الفصل الثامن

تمثيل الفوالق

تظهر الفوالق على الخريطة الجيولوجية إما على شكل خط مستقيم أو منحنى تبعاً لوضع مستوى الفالق رأسياً كان أو مائلا كذلك شكل طبوغرافية سطح الأرض . ويعبر عن مستوى الفالق باتجاه ميل ومضرب سطح الفالق . وأفضل الطرق لتحديد الفالق هو الملاحظة المباشرة لموقع ظهور الفالق على هضبة شديدة الانحدار أو فى نفق أو منجم أو بالاستعانة بالمعلومات التى يمكن تسجيلها مباشرة من الآبار العميقة التى تستخدم فى التنقيب عن البترول وفى مثل هذه الحالات يمكن تحديد مركبات الحركة على جانبى الفالق بالاستعانة ببعض القياسات وتوقيعها على الخرائط والقطاعات الرأسية أو التركيبة .

تأثير الفالق الرأسى على الطبقات وطرق تحديد مركبات حركته :

مكشف الفالق الرأسى على الخريطة الجيولوجية يعبر عن المسقط الأفقى لخط تقاطع مستوى الفالق مع سطح الأرض ويكون المكتشف خطاً مستقيماً بجميع الأشكال الطبوغرافية لأن جميع نقط خط التقاطع تقع على الأثر الأفقى لمستوى الفالق الذى يكون فى هذه الحالة خطاً مستقيماً ويبين المثال التالى طرق تعيين مركبات حركة الكتل الصخرية على جانبى الفالق والتى تشمل :

١ ــ الانزلاق الكلى للفالق .

٢ ــ الانزلاق الميلى للفالق .

٣ ــ الانزلاق المضربى للفالق .

٤ – رمية الفالق .

٥ – بعد الفالق أو الإزاحة الأفقية .

٦ – الفاصل الاستراتجرافى .

٧ – الفاصل الرأسى .

٨ – الفاصل الأفقى .

٩ – الحركة النسبية على مستوى الفالق .

تعيين الانزلاق الكلى للفالق الرأسى :

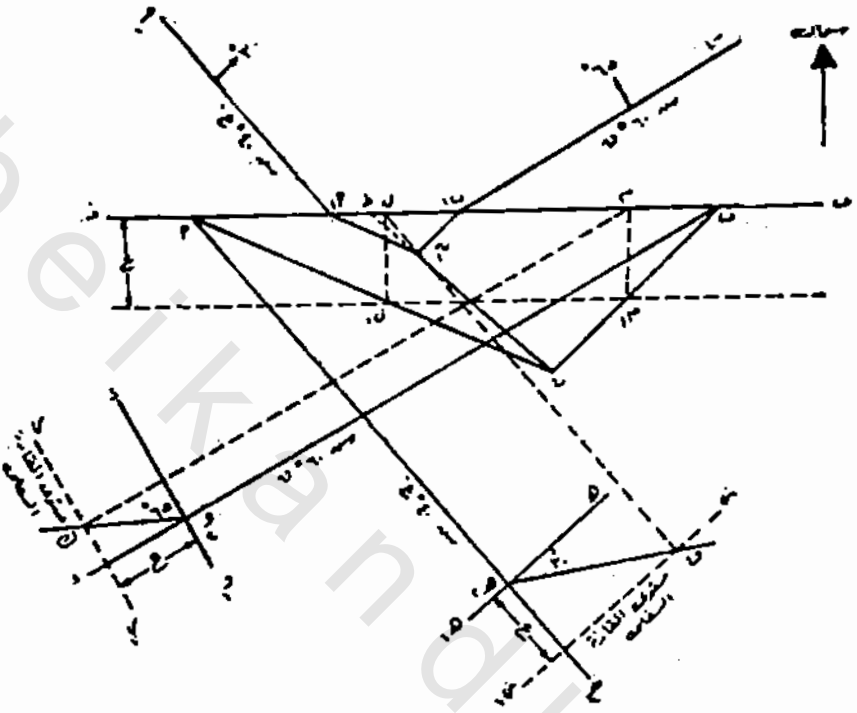
ويبين المثال التالى طريقة تحديد الانزلاق الكلى لفالق رأسى بمعلومية اتجاه ميل ومضرب سطحين (عرقان معدنيان) متقاطعين تأثراً بمستوى الفالق .

المعطيات :

يبين شكل (٢٠٣) مكشف الفالق الرأسى (ف – ف) على سطح منبسط ويتجه المكشف فى اتجاه شرق – غرب ويظهر سطح أحد العروق المعدنيـــة عند نقطتى (أ ، أ١) على الجانب الجنوبى والشمالى للفالق على الترتيب وتتجه خطوط مضربه (شمال ٤٠° غرب) بزاوية ميل مقدارها ٣٠° فى اتجاه الشمال الشرق ، وكذلك يظهر سطح العرق المعدنى الآخر عند نقطتى (ب ، ب١) على الجانب الجنوبى والشمالى للفالق على الترتيب وتتجه خطوط مضربه (شمال ٦٠° شرق) وتميل بزاوية مقدارها ٦٥° فى اتجاه الشمال الغربى . مع العلم بأن كل من النقط أ ، أ١ ، ب ، ب١ لها نفس المنسوب (منسوب مستوى المقارنة) .

المطلوب :

تعيين مركبات الحركة (السابق ذكرها) على مستوى الفالق .



(شكل ٢٠٣)

تعيين مركبات الحركة للفالق الرأسى فى حالة عرقين معدنيين .

العمل :

١ — من نقطتى (أ ، أ١) موقعا العرق المعدنى الأول على جانبى مستوى الفالق الرأسى نرسم خطا المضرب (أ حـ ، أ١ حـ١) فى الاتجاه (شمال ٤٠ غرب) وبالمثل من نقطتى العرق المعدنى الثانى (ب ، ب١) نرسم خطا المضرب (ب د ، ب١ د١) فى الاتجاه (شمال ٦٠° شرق) ويلاحظ أن خطى المضرب للسطح الواحد على جانبى الفالق متوازيان باعتبار أن الفالق لم يؤثر فى مقدار واتجاه ميل ومضرب السطحين .

٢ ــ تبدأ التخطيط فى الجانب الجنوبى للفالق وعلى خطى المضرب (أ حـ ، ب د) نرسم العمودان (هـ هـ١ ، و و١) وعلى أى مسافة مناسبة ولتكن عند النقطتين (هـ٢ ، و٢) مثلا ثم نأخذ مسافة = (ع) فى اتجاه خطى المضرب ونقيم عمودين (ز ز١ ، ر ر١) على الترتيب .

ويمثل كل من (هـ هـ١ ، و و١) أثر مستوى المقارنة بينما يمثل (ز ز١ ، ر ر١) أثر مستوى المقارنة السفلى (مستوى يبعد عن مستوى المقارنة مسافة رأسية = ع إلى أسفل) .

٣ ــ من النقطتين (هـ٢ ، و٢) نرسم الزاويتين (هـ هـ٢ ق) = ٣٠°

(و و٢ ك) = ٦٥° زاويتى ميل السطحين للعرقين المعدنيين على الترتيب .

٤ ــ من النقطتين (ق ، ك) نرسم المستقيمين (ق ل ، ك م) يوازيان (أ حـ ، ب د) ونمدهما على استقامتهما ليقابلا أثر الفالق الرأسى (ف ــ ف) فى نقطتى (ل ، م) على الترتيب . ويمثل الخط (ق ل) أحد خطوط مضرب سطح العرق المعدنى الأول والذى يقل منسوبه بمسافة رأسية = (ع) عن منسوب مستوى المقارنة ، كذلك يمثل الخط (ك م) أحد خطوط مضرب سطح الخام الآخر ويقل منسوبه بمسافة رأسية = ع عن مستوى المقارنة . وتمثل نقطتى (ل ، م) المسقط الأفقى لتقاطع مستوى الفالق مع خطا تقاطع مستوى المقارنة السفلى وسطحى العرق المعدنى فى الجانب الجنوبى للفالق .

٥ ــ من نقطتى (ل ، م) تسقط العمودين (ل ل١) ، (م م١) = ع حيث ل١ ، م١ هما موقعا النقطتين (ل ، م) على مستوى الفالق الرأسى بعد دورانه حول الخط (ف ــ ف) وتطبيقه على المستوى الأفقى (مستوى الخريطة) .

٦ ــ بتوصيل الخطين (أ ل١ ، ب م١) ومدهما على استقامتهما ليتقاطعا فى (ن) حيث (أ ل١ ، ب م١) يمثلان خطا تقاطع مستوى الفالق مع كل

من سطحى العرقين (وقد سبق ذكر طريقة تعيين خط تقاطع مستويين فى الفصل السابع) والنقطة (ن) تمثل ملتقى المستويات الثلاثة وهى مستوى الفالق مع سطحى العرقين .

٧ – وبالمثل يمكن اتباع نفس القواعد السابقة على الجانب الشمالى من مستوى الفالق لإيجاد نقطة تقاطع المستويات الثلاثة ، مستوى الفالق وسطحى العرقين . غير أنه اختصاراً للعمل وبمعلومية أن الفالق لم يؤثر على مقدار اتجاه ميل ومضرب سطحى العرقين على جانبى مستوى الفالق فيكون خطا تقاطع مستوى الفالق مع كل من سطحى العرقين على جانبى الفالق متوازيان ، لذلك نرسم (أ$_1$ ن$_1$) يوازى (أ ن) ، (ب$_1$ ن$_1$) يوازى (ب ن) فتكون نقطة ن$_1$ هى نقطة تلاقى المستويات الثلاثة على الجانب الشمالى للفالق الرأسى .

٨ – قبل حدوث الفالق كانت النقطتين (ن ، ن$_1$ منطبقتين وبعد حدوثه قد تباعدتا بمقدار الانزلاق الكلى للفالق = ن ن$_1$ . . . . . (١)

ويمد (ن ن$_1$) على استقامته حتى يلاقى أثر الفالق ف ف عند نقطة ط فإن الزاوية التى يصنعها (ن ط) مع خط أفقى (أثر مستوى المقارنة) ف ف = زاوية انحراف الانزلاق الكلى = الزاوية (ن$_1$ ط$^{\wedge}_{8}$ ف) ، وحيث أن الفالق رأسى فإن زاوية انحراف الانزلاق الكلى = زاوية الغطس للانزلاق الكلى = الزاوية (ن$_1$ ط ف) .

الانزلاق الميلى = الانزلاق الكلى × جا (زاوية الانحراف) = (ن ن$_1$) جا زاوية (ن$_1$ ط$^{\wedge}_{8}$ ف) . . . . . (٢)

الانزلاق المضربى = الانزلاق الكلى× جتا (زاوية الانحراف) =(ن ن$_1$) جتا زاوية (ن$_1$ ط$^{\wedge}_{8}$ ف) . . . . . .(٣)

وحيث أن مستوى الفالق رأسى يكون

رمية الفالق = الانزلاق الميلى (٤)

الإزاحة الأفقية للفالق = صفر (٥)

الفاصل الاستراتجرافى = طول العمود النازل بين سطح طبقة واحدة على جانبي الفالق فى القطاعات الرأسية .

الفاصل الرأسى = المسافة الرأسية المحصورة بين سطح طبقة واحدة على جانبي الفالق فى القطاعات الرأسية .

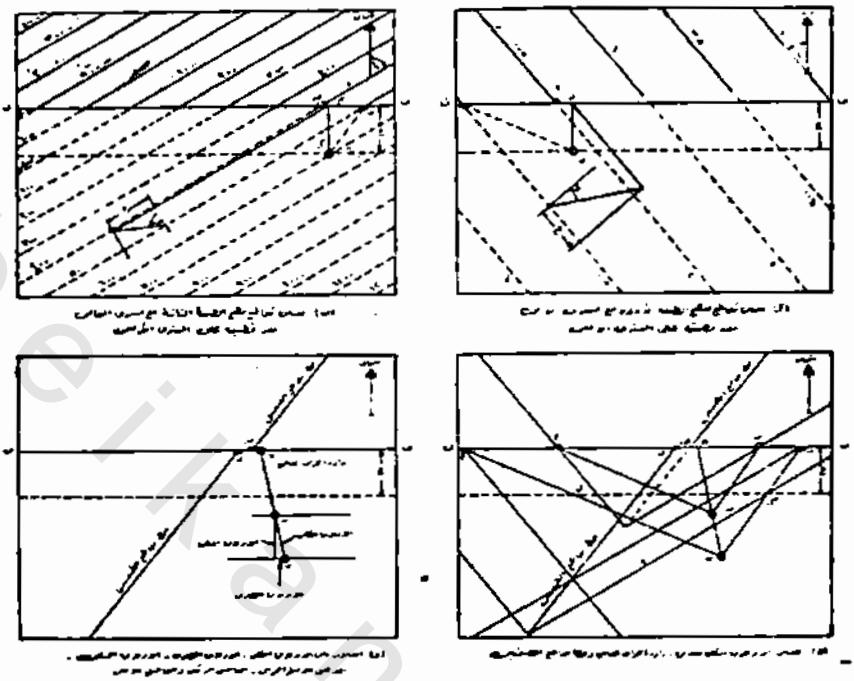
الفاصل الأفقى = المسافة الأفقية المحصورة بين سطح طبقة واحدة على جانبي الفالق فى القطاعات الرأسية .

ويلاحظ أن قياس الفاصل الاستراتجرافى والفاصل الرأسى والفاصل الأفقى يكون من القطاعات الرأسية القياسية التى فيها المقياس الرأسى مساوياً للمقياس الأفقى .

وتحدد الحركة النسبية على مستوى الفالق من وضع نقطة ن بالنسبة للنقطة ن١ حيث تقع نقطة ن (الأقل منسوباً) يمين النقطة ن١ (الأعلى منسوباً) فتكون الحركة النسبية إلى يمين الجانب الجنوبى للفالق .

وبتطبيق نفس القواعد سابقة الذكر على الطبقات التى تأثرت بفالق رأسى يمكن تحديد مركبات الحركة للفالق الرأسى بطريقة تخطيطية كما هو موضح بالشكل (٢٠٤) ويلاحظ أنه يمكن تعيين رمية الفالق (ف ف) مباشرة بإيجاد الفرق بين ترقيم خط مضرب واحد لنفس السطح ماراً بجانبي الفالق أى الفرق بين ترقيم خط المضرب المار بنقطة (ا) مثلا فى الجانب الشمالى من الفالق (٥٠٠) وترقيم امتداد نفس خط المضرب عندما يمر إلى الجانب الجنوبى من الفالق (٤٠٠) وتكون .

رمية الفالق = ٥٠٠ ــ ٤٠٠ = ١٠٠ متر وفى الاتجاه الجنوبى من الفالق .



(شكل ٢٠٤)
تأثير الفالق الرأسى على الطبقات

تأثير الفالق المائل على الطبقات وطرق تحديد مركبات حركته :

يكون مكشف الفالق المائل على الخريطة الجيولوجية على هيئة منحنى بسيط أو مركب تبعاً لطبوغرافية السطح وزاوية ميل مستوى الفالق فتكون منحنيات منتظمة قليلة التعرج فى الفوالق التى تتراوح زاوية ميلها بين (١٠° إلى ٣٠°) ويزداد المكشف تعرجاً فى الفوالق الكبيرة الميل (٤٠° إلى ٧٠°) ويكون مكشف الفالق المائل بدرجات الميل المختلفة خطاً مستقيماً فى حالة خاصة وهى أن يكون سطح الأرض مستوياً كما هو الحال فى السهول حيث يتقاطع مستوى الفالق مع سطح الأرض المستوى فى خط قريب جداً من المستقيم . ويتحدد مكشف الفالق المائل برسم منحنى تقاطع مستوى الفالق مع سطح الأرض تماماً كما فى حالة الطبقات المائلة ، بتحديد نقط المكشف

المشتركة بين خطوط مضرب الفالق وكنتورات السطح التى تقع على نفس المنسوب ويمثل المنحنى الواصل بين هذه النقط مكشف الفالق . ويحتاج تحديد متجهات مستوى الفالق المائل فى الفراغ إلى ثلاثة مركبات وقد سبق شرح الطرق التخطيطية بمعلومية المتغيرات الثلاث عند شرح طرق رسم مكاشف الطبقات المائلة ، حيث تطبق هنا نفس القواعد لتحديد مكاشف الفوالق المائلة .

ف ـ ف مكشف الفالق المائل على سطح أرض مستوية .

ف$_{١}$ ـ ف$_{١}$ المسقط الأفقى لمستوى المقارنة السفلى (يبعد مسافة = ع عن مستوى المقارنة .

ف$_{٢}$ ـ ف$_{٢}$ أثر مستوى المقارنة السفلى بعد تطبيقه (ى ى$_{١}$ محور دوران)

ن ن$_{١}$ = المسقط الأفقى للانزلاق الكلى للفالق .

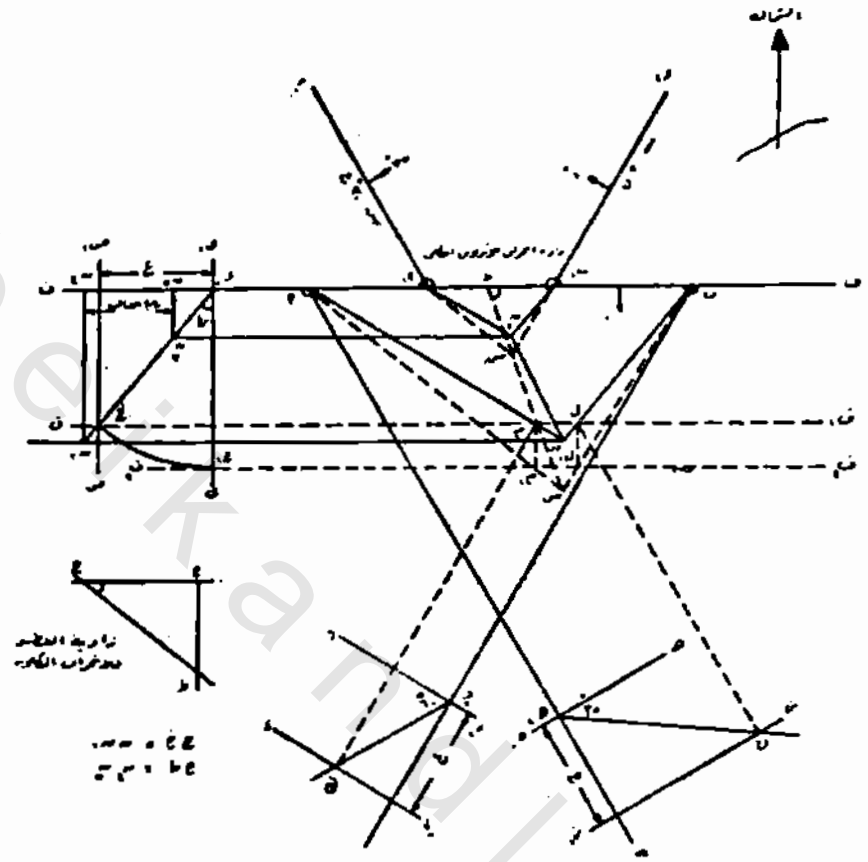
س س$_{١}$ = الانزلاق الكلى للفالق .

تعيين مركبات الحركة للفالق المائل :

يوضح المثال التالى طريقة تعيين الانزلاق الكلى للفالق المائل بمعلومية متجهات (المضرب والميل) سطحى طبقتين متقاطعتين على جانبى مستوى الفالق .

المعطيات :

يبين شكل (٢٠٥) مكشف فالق مائل (ف ـ ف) على سطح أرض مستوية وتتجه مضاربه (شرق ـ غرب) بزاوية ميل مقدارها ٤٠° فى اتجاه الجنوب ، ويظهر سطح طبقة رقيقة عند نقطتى (أ ، أ$_{١}$) على الجانب الجنوبى والشمالى للفالق على الترتيب وتتجه خطوط مضربها (شمال ٣٠° غرب) بزاوية ميل مقدارها ٣٥° فى اتجاه الشمال الشرقى كذلك يظهر سطح طبقة



(شكل ٢٠٥)
تعيين مركبات حركة الفالق المائل

رقيقة أخرى عند نقطتى (ب ، ب١) على الجانب الجنوبى والشمالى للفالق وتتجه خطوط مضربها (شمال ٣٠° شرق) بزاوية ميل مقدارها ٦٠° فى اتجاه الشمال الغربى . مع العلم بأن كل من النقط (أ ، أ١ ، ب ، ب١) لها نفس المنسوب (منسوب مستوى المقارنة) .

المطلوب :

تعيين مركبات الحركة (السابق ذكرها) على مستوى الفالق المائل .

العمل :

١ ــ من النقطتين (أ ، أ١) نرسم خطا المضرب (أ حـ ، أ١ حـ١) فى الاتجاه ه (شمال ٣٠° غرب) وبالمثل من النقطتين (ب ، ب١) نرسم خطا المضرب (ب د ، ب١ د١) فى الاتجاه (شمال ٣٠° شرق) .

٢ ــ تبدأ التخطيط فى الجانب الجنوبى للفالق ، وعلى الثلاث خطوط (ف ف) ، (أ حـ) ، (ب د) خطوط مضرب الفالق والطبقتين الرقيقتين وهى تمثل خطوط أفقية تقع فى مستوى الفالق المائل وسطحى الطبقتين تنشأ القطاعات الرأسية بإقامة الأعمدة ى ى١ ، هـ هـ١ ، و و١ (تمثل هذه الأعمدة أثر مستوى المقارنة) ثم تأخذ مسافة = ع فى اتجاه ف ف ، أ حـ ، ب د ثم نقيم الأعمدة ص ص١ ، ز ز١ ، ر ر١ على الترتيب (تمثل هذه الأعمدة أثر مستوى المقارنة السفلى والذى يبعد مسافة رأسية = ع عن مستوى المقارنة .

٣ ــ من الثلاث نقط ى٢ ، هـ٢ ، و٢ نرسم لثلاث زوايا .

(ى ى٨٢ غ) = ٤٠° (زاوية مستوى الفالق) .

(هـ هـ٨٢ ق) = ٣٥° (زاوية ميل سطح الطبقة الأولى) .

(و و٨٢ ك) = ٦٠° (زاوية ميل سطح الطبقة الثانية) .

٤ ــ من الثلاث نقط (غ ، ق ، ك) نرسم المستقيمات الثلاثة (ف١ ف١) يوازى (ف ف) ، (ق ل) يوازى (أ حـ) ، (ك م) يوازى (ب د) ويمثل الخط (ف١ ف١) خط مضرب آخر للفالق يقل فى المنسوب بمسافة رأسية = ع عن (ف ف) ويمثل الخط (ق ل) خط مضرب آخر للطبقة الأولى يقل فى المنسوب بمسافة رأسية = ع عن (أ حـ) ويمثل الخط (ك م) خط مضرب آخر للطبقة الثانية يقل فى المنسوب بمسافة رأسية = ع عن (ب د) وتمثل نقطتى (ل ، م) المسقط الأفقى لتقاطع مستوى الفالق المائل مع خطا تقاطع مستوى المقارنة السفلى وسطحى الطبقتين (فى الجانب الجنوبى للفالق) .

٥ ــ من النقطتين (ل ، م) نسقط العمودان (ل ل$_{١}$ ، م م$_{١}$) على ف$_{٢}$ف$_{٢}$ أثر مستوى المقارنة السفلى بعد دورانه حول (ف ف) مستخدمين (ى$_{٢}$ خ) كنصف قطر الدوران وتطبيقه على المستوى الأفقى (مستوى الخريطة) .

٦ ــ بتوصيل الخطين (؟ م ، ب ل) ومدهما حتى يتقاطعا فى (ن) كذلك توصل الخطين (؟ م$_{١}$ ، ب م$_{١}$) ومدهما حتى يتقاطعا فى (س) . يمثل (؟ م ، ب ل) المسقط الأفقى لخطا تقاطع مستوى الفالق مع سطحى الطبقتين ، ويمثل؟ م ، ب ل خطا تقاطع مستوى الفالق مع سطحى الطبقتين كما يظهران على مستوى الفالق المائل . نقطة (ن) تمثل المسقط الأفقى لتلاقى مستوى الفالق مع سطحى الطبقتين (فى الجانب الجنوبى للفالق) نقطة (س) تمثل نقطة تلاقى مستوى الفالق مع سطحى الطبقتين على مستوى الفالق .

٧ ــ وبالمثل يمكن اتباع نفس القواعد السابقة على الجانب الشمالى للفالق لتحديد تقاطع المستويات الثلاثة غير أنه اختصاراً للعمل وبمعلومية أن الفالق لم يؤثر على مقدار اتجاه ميل ومضرب سطحى الطبقتين فيكون خطا تقاطع مستوى الفالق مع سطحى الطبقتين على جانبى الفالق متوازيان ، فنرسم (؟$_{١}$ ل$_{١}$) يوازى (؟ ن) ، (ب$_{١}$ن$_{١}$) يوازى (ب ن) ، (؟$_{١}$ س$_{١}$) يوازى (؟ س) ، (ب$_{١}$س$_{١}$) يوازى ب س فتكون النقطة ن$_{١}$ هى المسقط الأفقى لتلاقى المستويات الثلاثة ؛ مستوى الفالق وسطحى الطبقتين على الجانب الأفقى لتلاقى المستويات الثلاثة ، مستوى الفالق وسطحى الطبقتين على الجانب الشمالى للفالق ؛ ونقطة (س$_{١}$) هى نقطة تلاقى المستويات الثلاثة كما تظهر فى مستوى الفالق المائل .

٨ ــ المسقط الأفقى للانزلاق الكلى = ن ن$_{١}$.

الانزلاق الكلى (مقاس فى مستوى الفالق المائل) = (س س$_{١}$) (٦)

ويمد (س س$_{١}$) حتى يقابل ف ف فى ط تكون

زاوية انحراف الانزلاق الكلى = زاوية س ط ب

الانزلاق الميلى = الانزلاق الكلى = حا (زاوية الانحراف) = س س$_{1}$ حا (س $\hat{ط}$ ب) . . . . . (٧)

الانزلاق المضربى = الانزلاق الكلى = جتا (زاوية الانحراف) = س س$_{1}$ جتا (س $\hat{ط}$ ب) (٨)

ولتعيين زاوية غطس الانزلاق الكلى يجب تحديد منسوب النقطتين ن ، ن$_{1}$ ولذلك نرسم الخطين (ن ن$_{2}$ ، ن$_{1}$ن$_{2}$) يوازيا ن الخط (ف ف) ليقابلا امتداد الخط (ى$_{2}$ غ) فى نقطتى (ن$_{2}$ ، ن$_{2}$) ثم من (ن$_{2}$ ، ن$_{2}$) نقيم الأعمدة (ن$_{2}$ ن$_{4}$ ، ن$_{2}$ ن$_{0}$) على (ف ف) فيكون ن$_{4}$ ن$_{0}$ هو الفرق فى المنسوب بين نقطتى ن ، ن$_{1}$ (بمقياس رسم الخريطة الأفقى) ثم نشأ المثلث القائم الزاوية (ح خ ظ) فيه ح خ = ن ن$_{1}$ ، خ ظ = ن$_{4}$ ن$_{0}$ فيكون ظ خ = الانزلاق الكلى س س$_{1}$ والزاوية ظ $\hat{ح}$ خ زاوية غطس الانزلاق الكلى .

رمية الفالق = ن$_{4}$ ن$_{0}$ = الانزلاق الكلى × حا (زاوية الغطس للانزلاق الكلى) . . . . . (٩)

رمية الفالق = الانزلاق الميلى × حا (زاوية ميل الفالق) . . (١٠)

رمية الفالق = الانزلاق الكلى × جا (زاوية انحراف الانزلاق الكلى) × جا (زاوية ميل الفالق) . . . . . (١١)

∴ حا (زاوية الغطس للانزلاق الكلى) = جا (زاوية انحراف الانزلاق الكلى) × جا (زاوية ميل الفالق . . . . . (١٢)

الإزاحة الأفقية للفالق = الانزلاق الكلى × حا α حتا ϕ . (١٣)

حيث α = زاوية انحراف الانزلاق الكلى

ϕ = زاوية ميل الفالق

الإزاحة الأفقية للفالق = الانزلاق الميلى × جتا (زاوية ميل الفالق) (١٤)

ومن المعادلتين (١٠) ، (١٤) بالقسمة ينتج

$$\frac{\text{رمية الفالق}}{\text{الإزاحة الأفقية للفالق}} = \text{ظا (زاوية ميل الفالق)} \qquad (١٥)$$

ولتعيين الفاصل الاستراتجرافى والرأسى والأفقى يمكن الاستعانة بالقطاعات الرأسية القياسية التى يكون فيها مقياس الرسم الرأسى مساويًا لمقياس الرسم الأفقى .

وتحدد الحركة النسبية على مستوى الفالق من الوضع النسبى للنقطتين (س، س١) حيث تحركت نقطة (س) تقاطع مستوى الفالق وسطحى الطبقتين فى الجانب الجنوبى للفالق إلى اليمين أسفل النقطة (س١) نقطة تقاطع المستويات الثلاثة على الجانب الشمالى للفالق .

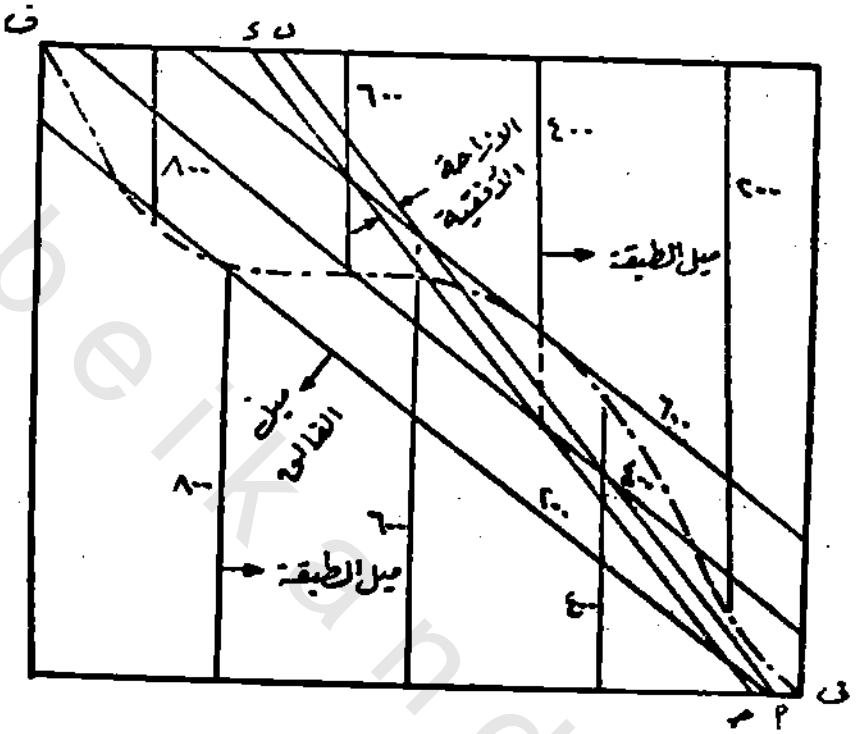
ويلاحظ فى الفالق المائل أنه لا يمكن تعين رمية الفالق مباشرة من الخريطة كما فى حالة الفالق الرأسى ولكن تطبق المعادلة رقم (١٥) .

تعيين الإزاحة الأفقية للفالق المائل :

لتعيين الإزاحة الأفقية للفالق المائل لا بد من تحديد المسقط الأفقى لخط تقاطع مستوى الفالق مع أحد سطوح الطبقات على جانبي الفالق وقياس المسافة بين هذين الخطين فى المسقط الأفقى ، وهناك عدة طرق لتعيين الإزاحة الأفقية للفالق بعضها يعتمد على الرسم والآخر على الحساب وتتوقف الطريقة المستخدمة على متجهات الطبقة (الميل والمضرب) كذلك على متجهات الفالق (الميل والمضرب) . وتبين الأمثلة التالية الطرق المختلفة لتعيين الإزاحة الأفقية للفالق .

أولاً ـ خطوط مضرب الفالق تتقاطع مع خطوط مضرب الطبقة :

فى حالة تقاطع خطوط مضرب الفالق مع خطوط الطبقة يصبح



(شكل ٢٠٦)

تعيين الإزاحة الأفقية للفالق المائل إذا تقاطعت خطوط مضربه مع خطوط مضرب الطبقة

من السهل تحديد خط تقاطع مستوى الفالق مع سطح الطبقة على جانبي الفالق بإيجاد نقط تقاطع خطوط مضرب الفالق مع خطوط مضرب الطبقة المتحدة معها فى المنسوب على جانب الرمية العلوية للفالق وتوصيلها بخط مستقيم أ ب (خط تقاطع مستويين) ثم نتبع نفس الطريقة فى إيجاد خط التقاطع بين مستوى الفالق ونفس السطح على جانب الرمية السفلية (ح د) ويلاحظ أن خطا تقاطع الرمية العلوية والسفلى متوازيان كما هو موضح بالشكل (٢٠٦) وتمثل المسافة العمودية بينهما الإزاحة الأفقية للفالق (بمقياس رسم الخريطة).

ثانياً ــ خطوط مضرب الفالق توازى خطوط مضرب الطبقة :

الحالة الأولى ــ ميل الفالق فى اتجاه ميل الطبقة :

١ ــ الطريقة التخطيطية

١ ــ نختار أحد خطوط مضرب الفالق وخط مضرب للطبقة على جانبي الفالق لهما نفس المنسوب (٦٠٠ مثلا) كما فى شكل (٢٠٧) .

٢ ــ من أى نقطة على مضرب الفالق نقيم عموداً يقطع خط مضرب الطبقة على جانبي الفالق .

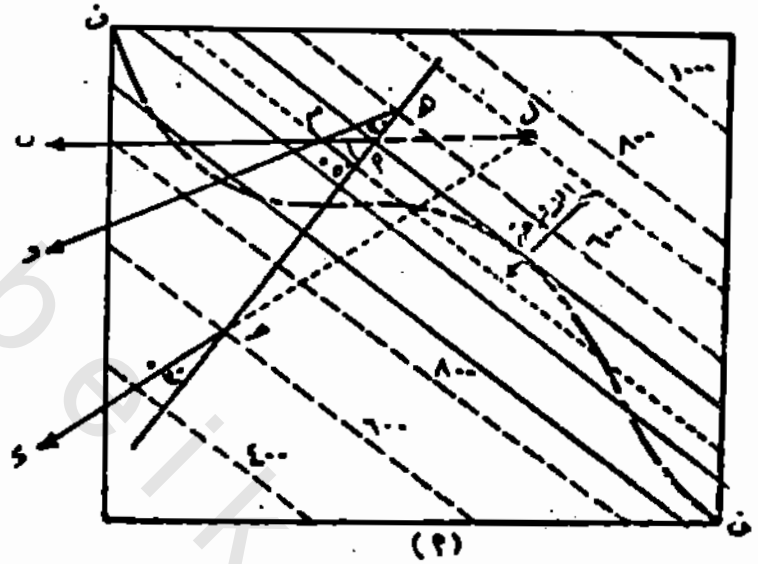
٣ ــ من نقطة تلاقى العمود مع مضرب الفالق نرسم الخط (أ ب) يصنع زاوية تساوى زاوية ميل الفالق (ولتكن ٥٠°) ، ومن نقطة تلاقى العمود مع مضرب الطبقة على جانب الرمية العلوية نرسم الخط (ح د) يصنع زاوية ميل الطبقة كذلك من نقطة تلاقى العمود مع مضرب الطبقة على جانب الرمية السفلية ، نرسم الخط (هـ و) يصنع زاوية ميل الطبقة (ولتكن ٣٠°) .

٤ ــ نمد الخطين (أ ب ، ح د) حتى يتلاقيا فى نقطة (ل) كذلك نمد (أ ب ، هـ و) حتى يتقابلا فى (م) .

٥ ــ من كل من (ل ، م) نرسم خطين يوازيان خطوط المضرب فيكونا هما المسقط الأفقى لخطا تقاطع مستوى الفالق مع سطح الطبقة على جانبي الفالق وتكون المسافة العمودية بينهما هى الإزاحة الأفقية للفالق والفرق فى المنسوب بينهما هو رمية الفالق .

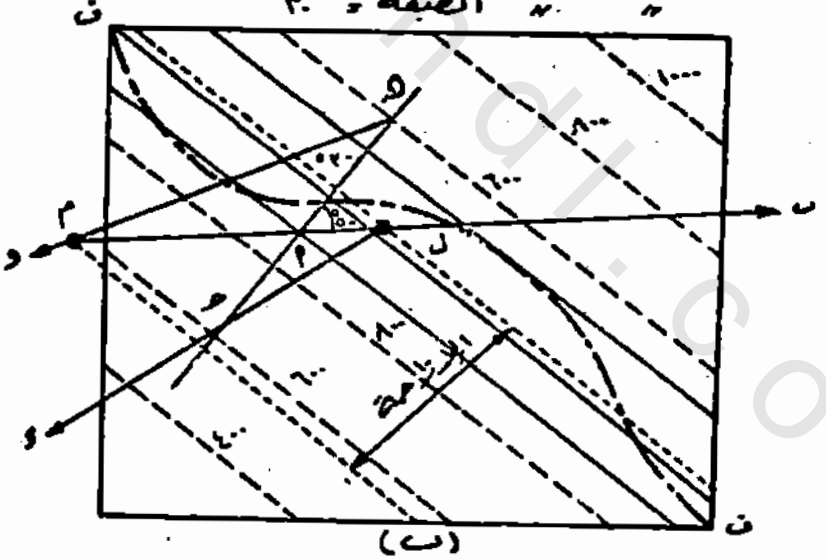
٢ ــ الطريقة الحسابية :

تفترض وجود مستويان رأسيان يمر أحدهما بخط تقاطع مستوى الفالق مع سطح الطبقة فى جانب الرمية العلوية وحيث إن خطوط مضرب الفالق وخطوط مضرب الطبقة متوازيان فلا بد أن يكون خط تقاطعها يوازى خطوط



(أ)

ميل الفالق فى اتجاه ميل الطبقة
زاوية ميل الفالق = ٥٠°
" " الطبقة = ٣٠°



(ب)

ميل الفالق على ميل الطبقة

(شكل ٢٠٧)
الطريقة التخطيطية لتعيين الإزاحة الأفقية الفالق المائل عند توازى خطوط مضرب الفالق مع خطوط مضرب الطبقة

المضرب ، ويقطع المستوى الرأسى الآخر كلا من سطح الطبقة ومستوى الفالق فى خطين مضربين ينطبقان على بعضهما فى المسقط الأفقى (مستوى الخريطة) فإذا كان منسوب خط مضرب الفالق = (ع ف) ، ومنسوب خط مضرب الطبقة المنطبق معه = (ع ط) ، وكان منسوب خط تقاطع المستويين المراد تحديده هو (م) كما فى شكل (٢٠٨) يتبين أن :

$$\text{ب حـ} = \frac{\text{أ ب}}{\text{ظا } \phi} = \frac{\text{ب د}}{\text{ظا } \theta}$$ وبالتعويض بدلا له المناسيب نجد أن

$$\frac{\text{ع ف} - \text{م}}{\text{ظا } \phi} = \frac{\text{ع ط} - \text{م}}{\text{ظا } \theta} \qquad (١٦)$$

ومن هذه المعادلة يمكن حساب منسوب خطا تقاطع مستوى الفالق مع سطح الطبقة بمعلومية زاوية ميل الفالق (ϕ) ، زاوية ميل الطبقة (θ) ، وترقيم خطين مضربين منطبقين أحدهما للفالق والآخر لسطح الطبقة .

وتتبع الخطوات الآتية عند تطبيق الطريقة الحسابية على المثال السابق الموضح بشكل (٢٠٧ – أ) :

١ – نختار خط مضرب للفالق وليكن الخط ٦٠٠ = ع ن ونوجد ترقيم خط مضرب سطح الطبقة المنطبق معه على جانب الرمية العلوية للفالق .

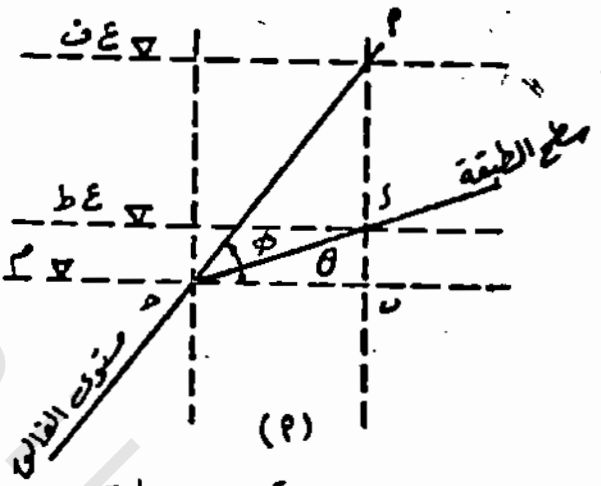
= ٥٠٠ = ع ط .

وبتطبيق المعادلة (١٦)

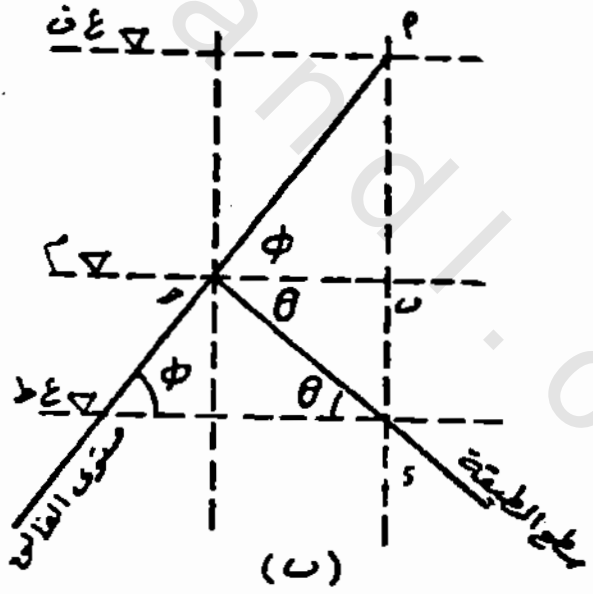
$$\therefore \quad \frac{٦٠٠ - \text{م}}{\text{ظا } ٣٠^\circ} = \frac{٥٠٠ - \text{م}}{\text{ظا } ٥٠^\circ}$$

$$\therefore \quad \frac{٦٠٠ - \text{م}}{-,٦} = \frac{٥٠٠ - \text{م}}{١,٢} \qquad \therefore \text{ م} = ٧٠٠ \text{ متراً} .$$

وهو منسوب خط تقاطع مستوى الفالق مع سطح الطبقة على جانب الرمية العلوية .



ميل الفالق مع اتجاه ميل الطبقة



ميل الفالق عكس ميل الطبقة

(شكل ٢٠٨)

الطريقة الحسابية لتعيين الإزاحة الأفقية للفالق المائل عند
توازى خطوط مضربه وخطوط مضرب الطبقة

٢ – نرسم خطاً يحمل المنسوب (٧٠٠) ويوازى خطوط المضرب فيكون هو خط التقاطع .

٢ – نكرر العمل بنفس الخطوات السابقة لتحديد منسوب خط تقاطع مستوى الفالق مع سطح الطبقة على جانب الرمية السفلية ثم نرسم خطاً يحمل هذا المنسوب ويوازى خطوط المضرب فيكون هو خط التقاطع للرمية السفلية . والمسافة بين الخطين هى الإزاحة الأفقية للفالق والفرق فى المنسوب هو رمية الفالق .

الحالة الثانية – ميل الفالق عكس ميل الطبقة :

١ – الطريقة التخطيطية :

تتبع نفس القواعد السابق شرحها فى الحالة الأولى مع ملاحظة أنه عند توقيع زاوية ميل الفالق على خط مضرب الفالق يراعى أن يكون الخط أ ب فى اتجاه ميل الفالق أى عكس اتجاه قياس زاوية ميل الطبقة كما فى شكل (٢٠٧ ب) .

٢ – الطريقة الحسابية :

يتضح من شكل (٢٠٩ ب) .

المثلث أ ب حـ فيه ب حـ = $\frac{\text{أ ب}}{\text{ظا } \phi} = \frac{\text{عف} - \text{م}}{\text{ظا } \theta}$

، المثلث د حـ ب فيه ب حـ = $\frac{\text{ب د}}{\text{ظ } \phi} = \frac{\text{م} - \text{ع ط}}{\text{ظا } \theta}$

$$\therefore \frac{\text{عف} - \text{م}}{\text{ظا } \phi} = \frac{\text{م} - \text{ع ط}}{\text{ظ } \theta} \qquad (١٧)$$

وبتطبيق الطريقة الحسابية التى سبق شرحها فى المثال الموضح بالشكل

(٢٠٧) نحصل على منسوب خط تقاطع مستوى الفالق مع سطح الطبقة على جانبي الفالق بالطريقة الآتية :

نختار مضرب الفالق ع ن = ٢٠٠ م وبتعيين منسوب خط مضرب الطبقة المنطبق عليه ع ط = ٥٠٠ ، وبتطبيق المعادلة (١٧)

$$\therefore \frac{٢٠٠ - م}{١,٢} = \frac{٥٠٠ - م}{٠,٦} \quad \therefore م = ٤٠٠ \text{ متراً}$$

وهو منسوب خط تقاطع مستوى الفالق مع سطح الطبقة على جانب الرمية العلوية للفالق ، ونرسم خطاً يحمل هذا المنسوب ويوازى خطوط المضرب فيكون هو خط التقاطع المطلوب ثم يكرر العمل بالنسبة لجانب الرمية السفلية .

ويلاحظ أن هناك بعض الفروق بين النتائج بالطرق التخطيطية والأخرى بالطرق الحسابية ، غير أن هذه الفروق ضئيلة وناتجة من اختلاف دقة كل من الطريقتين وإن كانت الطرق التخطيطية أكثر تطبيقاً .

حسابات الفوالق فى القطاعات الرأسية :

يوضح المثال التالى كيفية حساب مركبات حركة الفالق من القطاعات الرأسية .

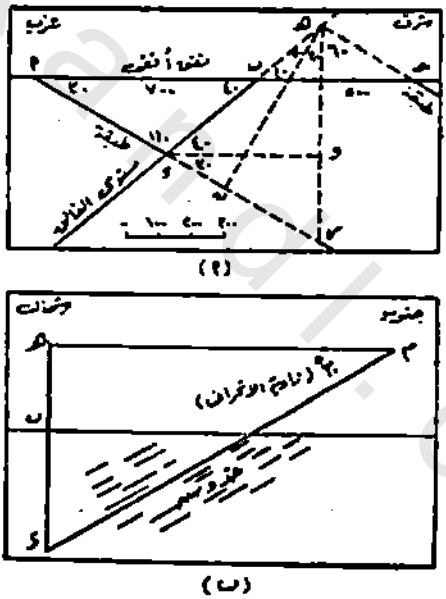
المعطيات : أثناء عملية إنشاء نفق أفقى يمتد فى الاتجاه من الشرق إلى الغرب تقاطع النفق مع فالق حددت متجهاتها فوجدت خطوط مضربه تتجه شمالا وتميل بزاوية مقدارها ٤٠° إلى الغرب ، وعلى مسافة ٥٠٠ متر من نقطة تلاقى النفق مع الفالق وفى اتجاه الشرق منها تقاطع النفق مع طبقة حجر رملى حددت متجهاتها فوجدت خطوط مضربها تتجه شمالا وتميل بزاوية مقدارها ٣٠° إلى الشرق ، وعلى بعد ٧٠٠ متر من نقطة تلاقى النفق مع الفالق وفى اتجاه الغرب منها وجدت نفس طبقة الحجر الرملى بنفس متجهاتها السابق ذكرها .

ورصدت زاوية انحراف بمستوى الفالق فوجدت من الشمال إلى الجنوب وتصنع زاوية = ٣٠° مع خط مضرب مستوى الفالق .

المطلوب : حساب الانزلاق الكلى – الانزلاق الميلى – الانزلاق المضربى الإزاحة الأفقية للفالق ، رمية الفالق ، الفاصل الاستراتجرافى والفاصل الرأسى والفاصل الأفقى فى مستوى عمودى على الفالق .

العمل :

يوضح شكل (٢٠٩ – أ) قطاعاً رأسياً عمودياً على خطوط مضرب الفالق موقعاً بالمعلومات التى رصدت من النقط .



(شكل ٢٠٩)

حسابات الفوالق فى القطاعات الرأسية

من المثلث أ ب د فيه $\frac{\text{أ ب جا } ٣٠^\circ}{\text{جا } ١١٠^\circ}$ = ب د

من المثلث هـ ب حـ فيه هـ ب = $\frac{\text{ب حـ جا } ٣٠}{\text{جا } ١١٠^\circ}$

الانزلاق الميلى = ب د + هـ ب = $\frac{\text{ا ب جا } ٣٠}{\text{جا } ١١٠} + \frac{\text{ب حـ جا } ٣٠^\circ}{\text{جا } ١١٠}$ = ٦٣٨ متراً

من الشكل (٢٠٩ — ب)

هـ م = الانزلاق المضربى = $\frac{\text{الانزلاق الميلى}}{\text{ظا } ٣٠^\circ}$ = ١١٠٥ متراً .

م د = الانزلاق الكلى = $\frac{\text{الانزلاق الميلى}}{\text{جا } ٣٠^\circ}$ = ١٢٧٦ متراً .

هـ و = رمية الفالق = الانزلاق الميلى جا ٣٠° = ٤١٠ متراً .

و د = الإزاحة الأفقية للفالق = الانزلاق الميلى جتا ٤٠° = ٤٨٨ متراً .

هـ ن = الفاصل الاستراتجرافى = الانزلاق الميلى جا ٧٠° = ٥٩٩ متراً .

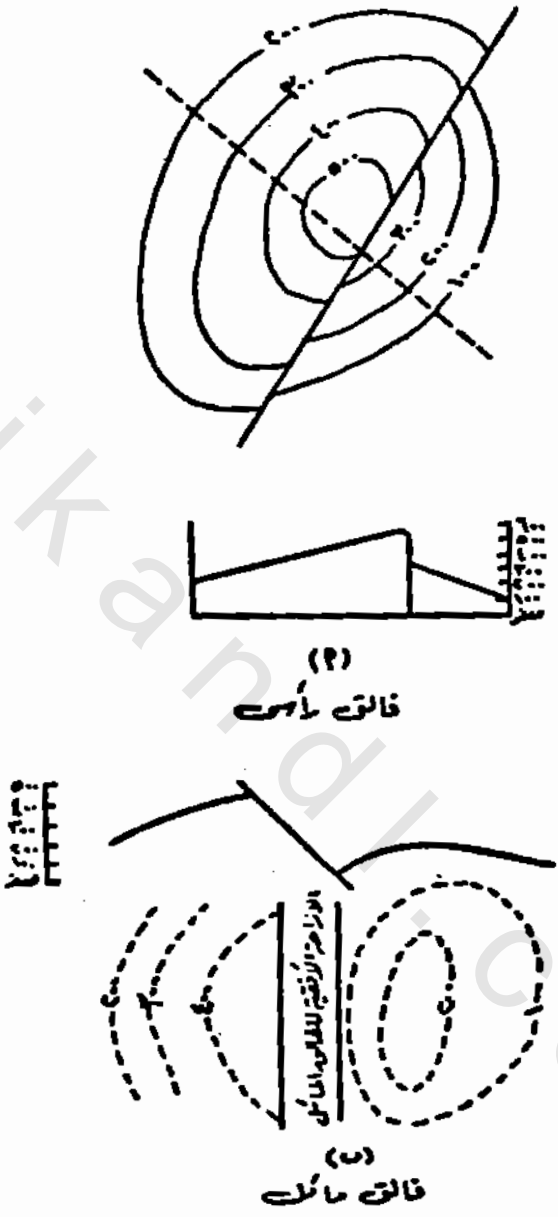
هـ ر = الفاصل الرأسى = $\frac{\text{الانزلاق الميلى جا } ٧٠^\circ}{\text{جا } ٦٠^\circ}$ = ٦٩٢ متراً .

ا حـ = الفاصل الأفقى = ا ب + ب حـ = ٧٠٠ + ٥٠٠ = ١٢٠٠ متراً .

تمثيل الفوالق فى الآبار الرأسية :

عند القيام بعمليات حفر الآبار العميقة للبحث والتنقيب عن البترول والخامات الأخرى ، تقابل هذه الآبار بعض الفوالق فى الأعماق بعيداً عن سطح الأرض ، وتمثل هذه الفوالق إما باستخدام مجسم بطريقة الحشوات أو مجسم منظور أو باستخدام الكنتورات التركيبية .

وعند تمثيل الفالق الرأسى بكنتورات تركيبية للطبقات على جانبى الفالق فإن الفاصل بين خطوط الكنتورات على جانبى أثر الفالق يكون هو رمية الفالق كما هو فى الشكل (٢١٠) وفى حالة تمثيل الفالق المائل بعمل كنتورات



(أ)
فالق رأسى

(ب)
فالق مائل

(شكل ٢١٠)

الكنتورات التركيبية للفالق

obeikandl.com

تركيبية للطبقات على جانبيه فإن الفاصل بين الكنتورات يكون له مركبة رأسية هي رمية الفالق ومركبة أفقية هي الإزاحة الأفقية للفالق (شكل ٢١٠ – ب) وتمثل الإزاحة الأفقية للفالق على خريطة الكنتورات التركيبية بمنطقة فراغ تفصل بين الكنتورات التركيبية للطبقات على جانب الرمية العلوية والكنتورات التركيبية للطبقات على جانب الرمية السفلية .

الطرق الحقلية للتعرف على الفوالق :

أهم القرائن التي تساعد في التعرف على الفوالق ما يأتي :

١ – عدم استمرار التراكيب الجيولوجية .

٢ – تكرار ظهور أو اختفاء بعض الطبقات .

٣ – ظواهر مميزة لمستويات الفوالق .

٤ – امتلاء شقوق الفالق بالسيليكا أو بالمعادن .

٥ – تغيرات فجائية في سحنة الصخور الرسوبية .

٦ – الظواهر الفسيوجرافية التي تترك آثارها على تضاريس المنطقة .

وبعض الظواهر المميزة للفوالق قد تدل أيضاً على وجود عدم توافق ، وفي بعض المناطق يكون من الصعب التمييز بين الفوالق وعدم التوافق وقد سبق أن ذكرنا هذا الموضوع في الفصل الأول .

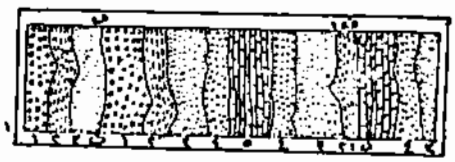
١ – عدم استمرار التراكيب الجيولوجية

إذا انتهت الطبقات فجأة أمام طبقات من صخور مختلفة فإنه يحتمل وجود فالق . وفي الخريطة الجيولوجية أو في حفرة صناعية أو هضبة شديدة الانحدار فإن عدم استمرار التراكيب يظهر على امتداد خط يمثل في الحقيقة آثار سطح عدم الاستمرار . وفي بعض الأحوال قد توجد الطبقات التي تأثرت بالفالق في مواضع قريبة من الفالق ، ولكن لا يحدث ذلك في معظم الأحيان .

وقد تنتهى القواطع والعروق أو فوالق قديمة فجأة أمام بعض الطبقات ثم يتكرر ظهورها فى مناطق أخرى . وفى مثل هذه الأحوال ، يجب أن يتأكد الجيولوجى أن القواطع والعروق تظهر بنظام متقطع . كذلك ، يجب ملاحظة أن عدم استمرار الطبقات ليس دليلا قاطعاً لوجود فالق ، فإن مثل هذه الظاهرة تميز أيضاً عدم التوافق ، وحدود المتداخلات النارية وعلى نطاق صغير التطابق المتقاطع .

٢ ـ تكرار واختفاء الطبقات

يمثل شكل (٢١١) خريطة جيولوجية لمنطقة من الصخور الرسوبية حدثت فيها طيات وفوالق . ويوجد طية مقعرة بالقرب من وسط الخريطة كما يتضح من اتجاهات ميل الطبقات وأقدم الطبقات هى الطبقة (١) وأحدثها الطبقة (٥) . ولكن فى بعض المواضع تختفى بعض الطبقات ، فعلى سبيل المثال على طول الفالق ف ـ ف لا توجد الطبقة (ب) . بينما على طول الفالق ف ١ ـ ف ١ تختفى الطبقتان (٣ ، ٤) ونستنتج من ذلك أن الخطوط ف ـ ف ، ـ ف ١ هى آثار فوالق ولكن لا توجد معلومات تدلنا على اتجاه ومقدار ميل الفوالق . وجدير بالذكر أن اختفاء الطبقات قد ينشأ أيضاً فى حالة عدم التوافق .



(شكل ٢١١)

تكرار واختفاء بعض الطبقات نتيجة للفوالق

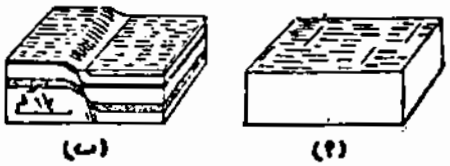
ف ـ ف = فالق ف ١ ـ ف ١ = فالق

٣ – الظواهر المميزة لمستويات الفوالق

تترك كثير من الفوالق آثارها على الصخور وأهم هذه الآثار ما يأتى :

(ا) الخدوش أو الخزوز (Slickensides) وتنشأ نتيجة احتكاك الكتلة الصخرية التى انزلقت على الصخور المقابلة على سطح الفالق ، ويمكن تحديد اتجاه حركة الصخور من هذه الخدوش وذلك بتحريك اليد مع السطح الخشن إلى السطح الناعم فيكون هذا الاتجاه هو الذى تحركت فيه الكتل الصخرية . وتشبه الخدوش الناتجة من الفوالق تلك التى تنشأ بفعل الثلاجات . وأحياناً توجد الخدوش بالفوالق التى تكون إزاحتها الرأسية صغيرة ، بينما قد تنعدم تماماً فى حالة الفوالق ذات الزحزحة الكبيرة كما هو الحال فى بعض الفوالق الاندفاعية ذات الميل البسيط والتى تسمى نابس (Nappe) . وتعتبر الخدوش إذا وجدت بالصخور من أفضل الشواهد الدالة على حدوث الفالق والتى يمكن بواسطتها معرفة اتجاه حركة الصخور على جانبى سطح الفالق . وكثير من السطوح التى توجد بها خدوش تحتوى على آثار تشبه السلالم المنخفضة الحادة وتكون متعامدة على اتجاه الخدوش كما فى الشكل (٢١٢ – أ) ويتضح من نفس الشكل أن الكتلة العلوية من الصخور (التى لا تظهر فى الشكل) قد تحركت من اليسار إلى اليمين بالنسبة للكتلة السفلية التى يوجد على سطحها الخدوش . وبعض الفوالق يوجد بها سطوح محدبة ومقعرة موازية لاتجاه الانزلاق وتصل المسافة بين قمم السطوح المحدبة أمتار قليلة بينما يصل عمقها لعدة ستيمترات .

(ب) سحب الطبقات (Drag) ويساعد أحياناً فى التعرف على الحركة النسبية على طول سطح الفالق كما يتضح من الشكل (٢١٢ – ب) . ونتيجة للاحتكاك الشديد فإنه ينتج تغيير مفاجئ فى اتجاه ميل وخطوط مضرب الطبقات



(شكل ٢١٢)
ظواهر مصاحبة للفوالق
(ا) خلوش أو حزوز
(ب) سحب الطبقات عند الفالق

على سطح الفالق ، فإذا كانت الطبقات متوازية فإنها تميل فجأة ميلا كبيراً نتيجة لسحب الطبقات وهذا دليل على احتمال وجود فالق فى الطبقات . وإذا قطع فالق جسم خام معدنى فإنه يحتوى عادة على قطع من الركام المسحوب (Drag ore) . بين كتلتى الركاز التى تأثرت بالفالق .

(حـ) البريشيا التكونية : يتفتت الصخر على طول سطح بعض الفوالق إلى قطع غير منتظمة الشكل تسمى بالبريشيا والتى يدل وجودها على زحزحة الطبقات على سطح الفالق ، وقد تكون البريشيا ذات أحجام كبيرة تصل أحياناً إلى عشرات من الأمتار فى الطول ، بينما تحت ظروف أخرى قد تطحن المادة الصخرية بفعل الاحتكاك الشديد إلى مادة دقيقة جداً تشبه الصلصال وتعرف بمسحوق الصخور (Gouge) ويلاحظ أن البريشيا ومسحوق الصخر الناعم لا يتكونان فى جميع الفوالق ، فعلى سبيل المثال وجد أن بعض الفوالق الاندفاعية التى زحزحتها كبيرة لا يوجد بها صخور البريشيا أو مسحوق الصخور الناعم .

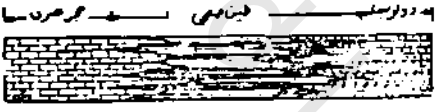
٤ ـ امتلاء شقوق الفالق بالسيليكا أو بالمعادن

الفوالق كسور قد تمتد لمسافات كبيرة وتستخدم عادة كممرات للمحاليل الجارية ، وقد تحل السيليكا المذابة فى المحاليل محل الصخور المحيطة وينشأ عن ذلك عملية ترسيب السيليكا (Silicification) ، وهذه الظاهرة ليست دليلا على وجود الفوالق، ولكن فى بعض المناطق قد تدل على احتمال وجود فوالق بها . وجدير بالذكر أن بعض الفوالق يتميز بوجود مجموعة من الكسور القريبة بعضها من بعض والتى تكاد تكون متوازية وتعرف مجموعة الكسور هذه بمنطقة القص . وفى كثير من الأحيان تتآكل صخور منطقة القص بدرجة أسرع من الصخور المجاورة ، لذلك يجب اتخاذ الاحتياطات اللازمة عند إقامة بعض المنشآت الهندسية الهامة مثل الأنفاق والسدود والخزانات والطرق وخطوط أنابيب نقل البترول والمياه بمناطق القص حيث إنها مناطق ضعف بالقشرة الأرضية وخاصة إذا كانت الفوالق حديثة العمر . ومن الناحية الأخرى ، تعتبر مناطق القص مواضع مناسبة لوجود بعض الرواسب المعدنية الاقتصادية مثل بعض رواسب النحاس والرصاص والزنك والتى ترسبت من المحاليل المعدنية المارة خلال هذه الكسور .

٥ ـ التباين فى سحنة الصخور الرسوبية

يوضح شكل (٢١٣) حوض ترسيبى تكونت فيه الصخور الرملية بالقرب من الشاطئ ، بينما ترسب الطين الصفحى على مسافة بعيدة من الشاطئ ، أما الصخور الجيرية فإنها تترسب على مسافات أكبر من الشاطئ . ويكون الانتقال تدريجياً من الصخور الرملية إلى الطين الصفحى ومن الطين الصفحى

إلى الصخور الجيرية كما يحدث تداخل كبير بين الطبقات وفى المنطقة (ا) يسمى الصخر الرسوبى بأن له سحنة رملية ، وفى المنطقة (ب) بالسحنة الرملية والطين الصفحى ، وفى المنطقة (حـ) بسحنة الطين الصفحى ، وفى المنطقة (د) بسحنة الطين الصفحى الجيرى ، وفى المنطقة (هـ) بسحنة الصخور الجيرية . وإذا تأثرت الطبقات بعملية الطى ثم تعرضت لسطح الأرض بعد تآكلها ، فإن السحنات المختلفة للصخور الرسوبية تتدرج من صخر إلى آخر حسب ترتيبها الأصلى . ومن الناحية الأخرى ، إذا تأثرت الصخور بفالق معكوس كبير (overthrust) فإن سحنة الصخور الرملية (ا) قد تجاورها صخور لها سحنة جيرية (هـ) وعلى عكس ذلك ، إذا وجدنا فى منطقة ما طبقات متزامنة من صخور رسوبية ذات سحنات متباينة فإنه يحتمل وجود فالق له انزلاق كبير . وليس من المستطاع تحديد مقدار الإزاحة لأنه لا يمكن أن نحدد بدقة المسافات التى تفصل بين كل سحنة وأخرى من الصخور الرسوبية .



(شكل ٢١٣)

التباين فى سحنة الصخور الرسوبية

٦ ـ الظواهر الفسيوجرافية الدالة على الفوالق

قد لا توجد الشواهد المباشرة الدالة على وجود الفوالق ، وخاصة إذا كانت الكتلة الصخرية التى تحركت إلى أسفل مغطاة بالرواسب الحديثة كالطمى ، ولكن بعض الظواهر الطبوغرافية قد تدل على وجود الفالق ؛ وسنذكر فيما يلى بعض هذه الشواهد للفسيوجرافية :

(ا) نتوءات من الهضاب (Offset of ridges) تقاوم بعض تكاوين الصخور الرسوبية عوامل التعرية وبذلك تظهر على هيئة هضاب مكونة المناطق العالية لطبوغرافية المنطقة وقد تقطع الطبقات فالق ميلى أو فالق منحرف وبذلك تتكون هضاب متقطعة نتيجة لعوامل التعرية ، وينشأ عن ذلك نتوءات من الهضاب .

(ب) مطالع شديدة الانحدار (Scarps) وهى عبارة عن منحدرات مستقيمة ، ويتفاوت ارتفاعها من عدة أمتار إلى آلاف الأمتار . وتختلف درجة انحدار المطالع من عشرة إلى عشرين درجة أما المطالع التى تصل درجة انحدارها ٤٥ درجة فهى غير شائعة الوجود . وعندما تتأثر المطالع بعوامل التعرية فإنها تصبح غير منتظمة الشكل . وجدير بالذكر أن المطالع ليست دليل مؤكد لوجود الفوالق ، لأنها قد تنشأ بعوامل لا علاقة لها مطلقاً بالفوالق فعلى سبيل المثال قد تنشأ مطالع شديدة الانحدار نتيجة التآكل بعوامل التجوية والنحر بواسطة الماء .

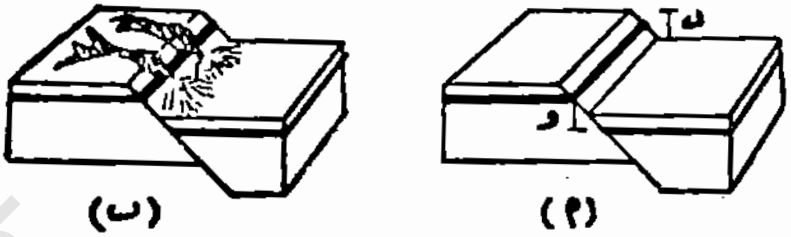
وتنقسم المطالع المصاحبة للفوالق إلى ثلاثة أقسام هى :

١ — مطالع ناشئة عن الفوالق الحديثة (Fault scarps) .

٢ — مطالع ناشئة عن خطوط الفوالق القديمة (Fault-line scarps) .

٣ — مطالع الفوالق المركبة (Composite fault scarps) .

والمطالع الناشئة عن الفوالق الحديثة تعزى تضاريسها مباشرة إلى الحركة على طول الفالق ، برغم أن عوامل التآكل قد تغير إلى حد مامن المعالم الطبوغرافية الأصلية للمنطقة . ويوضح شكل (٢١٤) فوالق عادية نتج عنها مطالع شديدة الانحدار التى قد تنشأ أيضاً من فوالق معكوسة وخاصة إذا كانت على درجة كبيرة من الميل . ويوضح شكل (٢١٤ — أ) مطلع هضبة لفالق حديث لم تؤثر عليه عوامل التعرية لدرجة كبيرة ويلاحظ أن ارتفاع المطلع (ل) يساوى الانزلاق الرأسى (و) ، وإذا تآكلت الكتلة المرتفعة للحائط السفلى للفالق فإن المواد المتفتتة ترسب على الكتلة المنخفضة للحائط العلوى للفالق



(شكل ٢١٤)

مطالع الفوالق

(ا) قبل التعرية
(ب) بعد التعرية
ل = ارتفاع المطلع
و = الانزلاق الرأسى

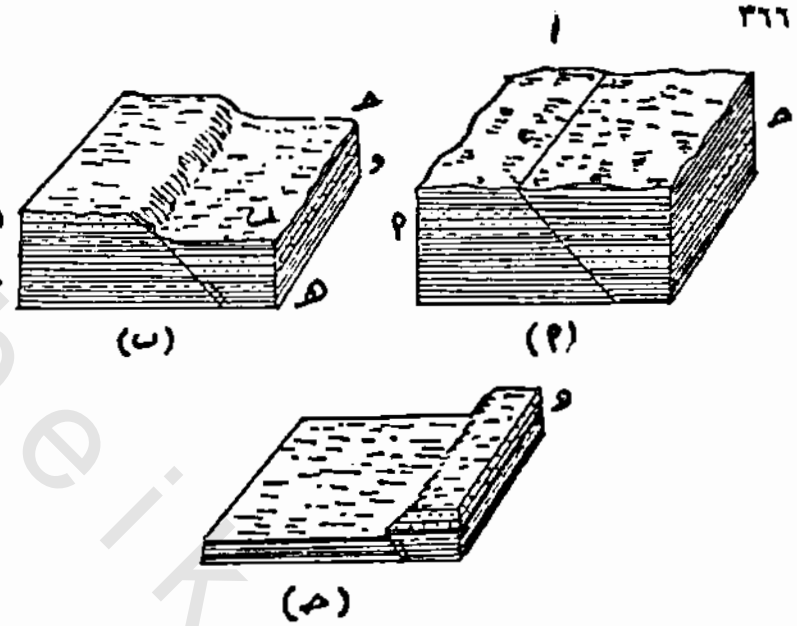
كما فى شكل (٢١٤ — ب) .

أما المطالع الناشئة عن خطوط الفوالق القديمة فتعزى تضاريسها إلى التآكل التفاضلى للصخور على جانبى خط الفالق كما يتضح من شكل (٢١٥) ويظهر من شكل (٢١٥ — أ) أن التضاريس الأصلية الناشئة عن الفالق قد تغيرت معالمها لدرجة كبيرة نتيجة لعوامل التعرية حيث يصبح السطح الجديد للمنطقة كما فى شكل (٢١٥ — ب) وقد تستمر عوامل التآكل فى تغيير طبوغرافية المنطقة فتظهر كما فى شكل (٢١٥ — حـ) .

أما مطالع الفوالق المركبة فهى التى تعزى طبوغرافيتها إلى كل من التآكل التفاضلى للصخو والحركة الأصلية للفالق . ويوضح الشكل (٢١٥ — ب) هذا النوع من مطالع الفوالق ، فإذا استمرت حركة الفالق فإنه يزداد هبوط كتلة الحائط العلوى للفالق وبذلك يزداد ارتفاع المطلع الذى يرجع أصله إلى عاملى التآكل واستمرار حركة الفالق .

وجدير بالذكر أنه من الصعب عادة التمييز بين الأنواع المختلفة من مطالع الفوالق .

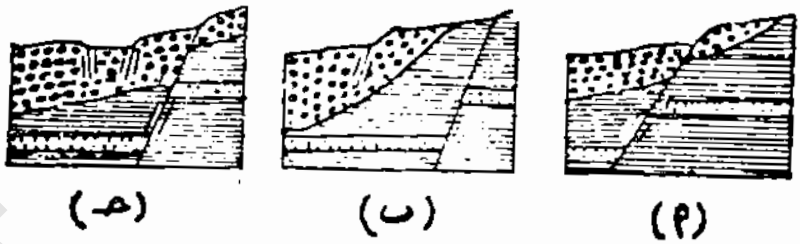
(حـ) المطالع الصغيرة للفوالق (Scarplets) وتسمى أيضاً بالمطالع التى توجد على أقدام الجبال وتميز المناطق التى تنشط بها الفوالق لدرجة كبيرة



(شكل ٢١٥)
المطالع الناشئة عن خطوط الفوالق القديمة
(ا) خط فالق بدون مطلع
(ب) مطلع ناشىء عن خط الفالق
(حـ) تغير طبوغرافية المنطقة بالتعرية

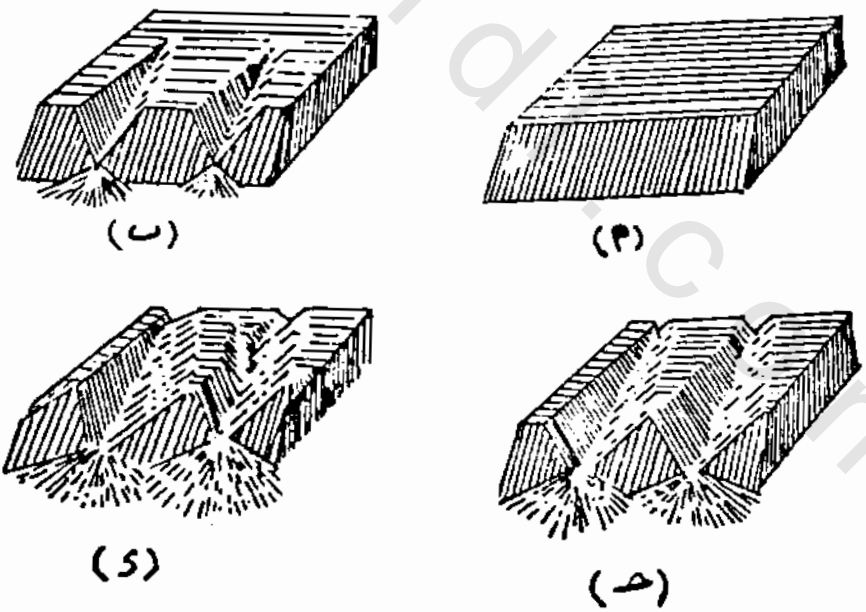
ويكون اتجاهها عادة موازياً لقاع سلسلة الجبال الكبيرة ، ويتفاوت ارتفاعها من عدة أمتار ولا يزيد عادة عن ثلاثين متراً وتتكون المطالع الصغيرة عادة من رواسب غير متماسكة مثل المراوح الطمية . ورواسب الثلاجات ، والشرفات الترسيبية للبحيرات حديثة التكوين . وقد تمثل بعض المطالع الصغيرة التى تقطع رواسب غير متماسكة بروزات على سطح الأرض ناتجة عن فالق قاطع للصخور كما يتضح من شكل (٢١٦) .

(د) الأوجه مثلثة الشكل (Triangular facets) وتنشأ على بعض المطالع المصاحبة للفوالق العادية كما فى شكل (٢١٧) . ويوضح شكل (٢١٧ ا) مطلع الفالق قبل التآكل من الناحية النظرية ، أما شكل (٢١٧ ب) فيوضح الوديان الناشئة بعد التآكل وتكون على شكل حرف (V) بينما فى شكل



(شكل ٢١٦)
المطالع الصغيرة للفوالق

(٢١٧ ــ حـ) فإن الوديان يزداد اتساعها لدرجة أنه لا يتبقى إلا نصف مساحة الأوجه الأصلية لمطلع الفالق التى تصبح أوجهها مثلثة الشكل تقريباً وتتجه رؤوسها إلى أعلى ويتضح من شكل (٢١٧ ــ حـ) أن ميل الأوجه يتفق مع ميل الفالق . ولا يكون هذا صحيحاً إلا فى حالة عدم تآكل وجه الفالق . وفى



(شكل ٢١٧)
نشأة الأوجه مثلثة الشكل.

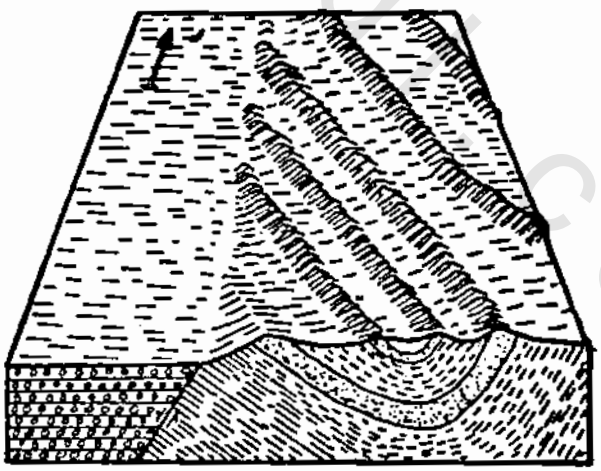
غالب الأحيان ، فإن الأجزاء العليا لمطالع الفالق تتعرض لعوامل التعرية ويصبح انحدار المطلع أقل من ميل الفالق كما فى شكل (٢١٧ – د) .

(هـ) تغييرات مفاجئة فى مقاطع الأنهار (A break in a stream profile)

قد تحدث هذه الظاهرة الفسيوجرافية على طول خط الفالق . فإذا لم يستطع النهر أن ينحر بسرعة كافية مساوية لحركة الفالق المستمرة ، فإن مقطع النهر قد يكون شديد الانحدار بدرجة غير عادية بالقرب من الفالق .

(و) تقاطع التركيب الداخلى لسلسلة من الجبال مع مناطق مستوية قد يدل على وجود فالق . ويظهر من شكل (٢١٨) أن الجزء الغربى للمنطقة عبارة عن مسطحات طمية يفصلها فالق عن مجموعة من الهضاب إلى طيات مقعرة فى الاتجاه شمال غرب وإلى وجود طبقات من صخور رملية قاومت عوامل التآكل والتعرية .

(ز) الينابيع (Springs) أن مجموعة من الينابيع على طول حافة سلسلة من الجبال قد تنشأ نتيجة للفوالق ، وخاصة إذا كانت الينابيع حارة .



(شكل ٢١٨)
تقاطع التركيب الداخل لسلسلة الجبال مع منطقة مستوية

وبصفة عامة يلاحظ أن الدلالة الفسيوجرافية للفوالق هامة من الناحية الجيولوجية ولكن يجب تطبيقها باحتراس . إذ أن بعض هذه الظواهر قد تنشأ نتيجة عوامل أخرى لا علاقة لها بالفوالق على الإطلاق . والظواهر الفسيوجرافية لها قيمة كبيرة إذا كانت مقترنة بالظواهر الأخرى التى تترك آثارها على الصخور والتى سبق ذكرها .

(ح) الصور الجوية : تكون الصور الجوية فى بعض الأحوال لها فائدة كبيرة فى التعرف على الفوالق . ويظهر الفالق بالصورة الجوية على هيئة خط محدد المعالم قد يوجد على أحد جانبيه بعض الهضاب أو المطالع . وفى صورة واحدة يمكن متابعة الفالق بسهولة لعشرات الكيلومترات . وفى الحقيقة يمكن تتبع استمرار الفالق بسهولة أكبر فى الصورة الجوية عن المشاهدات المباشرة فى الحقل . وبمساعدة الصور الجوية يمكن أحياناً تحديد ميل الفالق ، ولكن من الضرورى القيام بدراسات تفصيلية فى الحقل لتعيين مقدار زحزحة الفالق .

تمثيل سطوح عدم التوافق

تعتبر سطوح عدم التوافق بين التكاوين الصخرية من أفضل الطرق فى تحديد الحوادث التاريخية والتركيبية من الخريطة الجيولوجية . وتظهر سطوح عدم التوافق فى الخريطة الجيولوجية بأحد الأشكال الآتية :

١ ــ الاختلاف المفاجئ فى ميل الطبقات أسفل وأعلى سطح عدم التوافق .

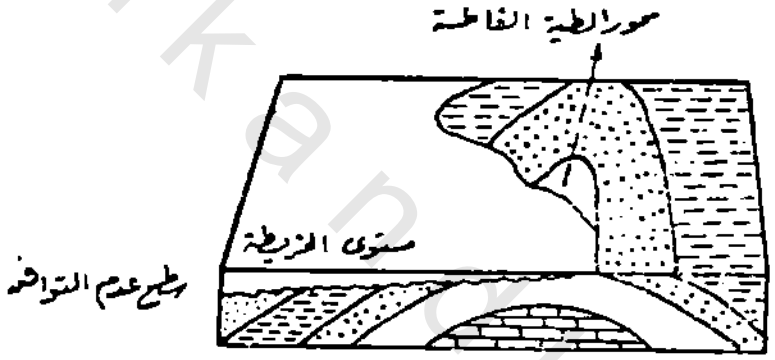
٢ ــ حذف إحدى الطبقات من تكوين معروف تتابعه الطبق .

٣ ــ وجود طبقة واحدة تغطى تكوين مكون من عدة طبقات صخرية .

٤ ــ وجود طبقات أعلى سطح عدم التوافق يتوقف عندها امتداد مستويات الفوالق .

٥ ــ وجود طبقات ذات أصل رسوبى فوق أخرى تختلف عنها فى الأصل (نارية أو متحولة) دون التدرج فى التحول بوجود صخور ذات درجات تحول متوسطة .

ويبين شكل (٢١٩) أحد سطوح عدم التوافق بين تكوينين أحدهما قديم حدث له طى وتآكل والآخر حديث ترسب على سطح التكوين القديم المتآكل . ويلاحظ أنه يطلق على هذا النوع عدم التوافق الزاوى ويميز بتآكل التكوين أسفل سطح عدم التوافق وشطفه بينما التكوين أعلى سطح عدم التوافق به ترقيق فى بعض اتجاهاته .



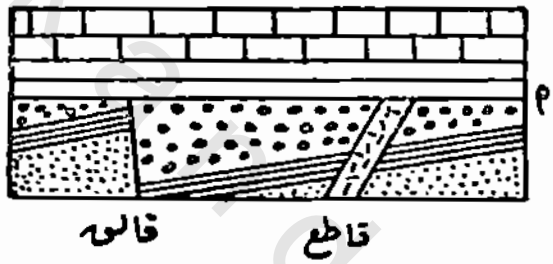
(شكل ٢١٩)

عدم التوافق فى الخريطة الجيولوجية والقطاعات الرأسية

التعرف على عدم التوافق

١ ــ **الملاحظة المباشرة** : إن المشاهدة المباشرة لموقع واحد من مكاشف الطبقات فى الحقل هو أكثر الطرق تأكداً من وجود عدم التوافق . وقد يكون مكشف الطبقات صغيراً ويمتد فقط لعدة أمتار ، أو قد تكون هناك حفرة صناعية مثل المحاجر أو الأنفاق كافية بملاحظة سطوح عدم التوافق كما قد يكون سطح عدم التوافق حائطاً لمنخفض كبير مثل الأخدود العظيم النهر كولورادو .

وفى حالة عدم التوافق الزاوى فإن اختلاف ميل التكاوين على جانبى سطح عدم التوافق دليل قاطع على وجوده ، ويمكن مشاهدة ذلك فى القطاعات الرأسية للصخور مثل سطح هضبة أو منحدر شديد كما فى شكل (٢٢٠) أو على سطح مكاشف الطبقات كما فى شكل (٢١٩) وقد تتكون الطبقات السفلية التى تقع مباشرة على سطح عدم التوافق من الكونجلمرات التى تحتوى على حصى خشن من تكاوين الصخور الواقعة تحت سطح عدم التوافق . وإذا كان الكونجلمرات قليل السمك ، فإنه قد يتركز بالمنخفضات الصغيرة التى تتواجد بالطبقات اللدنة الواقعة تحت سطح عدم التوافق . ولكن ليس من الضرورى أن توجد الكونجلمرات على طول سطح عدم التوافق الزاوى .



(شكل ٢٢٠)

أما فى حالة عدم التوافق المتوازى فإنه يمكن التعرف عليه بسهولة بالملاحظة المباشرة فى مكاشف الطبقات أو فى المحاجر أو عند شق الطرق والأنفاق والترع والمصارف ومن الشواهد التى تؤكد وجود عدم التوافق المتوازى نذكر على سبيل المثال ما يأتى :

(ا) وجود تباين واضح فى لون الصخور التى تتواجد فوق وتحت سطح عدم التوافق .

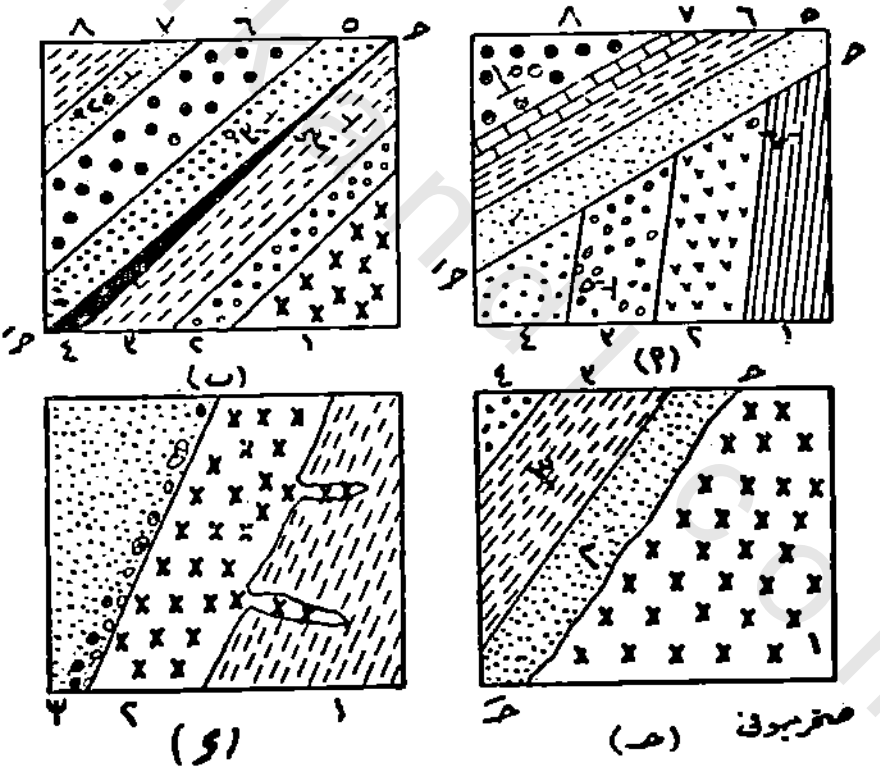
(ب) إذا كان السطح متعرجاً أو متموجاً لدرجة معينة .

(حـ) وجود طبقة رفيعة من الكونجلمرات أو الأركوز (صخر رسوبى يتكون أساساً من الكوارتز والفسبار) فوق سطح عدم التوافق مباشرة .

(د) وجود طبقة تحتوى على درنات أو عقد فوسفاتية .

(هـ) إذا ثبت أن نوع الحفريات التى على جانبى سطح الاتصال يفصلهما طبقة ذات حفريات مميزة فهذا يدل على احتمال وجود عدم التوافق من النوع المتوازى .

(و) وجود فوالق وقواطع أو أجسام نارية مقطوعة بطبقات من تكوين آخر أحدث عمراً .



(شكل ٢٢١)

عدم التوافق وكيفية ظهوره فى الخرائط الجيولوجية

(أ) عدم توافق زاوى أو غير منتظم (ب) عدم توافق منتظم أو متوازى

(جـ ، د) لا توافق .

ومن الصعب جداً أحياناً التعرف على عدم التوافق المتوازى وفى كثير من الأحوال أثبتت دراسة نوع الحفريات وجود فترات زمنية طويلة فى العمود الجيولوجى فى طبقات تكاد تكون أفقية دون أن يصاحبها شواهد تدل على تغير الظروف الطبيعية للترسيب .

أما اللاتوافق فيمكن تحديدها فى حالة وجود صخور نارية جوفية (متداخلة) كما أن الصخور التى توجد فوق سطح اللاتوافق كثيراً ما تحتوى على قطع مختلفة الأحجام من الصخور النارية القديمة على هيئة جلاميد أو حصى خشن . وقد تكون مفتتة إلى قطع دقيقة جداً ، لا يمكن مشاهدتها إلا فى القطاعات الميكروسكوبية ، وتتميز بعض أنواع اللاتوافق بوجود طبقة من الأركوز قد يصل سمكها لعدة أمتار .

٢ — **الخرائط المساحية الجيولوجية :** توضح الخريطة الجيولوجية فى شكل (٢٢١ — ا) عدم توافق زاوى إذ توجد مجموعة من الطبقات هى ١ ، ٢ ، ٣ ، ٤ لها اتجاهات خطوط المضرب متقاطعة مع خطوط مضرب مجموعة أحدث عمراً من الطبقات وهى ٥ ، ٦ ، ٧ ، ٨ ومن الواضح أن الطبقة رقم ٥ تجاوز جميع طبقات المجموعة القديمة على امتداد الخط حـ — حـ ، ومثل هذه العلاقة بين الطبقات يمكن تفسيرها بأنها ناشئة لوجود عدم توافق زاوى ، ولكن قد يفسر السطح حـ — حـ فى نفس الوقت على أنه فالق ، غير أن وجود قطع مفتتة من مجموعة الصخور القديمة أرقام ١ ، ٢ ، ٣ ، ٤ فى الطبقة رقم ٥ يؤيد ، ولكن ليس بصفة مؤكدة ، على أن السطح حـ — حـ نتج من عدم التوافق الزاوى .

وقد تظهر الخرائط الجيولوجية وجود عدم توافق متوازى كما فى الشكل (٢٢١ — ب) ، فبالرغم من أن الطبقات على جانبى السطح حـ — حـ تكون متوازية إلا أن الخرائط الجيولوجية توضح أن مجموعة الصخور الأحدث عمراً تقطع مجموعة الصخور القديمة ، ولكن هذا التقاطع قد يعزى أيضاً لوجود فالق ،

وتبعاً لذلك فإن دلائل أخرى ، مثل الاستعانة بنوع الحفريات ، يجب أن تعضد وجود عدم توافق متواز .

أما اللاتوافق فإنه قد يظهر فى الخريطة الجيولوجية كما فى الشكل(٢٢١ــ حـ) فمثلا إذا كانت الصخور الرسوبية ، وخاصة الطبقة رقم ٢ ، تحتوى على حصى من الصخور النارية الجوفية ، ولكن ليس من المستبعد أن يكون السطح حـ ــ حـ الظاهر على الأرض قد يكون فالقاً . وإذا لم توجد عروق أو سدود من الصخور النارية قاطعة للصخور الرسوبية ، أو لم تتواجد مكتنفات من الصخور الرسوبية بداخل الصخور النارية ، فإن السطح الفاصل بين الصخور النارية والصخور الرسوبية يكون غالباً سطح لا توافق .

٣ ــ **الاختلافات الواضحة فى درجة التماسك :** إن التباين الواضح فى درجة تماسك أو تلاحم الصخور دليل على احتمال وجود سطح لعدم التوافق فإذا وجدنا رمالا أو صلصالا غير متماسك فوق صخور متماسكة لدرجة كبيرة وبها مواد لاحمة مثل الصخور الرملية أو الطين الصفحى ، فإنه يحتمل أن يكون السطح الفاصل بين هذه الصخور هو سطح عدم توافق ، ولكن يجب الاحتياط فى مثل هذه الحالات حيث أن صخراً مفككاً قد يكون فى مكان آخر على درجة عالية من التماسك والتلاحم ، بينما قد يصبح صخراً متماسكاً مفتتاً نتيجة تعرضه لعوامل التجوية .

٤ ــ **الاختلافات الواضحة فى مراحل التحول :** إذا وجدنا فى منطقة معينة صخوراً متحولة ذات اختلافات واضحة فى مرحلة التحول ، فإنه يحتمل أن تكون الصخور الأقل تحولا قد ترسبت فى عدم التوافق على الصخور الأكثر تحولا ويمكن تحديد درجة التحول من التركيب المعدنى ونوع نسيج الصخر المتحول ، فعلى سبيل المثال يتحول الطين الصفحى إلى إردواز أو فيليت فى مرحلة التحول الأولى ولكنه يتحول إلى ميكاشيست أو جنيس فى مراحل التحول التالية . فإذا وجدنا الإردواز بجوار صخور من الشيست أو الجنيس فإنه يحتمل

وجود عدم توافق بينهما ، ولكن يوجد أيضاً احتمال وجود فالق كبير بالمنطقة .

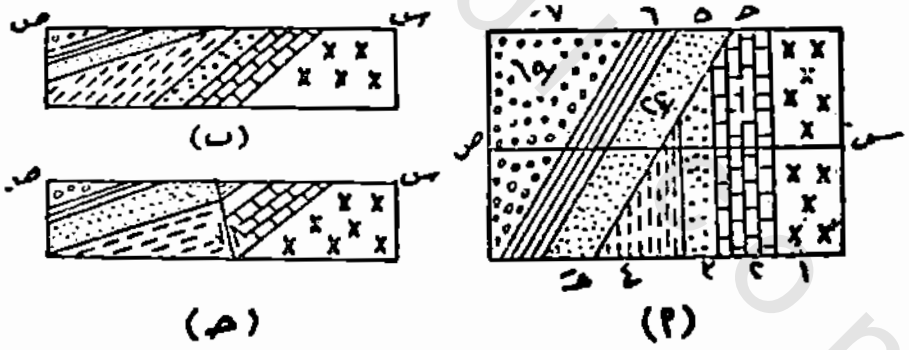
٥ ــ **الاختلافات الواضحة فى شكل الطيات** : يحتمل وجودعدم توافق إذا ثبت من دراسة التكاوين الصخرية فى منطقة ما، وجود بعض الصخور على شكل طيات ، بينما تتواجد فوقها تكاوين أخرى على درجة صغيرة من الميل أو تكاد تكون أفقية . ويجب أن تأخذ فى الاعتبار طبيعة الصخور والعوامل التى تؤثر على درجة سلوكها الميكانيكى عند تعرضها للحركات الأرضية وبصفة عامة فإن الاختلافات فى درجة طى الطبقات ليست دليلاً مؤكداً على وجود عدم توافق بين الصخور .

٦ ــ **العلاقة مع الصخور النارية الجوفية** : إذا وجدنا صخراً مثل ١ ، ٣ فى شكل (٢٢١ ــ د) يفصلهم صخر الجرانيت رقم ٢ ، فإنه من الواضح أن الصخر رقم ١ هو الأقدم ، وبعد ذلك تداخل فيه الجرانيت، ثم ترسب فوق الجرانيت الصخر الأحدث عمراً رقم ٣ ، والذى يحتوى على حصى من صخر الجرانيت . ويدل ذلك على أن الصخر رقم ٣ يقع فوق سطح عدم التوافق بينما يقع الصخر رقم ١ تحت سطح عدم التوافق .

٧ ــ **الحفريات** : تعتبر الحفريات من الشواهد التى تدل على وجود عدم التوافق ، فإذا وجدنا صخوراً تحتوى على حفريات من عصر الرياسى الأعلى يوجد فوقها مباشرة صخور تحتوى على حفريات من عصر الكريتاسى الأسفل فهذا دليل قاطع على وجود عدم توافق متوازى ، برغم أن الطبقات قد تبدو ظاهرياً متوافقة .

الشواهد المميزة للفوالق من عدم التوافق

سبق أن أوضحنا صعوبة التمييز بين عدم التوافق والفوالق ولكن بالرغم من ذلك فإنه يسهل التعرف على الفوالق الموازية لميل الطبقات والفوالق المائلة فهى تختلف اختلافاً واضحاً عن ظاهرة عدم التوافق . ولكن إذا كان الطبقات على جانب واحد أو على الجانبين من الحد الفاصل لها نفس اتجاه خطوط مضرب الخط الفاصل نفسه كما فى شكل (٢٢٢ — ا) فقد يكون التركيب فى هذه الحالة عدم توافق بين الطبقات أو فالق . وفى الشكل (٢٢٢ — ب) يوضح القطاع على طول الخط س — ص المبين بالشكل (٢٢٢ — ا) ويظهر الخط الفاصل بين الطبقات على أنه سطح عدم التوافق ، بينما القطاع المبين بالشكل (٢٢٣ — حـ) يوضح الخط الفاصل بين الطبقات على أنه فالق ، وفى هذه الحالة يتضح أن الطبقات أرقام ٥ ، ٦ ، ٧ تكون أقدم عمراً من الطبقات أرقام



(٢٢٢)

الفوالق وعدم التوافق

(ا) خريطة ويبين الخط حـ — حـ سطح الاتصال بين الطبقات .

(ب) قطاع س — ص ويوضح العلاقة على صورة عدم توافق .

(حـ) قطاع س — ص ويوضح العلاقة على صورة فالق .

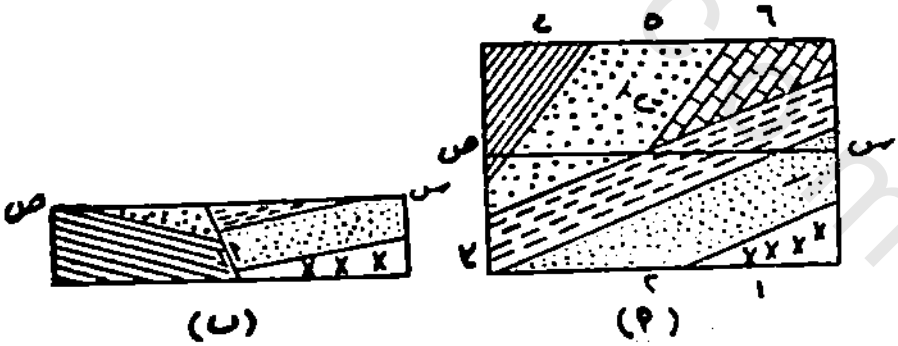
١ ، ٢ ، ٣ ، ٤ ، ومن الشواهد التى تساعد على التمييز بين الفوالق وعدم التوافق إذا كان الخط الفاصل بين الطبقات غير ملحوظ تذكر ما يأتى :

١ — قد تساعد طبوغرافية المنطقة فى التمييز بين الفوالق وسطح عدم التوافق فى حالة عدم التوافق يكون ميل الطبقات موازيًا تقريباً لميل الخط الفاصل بينهما ، وكلما ازداد اختلاف ميل الخط الفاصل عن ميل الطبقات كلما زاد احتمال وجود الفالق .

٢ — يشير وجود قطع صخرية من الطبقات أرقام ١ ، ٢ ، ٣ ، ٤ فى شكل (٢٢١ — ا) فى الطبقة رقم ٥ ، على احتمال وجود سطح عدم توافق برغم احتمال وجود الفالق أيضاً .

٣ — إذا كانت الطبقات الحديثة اتجاه ميلها أو خطوط مضاربها فى اتجاه الخط الفاصل فهذا يؤيد وجود فالق كما يتضح من الشكل (٢٢٣ — ا) حيث إن اتجاه مضارب الطبقات الأحدث عمراً رقم ٥ ، ٦ فى اتجاه الطبقة الأقدم عمراً رقم ٣ .

وعلى أى حال ، ينبغى بذل أكبر جهد أثناء الدراسة الحقلية للتراكيب الجيولوجية لمشاهدة الخط الفاصل نفسه ودراسته بعناية ، فمثلا فى حالة عدم التوافق فإن نتوءات الصخور القديمة تتداخل فى الصخور الأحدث عمراً ،



(شكل ٢٢٣)
سطح اتصال يدل على احتمال وجود فالق

كما قد توجد صخور الكونجلمرات أو الرمال الخشنة التى تحتوى على قطع من الصخور القديمة أعلى الخط الفاصل ، كما تختفى الظواهر الصخرية (الليثولوجية) المصاحبة للفوالق مثل الخدوش والمواد المطحونة والبريشيا .

تمثيل الصخور النارية

تمثل الصخور النارية على الخريطة الجيولوجية بطرق عديدة ومتنوعة تتوقف على حجم وامتداد الكتل النارية فى المتداخلات الكبيرة الامتداد تمثل الصخور النارية بمجموعتين من الهاشور المتقاطعة فى شكل معينات أو مثلثات أما فى حالة المتداخلات الصغيرة مثل الجدد فإنها تمثل بألوان مصمتة باللون الأسود مثلا .

وتوجد الصخور النارية على شكل مسطحات وطبقات تشبه تماماً فى مكاشفها الطبقات الرسوبية حيث تطبق عليها نفس قواعد مظاهر مكاشف الطبقات ، وتظهر الطفوح البركانية واللافا على شكل طبقات أفقية كما تشبه القواطع الطبقات الرأسية أو كبيرة الميل فى شكل مكاشفها .

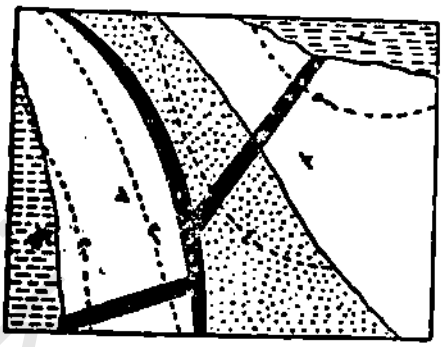
وهناك عدة قواعد تطبق لتحديد عمر الأجسام النارية على الخريطة الجيولوجية موجزها فيما يلى :

١ — فى المتداخلات الصغيرة مثل الجدد والقواطع يكون عمر الصخر النارى أحدث من الطبقات الرسوبية المحيطة بالمتداخلات النارية .

٢ — إذا كان هناك أكثر من صخر نارى واحد يقطع أحدهما الآخر فإن عمر الصخر القاطع يكون أحدث من الصخر المقطوع بالمتداخلات النارية .

٣ — وجود صخور نارية بمناطق الطيات وتشكلها بشكل الطية دليل على

تزامن عمر الصخر النارى المتداخل مع وقت حدوث الطية . ويبين شكل (٢٢٤) بعض الجدد والقواطع على الخريطة الجيولوجية .



(شكل ٢٢٤)
مكاشف الجدد والقواطع بالخريطة الجيولوجية

obeikandl.com