

اسات
الخام
حركة
ية،
خبرة
جح
ر،
نام
رق
كبر
على
ر
من
نا
بة
ر

الفصل الثالث

البيئة الجيو كيميائية الرئيسية
صنع الانتشار الرئيسي

PRIMARY GEOCHEMICAL ENVIRONMENT
PRIMARY DISPERSION PATTERNS

INTRODUCTION

٣ - ١ مقدمة

تتميز بيئة الانتشار الرئيسي بالظروف العالية من ضغط ودرجات الحرارة والتي تختلف عن الظروف الفيزيائية والواطئة والمؤثرة على سطح الأرض. وتظهر نتائج عمليات الانتشار الرئيسي للعناصر الكيماوية، في الصخور النارية والمتحولة والصخور ذات المنشأ المحاليل الحرمائية، والتي بعد تكوينها في اعماق الأرض، ارتفعت الى سطح الأرض بفعل عمليات التجوية والتعرية والحركات الأرضية. ويمكن تقسيم صيغ الانتشار الرئيسي للعناصر الكيماوية الى نوعين اساسيين:

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

٢ - الصيغ المتأخرة إبيجينيتهك "Epigenetic" وهي صيغ الانتشار المتكونة من خلال اضافة مواد جديدة الى الصخور الحاضنة المتكونة سابقاً. وحسب تصنيف هاوكس ووب: Hawkes and Webb:1962، فإن 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 ما تحدث تحت ظروف واطئة من درجات حرارة وضغط.

٣ - ٢ الصيغ المتزامنة "سينجينيتهك" 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 - الحديدوز مع الصخور القاعدية وفوق القاعدية. ويمكن تأشير تواجد هذا التصاحب من خلال ملاحظة تراكيز العناصر في الصخور النارية وعلى الأخص العناصر التي لا تشكل 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

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 - ٢ - ١ المقاطعة الجيوكيميائية Geochemical Province

هي مساحة كبيرة نسبياً ومحددة من القشرة الارضية التي تحتوي على عنصر واحد أو أكثر ، بتراكيز أعلى من الحد الطبيعي . إن هذا التعريف لا يشير الى تحديد تلك المساحة سواء أكانت كبيرة أم صغيرة بسبب أنها غير مهمة مقارنة بالتركيب الكيماوي . اقترح برادشو وجماعته ، Bradshaw 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 تراكمًا لعنصر أو مجموعة من العناصر الكيماوية 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 - المغنيسيوم الحاوية على تراكيز عالية من البلاتين - النيكل - الكروم في جنوب أفريقيا . وبنفس الصيغة ، تستخدم المقاطعة الجيوكيميائية في البيئة الرسوبية . مثال : صخور الكاربونات التي تحتوي على تراكيز عالية من الرصاص والخصائص ، 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 الكيماوي للقشرة الارضية أو العباءة والتي منها ينفصل الصهير الصخري ، هو المسؤول عن تكوين هذه الانواع من المقاطعات الجيوكيميائية . أما تكوين المقاطعات الرسوبية ، فهو نتيجة توفر مناطق المصدر والبيئة الرسوبية المناسبة . وتوفر الظروف المناسبة لحركة العناصر

الكيماوية
الصخور

إن أه
تحديد المقاد

تراكيز غير
الاستكشاف

الاستكشاف

المنصرم في
الاكتشافات

استراليا .
اضافة

بأن اليوم
على حاج

بالنسبة لا
الجديدة

والثوريوم
للصخور

أو مياه
الشححة

المقاطعات
بشكل د

است
vince"

لتأشير
1967

العناصر
أن تت

مقاطعة
صخور

الكالسيوم
أما الذ

من 15
١١٤ / م

الكيميائية ، لها الدور الاساسي في تكوين المقاطعات الجيوكيميائية التي تحتوي على 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 البورفيرى في العقد 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 ، 1972 ، Bradshaw et. al. ، بأن اليوم الذي تستغل فيه صخور المقاطعة الجيوكيميائية في استخراجها والحصول على حاجة العالم من العناصر الكيميائية ، ربما يأتي في المستقبل وعلى الاخص بالنسبة للفلزات الشحيحة . مثال : جرانيت كورنول "Cornwal" في همبشاير 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 بويلي ، Boyle ، 1967 ، استخدام مثل هذا المصطلح ، حيث قال بأن تصاحب تواجد العناصر في المقاطعة الجيوكيميائية لا يقتصر فقط على العناصر الفلزية ، ولكن يمكن أن تصاحب العناصر الفلزية واللافلزية في المقاطعات الجيوكيميائية . مثال : مقاطعة الذهب في الدرغ الكندي "Canadian Shield" التي تتواجد فيها صخور تحتوي على تراكيز عالية من السليكون بصيغة معدن الكوارتز وتراكيز من الكالسيوم ، المغنسيوم ، الحديد وثاني أكسيد الكربون بصيغة معادن الكربونات ، أما الذهب الذي منه إشتق أسم المقاطعة ، فهو عنصر دخيل يتواجد بتراكيز أقل من 15 جم ح .

Local Syngenetic Pattern الصيغ المتزامنة المحلية ٣ - ٢ - ٢

إن صيغ الانتشار الرئيسي التي تبلغ مساحتها عدة أميال بدلاً من مئات الأميال (الصيغ المتزامنة المحلية)، لا يمكن اعزاء منشئها إلى الاختلافات الطبيعية في تركيب القشرة الأرضية، بل هي في أكثر الاحتمالات ناتجة عن عمليات نشأ الصخور "Petrogenesis"، التمايز الماگمي "Magmatic Differentiation" وعمليات التحول "Metamorphism". مثال: الزيادة النظامية في كمية الأشعرتراكيز السليكا في صخور الجرانيت ولمسافة خمسة أميال باتجاه تواجد تمعدن الذهب، لا يمكن توضيحها إلا بنفس عمليات المنشأ التي أدت إلى وضع الجسم الماگمي للذهب (كروس، 1952، Gross). أما وارن وديلافولت (Warren and Delavault، 1960)، يعتقدان بأن طبيعة تواجد رواسر عنصرى Zn، Cu في أجزاء معينة من كولومبيا البريطانية، يمكن توضيحها ملاحظة التراكيز المستخلصة لهذين العنصرين في النماذج الطازجة من الصخور الجوفية المتصاحبة مع رواسر الخام لكلا العنصرين جدول (٣ - ١). ومع هذا فلا يمكن تحديد فيما إذا كان تواجد هذين العنصرين جاء بصورة متزامنة مع تكون الصخور الحاضنة أم كان نتيجة إضافة محاليل متمعدنة بعد تكوين الصخور الحاضنة. وأوضح سلاوسون وناكاوسكي، 1959، Slawson and Nackowski، بأن تراكيز الرصاص في معادن فلدسبار البوتاسيوم المفصولة من صخور المونزونيت "Monzonite" الحاملة للكوارتز، تزداد في مناطق تواجد مناجم الرصاص نسبة للمناطق التي لا يتواجد فيها مناجم الرصاص (جدول ٣ - ٢). ولا بد من الإشارة إلى 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 أن تراكيز العناصر Co، Ni، Sn، Li تختلف في الأطوار المتعاقبة في الجرانيت، وكما هو موضح في الجدول (٣ - ٣).

Epigenetic Patterns الصيغ المتأخرة "إبيجنيتك" ٣ - ٣

يمكن تصنيف الصيغ المتأخرة إلى نوعين أساسيين بالاعتداد على طبيعة المؤثرات التي أدت إلى تكوين هذه الصيغ:

- Co
- Ni
- Sn
- Li

المصدر: (٣) وب،

جدول (٣ - ١) ترا البلوتونية

المناطق غير المتمعدنة
مناطق رواسر النحاس
مناطق رواسر الحارصين

المصدر: (٣) وارن و

جدول (٣ - ٢) ترا الرصاص في

المناطق

بنكهام، يوتا، Utah
بارك سيتي، يوتا، h
تنتيك، يوتا، Utah
روبنسون، نيفادا، la
أبرون سيرنك، يوتا،
التراكيز الطبيعية للرصاص

المصدر: (٣) سلاوسون وديبول، 1956، il

جدول (٣ - ٣) طور من كورنول

جدول (٣ - ١) تراكيز النحاس والخصائص المستخلصة ، باستخدام الماء الملكي الحار ، من الصخور البلوتونية للمناطق المتمعدنة وغير المتمعدنة الموجودة في كولومبيا البريطانية .

عدد النماذج	عدد المناطق	نحاس الحدود	ح. م. ح. الوسط	ح. م. ح. الحدود	ح. م. ح. الوسط
33	14	0,5-13	3	16-136	49
28	4	3-120	29	3-124	50
27	4	1-124	12	35-200	105

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

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

المناطق	انتاج الرصاص	عدد النماذج	الرصاص الحدود	ح. م. ح. 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
روينسون ، نيفادا ، Nevada	ثانوي	25	9-37	14
أبرون سبرنك ، يوتا ، Utah	لا يوجد	3	12-18	15
التراكيز الطبيعية للرصاص في الفلدسبار البوتاسية *				25

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

جدول (٣ - ٣) الاختلافات بتراكيز العناصر (ج. م. ح.) النزرة في كل طور من أطوار الجرانيت المندسة والمتصاحبة مع تمعدن القصدير ، كورنول Cornwall ، انكلترا .

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

من مئات
الطبيعية
يات نشأة
"Magm
ية الاشعة
عد تمعدن
نسم الخام
لأقولت ،
رواسب
يحها من
الصخور
يمع هذا
م تكوين
الصخور
Slaws
ولة من
تواجد
٣ ،
الحقل ،
نتيجة
Co ،
مح في

ترات

Hydrothermal Dispersion Patterns

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

إن وضع الفلزات في صيغ الانتشار الحرماية عادة ما تنتج عن تأثير الحركة الكتلية للمحاليل الحرماية. أما اتجاه حركة هذه المحاليل، فهو موضوع جدل بين اختصاصي الجيولوجيا الاقتصادية، ولكن الحركة باتجاه الأعلى من المصدر في الأسفل، هو أكثر النظريات قبولاً. وفي نفس الوقت، فإن هناك شواهد على الحركة الأفقية باتجاه العروق المعدنية ومن صخور الحائط وكذلك الحركة باتجاه الأسفل ومن الأعلى. ومهما تكن ميكانيكية واتجاه حركة المحاليل الحاملة للخم، فإن الآثار التي تتركها هذه المحاليل على القنوات التي تمر بها، ذات أهمية بالغة كدليل عن الرواسب الخام. ومن التحليل الكيماوي للعناصر الشحيحة والمشخصة المترسبة 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 - صيغ إنتشار صخور الحائط Wall-Rock Dispersion Pattern

إن التأثيرات الأخرى لفعاليات المحاليل الحرماية هو التغيير الذي تحدثه في صخور الحائط، حيث تتميز كثير من الرواسب المعدنية ذات المنشأ الناري أو المحاليل الحرماية، بوجود نطاق مركزي، مثل العروق، تتركز فيه العناصر الثمينة بكميات اقتصادية، وفي معظم الأحيان، يوجد إنخفاض متدرج ومتعاقب بتراكيز هذه العناصر في الصخور المحيطة بالرواسب الخام وحتى يصل تراكيزها في هذه الصخور إلى الحد الطبيعي. ويسمى النطاق الذي تبدأ تراكيز العناصر بالإنخفاض وإلى أن تصل الحد الطبيعي. ب أوربولة صخور الحائط "Wall Rock Aureoles"، وكما هو موضح في الشكل (٣ - ١)، (٣ - ٢).

إن الصيغة الرياضية اللوغارتمية هي المتوقعة لتوزيع تراكيز العناصر في أوربولة صخور الحائط، وذلك بسبب طبيعة ميكانيكية انتقال المحاليل الحرماية بواسطة

Hydro

المعقدة
طبيعية
الحاضر ،
حرارتها

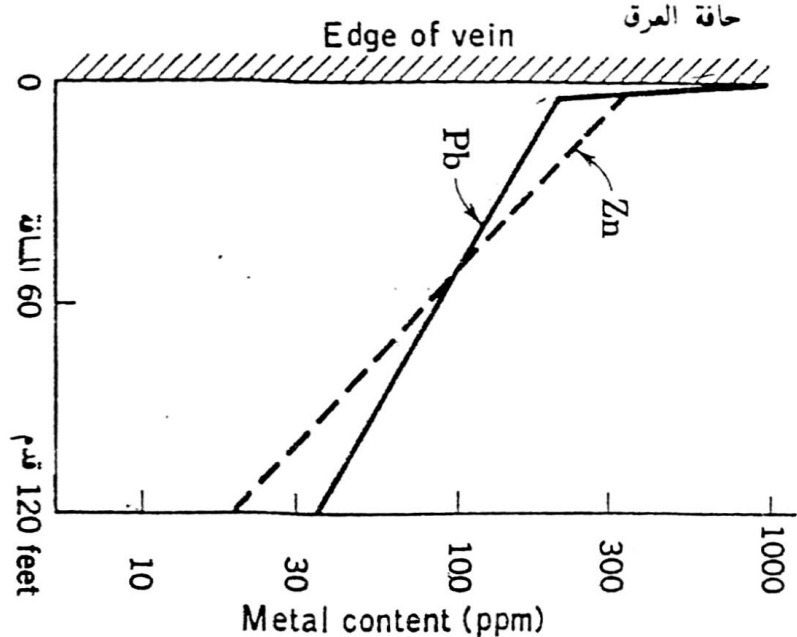
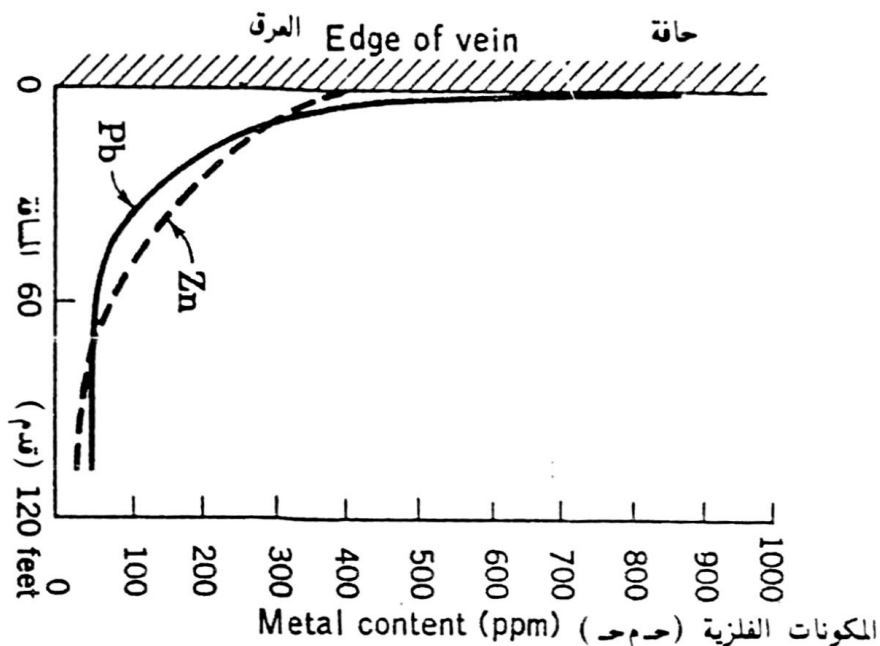
الحركة
ال بين
در في
على
بأتجاه
خام ،
بالغة
خصه
سلكه
تثيف

W:

ه في
(أو
باصر
اقب
ا في
اصر
ائط
(،

يولة
سطة

صخر



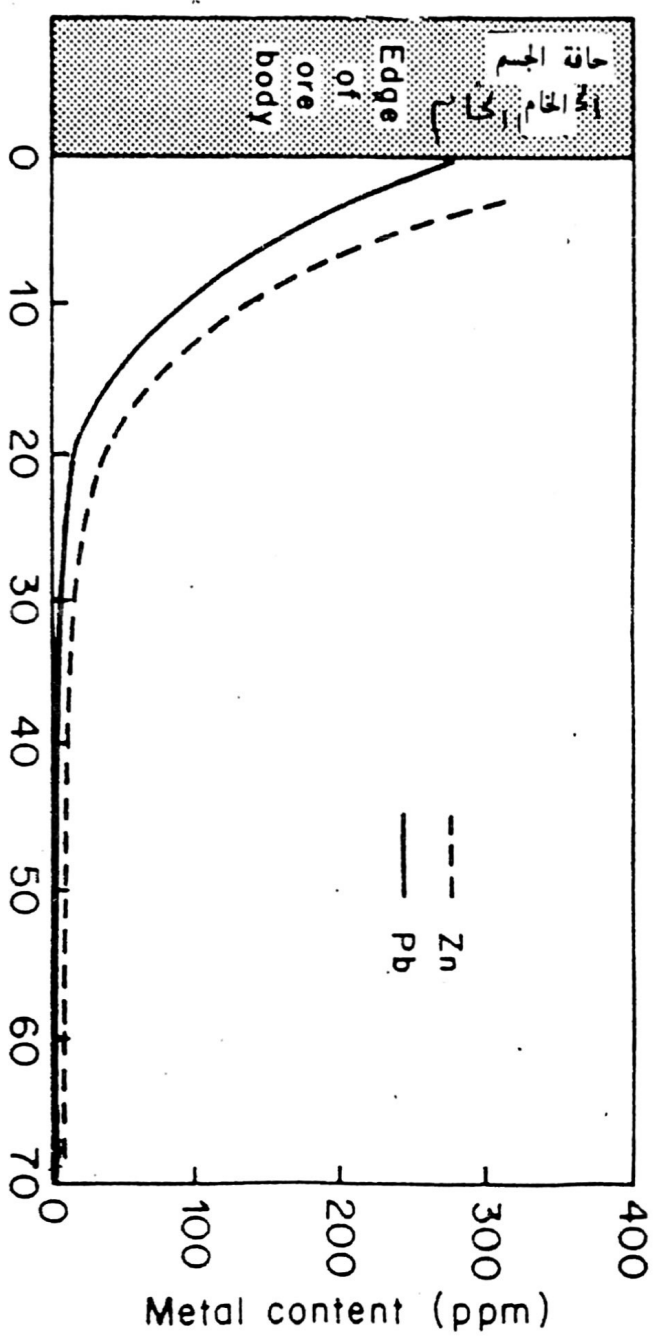
المكونات الفلزية (حجم حـ) (مقياس لوغاريتمي)

شكل (٣ - ١) أوربولة صخور الحائط المعددة بتركيز الرصاص والغازيين في صخور الكوارتز

موزونايت ، منطقة تينيك ، يوتا ، Utah .

المصدر: (٣)

موريس ، 1952 ، Morris



المسافة من الجسم الخام (القدم)

شكل (3 - 2) أوريول صخور الحائط العدة بتراكيز الرصاص والفلزات في الصخور الجيرية ،
 منبع قاييل مونتاجي ، Vielle Montage ، نتييد ، Nenthead ، انكلترة .
 المصدر : (5)
 فللايون ، 1910 ، Finlayson

الانتشار خلال وسا
 صخور الحائط ، ي
 بشكل عام ، يعتمد
 الصخور ذات الف
 الأوريول بين 5 و
 الفعالية الكيميائية
 مئات أو حتى آلاف

جدول (3 - 4)
 الكتلية
 halerite

المسافة من العرق (قدم)	المكونات
صفر	
5	
10	
15	
20	
25	
30	
40	
50	
60	
70	
80	
90	
150	

المصدر: (3) و ب ، ا

الانتشار خلال وسط مستقر . أما وجود الكسور وحتى على مقياس صغير جداً في صخور الحائط ، يؤدي الى تشويه الأوربولة ، وكما موضح في الجدول (٣ - ٤) . بشكل عام ، يعتمد عرض الأوربولة على الفعالية الكيماوية لصخور الحائط ، ففي الصخور ذات الفعالية العالية مثل الحجر الجيري والدولومايت يتحدد عرض الأوربولة بين 5 و 200 قدم عن حافة الراسب الخام مباشرة . وفي الصخور ذات الفعالية الكيماوية المنخفضة مثل الصخور النارية والمتحولة ، تمتد الأوربولة الى مئات أو حتى آلاف الاقدام من حافة الراسب الخام .

جدول (٣ - ٤) الأوربولة الرئيسية للخارصين والرصاص في صخور الحائط الكتلية والمتكسرة المتواجدة على امتداد عروق جالينا - سفاليرايت ، Galena-Sphalerite ، في ديربشاير ، Derbyshire ، انكلترا .

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

المصدر: (٢) و ب ، Webb ، 1958

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 النز خلال (أو بعد قليل) من وضع وتكوين الرواسب الخام . ففي بعض الأحيان تمثل هذه الصيغ رواسب السوائل المعدنية المتبقية والمتجهة الى الأعلى بعد أن فقدت الكمية الكبيرة من مكوناتها الكيماوية بهيئة رواسب خام .

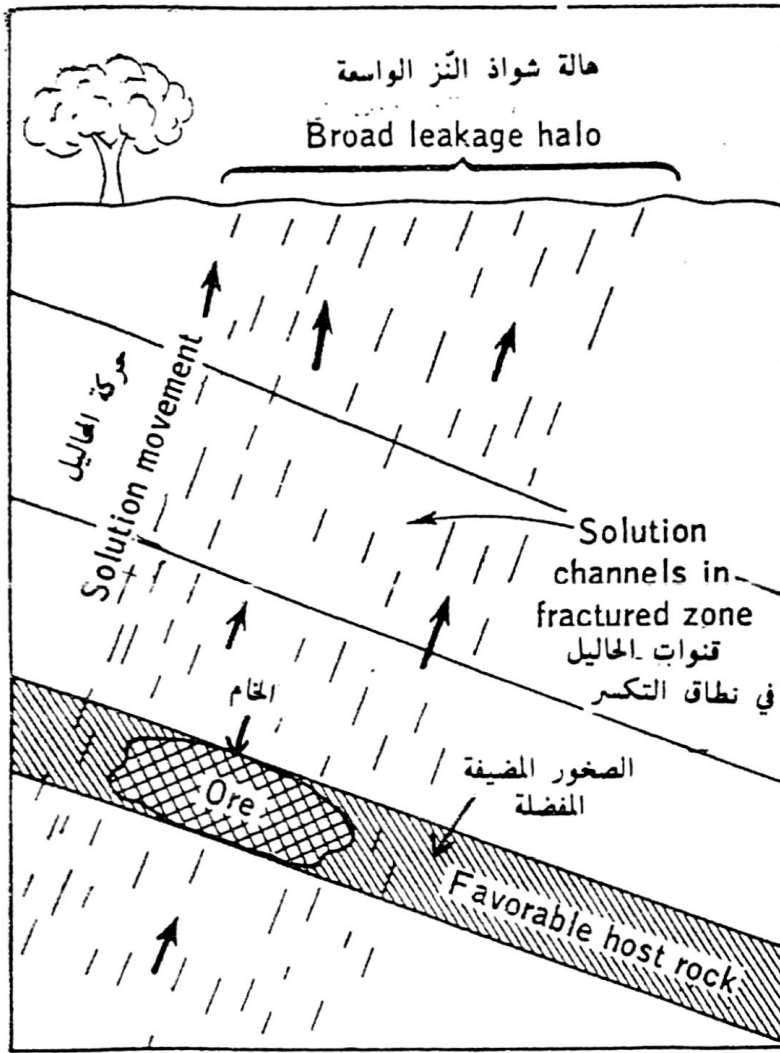
وفي أحيان أخرى ، تمثل هذه الصيغ ، المحاليل المعدنية التي ربما كانت متجهة الى تكوين الرواسب الخام ، الذي تم ازالته بفعل عمليات التعرية . ان هذا النوع من الصيغ يشابه بشكل كامل كافة جوانب الرواسب الخام ، ولكن ربما تؤثر هذه الصيغ مرور المحاليل الحرماية التي افتقرت اما الى الفرصة أو الى القابلية لترسيب تراكيز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

ان موقع صيغ انتشار النز نسبة للرواسب الخام تحت الاعماق ، يعتمد على الظروف البنيوية المحلية . فعندما تتواجد بنية رواسب الخام بشكل عمودي ، فمن المتوقع أن تتواجد صيغ انتشار النز فوق الرواسب الخام مباشرة . اما اذا كانت بنية الرواسب الخام بشكل مائل ، فإن موقع صيغ انتشار النز يزاح جانبياً عن التسقيط العمودي للجسم الخام شكل (٣ - ٣) . كما أن شكل 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 متفرقة ومحددة بالمواقع الواضحة للكسور أو الفواصل في مواد تغطية الجسم الخام (شكل ٣ - ٤) .

ج - صيغ انتشار التنطق في تركيب الجسم الخام

Compositional Zoning Patterns

يستخدم التنطق المعدني ولفترة طويلة كدليل ثابت في الكشف عن الرواسب المعدنية . ويتمثل التنطق المعدني باختلاف توزيع الكميات النسبية للمعادن الرئيسية المكونة للجسم الخام . وبالرغم من أن التنطق في التركيب الكيماوي (العناصر الثانوية) لا يختلف عن التنطق المعدني ، الا أنه أقل وضوحاً ، ويمكن تحسسه من خلال تحليل النماذج النظامية المختارة من مساحة الجسم الخام . وهناك أمثلة عديدة على التنطق في مكونات صخور الجسم الخام من العناصر الثانوية . ومن هذه الامثلة رواسب النحاس في ميشيگان "Michigan" ، امريكا ، حيث



حوض
علم

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

Leaka

صدوع ،
الخام .
الخام .
جهة الى
خام .

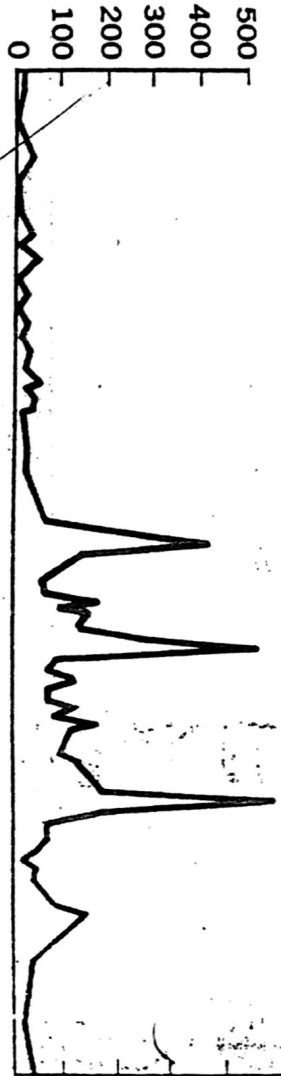
متجهة
النوع
نر هذه
القابلية

د على
، فمن
كانت
بأ عن
يعتمد
بأ ما
المواقع
.

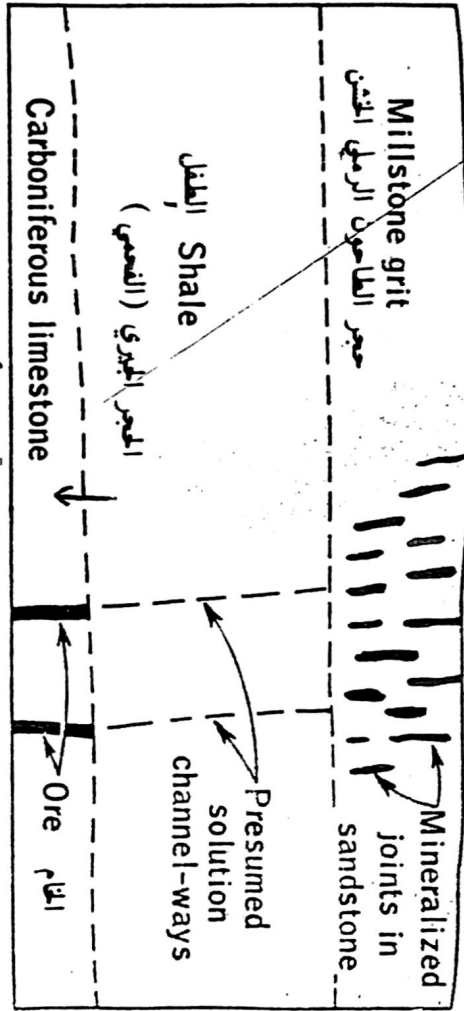
Con

اسب
مادن
اوي
يمكن
ناك
ية .
بيث

مكونات الرصاص (جم جـ)
Pb content (ppm)



العمق (800 قدم)
800 feet



المائة (100) قدم
1000 feet

شكل (٣ - ٤)

العوامل المتمدة في الحجر الرملي
قنوات المجرى المفترضة للمحاليل

شواذ الترس الممتدة بتركيز الرصاص في التربة الطبيعية ، والتي تغطي رواسب الفلزات الأساسية والمتواجدة عند عمق 700 قدم ، منجم بركوري ، Gergory Mine ، ديرشاير ، Derbyshire
استندت مدلولات الشكل على تحليل أجزاء التناجج بحجم 80 مش .
المصدر : (٣) Webb ، 1958 ، وب

يتواجد تنط
مسافة أفقية

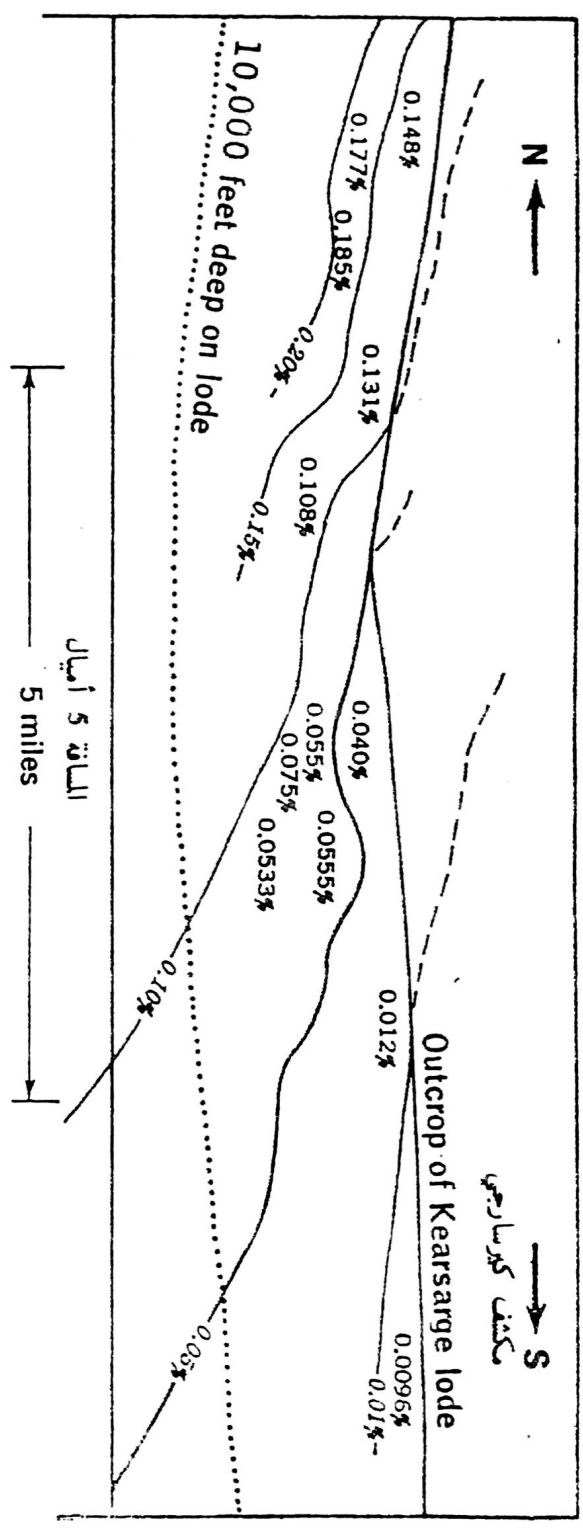
- ٣ - ٣

ان تأثية
ثانوي ، كما
الضغط خلا
الكيميائية
وتؤثر در-
والنظائرية
بتأثير الحر
الاختلاف
والكيميائية
للكشف ء
المعدني الم
Sericite
واختلاف
بالمات ، :
باتجاه الا
الخام بدر
موجبة ب
الحجم ،

يتواجد تنطق أقليمي بمكونات عنصر As في صخور الجسم الخام وعلى امتداد مسافة أفقية تقدر بـ 9 أميال وكما هو موضح في الشكل (3 - 5) .

٣ - ٣ - 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 - الضغط خلال عملية تكوين الرواسب الخام ، على الهياكل المعدنية وعلى بعض العلاقات الكيماوية والنظائرية ، والتي يمكن ملاحظتها في الاطوار المعدنية المتصاحبة . وتؤثر درجات الحرارة أو الضغط بصيغ تنطق في الخواص المعدنية والكيماوية 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 ، فإن التغييرات المعدنية والكيماوية والنظائرية تدعى بالمحارير الجيولوجية ، والتي قد تستخدم كدليل للكشف عن الرواسب الخام . ففي رواسب النحاس البورفيرى ، يتواجد التغيير المعدني المتضمن تكوين معدن الفلدسبار البوتاسية على حساب معدن البيريسايت Sericite ، بعلاقة موجبة وقوية مع تواجد الخام الرئيسي بالجودة العالية . واختلاف تراكيز الحديد في معدن السفاليرايت للنماذج المختارة من منطقة منجم بالمات ، 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 الخشنة والمتوسطة الحجم ، وبين المسافة عن الجسم الخام لمنطقة كلمان ، Gilman ، كولورادو .



شكل (٣ - ٥)
 النطاق الكيمياءوي في رواسب النحاس المر لتشكيلة كيرسارجي لود ، ميشيگان ، وكا هو واضح بخطوط
 القيم المتساوية للنسبة As : Cu .
 المصدر : (٣)
 بروديريك ، 1929 ، Broderick

٣ - ٤ ال
 NTS IN

إن درا
 الصيغ التي
 الرئيسية .
 الاستعاضى
 عملية التح
 Activity

تسلك ال
 وتتابع الاط
 المستمرة وال
 سلسلة التف
 المستمر . و
 حسب سلا
 المكونة لهذه

أما سل
 هذه العنا
 ويمكن تقسي
 الشحنة الا

طوراً معد
 سوف تغادر
 Co ، Ni
 Zr ، W

عملية الت
 التبلور الما
 CO₂ ، ت
 هذه السوا
 الحرماية
 الكلوريد ،
 معقدات ف
 الفلزية .

GEOCHEMICAL BEHAVIOUR OF ELEMENTS IN PRIMARY ENVIRONMENT

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

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

أما سلوك العناصر النزرة خلال عملية التبلور الماكمي ، فيعتمد على قابلية هذه العناصر على الدخول في الأطوار المعدنية المنفصلة من المنصهر الصخري . ويمكن تفسير سلوك هذه العناصر بالاعتماد على ثلاثة عوامل : نصف القطر الايوني ، الشحنة الايونية ، نوع الأصرة الكيميائية . فالعناصر النزرة التي لها ميول لتكوين طوراً معدنياً خاصاً بها ، أو التي لها ميول للدخول في الأطوار 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 ، W ، Hf ، والعناصر الترابية النادرة ، فسوف تبقى في الطور السائل خلال عملية التبلور الماكمي ويتركز الجزء الأكبر منها في السوائل المتبقية من عملية التبلور الماكمي ، والغنية بالماء . وتواجد المكونات الأخرى مثل HF ، HCl ، CO₂ ، تعمل على زيادة الحركة في السوائل السليكانية المتبقية . وربما تؤدي هذه السوائل المتبقية (بمكوناتها من عناصر المرحلة المتأخرة) إلى تكوين الهاليل الحرمائية . ويعتمد تكوين الرواسب الخام من هذه الهاليل على مكوناتها من الماء ، الكلوريد ، الفلزات الأساسية ، الكبريت ، حيث تؤدي هذه المكونات إلى تكوين معقدات فلزية لها صفات كيميائية تختلف عن الصفات الكيميائية لأيونات العناصر الفلزية . وأهم المعقدات الفلزية هي معقدات الكلوريدات والفلوريدات .

والكبريتيدات . ودراسة هذه المعقدات الفلزية ، يؤدي الى شرح تكوين الرواسب
الحرمائية الخام . ويعتقد بأن نفس الضوابط المؤشرة فيما تقدم ، تتحكم في سلوك
العناصر خلال عمليات التحول .

إن اعتبار المنصر 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 الكربونية / وادي
الميسيبي ، Mississippi .

الفصل

NMENT

الرواسب
في سلوك

الغثة ،
لجميع
اعتبار
الفلزية
الحيوية
واخيراً
ق نفاذ
وادي

الفصل الرابع

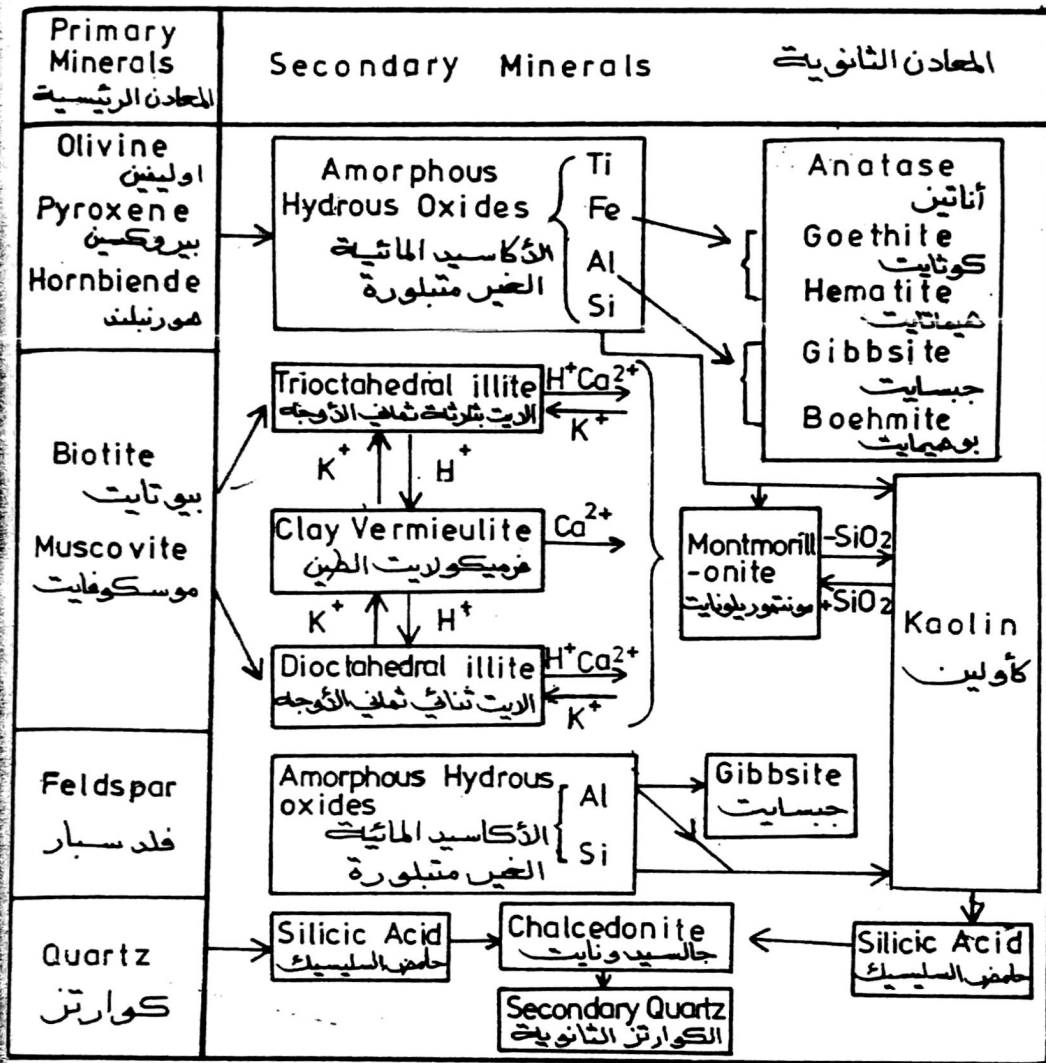
البيئة الجيوكيميائية الثانوية
عمليات التجوية

SECONDARY GEOCHEMICAL ENVIRONMENT
WEATHERING PROCESSES

تنتقل معادن وصخور البيئة الرئيسية إلى البيئة الثانوية من خلال الحركات الأرضية وعمليات التجوية والتعريه (شكل ٢ - ١). ويؤدي هذا الانتقال إلى فقدان حالة التوازن والاستقرار التي كانت عليها هذه المعادن والصخور في ظروف بيئة تكوينها التي تمتاز بارتفاع درجات الحرارة والضغط والحركة المحدودة للسوائل وتواجد كميات قليلة نسبياً من الاوكسجين الطليق، أما ظروف البيئة الثانوية، فتمتاز بانخفاض درجات الحرارة والضغط والحركة الطليقة للسوائل وتوفر كميات كبيرة من الماء وثاني اوكسيد الكربون والاكسجين الطليق. وفي مثل هذه الظروف، تكون معظم المعادن المتكونة عند الاعماق، البيئة الرئيسية، غير مستقرة، ويطراً عليها كثير من التغييرات بهدف الوصول إلى حالة التوازن والاستقرار في الظروف الجديدة البيئة الثانوية.

بشكل عام، تؤدي الاختلافات في درجات الحرارة والضغط والمكونات الكيماوية إلى تكوين أطوار جديدة، تمتص هذه الاختلافات. فمثلاً زيادة الضغط على معدن الكوارتز يؤدي إلى تكوين معادن السليكا بوزن نوعي أكبر نسبياً مثل معدن الكوسايت، Coesite (و.ن. 3,01) ومعدن الستيشوفاييت، Stishovite (و.ن. 4,35). وتأثير انخفاض درجة الحرارة على الصيغ العالية الحرارة لمعدن الكوارتز والتريديمايت، Tridymite، والكريستوبالاييت، Cristobalite، يؤدي إلى تكوين الصيغ المنخفضة الحرارة لهذه المعادن. وزيادة تركيز أيون الحارصين. عن (107) حم- في المياه الطبيعية لمنطقة رواسب ZnS يؤدي إلى ترسيب معدن السميثوناييت ($ZnCO_3$) في حالة توفر الظروف الملائمة. يوضح الشكل (٤ - ١) تسلسل تكوين المعادن الثانوية الجديدة، الناتجة من تأثير عمليات التجوية على المعادن الرئيسية للصخور النارية. وتختلف المعادن المكونة للصخور النارية في قابليتها على مقاومة التجوية، فالمعادن مبكرة التبلور من الصهير البزالتية لها مقاومة أقل لعمليات التجوية نسبة للمعادن المتأخرة التبلور (شكل ٤ - ٢). ولغرض التمثيل الكمي لقابلية مقاومة المعادن لعمليات التجوية، فقد تم حساب معامل جهد التجوية، Weathering Potential Index، لختلف المعادن والمؤشرة في الجدول (٤ - ١).

بشكل عام، يمكن تمييز نوعين رئيسيين من التجوية، وهما التجوية الكيماوية والتجوية الفيزيائية، غير أن التجوية الكيماوية أكبر تأثيراً على مكونات الصخور، نسبة للتجوية الفيزيائية. وغالباً ما تساعد العوامل الحياتية هذين النوعين من التجوية، حيث ربما تؤثر هذه العوامل وبشكل متزامن مع كل من النوعين من التجوية وعلى نفس الصخور.

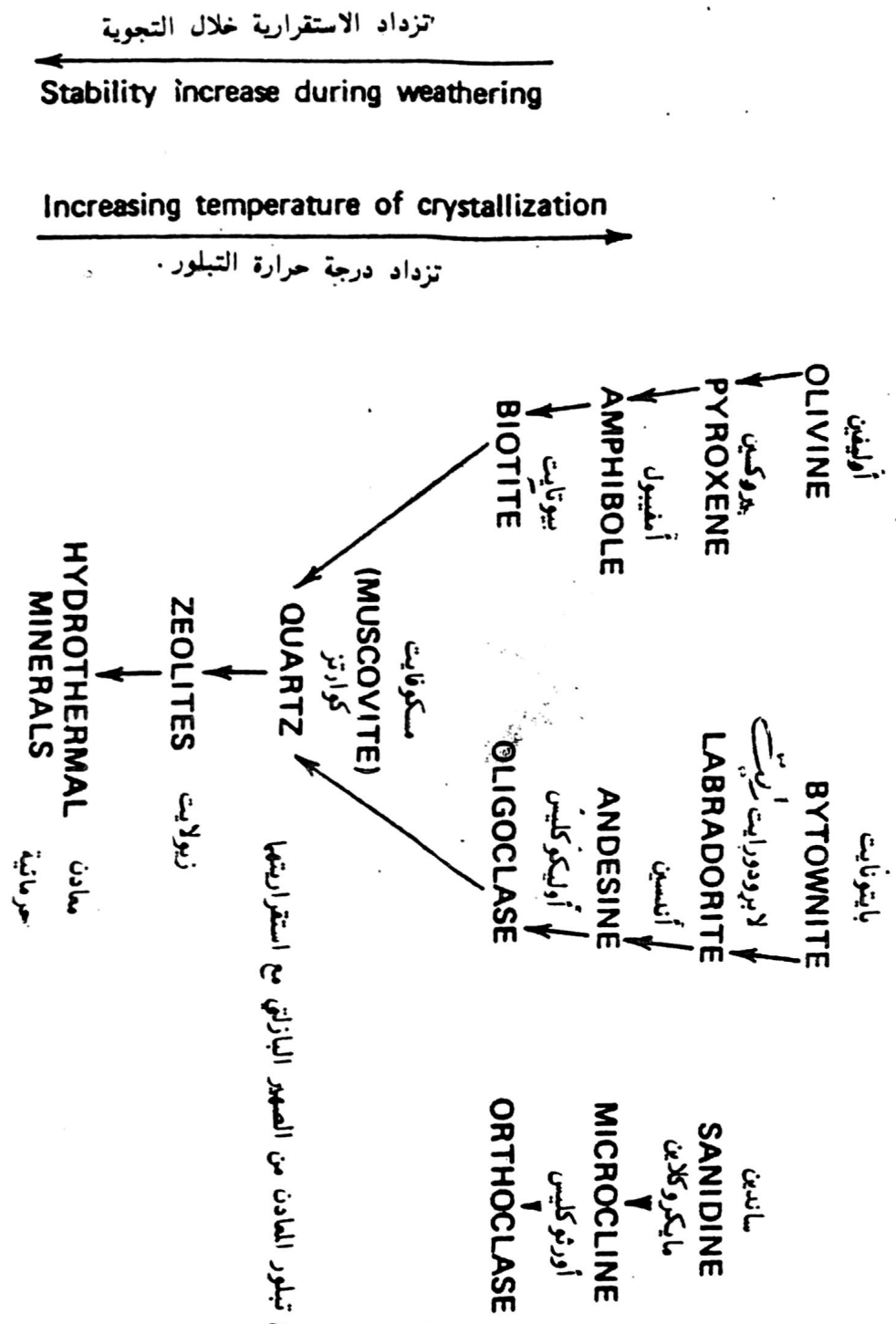


اوليفين
OLIVINE

بيوتايت
BYTOWNITE

شكل (٤-١) :- تسلسل وتتابع تجوية المعادن الرئيسية المكونة للصخور النارية .

المصدر (٧) :- فيلدز و سوينديل . (Swinedale and Swinedale 1954)



المصدر: (٧)
 كولدبيج ، 1938 ، Goldich
 بونين ، 1928 ، Bowen

جدول (٤ - ١) معامل جهد التجوية (WPI) لعدد من المعادن المختارة

$$WPI = \frac{100 \times \text{moles (Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} + \text{CaO} + \text{MgO} - \text{H}_2\text{O)}}{\text{moles (Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} + \text{CaO} + \text{MgO} + \text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3)}$$

WPI	المعدن	WPI	المعدن
22	"Biotite"	66	"Forssterite"
17	"Leucite"	54	"Olivine"
13	"Albite"	50	"Wollastonite"
12	"Orthoclase"	50	"Enstatite"
0	"Quartz"	50	"Diopside"
0	"Sillimanite"	40	"Tremolite"
-10,7	"Muscovite"	39	"Augite"
-17	"Analcite"	36	"Hornblende"
-20	"Pyrophyllite"	29	"Talc"
-67	"Kaolinite"	25	"Nepheline"
-100	"Boehmite"	25	"Anorthite"
-300	"Gibbsite"	23	"Epidote"

المصدر: (٧)

لوخنان ، 1969 ، Loughnan.

تبدأ عمليات التجوية بتقدم التفتت وتحلل الصخور في مواقعها بفعل المؤثرات الفيزيائية والكيميائية ومساعدة الفعاليات الحيوية بشكل مباشر أو غير مباشر. وتعتمد نسبة مشاركة المؤثرات الفيزيائية والكيميائية والفعاليات الحيوية في عمليات التجوية على البيئة التي تؤثر فيها هذه العمليات. ففي البيئة الجافة الصحراوية أو المناطق المنجمدة وكذلك المناطق ذات التضاريس الحادة يكون تأثير التجوية الفيزيائية هو الغالب في تحلل وتفتت الصخور. أما في الظروف الأخرى يكون تأثير التجوية الكيميائية هو الغالب في تحديد طبيعة النواتج المتكونة في جميع مواقع نطاق التجوية. غير أن تأثير العوامل الحياتية، يكون محدوداً بنطاق تكوين التربة القريبة من السطح. بشكل عام، تؤدي عمليات التجوية إلى تكوين النواتج المؤثرة في الجدول (٤ - ٢). ويتمثل خليط المعادن الجديدة والمعادن المقاومة والمواد العضوية المتواجدة على سطح الأرض بالريكوليث، Regolith، وتأثير العمليات الحيوية، يتفاضل هذا الخليط إلى طبقات أو مقاطع تمثل مقاطع

التربة . ويمكن لهذا الخليط في أية مرحلة من مراحل التجوية أن يتعري ، ينتقل أو يترسب في مواقع احواض الترسيب .

الجدول (٤ - ٢)

النواتج الطبيعية لعمليات التجوية بالإضافة الى التغيرات الفيزيائية التي تطرأ على الصخور الاصلية .

H_4SiO_4 , Mg^{2+} , K^+ , Ca^{2+} , Na^+	1- المكونات الذائبة
Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^-	
كوارتز ، Quartz ، زركون ، Zircon ، ماجنتايت ، Magnetite ، المينايت ، Ilmenite ، روتايل ، Rutile ، جارنت ، Garnet ، سفين ، Sphene ، تورمالين ، Tourmaline ، مونازايت ، Monazite ، كاولونايت ، Kaolinite ، مونت موريلونايت ، Montmorillonite ، الايت ، Illite ، كلورايت ، Chlorite ، هياتايت ، Hematite ، جوثايت ، Goethite ، جبسايت ، Gibbsite ، بوهمايت ، Boehmite ، دياسبور ، Diaspore ، السليكا غير المتبلورة ، Amorphous Silica ، بيرولوسايت ، Pyrolusite	2- المعادن الرئيسية المتبقية
الحوامض العضوية ، Organic Acid ، مواد الهيومس ، Humic Substances ، كيروجين ، Kerogen	3- المعادن الثانوية (الجديدة)
	4- المركبات العضوية

المصدر: (١) براونلوا ، 1979 ، Brownlow .

أما المكونات الذائبة ، فتنتشر وبشكل أساسي في مسارات المياه لأنظمة التصريف ، وفي التربة وخلال العمليات الحياتية للنباتات . وخلال هذا الانتشار ، يمكن أن تفرق بسلوكها أيونات بعض العناصر المتصاحبة في البيئة الرئيسية ،

حيث تترسب في مناطق متباعدة بعضها عن البعض . أما أيونات البعض الآخر من العناصر ، فتبقى في المحاليل ، والتي تمثل فيما بعد المكونات الذائبة لياه البحار والمحيطات .

تعتبر البيئة الثانوية ذات أهمية كبيرة جداً في الاستكشاف الجيوكيميائي بسبب أن معظم برامج الاستكشاف تعتمد على نماذج البيئة الثانوية (تربة ، رواسب ، مياه) ، كما أن الانتشار الثانوي يحدث على مساحة أكبر نسبياً مقارنة بمساحة الانتشار الرئيسي .

٤ - ٢ التجوية الكيميائية Chemical Weathering

تتضمن التجوية الكيميائية تحطيم الصخور والمعادن بفعل كيميائي وانتشار العناصر المتحررة خلال الوسط المائي (عادة) ولسافات متفاوتة عن المصدر . يتطلب هذا النوع من التجوية توفر المياه والمواد الذائبة فيها وثنائي اوكسيد الكربون والأوكسجين الطليق والمواد العضوية والتي بمجموعها تؤثر من خلال تفاعلات كيميائية معينة على الصخور المتواجدة عند أو بالقرب من سطح الارض . وتكون لهذه التفاعلات القدرة على إحداث تغييرات متفاوتة في المكونات المعدنية للصخور ، وفي الحالات المتطرفة تصل التغييرات الناتجة في التركيب والصفات والنسيج إلى الحد الذي تحو فيه بالكامل تقريباً الطبيعة الاصلية للصخور الأم . مثال : عند الظروف الملائمة يمكن أن تتحول الصخور النارية الخشنة التبلور إلى خليط من المعادن الطينية الناعمة جداً . وربما تذوب وتغسل الصخور الجيرية والدولوميت بالكامل تاركة جزءاً متبقياً يمثل الفضالة الغير ذائبة . أو ربما يتكون اوكسيد الحديد المائي وأوكسيد الالمنيوم (لاترايت ، Laterite ، بوكسايت ، Bauxite) أو كاربونات الكالسيوم (كاليجي ، Caliche ، كالكريت Calcrete) وبسبب ملحوظ على حساب عدد من الصخور المختلفة .

بشكل عام ، تتسلسل المعادن المكونة للصخور حسب مقاومتها للتجوية الكيميائية كالآتي :

كاربونات ، Carbonates > اوكسيدات ، Oxides > سليكات ، Silicates .
كبريتيدات ، Sulfides >

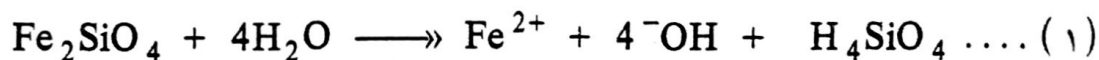
بسبب سهولة توفير ظروف التجوية الكيميائية في المختبرات والمتمثلة بدرجات الحرارة والضغط المنخفضين ، وتوفر المياه وثنائي اوكسيد الكربون والاكسجين الطليق ، يمكن دراسة ومتابعة النواتج الحقلية للتجوية الكيميائية تجريبياً في

المختبرات . لهذا يعتقد بأن التجوية الكيميائية من العمليات الجيوكيميائية المفهومة بشكل مناسب . وبالرغم من أن هذا صحيح لكثير من الحالات ، إلا أن هناك بعض التعقيدات الناتجة من تصاحب المؤثرات الفيزيائية والحياتية مع التجوية الكيميائية . مثال : انتفاخ بعض المعادن بسبب امتصاصها للماء ، مما يؤثر على تفاعلات التجوية الكيميائية . يضاف الى هذا ، فان تفاعلات التجوية الكيميائية البطيئة جداً وعلى الاخص التفاعلات التي تحدث عند درجات الحرارة المنخفضة ، يصعب تمثيلها في المختبر .

يمكن الاعتقاد ، بأن التجوية الكيميائية تتضمن تفاعلات كيميائية بسيطة ، وهي :

١ - التحلل المائي Hydrolysis

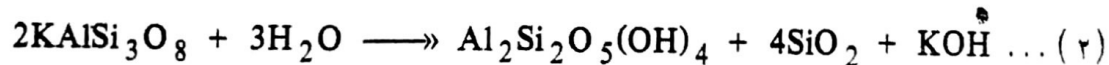
تعتبر تجوية المعادن السليكاتية بالاساس تفاعلات تحلل مائي ، والمثال البسيط على هذه التفاعلات هو التحلل المائي لمعدن الاوليفين الغني بالحديد ، فايلايت ، Fayalite ، عند الدالة الحامضية (7) والمتمثلة بالمعادلة التالية :



تفسير المعادلة

يزداد تأثير المياه على المعادن السليكاتية بزيادة حموضتها . مثال : مياه الامطار في حالة توازن مع ثاني اوكسيد الكربون لها دالة حامضية (5,7) . ومياه الامطار في المناطق الصناعية لها دالة حامضية تصل الى (3) ، ومياه المناطق ، ذات الفعاليات البركانية والمياه القريبة من عروق الكبريتيدات لها دالة حامضية منخفضة . وهذه الانواع من المياه لها . فعالية كبيرة خلال التجوية الكيميائية للمعادن السليكاتية .

أما تفاعلات التحلل المائي الاكثر تعقيداً فيمكن تمثيلها بالتحلل المائي لمعدن الاورثوكليز وحسب المعادلة الآتية :



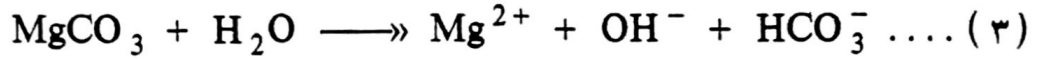
أورثوكليز

كاولونائيت

يتضح من المعادلة (١) و (٢) زيادة الدالة الحامضية للمياه التي على تماس

وباستمرار مع الصخور النارية ، غير أن هذه الزيادة لاتصل اكثر من 9 بسبب تفاعل جذر الهيدروكسيل مع عدد من اشكال السليكا الناتجة من هذه التفاعلات .

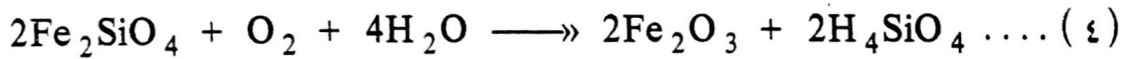
تتضمن التجوية الكيميائية لمعادن الكربونات كذلك تفاعلات التحلل المائي ، وكما هو واضح في المعادلة الآتية ، التي تمثل التحلل المائي لمعدن الماجنسيت ، Magnesite ، حيث تزداد الدالة الحامضية للمياه الملامسة للصخور الكربونية .



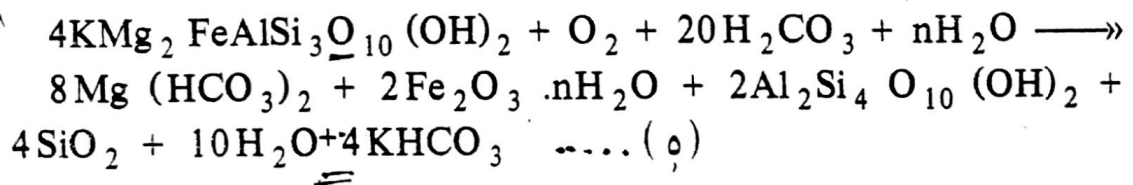
معدن الماجنسيت

٢ - الأكسدة Oxidation

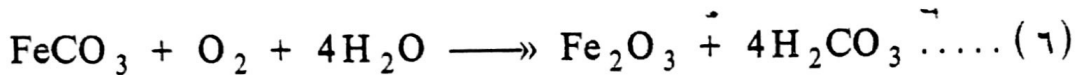
يعتبر تأثير تفاعلات الأكسدة هو الغالب خلال عمليات التجوية ، وبالتالي فهي مهمة في الاستكشاف الجيوكيميائي . ويعتبر فهم تأثير هذه التفاعلات على عناصر الحديد والمنغنيز والكبريت ، أساسي لتوضيح دور تفاعلات الأكسدة في الاستكشاف الجيوكيميائي ، وذلك بسبب أن هذه العناصر الثلاثة هي الأكثر تواجداً في المعادن المكونة للصخور والرواسب الخام ، والتي تتأثر بتفاعلات الأكسدة . وتتصاحب عادة تفاعلات الأكسدة مع تفاعلات التحلل المائي ، Hydrolysis ، التميؤ Hydration ، الكربنة Carbonation ، مثال : تفاعل الأكسدة لمعدن الفايلايت مع المياه التي تحتوي على أوكسجين أو هواء مذاب وحسب المعادلة الآتية :



وهذه المعادلة لا تختلف كثيراً عن المعادلة (١) باستثناء تأكسد الحديدوز إلى الحديديك ، الذي يحصل حتى في معادن السليكات الأكثر تعقيداً ، وتوضح المعادلة الآتية تفاعلات الأكسدة لمعدن البيوتايت بتواجد حامض الكربونيك

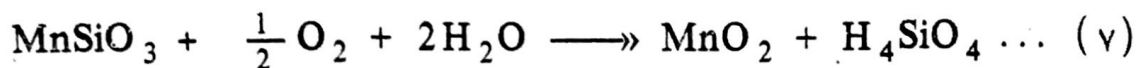


ويتأكسد معدن السيدرايت ، Sederite ، حسب المعادلة الآتية :



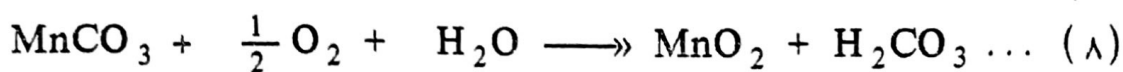
ويؤثر حامض الكاربونيك المذاب في الماء (المعادلة (٦) في أكسدة معادن الحديد
الآنفة الذكر .

أما بالنسبة لعنصر المنغنيز ، فإنه يتأكسد بطريقة مشابهة لأكسدة الحديد مع
بعض التعقيدات الناتجة من تواجد المنغنيز بثلاثة صيغ أيونية وهي
 Mn^{4+} , Mn^{3+} , Mn^{2+} ، حيث يكون Mn^{4+} أكثر استقراراً . والمعادلات
التالية توضح أكسدة بعض معادن المنغنيز .



Rhodonite

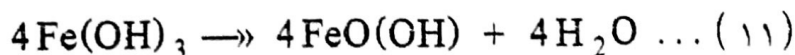
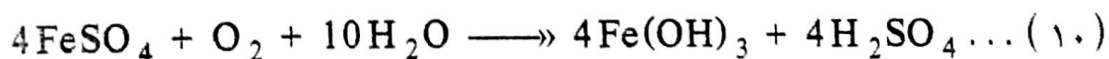
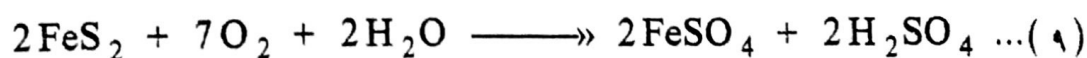
رودونايت



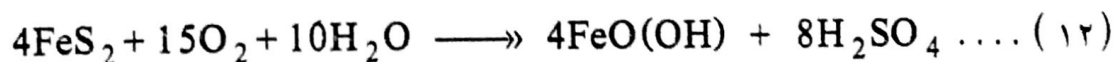
Rhodochrosite

رودوكروسايت

وتعتبر تفاعلات أكسدة الكبريت أكثر أهمية في الاستكشاف الجيوكيميائي ،
حيث يتواجد الكبريت S^{2-} في ظروف البيئة الرئيسية . وكما هو الحال لعنصر
المنغنيز ، يتواجد الكبريت بعدد من الصيغ الأيونية $S^{6+} - S^0$ ويعتبر S^{6+} أكثر
استقراراً . والمعادلات الآتية توضح تأكسد معدن البيرايت ، Pyrite ، ومعدن
الماركسايت ، Marcasite ، والتي تعتبر أكثر معادن الكبريتيدات تواجداً في
الطبيعة .



وبإضافة المعادلات (٩) و (١٠) و (١١) الى بعضها البعض

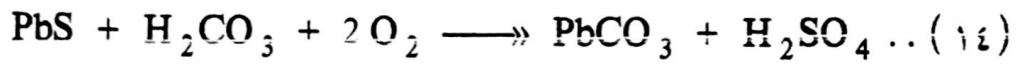


ويمكن أن تستمر هذه التفاعلات ، وذلك من خلال أكسدة حامض الكبريتيك
لمعدني البيرايت والماركسايت حسب المعادلة التالية :



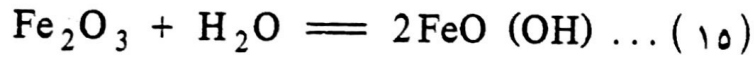
كما أن أكسدة كبريتات الحديدوز الناتجة من المعادلة (٩) تؤدي إلى تكوين حامض الكبريتيك وحسب المعادلة (١٠).

يؤثر حامض الكاربونيك المذاب في الماء على أكسدة كبريت المعادن الكبريتيدية. والمعادلة التالية توضح أكسدة معدن الجالينا Galena، وتكوين معدن السيروسايت، Cerussite.



(٣) التميؤ Hydration

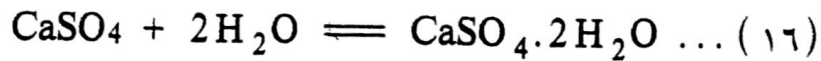
يتضمن التميؤ اتحاد جزيئات الماء مع بعض المعادن، الذي يؤدي إلى تغيير في التركيب المعدني للمعدن الأصلي. مثال: إضافة جزيئة ماء إلى أوكسيد الحديد (معدن الهيماتيت، Hematite، حسب المعادلة الآتية)



Hematite
هيماتيت

Limonite
ليمونايت

كذلك إضافة جزيئين من الماء إلى معدن الأنهدرايت، Anhydrite،



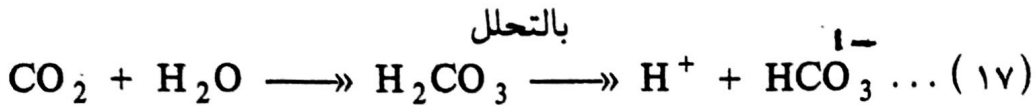
Anhydrite
أنهدرايت

Gypsum
جبس

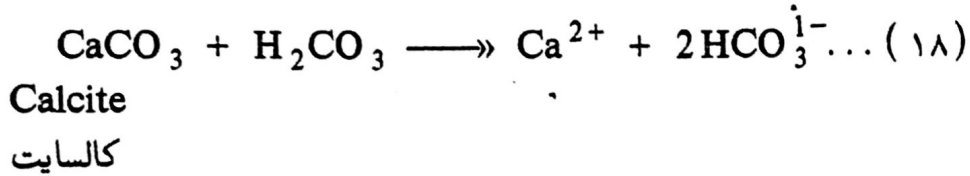
ويتميز هذان التفاعلات بسرعتها البطيئة، بسبب تواجد معادن طرفي هذين التفاعلين في الطبيعة.

Carbonation الكربنة (٤)

وهو تفاعل المعادن مع حامض الكربونيك الناتج من إذابة ثاني أوكسيد الكربون (الموجود في الجو أو التربة) في المياه ، وحسب المعادلة الآتية :

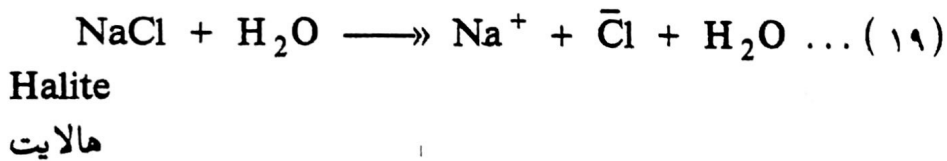


وأيون الهيدروجين الناتج من تحلل حامض الكربونيك ، يساعد في تحلل المعادن . مثال : تفاعل حامض الكربونيك مع معدن الكالسيت حسب المعادلة الآتية :

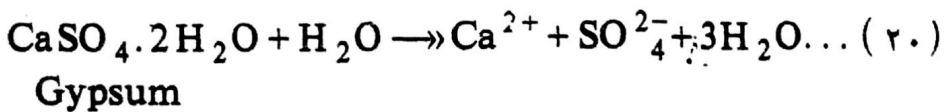


Ionization التآين (٥)

يتضمن ذوبان المعادن وانتقال مكوناتها من العناصر الكيميائية الى المياه وعلى هيئة أيونات ذائبة ومستقرة . مثال : تآين معدن الهالايت ، Halite ، حسب المعادلة الآتية :



وتآين معدن الجبس ، Gypsum ، حسب المعادلة الآتية :



وتختلف تراكيز ايونات العناصر الذائبة في المياه باختلاف نوعية المعادن . وتعرف كمية أيونات العناصر الذائبة بـ حاصل الذوبان Solubility Product ، ويبلغ حاصل الذوبان لمعدن الكالسيت في المياه المقطرة $4,5 \times 10^{-9}$ ، ولمعدن

السيدرايت ، siderite $2,0 \times 10^{-11}$ ، ولمعدن الاراكونايت ، Aragonite $6,0 \times 10^{-9}$.

٤ - ٣ التجوية الفيزيائية Physical Weathering

بشكل عام ، تلعب التجوية الفيزيائية دوراً ثانوياً في عمليات التجوية على سطح الارض ، لكنها مهمة لسببين : الأول عام ، حيث تهيم التجوية الفيزيائية الصخور للعمليات اللاحقة الأقوى فعالية ، والخاصة بالتجوية الكيميائية (باستثناء المناطق الجافة) ، وذلك من خلال زيادة المساحة السطحية للصخور والمعرضة للتأثيرات الكيميائية . والثاني ، خاص بالمناطق التي تكون فيها التجوية الكيميائية غير فعالة كما في المناطق الباردة جداً و / أو المناطق الجافة جداً ، كذلك في المناطق ذات التضاريس الحادة . وعلى عكس التجوية الكيميائية ، تؤدي التجوية الفيزيائية الى تفتت الصخور مع تغيير ضئيل (أحياناً دون تغيير) في تركيبها الكيميائي .

يعتبر تكوين مجاميع الكسور والفواصل في الصخور ، أولى مراحل التجوية الفيزيائية ، حيث تنتج هذه الملامح بسبب إزالة الغطاء الصخري (تفريغ الحمولة) بتأثير عمليات التعرية . إن إزالة الجهد Stress من هذه الصخور يؤدي ببلورات المعادن المكونة لها بالتمدد باتجاهات ومعدلات مختلفة ، مما ينتج عنه تركيز جهد القص Shear Stress عند حدود حبيبات المعادن والذي ينعكس بهيئة كسور باتجاهات الواجه البينية لبلورات المعادن . كما يعتقد بأن الشقوق يمكن أن تتكون بسبب التمدد والتقلص للصخور ، نتيجة الاختلافات في درجات الحرارة ، غير أن هذا الاعتقاد لا يؤخذ به بنفس القوة التي طرح به سابقاً ، بسبب أن الجهد المتكون بهذه الطريقة وعلى الأقل بالنسبة لصخور الجرانيت أصغر من الشدة المطاطية Elastic Strength لصخور الجرانيت ، ومهما يكن سبب تكوين الشقوق ، فإن هناك عدداً من القوى التي تلي تكوينها والتي ربما تؤثر مع بعضها البعض على توسيع الشقوق ، وبالتالي زيادة تكسير الصخور . فمثلاً ، في المناطق الباردة ذات المعدلات العالية من الامطار ، يكون لتمدد الماء المتجمد في الشقوق تأثير كبير على زيادة تكسير الصخور . كما أن الشقوق المتكونة من الانصهار والانجذاب المتعاقب للماء سوف تتوسع بالنهاية ، وتصبح مهيئة لعمليات التجوية الكيميائية . أما في المناطق الصحراوية التي تفتقر لتواجد المياه ، يلعب عامل الرياح دوراً أساسياً في التجوية الفيزيائية والتعرية .

تعتبر التجوية الحياتية إحدى مراحل التجوية الفيزيائية والكيميائية ، ولا يمكن فصلها عن بعضها البعض ، ولكن يعتبر دور الجوانب الكيميائية للعوامل الحياتية أكبر تأثيراً وأهمية من دور هذه العوامل في التجوية الفيزيائية ، حيث لا يعتمد هذا الدور في التجوية الفيزيائية عن خلط وفرز للمواد الصخرية القريبة من السطح من قبل بعض الحيوانات كالديدان والأرضة والقوارض ، كذلك توسيع الشقوق الموجودة في الصخور من خلال غرز جذور النباتات ، وبالتالي زيادة نفاذية هذه الصخور ، مما يسمح دخول الماء والهواء وتعجيل عملية التجوية الكيميائية .
أما دور الفعاليات الحياتية في التجوية الكيميائية ، فيكون باتجاهين :

الأول : تكوين مواد كيميائية عضوية ولاعضوية (حوامض ، قواعد ، غازات) لها دور مؤثر في التجوية الكيميائية . مثال : عند الظروف المحلية ، تعتبر الحمضية العالية المتكونة عن نهايات جذور النباتات ، كمؤثرات قوية في التفتيت الكيمياوي للصخور . كما ان الاوكسجين وثنائي اوكسيد الكربون اللذان تضبطها عملية التنفس للنباتات ، من اكثر المواد أهمية في عملية التجوية الكيميائية . وتوفر أنسجة النباتات مواد أولية لعدد من المركبات العضوية التي تشارك مباشرة في التفاعلات الكيميائية لعملية التجوية . وتلعب البكتريا والفطريات ، Fungi ، دوراً أساسياً ومسؤولاً في اكسدة المعقدات العضوية التي ينتج عنها بالنهاية الماء وثنائي اوكسيد الكربون .

الثاني : اكسدة أو اختزال بعض العناصر الكيميائية المكونة للمعادن من قبل بعض الاحياء المجهرية ، والتي تعتبر من قابلية ذوبان وانتشار هذه العناصر في الوسط الناقل لعملية التجوية . وتلعب الاحياء المجهرية دوراً بارزاً في الدورة الجيوكيميائية لعدد من العناصر . فبعض أنواع البكتريا التي تعيش في وسط حامضي (PH = 2-3) لها القابلية على اكسدة أو اختزال عدد من العناصر الكيميائية المكونة للمعادن . فالبكتريا من جنس فيروباسيلوس "Ferrobacillus" لها القابلية على اكسدة الحديدوز . والبكتريا من جنس ثايوباسيلوس ، Thiobacillus ، لها القابلية على اكسدة معادن الكبريتيدات ، والانواع الاخرى منها لها القابلية على اكسدة مركبات الكبريت المختزلة الى كبريتات . اما البكتريا من جنس ثايوباسيلوس فيروأكسيدانس ، Thiobacillus Ferro oxidans ، فلها القابلية على اكسدة مركبات الحديد والكبريت ، في حين أن البكتريا من جنس ثايوباسيلوس ثايوأكسيدانس ، Thiobacillus Thio oxidans ، والموجودة في

التربة ، لها القابلية على اكسدة المنغنيز من $2+$ إلى $4+$ وهذا ربما يفسر الافتراق النسبي لتواجد المنغنيز عن الحديد في الطبيعة والبكتريا اللاهوائية من جنس ديسلفوفبريوا ، Desulfovibrio ، وديسلفوتومكولم ، Desulfotomaculum ، لها القابلية على اختزال جذر الكبريتات الذائب في الماء (مثلاً) الى غاز كبريتيد الهيدروجين ، الذي يؤدي الى تكوين كبريتيد بعض العناصر الذائبة في المياه مما يغير معدلات ذوبان أيوناتها في الماء .