البصرة
كلية العلوم
علوم الأرض

الأسقاط المجسم و بعض أسخداماته في الجيولوجيا التركيبية

واثق غازي المطوري

المحتويات

4.....	المقدمة
5.....	1: معلومات أساسية
5.....	1-1: أنواع الاتجاهات
6.....	2-1: تحديد وضعية العناصر الخطية والمستوية
7.....	1-2-1: البوصلة الجيولوجية
9.....	2: الاسقاط الجسم
9.....	1-2: تعريف الاسقاط الجسم
9.....	2-2: مبادئ الاسقاط الجسم
11.....	3-2: استخدامات الاسقاط الجسم
11.....	1-3-2: التحليل الهندسي
11.....	2-3-2: التحليل المنشأى
12.....	3: أنواع الشبكات
12.....	1-3: شبكة شمت أو لامبرت
12.....	1-1-3: اساس تشكيل شبكة شمت
13.....	2-1-3: خصائص شبكة شمت
13.....	3-1-3: تمثيل العناصر التركيبية على شبكة شمت
17.....	2-3: شبكة وولف
17.....	1-2-3: أساس تشكيل شبكة وولف
18.....	2-2-3: خصائص شبكة وولف
18.....	3-2-3: تمثيل العناصر التركيبية على شبكة وولف
18.....	3-3: الشبكة القطبية أو شبكة بلنك
18.....	1-3-3: أساس تشكيل الشبكة القطبية
20.....	2-3-3: خصائص الشبكة القطبية
20.....	3-3-3: تمثيل العناصر التركيبية على الشبكة القطبية
22.....	4: تحليل الطيات وتصنيفها
22.....	1-4: تحليل الطيات وتصنيفها باستخدام شبكة شمت

- 26..... 1-1-4: مخطط بيتا
- 27..... 2-4: تحليل الطيات و تصنيفها باستخدام الشبكة القطبية
- 28..... 1-2-4: مخطط باي
- 29..... 3-4: انماط الاتجاهات المفضلة
- 31..... 5: تحليل الكسور وتصنيفها
- 31..... 1-5: التصنيف الهندسي للكسور
- 32..... 2-5: التصنيف المنشأى للكسور
- 34..... 3-5: تصنيف الكسور بأستخدام الشبكات
- 36..... 6: تحليل الاجهادات
- 36..... 1-6: طريقة الصدوع المقترنة
- 38..... 2-6: طريقة الصدوع الحاوية على حروز الصفائح المصقولة
- 41..... 7: رسم المخطط الكنتوري
- 41..... 1-7: ادوات رسم المخطط الكنتوري
- 42..... 2-7: خطوات رسم المخطط الكنتوري
- 43..... 3-7: مبدأ رسم المخطط الكنتوري
- 45..... المصادر

1: معلومات أساسية:

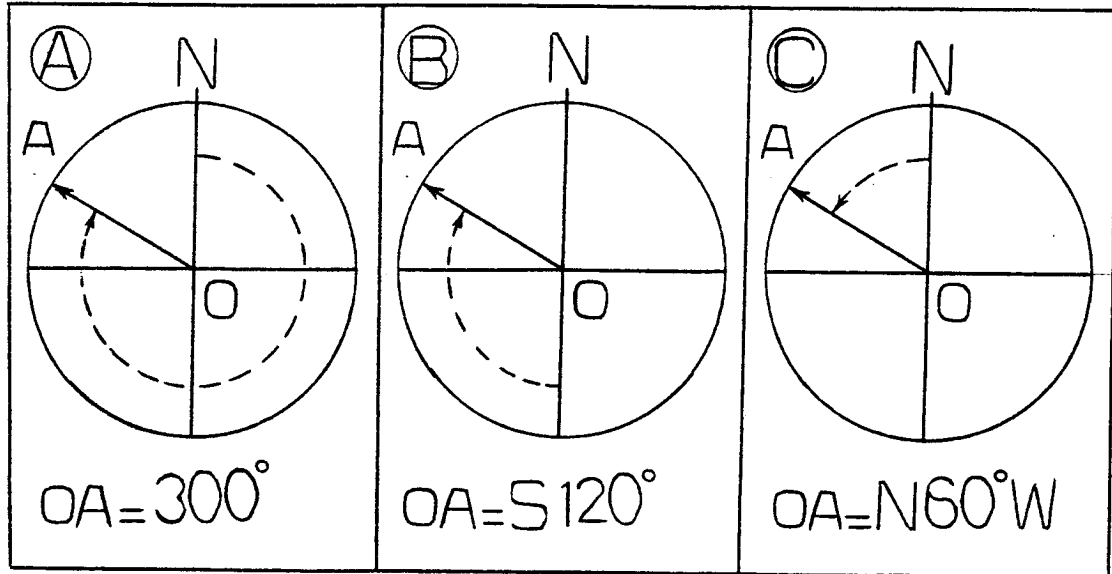
هناك بعض المعلومات الأساسية المهمة التي يجب على الطالب أن يعرفها قبل البدء بدراسة الإسقاط المجسم، هذه المعلومات هي:

1-1: أنواع الاتجاهات: توجد ثلاث حالات يتم من خلالها تحديد اتجاه خط ما في الطبيعة نسبةً إلى الاتجاهات الجغرافية:

1. الاتجاه الدائري الكامل (Whole Circle Bearing (W.C.B)): يقاس من الشمال باتجاه دوران عقرب الساعة (Clockwise). تتراوح قيمته من $(0^\circ-360^\circ)$ ويكتب بالشكل الأتي (60°) . شكل (1-1-A).

2. الاتجاه النصف دائري (Half Circle Bearing (H.C.B)): يقاس إما من الشمال أو الجنوب باتجاه دوران عقرب الساعة. تتراوح قيمته من $(0^\circ-180^\circ)$ ويكتب بالشكل الأتي: $(N60^\circ)$ أو $(S60^\circ)$. شكل (1-1-B).

3. الاتجاه الرباعي (Bearing): يقاس من الشمال أو الجنوب أما باتجاه دوران عقرب الساعة أو عكس دوران عقرب الساعة (Counterclockwise). تتراوح قيمته من $(0^\circ-90^\circ)$ ويكتب بالشكل الأتي $(N60^\circ E)$ أو $(S60^\circ W)$. الشكل (1-1-C).



الشكل (1-1): أنواع الاتجاهات.

(A) الاتجاه الدائري الكامل. (B) الاتجاه النصف دائري. (C) الاتجاه الرباعي.

الاتجاهات التي تستخدم بشكل واسع في الجيولوجيا التركيبية هي الاتجاه الدائري الكامل والاتجاه الرباعي.

تمرين (1): حدد أنواع الاتجاهات الآتية، ثم جد الأنواع الأخرى التي تقابلها، مع الرسم:

(A): 350° (B): $N120^\circ$ (C): $S80^\circ E$ (D): $S180^\circ$ (E): 230°
(F): $N40^\circ W$

2-1: تحديد وضعية العناصر الخطية والمستوية: يقصد بالوضعية (Attitude) كل من المضرب (Strike) وزاوية الميل (Dip Angle) واتجاه الميل (Dip Direction).

يتم وصف وضعية العناصر الخطية بذكر اتجاه الميل وزاوية الميل فقط. أما العناصر المستوية فيتم وصفها بذكر المضرب وزاوية الميل.

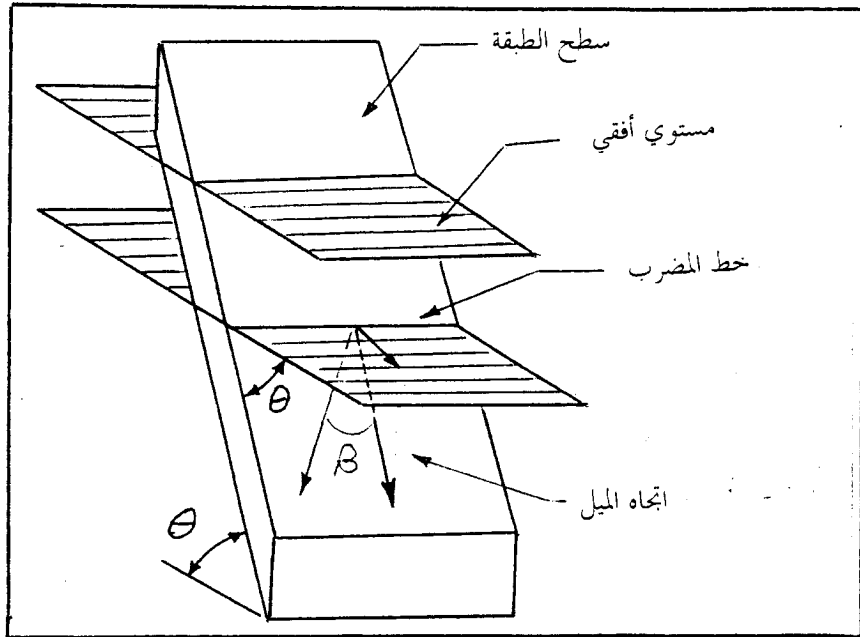
1. المضرب Strike: وهو خط وهمي ناتج من تقاطع مستوي الطبقة مع مستوي الأفق. شكل: (1-2)

2. زاوية الميل Dip Angle: وهي الزاوية المقاسة من المستوي الأفقي إلى مستوي الطبقة. لا تزيد قيمتها عن (90°) .

وهناك نوعان من الميل هما:

A: زاوية الميل الحقيقي (True Dip Angle): الزاوية المقاسة ضمن مستوي رأسي عمودي على مضرب الطبقة. شكل: (1-2).

B: زاوية الميل الظاهري (Apparent Dip Angle): الزاوية المقاسة ضمن مستوي رأسي مائل عن مضرب الطبقة. شكل: (1-2).



الشكل (1-2): وضعية العناصر المستوية (المضرب، الميل، اتجاه الميل).

زاوية الميل الظاهري أقل دائماً من زاوية الميل الحقيقي، وتربطهم العلاقة التالية:

$$\tan(\gamma) = \tan(\theta) * \cos(\beta)$$

حيث أن: θ = زاوية الميل الحقيقي. γ = زاوية الميل الظاهري.

β = الزاوية المحصورة بين اتجاه الميل الحقيقي واتجاه الميل الظاهري.

3: اتجاه الميل (Dip Direction): هو اتجاه مسقط الخط العمودي على المضرب والذي عنده تحسب زاوية الميل الحقيقي، أي أن اتجاه الميل يُقاس ضمن مستوي أفقي. الشكل (1-2)

1.2.1 البوصلة الجيولوجية:

تستخدم البوصلة الجيولوجية (Geological Compass) لتحديد وضعية العناصر الخطية

والعناصر المستوية والتي تسمى بالعناصر التركيبية (Structural Elements) ، وهي:

(1) العناصر الخطية (Linear Elements): والمتمثلة بمحاور الطيات (Axes Folds)، حوزوز

الصفائح المصقولة (Slickensides Striations)، خطوط الجريان (Flow Lines)

وغيرها.

(2) العناصر المستوية (Planar Elements): والمتمثلة بمستويات التطبق (Bedding Planes)

ومستويات التشقق (Cleavage Planes)، مستويات الكسور (Fracture Planes)

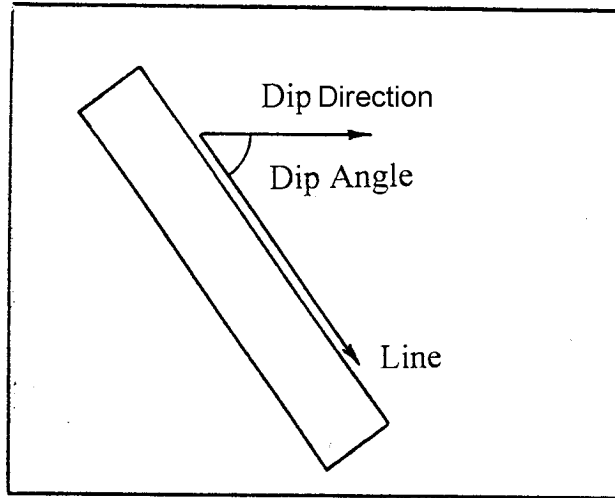
وغيرها.

أن تفاصيل استخدام البوصلة في قياس هذه العناصر خارج نطاق موضوعنا، ولكن نود أن نشير الى كيفية

قياس وضعية العناصر الخطية والمستوية وكما يلي:

العناصر الخطية يتم قياسها بتحديد اتجاه الميل للجهة الغاطسة من الخط ومن ثم نحسب زاوية الميل، تسمى في

بعض المصادر زاوية الغطس (Plunge Angle). شكل (1-3).



الشكل (1-3): وضعية العناصر الخطية (اتجاه الميل، زاوية الميل).

العناصر المستوية يتم قياسها بتحديد المضرب وزاوية الميل، وهناك ثلاث حالات لقياس المضرب هي:-

الحالة الأولى: يتم قياس اتجاه المضرب كاتجاه ربعي من أحد طرفيه. وفي هذه الحالة يجب أن نذكر اتجاه

الميل (دون قيمته) وذلك بعد قيمة زاوية الميل مباشرةً. مثال: $N60^{\circ}W/30^{\circ}SW$ ، حيث أن $N60^{\circ}W$ تمثل قراءة

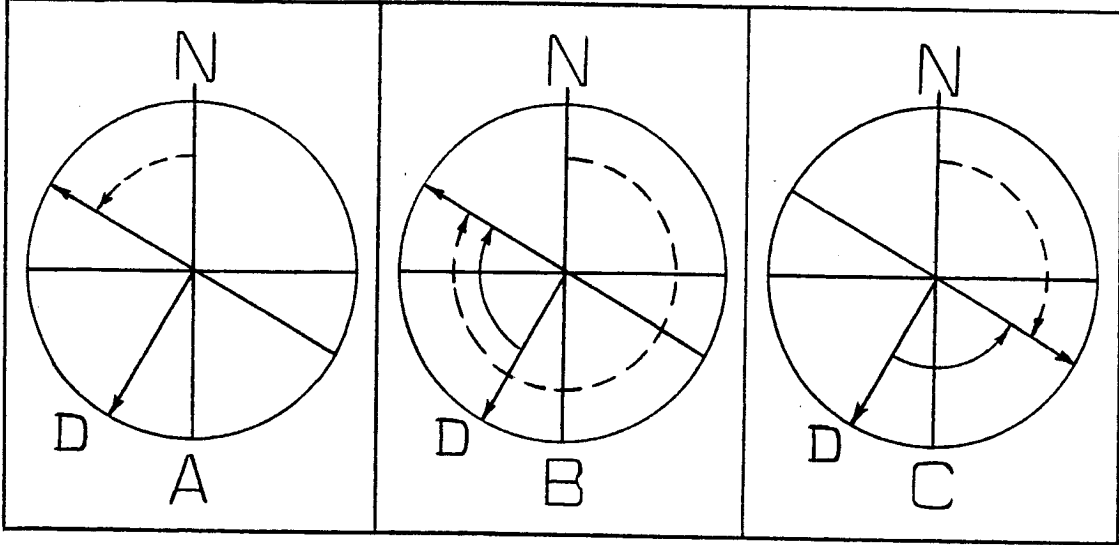
المضرب بالاتجاه الربعي، 30° تمثل قيمة الميل، SW اتجاه الميل. شكل (1-4-A).

الحالة الثانية: يتم قياس اتجاه المضرب كاتجاه دائري كامل، حيث يقاس المضرب من الميل باتجاه دوران

عقرب الساعة (Strike Clockwise from Dip). مثال $300^{\circ}/30^{\circ}$ ، حيث أن 300° تمثل قراءة

المضرب بالاتجاه الدائري الكامل، 30° تمثل قيمة الميل. شكل (1-4-B).

الحالة الثالثة: يتم قياس اتجاه المضرب كاتجاه دائري كامل، حيث يقاس المضرب من الميل باتجاه عكس دوران عقرب الساعة (Strike Counterclockwise from Dip). مثال: $120^\circ/30^\circ$ ، حيث أن 120° تمثل اتجاه المضرب، 30° تمثل زاوية الميل. شكل (1-4-C).



الشكل (1-4): حالات قياس وضعية الطبقات.

يلاحظ في الحالتين الثانية والثالثة أنه ليس هناك ضرورة لذكر اتجاه الميل، لأنه عمودي على اتجاه المضرب دائماً.

تمرين (2): إذا كانت وضعية مستوي ما، هي: $N40^\circ E/50^\circ SE$ ، فما هي وضعية هذا المستوي في

الحالات الآتية:

1. إذا كان المضرب مقاس من الميل باتجاه عقرب الساعة.
 2. إذا كان المضرب مقاس من الميل باتجاه عكس عقرب الساعة.
- عزز أجابتك بالرسم..

2: الإسقاط المجسم:

1-2: تعريف الإسقاط المجسم: هو عملية تمثيل هندسي للعناصر التركيبية الموجودة في الطبيعة

بالأبعاد الثلاثة (Three Dimensions) على الورقة ذات البعدين (Two Dimensions).

2-2: مبادئ الإسقاط المجسم: يرينا الشكل (2-1-A) كرة (Sphere) مركزها النقطة (O) تحتوي

على ثلاث محاور وثلاثة مستويات:-

المحاور هي:

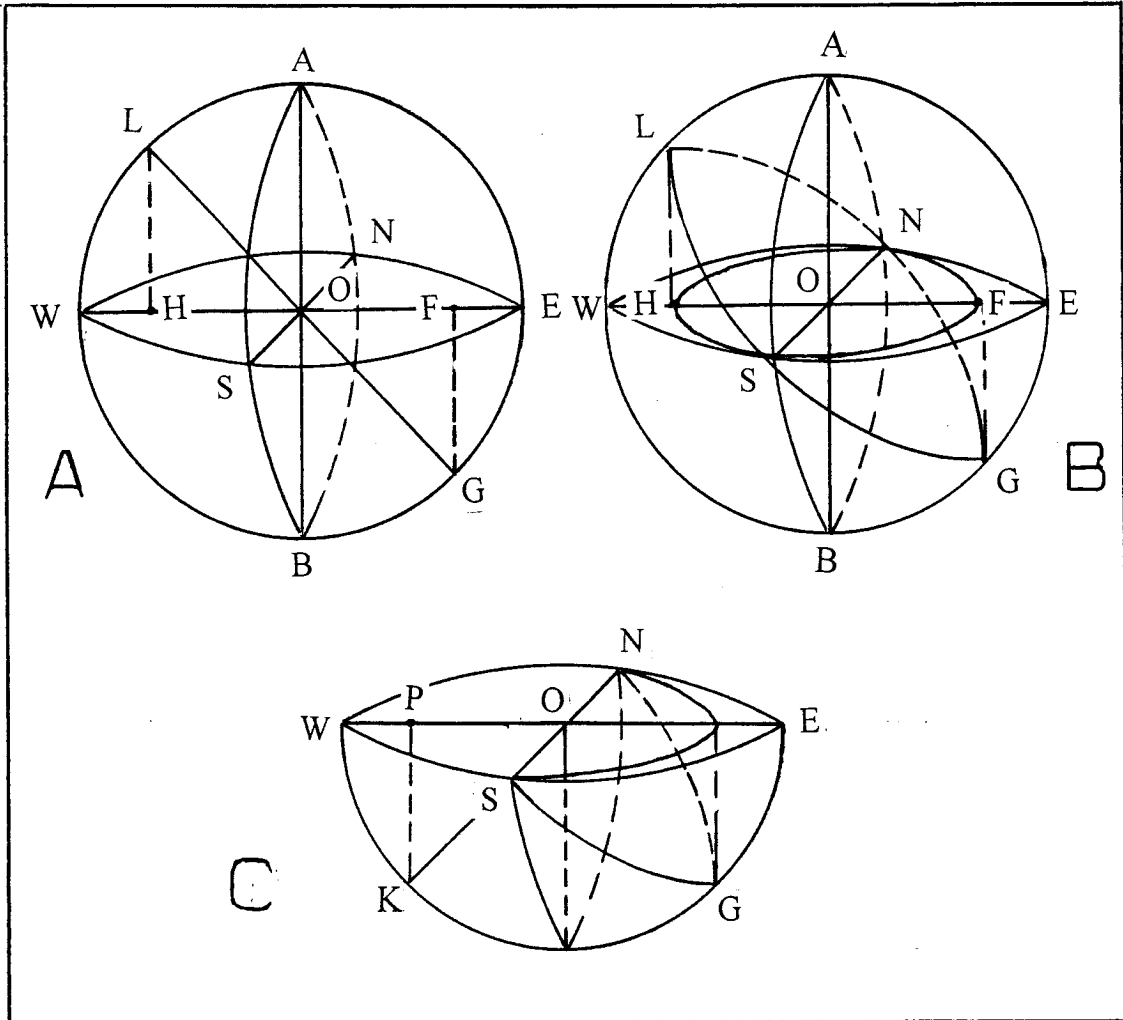
(1) المحور الرأسي (A-B). (2) المحور الأفقي باتجاه (N-S). (3) المحور الأفقي باتجاه (E-W).

المستويات هي:

(1) المستوي الرأسي (A) يحتوي على المحورين (A-B) و (N-S).

(2) المستوي الرأسي (B) يحتوي على المحورين (A-B) و (E-W).

(3) المستوي الأفقي (C) يحتوي إلى المحورين (N-S) و (S-W).



الشكل (2-1): مبادئ الإسقاط المجسم.

(A) مسقط خط (B) مسقط مستوي (C) مسقط قطب المستوي.

دعنا نتصور أن خطأ وضعيته ($090^\circ/40^\circ$) ولنفرض أن الخط يمر خلال مركز الكرة (O)، الشكل (2-1-A)، فإنه بذلك سوف يقطع سطح نصف الكرة العلوي (Upper Hemisphere) في نقطة (L)، ويقطع سطح نصف الكرة السفلي (Lower Hemisphere) في نقطة (G). إذا سُقطت النقطتان (L) و (G) شاقولياً (Vertically) على المستوي الأفقي (C) فإن نقطتي الإسقاط هما (H) و (F) على التوالي. واللذان تمثلان مسقط الخط الذي وضعيته ($090^\circ/40^\circ$).

دعنا نتصور أن مستوياً وضعيته ($180^\circ/40^\circ$)، [المضرب مقياس من الميل باتجاه عقرب الساعة] ولنفرض أن المستوي يمر من مركز الكرة (O)، الشكل (2-1-B)، فإنه بذلك سوف يقطع سطح نصف الكرة العلوي في نصف دائرة (Semicircle) هي (NLS)، ويقطع سطح نصف الكرة السفلي في نصف دائرة هي (NGS). إذا أُسقطت نصفا الدائرتين (NLS) و (NGS) شاقولياً على المستوي الأفقي (C) فإن قوسيّ الإسقاط هما (NHS) و (NFS) على التوالي.

من الواضح أننا نحتاج إلى استعمال نصف كرة واحد فقط، فإذا استعملنا نصف الكرة السفلي فإن المسقط سوف يكون صورة مرآة لمسقط نصف الكرة العلوي. لذلك سوف تقتصر على استعمال نصف الكرة السفلي فقط.

في الشكل (2-1) نجد أن المسافتين (OH) و (OF) متساويتين وهما تمثلان دالة لقيمة الميل وحسب المعادلة التالية:

$$\cos(\theta) = \frac{OF}{OG} \Rightarrow OF = OG * \cos\theta$$

$$\cos(\theta) = \frac{OH}{OL} \Rightarrow OH = OL * \cos\theta$$

حيث أن: θ = زاوية الميل للخط أو المستوي.

$$OL = OG = \text{نصف قطر الكرة } (r).$$

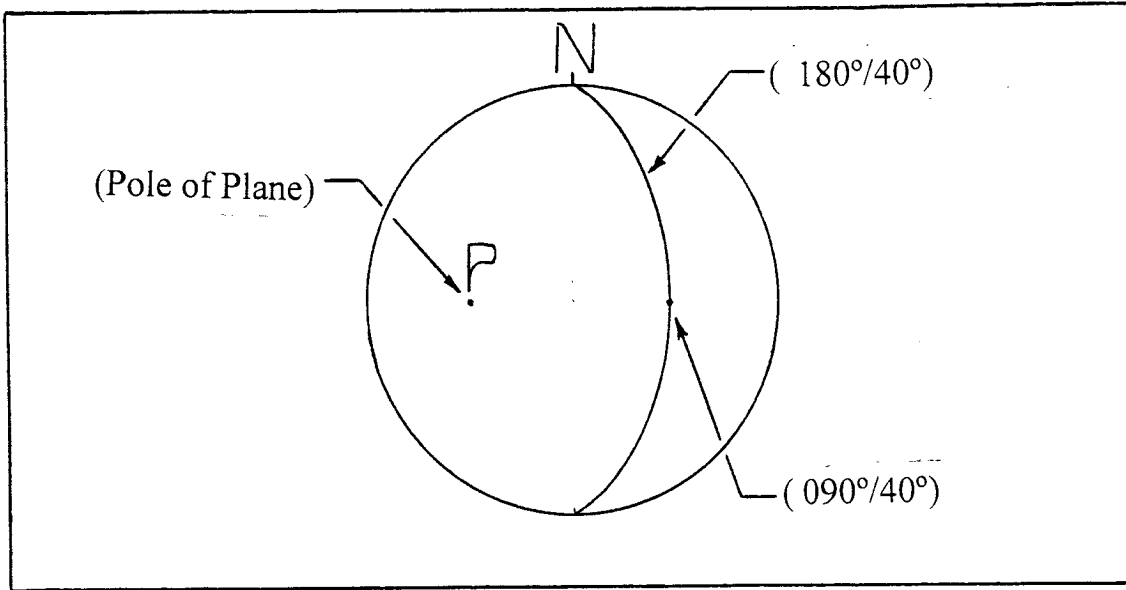
وعليه فإن المسافة من مركز الكرة إلى نقطة الإسقاط على المستوي الأفقي (C) هي دالة لقيمة الميل.

يمكن أن تمثل المستويات بشكل نقاط وذلك بإقامة عمود على سطح المستوي من مركز الكرة (O). بحيث يقطع نصف الكرة السفلي في نقطة مثل (K). الشكل (2-1-C) المسقط العمودي

لنقطة (K) على المستوي الأفقي (C) يسمى قطب المستوي (Pole of Plane) ويرمز له بالرمز (P).

لو أخذنا المستوي الأفقي (C) فقط فإن مسقط الخط ومسقط المستوي ولنصف الكرة السفلي سوف

يظهران كما مبين في الشكل (2-2).



الشكل (2-2): مسقط خط ومستوي وقطب المستوي على المستوي الأفقي (c) لكرة الإسقاط الجسم

3-2: استخدامات الإسقاط الجسم:

يستخدم الإسقاط الجسم بصورة أساسية للقيام بعملية التحليل التركيبي (Structural Analysis) للأجسام الصخرية، ويتضمن هذا التحليل:

1-3-2: التحليل الهندسي (Geometric Analysis): الذي يشمل القياسات المباشرة للصفات الفيزيائية للجسم الصخري، وبالتالي تحديد نوع التركيب وأبعاده الهندسية. يمكن القول أن التحليل الهندسي يهتم بالإجابة عن الأسئلة التي تبدأ بـ (ماذا وأين).

2-3-2: التحليل المنشأئي (Genetic Analysis): الذي يشمل نوعين من التحليل هما:

1. التحليل النيماتى (Kinematics Analysis): وهو تفسير كيفية حصول عملية التشوه في الجسم الصخري.

2. التحليل الديناميكي (Dynamic Analysis): هدف هذا التحليل هو إعادة بناء الإجهاد الذي تسبب في تشوه الجسم الصخري.

وهذا يعني أن التحليل المنشأئي يهتم بالإجابة على الأسئلة التي تبدأ بـ (لماذا، كيف ومتى).

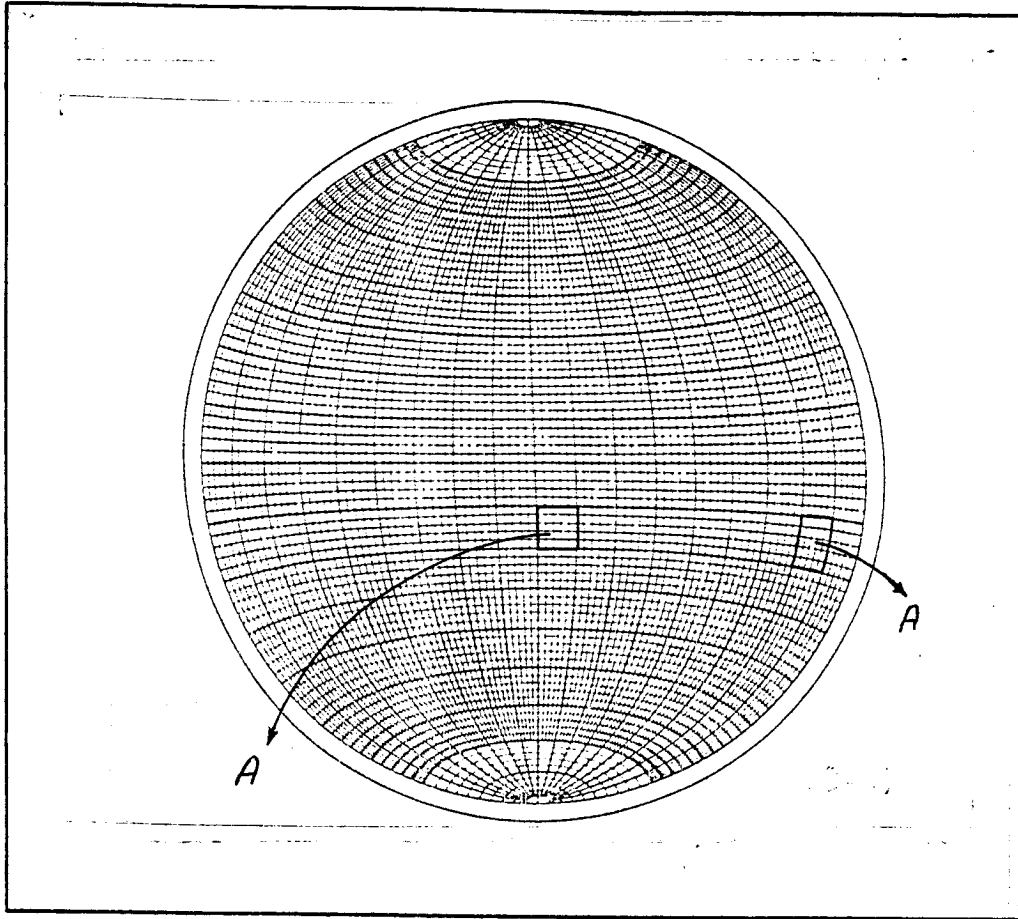
3: أنواع الشبكات :

هناك العديد من الشبكات المستخدمة في الإسقاط المجسم، سوف نذكر منها:
1. شبكة وولف 2. شبكة شميت 3. الشبكة القطبية.

1-3: شبكة شميت أو لامبرت (Schmidt or Lambert Net) :

1-1-3: أساس تشكيل شبكة شميت:

يبين الشكل (3-1) شبكة شميت والتي تحتوي على:



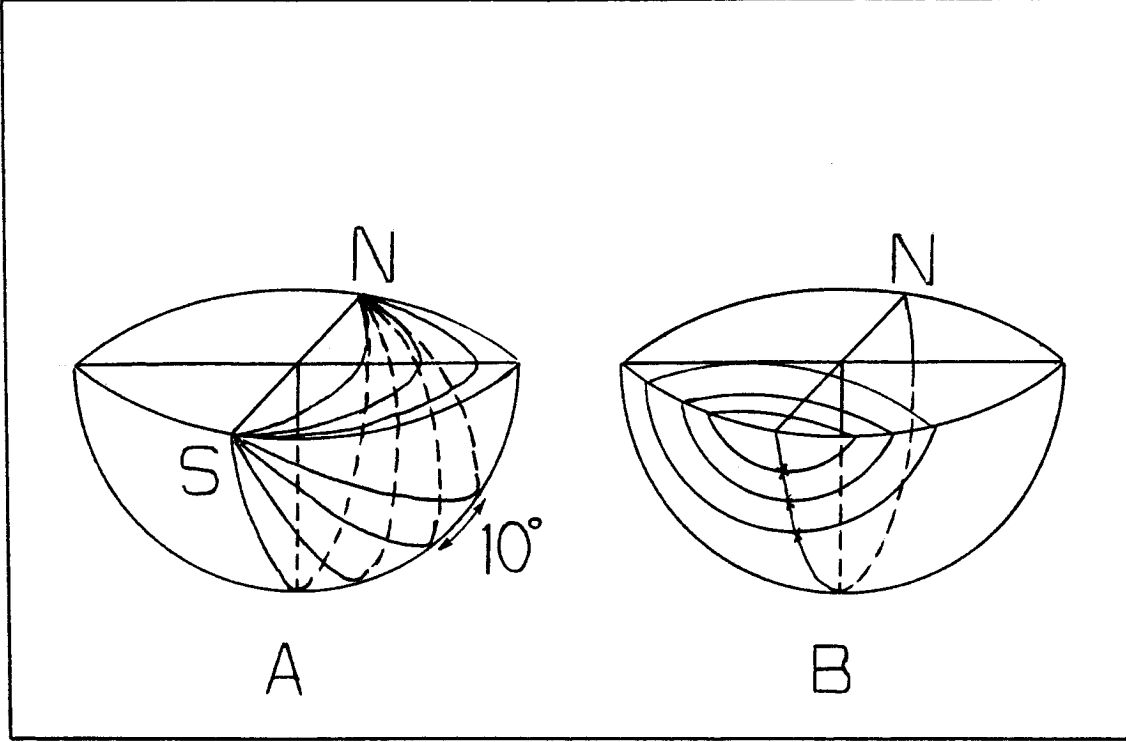
الشكل (3-1): شبكة شميت (Schmidt net).

A: الدوائر العظمى (Great Circle): وهي الأقواس المحدبة نحو محيط الشبكة والتي تمثل مساقط عدد من المستويات تمر بمركز الكرة وتحتوي على المحور (N-S).

الشكل (3-2-A) يبين كيفية تشكيل الدوائر العظمى، حيث يظهر نصف الكرة السفلي والذي يحتوي على المستوي الرأسى (A). يتم تدوير هذا المستوي حول المحور (N-S) ولكل (10°) . مسقط آثار هذه المستويات على المستوي (C) تعطي الدوائر العظمى.

B: الدوائر الصغرى (Small Circle): وهي الأقواس المحدبة نحو مركز الشبكة والتي تمثل مساقط عدد من المستويات العمودية على المحور (N-S).

الشكل (3-2-B) بين كيفية تشكيل الدوائر الصغرى، حيث يظهر نصف الكرة السفلي والذي يحتوي على المستوى الرأسى (A). يتم تقسيم محيط هذا المستوى إلى عدد من النقاط ولكل (10°) ويدور حول المحور (N-S). النقاط على محيط المستوى (A) سوف ترسم عدد من أنصاف الدوائر على سطح نصف الكرة السفلي. مساقط أنصاف الدوائر هذه على المستوى (C) تعطي الدوائر الصغرى.



الشكل (3-2): أساس تشكيل شبكة شمات.
(A) أساس تشكيل الدوائر العظمى. (B) أساس تشكيل الدوائر الصغرى.

3-1-2: خصائص شبكة شمات:

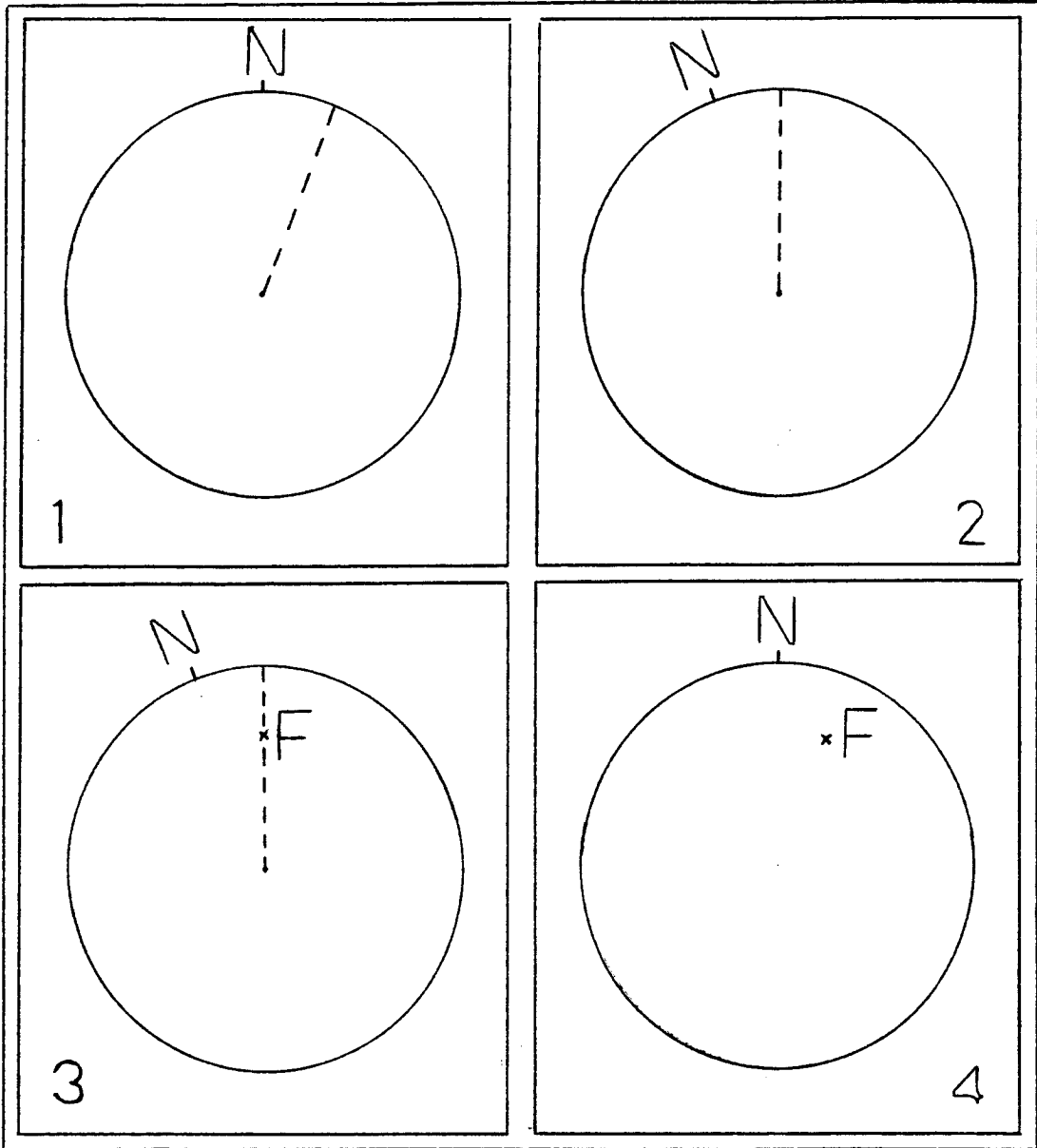
تمتاز شبكة شمات بكونها متساوية المساحة، أي أن كل الأشكال الرباعية داخل الشبكة تكون متساوية في المساحة. الشكل (3-1). أما الزوايا التي تقاطع بها الدوائر العظمى مع الدوائر الصغرى فتكون غير متساوية، لذلك تسمى شبكة شمات بشبكة المساحة المتساوية (Equal-Area Net).

3-1-3: تمثيل العناصر التركيبية على شبكة شمات:

A: تمثيل العناصر الخطية: يتم تمثيل العناصر الخطية على شبكة شمات بشكل نقطة.

مثال: أرسم خط وضعيته (N20°E/30°) على شبكة شمات.

الحل: لغرض الرسم نتبع الخطوات التالية. الشكل (3-3).



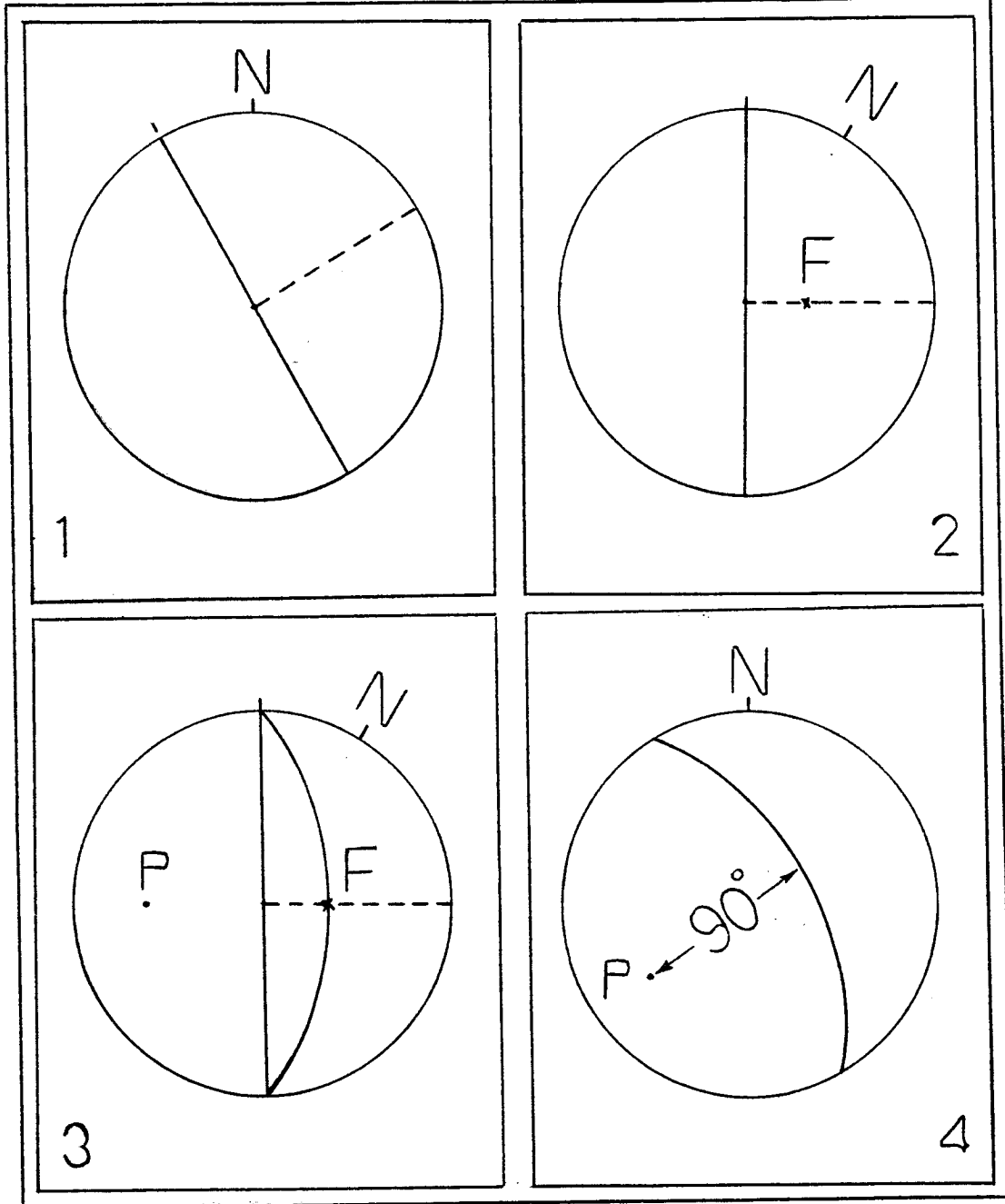
الشكل (3-3): خطوات إسقاط وضعية خط على شبكة شمت.

1. نحدد اتجاه مضرب الخط ($N20^{\circ}E$) على محيط الدائرة المرسومة على الورقة الشفافة واعتماداً على تقسيمات محيط الشبكة.
2. نُدير الورقة الشفافة إلى أقرب محور ($N-S$) أو ($E-W$) حتى ينطبق اتجاه المضرب على أحد المحاور وليكن المحور ($N-S$).
3. نقيس قيمة زاوية الميل (30°) من محيط الشبكة (Net Circumference) وعلى امتداد (NO) ولمسافة (30°) لكي نحدد نقطة (F).
4. نُعيد الورقة الشفافة إلى وضعها الأصلي، أي ينطبق شمال الورقة الشفافة مع شمال الشبكة.
5. نقطة (F) تمثل مسقط الخط الذي وضعته ($N20^{\circ}E/30^{\circ}$).

B: تمثيل العناصر المستوية: يتم تمثيل العناصر المستوية على شبكة شمت بشكل دوائر عظمى.

مثال: أرسم مستوي وضعيته ($N30^{\circ}W/60^{\circ}NE$) على شبكة شمت.

الحل: لغرض الرسم نتبع الخطوات التالية، الشكل (4-3).



الشكل (4-3): خطوات إسقاط وضعية مستوي على شبكة شمت.

1. نحدد اتجاه مضرب المستوي ($N30^{\circ}W$) على محيط الدائرة المرسومة على الورقة الشفافة واعتماداً على تقسيمات محيط الشبكة.
2. نحدد اتجاه الميل (NE)، هل يقع على يمين خط المضرب أم يساره؟ في المثال المعطى اتجاه الميل يقع إلى يمين المضرب.

3. نُدير الورقة الشفافة حتى ينطبق اتجاه المضرب مع اتجاه الشمال (N).
4. نقيس قيمة زاوية الميل من الشرق ومن محيط الشبكة إلى مركزها وبزاوية مقدارها (60°)، لكي نحدد نقطة (F).
5. نرسم على الورقة الشفافة دائرة عظمى من الشمال إلى الجنوب مروراً بنقطة (F).
6. نعيد الورقة الشفافة إلى وضعها الأصلي، أي ينطبق شمال الورقة الشفافة على شمال الشبكة.
7. الدائرة العظمى المرسومة تمثل مسقط المستوي الذي وضعيته ($N30^\circ W/60^\circ NE$).
- ملاحظة: - إذا كانت وضعية المستويات مقاسة بالاتجاه الدائري الكامل، فيجب أن نحدد الاتجاه الذي عنده تُؤخذ قراءة المضرب، هل هو مقياس من الميل باتجاه عقرب الساعة أم مقياس من الميل باتجاه عكس عقرب الساعة.
- إذا كان المضرب مقياس من الميل باتجاه عقرب الساعة، فلغرض إسقاط وضعية المستوي على شبكة شمت تتبع نفس الخطوات السابقة مع مراعاة قراءة قيمة الميل من الغرب (W) دائماً. أما إذا كان المضرب مقياس من الميل باتجاه عكس عقرب الساعة فنحدد قيمة الميل من الشرق (E) دائماً.
- C. تمثيل قطب المستوي:** علمنا سابقاً إن القطب (Pole) يمثل مسقط العمود على المستوي أي أنه يصنع زاوية مقدارها (90°) مع المستوي. لذلك فعند رسم قطب المستوي على شبكة شمت تتبع الخطوات التالية: شكل (3-4).
1. ندير الورقة الشفافة حتى ينطبق مضرب المستوي مع المحور (N-S).
2. نحسب مسافة مقدارها (90°) على المحور (S-W) ابتداءً من الجزء المقعر للدائرة العظمى مروراً بمركز الشبكة حتى نعين نقطة القطب (P).
- تمرين (3): أرسم كل من القراءات الآتية على شبكة شمت، وحدد أقطاب المستويات.

A- Linear Elements:

- | | |
|-------------------------------|-----------------------------|
| 1. ($250^\circ/30^\circ$) | 2. ($300^\circ/60^\circ$) |
| 3. ($180^\circ/50^\circ$) | 4. ($272^\circ/00^\circ$) |
| 5. ($N10^\circ W/10^\circ$) | 6. ($360^\circ/90^\circ$) |

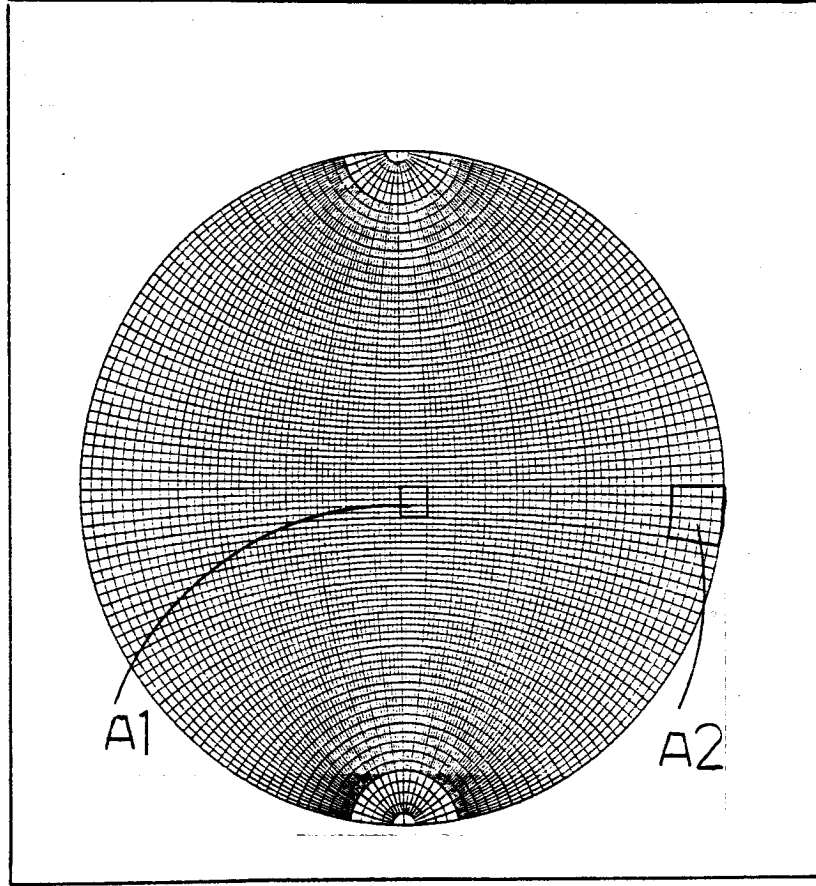
B- Planar Elements:

1. ($S60^\circ E/60^\circ NE$)
2. ($N60^\circ W/30^\circ SW$)
3. ($205^\circ/25^\circ$) Strike clockwise from dip.
4. ($320^\circ/15^\circ$) strike counterclockwise from dip.
5. ($060^\circ/20^\circ$) Strike clockwise from dip.
6. ($350^\circ/80^\circ$) strike anticlockwise from dip.
7. ($180^\circ/90^\circ$)
8. ($000^\circ/00^\circ$).

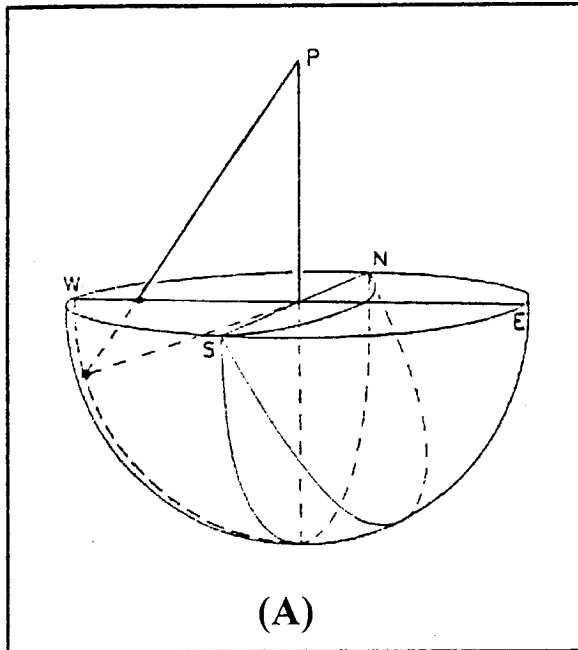
2-3: شبكة وولف (Wulff Net)

1-2-3: أساس تشكيل شبكة وولف:

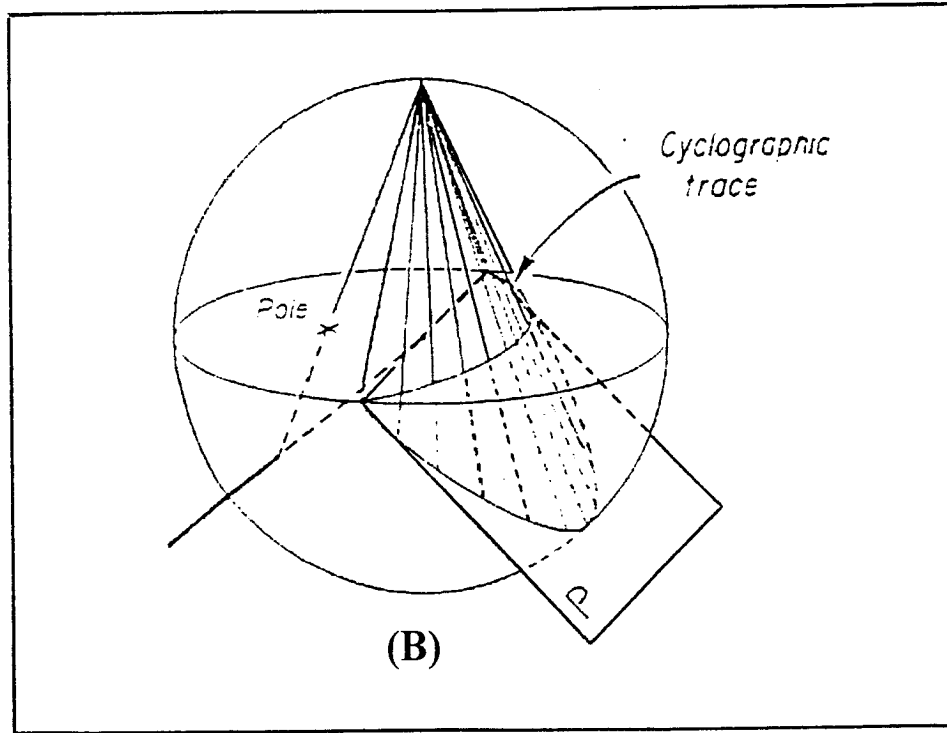
لا يختلف تشكيل شبكة وولف (3-5) عن تشكيل شبكة شميت إلا في كون الإسقاط في شبكة وولف يكون مائلا" بحيث أن خط الإسقاط يمر بأعلى كرة الإسقاط، عند نقطة (A) الشكل (3-6).



الشكل (3-5): شبكة وولف (Wulff net)



(A)



الشكل (3-6): مبدأ إسقاط الخطوط والمستويات على شبكة وولف.

3-2-2: خصائص شبكة وولف:

تمتاز شبكة وولف بكونها مختلفة المساحة، أي أن كل الأشكال الرباعية داخل الشبكة تكون مختلفة في المساحة، شكل (3-5). أما الزوايا التي تتقاطع بها الدوائر العظمى مع الدوائر الصغرى فتكون متساوية. لذلك تسمى شبكة وولف بشبكة الزوايا المتساوية (Equiangular Net).

3-2-3: استخدامات شبكة وولف:

أن استخدامات شبكة وولف هي نفسها استخدامات شبكة شمت، حيث تستخدم في تمثيل العناصر الخطية والمستوية وكذلك أقطاب المستويات وبنفس الطريقة.

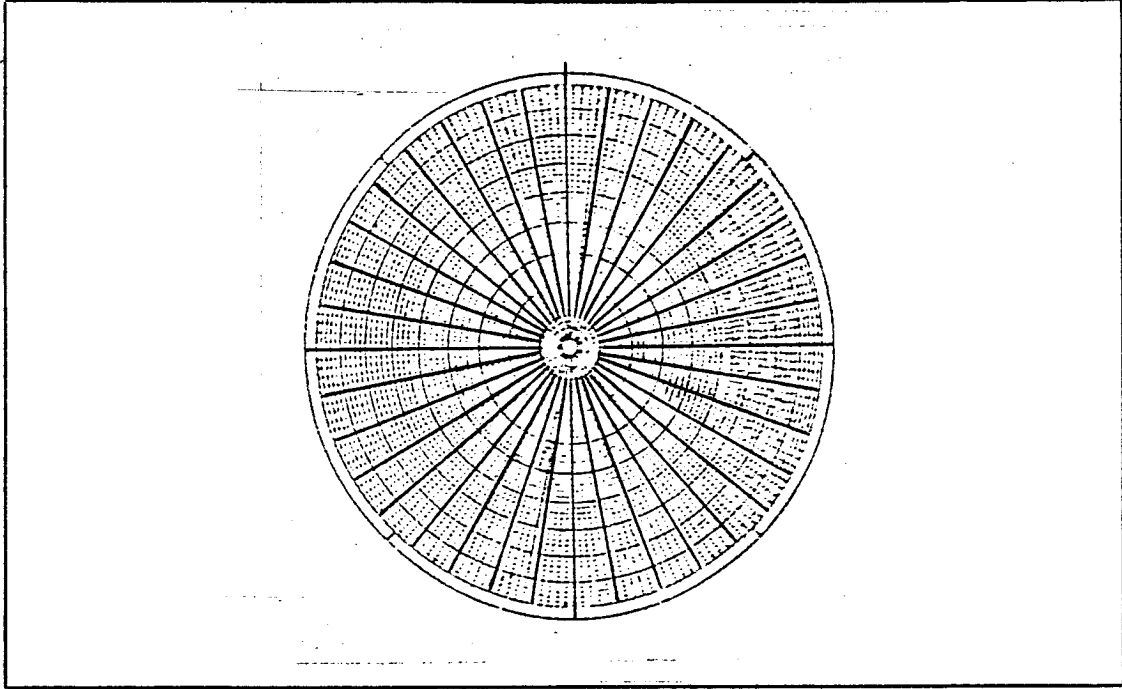
3-3: الشبكة القطبية أو شبكة بلنك (Polar or Billing Net) :

لاحظنا إمكانية تمثيل قطب المستوي على شبكة شمت أو شبكة وولف، ولكن هذه العملية تحتاج إلى وقت طويل خصوصاً إذا توفرت لدينا العديد من قراءات المستويات. لذلك تم ابتكار الشبكة القطبية التي يكون فيها الإسقاط أكثر يسراً. الشكل (3-7).

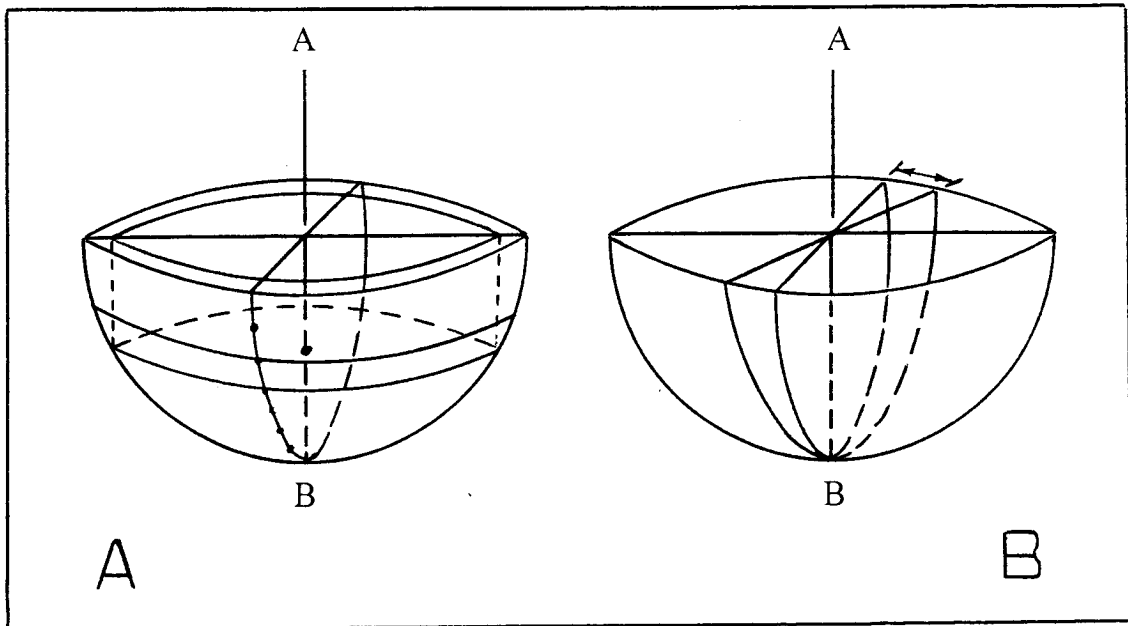
1-3-3: أساس تشكيل الشبكة القطبية:

تحتوي الشبكة القطبية على دوائر متحدة المركز يتم تشكيلها بواسطة تدوير المستوي الرأسى (A) حول المحور الرأسى (AB). محيط المستوي (A) مقسم إلى عدد من النقاط المسافة بينها (10°) ، فعند تدوير هذا المستوي فإن النقاط الموجودة على محيطه سوف ترسم دوائر على سطح الكرة السفلى، مساقط هذه الدوائر على المستوي الأفقى (C) تعطي الدوائر المتحدة المركز. الشكل (1-8-A).

أما الخطوط الشعاعية الممتدة من مركز الشبكة إلى محيطها فيتم تشكيلها من خلال تقسيم محيط المستوي (C) إلى (360°) ومن ثم تدوير المستوي الرأسى (A) حول المحور الرأسى (AB) ولكل (10°) . مسقط المستوي الرأسى (A) على المستوي الأفقى (C) سوف يكون الخطوط الشعاعية. الشكل (1-8-B).



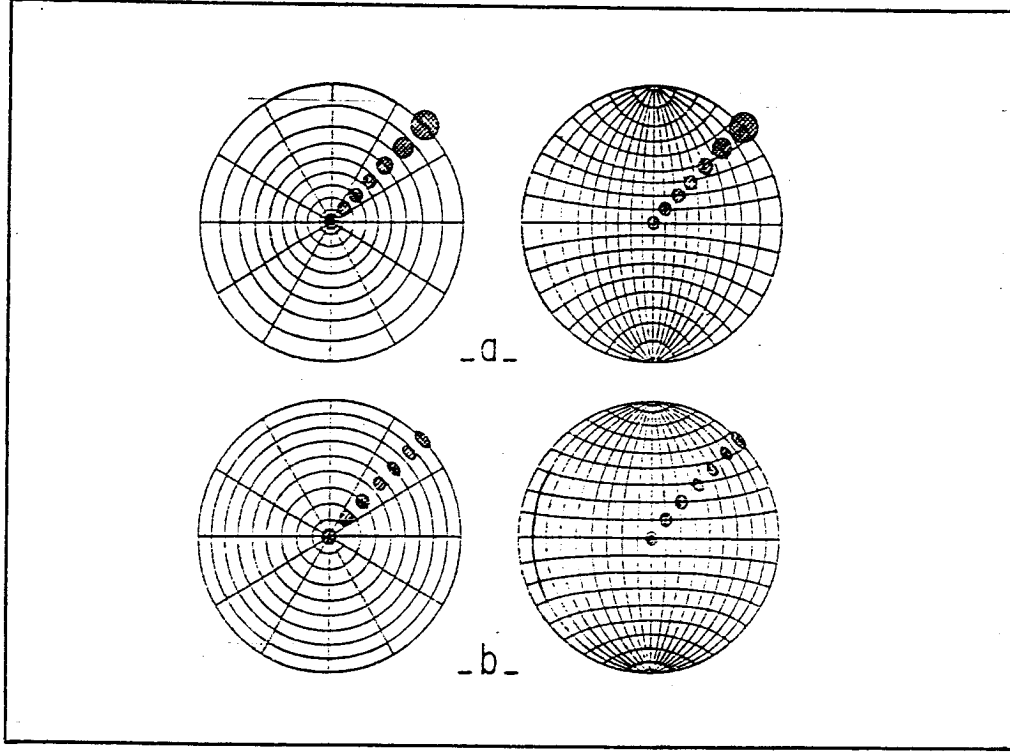
الشكل (3-7): الشبكة القطبية (Polar net).



الشكل (3-8): أساس تشكيل الشبكة القطبية.

2-3-3: خصائص الشبكة القطبية:

يمكن أن تتشكل الشبكة القطبية بواسطة الإسقاط المائل (شبكة وولف) أو الإسقاط العمودي (شبكة شميت). لذلك فإن الشبكة القطبية إما أن تكون متساوية المساحة (Polar Equal-Area Net) أو متساوية الزوايا (Polar Equiangular Net) الشكل (9-3).



الشكل (9-3): خصائص الشبكة القطبية.

(A) الشبكة القطبية المتشكلة من شبكة وولف.

(B) الشبكة القطبية المتشكلة من شبكة شميت.

3-3-3: تمثيل العناصر التركيبية على الشبكة القطبية:

A. تمثيل العناصر الخطية: نضع شمال الورقة الشفافة على شمال الشبكة، ونحدد قيمة اتجاه الميل، ومن ثم نحسب قيمة الميل (الغطس) من محيط الشبكة (0°) إلى مركزها (90°).

B. تمثيل العناصر المستوية:

1. يجب أن نضع شمال الورقة الشفافة على غرب أو شرق الشبكة، وكما يلي:

a. إذا كان المضرب مقياس من الميل باتجاه عقرب الساعة، نضع شمال الورقة الشفافة على غرب

الشبكة، وذلك لكي نضيف (90°) إلى قراءة المضرب.

b. إذا كان المضرب مقياس من الميل باتجاه عكس عقرب الساعة، نضع شمال الورقة الشفافة على شرق

الشبكة، وذلك لكي نطرح (90°) من قراءة المضرب.

C. إذا كان المضرب مقاس بالانجاء الربعي، فعلى الطالب استنتاج الاتجاه الصحيح الذي يوضع عليه

شمال الورقة الشفافة، والذي عنده تضاف أو تطرح (90°) إلى أو من المضرب.

2. نحدد قيمة اتجاه المضرب من شمال الشبكة.

3. نحسب قيمة الميل من مركز الشبكة (O) إلى محيطها (90°).

تمرين (4): (1) سقط القراءات المذكورة في تمرين (3) على الشبكة القطبية.

(2) سقط القراءات الآتية على الشبكة القطبية.

A- $130^\circ/25^\circ$ B- $064^\circ/75^\circ$ C- $180^\circ/90^\circ$ D- $023^\circ/48^\circ$ E- $360^\circ/45^\circ$

F- $000^\circ/00^\circ$ G- $200^\circ/79^\circ$ H- $765^\circ/84^\circ$ I- $123^\circ/36^\circ$ J- $345^\circ/66^\circ$

في حالة كونها تمثل وضعية عناصر خطية مرة وفي حالة كونها تمثل عناصر مستوية مرة أخرى.

4: تحليل الطيات وتصنيفها:

1-4: تحليل الطيات وتصنيفها باستخدام شبكة شمات:

إذا كان لدينا وضعية جناحين في طية فعندها يمكن أن نحدد وضعية العناصر الهندسية للطية وبالتالي تصنيفها.

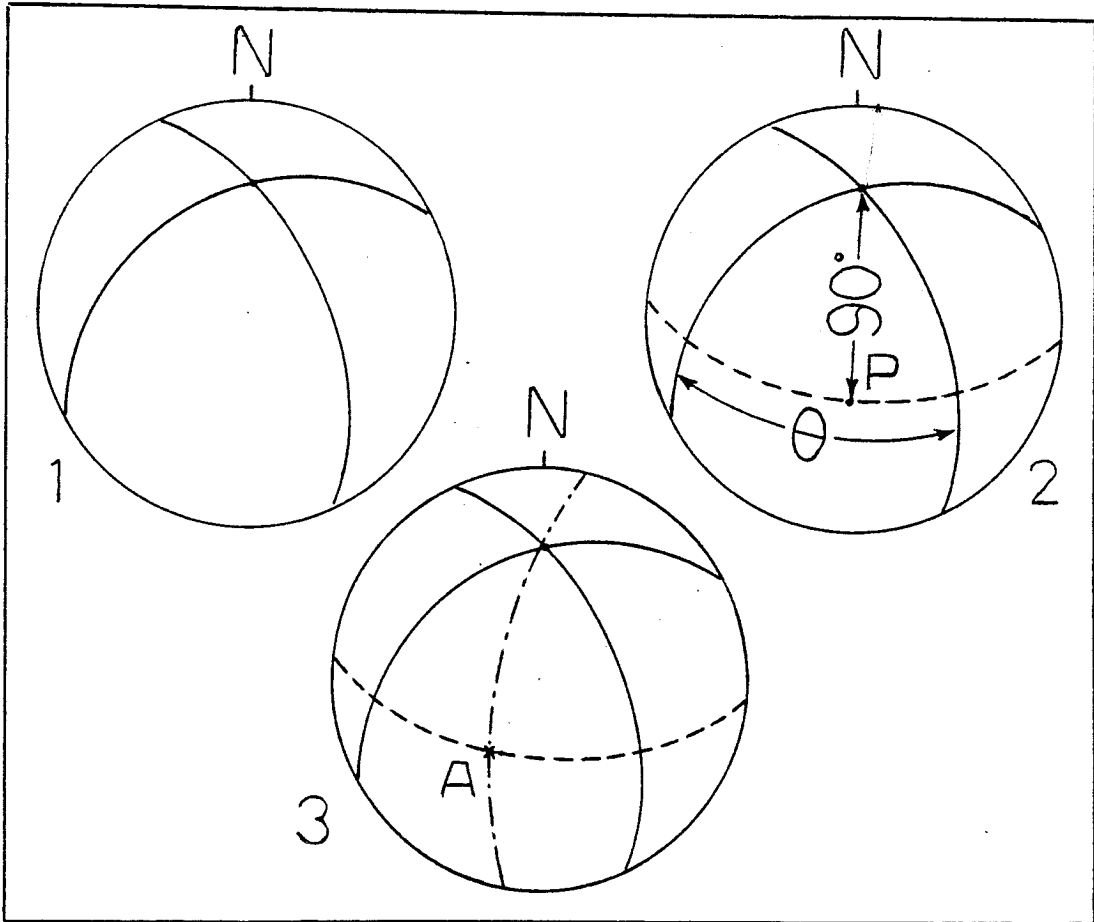
مثال: إذا كانت وضعية جناحين في طية ما، كما يلي:

Limb(1): (N60°E/40°NW) Limb(2): (N25°W/60°NE)

المطلوب إيجاد كل مما يأتي:

1. وضعية محور الطية (Fold Axis).
2. الزاوية بين جناحي الطية (Interlimb Angle).
3. وضعية المستوي المحوري (Axial Plane).
4. تصنيف الطية اعتماداً على العناصر الهندسية السابقة.

الحل: الخطوة الأولى تتمثل بتسقيط وضعية جناحي الطية على شبكة شمات بشكل دوائر عظمى وكما مر بنا سابقاً. شكل (1-4).



الشكل (1-4): خطوات إيجاد وضعية العناصر الهندسية للطيات باستخدام شبكة شمات، إذا علمت وضعية جناحي الطية.

1. نقطة تقاطع الدائرتين العظمتين تمثل محور الطية، لإيجاد وضعية هذه النقطة تتبع الخطوات التالية:
 - a. ندير الورقة الشفافة حتى تقع نقطة التقاطع على المحور الأفقي (E-W).
 - b. نقيس قيمة الميل من محيط الشبكة إلى نقطة التقاطع على طول المحور الأفقي. قيمتها في هذا المثال (40°).
 - c. نرسم خط من مركز الشبكة إلى محيطها مروراً بنقطة التقاطع.
 - d. نعيد الورقة الشفافة إلى وضعها الأصلي ونقيس قيمة المضرب والذي يساوي في هذا المثال ($N4^\circ E$). إذا تصحح وضعية محور الطية ($N4^\circ E/40^\circ$).
2. لغرض حساب الزاوية بين جناحي الطية تتبع الخطوات التالية:
 - a. ندير الورقة الشفافة حتى تقع نقطة التقاطع على المحور الأفقي للشبكة (E-W)، ولتكن واقعة قريبة من الشرق.
 - b. نحسب مسافة مقدارها (90°) على المحور الأفقي من نقطة التقاطع، ونؤشر نقطة (P).
 - c. نرسم الدائرة العظمى التي تقع عليها النقطة (P) بحيث تمتد بين الدائرتين العظمتين الأصليتين.
 - d. نحسب المسافة على الدائرة العظمى والتي تمثل قيمة الزاوية الداخلية و تساوي قيمتها في مثالنا هذا (110°).
3. لغرض تحديد وضعية المستوي المحوري تتبع الخطوات التالية:
 - a. نحدد نقطة منتصف الزاوية الداخلية ولتكن نقطة (A)، حيث نفرض دائماً أن المستوي المحوري ينصف الزاوية الداخلية.
 - b. ندير الشبكة بحيث تقع نقطة التقاطع ونقطة (A) على دائرة عظمى واحدة والتي تمثل مسقط المستوي المحوري.
 - c. نجد وضعية المستوي المحوري والتي تساوي في مثالنا هذا ($N13^\circ E/80^\circ NW$).
4. تصنف الطية على أنها:
 - a. طية غاطسه (Plunged Fold) وذلك لأن محور الطية يميل (يغطس) بزاوية مقدارها (40°) نحو الشمال تقريباً.
 - b. طية غير متناظرة (Asymmetrical Fold) وذلك لأن زاوية ميل الجناح الأول (40°) أقل من زاوية ميل الجناح الثاني (60°)، أو من الرسم نجد أن النقطة (P) لا تنطبق مع النقطة (A).
 - c. حسب تصنيف فلوتي (Fleuty, 1964) للطيّات واعتماداً على قيمة الزاوية الداخلية (الجدول 1) فإن الطية هي طية مفتوحة. وذلك لأن قيمة الزاوية الداخلية تساوي (110°).

جدول (1) :تصنيف فلوتي (Fleuty,1964). للطيّات اعتمادا على قيمة الزاوية الداخلية (Interlimb Angle(θ)).

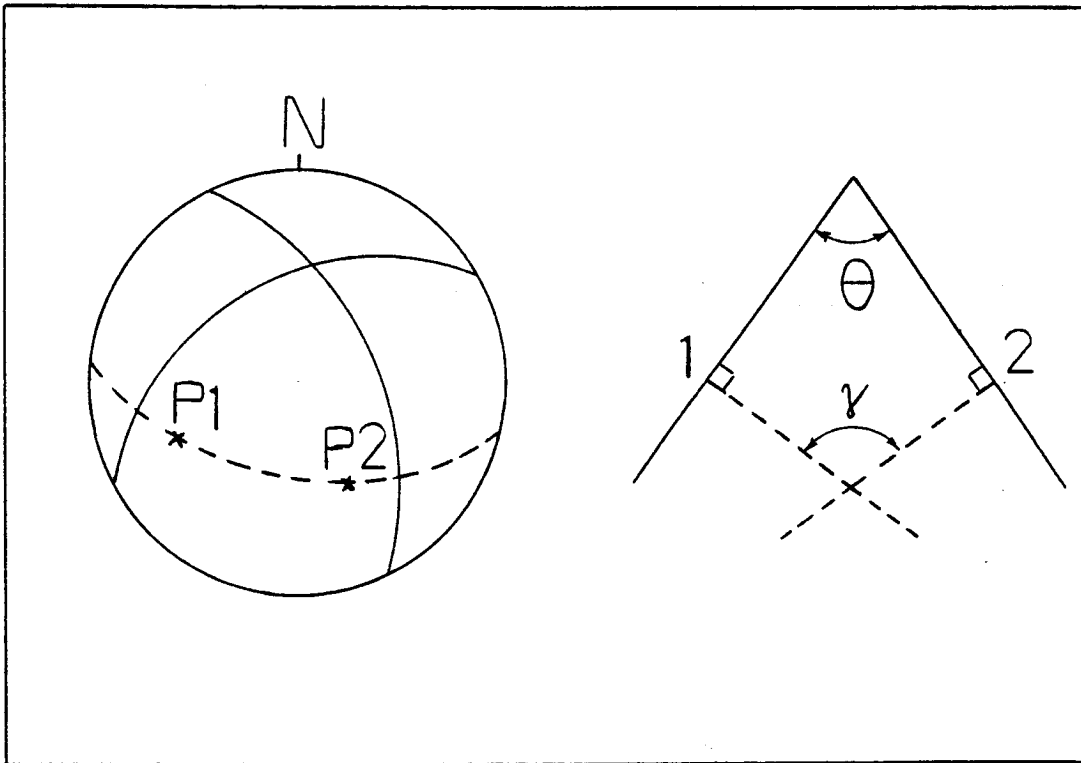
Interlimb Angle(θ)	Type of Fold
180°-120°	Gentle بسيطة
120°-70°	Open مفتوحة
70°-30°	Close مغلقة
30°-0°	Tight حادة
0°	Isoclinal متماثلة

ملاحظة: - يمكن أن نجد قيمة الزاوية الداخلية من خلال تعيين قطبي جناحي الطية ووضعهما على دائرة عظمى واحدة. الزاوية بين القطبين على الدائرة العظمى تمثل المتمم للزاوية الداخلية. الشكل (4-2).

$$\theta = 180^\circ - \gamma$$

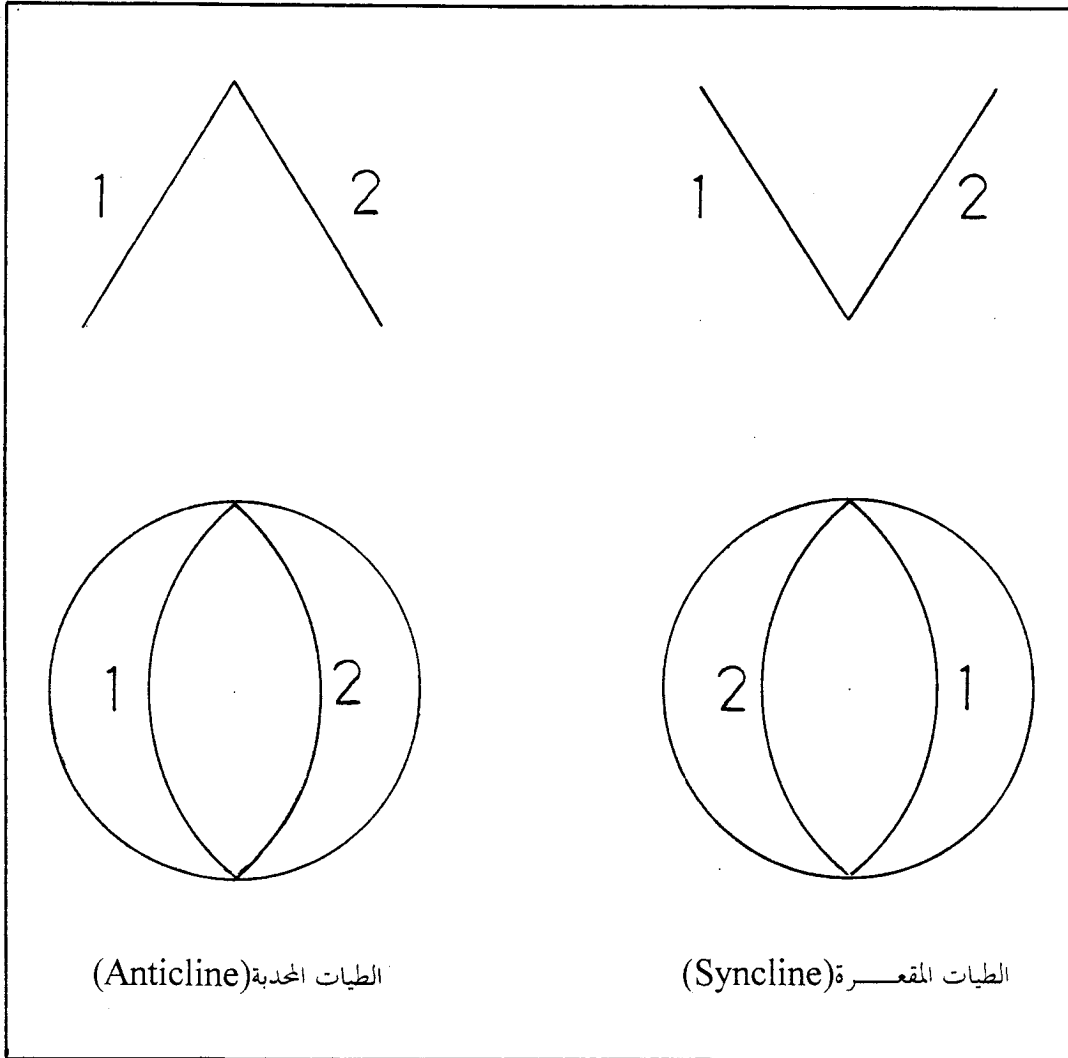
حيث أن: θ = الزاوية بين جناحي الطية.

γ = الزاوية بين قطبي جناحي الطية.



الشكل (4-2): حساب الزاوية الداخلية بين جناحي الطية بإسقاط قطبي الجناحين.

ملاحظة: لا نستطيع أن نميز بين الطيات المحدبة (Anticline) والطيات المقعرة (Syncline) باستخدام الإسقاط المخمس. السبب في ذلك يعود إلى كون جناحي الطية في كلا الحالتين (المقعرة والمحدبة) يوازي كل منهما نظيره الآخر وبصورة متبادلة. شكل (4-3) أي أن جناح الطية المحدبة الأيسر يوازي جناح الطية المقعرة الأيمن والعكس بالعكس. وكما نعلم فإن إسقاط المستويات المتوازية يكون واحداً.



الشكل (3-4): عدم إمكانية التمييز بين الطيات المحدبة والطيات المقعرة باستخدام الشبكات.

تمرين (5): جد وضعية العناصر الهندسية للطيات الآتية ومن ثم صنفها.

Fold (1): Limb (1) ($345^\circ/60^\circ$) Limb(2) ($090^\circ/40^\circ$)

[Strike clockwise from dip].

Fold (2): Limb(1) ($060^\circ/45^\circ$) Limb(2) ($135^\circ/50^\circ$)

[Strike anticlockwise from dip].

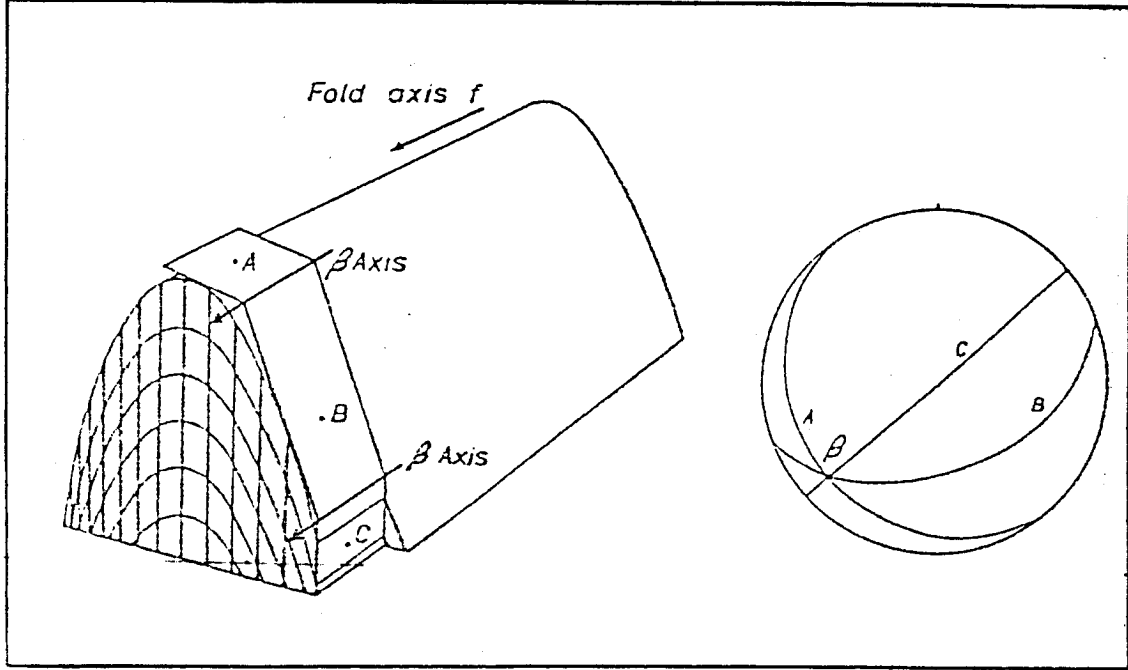
Fold (3): Limb(1) ($170^\circ/30^\circ$) Limb(2) ($350^\circ/50^\circ$)

[Strike clockwise from dip].

Fold (4): Limb(1) ($020^\circ/90^\circ$) Limb(2) ($300^\circ/90^\circ$)

1-1-4: مخطط بيتا (β-Diagram):

في حالة توفر عدد من قراءات وضعية الطبقات على جناحين في طية، يتم تسقيطها على شبكة شمت بشكل دوائر عظمى ويسمى المخطط الناتج (مخطط بيتا). نقاط تقاطع هذه المستويات مع بعضها تسمى محاور بيتا (β-axes). نجد معدل هذه المحاور بواسطة النظر فيسمى معدل محاور بيتا (Average β-axes) والذي يمثل محور الطية (Fold axis). شكل (4-4).



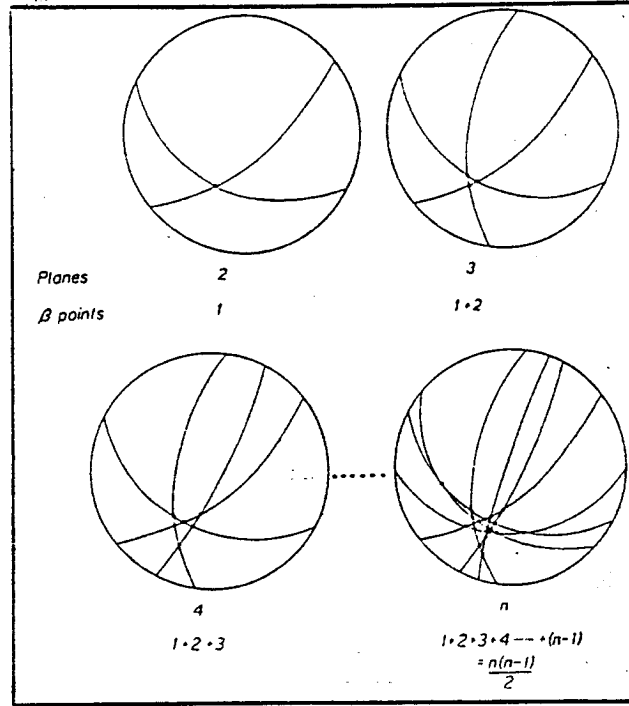
الشكل (4-4): مخطط بيتا (β-Diagram).

عيوب مخطط بيتا: أن أول من التفت الى عيوب مخطط بيتا هو (Ramsay, 1967) حيث أشار إلى أن مخطط بيتا يخلق العديد من القراءات الوهمية في الفراغ المجسم. شكل (4-4) و (4-5). وبالتالي يؤدي إلى عدم تتطابق محاور بيتا مع الواقع، وخصوصاً في الطيات المفتوحة جداً. يمكن حساب عدد نقاط تقاطع المستويات في مخطط بيتا باستخدام القانون الآتي:

$$N = n(n-1)/2$$

حيث أن: N = عدد نقاط التقاطع (Number of Intersection).

n = عدد القراءات (المستويات).



الشكل (4-5): العلاقة بين عدد نقاط التقاطع وبين عدد المستويات المرسومة.

تمرين (6): تم أخذ عدد من القراءات لوضعية الطبقات على جناحين في طية وكما يلي:

Limb (1): A-(350°/70°) B-(340°/80°)

C-(345°/75°) D-(348°/78°).

Limb (2): A-(123°/70°) B-(110°/60°)

C-(120°/65°) D-(115°/68°).

المطلوب: حساب وضعية العناصر الهندسية للطية وتصنيفها.

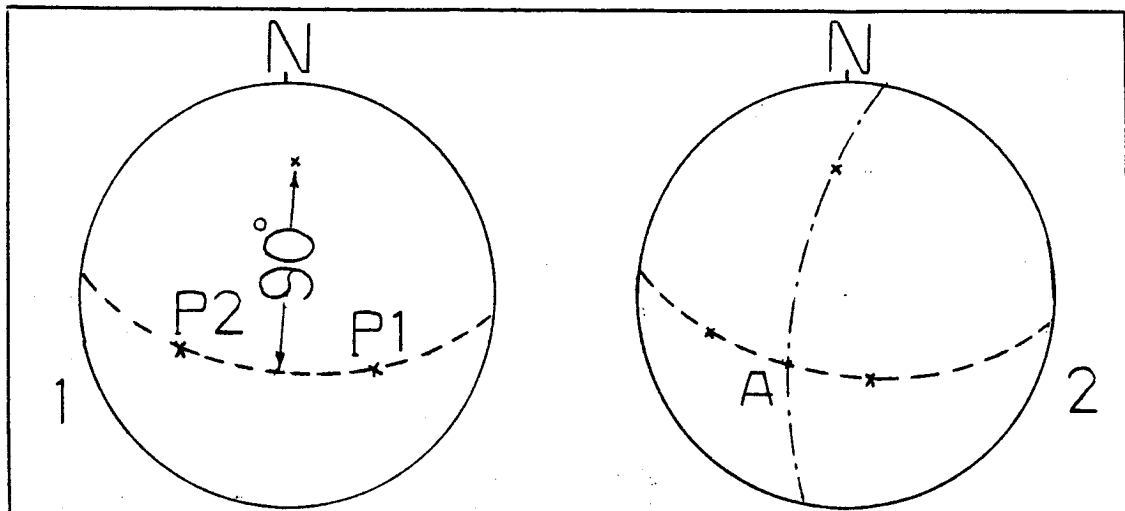
ملاحظة: لغرض حساب الزاوية الداخلية في التمرين أعلاه يجب إيجاد الزاوية بين معدل أقطاب المستويات

والمقاسة على دائرة عظمى.

2-4: تحليل الطيات وتصنيفها باستخدام الشبكة القطبية:

إذا كان لدينا وضعية جناحين في طية فعندها يمكن أن نحدد وضعية العناصر الهندسية للطية وبالتالي

تصنيفها، وحسب الخطوات التالية: الشكل (4-6).



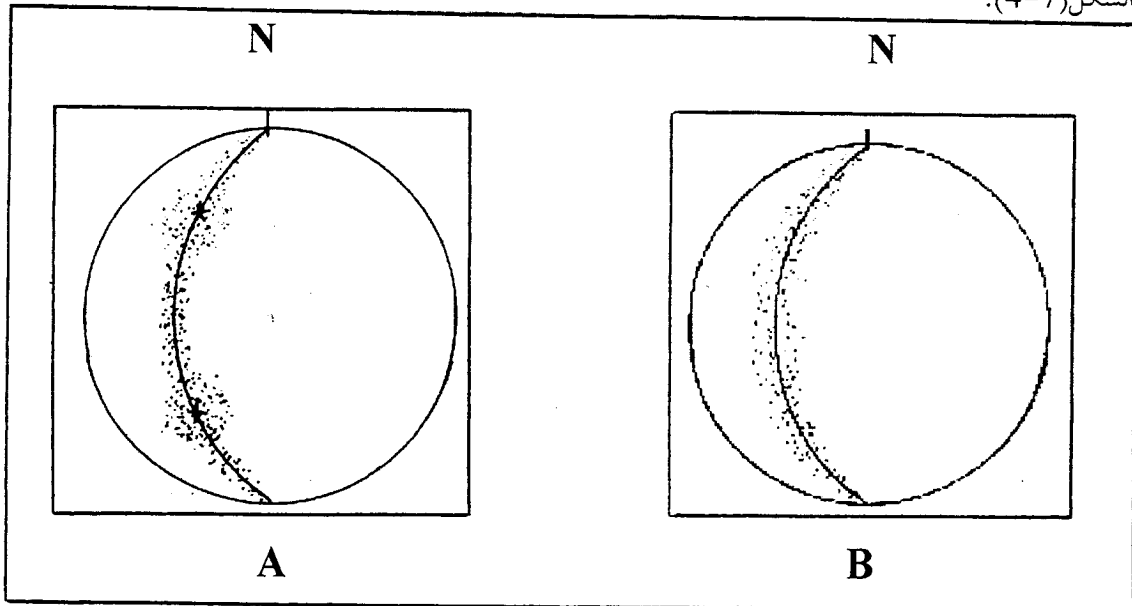
الشكل (4-6): خطوات إيجاد وضعية العناصر الهندسية للطيات باستخدام الشبكة القطبية، إذا

علمت وضعية جناحي الطية.

1. نسقط وضعية جناحي الطية على الشبكة القطبية بشكل نقاط قطبية، وكما مر بنا سابقاً.
2. نرفع الورقة الشفافة من الشبكة القطبية ونضعها على شبكة شمت.
3. نضع قطبي الجناحين على دائرة عظمى واحدة ونرسمها.
4. المسافة بين القطبين على الدائرة العظمى تمثل الزاوية المتممة للزاوية الداخلية.
5. قطب الدائرة العظمى التي تم رسمها يمثل محور الطية. نجد وضعيته كما مر بنا سابقاً.
6. نحدد نقطة منتصف الزاوية الداخلية، ولتكن نقطة (A).
7. ندير الشبكة بحيث تقع نقطة (A) ومحور الطية على دائرة عظمى واحدة، والتي تمثل مسقط المستوي المحوري. نجد وضعيته كما مر بنا سابقاً.

4-2-1: مخطط باي (Pi-Diagram):

نستخدم الشبكة القطبية في رسم هذا المخطط، حيث يتم تسقيط المستويات بشكل أقطاب، نرسم لهذه الأقطاب دائرة عظمى تمثل مستوي باي (Pi-Plane). نحدد لهذا المستوي قطب يسمى محور باي (Pi-Axis) والذي يكون عمودي على مستوي باي. هذا المحور يمثل محور الطية (Fold Axis).
الشكل (4-7).

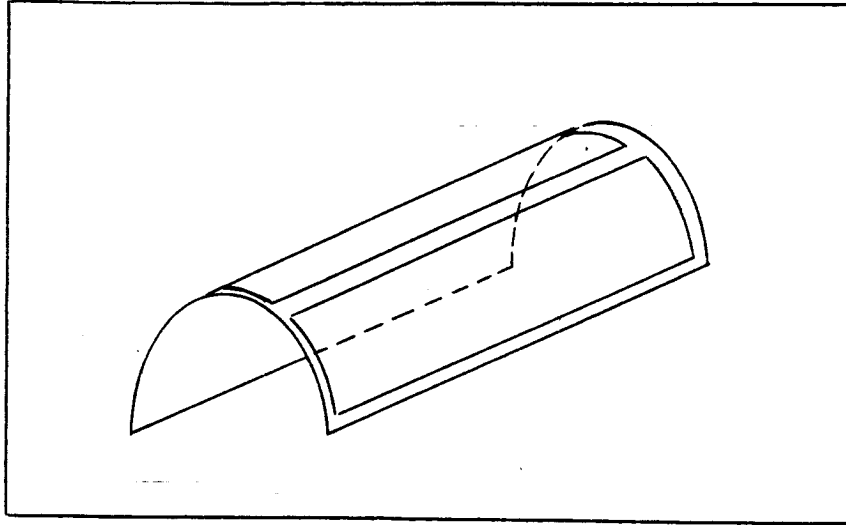


شكل (4-7): مخطط باي (Pi-Diagram).

(A) التوزيع الإحصائي للقراءات متجانس. (B) التوزيع الإحصائي للقراءات غير متجانس.

ملاحظة: إذا كان التوزيع الإحصائي متجانساً للقراءات المأخوذة على جناحي الطية فإن النقاط القطبية سوف تظهر بشكل نقاط كثيفة على جوانب مستوي باي. الشكل (A-4-7). والسبب في ذلك يعود إلى كون مساحة جناحي الطية أكبر من مساحة قمتها، وبالتالي يكون عدد القراءات المأخوذة على الجناحين أكبر من تلك المأخوذة عند القمة. الشكل (4-8).

يمكن الاستفادة من هذه الظاهرة بأخذ معدل النقاط المتجمعة على جانبي مستوي باي وحساب الزاوية بين هذين المعدلين والتي تمثل الزاوية الداخلية المحصورة بين جناحي الطية.

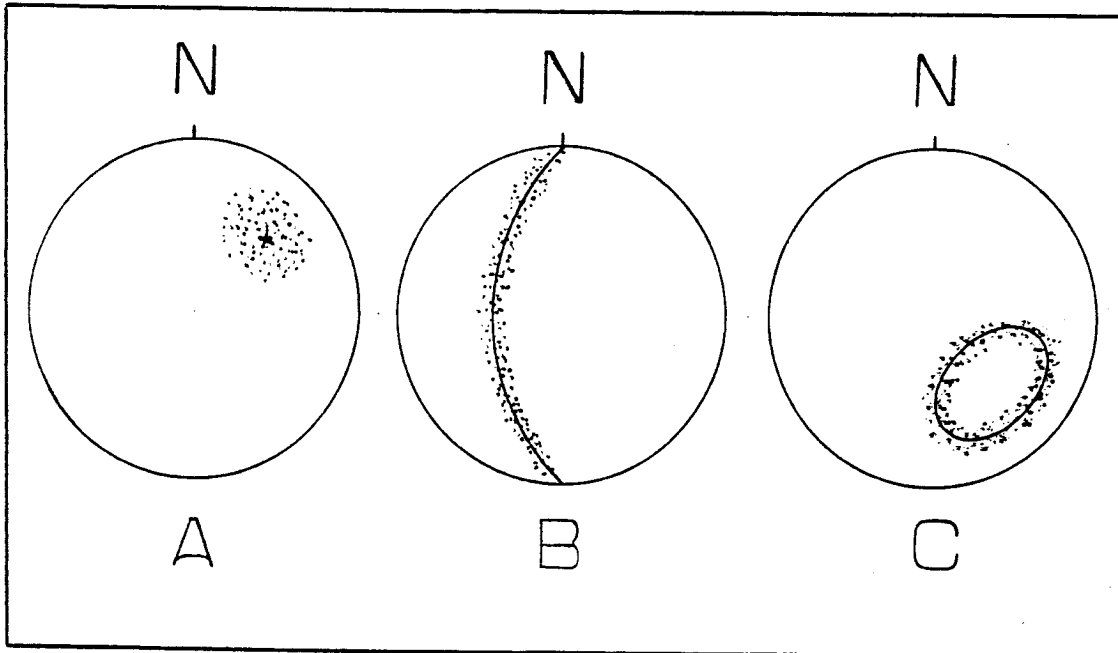


الشكل (4-8): مساحة جناحي الطية أكبر من مساحة قمتها.

3-4: أنماط الاتجاهات المفضلة (Patterns of Preferred):

في حالة الإسقاط المحسم يظهر لدينا نوعين من توزيع النقاط هما:

1. التوزيع العشوائي: وهو التوزيع الذي لا تكون فيه النقاط مرتبة وفق نمط معين.
 2. التوزيع المنتظم: وهو التوزيع الذي تكون فيه النقاط مرتبة وفق نمط معين، وهو على ثلاثة أنواع:
- الشكل (4-9).



الشكل (4-9): نماذج الاتجاهات المفضلة.

(A) نقطة عظمى. (B) دائرة عظمى. (C) دائرة صغرى.

- A. نقطة عظمى (Point Maximum): تكون نقاط الإسقاط متجمعة في منطقة واحدة. معدل هذه النقاط يمثل اتجاه خطي مفضل (Best Line).
- B. دائرة عظمى أو حزام (Great Circle or Girdle): تكون نقاط الإسقاط متجمعة بشكل دائرة عظمى، تمثل اتجاه مستوي مفضل (Best Plane). وهي دليل على وجود طية أسطوانية.
- C. دائرة صغيرة (Small Circle): تكون نقاط الإسقاط متجمعة بشكل دائرة صغيرة، تمثل اتجاه مستوي مفضل (Best Plane) وهي دليل على وجود طية مخروطية (Con Fold) أو قبة (Dome) أو تركيب كروي معقد.

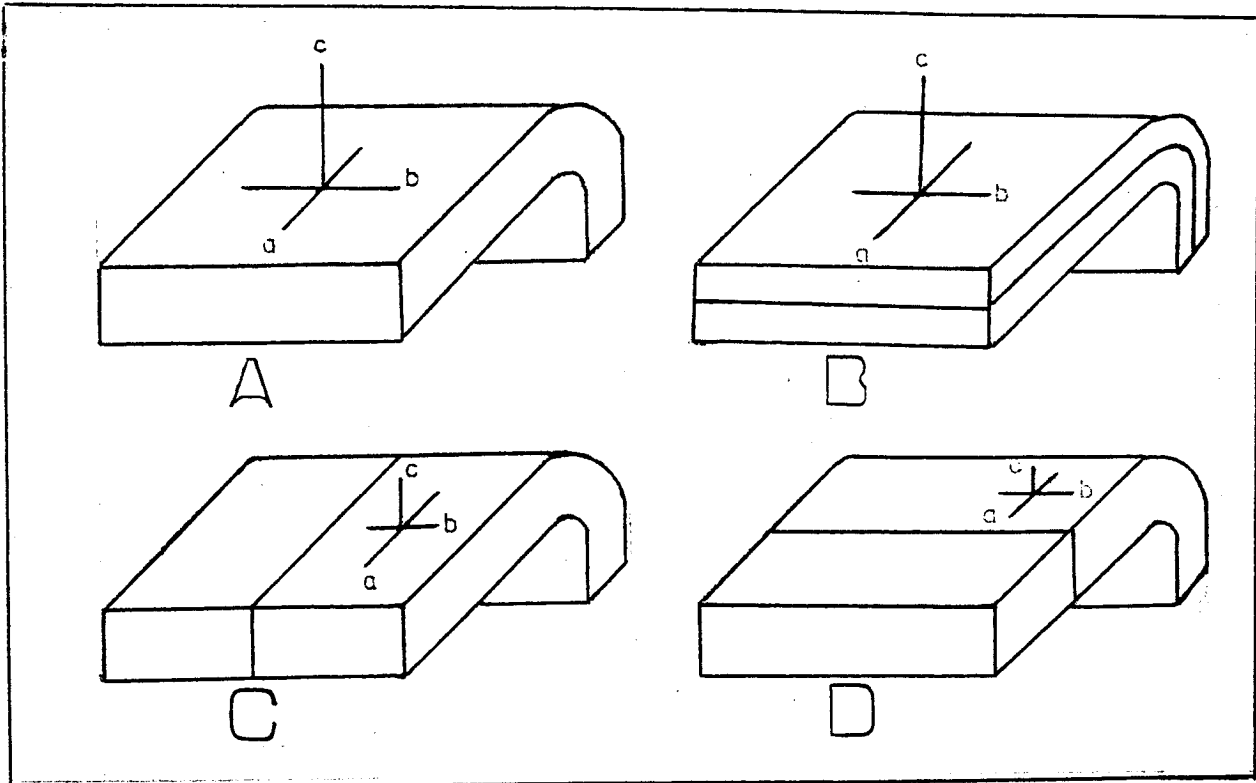
5 : تحليل الكسور وتصنيفها:

نقصد بالكسور (fracture) كل من الفواصل (joints)، التشققات (fissures)، العروق (veins) والصدوع (faults).
إن عملية التحليل الهندسي للكسور يقصد بها إيجاد العلاقات الهندسية التي تربط الكسور مع بعضها او مع محاور الطيات التي تحتويها .

1-5 : التصنيف الهندسي للكسور (Geometrical Classification of Fractures)

يعتمد التصنيف الهندسي للكسور الموجودة على الطيات ، على المحاور التكتونية (Tectonic axis) المتعامدة (a,b,c) حيث أن هذه المحاور علاقة هندسية وثيقة بالطيات ومستويات التطبيق واتجاه ميل الطبقات، وكما يلي : الشكل (5-1).

1. المحور التكتوني (b): وهو موازي لمحور الطية ويقع ضمن مستوي الطبقات .
2. المحور التكتوني (a): وهو عمودي على محور الطية ويقع ضمن مستوي الطبقات .
3. المحور التكتوني (c): وهو عمودي على المحورين التكتونيين (b , a) وبالتالي عمودي على مستوي الطبقات .



الشكل (5-1): المحاور التكتونية الثلاثة (a, b, c). والتصنيف الهندسي لجميع الفواصل.

- (A) المحاور التكتونية الثلاثة. (B) كسور مجموعة (ab).
(C) كسور مجموعة (ac). (D) كسور مجموعة (bc).

في كل موقع من الطية يحدد سطح التطبيق بالسطح (a b) ويكون المحور (c) عمودياً عليه، وان اتجاه المحورين (c,a) يتغيران حول الطية بتغير ميل واتجاه الطبقات . اما المحور (b) فلا يتغير الا عندما تكون الطية غاطسة .

على هذا الأساس يمكن تسمية وتصنيف الكسور هندسياً، اعتماداً على موازاتها او قطعها للمحاور التكتونية الثلاثة، وكما يلي :

A - المجموع (Sets) : وهي الكسور التي توازي محورين وتقطع الثالث . وتعتمد تسميتها على اسم المحورين الموازيين للكسر . وهذه المجموع هي : الشكل (5-1).

1. مجموعة (ab) : مستوي الكسر يوازي المحورين (b,a) ويقطع المحور (c) .
2. مجموعة (ac) : مستوي الكسر يوازي المحورين (c,a) ويقطع المحور (b) .
3. مجموعة (bc) : مستوي الكسر يوازي المحورين (c,b) ويقطع المحور (a) .

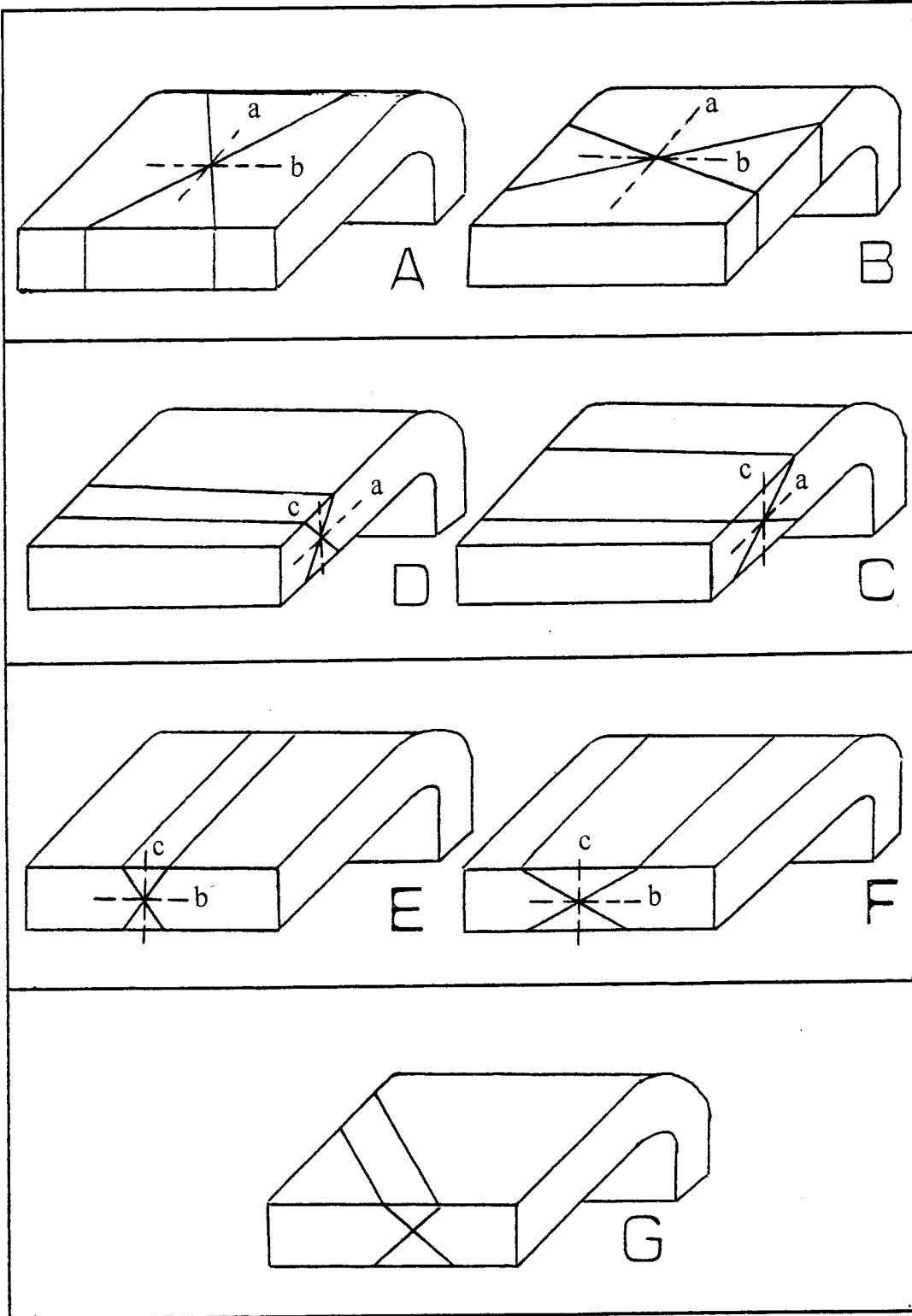
B- الأنظمة (Systems) : وهي الكسور التي تقطع محورين وتوازي الثالث او تقطع المحاور الثلاثة جميعها . ويرمز لها بالأحرف (l,k,h) (تقرأ من اليسار الى اليمين | h k l) للإشارة الى تقاطعها مع المحاور التكتونية (c,b,a) على التوالي . ويستعمل الرمز (o) بدلا من أي من هذه الرموز للإشارة إلى توازي مستوي الكسر مع أحد هذه المحاور . وهذه الأنظمة هي : الشكل (5-2)

1. نظام (hko) : مستوي الكسر يوازي المحور (c) ويقطع المحورين (b,a) . ويقسم إلى نظامين ثانويين هما (hko) الحاد حول (a) و (hko) الحاد حول (b) . الشكل (5-2-A) (5-2-B).
2. نظام (hol) : مستوي الكسر يوازي المحور (b) ويقطع المحورين (c,a) . ويقسم إلى نظامين ثانويين هما (hol) الحاد حول (a) و (hol) الحاد حول (c) . الشكل (5-2-C) (5-2-D).
3. نظام (okl) : مستوي الكسر يوازي المحور (a) ويقطع المحورين (c,b) . ويقسم إلى نظامين ثانويين هما (okl) الحاد حول (b) و (okl) الحاد حول (c) . الشكل (5-2-E) (5-2-F).
4. نظام (hkl) : مستوي الكسر يقطع المحاور التكتونية الثلاثة، ولا توجد علاقة هندسية محددة بينه وبين اتجاهات المحاور التكتونية . الشكل (5-2-G).

5-2: التصنيف المنشأ للكسور (Genetic Classification of Fracture) :

هذا التصنيف يأخذ بنظر الاعتبار أصل و منشأ الكسور حيث تصنف الى:

1. كسور شديدة (Tension Fractures): وهي الكسور التي تنشأ بسبب قوى الشد، وتكون موازية لمحاور الطيات أو عمودية عليها.
2. كسور قصية (Shear Fractures): وهي الكسور التي تنشأ بسبب قوى الضغط، وتكون مائلة عن محاور الطيات.



الشكل (2-5): تصنيف أنظمة الفواصل.

- (A) كسور نظام (hko) الحاد حول (a) . (B) كسور نظام (hko) الحاد حول (b) .
(C) كسور نظام (hol) الحاد حول (a) . (D) كسور نظام (hol) الحاد حول (c) .
(E) كسور نظام (okl) الحاد حول (c) . (F) كسور نظام (okl) الحاد حول (b) .
(G) كسور نظام (hkl) .

3-5: تصنيف الكسور باستخدام الشبكات:

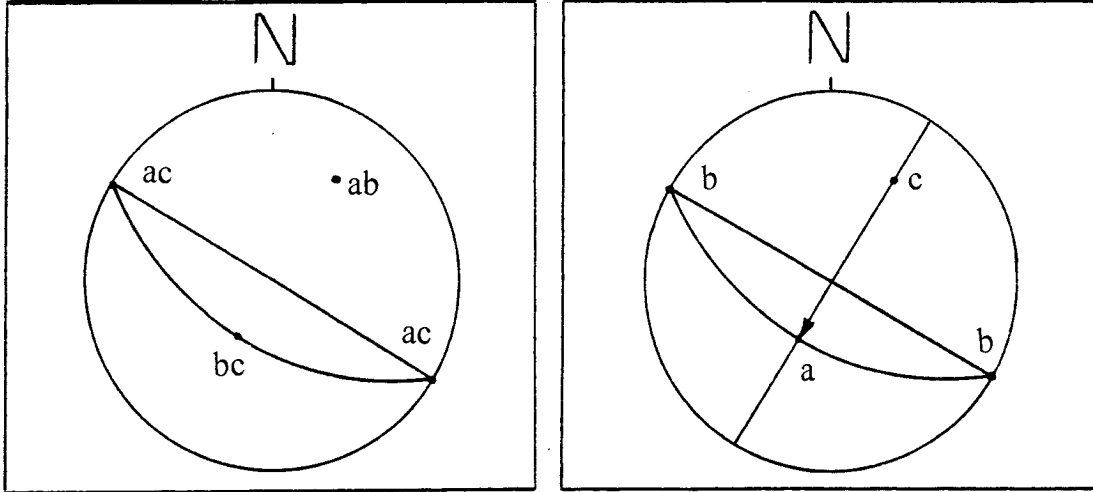
لغرض تصنيف الكسور الموجودة في الحقل باستخدام الإسقاط المجسم، يتم قراءة وضعية مستوي الكسر وكذلك وضعية الطبقة التي تحتوي على هذا الكسر. من ثم يتم إسقاط وضعية مستوي الكسر بشكل نقطية قطبية ووضعية مستوي الطبقة بشكل دائرة عظمى على شبكات الإسقاط المجسم. بعد ذلك يتم إيجاد العلاقات الهندسية بينهما لغرض التصنيف.

في حالة وجود الكسور ضمن طية أسطوانية فأنا نعتبر مضرب الطبقة هو محور (b) واتجاه الميل هو محور (a) وقطب مستوي الطبقة هو محور (c). الشكل (3-5).

ملاحظة: إذا كان قطب مستوي الكسر يبعد (90°) عن مسقط واحد أو أكثر من المحاور التكوينية الثلاثة (c,b,a) فهذا يعني أن مستوي الكسر موازي لذلك المحور.

1-3-5: تصنيف مجاميع الكسور: بين الشكل (4-5) تصنيف مجاميع الكسور، حيث نلاحظ أنه

لكي يصنف الكسر ضمن أحد مجاميع الكسور فأت قطب مستوي الكسر يجب أن يقع على مسقط أحد المحاور التكوينية الثلاثة، وحسب الحالات التالية:

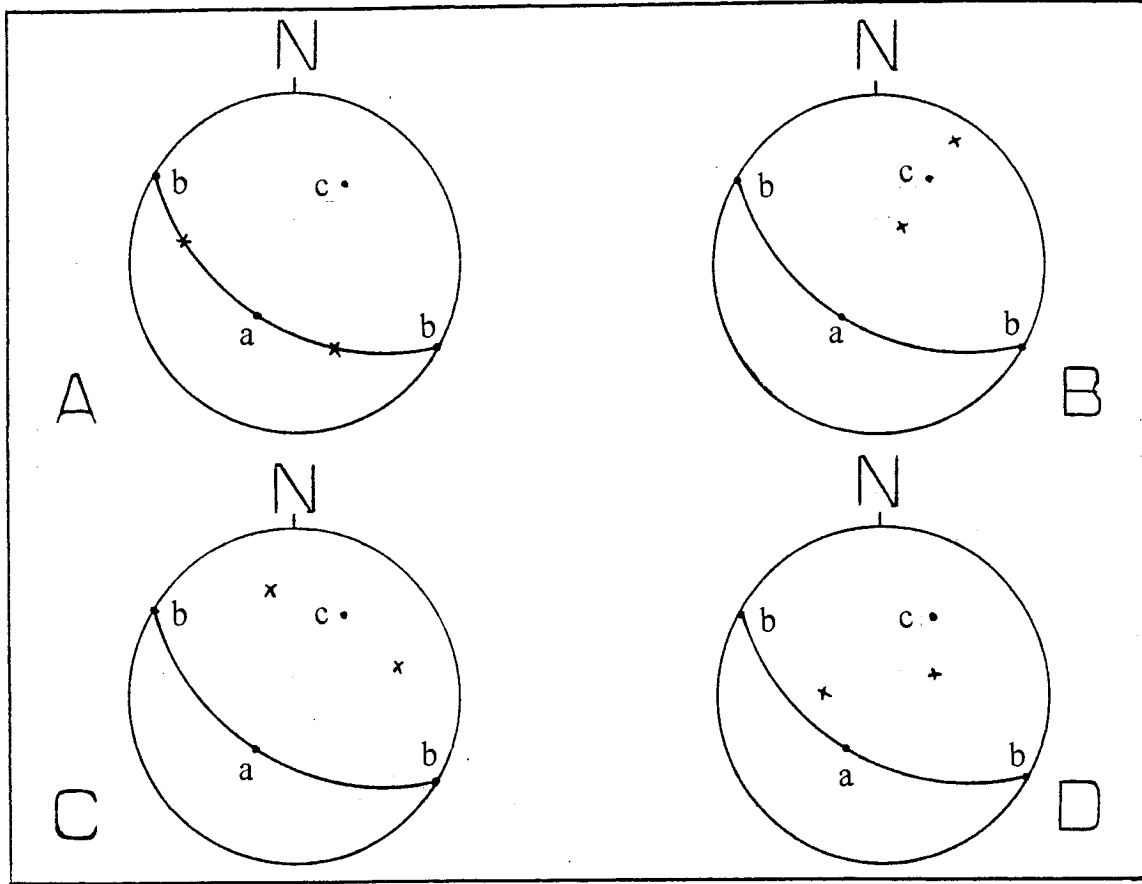


الشكل (3-5): المحاور التكوينية. الشكل (4-5): تصنيف مجاميع الكسور.

- A: إذا كان قطب مستوي الكسر واقعا" على مسقط المحور التكويني (c) فهذا يعني أنه يبعد مسافة (90°) عن المحورين (b,a) أي أنه يواز يهما وبالتالي فإنه من مجموعة (ab).
- B: إذا كان قطب مستوي الكسر واقعا" على مسقط المحور التكويني (b) فهذا يعني أنه يبعد مسافة (90°) عن المحورين (c,a) أي أنه يواز يهما وبالتالي فإنه من مجموعة (ac).
- C: إذا كان قطب مستوي الكسر واقعا" على مسقط المحور التكويني (a) فهذا يعني أنه يبعد مسافة (90°) عن المحورين (c,b) أي أنه يواز يهما وبالتالي فإنه من مجموعة (b,c).

2-3-5: تصنيف أنظمة الكسور :

أن أنظمة الكسور أما أن تكون كسور مفردة أو كسور مقترنة، وهذه الأخيرة تصنف على أنها حادة حول أحد المحاور التكوينية. بين الشكل (5-5) تصنيف أنظمة الكسور، حيث نلاحظ أنه لكي يصنف الكسر ضمن أحد أنظمة الكسور، فأت قطب مستوي الكسر يجب أن لا يقع على مسقط أحد المحاور التكوينية الثلاثة. وحسب الحالات الآتية:



الشكل (5-5): تصنيف أنظمة الكسور.

A. إذا كان قطب مستوي الكسر يبعد (90°) عن المحور التكتوني (c) فهذا يعني أنه يوازيه وبالتالي فهو من نظام (hko). الشكل (5-5-A).

B. إذا كان قطب مستوي الكسر يبعد (90°) عن المحور التكتوني (b) فهذا يعني أنه يوازيه وبالتالي فهو من نظام (hol). الشكل (5-5-B).

C. إذا كان قطب مستوي الكسر يبعد (90°) عن المحور التكتوني (a) فهذا يعني أنه يوازيه وبالتالي فهو من نظام (okl) شكل (5-5-C).

D. إذا كان قطب مستوي الكسر لا يبعد (90°) عن أي من المحاور التكتونية الثلاثة فهذا يعني أنه يقطعها جميعا وبالتالي فهو من نظام (hkl). الشكل (5-5-D).

ملاحظة: إذا كانت أنظمة الكسور من النوع المقترن فأما تكون حادة حول أحد المحاور التكتونية الثلاثة، باستثناء النظام (hkl) بالتأكيد.

ولغرض تحديد ذلك علينا أن نقيس الزاوية بين قطبي الكسرين المقترنين مع مراعاة أن هذه الزاوية لا تمثل الزاوية بين مستويين الكسرين بل الزاوية المتممة لها. فإذا كانت الزاوية أكبر من (90°) فهذا يعني أنها زاوية حادة وليست منفرجة؛ والكسرين المقترنين من نظام الحاد حول المحور الواقع بين قطبي مستوييهما.

تمرين (7): صنف الكسور المقترنة الآتية اعتماداً على علاقتها مع المحاور التكتونية الثلاثة:

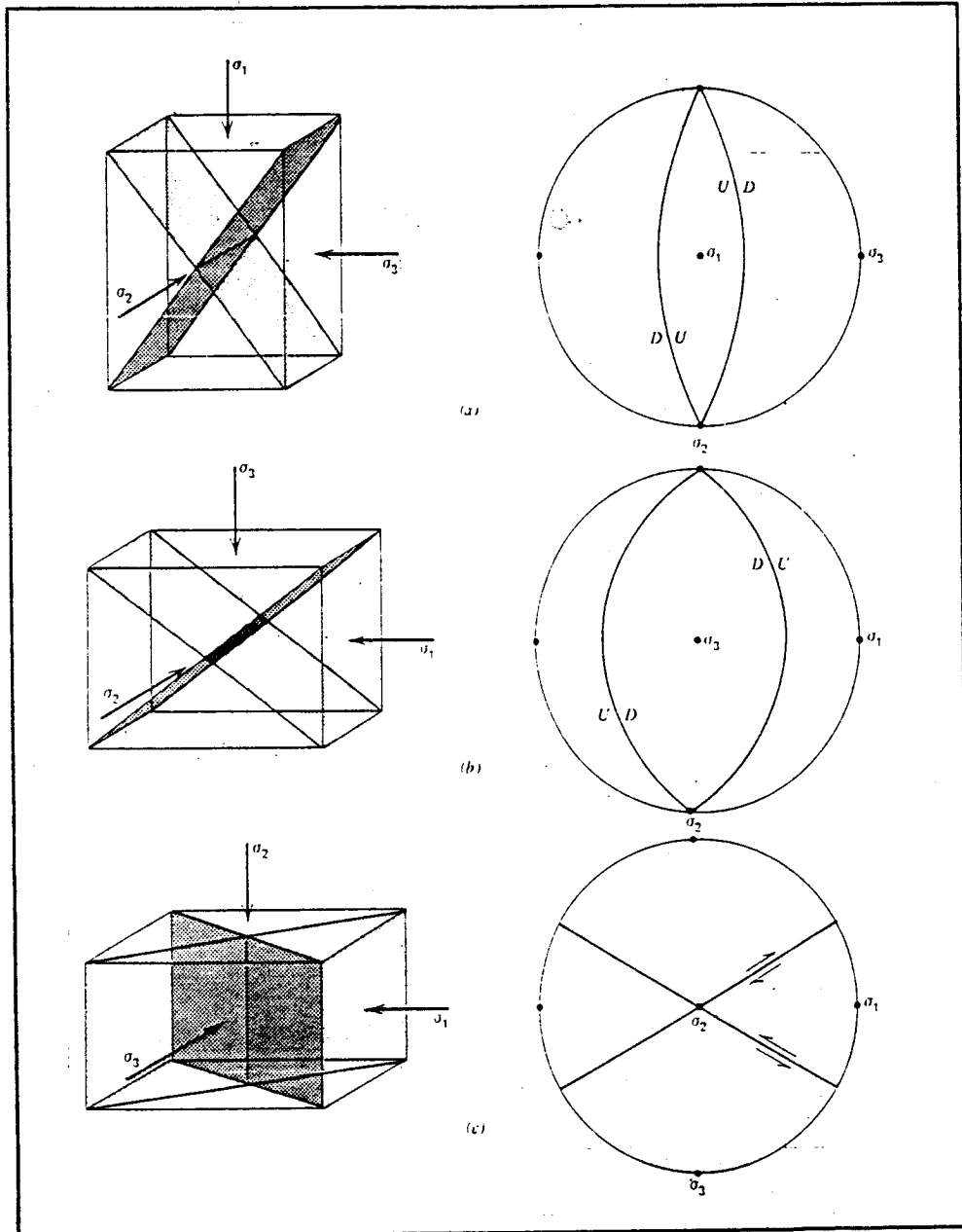
- | | | |
|-------------------|-----------------------|-----------------------|
| 1- Plane : 120/20 | Fracture (2) : 110/30 | Fracture (1) : 290/40 |
| 2- Plane : 210/10 | Fracture (1) : 030/70 | Fracture (2) : 210/50 |
- [Strike Clockwise From Dip]

6: تحليل الاجهادات:

هناك عدة طرق لتحديد محاور الاجهادات الرئيسية، نذكر منها طريقتان فقط هما:

6-1: طريقة الصدوع المقترنة (Method of Conjugate Faults):

أن أول من استخدم هذه الطريقة هو (Anderson, 1942) حيث أشار إلى إمكانية استخدام الصدوع المقترنة في تعيين اتجاهات محاور الاجهادات الرئيسية. شكل (6-1) والتي ترتبط مع الزوايا بين الصدوع المقترنة بالعلاقات التالية:



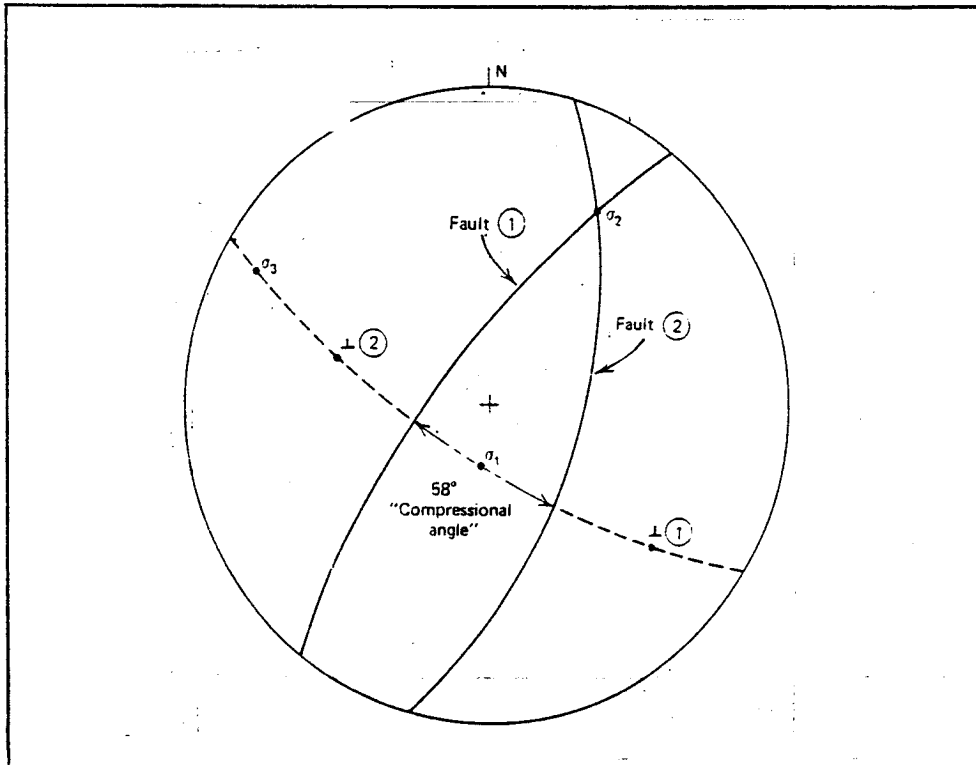
الشكل (6-1): أنواع الصدوع ومحاور الاجهادات الرئيسية الثلاثة.
(A) الصدوع اعتيادية (B) الصدوع الزاحفة (C) الصدوع المضربية

1. محور الإجهاد الرئيسي الأعظم (σ_1), (Greatest Principale Stress Axis) ينصف الزاوية الحادة بين المستويين المقترنين.
2. محور الإجهاد الرئيسي المتوسط (σ_2), (Intermediate Principale Stress Axis) يمثل خط تقاطع المستويين المقترنين.
3. محور الإجهاد الرئيسي الأدنى (σ_3), (Least Principale Stress Axis) ينصف الزاوية المنفرجة بين المستويين المقترنين.

يعتمد نوع الصدع المتكون على اتجاه محاور الأجهادات الرئيسية الثلاث وكما يلي:

1. عندما تكون (σ_1) شاقولية فإن الصدع المتكون هو من نوع الصدوع الاعتيادية (Normal Faults).
2. عندما تكون (σ_2) شاقولية فإن الصدع المتكون هو من نوع الصدوع المضربية (Strike-Slip Faults).
3. عندما تكون (σ_3) شاقولية فإن الصدع المتكون هو من نوع الصدوع المعكوسة أو الزاحفة (Reverse or Thrust Faults).
4. عندما لا يكون أي من الأجهادات الرئيسية شاقولياً، فإن الصدع المتكون هو من نوع الصدوع المائلة (Oplique Faults).

مثال: جد وضعية محاور الأجهادات الرئيسية الثلاثة لكل من الصدعين المقترنين الآتيين. وما هو نوع الصدع؟
 Fault(1): ($040^\circ/70^\circ$) Fault(2): ($198^\circ/55^\circ$) [Strike clockwise from dip]
الحل: لغرض الحل نتبع الخطوات التالية: الشكل (2-6).

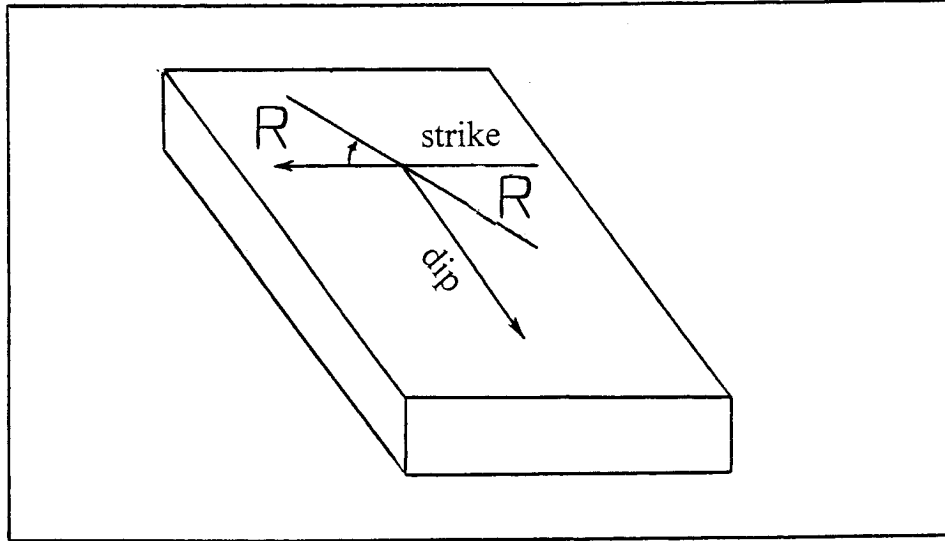


الشكل (2-6): إيجاد محاور الأجهادات الثلاثة باستخدام طريقة الصدوع المقترنة.

1. نسقط وضعية الصدعين المقترنين على شبكة شمت.
 2. نقطة تقاطع المستويين تمثل (σ_2) .
 3. نجد قيمة الزاوية الواقعة بين المستويين المقترنين. إذا كانت الزاوية حادة فإن نقطة منتصفها تمثل (σ_1) وإذا كانت الزاوية منفرجة فإن نقطة منتصفها تمثل (σ_3) .
 4. (σ_1) تبعد مسافة (90°) عن (σ_3) وتقعان على دائرة عظمى واحدة.
 5. نجد وضعية محاور الأجهادات الرئيسية، وهي كما يلي.
- $(\sigma_1) = (191^\circ/69^\circ)$, $(\sigma_2) = (032^\circ/20^\circ)$, $(\sigma_3) = (300^\circ/08^\circ)$
6. الصدع من النوع الاعتيادي لأن (σ_1) هي الأقرب إلى الوضع العمودي.

2-6: طريقة الصدوع الحاوية على حزوز الصفائح المصقولة:

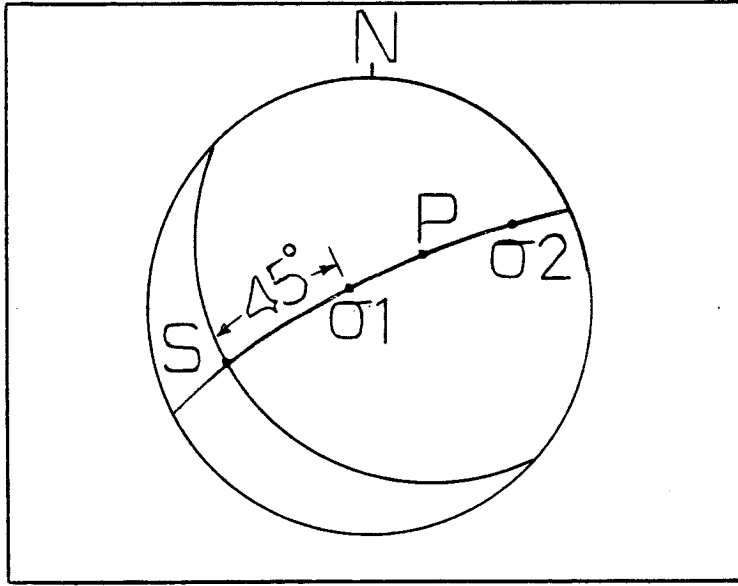
تسمى هذه الطريقة بطريقة محوري الضغط والشد والتي أوجدها (Turner, 1953). عند حركة الصدوع تتكون خطوط على مستوي الصدع تسمى حزوز الصفائح المصقولة، وهي تدل على اتجاه الحركة. تصنع هذه الخطوط زاوية مع مضرب مستوي الصدع تدعى بزاوية الانحراف (Pitch) أو (Rake) وقد عرفها (Billings, 1972) على أنها الزاوية التي يصنعها خط في مستوي مع خط أفقي في نفس المستوي. تقاس زاوية الانحراف عادةً من نهاية المضرب وتتراوح قيمتها من $(0^\circ - 180^\circ)$ تستخدم المنقلة الشفافة عادة لقياس قيمة هذه الزاوية. الشكل (3-6).



الشكل (3-6): زاوية الانحراف (Pitch or Rake Angle) وطريقة قياسها.

مثال: - أحسب وضعية محاور الأجهادات الرئيسية الثلاث، إذا علمت أن وضعية مستوي الصدع هي $(314^\circ/30^\circ)$ وقيمة زاوية الانحراف (110°) الصدع من النوع الاعتيادي. المضرب مقاس من الميل باتجاه عقرب الساعة.

الحل: - الشكل (4-6).



الشكل (4-6): تحديد وضعية محاور الأجهادات الرئيسية الثلاثة من خلال معرفة وضعية مستوى الصدع وزاوية الانحراف.

1. نرسم وضعية مستوى الصدع بشكل دائرة عظمى على شبكة شمات.
2. نحدد قطب مستوى الصدع، نقطة (P).
3. نحدد قيمة زاوية الانحراف على الدائرة العظمى من نهاية المضرب عند نقطة (S) والتي تمثل مكان الحزوز على مستوى الصدع وتمثل أيضا اتجاه محور (σ_2).
4. نضع النقطتان (P) و (S) على دائرة عظمى واحدة والتي تمثل مستوى الحركة.
5. نحسب على هذه الدائرة العظمى وعلى طرفي نقطة (S) زاوية مقدارها (45°) وذلك لتعيين (σ_1) و (σ_3) وحسب طبيعة مستوى الصدع (اعتيادي، معكوس، مضربي).

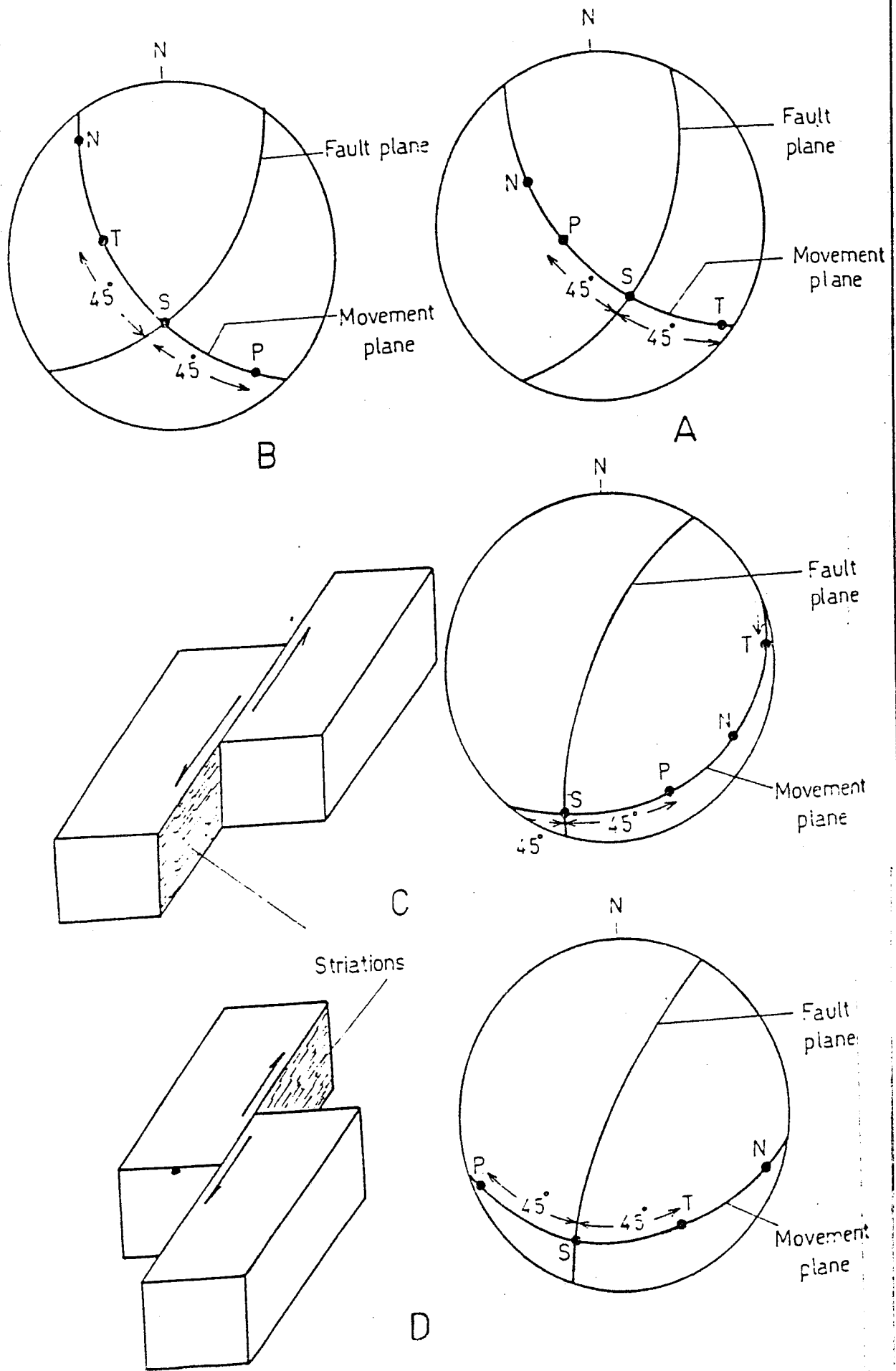
- إذا كان الصدع اعتيادي فإن (σ_1) تكون قريبة من مركز الشبكة.
- إذا كان الصدع معكوس فإن (σ_3) تكون قريبة من مركز الشبكة.
- إذا كان الصدع مضربي (يميني أو يساري) فنحتاج إلى رسم شكل مجسم للصدع في الحقل أثناء أخذ القراءات حتى نستطيع تعيين موقع (σ_1) و (σ_3) على شبكة شمات. الشكل (5-6).
6. بما أن الفالق من النوع الاعتيادي، إذا (σ_1) تكون قريبة من مركز الشبكة و (σ_3) بعيدة عنه
7. نحدد وضعية محاور الأجهادات الرئيسية الثلاث حيث أن ($\sigma_1=270^\circ/70^\circ$) ($\sigma_3=060^\circ/20^\circ$)

تمرين (8): جد وضعية محاور الأجهادات الرئيسية الثلاث لكل من الصدعين المقربين الآتين. ما هو نوع الصدع؟

$$\text{Fault(1): } (158^\circ/17^\circ) \quad \text{Fault(2): } (338^\circ/33^\circ)$$

[Strike clockwise from dip]

تمرين (9): جد وضعية محور الأجهادات الرئيسية الثلاث، إذا علمت إن وضعية مستوى الصدع هي ($N58^\circ E/45^\circ NW$) وقيمة زاوية الانحراف تساوي (120°) الصدع من النوع المعكوس.



الشكل (5-6): تحديد مواقع محاور الأجهادات الرئيسية الثلاثة اعتماداً على نوع الصدع.

7: رسم المخطط الكنتوري :

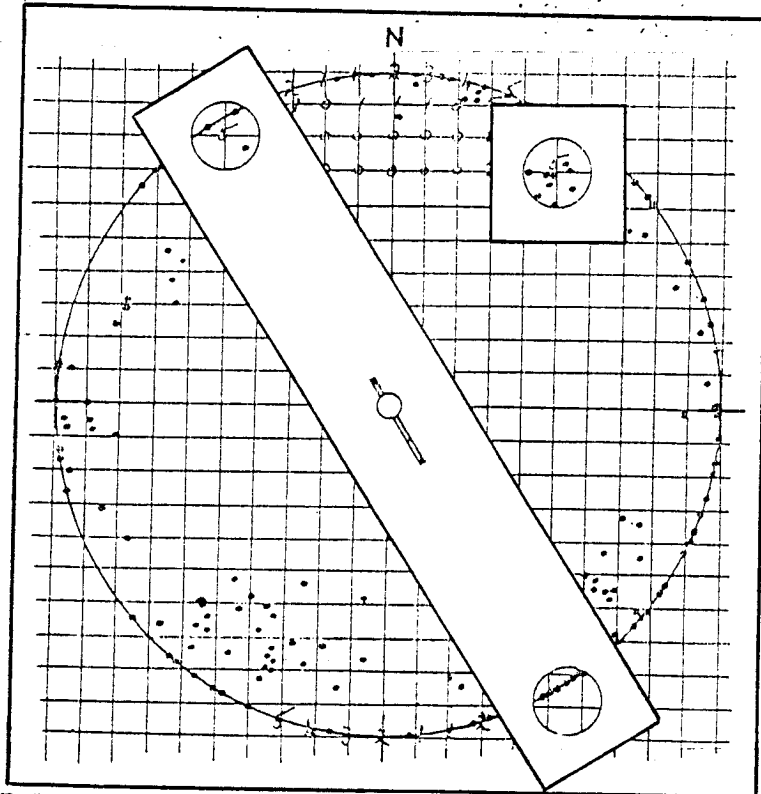
يرسم المخطط الكنتوري (لمساقط الخطوط أو مساقط اقطاب المستويات على الشبكة البلورية) عندما لا نحصل على أي من أنماط الأتجاهات المفضلة، حيث لا نستطيع أن نميز النمط التركيبي بشكل دقيق. ولكن عند رسم المخطط الكنتوري يصبح التميز أكثر يسرا".
أي أن المخطط الكنتوري يرسم عندما يكون توزيع النقاط بيني بحيث لا يمكن التميز بين التوزيع العشوائي والتوزيع المنتظم

7-1: ادوات رسم المخطط الكنتوري:

قبل البدء بشرح كيفية رسم المخطط الكنتوري، علينا أن نبين الأدوات المستخدمة في أعداد هذا المخطط، وهي:

1. العداد المركزي (Center Counter): يتألف من فتحة دائرية في وسط قطعة من الورق أو الكارتون أو أي مادة مناسبة أخرى. تبلغ مساحة هذه الدائرة (1%) من مساحة الشبكة. فإذا كان قطر الشبكة (20cm) فإن قطر الفتحة الدائرية (2cm).

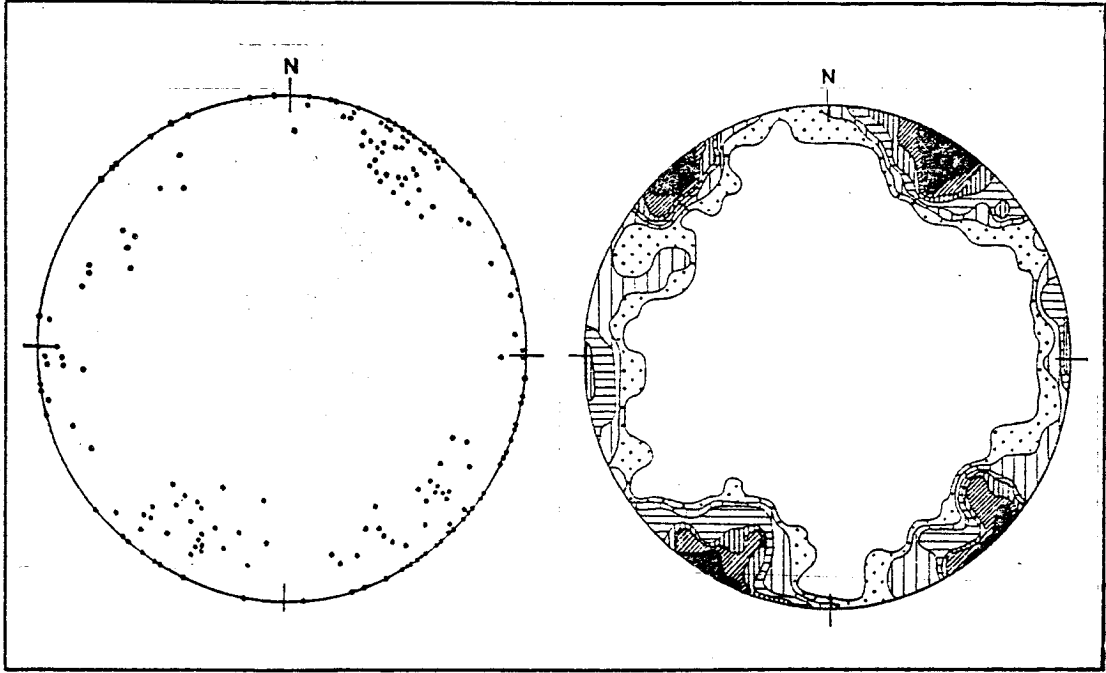
2. العداد الطرفي (Peripheral Counter): يتألف من فتحتين دائريتين عند طرفي شريط من الورق أو الكارتون أو أي مادة مناسبة أخرى. تبلغ مساحة كل دائرة (1%) من مساحة الشبكة. المسافة بين مركزي الفتحتين على الشريط تساوي قطر الشبكة. يحتوي العداد المركزي على شق فقي الوسط طوله (2.2cm) الشكل (7-1).



الشكل (7-1): أدوات رسم المخطط الكنتوري مع طريقة استعمالها.

7-2: خطوات رسم المخطط الكنتوري:

1. نضع ورقة بيانية أسفل الورقة الشفافة الحاوية على نقاط الإسقاط ومن ثم نضع فوقها ورقة شفافة جديدة.
2. نستخدم العداد المركزي لعد النقاط الموجودة داخل فتحة العداد، ونكتب عدد النقاط في داخل فتحة العداد.
3. نحرك العداد المركزي من اليسار إلى اليمين (1cm) لكل مرة، وبعد أن يتم إكمال الانتقال من اليسار إلى اليمين، نحرك العداد المركزي إلى الأسفل (1cm) ويؤخذ مسار ثاني، وهكذا. يجب أن نلاحظ أن نقطة واحدة ربما تقع داخل العداد المركزي عدة مرات عند تحريكه في مواضعه المتعاقبة، وهذه النقطة تحسب عندئذ في كل مرة.
4. نستخدم الطرقي لعد النقاط الواقعة بالقرب من محيط الشبكة. حيث يقع جزء من كل من الدائرتين خارج محيط الشبكة.
5. نجمع عدد النقاط في كلا الدائرتين الواقعتين عند طرقي العداد الطرقي، ونكتب عدد النقاط في مركز كل دائرة.
6. بعد أن يتم تغطية الشبكة بالأرقام، نرسم خطوط الكنتور والتي تسمى خطوط تساوي الكثافة. حيث تربط النقاط المتساوية في العدد مع بعضها. أن الاختيار في ربط النقاط راجع إلى الجيولوجي، ولكن المهم في ربط النقاط هو أن تكون مناطق التركيز واضحة. الشكل (2-7).



الشكل (2-7): المخطط الكنتوري للنقاط المبينة في الشكل السابق.

أن الخطوط الكنتورية المنتهية عند حافة الشبكة يجب أن تكمل امتداداتها على المربع المقابل، ولهذا الغرض نرسم خط من حافة خط الكنتور المتقاطع مع الشبكة مروراً بمركزها إلى الحافة الأخرى للشبكة.

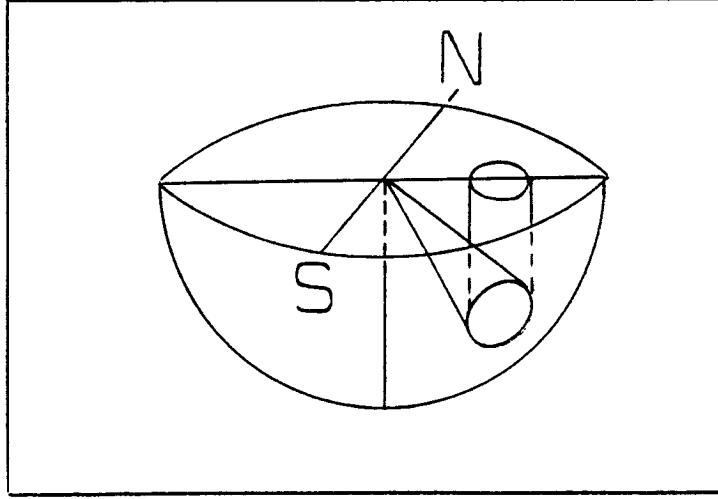
7. نجد النسب المئوية لخطوط الكنتور المختلفة باستخدام القانون الآتي:

$$L\% = (n / N) * 100$$

حيث أن: L % = النسبة المئوية للخط. n = رقم الخط. N = عدد النقاط الكلية.

7-3: مبدأ رسم المخطط الكنتوري:

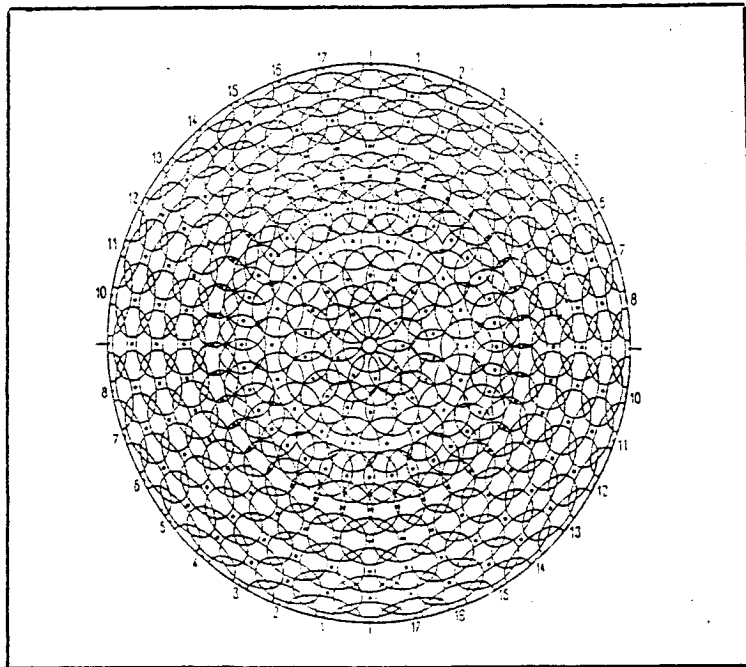
أن مبدأ رسم المخطط الكنتوري يعتمد على تقسيم مساحة نصف الكرة السفلي الى عدد من الدوائر المتساوية في المساحة، والتي تشكل مساحتها (1%) من مجموع المساحة الكلية. هذه الدائرة تُعمل بواسطة قاعدة مخروط رأسه يُمثل مركز الكرة. المسقط العمودي لقاعدة المخروط يُمثل (دائرة) مساحتها (1%) من مساحة شبكة الإسقاط المجسم. الشكل (7-3).



الشكل (7-3): مبدأ تشكيل المخطط الكنتوري.

ملاحظة: هناك خطأ مسموح به في حالة استخدام المبدأ السابق في تشكيل المخطط الكنتوري يتمثل بكون مسقط قاعدة المخروط لا يكون دائري كما ذكرنا، بل يكون بيضوي وذلك في حالة كون محور المخروط مائلاً عن المحور الرأسي لنصف الكرة السفلي. الشكل (7-3).

بسبب هذا الخطأ وضعت شبكة خاصة برسم المخطط الكنتوري تدعى شبكة ديمتريجيفك (Dimitrijevic)، الشكل (7-4)، والتي تم فيها تلافي هذا الخطأ حيث نلاحظ أن الدائرة المرسومة في وسط الشبكة تتحول إلى شكل بيضوي كلما انتقلنا إلى محيط الشبكة.



الشكل (7-4): شبكة ديمتريجيفك (Dimitrijevic)، تستخدم لرسم المخطط الكنتوري

تمرين (10): أرسم المخطط الكنتوري للقراءات الآتية. ما هو نوع التركيب الناتج؟

القراءات تمثل وضعية الطبقات لجناحي طية محدبة وهي مقاسة من الميل باتجاه عقرب الساعة.

053/38	053/40	322/48	329/80	333/59	366/70	278/78	288/48
317/37	223/79	218/66	221/56	215/55	230/12	319/12	259/37
265/68	237/75	280/08	024/83	219/46	220/30	218/18	018/62
019/75	018/84	030/45	010/27	023/39	019/54	028/61	026/53
030/51	022/13	023/76	025/39	023/67	028/18	018/17	010/12
060/09	035/38	030/18	028/23	059/20	053/16	070/14	182/37
010/07	040/27	205/36	194/33	192/38	192/58	205/27	193/28
213/35	207/48	183/45	187/50	204/88	198/42	210/42	206/43
204/79	220/80	215/90	088/32	195/63	198/69	215/73	209/77
080/20	082/25	065/47	217/82	215/72	087/47	080/48	078/48
070/4	052/61	080/35	079/38	072/52	060/55	059/63	054/71
205/72	061/51	058/53	048/79	045/86	040/84	036/87	198/61
047/69	045/79	203/72	202/72	201/04	200/65	193/54	207/68
208/85	202/55	200/50	198/53	197/56	171/50	200/59	205/59
197/85	200/73	186/64	182/55	153/37	198/46	195/47	165/38
165/43	157/43	160/33	120/27	176/41	173/46	137/34	138/28
120/17	122/30	102/45	150/31	148/40	115/55	134/68	167/80
107/77	167/27	133/40	133/40	101/33	109/47	173/30	177/24
145/17	091/47	152/22	162/20	155/17	150/15	104/16	150/26
145/23	123/18	130/22	117/15	044/37	131/14	135/15	052/27
057/32	049/32	048/35	033/68	168/28	070/25	039/51	035/34
033/54	034/64	038/76	042/41	038/47	033/78	039/81	035/73
036/70	052/53	032/73	030/77	044/65	047/63	048/50	050/55
039/65	039/75	043/68	065/40	070/45	065/30	038/68	045/58
955/48	057/46	040/60	041/53	040/56	043/63	056/46	037/60
040/62	052/42	043/52	045/55	047/50	043/45	043/60	042/55
056/40	056/43						

المصادر

أولاً: المصادر العربية:

1. ثابت، كنانة محمد والعشو، محمد عمر، 1993. أسس الجيولوجيا للمهندسين. دار الكتب للطباعة والنشر، جامعة الموصل، العراق، 338 صفحة.
2. الراوي، ضياء يوسف؛ نعمان، نزار محمد سليم وعمرو، يوسف عبد الله، 1978. تحليل التراكيب والاستعمالات التطبيقية للفواصل. مديرة دار الكتب للطباعة والنشر، جامعة الموصل، العراق، 140 ص.
3. السامرائي، حسين محمد علي، 1990. جيولوجية وتركيبية منطقة فايدة، طية دهقانة المحدبة. (رسالة ماجستير غير منشورة)، كلية العلوم، جامعة الموصل، 122 صفحة.
4. فؤاد، صفاء الدين فخري عبد المجيد، 1683. دراسة جيولوجية تركيبية لطيات قره جوخ، شمال العراق. (رسالة ماجستير غير منشورة)، كلية العلوم، جامعة بغداد، 201 صفحة.
5. الهكاري، سالم حسن سليمان، 1993. تحليل الإجهاد القديم في مناطق مختارة من حزام طيات الفورلانند، شمال العراق. أطروحة ماجستير غير منشورة، كلية العلوم، جامعة الموصل، صفحة.
6. محاضرات الدكتور نزار محمد سليم نعمان في مادة الجيولوجيا التركيبية، علوم الأرض، كلية العلوم، جامعة الموصل.

ثانياً: المصادر الأجنبية:

1. Billings, M.P., 1972. Structural Geology. 3rd ed., London, Prentice-Hall, Inc. p 606
2. Hobbs, B.E., Means, W.D. and Williams, P.F., 1976. An outline of structural geology. John Wiley and Sons, New York, 571 p.
3. De Sitter, L.U., 1956. Structural geology. McGraw-Hill, London, 552 p.
4. Nicolaoas, A., 1987. Principles of rock deformation. D. Reidel pub. co., netherlands, 208 p.
5. Phillips, F.C., 1971. The use of stereographic Projection in Structural Geology. 3rd ed, Britain, Unwin Brothers Limited, 90 p.
6. Ramsay, J.G., 1967. Folding and Fracturing of Rocks. McGraw Hill, New Yourk, 568 p.