وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
جامعة الموصل

مبادئ وطرق
الاستكشاف الجيوكيميائي
للرواسب الخام

كتاب منهجي لطلبة السنة الرابعة في
أقسام علوم الأرض في كليات العلوم

تأليف
الدكتور سالم محمود عبد الله الدباغ

استاذ مساعد
قسم علوم الأرض كلية العلوم
جامعة الموصل

Scanned by CamScanner

١ ـ ١ تعريف الاستكشاف الجيوكيميائي
DEFINITION OF GEOCHEMICAL EXPLORATION

يستخدم حالياً مصطلحا الاشتكشاف الجيوكيميائي "Geochemical Exploration" ، والتحري الجيوكيميائي "Geochemical Prospecting" للتعبير عن إستخدام علم الجيوكيمياء في البحث والتنقيب عن تواجد ترسبات الخامات المعدنية ، بالرغم من أن التحري "Prospecting" والاستكشاف "Exploration" يمثلان مرحلتين متعاقبتين من مراحل الكشف والتقييم المستمر ، وتحديد الابعاد الافقية والعمودية للجسم الخام ، والتي قد تنتهي باستثماره واستخراج المواد الخام ، وهذا يتمثل بالاعمال المنجمية "Mining" . كما يستخدم مصطلح الجيوكيمياء الاستكشافي "Exploration Geochemistry" في بعض المراجع العلمية لتأشير دور علم الجيوكيمياء في أعمال الكشف المعدني. وبسبب الاستخدام الشائع لمصطلح الاستكشاف الجيوكيميائي ، فقد أعتمد في سياق هذا الكتاب .

يمثل الاستكشاف الجيوكيميائي أحد فروع علم الجيوكيمياء ، ويتضمن التطبيقات العملية للقواعد النظرية للجيوكيمياء ، لغرض الاستكشاف المعدني ، ويهدف الى ايجاد مواقع جديدة لرواسب فلزية أو لا فلزية أو تجمعات للنفط الخام أو الغاز الطبيعي أو تحديد إمتدادات جديدة للترسبات الحالية للخامات المعدنية . ويتم هذا من خلال إستخدام الطرق الكمياوية المتمثلة بالقياسات النظامية لتعيين تراكيز واحد أو اكثر من العناصر أو المركبات الكيمياوية التي تتواجد عادة بتراكيز قليلة . وتجرى هذه القياسات على النماذج المتواجدة طبيعياً ، والتي يمكن الحصول عليها بسهولة مثل الصخور ، رواسب الروافد ، التربة ، المياه ، النباتات ، الهواء فتات مثلجة .

إن إهتمام الاستكشاف الجيوكيميائي بالبحث عن الرواسب المعدنية الفلزية واللافلزية من ناحية ، والنفط والغازي الطبيعي من ناحية أخرى ، أمكن تقسيمه الى فرعين رئيسيين : يهتم الأول بالرواسب المعدنية اللاعضوية ، بينما يهتم الثاني بالرواسب العضوية . إن هذا التقسيم لا يعني اختلافهما في الاسس والاساليب ، ولكن اختلافهما ينحصر في نوع العناصر والمركبات الكيمياوية التي يتطلب قياس تراكيزها ، وكذلك اجهزة التحليل الكيمياوية المستعملة وطبيعة النماذج الملائمة لأغراض عمليات الاستكشاف الجيوكيميائي .

يوجد حالياً ، تنسيق في الجهود المبذولة للاستكشاف الجيوكيميائي في البحث عن المصادر الطبيعية الهيدروكاربونية وغير الهيدروكاربونية ، حيث قامت عدد من

Scanned by CamScanner

شركات النفط الكبيرة بتخصيص بعض من جهودها وكوادرها في البحث عن المصادر الطبيعية الغير هيدروكاربونية .

١ ـ ٢ طرق الاستكشاف الجيوكيميائي وأعمال التحري المعدني .
METHODS OF GEOCHEMICAL EXPLORATION AND MINERAL PROSPECTING WORKS

في البداية ، كانت اعمال التحري المعدني تنجز من خلال تركيز إهتمام المستكشفين والجيولوجيين على مكاشف الصخور والمظاهر المعدنية ذات العلاقة مثل : تواجد المعادن الثقيلة في رواسب الروافد ، وخصوصاً في المناطق المعروفة جيداً من أحزمة التمعدن في العالم . وأدى هذا إلى إكتشاف عدد من الاجسام الخام ، التي يمكن ملاحظة تواجد الكثير منها بالعين المجردة . وينطبق هذا كذلك على بعض الحقول النفطية والغازية الكبيرة .

إن عصر هذا النوع من الاستكشاف اقترب من الضمور ، حيث أنَّ معظم الرواسب المعدنية الواضحة للعيان قد تم اكتشافها وتحديدها مثل : إن 90% من مناجم الفلزات الحالية في المكسيك هي نتيجة تطوير المناجم التي وجدها سكان الاسبان الأصليين ، كذلك فانَّ مواقع معظم المناجم العاملة حالياً في اجزاء من أوربا ، والتي تقع ضمن حدود الامبراطورية الرومانية كانت معروفة لدى الرومان . لهذا فأنَّ هناك حاجةً لأتجاه جذري وتصور جديد في الاستكشاف المعدني ، والجيوكيمياء مع بقية العلوم مثل الجيوفيزياء يمكن أن تحاول تمثيل مثل هذا الاتجاه .

إن المباديء الاساسية للاستكشاف الجيوكيميائي موجودة ومتعارف عليها منذ القدم ، وبالتحديد منذ الاستخدام الأول للفلزات من قبل الانسان ، حيث استطاع المعنيون الأوائل من ملاحظة إمتياز محيط الرواسب المعدنية بخواص معينة ، أهمها :

1- تواجد فتات صغيرة من صخور المعدن الخام ، والتي يمكن مشاهدتها في رواسب الروافد التي تتخلل منطقة الجسم الخام ، وباقتفاء أثر زيادة تواجد هذه الفتات ، غالباً مايؤدي إلى صخور المصدر .
2- تواجد فتات صخور المعدن الخام (الحديثة والمتغيرة) على السطح وبالقرب من [illegible] المصدر .

بالرغم من اعتماد هذه الملاحظات على ما يمكن مشاهدته بالعين المجردة ، إلا أنها تمثل صيغة من صيغ الانتشار "Dispersion Pattern" والتي تماثل تلك التي تستخدم في الطرق المتطورة للإستكشاف الجيوكيميائي .

تحظى حالياً الرواسب الخام الواطئة التركيز "Low Grade" بأهتمام أكبر مما سبق ، وذلك بسبب الاقتراب من نهاية إستثمار مواقع الرواسب الخام العالية التركيز "High Grade" والحاجة المتزايدة لانتاج مواد الخامات المعدنية المختلفة فمثلاً قبل 25 سنة ، لا يمكن اعتبار رواسب خامات النحاس ذات جدوى اقتصادية إلا إذا احتوت على > 1.5% من النحاس مقارنة بـ 0,4% نحاس لرواسب خامات النحاس المقبولة حالياً كحد أدنى لمعدل تركيزها عند تقييم جدواها .

تعتبر الاعمال الاستكشافية عن الرواسب الخام ذات الجودة الواطئة بالاعتماد على الملاحظات المرئية ، صعبة جداً . وهنا يكمن دور الاستكشاف الجيوكيميائي بسبب كونه طريقة مباشرة بالاضافة إلى الخواص العملية والاقتصادية ، ويتضمن التعرف على العنصر المكون للمعادن الخام أو مجموعة من العناصر المتصاحبة بهدف تحسس تراكيز عالية نسبياً من هذه العناصر والتي تمثل الشواذ الجيوكيميائية "Geochemical Anomalies" . وبالرغم من أهمية طرق الاستكشاف الجيوفيزيائية والجيولوجية في هذا المجال ، إلا أنها تختلف عن الاستكشاف الجيوكيميائي ، بكونها طرق غير مباشرة . ويجب التأكيد هنا ، بأنه من غير الاعتيادي عملياً الاعتماد على الاستكشاف الجيوكيميائي لوحده في مشاريع التحري المعدني ، حيث تنظم في بعض مراحل الاستكشاف المعدني ، الطرق الجيوفيزيائية والجيولوجية الى جانب الطريقة الجيوكيميائية (شكل ١ ـ ١) .

إن التطور الحالي في مجال التحري المعدني ، هو في استخدام المسح الجيوكيميائي في مواقع مختارة من دراسات مدلولات التحسس النائي ، وعلى الاخص صور الاقمار الصناعية والصور الاخرى ذات العلاقة . وقد تشير نتائج هذه الدراسات ، المتمثلة بالمظاهر الليثولوجية والبنيوية الواضحة بمقياس كبير ، الى ظروف جيولوجية تستحق أعمال لاحقة تفصيلية وخاصة باستخدام طرق مختلفة من بينها الطرق الجيوكيميائية .

Scanned by CamScanner

شكل (١ ـ ١) مخطط مثالي يوضح تتابع التقنيات المختلفة للاستكشاف المعدني والتي يمكن استخدامها في منطقة ذات نظام تصريف جيد وظروف جوية معتدلة المصدر: (٥).

ليفنسون، 1980، Levinson

HISTORICAL BACKGROUND OF GEOCHEMICAL EXPLORATION APPLICATION

إن استخدام الاستكشاف الجيوكيميائي كان قد بدأ منذ القدم. فالسكثيين الأوائل الذين كانوا يبحثون عن الذهب بطريقة الغرز بالصفات وبإغماء اقتفاء صبغ الانتشار، والقدماء الذين كانوا يبحثون عن صبغة تأكسد الحديد والصخور المتغيرة، هم في الحقيقة يهدفون الى تحديد بعض المؤشرات لمواقع تواجد الرواسب المطمورة. كما كانت الطرق الهيدروجيوكيميائية "Hydrogeochemistry" معروفة في أوربا منذ القرون الوسطى، وذلك من خلال ملاحظتهم لتأكسد المعادن الكبريتيدية على سطح مواقع تواجدها في العروق. أما استخدام طرق الجيوكيمياء الحيوية "Biogeochemistry" فكانت هي الأخرى معروفة أيضاً في أعمال الاستكشاف المعدني، حيث لاحظ الصينيون الأوائل تصاحب تواجد أنواع معينة من النباتات مع تواجد رواسب الفضة، الذهب، النحاس، القصدير، كما كانوا على علم باحتواء النباتات على الفلزات، حيث قاموا باستخلاص الزئبق من أنواع معينة من النباتات.

أما الطرق المتطورة للاستكشاف المعدني، فقد بدأ استخدامها الأول في الاتحاد السوفيتي في أوائل الثلاثينيات. وبعدها بفترة وجيزة، إنتقل استخدامها الى الدول الاسكندنافية وعلى الأخص السويد. وتعتبر أولى البرامج الكبيرة للاستكشاف الجيوكيميائي عن الفلزات هو ماقام به الجيولوجيين السوفيت في سنة 1932 بمسح جيوكيميائي لتواجد بعض الفلزات، وذلك بعد تطويرهم لطريقة التحليل الكيمياوي باستخدام رسام الطيف المنبعث "Spectrograph Emission" وتحديدهم لطريقة خاصة في جمع النماذج. وأعقب هذا القيام بدراسات خاصة باستخدام طريقة الجيوكيمياء الحيوية في الاستكشاف المعدني في الاتحاد السوفيتي والسويد وفنلندا.

إن الدراسات والبحوث التي أجريت في بداية القرن العشرين، والتي وضعت أسس علم الجيوكيمياء، كان لها الأثر الواضح في تطوير طرق الاستكشاف الجيوكيميائي. ومن هذه الدراسات، تلك التي قام بها كولدسميدت Goldschmidt، فوكت Voget، فرناديسكي Vernadesky، فيرسمان Fersman، جنزبرك Ginzburg، فينجرادوف Vingradov، ومالويجا Malyuga، وهذه الدراسات ثم تحقيق البادىء النظرية والعملية لاستخدامات الطرق الكيمياوية المتطورة في الاستكشاف المعدني وبالاعتماد على نماذج التربة النباتات، رواسب ومياه أنظمة التصريف "Drainage Systems". وفي

Scanned by CamScanner

بداية الحرب العالمية الثانية ، أصبح استخدام هذه الطرق واسعاً في الاتحاد السوفيتي والدول الاسكندنافية .

أما في العالم الغربي ، وبغض النظر عن الحالات المحدودة ، فأن استخدام الاستكشاف الجيوكيميائي لم يعط له أهمية كبيرة ، وحتى الفترة التي أعقبت نهاية الحرب العالمية الثانية وعلى وجه التحديد سنة 1945 ، حيث استخدم الاستكشاف الجيوكيميائي في كندا بالاعتماد على طرق الجيوكيمياء الحيوية ، والتي أعقبتها استخدام التربة والمياه في المسوحات الجيوكيميائية . كما تم تطوير طرق التحليل الكيمياوية ، وعلى الاخص الطرق السريعة والحقلية .

أما في الولايات المتحدة الامريكية ، فلم يبدأ استخدام الاستكشاف الجيوكيميائي بشكل جدي إلا في سنة 1947 ، حيث أجريت دراسات تجريبية خاصة بتجميع نماذج لمواقع مختلفة الظروف الجيولوجية والجوية بهدف تعيين خواص صيغ الانتشار للعناصر في الصخور ، التربة ، المياه ، النباتات . كما تم تطوير الطرق الحقلية للتحليل الكيمياوي وعلى الاخص الطرق اللونية ، وشهدت فترة بداية الخمسينات قيام شركات المناجم الكبرى باستخدام الاستكشاف الجيوكيميائي في مناطق شمال غرب سواحل المحيط الهادي "North West Pacific" وجنوب أبالانچيانس "South Applanchians" .

اما في المملكة المتحدة ، فقد شكلت في سنة 1954 مجموعة بحوث الجيوكيمياء التطبيقية في الكلية الملكية للعلوم والتكنولوجيا ، لندن ، والتي أخذت على عاتقها القيام بتطبيقات الاستكشاف الجيوكيميائي في عدد من بلدان الكومنولث البريطانية ، وعلى الأخص ، البلدان الافريقية ، وبلدان الشرق الأقصى . أما في فرنسا فقد بدأت الدراسات ذات العلاقة بالاستكشاف الجيوكيميائي في سنة 1955 ، ومن ثم أجريت التطبيقات العملية في فرنسا ، وبعدها في بلدان أفريقيا التي تتحدث اللغة الفرنسية .

من الواضح أن أيّ بلد في العالم له مؤسسة تهتم بالمسوحات الجيولوجية ، ولابد أنها تستخدم أو تفكر باستخدام الاستكشاف الجيوكيميائي في مشاريع التحري المعدني ، أو ضمن مشاريع المسح الجيولوجي العام . واضطلعت في القطر العراقي المؤسسات الجيولوجية ، وعلى وجه الخصوص ، المنشأة العامة للمسح الجيولوجي والتحري المعدني بهذه المهمة ، حيث أنجزت الكثير من البحوث والمشاريع الخاصة بالاستكشاف الجيوكيميائي ، ومما تجدر الاشارة اليه أن مؤسسات الامم المتحدة المعنية قامت بمساعدة الدول التي تفتقر الى تواجد المؤسسات الجيولوجية ، وذلك من خلال قيامها بمشاريع الاستكشاف الجيوكيميائي في هذه الدول .

٤٠١ فاعلية تطبيقات طرق الاستكشاف الجيوكيميائي :
EFFECTIVENESS OF APPLICATIONS OF EXPLORATION METHODS GEOCHEMICAL

من الصعب تقييم التطبيقات الناجمة للجيوكيمياء في اكتشاف الرواسب المعدنية ، وذلك بسبب استخدام اكثر من طريقة واحدة في كثير من حالات اكتشاف الرواسب المعدنية ، وبالتالي لا يمكن دائماً أعطاء أية طريقة مسؤولية اكتشاف معين ، كما أن التقنيات المستخدمة في الاكتشافات المعدنية من قبل الشركات المعينة ، غير منشورة وغير معروفة . وبالرغم من هذا ، فإن هناك عدد من الاكتشافات المعدنية كان للطرق الجيوكيميائية دور متميز ومسؤول عنها . ومن هذه الاكتشافات المعدنية : رواسب النحاس البورفيري في كاسينوا Casino يوكون Yukon ، رواسب الخارصين نيوفاوندلاند ، New Foundland ، رواسب النحاس في كولومبيا البريطانية British Columbia ، وعدد من الرواسب المعدنية المختلفة في كندا ، استراليا ، ايرلندة ، الاتحاد السوفيتي والولايات المتحدة الامريكية . كما أن الاستكشاف الجيوكيميائي كان مسؤولاً عن اكتشاف امتدادات جديدة وواسعة لمواقع معروفة التمعدن سابقاً ، كما في ويلز ،المكسيك ، كندا ، بوكينفيل "Bougainville" .

تبلغ التقديرات لنسبة عدد الشواذ الجيوكيميائية التي تم تأشيرها في الاتحاد السوفيتي الى عدد المواقع للرواسب التي يتم استغلالها فعلاً على شكل مناجم ، بحدود 80000 : 220 ولفترة عشرين سنة التي سبقت سنة 1974 . كما أن هذه النسبة في أوربا ، أمريكا الشمالية والجنوبية واستراليا ، تبلغ بحدود 100000 : 150 وللفترة 1970-1980 . ومن المتوقع أن تتحسن هذه النسبة بتقدم أعمال تقييم مواقع الشواذ الجيوكيميائية المنتشرة في بلدان العالم المختلفة والوقوف على علاقتها ومصادرها .

Scanned by CamScanner

مبادئ اساسية

BASIC PRINCIPLES

Scanned by CamScanner

INTRODUCTION

٢ ـ ١ مقدمة

يهتم علم الجيوكيمياء وحسب تعريف كولد شميتد بدراسة نقطتين أساسيتين :
الاولى ـ تتضمن الدراسات الوصفية لتوزيع العناصر الكيمياوية في المواد المختلفة للارض ، والثانية ـ تهدف الى أكتشاف القوانين التي تضبط توزيع العناصر الكيمياوية الناتج من تأثير العوامل الفيزياوية والكيمياوية، عند مواقع مختلفة من الارض . أما الاستكشاف الجيوكيميائي ، فهو بشكل رئيسي علم وصفي ، يهتم بتحضير وتفسير الخرائط الجيوكيميائية بالاعتماد على فهم واضح للقوانين التي تضبط توزيع العناصر الكيمياوية في المواد المختلفة للارض . ويعتمد توزيع العناصر الكيمياوية على الظروف الفيزياوية والكيمياوية السائدة والمؤثرة في الموقع المعين من الارض والذي يدعى بالبيئة الجيوكيمياوية .

٢ ـ ٢ البيئات الجيوكيميائية Geochemical Environment

يعتمد توزيع وانتقال واعادة توزيع العناصر الكيمياوية في البيئات الجيوكيميائية على استقرارية الاطوار المعدنية لهذه العناصر عند الظروف الفيزياوية والكيمياوية لهذه البيئات والمتمثلة بدرجات الحرارة والضغط وتوفر المكونات الكيمياوية . وحسب الاختلافات في هذه الظروف يمكن تقسيم البيئات الجيوكيميائية الى :

١ ـ البيئة الرئيسية Primary Environment

وتشمل مناطق باطن الارض التي تمتد من الحد الاسفل لجريان المياه الجوية "Meteoric Water" وحتى الاعماق التي تحدث عندها عمليات التفاضل الماكمي وعمليات التحول . وتمتاز هذه البيئة بارتفاع درجات الحرارة والضغط والحركة المحدودة للسوائل ، كما تحتوي هذه البيئة على كميات قليلة من الاوكسجين الطليق .

٢ ـ البيئة الثانوية Secondary Environment

تشمل مواقع العمليات السطحية المتمثلة بالتجوية وتكوين التربة والترسيب على سطح الارض . وتمتاز هذه البيئة بأنخفاض درجات الحرارة والضغط ، وتكون حركة السوائل طليقة ، وتتواجد كميات كبيرة من الاوكسجين الطليق والماء وثاني أوكسيد الكاربون .

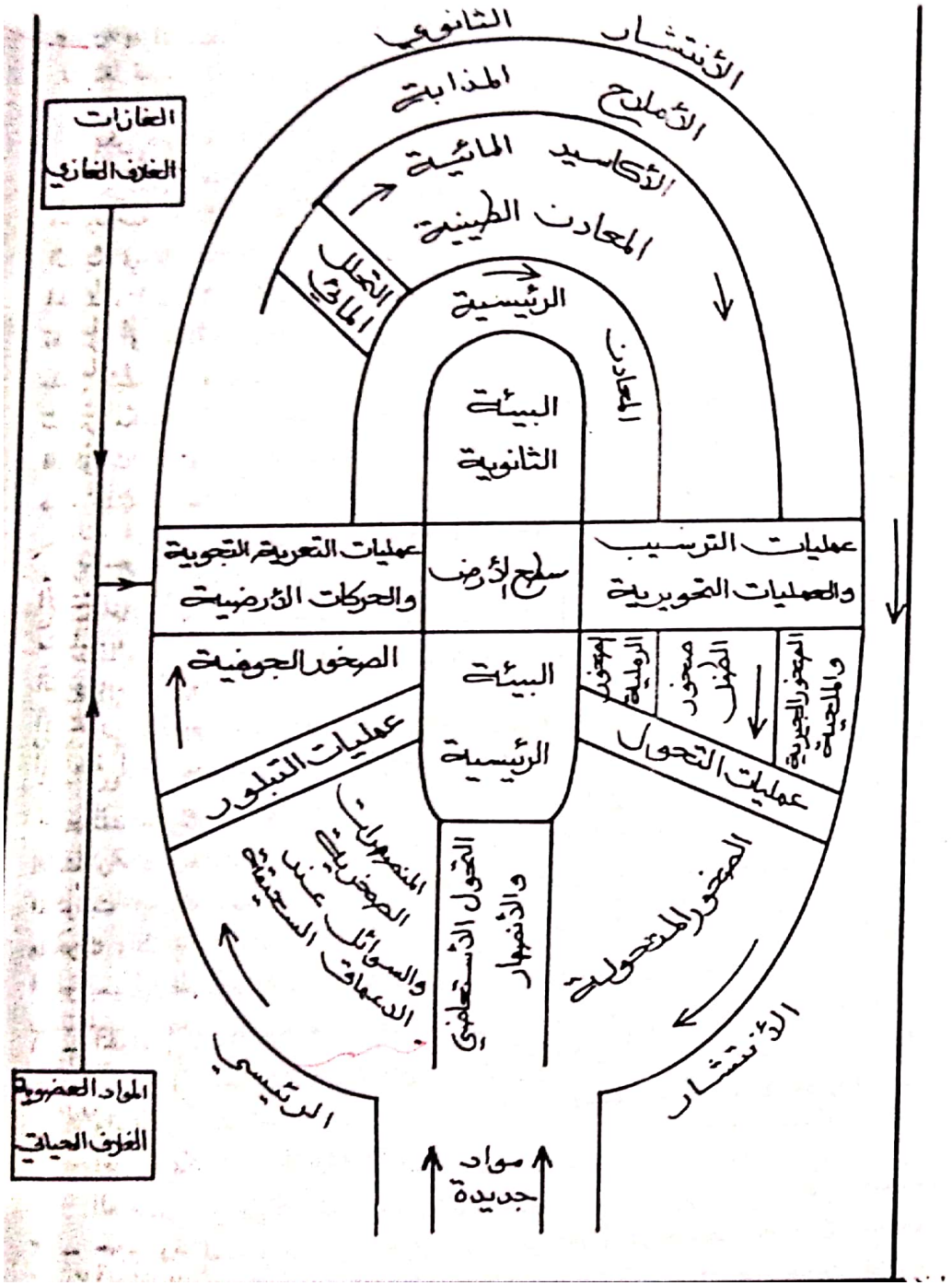
Scanned by CamScanner

٢ ـ ٣ الدورة الجيوكيميائية Geochemical Cycle

يمكن تمثيل انتقال المواد الصخرية بين البيئة الرئيسية والثانوية بالشكل (٢ ـ ١) ، الذي يمثل صيغة مبسطة لنظام مغلق يعرف بالدورة الجيوكيميائية . ويمكن الاعتقاد بأن هذه الدورة تبدأ بالبيئة الرئيسية ، حيث يتبلور الصهير الصخري ، وتتكون الصخور النارية . وربما تنتقل الصخور المتكونة في البيئة الرئيسية الى البيئة الثانوية بفعل تأثير العمليات الجيولوجية المختلفة وأهمها الحركات الارضية وعمليات التجوية والتعرية . وتؤدي بعض هذه العمليات الى احداث تغييرات في الصخور المتكونة في البيئة الرئيسية وحسَب تركيبها المعدني . فالمعادن الغير مستقرة في البيئة الثانوية ، غالباً ماتطلق مكوناتها من العناصر الكيمياوية والتي يعاد توزيعها في الاطوار المعدنية المستقرة في ظروف البيئة الجديدة . أما المعادن المقاومة لتأثير العمليات السطحية فتنتقل بصيغتها الكيمياوية الاصلية والتي تتمثل بالمعادن الرئيسية المنقولة . وبتعاقب مراحل الدورة الجيوكيميائية . يمكن للصخور الرسوبية ان تتحول بتأثير زيادة درجات الحرارة والضغط والاضافة الجزئية للمواد الجديدة من خارج النظام . وهذا ربما يؤدي في النهاية الى حالة من السيولة ، وعند تبلورها تؤدي الى تفاضلها وتكوين أنواع متعددة من الصخور النارية والمحاليل الحرمائية .

يجب التأكيد على أن الشكل (٢ ـ ١) يمثل حالة مبسطة جداً للدورة الجيوكيميائية ، حيث تفتقر بعض المواقع لعدد من مراحل هذه الدورة ، وكما هو الحال بالنسبة للصخور الرسوبيةَ الرملية والطفل التي تتأثر بعمليات التجوية والتعرية بدون خضوعها المسبق للانصهار الجزئي أو عمليات التحول .

ان تكوين وانتقال المواد الصخرية بفعل تأثير العمليات الجيولوجية يصاحبه توزيع أو اعادة توزيع العناصر الكيمياوية (الانتشار الجيوكيميائي) في الاطوار المعدنية المتوفرة . وهنا يكمن دور استخدام الطرق الجيوكيميائية وعلى الاخص في البيئة الثانوية ، في دراسة صيغ انتشار العناصر الكيمياوية والتي بها يمكن تأشير تواجد مصدر العناصر المجواة أو الرواسب الخام .



Scanned by CamScanner

٢ ـ ٤ الانتشار والحركة الجيوكيميائية
Geochemical Dispersion and Mobility

يمكن تعريف الانتشار الجيوكيميائي بنواتج العمليات التي تؤدي الى توزيع أو اعادة توزيع العناصر الكيمياوية بتأثير العوامل الفيزياوية والكيمياوية للعمليات الجيولوجية المختلفة . فمثلاً تمثل عمليات إندساس أو تدفق المنصهر الصخري السليكاتي بما يحمله من مواد صلبة ، وحركة المواد السطحية بفعل تأثير حركة الجليد ، انتشاراً ميكانيكياً للمواد الصلبة . ويمتاز هذا الانتشار بقلة أو عدم تفاضل أو تجزئة كيمياوية للمواد الصلبة المنتشرة . وبخلاف هذا ، يؤدي الانتشار بفعل كيمياوي وكيمياوي ـ حياتي ، الى تجزئة وتفاضل المواد الصخرية ، حيث تنتشر مكوناتها من العناصر الكيمياوية حسب قابلية هذه العناصر على الحركة . فالمكونات الاكثر حركة لها القابلية على مغادرة منطقة المصدر . وعند دخولها الى بيئة جديدة ، يمكن ان تترسب هذه المكونات عند توفر الظروف الملائمة الجديدة .

ينقسم الانتشار الجيوكيميائي الى رئيسي وثانوي حسب البيئة التي يحدث فيها الانتشار . وبالرغم من ان القوانين التي تحكم الانتشار في البيئة الرئيسية والثانوية متشابهة ، إلا ان الانتشار الرئيسي يحدث في مواقع تختلف عن مواقع الانتشار الثانوي . فالشقوق وفتحات المسافة البينية للصخور عند الاعماق ، تمثل مواقع الانتشار الرئيسي والشقوق والفواصل للصخور القريبة من السطح والفراغات المسامية لرواسب التغطية على سطح الارض ، تمثل الانتشار الثانوي .

يعتمد سلوك العناصر الكيمياوية المكونة للمعادن والصخور خلال عمليات الانتشار ، على قابلية هذه المكونات على الحركة ، اي السهولة التي تتحرك بها هذه المكونات في بيئة معينة . وتستوجب عمليات الانتشار توفر طورين : الأول سائل متحرك والثاني غير متحرك صلب (متبلور) . وتعتمد حركة المواد خلال الانتشار الجيوكيميائي بفعل فيزياوي على : ـ

١ ـ الخواص الميكانيكية للطور المتحرك مثال : درجة لُزوجة المنصهر الصخري السليكاتي والمحاليل الأخرى ، وكما هو الحال في المنصهر الصخري الحامضي والمنصهر الصخري القاعدي والمحاليل الحرمائية ، حيث تصل درجة اللُّزوجة أقل مايمكن في المحاليل الحرمائية ، ولهذا تنتقل الى مسافات كبيرة نسبة المنصهر الصخري .

٢ ـ حجم وشكل وكثافة فتات الصخور والمعادن المنتقلة في الطور المتحرك (عادة الماء) على سطح الارض . مثال توضيحي : تشير قيم الوزن النوعي [illegible] (4,6) ، المنايت

(4,7) الحديد (7,3) ، نحاس (8,9) ، الفضة (10,5) [illegible] (15,0-19,3) إلا أن فتات معدن الذهب تنتقل لمسافات أقل نسبة [illegible] المعادن الاخرى في انظمة معينة من التصريف .

أما حركة المواد خلال الانتشار الجيوكيميائي بفعل كيمياوي ، فهو اكثر [illegible] في الاستكشاف الجيوكيميائي ، وتعتمد هذه الحركة على الاستقرارية [illegible] للعناصر الكيمياوية في الاطوار السائلة المتحركة والاطوار الصلبة الغير متبلورة الناتجة من التغيير الحاصل في ظروف البيئة الجيوكيميائية . فمكونات الطور المتحرك من بعض العناصر الكيمياوية التي لها القابلية على الدخول الى الطور الصلب ، سوف تغادر الطور المتحرك ، والعناصر الاخرى تبقى في الطور المتحرك ، وربما تنتقل الى خارج النظام . ومن معرفة الاطوار المعدنية المستقرة عند ظروف معينة ، يؤدي الى معرفة حركة العناصر المكونة لهذه المعادن . بشكل عام ، تتواجد المعادن بحالة مستقرة في الانظمة التي تحتوي على تراكيز عالية من العناصر المكونة لها . ففي الظروف الموجودة عند الاعماق ، هناك عشرة عناصر رئيسية متواجدة بتراكيز عالية (O ، Si ، Al ، Fe ، Ca ، Mg ، Na ، K ، Ti ، H) وهي العناصر المكونة لمعادن الصخور النارية والمتحولة . وبأضافة عنصر الكاربون الى هذه المجموعة من العناصر يمكن تأشير نفس الملاحظة بالنسبة للصخور الرسوبية . أما بالنسبة للعناصر النزرة (قليلة التركيز) ، فهي تدخل الاطوار المعدنية من خلال التصاقها على أسطح المعادن أو من خلال عملية الاحلال الأيوني الذي تضبطه القوانين المعروفة لكولدشميتد Goldschmidt ورنكوود Ringwood ، والتي تستند الى قيم نصف القطر الايوني والشحنة الايونية والسالبية الكهربائية للعناصر الكيميائية . واعتماداً على هذه الخواص ، يمكن تواجد العناصر : Ni ، Co ، Cr في معادن الحديد ـ المغنيسيوم ، وعنصري Th في معدن المونازايت Manazite و Hf في معدن الزركون Zircon . وتتميز التراكيز العالية لمكونات المعادن من هذه العناصر النزرة ، غناء الاطوار المتبلورة بهذه العناصر . فمثلاً معادن المايكا الغنية بعنصر القصدير في صخور البيغماتايت تعكس غناء سوائل البيغماتايت بعنصر القصدير . ويعكس معدن الليمونايت الغني بالنحاس في مواقع النز Seepage ، تواجد عنصر النحاس بتراكيز عالية في المعادن الجوفية التي تكون منها معدن الليمونايت .

٢ ـ ٤ ـ ١ حركة العناصر في البيئة الرئيسية :

يمكن دراسة حركة العناصر الكيمياوية في البيئة الرئيسية من خلال ملاحظة سلوك هذه العناصر خلال عمليات التبلور للصهير الصخري السليكاتي ، وكذلك

Scanned by CamScanner

الطور المتحرك إلى الطور الصلب مكونة أطوار معدنية خاصة ومتفاعلة حسب سلسلة تفاعل بوين "Bowen" والتي تنتهي بتكوين محاليل حرمائية تحتوي على عناصر ليس لها القابلية على الدخول إلى الاطوار الصلبة المتبلورة خلال مراحل تبلور المعادن المعروفة والمكونة للصخور النارية . وتعتبر المحاليل الحرمائية ذات أهمية بالغة في الاستكشاف المعدني ، حيث استندت فرضية تكوين الرواسب الخام من هذه المحاليل على :

١ ـ احتواء الصهير الصخري السليكاتي على 1%-5% وزناً من الماء والذي يبقى معظمه على شكل محاليل حرمائية بعد عملية التبلور .

٢ ـ تحتوي هذه المحاليل التي تكونت بهذه الصيغة على تراكيز كافية من الفلزات لتكوين رواسب الفلزات الاساسية .

٣ ـ انخفاض درجات الحرارة والضغط وتفاعل هذه المحاليل مع صخور الحائط ، يؤدي إلى ترسيب بعض المعادن الخام . وتعتمد حركة المكونات الفلزية في المحاليل الحرمائية على استقرارية معقدات الأيونات الذائبة لهذه الفلزات في المحاليل الحرمائية وأهم هذه المعقدات هي الهالوجينات (الكلور ، الفلور) والكبريتيدات .

أما بالنسبة لسلوك العناصر خلال عمليات التحول ، فيمكن تأشير نفس الملاحظات أعلاه . فبزيادة الضغط ودرجات الحرارة ، تصبح المعادن المائية الرسوبية غير مستقرة وتعطي مكوناتها من الماء الذي يمثل الطور المتحرك . مثال :

$$\underset{\text{مسكوفايت}}{\text{Muscovite}} \xrightarrow[\text{الحرارة}]{\text{زيادة}} \underset{\text{ماء + كورندوم + سنادين}}{\text{Sanidine + Corundom + Water}}$$

$$\underset{\text{كورندوم + بيروفيلايت}}{\text{Pyrophyllite + Corundom}} \xrightarrow[\text{الحرارة}]{\text{زيادة}} \underset{\text{ماء + كوارتز + سيليمنايت}}{\text{Sillimanite + quartz + Water}}$$

وتنتقل المكونات الكيمياوية التي ليس لها القابلية على الدخول في الاطوار الغير متحركة الجديدة ، إلى الطور المتحرك . وتشمل هذه المكونات على كميات ملحوظة من العناصر المتضمنة كثير من فلزات الرواسب الخام التي تترسب حسب استقرارية معقداتها .

١ ـ ٤ ـ ١ حركة العناصر في البيئة الثانوية :

يمكن دراسة حركة العناصر في البيئة الثانوية من خلال ملاحظة سلوك العناصر خلال العمليات الجيولوجية السطحية ، وعلى وجه الخصوص ، عمليات التجويه . فبمجرد تحرير أيونات العناصر من الاطوار الصلبة بفعل تأثير عمليات التجويه ، تدخل هذه الأيونات في النظام الهيدرولوجي ، وتتفاعل فيما بينها حسب قيم الجهد الأيوني (الشحنة الايونية / نصف القطر الايوني) المؤشرة في الجدول (٢ ـ ١) والتي يمكن تمثيلها بالشكل (٢ ـ ٢) الذي يوضح السلوك الذي تتصرف به الأيونات بالنسبة للماء . ويمكن تصنيف هذا السلوك بعدد من الحالات التي تعتمد على قيم الشحنة الايونية ونصف القطر الايوني . فالايونات التي تمتلك جهداً أيونياً إلى حد (3) تمثل الأيونات الاقل فعالية ، والتي تحافظ على صفاتها الأيونية في الماء . أما الأيونات الاخرى التي تمتلك جهداً أيونياً من (3-12) لها ميول للاتحاد مع أيون الهيدروكسيل ، وهي تمثل العناصر المتصاحبة مع مواد المتميئات (Hydrolyzates) . والأيونات التي تمتلك جهداً أيونياً اكبر من (12) ، هي الأيونات التي تميل إلى تكوين معقدات (مع الاوكسجين) أيونية ذائبة . بشكل عام يمكن تصنيف النواتج الرئيسية لتأثير عمليات التجويه ، التعرية ، النقل والترسب على الصخور الاصلية وكما في الجدول (٢ ـ ٣) .

من الناحية النظرية . يمكن دراسة حركة العناصر في البيئة الثانوية من خلال دراسة استقرارية معقدات أيونات العناصر في المياه السطحية والجوفية ، حيث أن نوعية الاطوار المعدنية والاطوار الأيونية الذائبة معروفة ، كما أن ثوابت الديناميكية الحرارية لهذه الاطوار يمكن إيجادها ، وهذا كله يجعل امكانية حساب الذوبان النسبي وبالتالي حركة العناصر في المياه الطبيعية . ولكن اجراء مثل هذه الحسابات يتطلب توفر حالة التوازن التي تفتقر إليها عادة العمليات الطبيعية ، حيث أن حالة التوازن في البيئة الثانوية تضطرب بتأثير عوامل مختلفة منها :

١ ـ ترسيب بعض العناصر النزرة مع ترسيب أطوار معينة من المعادن الثانوية (الترسيب المتصاحب "Cooprecipitation") مثال : اكاسيد الحديد والمنغنيز المائية ،

٢ ـ تأثير التفاعلات العضوية والعمليات الحيوية للكائنات الحية التي على تماس مع المحاليل الطبيعية على سطح الارض .

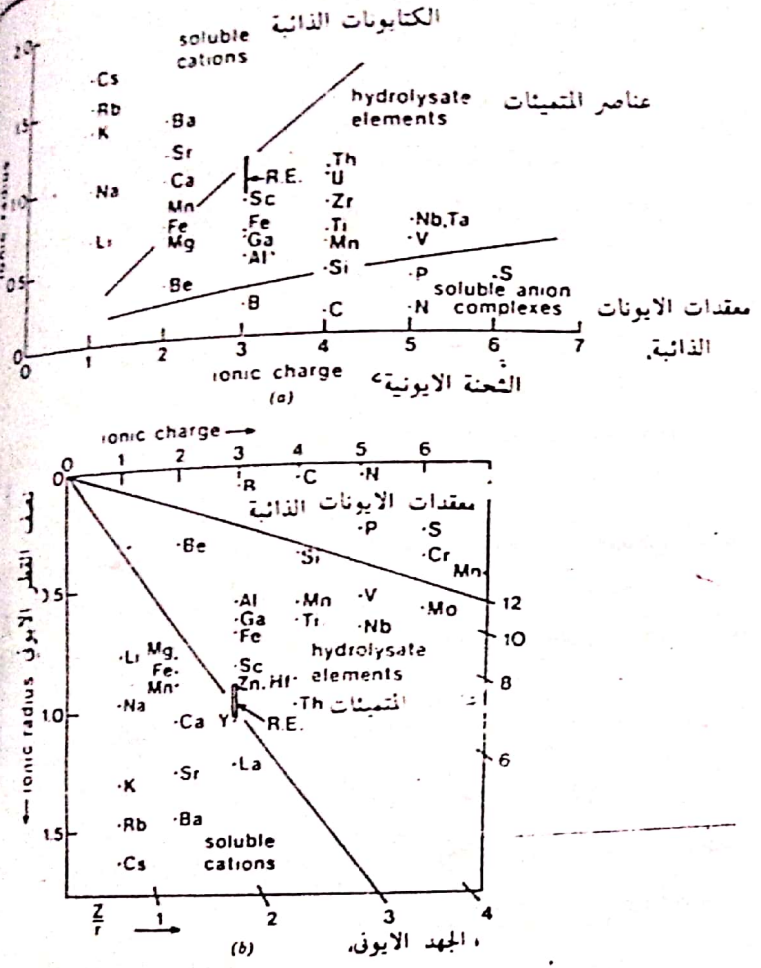
Scanned by CamScanner

جدول (٢ ـ ١)

قيم الجهد الايوني لبعض العناصر الشائعة

العنصر (الأيون)	الجهد الأيوني	العنصر (الايون)	الجهد الأيوني
Cs^{+}	0,6	Th^{4+}	3,9
Rb^{+}	0,68	Ce^{4+}	4,3
K^{+}	0,75	Fe^{3+}	4,7
Na^{+}	1,0	Zr^{4+}	5,1
Li^{+}	1,5	Be^{2+}	5,7
Ba^{2+}	1,5	Al^{3+}	5,9
Sr^{2+}	1,8	Ti^{4+}	5,9
Ca^{2+}	2,0	Mn^{4+}	6,7
Mn^{2+}	2,5	Nb^{5+}	7,5
La^{3+}	2,6	Si^{4+}	9,5
Fe^{2+}	2,7	Mo^{6+}	9,7
Co^{2+}	2,8	B^{3+}	13
Mg^{2+}	3,0	P^{5+}	14
Y^{3+}	3,3	S^{6+}	20
Lu^{3+}	3,5	C^{4+}	25
Sc^{3+}	3,7	N^{5+}	38

المصدر: (٦) ميسون، Mason، 1966



شكل (٢ ـ ٢) العلاقة بين نصف القطر الايوني والشحنة الايونية والمتمثلة بالجهد الايوني، كمحدد لتصرّف العناصر في البيئات الهيدروجيولوجية الرسوبية.

المصدر: (٧)

(a) ميسون، Mason، 1966

(b) بارث، Barth، 1962

بالرغم من صعوبة التقدير الكمي للحركة النسبية عند ظروف سطح الـ
بسبب ندرة تواجد حالة التوازن بين الاطوار المتحركة وغير المتحركة في
الدينميكي لسطح الارض، إلا أنه بالامكان إيجاد تقدير تجريبي واستقرائي
تقريب الحالة المتوفرة لعلاقة الاطوار المتحركة وغير المتحركة المتصاحبة مع
البعض عند الظروف السطحية. ويتم هذا من خلال مقارنة التركـ

Scanned by CamScanner

للمياه والتربة التي على عكس هذه البيئة أو مسارات ... التي تمثل صخور المصدر. التربة مع التركيب الكيمياوي للصخور الغير مجواة. واستخدامها كمقياس للحركة النسبية ويمكن تطبيق هذه المقارنة في نطاق التجويه واستخدامها كمقياس للحركة النسبية للعناصر الكيمياوية. فتمثيل التركيب الكيمياوي لصخور المصدر بمدل التركيب الكيمياوي لصخور القشرة الارضية وتمثيل التركيب الكيمياوي لمياه أنظمة التصريف بمدل التركيب الكيمياوي للمياه الجديدة، ومن خلال مقارنة التركيبين يمكن حساب الحركة النسبية عند ظروف سطح الارض التي تظهر حسب التسلسل الآتي:

$$Ca > Na > Mg > K > Si \geq Al = Fe$$

ويجب التأكيد بأن هذا التسلسل ليس ثابتاً، بل يتغير بتأثير عوامل عملية خاصة بظروف المنطقة التي تم تطبيق هذه الطريقة فيها، حيث تم حساب الحركة النسبية للعناصر الكيمياوية في مناطق مثلجة في انكلترة الجديدة New England والقشرة في التسلسل الآتي:

$$Mg > Ca > Na > K > Si > Al = Fe$$

كما يشير الجدول (٢ – ٣) إلى الحركة النسبية للعناصر الرئيسية والثانوية في بيئة سطحية خالية من الكبريتيدات، والجدول (٢ – ٤) يشير الى الحركة النسبية للعناصر الكيمياوية خلال عمليات التجويه للرواسب الكبريتيدية.

٢ – ٥ التصاحب الجيوكيمياوي للعناصر Geochemical Coherence :

تتصرف العناصر الكيمياوية خلال العمليات الجيولوجية المختلفة بصنع معينة حسب ميولها للدخول واستقرار بقائها في الاطوار الصلبة أو السائلة وهذا يعتمد على الخواص التالية:

١ – نصف القطر الايوني
٢ – الشحنة الأيونية
٣ – السالبية الكهربائية
٤ – جهد التأين
٥ – طاقة الجال البلوري
٦ – الجهد الأيوني
٧ – قابلية الرسوبيات المضوية واللاعضوية على امتصاص وترسيب أيونات بعض العناصر.

Scanned by CamScanner

يوضح التصنيف الكيمياوي الرسوبي لمياه المحيط الاصلية، التبخرية، التي تم تعديلها بعمليات التجوية (٢ – ٨) جدول

Residuates	Oxidates	Hydrolyzates	Carbonates	Evaporites	Reduzates	Biodates
المتبقيات	المؤكسدات	المتميهات	كاربونات	التبخرات	المختزلات	المتحيات
Si كوارتز زركون التيتانيت روتيل كاسيتريت مونازايت ذهب، بلاتين	Fe, Mn هيماتيت ليمونايت بيرولوسايت	Al Si(K) الكاولينايت مونتموريلونايت الميكا الأبيض	Ca, Mg كالسايت دولومايت أراجونايت	Na, Ca, Mg, B هالايت سيلفايت أنهيدرايت جبسوم كالسايت دولومايت	C, S, HC, S^{2-} الفحم البترول الكبريت	Ca, Mg, Si, P كالسايت صوان فوسفات أراكونايت

المصدر: Goldschmidt، 1937، جولدشميت (٢)

جدول (٢ ـ ٣) الحركة النسبية للعناصر الرئيسية والثانوية في بيئة سيليسية خالية من الكبريتيدات

الحركة النسبية	العناصر الرئيسية	العناصر الثانوية
عالي الحركة	S, Cl	Br, I, Mo B, Se
متوسط الحركة	Ca, Na, Mg, K	Zn, Ba, U
متوسط السكون	Si, Mn	Ni, Co, Cu, As, Sb, Pb
ساكن	Fe, Al, Ti	Cr, RE

RE = العناصر الترابية النادرة
المصدر: (٣) هاوكس و وب، 1962، Hawkes and Webb

جدول (٢ ـ ٤) الحركة النسبية للعناصر خلال عمليات التجوية للرواسب الكبريتيدية في بيئتين كلسية وسيليسية.

الحركة النسبية	البيئة السيليسية	البيئة الكلسية
متحرك	S, Mo, Zn, Ag	
متوسط الحركة	Cu, Co, Ni, Mo*, As	S, Mo, Zn, Ag
ساكن	Fe, Pb, As*	Fe, Cu, Pb

* = بيئة غنية بالحديد
المصدر: (٣) هاوكس و وب، 1962، Hawkes and Webb

بشكل ادق، يعتمد سلوك العناصر على استقراريتها في الطور السائل، مقارنة باستقراريتها في الطور الصلب عند ظروف معينة. وتتطلب ايجاد هذه المقارنة معرفة طاقة كبس الحرة Gibbs Free Energy للتفاعل الذي يمثل توزيع العناصر بين الطور الصلب والطور السائل. ومثل هذه المدلولات غير متوفرة للتفاعلات التي تحدث عند ظروف عالية من ضغط ودرجة حرارة على نحو ما هو

بشكل عام تصنف العناصر الكيميائية حسب ميولها للدخول في الاطوار الرئيسية المتوفرة في الارض، وكما هو مؤشر في التصنيف الرئيسي لكولدشميدت عناصر سيدوروفايل "Siderophile"؛ جالكوفايل "Chalcophile"؛ ليثوفايل "Lithophile"؛ اتموفايل "Atmophile"؛ هيدروفايل "Hydrophile"

تتميز بعض العناصر بأقتصار تواجدها في أطوار معينة، وذلك من خلال إحلالها محل أحد العناصر الرئيسية المكونة لتلك الاطوار المعدنية عند ظروف وبيئة معينة. مثال: Nb-Ta; Zr-Hf; Si-Ge; Al-Ga; Ca-Sr; K-Rb ويمثل تواجد هذه الازواج من العناصر مفهوم التصاحب الجيوكيميائي "Geochemical Coherence". وقد تسلك العناصر المتصاحبة في بيئة معينة (بيئة صهيرية) سلوكاً مختلفاً وتنفصل عن بعضها البعض في بيئة أخرى (بيئة رسوبية). يوضح الجدول (٢ ـ ٥) العناصر المتصاحبة في أنواع مختلفة من الصخور. ومن هذا الجدول، يمكن استنتاج احتمال تواجد مجموعة من العناصر المتصاحبة من خلال تأشير تواجد أحد هذه العناصر في نوع معين من الصخور. لهذا أدت ظاهرة التصاحب الجيوكيميائي للعناصر في الاستكشاف الجيوكيميائي إلى مفهوم العنصر الدليل "Pathfinder Element".

٢ ـ ٦ العناصر الدالة Pathfinder Elements

إن تصاحب العناصر (أو المعادن) مع العنصر (الخام) والتي تكون احياناً معروفاً من قبل المعنيين، وقد استخدمت هذه العناصر في البحث عن الرواسب الخام. وأول من اقترح مصطلح العناصر الدالة هما وارن ودي فو Warren and Devault, 1953، وذلك لتأشير مثل هذه العناصر والتي تساعد في اقتفاء أثر تواجد العنصر (الخام).

تختلف حركة العناصر المتصاحبة (بضمنها العنصر الخام) في الاطوار المختلفة فهناك عناصر معينة، لها حركة اكبر من العناصر الأخرى، بسبب خواصها الفيزياوية ـ الكيمياوية للسوائل التي وجدت فيها هذه العناصر، أو بسبب الفيزياوية (الفازية) لهذه العناصر. والحركة العالية (نسبياً) لهذه العناصر المسؤولة عن تكوين الهالة الرئيسية الواسعة. وبشكل عام، فعناصر الهالة الرئيسية الواسعة والبعيدة ليست العناصر (أو العنصر) المكون لرواسب المعادن (الخام) ولكنها هي العناصر التي ترتبط بعلاقة قوية مع العنصر (الخام). وتكون العناصر الدالة بالعناصر (أو العنصر) المتصاحبة مع عنصر المعدن الخام وتكون بسهولة تحسسها وايجاد تراكيزها بسبب تكوينها لهالة عريضة ولتوفر طرق

Scanned by CamScanner

أنواع الصخور	العناصر المتصاحبة
1) التصاحب في الصخور النارية الداخلية	
صخور عالية الحديد – المغنيسيوم	Cr, Co, Ni, Cu
صخور الحديد – المغنيسيوم	Ti, V, Sc
الصخور القلوية	Ti-Nb-Ta-Zr-RE-F-P
صخور الكاربوناتايت	RE-Ti-Nb-Ta-P-F
صخور بيغماتانية	-Be-RE-Nb-Ta-U-Th-Zr-Hf-Sc
	Li-Rb-Cs
صخور جرانيتية	Ba-Li-W-Mo-Sn-Zr-Hf-U-Th-Ti
2) خامات الهاليد الحارة الكبريتيدية	
رواسب النحاس البورفيري	Cu-Mo-Re
المعقدات الكبريتيدية	Hg-As-Sb-Se-Ag-Zn-Cd-Pb
كبريتيدات واطئة الحرارة	Bi-Sb-As
رواسب العناصر الاساسية	Pb-Zn-Cd-Ba
رواسب العناصر الثمينة	Au-Ag-Cu-Co-As
رواسب العناصر الثمينة	Au-Ag-Te-Hg
3) الصخور المتحولة التاسية	
رواسب الكاسيترايت – الشيلايت	W-Sn-Mo
رواسب فلورايت – هيلفايت	Be-F-B
4) الصخور الرسوبية	
السجيل الاسود	-Zn-Cd-Ag-Au-V-Mo-Ni-As-Bi-Sb
	U-Cu-Pb
الصخور الفوسفاتية	U-V-Mo-Ni-Ag-Pb-F-RE
صخور المتبخرات	Li-Rb-Cs-Sr-Br-I-B
لاترايت	Ni-Cr-V
اكاسيد المنغنيز	Co-Ni-Mo-Zn-W-As-Ba-V
رواسب المكث أو الرمل	Au-Pt-Sn-Nb-Ta-Zr-Hf-Th-RE
طبقات الخمر (قارية)	U-V-Se-As-Mo-Pb-Cu
طبقات الخمر (بركاني المنشأ)	Cu-Pb-Zn-Ag-V-Se
بوكسايت (تكونت فوق الصخور القلوية)	Nb-Ti-Ga-Be

RE = العناصر الترابية النادرة

المصدر : (٥) ليفنسون ، Levinson, 1980
اندروس – جونز ، Andrews-Jones, 1968

النماذج والمستخدمة في الاستكشاف الجيوكيميائي عن انواع معينة من الرواسب الخام .

تتواجد العناصر الدالة بصيغ مختلفة : ففي بعض الحالات موجودة في المعادن الغثة (الشوائب) Gangue ، وفي الحالات الأخرى تتواجد العناصر الدالة بصيغة إحلال داخل بنية المعادن الخام . ويمكن أن تمثل العناصر الدالة إحدى العناصر المكونة للرواسب متعددة المعادن الخام ، ويدعى مثل هذه العناصر ، بالعناصر المؤشرة ، indicator elements ، مثال : استخدام الخارصين في البحث عن رواسب Pb-Ag-Zn . ولكن استخدام مثل هذا المصطلح غير شائع في المصادر العلمية . غير أن المصادر العلمية السوفيتية تستخدم مصطلح العناصر المؤشرة المباشرة وغير المباشرة بدل من مصطلح العناصر الدالة ، حيث يستخدم مصطلح العناصر المؤشرة المباشرة للعناصر (الدالة) المتركزة في رواسب المعادن الخام مثال : استخدام Cu في البحث عن رواسب النحاس . أما مصطلح العناصر المؤشرة الغير مباشرة ، فتستخدم لتمثيل العناصر (الدالة) المتصاحبة مع عنصر المعدن الخام . مثال : استخدام عنصر Li في البحث عن رواسب Ta ، بسبب عدم توفر تقنية تحليلية جيدة ومناسبة لأيجاد تراكيز عنصر Ta .

جدول (٢ – ٦)

العنصر الدليل واستخداماته في الكشف عن الرواسب الخام

العنصر الدليل	أنواع النماذج	أنواع الرواسب الخام
As	صخور الحائط ، التربة المتبقية ، رواسب الروافد	خامات الذهب الحرقية
Hg	صخور الحائط ، التربة	معقدات خامات Ag-Zn-Pb
Se	رواسب الخام المتأكسد ، التربة المتبقية	خامات الكبريتيدات متأخرة التكوين
Ag	التربة المتبقية	خامات الذهب الحاملة للفضة
Mo	الماء ، رواسب الروافد ، التربة	رواسب النحاس البورفيري
SO_4	الماء	رواسب الكبريتية

المصدر : (٣) هاوكس و وب ، Hawkes and Webb 1962

إن اختيار العناصر الدالة ، يتطلب تواجد هذه العناصر في البيئة الرئيسية مع العنصر (الخام) أو تكوين هذه العناصر من خلال عملية التحلل الاشعاعي للعنصر (الخام) مثال : استخدام غاز الرادون ، Radon ، كعنصر دليل في البحث عن رواسب اليورانيوم . كما يستوجب اختيار العناصر الدالة ، ان تتواجد

Scanned by CamScanner

هذه العناصر بعلاقة مباشرة ومفسرة مع تواجد المعادن الخام . وأشارت الدراسات السوفيتية الحديثة الى اعتماد اختيار العناصر الدالة على شكل وموقع الجسم الخام وعلى الاخص ، الشكل المتوقع للهالة (أفقية أو عمودية) . حيث أن حركة العناصر الدالة تختلف بشكل ملحوظ في الاتجاه الافقي عنه في الاتجاه العمودي .

إن الاستخدام الأول للعناصر الدالة ، كان في البيئة الثانوية مثل التربة ، المياه ، الرواسب . اما استخدامها في البيئة الرئيسية ، فقد بدأ في الآونة الاخيرة فقط ، حيث زاد الاهتمام بجيوكيميائية الصخور . ويعتقد أن الاستخدام الناجح للعناصر الدالة جاء لسببين رئيسين : الأول ، بسبب الحركة العالية لهذه العناصر ، مقارنة بالعنصر الخام ، مما يؤدي الى تكوينها هالة عريضة وواسعة مثال : استخدام عنصر Hg أو عنصر As كعنصر دليل لرواسب الذهب . والثاني ، بسبب طرق التحليل المستخدمة للعناصر الدالة هي طرق بسيطة ، أقل كلفة ولها القدرة الاكبر على تحسس هذه العناصر مقارنة بطرق التحليل للعناصر الخام . وخير مثال على هذا ، هو سهولة تحليل Cu ، Ni ، Cr كعناصر دالة في البحث عن رواسب Pt .

وهناك عناصر أخرى تنتظر تطوير طرق تحليلها ومن ثم استخدامها كعناصر دالة مثال : في حالة تطوير طريقة لتحليل عنصر Re ، فأن هذا العنصر يمكن استخدامه كعنصر دليل في البحث عن رواسب النحاس . حيث يتواجد هذا العنصر مع طور المولبيدنايت المتصاحب مع رواسب النحاس . كما أن له القابلية العالية على الذوبان في الماء مما يسمح تكوين هالة واسعة ، ولكن في الوقت الحاضر لا يمكن تحسس هذا العنصر في البيئة الثانوية .

Scanned by CamScanner

البيئة الجيوكيميائية الرئيسية
صيغ الانتشار الرئيسي

PRIMARY GEOCHEMICAL ENVIRONMENT
PRIMARY DISPERSION PATTERNS

Scanned by CamScanner

تمتاز بيئة الانتشار الرئيسي بالظروف العالية من ضغط ودرجات الحرارة والتي تختلف عن الظروف الفيزياوية الواطئة والمؤثرة على سطح الارض . وتظهر نتائج عمليات الانتشار الرئيسي للعناصر الكيمياوية ، في الصخور النارية والمتحولة والصخور ذات المنشأ الحاليل الحرمائية ، والتي بعد تكوينها في اعماق الأرض ، ارتفعت الى سطح الارض بفعل عمليات التجويه والتعرية والحركات الارضية . ويمكن تقسيم صيغ الانتشار الرئيسي للعناصر الكيمياوية الى نوعين اساسيين :

١ ـ الصيغ المتزامنة سينجينيتك "Syngenetic" وهي صيغ الانتشار المتكونة خلال عملية تكوين الصخور الحاضنة عند الاعماق . ويمكن مناقشة الصيغ المتزامنة والمتكونة في الصخور الرسوبية تحت هذا الباب .

٢ ـ الصيغ المتأخرة إبيجينيتك "Epigenetic" وهي صيغ الانتشار المتكونة من خلال اضافة مواد جديدة الى الصخور الحاضنة المتكونة سابقاً . وحسب تصنيف هاوكس ووب Hawkes and Webb:1962 ، فأن هذه الصيغ يمكن تقسيمها الى أنواع ثانوية اعتماداً على العوامل التي أدت الى تكوينها . مثال : اضافة وترسيب مواد جديدة; واعادة التبلور; وتجزئة المكونات الاصلية للصخور بسبب الاختلاف في درجات الحرارة والضغط . كما يمكن تحت هذا الباب من التصنيف ، مناقشة صيغ انتشار الغازات في الصخور ، التي غالباً ماتحدث تحت ظروف واطئة من درجات حرارة وضغط .

٣ ـ ٢ الصيغ المتزامنة "سينجينيتك" Syngenetic Patterns

إن تصاحب تواجد أنواع معينة من الرواسب الخام مع أنواع معينة من الصخور الباطنية كان معروفاً ، وقد تم استخدام هذا التصاحب من قبل المستكشفين الجيولوجيين عبر العديد من السنوات . مثال : تصاحب الكاسيترايت "Cassiterite" مع صخور الجرانيت البوتاسية ؛ تصاحب الكرومايت "Chromite" مع الصخور فوق القاعدية ؛ تصاحب كبريتيدات النيكل ـ الحديدوز مع الصخور القاعدية وفوق القاعدية . ويمكن تأشير تواجد هذا التصاحب من خلال ملاحظة تراكيز العناصر في الصخور النارية وعلى الاخص العناصر التي لاتشكل عنصراً رئيسياً في المعادن المكونة لهذه الصخور . وتتطلب هذه الملاحظة ، الحصول على نماذج نظامية والقيام بتحليلها ، وبالتالي تحسس تراكيز العناصر التي تعكس التصاحب بين الرواسب الخام مع الصخور الحاضنة . إن حجم الانتشار الرئيسي للعناصر في الصخور ذات المنشأ العميق ، وكذلك الصخور ذات المنشأ

Scanned by CamScanner

الرسوبي ، يتراوح بين مئات الاميال الى حجم منجم واحد أو مجموعة من المناجم . وتدعى صيغ الانتشار الواسعة بالمقاطعة الجيوكيميائية "Geochemical Province" بينما يستخدم مصطلح الصيغ المتزامنة المحلية "Local Syngenetic Pattern" لتأشير التصاحب المحلي لصيغ الانتشار مع تواجد الرواسب الخام .

٣ ـ ٢ ـ ١ المقاطعة الجيوكيميائية Geochemical Province

هي مساحة كبيرة نسبياً ومحددة من القشرة الارضية التي تحتوي على عنصر واحد أو اكثر ، بتراكيز أعلى من الحد الطبيعي . إن هذا التعريف لايشير الى تحديد تلك المساحة سواء أكانت كبيرة أم صغيرة بسبب أنها غير مهمة مقارنة بالتركيب الكيمياوي . اقترح برادشو وجماعته ، Bradshow et. al. 1972 ، بأن هذه المساحة قد تصل الى عشرات أو مئات الاميال ، كما أشاروا الى أن المقاطعة الجيوكيميائية هي المثال الأكبر للهالة الرئيسية "Primary Halo" بالرغم من أن معظم المختصين يعتقدون بأن المقاطعة الجيوكيميائية تمثل تراكماً لعنصر أو مجموعة من العناصر الكيمياوية المعينة .

يوجد في العالم ، العديد من الأمثلة للمقاطعات الجيوكيميائية منها : المناطق المنتجة للنحاس في بيرو "Peru" وشيلي "Chile" ؛حقول الذهب في جنوب أفريقيا "South Africa" ومقاطعة اليورانيوم في كولورادو "Colorado" ، أمريكا . ويستخدم مصطلح المقاطعة الجيوكيميائية في المصادر العلمية الحديثة ، لتأشير الانواع المحددة من الصخور المتواجدة في المقاطعة بدلاً من تأشير الموقع الجغرافي فقط . مثال : صخور الجرانيت الحاملة للقصدير في بوليفيا "Bolivia" وصخور الحديد ـ المغنيسيوم الحاوية على تراكيز عالية من البلاتين ـ النيكل ـ الكروم في جنوب أفريقيا . وبنفس الصيغة ، تستخدم المقاطعة الجيوكيميائية في البيئة الرسوبية . مثال : صخور الكاربونات التي تحتوي على تراكيز عالية من الرصاص والخارصين ، وادي المسيسيبي "Mississippi" ؛وصخور الطفل الغنية بالنحاس والموجودة في المانيا وزامبيا .

تختلف العوامل الجيولوجية التي أدت الى تكوين المقاطعات الجيوكيميائية باختلاف صخور هذه المقاطعات . فبالنسبة للمقاطعات التي تحتوي على صخور نارية ، ربما كان الاختلاف في التركيب الكيمياوي للقشرة الارضية أو العباءة والتي منها ينفصل الصهير الصخري ، هو المسؤول عن تكوين هذه الانواع من [illegible] ، فهو نتيجة توفر مناطق

الكيمياوية ، لها الدور الاساسي في تكوين المقاطعات الجيوكيميائية التي تحتوي [illegible] الصخور المتحولة .

إن أهمية استخدام المقاطعة الجيوكيميائية في الاستكشاف المعدني ، جاء بسبب تحديد المقاطعة الجيوكيميائية لمساحة كبيرة من الصخور التي تم تأكيد احتوائها على تراكيز غير طبيعية من العناصر . وهذا بالتالي ، يمثل مواقع مثالية لبداية برامج الاستكشاف المعدني . وأفضل الامثلة على استخدام المقاطعة الجيوكيميائية في الاستكشاف المعدني ، هو اكتشاف أربعة رواسب كبيرة للنحاس البورفيري في الجزء المنصرم في مساحة صغيرة نسبياً من جنوب كولومبيا البريطانية ، وكذلك الاكتشافات العديدة للنيكل في "حزام النيكل" قرب كاركولي Kargoolie غرب استراليا .

اضافة الى ماتقدم ، يعتقد برادشو وجماعته ، Bradshaw et. al. ، 1972 ، بأن اليوم الذي تستغل فيه صخور المقاطعة الجيوكيميائية في استخراجها والحصول على حاجة العالم من العناصر الكيمياوية ، ربما يأتي في المستقبل وعلى الاخص بالنسبة للفلزات الشحيحة . مثال : جرانيت كورنول "Cornwal" في هيمشاير الجديدة New Hampshire ، انكلترة وصخور الطفل الغنية بعناصر اليورانيوم والثوريوم في جاتونوكا "Chattonoga" . يمكن تحديد المقاطعات الجيوكيميائية للصخور النارية والمتحولة ، من خلال المسح الجيوكيميائي الاولي لرواسب الروافد أو مياه أنظمة التصريف وبالاعتماد على المعلومات المتوفرة عن تواجد العناصر الشحيحة والثانوية في الصخور النارية . ومن الممكن تحسس أو توقع تواجد المقاطعات الجيوكيميائية من خلال تحليل اعداد قليلة نسبياً من النماذج المختارة بشكل دقيق .

استخدم المختصون السوفييت الاوائل مصطلح المقاطعة الفلزية "Metallogenic Province" ، ولا يزال يستخدم في كثير من المصادر العلمية لتأشير تواجد تراكيز عالية من العناصر الفلزية فقط . وانتقد بويل Boyle ، 1967 ، استخدام مثل هذا المصطلح ، حيث قال بأن تصاحب تواجد العناصر في المقاطعة الجيوكيميائية لا يقتصر فقط على العناصر الفلزية ، ولكن يمكن أن تتصاحب العناصر الفلزية واللافلزية في المقاطعات الجيوكيميائية . مثال مقاطعة الذهب في الدرع الكندي "Canadian Shield" التي تتواجد فيها صخور تحتوي على تراكيز عالية من السليكون بصيغة معدن الكوارتز وتراكيز الكالسيوم ، المغنسيوم ، الحديد وثاني أوكسيد

Scanned by CamScanner

٣ ـ ٢ ـ

إن صيغ الانتشار الرئيسي التي تبلغ مساحتها عدة أميال بدلاً من مئات الاميال (الصيغ المتزامنة المحلية) ، لا يمكن اعزاء منشئها الى الاختلافات الطبيعية في تركيب القشرة الارضية ، بل هي في أكثر الاحتمالات ناتجة عن عمليات نشأة الصخور "Petrogenesis" ، التمايز الماكمي "Magmatic Differentiation" وعمليات التحول "Metamorphism" . مثال : الزيادة النظامية في كمية الاشعة وتراكيز السليكا في صخور الجرانيت ولمسافة خمسة أميال بأتجاه تواجد تمعدن الذهب ، لا يمكن توضيحها الا بنفس عمليات المنشأ التي أدت الى وضع الجسم الحام للذهب (كروس ، 1952 ، Gross) . اما وارن وديلافولت ، 1960 ، Warren and Delavault ، يعتقدان بأن طبيعة تواجد رواسب عنصري Cu ، Zn في أجزاء معينة من كولومبيا البريطانية ، يمكن توضيحها من ملاحظة التراكيز المستخلصة لهذين العنصرين في النماذج الطازجة من الصخور الجوفية المتصاحبة مع رواسب الخام لكلا العنصرين جدول (٣ ـ ١) . ومع هذا فلا يمكن تحديد فيما اذا كان تواجد هذين العنصرين جاءا بصورة متزامنة مع تكوين الصخور الحاضنة أم كان نتيجة اضافة محاليل متمعدنة بعد تكوين الصخور الحاضنة . وأوضح سلاوسون وناكاوسكي ، 1959 ، Slawson and Nackowski ، بأن تراكيز الرصاص في معادن فلدسبار البوتاسيوم المفصولة من صخور المونزونايت "Monzonite" الحاملة للكوارتز ، تزداد في مناطق تواجد مناجم الرصاص نسبة للمناطق التي لا يتواجد فيها مناجم الرصاص (جدول ٣ ـ ٢) . ولابد من الاشارة الى ضرورة الاستخدام الحذر لمثل هذه الصيغ في الحقل ، وذلك بسبب أن الاختلافات في تراكيز العناصر الشحيحة ربما جاءت نتيجة التفاضل المتزايد أو المتقدم للصخور الحاضنة ، حيث ان تراكيز العناصر Co ، Ni ، Sn ، Li تختلف في الاطوار المتعاقبة في الجرانيت ، وكما هو موضح في الجدول (٣ ـ ٣) .

٣ ـ ٣ الصيغ المتأخرة "ابيجنيتك" Epigenetic Patterns

يمكن تصنيف الصيغ المتأخرة الى نوعين أساسيين بالاعتماد على طبيعة المؤثرات التي أدت الى تكوين هذه الصيغ :

	عدد النماذج	عدد المناطق	نحاس الحدود	حـ .م .حـ الوسط	خارصين الحدود	حـ .م .حـ الوسط
المناطق غير المتمعدنة	33	14	0,5–13	3	16–136	49
مناطق رواسب النحاس	28	4	3–120	29	3–124	50
مناطق رواسب الخارصين	27	4	1–124	12	35–200	105

المصدر : (٣) وارن و ديلا فولت/ Warren and Delavault, 1960

جدول (٣ ـ ٢) تراكيز الرصاص في الفلدسبار البوتاسية للصخور البلوتونية المتصاحبة مع رواسب الرصاص في غرب الولايات المتحدة .

المناطق	انتاج الرصاص	عدد النماذج	الرصاص الحدود	حـ .م .حـ الوسط
بنكهام ، يوتا ، Utah	رئيسي	22	11–126	61
بارك سيتي ، يوتا ، Utah	رئيسي	21	10–85	47
تنتيك ، يوتا ، Utah	رئيسي	10	10–44	29
روبنسون ، نيفادا ، Nevada	ثانوي	25	9–37	14
أيرون سبرنك ، يوتا ، Utah	لا يوجد	3	12–18	15
التراكيز الطبيعية للرصاص في الفلدسبار البوتاسية *				25

المصدر : (٣) سلاوسون وناكاوسكي ، slawson and Nackowski, 1959
* وديبول ، wdepohl, 1956

جدول (٣ ـ ٣) الاختلافات بتراكيز العناصر (جـ . م . جـ) النزرة في كل طور من أطوار الجرانيت المندسة والمتصاحبة مع تمعدن القصدير ، كورنول Cornwall ، انكلترة .

العنصر	الطور الاول	الطور الثاني	الطور الثالث
Co	8	4	2
Ni	10	4	2
Sn	25	5	30
Li	700	1500	3000

المصدر : (٣) وب ، Webb, 1947

Scanned by CamScanner

٣ ـ ٣ ـ ١ صيغ الانتشار الحرمائية
Hydrothermal Dispersion Patterns

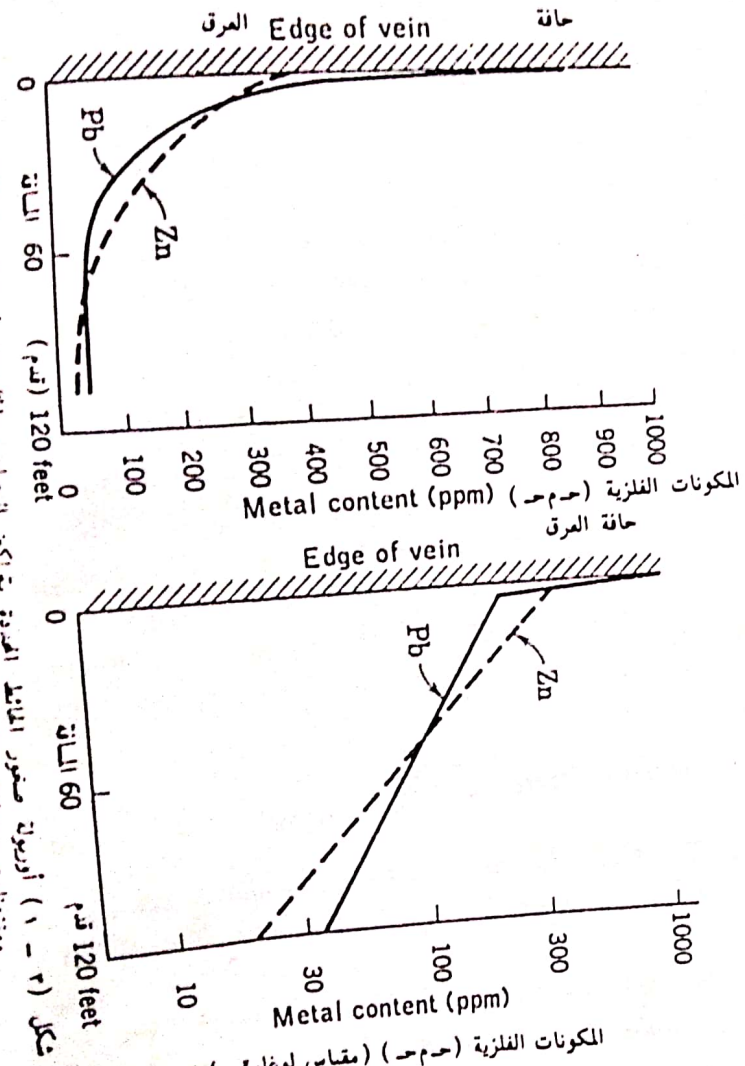
إن تكوين رواسب المعادن المتأخرة هي النتيجة الوحيدة للعمليات المعقدة والتي تدعى بالفعاليات الحرمائية "Hydrothermal Activity" . وكانت طبيعة ومنشأ هذه المحاليل ، موضوع جدل ومناقشة لزمن طويل . وفي الوقت الحاضر ، لايوجد أعتراض كبير على احتواء هذه المحاليل على الماء وعلى درجة حرارتها العالية نسبياً ولهذا سميت بالمحاليل الحرمائية .

إن وضع الفلزات في صيغ الانتشار الحرمائية عادة ماتنتج عن تأثير الحركة الكتلية للمحاليل الحرمائية . أما إتجاه حركة هذه المحاليل ، فهو موضوع جدل بين اختصاصي الجيولوجيا الاقتصادية ، ولكن الحركة بأتجاه الاعلى من المصدر في الأسفل ، هو أكثر النظريات قبولاً . وفي نفس الوقت ، فأن هناك شواهد على الحركة الافقية باتجاه العروق المعدنية ومن صخور الحائط وكذلك الحركة بأتجاه الأسفل ومن الأعلى . ومهما تكن ميكانيكية واتجاه حركة المحاليل الحاملة للخام ، فأن الآثار التي تتركها هذه المحاليل على القنوات التي تمر بها ، ذات أهمية بالغة كدليل عن الرواسب الخام . ومن التحليل الكيمياوي للعناصر الشحيحة والمشخصة والمترسبة من هذه المحاليل يمكن تحديد ممرات هذه القنوات والاتجاه الذي تسلكه هذه المحاليل ، وبالتالي يمكن تحديد عدد من الاتجاهات التي تستوجب فيها تكثيف أعمال البحث عن الرواسب الخام .

أ ـ صيغ إنتشار صخور الحائط Wall-Rock Dispersion Pattern

إن التأثيرات الأخرى لفعاليات المحاليل الحرمائية هو التغيير الذي تحدثه في صخور الحائط ، حيث تتميز كثير من الرواسب المعدنية ذات المنشأ الناري أو المحاليل الحرمائية ، بوجود نطاق مركزي ، مثل العروق ، تتركز فيه العناصر الثمينة بكميات اقتصادية ، وفي معظم الاحيان ، يوجد إنخفاض متدرج ومتعاقب بتراكيز هذه العناصر في الصخور المحيطة بالرواسب الخام وحتى يصل تراكيزها في هذه الصخور الى الحد الطبيعي . ويسمى النطاق الذي تبدأ تراكيز العناصر بالانخفاض والى أن تصل الحد الطبيعي بـ أوريوله صخور الحائط "Wall Rock Aureoles" ، وكما هو موضـــح في الشكـــل (٣ ـ ١) ، (٣ ـ ٢) .

[illegible] المتوقعة لتوزيع تراكيز العناصر في أوريولة



شكل (٣ ـ ١) أوريولة صخور الحائط المحددة بتراكيز الرصاص والخارصين في صخور الكوارتز موزرونايت ، منطقة تنيك ، يوتا ، Utah .
المصدر : (٣)

Scanned by CamScanner

، ويكيا ، Nenthead ، ميت ، Vieille Montagne ، وكيتي بيلي بمنجم الجبل العجوز بإنجلترا (٢ – ٣) أوريتي صخور الخام بالقرب من الحافة في بعض المناجم

(٥) : الصدر

Finlayson, 1910 ، فينلايسون

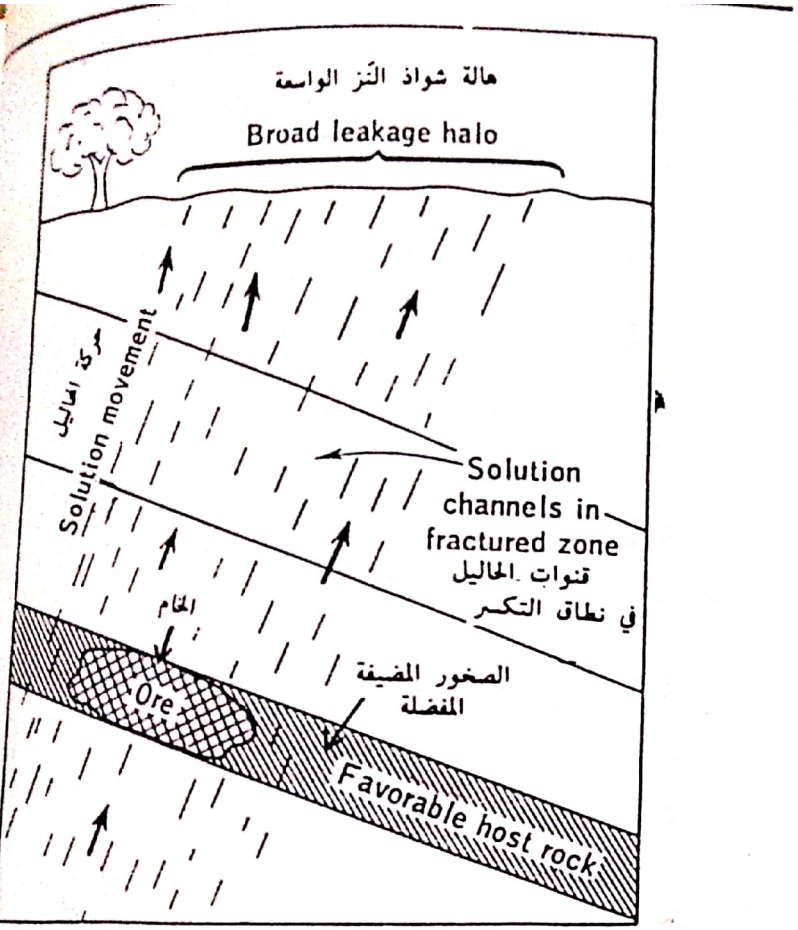
صخور الخائط ، يؤدي الى تشويه الأوربيله ، وكما موضح في الجدول (٣ – ٤). بشكل عام ، يمتد عرض الأوربيله على الفالنة الكيمياوية لصخور الخائط ، في الصخور ذات الفالنة العالية مثل الحجر الجيري والدولومايت يتحدد عرض الأوربيله بين 5 و 200 قدم عن حافة الراسب الخام مباشرة . وفي الصخور ذات الفالنة الكيمياوية المنخفضة مثل الصخور النارية والمتحولة ، تمتد الأوربيله الى مئات أو حتى آلاف الاقدام من حافة الراسب الخام .

جدول (٣ – ٤) الأوربيلة الرئيسية للفارصين والرصاص في صخور الخائط الكتلية والمتكسرة المتواجدة على امتداد عروق جاليتا – سفالوايت، Galena–Sphalerite ، في ديربشاير ، Derbyshire ، انكلترة .

المسافة من العرق (قدم)	التكوينات الفلزية في صخور الخائط الجيرية (جـ م جـ)			
	صخور الخائط الكتلية		صخور الخائط المتكسرة	
	الرصاص	الفارصين	الرصاص	الفارصين
صفر	1900	1600	600	34,000
5	850	600	1700	500
10	180	230	1600	800
15	220	220	1400	900
20	260	120	1300	900
25	80	60	3500	1700
30			1200	400
40			1250	850
50			130	60
60			440	170
70			1400	600
80			750	1250
90			250	70
150	30	140	1200	1000

المصدر : (٣) و ب ، Webb ، 1958

Scanned by CamScanner



شكل (٣ ـ ٣)
العلاقة بين موقع هالة شواذ النّز والبنية المحلية المائلة للجسم الخام
المصدر : (٣)
هاوكس ووب ، Haw Kes and webb ، 1962

ب ـ صيغ إنتشار التسريب أو النّز Leakage Dispersion Pattern

تمثل هذه الصيغ ، انتشار أو إنتقال العناصر على امتداد القنوات الصدوع ، الكسور الصغيرة (المجهرية) أو الممرات الأخرى المتجهة من الرواسب الخام . وتتكون صيغ انتشار النّز خلال (أو بعد قليل) من وضع وتكوين الرواسب الخام . ففي بعض الاحيان تمثلّ هذه الصيغ رواسب السوائل المعدنية المتبقية والمتجهة الى الأعلى بعدَ أن فقدت الكمية الكبيرة من مكوناتها الكيمياوية بهيئة رواسب خام .

وفي أحيان أخرى ، تمثل هذه الصيغ ، المحاليل المعدنية التي ربما كانت متجهة الى تكوين الرواسب الخام ، الذي تم ازالته بفعل عمليات التعرية . ان هذا النوع من الصيغ يشابه بشكل كامل كافة جوانب الرواسب الخام ، ولكن ربما تؤثر هذه الصيغ مرور المحاليل الحرمائية التي افتقرت اما الى الفرصة أو الى القابلية لترسيب تراكيز كبيرة من الفلزات على شكل رواسب خام .

ان موقع صيغ انتشار النّز نسبة للرواسب الخام تحت الاعماق ، يعتمد على الظروف البنيوية المحلية . فعندَما تتواجد بنية رواسب الخام بشكل عمودي ، فمن المتوقع أن تتواجد صيغ انتشار النّز فوق الرواسب الخام مباشرة . اما اذا كانت بنية الرواسب الخام بشكل مائل ، فأن موقع صيغ انتشار النّز يزاح جانبياً عن التسقيط العمودي للجسم الخام شكل (٣ ـ ٣) . كما أن شكلَ هذه الصيغ يعتمد كذلك على الظروف البنيوية المحلية ، حيث تتغير من صيغ انتشار متجانسة نوعاً ما في الصخور النفاذة التي تغطي الجسم الخام ، الى صيغ ضيقة ومحددة بالمواقع الواضحة للكسور أو الفواصل في مواد تغطية الجسم الخام (شكل ٣ ـ ٤) .

Scanned by CamScanner

شكل (٣ ـ ٤)

شواذ النّز المحددة بتراكيز الرصاص في التربة المتبقية ، والتي تغطي رواسب الفلزات الاساسية والمتواجدة عند عمق 700 قدم ، منجم Gergory Mine ، دربشاير Derbyshire ، جريجوري ، استندت مدلولات الشكل على تحليل أجزاء النماذج بحجم 80 مش .

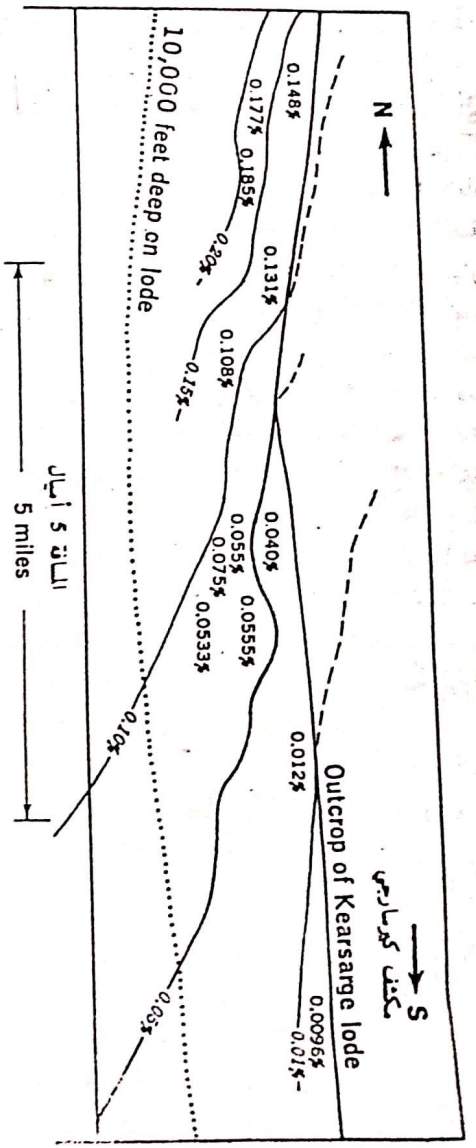
المصدر : (٣) وب ، Webb ، 1958

يوجد بعض التبدي بجنوب سمتر ده في صخور الجسم الخام وعلى امتداد مسافة أفقية تقدر بـ 9 أميال وكما هو موضح في الشكل (٣ ـ ٥).

٣ ـ ٣ ـ ٢ صيغ الانتشار بتأثير الحرارة والضغط على المعادن المتأخرة

ان تأثير الحرارة والضغط على خواص المواد الحاملة لصيغ الانتشار هو تأثير ثانوي ، كما أنه في أحسن الاحوال تأثير غير مباشر . وينعكس تأثير الحرارة ـ الضغط خلال عملية تكوين الرواسب الخام ، على الهيئات المدنية وعلى بعض العلاقات الكيمياوية والنظائرية ، والتي يمكن ملاحظتها في الاطوار المدنية التصاحبة . وتؤثر درجات الحرارة أو الضغط بصيغ تنطق في الخواص المدنية والكيمياوية والنظائرية للمعادن متأخرة التكوين . يعد تأثير الضغط عادة صغيراً جداً مقارنة بتأثير الحرارة ، ولهذا يفترض عادة بأن التغييرات التي يتم ملاحظتها هي نتيجة الاختلاف بدرجات الحرارة فقط . وبسبب هذا ، فأن التغييرات المدنية والكيمياوية والنظائرية تدعى بالهارير الجيولوجية ، والتي قد تستخدم كدليل للكشف عن الرواسب الخام . ففي رواسب النحاس البورفيري ، يتواجد التغير المدني المتضمن تكوين معدن الفلدسبار البوتاسية على حساب معدن السيريسايت Sericite ، بعلاقة موجبة وقوية مع تواجد الخام الرئيسي بالجودة العالية . واختلاف تراكيز الحديد في معدن السفاليرايت للنماذج المختارة من منطقة منجم بالات ، Balmat ، ولاية نيويورك ، له علاقة مع الاختلافات بدرجة الحرارة باتجاه الابتعاد عن المواقع المركزية الحارة ، وهذا يتصادف مع تواجد الرواسب الخام بدرجات متفاوتة من الجودة وباتجاه الابتعاد عن المركز ، وتوجد علاقة موجبة بين نسبة نظيري الاوكسجين $O^{18} : O^{16}$ في الدولومايت المتبلرة والمتوسطة الحجم ، وبين المسافة عن الجسم الخام لمنطقة كلان ، Gilman ، كولورادو .

Scanned by CamScanner



شكل (٣ ـ ٥)
التنطق الكيمياوي في رواسب النحاس الحر لتشكيلة كيمارجي لود، مشيكان، وكما هو واضح بخطوط القيم المتساوية للنسبة CU : As.
المصدر: (٣)
برودريك، 1929 Broderick

٣ ـ ٤ السلوك الجيوكيميائي للعناصر في البيئة الرئيسية :
GEOCHEMICAL BEHAVIOUR OF ELEMENTS IN PRIMARY ENVIRONMENT

إن دراسة السلوك الجيوكيميائي للعناصر في البيئة الرئيسية ، يعني درا
الصيغ التي تتصرف بها العناصر خلال العمليات المكونة للصخور والسائدة في البي
الرئيسية . وتتمثل هذه العمليات بالانصهار الجزئي Partial Melting ، التحو
الاستعاضي Metasomatism ، التبلور الماكمي Magma Crystallization ،
عملية التحول Metamorphism ، والفعاليات الحرمائية Hydrotherusal
Activity .

تسلك العناصر الرئيسية خلال عملية التبلور الماكمي ، سلوكاً يعتمد على نوع
وتتابع الاطوار المعدنية المتبلورة من الصهير الصخري وحسب سلسلتي التفاع
المستمرة واللامستمرة لبوين Bowen ، حيث يتبلور أولاً معادن الاوليفين
سلسلة التفاعل اللامستمرة ، ومعادن الكالسيوم بلاجوكليز في سلسلة التفاع
المستمر . وبتقدم عملية التبلور ، تتكون جميع المعادن المكونة للصخور النار
حسب سلاسل تفاعل بوين Bowen ، وبالتالي تغادر الطور السائل العناص
المكونة لهذه المعادن .

أما سلوك العناصر النزرة خلال عملية التبلور الماكمي ، فيعتمد على قابلي
هذه العناصر على الدخول في الاطوار المعدنية المنفصلة من المنصهر الصخري
ويمكن تفسير سلوك هذه العناصر بالاعتماد على ثلاثة عوامل : نصف القطر الايوني
الشحنة الايونية ، نوع الآصرة الكيمياوية . فالعناصر النزرة التي لها ميول لتكو
طوراً معدنياً خاصاً بها ، أو التي لها ميول للدخول في الاطوار المعدنية المتبلورة
سوف تغادر المنصهر الصخري خلال عملية التبلور الماكمي . مثال : عناصر Cr
Co ، Ni . أما العناصر الأخرى التي تشمل Li ، Be ، Ta ، Sn ، U ، Th
Hf ، Zr ، W والعناصر الترابية النادرة ، فسوف تبقى في الطور السائل خلا
عملية التبلور الماكمي ويتركز الجزء الاكبر منها في السوائل المتبقية من عملية
التبلور الماكمي ، والغنية بالماء . وتواجد المكونات الاخرى مثل HF ، HCl ،
CO_2 ، تعمل على زيادة الحركة في السوائل السليكانية المتبقية . وربما تؤدي
هذه السوائل المتبقية (بمكوناتها من عناصر المرحلة المتأخرة) إلى تكوين الحاليل
الحرمائية . ويعتمد تكوين الرواسب الخام من هذه الحاليل على مكوناتها من الماء
الكلوريد ، الفلزات الاساسية ، الكبريت ، حيث تؤدي هذه المكونات إلى تكو
معقدات فلزية لها صفات كيمياوية تختلف عن الصفات الكيمياوية لأيونات العناص
الفلزية وأحياناً المتبلورة الفلزية ... معقدات الكلوريد

الحرمائية الخام . ويعتقد بان نفس الضوابط المؤشرة فيما تقدم ، تتحكم في سلوك العناصر خلال عمليات التحول .

إن اعتبار المنصهر الصخري مصدر للفلزات ، وعناصر المعادن الغثة ، Gangue ، في الرواسب الحرمائية لا يتفق عليها الجيولوجيين وعلى الأقل لجميع الرواسب الخام ، حيث أن هناك أدلة واضحة في بعض الحالات ، على اعتبار الصخور الحاضنة مصدراً لعناصر الرواسب الحرمائية . كما أن المكونات الفلزية لبعض الرواسب ، يعتقد بأنها تركزت أولاً من مياه البحار بتأثير الفعاليات الحيوية للكائنات البحرية ، ومن ثم ، بتأثير العمليات البيوكيميائية والبكتريا ، واخيراً تركزت العناصر الفلزية من قبل المياه المالحة ، Brines ، المتواجدة في نطاق نفاذ أو مواقع بنيوية معينة . مثال : رواسب Pb-Zn في الصخور الكاربونية / وادي المسيسيبي ، Mississippi .

Scanned by CamScanner