الدكتور
فارس عبد العليم السعد

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 الارض كلية العلوم
جامعة الموصل

حقوق الطبع © محفوظة (١٤٠٨ هـ ـ ١٩٨٨ م)
لمديرية دار الكتب للطباعة والنشر
جامعة الموصل

لا يجوز تصوير أو نقل أو أعادة مادة الكتاب
وبأي شكل من الاشكال الا بعد موافقة الناشر

نشر وطبع وتوزيع :
مديرية دار الكتب للطباعة والنشر
شارع ابن الاثير ـ الموصل
الجمهورية العراقية
هاتف ٧٦٣٤٣١
٧٦٣٢٣٥
تلكس ٨٠٩٢

محتويات الكتاب

المقدمة رقم الصفحة

الفصل الاول المدخل ١٧
١ ـ ١ تعريف الاستكشاف الجيوكيميائي ٢٩
١ ـ ٢ طرق الاستكشاف الجيوكيميائي في اعمال التحري المعدني ٢٠
١ ـ ٣ خلفية تأريخية حول تطبيقات الاستكشاف الجيوكيميائي ٢٢
١ ـ ٤ فاعلية تطبيقات طرق الاستكشاف الجيوكيميائي ٢٥

الفصل الثاني مباديء أساسية ٢٧
٢ ـ ١ مقدمة ٢٩
٢ ـ ٢ البيئات الجيوكيميائية ٢٩
٢ ـ ٣ الدورة الجيوكيميائية ٣٠
٢ ـ ٤ الانتشار والحركة الجيوكيميائية ٣٢
٢ ـ ٥ التصاحب الجيوكيميائي للعناصر ٣٨
٢ ـ ٦ العناصر الدالة ٤١

الفصل الثالث البيئة الجيوكيميائية الرئيسية ٤٥
صيغ الانتشار الرئيسي .
٣ ـ ١ مقدمة ٤٧
٣ ـ ٢ الصيغ المتزامنة ، سينجنيتك ٤٧
٣ ـ ٣ الصيغ المتأخرة ، ابيجنيتك ٥٠
٣ ـ ٤ السلوك الجيوكيميائي للعناصر في البيئة الرئيسية ٦١

الفصل الرابع البيئة الجيوكيميائية الثانوية عمليات التجوية ٦٣
٤ ـ ١ مقدمة ٦٥
٤ ـ ٢ التجوية الكيمياوية ٧٠
٤ ـ ٣ التجوية الفيزياوية ٧٦
٤ ـ ٤ التجوية الحياتية ٧٧

الفصل الخامس التربة ٧٩
٥ ـ ١ مقدمة ٨١
٥ ـ ٢ تكوين ونمو التربة ٨٣
٥ ـ ٣ الصفات الفيزياوية والكيمياوية لآفاق التربة ٨٤
٥ ـ ٤ العوامل المؤثرة في عملية تكوين التربة ٨٨
٥ ـ ٥ تصنيف التربة ٩٥
٥ ـ ٦ تصنيف التربة في القطر العراقي ١٠٣
٥ ـ ٧ توزيع العناصر الثانوية والنزرة في مقاطع التربة ١٠٥
٥ ـ ٨ نماذج التربة في عمليات الاستكشاف الجيوكيميائي ١٠٩
٥ ـ ٩ نماذج عينات البيئة الجافة في عمليات الاستكشاف الجيوكيميائي ١١٢

الفصل السادس البيئة الجيوكيميائية الثانوية .
صيغ الانتشار الثانوية ١١٥
٦ ـ ١ مقدمة ١١٧
٦ ـ ٢ العوامل المؤثرة في الانتشار الثانوي ١١٩
٦ ـ ٣ حركة العناصر في البيئة الجيوكيميائية الثانوية ١٣٢
٦ ـ ٤ صيغ الانتشار الثانوي ١٣٢

الفصل السابع طرق المسح الجيوكيميائي ١٤٥
٧ ـ ١ مفاهيم أساسية ١٤٧
٧ ـ ٢ عناصر المسح الجيوكيميائي ١٥٣
٧ ـ ٣ تصنيف طرق المسح الجيوكيميائي ١٥٩
٧ ـ ٤ المسح الجيوكيميائي باستخدام نماذج التربة ١٦٣
٧ ـ ٥ المسح الجيوكيميائي باستخدام نماذج ترسبات الانهار ١٧٠
٧ ـ ٦ المسح الهيدروجيوكيميائي ١٧٥

الفصل الثامن طرق التحليل الكيمياوي ١٨١
٨ ـ ١ مقدمة ١٨٣
٨ ـ ٢ الطرق اللونية ١٨٤
٨ ـ ٣ جهاز رسام الطيف الانبعاثي ١٨٦
٨ ـ ٤ مقياس طيف الامتصاص الذري ١٨٨
٨ ـ ٥ جهاز الاشعة السينية الوميضية ١٩٠

٨ ـ ٦ طرق التحليل الأخرى ١٩٢
٨ ـ ٧ النماذج القياسية ١٩٣

الفصل التاسع المعالجات الاحصائية للمعطيات الجيوكيميائية ١٩٥
٩ ـ ١ مقدمة ١٩٧
٩ ـ ٢ التوزيع الاعتيادي والتوزيع اللوغريتمي ـ الاعتيادي ١٩٧
٩ ـ ٣ التقنيات المستخدمة في المعالجة الاحصائية ٢١١
قاموس المصطلحات المختارة . ٢٣١
المصادر العلمية . ٢٣٥

محتويات الكتاب من الاشكال

الصفحة

١ ـ ١ مخطط مثالي يوضح تتابع التقنيات المختلفة للاستكشاف المعدني . ٢٢

٢ ـ ١ الدورة الجيوكيميائية . ٣١

٢ ـ ٢ يوضح العلاقة بين نصف القطر الأيوني والشحنة الايونية المتمثلة بالجهد الايوني ٣٧

٣ ـ ١ أوريولة صخور الحائط المحددة بتراكيز الرصاص والخارصين في صخور الكوارتز مونزونايت ٥٣

٣ ـ ٢ أوريولة صخور الحائط المحددة بتراكيز الرصاص والخارصين المتراكمة في الصخور الجيرية ٥٤

٣ ـ ٣ العلاقة بين موقع هالة شواذ النزوالبنية المحلية في المائلة للجسم الخام ٥٧

٣ ـ ٤ شواذ النز المحددة بتراكيز الرصاص في التربة في المتبقية والتي تغطي رواسب الفلزات ٥٨

٣ ـ ٥ التنطق الكيمياوي في رواسب النحاس الحر لتشكلية كير سارجي لود ، مشيكان ، ٦٠

٤ ـ ١ تسلسل تتابع تجوية المعادن الرئيسية المكونة للصخور النارية . ٦٦

٤ ـ ٢ العلاقة بين تتابع تبلور المعادن من الصهير البزالتي مع استقراريتها بالنسبة للتجوية . ٦٧

٥ ـ ١ مقطع تخطيطي مفترض للتربة . ٨٢

٥ ـ ٢ الاختلافات في مقاطع للتربة المتواجدة في أربعة بيئات جوية ٨٣

٥ ـ ٣ الاختلافات في بعض الصفات الفيزياوية والكيمياوية لآفاق مقطع تربة البودزول المتكونة في المنطقة الرطبة . ٨٥

٥ ـ ٤ تأثير نوعية الصخور على المكونات الميكانيكية لأفق A من التربة ٨٩

٥ ـ ٥ تأثير معدلات سقوط الامطار على قيم الدالة الحامضية للتربة ٩٠

٥ ـ ٦ تأثير الظروف الجوية على تراكيز المواد العضوية والكاربونات في مقاطع التربة . ٩١

٥ ـ ٧ تسلسل تتابع تكوين أنواع من التربة نتيجة تأثير درجة الانحدار وانظمة التصريف . ٩٣

٥ ـ ٨ تأثير التعرية على نوع التربة . ٩٤

٥ ـ ٩ المواقع النسبية لأنواع مجاميع التربة الكبيرة بالنسبة للظروف الجوية والغطاء النباتي . ٩٦

٥ ـ ١٠ خارطة العراق وعليها الوحدات التصنيفية في النظامين عند ١٠٠ و ٩٩ مستوى مجاميع الترب الكبيرة .
٥ ـ ١١ مديات تراكيز العناصر النزرة والمتواجدة بصورة شائعة ١٠٧
٥ ـ ١٢ التمثيل العام لتوزيع النحاس في أربعة مقاطع مختلفة من التربة ١٠٨
٥ ـ ١٣ المساحة الجانبية النسبية لصيغة الانتشار الثانوي الهالة ، Halo المتكونة في الآفاق الرئيسية الثلاثة للتربة . ١١٠
٥ ـ ١٤ خارطة العالم التي توضح توزيع المناطق الجافة وشبه الجافة . ١١١
٦ ـ ١ العلاقة بين هيدروكسيدات الحديد شبه المستقرة ومعدن السيدرايت عند 25° م وضغط جوي واحد ١٢١
٦ ـ ٢ اختلاف ذوبان بعض المكونات المتحررة خلال التجوية الكيمياوية باختلاف الدالة الحامضية . ١٢٣
٦ ـ ٣ جهد التأكسد ـ الاختزال لبعض المعادن الكبريتيدية البسيطة عند 25° م وضغط جوي واحد وفعالية أيونية . . ١٢٤
٦ ـ ٤ كمية النحاس الممتصة على الكوارتز بدلالة pH ومكونات المحلول من النحاس ١٢٩
٦ ـ ٥ الصيغ المتزامنة (الفتاتية) بشكل مروحة ، Fan ، والمتكونة في الرواسب النهرية . ١٣٦
٦ ـ ٦ الصيغ المتزامنة (الفتاتية) في مواد التغطية المنقولة ١٣٧
٦ ـ ٧ الصيغ المتزامنة (الفتاتية) في مواد التغطية المتبقية . ١٣٨-١٣٩
٦ ـ ٨ صيغة الانتشار القافلة ، Train ، المثالية والمتكونة في مياه روافد نظام تصريف منطقة رواسب Ca-Zn ١٤٠
٦ ـ ٩ خارطة جيوكيميائية توضح الشواذ الناتجة من انتشار الفلزات المكونة لرواسب النحاس البورميزي ١٤٠
٦ ـ ١٠ الصيغ المتأخرة والمتكونة في مواد التغطية المنقولة ١٤٢
٦ ـ ١١ تأثير البنية المحلية للجسم الخام على إزاحة صيغ الهالة ، Halo ١٤٢
٦ ـ ١٢ صيغ الانتشار الحياتية . ١٤٣
٧ ـ ١ حدود التذبذب المحلي والاقليمي للتراكيز الطبيعية والشواذ . ١٤٨
٧ ـ ٢ تأثير التلوث الناتج من الفعاليات الاعمارية على قيم تراكيز Zn في رواسب الروافد . ١٥٢
٧ ـ ٣ عرض المعطيات الجيوكيميائية الخاصة بمسوحات التربة . ١٦٧
٧ ـ ٤ الطريقة الشبكية في عرض معطيات المسح الجيوكيميائي للتربة المتبقية الخاصة بعنصر الزرنيخ ١٦٨

٧ ـ ٥ عرض المعطيات المسح الجيوكيميائي الخاصة بعنصر Be وعلى شكل مقاطع توضح إتساع وتجانس ١٦٩
٧ ـ ٦ موقع الحد الفاصل للجودة (Cut off Grade) (X) أو الموقع الذي تزداد فجأة عنده تركيز عنصر النحاس ١٧١
٧ ـ ٧ نتائج المعطيات الجيوكيميائية المعتمدة على طريقة مغلوطة A وطريقة صحيحة B للحصول على نماذج رواسب ١٧٣
٧ ـ ٨ الطرق الشائعة والمستخدمة في عرض المعطيات الجيوكيميائية لمسوحات رواسب الروافد (احواض التصريف) . ١٧٥
٧ ـ ٩ التغير الموسمي للتركيب الكيمياوي لمياه بحيرة صغيرة (اكثر من 8 أقدام عمق) في منطقة الاسكا ، Alaska . ١٧٦
٧ ـ ١٠ اختيار نماذج المياه عند أعماق مختلفة ولكل موقع على سطح البحيرة (محطة) ١٧٩
٧ ـ ١١ عرض المعطيات الجيوكيميائية والخاصة بعنصر الخارصين (جـمجـ) في نماذج مياه الروافد والينابيع ١٨٠
٧ ـ ١٢ عرض المعطيات الجيوكيميائية الخاصة بعنصر الخارصين (جـمجـ) في نماذج مياه البحيرة التي تغطي رواسب Cu-Zn . . . ١٨٠
٨ ـ ١ طرق التحليل المقترحة لأيجاد كمية العناصر المتواجدة بتراكيز 100 جـمجـ أو اقل في نماذج الاستكشاف الجيوكيميائي ١٨٣
٨ ـ ٢ طرق التحليل المقترحة لايجاد كمية العناصر المتواجدة بتراكيز 100 جـمجـ أو أكثر في نماذج الاستكشاف الجيوكيميائي . ١٨٤
٩ ـ ١ التوزيع الاعتيادي كوسيان ، Gaussion ، الذي يوضح مواقع بعض المعاملات الاحصائية . ١٩٨
٩ ـ ٢ منحَنيات التكرار لتوزيع السليكا في صخور البزالت وصخور الرايولايت ٢٠٠
٩ ـ ٣ منحنيات التوزيع التكراري موجب عديم التناظر والاكثر شيوعاً في الجيوكيمياء . ٢٠١
٩ ـ ٤ منحنيات التوزيع التكراري للسيلكا في صخور الجرانيت والذي يوضح عدم التناظر السالب والغير شائع . ٢٠٢
٩ ـ ٥ التحويل إلى الصيغ اللوغريتمية ٢٠٣
٩ ـ ٦ برهان التوزيع الاعتيادي للسيلكا في 401 نموذج بزالتي . ٢٠٤
٩ ـ ٧ برهان التوزيع اللوغريتمي الاعتيادي للـ CaO في 141 نموذج جرانيتي . ٢٠٤

٩ ـ ٨ برهان التوزيع اللوغريتمي الاعتيادي للـ U في 164 نموذج جراينتي من اسبانيا . ٢٠٥
٩ ـ ٩ برهان التوزيع اللوغريتمي الاعتيادي لعينتين للـ Cu و Zn وعينتين + عينة مخلوطة للـ Mo ٢٠٦
٩ ـ ١٠ أمثلة لمنحنيات التوزيع بنفس قيمة الوسط وبقيم مختلفة من الانحراف المعياري . ٢٠٨
٩ ـ ١١ حدود قيم الشواذ المحتملة والممكنة والمؤشرة في التوزيع التكراري للنحاس القابل على الذوبان ٢٠٩
٩ ـ ١٢ طريقة حساب حدود التذبذب المحلي والاقليمي للتراكيز الطبيعية وقيمة الوسط باستخدام أوراق برهان . ٢١٠
٩ ـ ١٣ طريقة الرسم في حساب معامل المضاهاة بين Pb-Zn في رواسب الروافد . ٢١٤
٩ ـ ١٤ شواذ النيكل المؤشرة بنماذج التربة ونماذج رماد اوراق نبات Nothofogus Fusca ٢١٥
٩ ـ ١٥ توزيع النيكل في رواسب الروافد . ٢١٧
٩ ـ ١٦ أسطح الميول الخطي والمربعي والمكعبي لتوزيع النيكل جـم جـ في رواسب الروافد . ٢١٨
٩ ـ ١٧ التوزيع الاقليمي لمكونات نماذج التربة من النيكل . ٢٢٠
٩ ـ ١٨ المخطط الشجري "Dendogram" الذي يوضح نتائج التحليل العنقودي بصيغة R . ٢٢١
٩ ـ ١٩ تصاحب الفلزات في معاملات النماذج ، Models المختلفة . ٢٢٤
٩ ـ ٢٠ توزيع الخارصين (جـم جـ) في رواسب الروافد لمنطقة . ٢٢٥
٩ ـ ٢١ توزيع تصاحب Mn-As-Pb-Zn-HMss. ٢٢٦
٩ ـ ٢٢ العلاقة بين جيولوجية المنطقة وتوزيع المتجهات في نماذج Models لأربعة متجهات . ٢٢٧
٩ ـ ٢٣ تتابع الاختلافات في ارتفاعات النقاط المركزية (الوسطية) والمجاورة ولانواع عديدة من نقاط السطح المعين . ٢٢٨

محتويات الكتاب من الجداول

الصفحة

٢ ـ ١ قيم الجهد الايوني لبعض العناصر الشائعة . ٣٦

٢ ـ ٢ تصنيف النواتج الرسوبية الرئيسية لتأثير عمليات التجوية ، التعرية ، لنقل وترسيب المواد ٣٩

٢ ـ ٣ الحركة النسبية للعناصر الرئيسية والثانوية في بيئة سيلسية خالية من الكبريتدات . ٤٠

٢ ـ ٤ الحركة النسبية للعناصر خلال عمليات التجوية للرواسب الكبريتيدية في بيئتين كلسية وسيلسية . ٤٠

٢ ـ ٥ أمثلة مختارة للتصاحب الجيوكيميائي للعناصر الثانوية والنزرة . ٤٢

٢ ـ ٦ العنصر الدليل واستخداماته عن الرواسب الخام . ٤٣

٣ ـ ١ تراكيز النحاس والخارصين المستخلصة باستخدام الماء الملكي الحار ، من الصخور البلوتونية ٥١

٣ ـ ٢ تراكيز الرصاص في الفلدسبار البوتاسية للصخور البلوتونية المتصاحبة مع رواسب الرصاص ٥١

٣ ـ ٣ الاختلافات بتراكيز العناصر النزرة في كل طور من أطوار الجرانيت المندسة والمتصاحبة ٥١

٣ ـ ٤ الأوريولة الرئيسية للخارصين والرصاص في صخور الحائط الكتلية والمتكسرة ٥٥

٤ ـ ١ معامل جهد التجوية لعدد من المعادن المختارة . ٦٨

٤ ـ ٢ النواتج الطبيعية لعمليات التجوية بالاضافة الى التغييرات الفيزياوية التي تطرأ على الصخور الاصلية . ٦٩

٥ ـ ١ الوحدات التصنيفية العليا لنظام تصنيف التربة (عام 1946) . ٩٧-٩٨

٥ ـ ٢ معدلات تراكيز بعض العناصر الفلزية في التربة (حـ م حـ) . ١٠٦-١٠٨

٦ ـ ١ حساب الفقدان والاكتساب خلال عملية التجوية لصخور الكوارتز ـ فلدسبار بايوتايت نايس . ١١٨

٦ ـ ٢ سلوك عدد من المعادن المختارة خلال عملية التأكسد . ١١٩

٦ ـ ٣ مديات وضوابط قيم الدالة الحامضية وجهد التأكسد ـ الاختزال ١٢٢

٦ ـ ٤ تراكيز بعض العناصر الثانوية فيرواسب اكاسيد الحديد والمنغنيز ١٢٦

٦ ـ ٥ قدرة التبادل الأيوني لبعض المعادن الطينية والانواع الشائعة من التربة . ١٢٧

٦ ـ ٦ ذوبان الاملاح المتواجدة في الطبيعة كمعادن ثانوية . ١٣٠
٦ ـ ٧ الحركة النسبية للعناصر في البيئة الجيوكيميائية الثانوية . ١٣٢
٦ ـ ٨ تصنيف حركة العناصر بالاعتماد على مقدار ذوبان املاحها . ١٣٤
٧ ـ ١ تراكيز العناصر النزرة (حـ م حـ) في الترب وسمك آفاق التربة فوق الصدع مباشرة . ١٦٦

بسم الله الرحمن الرحيم

فَأَمَّا ٱلزَّبَدُ فَيَذْهَبُ جُفَاءً وَأَمَّا مَا يَنفَعُ ٱلنَّاسَ فَيَمْكُثُ فِي الارضِ .

صدق الله العظيم

مقدمة المؤلف

عبر مراحل التاريخ الانساني والى وقتنا الحاضر ، تمثل الثروات المعدنية (الرواسب الخام) مصدراً مهماً في امداد الانسان بما يحتاجه من المواد الأولية والضرورية لتأمين حاجات جوانب حياته المختلفة وتطور حضارته خلال العصور المتعاقبة . وبسبب أهمية الثروات المعدنية وتأثيرها على مجرى الحضارات الأنسانية ، ارتبط التطور الحضاري الأنساني بأتساع معرفة الانسان بالمعادن وتعامله معها ، مما جعل المختصين بعلم الاجتماع الانساني يقسمون تاريخ التطور الحضاري للانسان الى عصر حجري قديم وحجري حديث وعصر البرونز (سبيكة القصدير ـ النحاس) والعصر الحديدي الذي يعتقد بأنه يمتد الى وقتنا الحاضر . وكان للوطن العربي المتمثل بمصر القديمة فضيلة السبق الى معرفة الحديد ، كما أن لحضارات وادي الرافدين والشام واليمن باع طويلة في البحث عن المعادن واستخراجها واستخدامها ، وكانت ، وفيما بعد ، إسهامات العلماء العرب بالتأليف عن الجواهر ، هي الاساس الجيد الذي نقله الغرب ليقيم عليه علم الاحجار الكريمة (المعاصر) GEMOLOGY . ومن هؤلاء العلماء . يعقوب بن اسحاق الكندي (٨٠١ م ـ ٨٧٣ م) وشهاب الدين أبو العباس أحمد القاهري التيفاسي (المتوفي عام ١٢٩٣ م) ومحمد بن ابراهيم بن ساعد السنجاري المعروف بابن الاكفاني (المتوفي عام ١٣٨٤ م) .

تشير تفاصيل التاريخ الانساني عبر العصور المختلفة ، الى أن الثروات المعدنية ومسألة الحصول والسيطرة عليها ، كانت المحور الاساسي الذي صاغ سياسات المجتمعات البشرية البدائية والدول المختلفة فيما بعد ، حيث إنتهجت الدول الاجنبية ولاتزال ، سياسات استعمارية مختلفة الاشكال ، بهدف تحقيق الرغبة العارمة في امتلاك الثروات المعدنية للكثير من بلدان العالم .

وكان المستكشفون الاجانب ، يمثلون في أكثر الاحيان ، المفارز الامامية ومواطيء القدم لاستعمار الدول المختلفة . وشهد التاريخ المعاصر تصدي الحركات

التحررية الثورية في العالم لهذا النوع من الاستعمار وذلك من خلال ردها الجريء والحاسم بهدف تأمين الاستقلال الاقتصادي لهذه البلدان . ويعتبر القطر العراقي المتمثل بقيادته التاريخية الحكيمة ، رائداً في هذا المجال ، وذلك من خلال القرارات الثورية الخالدة للحزب والثورة والخاصة بتأميم النفط والأستثمار الوطني للثروات المعدنية التي جسدت وترجمة شعارات الحزب في هذا المجال ، الى الواقع العملي والتفصيلي اليومي .

شملت بدايات أعمال التحري المعدني تركيز إهتمام المستكشفين الأوائل والجيولوجيين على مكاشف الصخور والمظاهر المعدنية ذات العلاقة المباشرة مع تواجد الرواسب الخام . وأدت هذه الاعمال الى اكتشاف عدد من الرواسب الخام التي يمكن ملاحظة تواجد الكثير منها بالعين المجردة . ومنذ القدم ، عرفت الحضارات الانسانية المتعاقبة مثل هذه الرواسب الخام ، حيث أن ٩٠ ٪ من مناجم الفلزات الحالية في المكسيك هي نتيجة تطوير تلك المناجم القديمة التي أوجدها السكان الأسبان الأصليين ، كما أن مواقع معظم المناجم العاملة حالياً في أجزاء من أوربا والتي تقع ضمن حدود الامبراطورية الرومانية كانت معروفة لدى الرومان . إن عصر استكشاف مثل هذا النوع من الرواسب إقترب من الظمور . ولهذا فأن هناك حاجة ملحة لأتجاه جذري وتصور جديد في الاستكشاف المعدني . ويعتقد بأن الاستكشاف الجيوكيميائي مع بقية إختصاصات علوم الارض ، يمثل هذا الاتجاه الجديد وعلى الأخص في مجال التحري المعدني عن الرواسب ذات الجودة المنخفضة . وجاء هذا الأعتقاد بسبب اعتبار الاستكشاف الجيوكيميائي طريقة مباشرة واعتماده على تحديد تراكيز العنصر أو العناصر المتصاحبة أو المكونة للرواسب بهدف تحسس تراكيز عالية نسبياً من هذه العناصر في النماذج المختارة من المنطقة المعينة والتي تمثل فيما بعد الشواذ الجيوكيميائية .

يعرض الكتاب الحالي ، مباديء وطرق الاستكشاف الجيوكيميائي للرواسب الخام من خلال تسعة فصول تهدف الى توفير مرجعاً علمياً باللغة العربية يغطي مفردات منهاج موضوع الاستكشاف الجيوكيميائي لطلبة الصفوف الرابعة / أقسام علوم الارض ، بالاضافة الى كون الكتاب ذات فائدة مباشرة للعاملين في مجال التحري المعدني وخاصة الذين ليس لديهم مواكبة علمية وعملية في مجال الاستكشاف الجيوكيميائي .

إن إعداد هذا الكتاب بما يتضمنه من مواضيع متنوعة ، يعكس بلاشك الجهد المبذول من قبل المؤلف ، ولاننسى جهد الكثيرين اللذين ساعدوا بصورة أو بأخرى ، مباشرة وغير مباشرة في إعدادهِ . منهم الدكتور موسى العطية / المنشأة العامة للمعادن ، الدكتور زهير الشيخ / رئيس قسم علوم الارض / جامعة الموصل ، الدكتور هشام الدباغ / جامعة الموصل .

الدكتور سالم محمود الدباغ

حزيران ١٩٨٨

الفصل الأول

المدخل

INTRODUCTION

١ ـ ١ تعريف الاستكشاف الجيوكيميائي
DEFINITION OF GEOCHEMICAL EXPLORATION

يستخدم حالياً مصطلحا الاشتكشاف الجيوكيميائي "Exploration Geochemical" ، 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 . وبسببَ 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 جديدةٍ لرواسب فلزيةٍ 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 اختلافها في الاسس والاساليب ، ولكن اختلافها 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

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 :

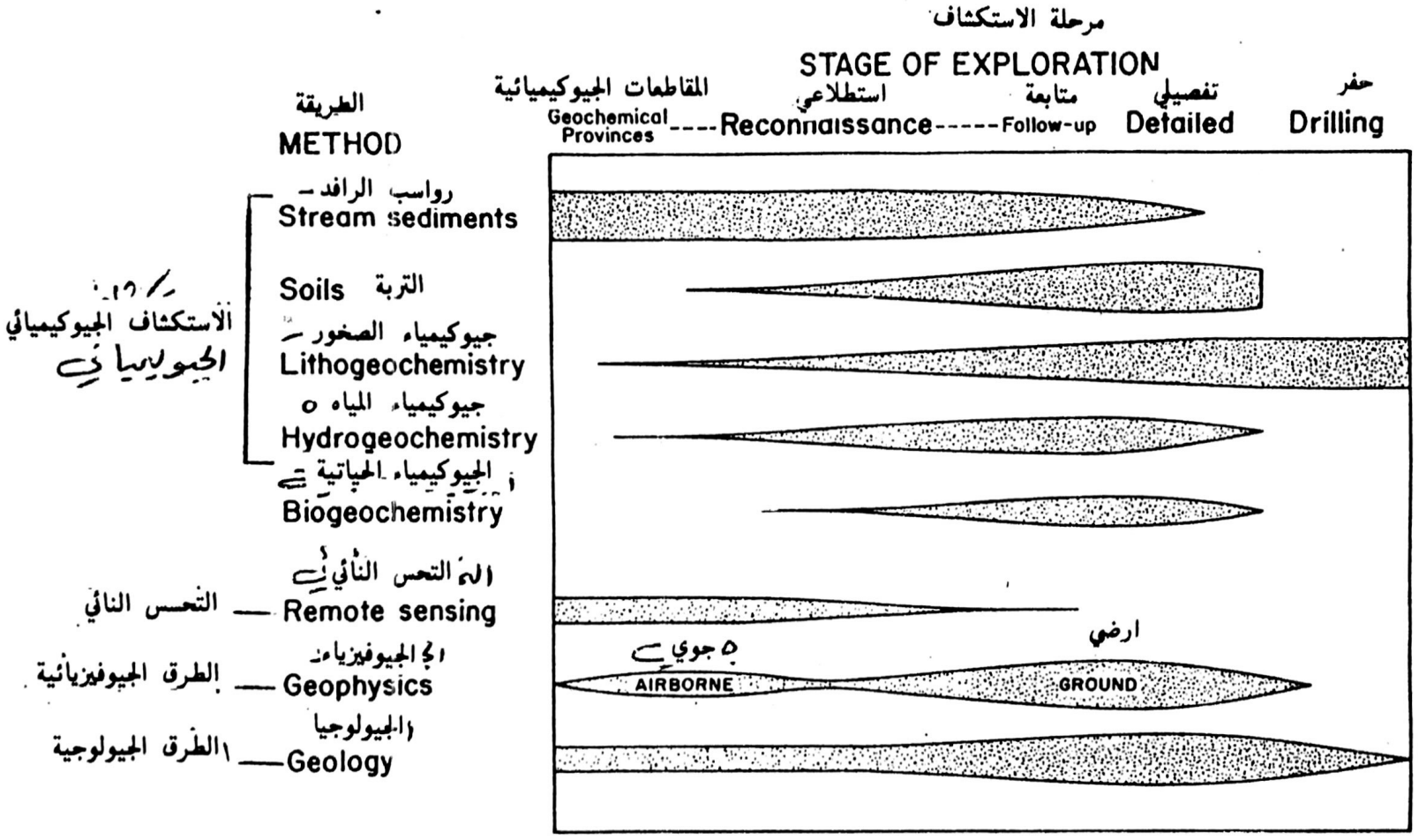
1- تواجد فتات صغيرة من صخور المعدن الخام ، والتي يمكن مشاهدتها في رواسب الروافد التي تتخلل منطقة الجسم الخام ، وباقتفاء أثر زيادة تواجد هذه الفتات ، غالباً مايؤدي إلى صخور المصدر .
2- تواجد فتات صخور المعدن الخام (الحديثة والمتغيرة) على السطح وبالقرب من [illegible] المصدر .

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 .



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 ، Levinson ، 1980

١ ـ ٣ خلفية تاريخية حول تطبيقات الاستكشاف المعدني
HISTORICAL BACKGROUND OF GEOCHEMICAL EXPLORATION APPLICATION

إن استخدام الاستكشاف الجيوكيميائي كان قد بدأ منذ القدم . فالمستكشفين الأوائل الذين كانوا يبحثون عن الذهب بطريقة الفرز بالمصفات وباتجاه اقتفاء صيغ الانتشار ، والقدماء الذين كانوا يبحثون عن صيغة 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 الاخص السويد . وتعتبر أولى البرامج الكبيرة للاستكشاف الجيوكيميائي عن الفلزات هو ما قام به الجيولوجيين السوفيت في سنة 1932 بمسح جيوكيميائي لتواجد بعض الفلزات ، وذلك بعد تطويرهم لطريقة التحليل الكيمياوي باستخدام رسام الطيف المنبعث . "Emission Spectrograph" 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 كولدسميتد Goldschmidt ، ثوكت Voget ، فرناديسكي Vernadesky ، فيرسمان Fersman ، جنزبرك Ginzburg ڤينجرادوف Vingradov ، ماليوجا Malyuga ، وبهذه الدراسات تم تحقيق المباديء النظرية والعملية لاستخدامات الطرق الكيمياوية المتطورة في الاستكشاف المعدني وبالاعتماد على نماذج التربة النباتات ، رواسب ومياه أنظمة التصريف "Drainage Systems" . وفي

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 . وإضطلعت 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 الناجعة 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 عدداً 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 وتحديد مصادرها .

الفصل الثاني ٢

مبادئ أساسية

BASIC PRINCIPLES

٢ ـ ١ مقدمة INTRODUCTION

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

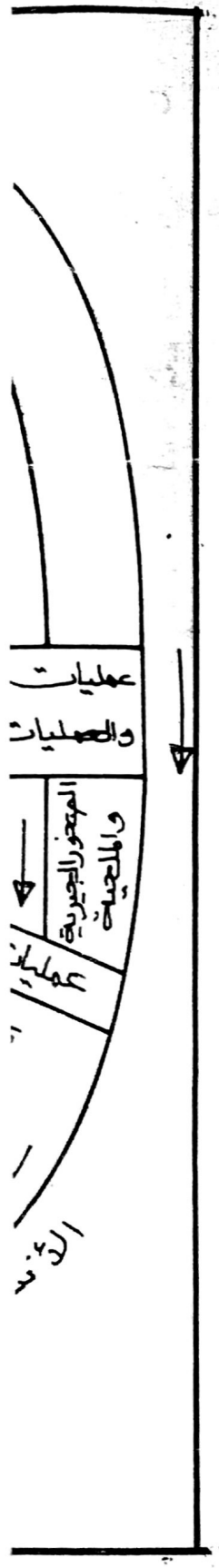
تشمل مواقع العمليات السطحية المتمثلة بالتجوية وتكوين التربة والترسيب على سطح الارض . وتمتاز هذه البيئة بأنخفاض درجات الحرارة والضغط ، وتكون حركة السوائل طليقة ، وتتواجد كميات كبيرة من الاوكسجين الطليق والماء وثاني أوكسيد الكاربون .

٢ ـ ٣ الدورة الجيوكيميائية Geochemical Cycle

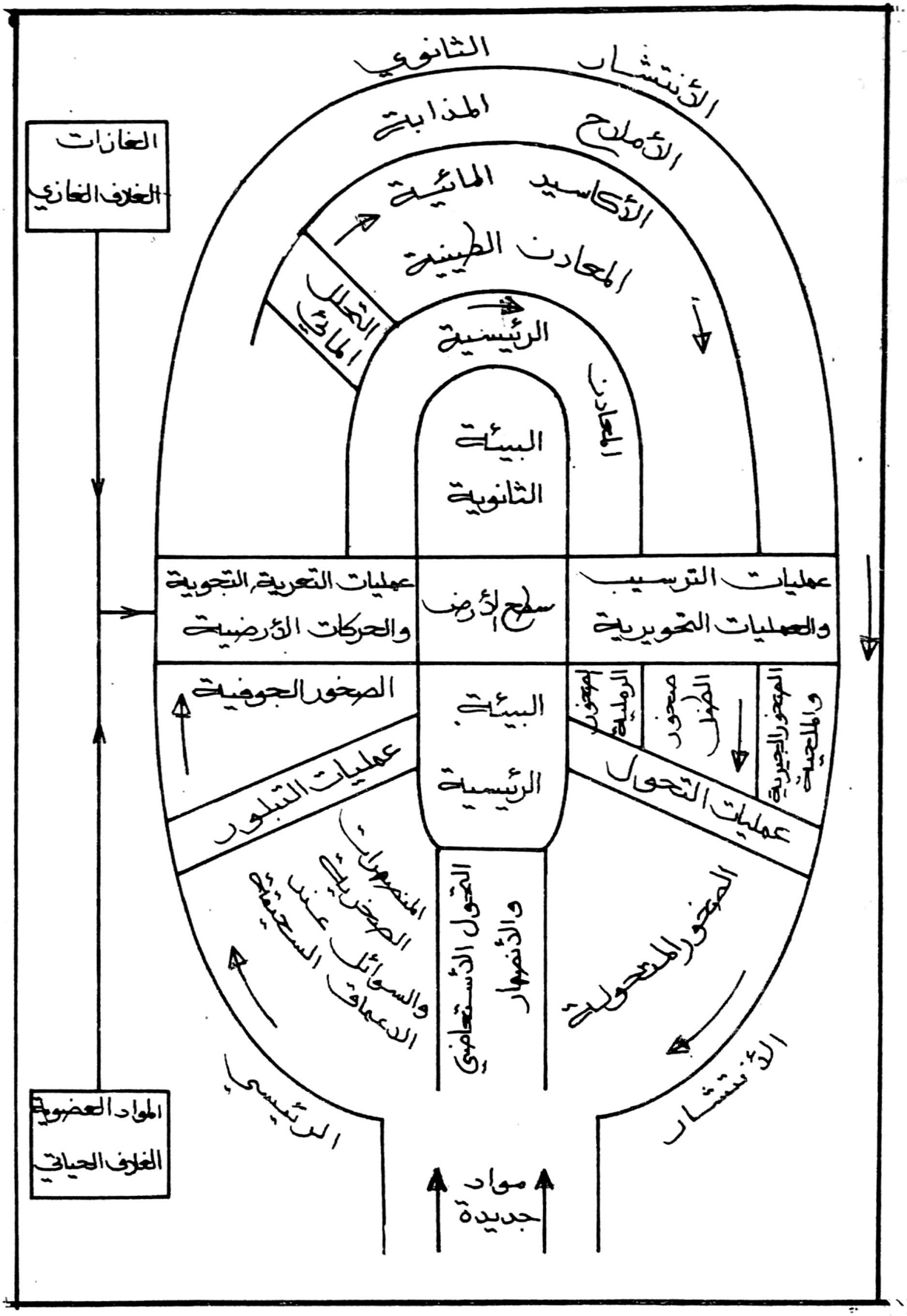
يمكن تمثيل انتقال المواد الصخرية بين البيئة الرئيسية والثانوية بالشكل (٢ ـ ١) ، الذي يمثل صيغة مبسطة لنظام مغلق يعرف بالدورة الجيوكيميائية . ويمكن الاعتقاد بأن هذه الدورة تبدأ بالبيئة الرئيسية ، حيث يتبلور الصهير الصخري ، وتتكون الصخور النارية . وربما تنتقل الصخور المتكونة في البيئة الرئيسية الى البيئة 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 .



شكل (٢-١)



شكل (٢-١) :- الدورة الجيوكيميائية

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 ما يمكن 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 لمعادن الكوارتز (2,65) ، زركون (4,68) ، كرومايت (4,6) ، المنايت

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

أما حركة المواد خلال الانتشار الجيوكيميائي بفعل كيمياوي ، فهو اكثر اهمية في الاستكشاف الجيوكيميائي ، وتعتمد هذه الحركة على الاستقرارية النسبية للعناصر الكيمياوية في الاطوار السائلة المتحركة والاطوار الصلبة الغير متحركة 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 ، H ، Ti) 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 لگولدشميتد Goldschmidt ورنگوود Ringwood ، والتي تستند الى قيم نصف القطر الايوني والشحنة الايونية والسالبية الكهربائية للعناصر الكيمياوية . واعتماداً على هذه الخواص ، يمكن تفسير تواجد العناصر : Cr ، Co ، N في معادن الحديد ـ المغنيسيوم ، وعنصري U ، Th في معدن المونازايت Manazite و Hf في معدن الزركون Zircon . وتعكس التراكيز العالية لمكونات المعادن من هذه العناصر النزرة ، غناء الاطوار السائلة 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 المياه 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 السليكاني ، وكذلك خلال عمليات التحول . فخلال عمليات التبلور للصهير ، تنتقل بعض العناصر من

الطور المتحرك إلى الطور الصلب مكونة أطوار معدنية مختلفة ومتعاقبة 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 .

٢ ـ ٤ ـ ٢ 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 المجالات 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 ٢) .

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 :

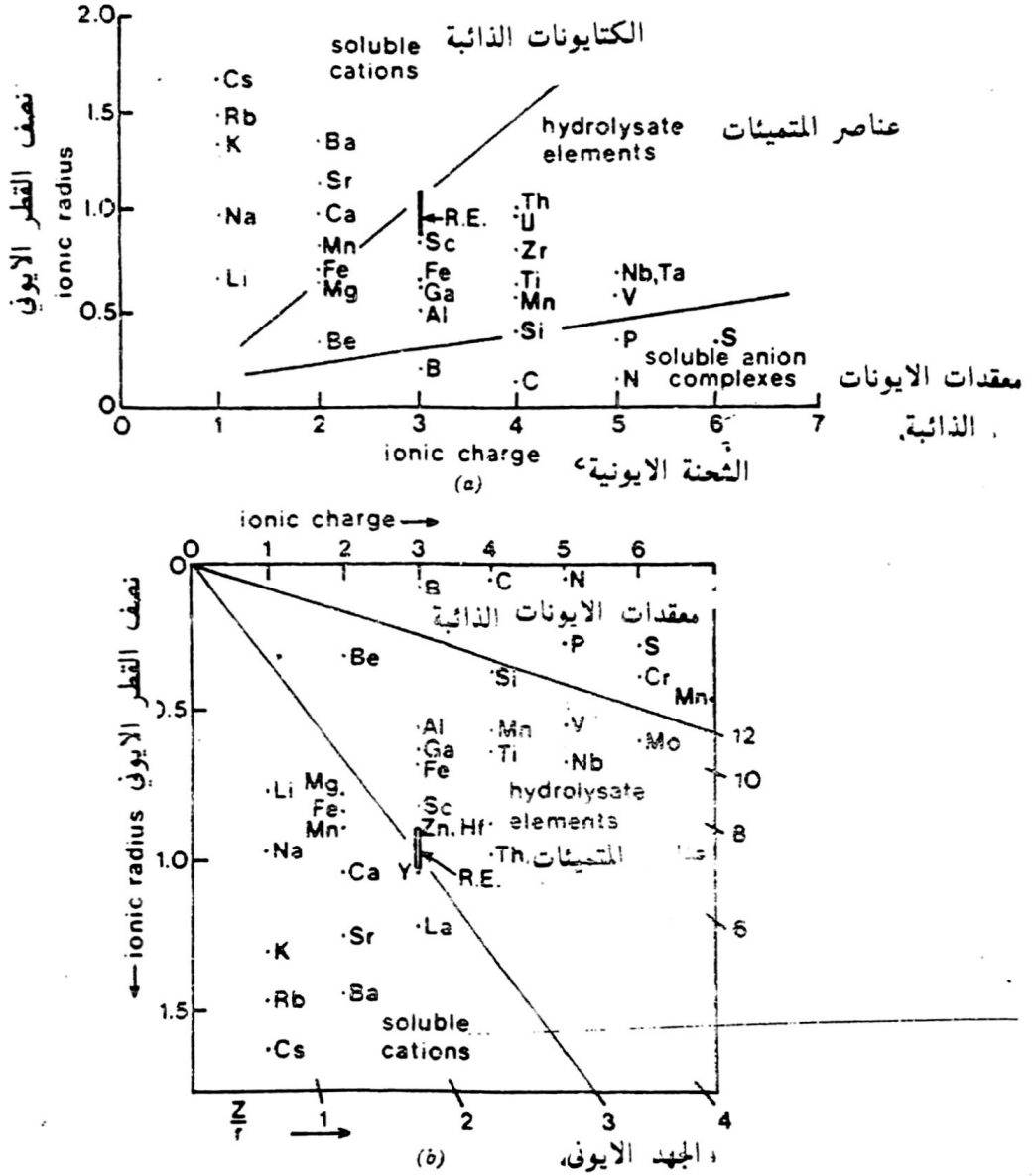
١ ـ ترسيب بعض العناصر النزرة مع ترسيب أطوار معينة من المعادن الشائعة (الترسيب المتصاحب "Coprecipitation") مثال : اكاسيد الحديد والمنغنيز المائية ،
٢ ـ تأثير التفاعلات العضوية والعمليات الحيوية للكائنات الحية التي على تماس مع المحاليل الطبيعية على سطح الارض .

جدول (٢ ـ ١)

قيم الجهد الأيوني لبعض العناصر الشائعة

العنصر (الأيون)	الجهد الأيوني	العنصر (الايون)	الجهد الأيو
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) ميـون ، 1966 ، Mason



شكل (٢ ـ ٢) العلاقة بين نصف القطر الايوني والشحنة الايونية والمتمثلة بالجهد الايوني ، كما يوضح تصرّف 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 الارض بسبب ندرة تواجد حالة التوازن بين الاطوار المتحركة وغير المتحركة في المحيط الدينميكي لسطح الارض ، إلا أنه بالامكان إيجاد تقدير تجريبي واستقرائي بهدف تقريب الحالة المتوفرة لعلاقة الاطوار المتحركة وغير المتحركة المتصاحبة مع بعضها البعض عند الظروف السطحية . ويتم هذا من خلال مقارنة التركيب الكيمياوي

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

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

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

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

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

٢ ـ ٥ التصاحب الجيوكيميائي للعناصر Geochemical Coherence :

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

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

جدول (٢ ـ ٢) تصنيف النواتج الرسوبية الرئيسية لتأثير عمليات التجوية ، التعرية ، النقل وترسيب المواد ، على الصخور الاصلية .

جدول (٢ ـ ٢) تصنيف النواتج الرسوبية الرئيسية لتأثير عمليات التجوية، التمرية، النقل وترسيب المواد، على الصخور الاصلية.

الحياتيات Biodates	المختزلات Reduzates	المتبخرات Evaporites	كاربونات Carbonates	المتميئات Hydrolyzates	المؤكسدات Oxidates	المقاومات Resistates
Ca, Mg, Si, P	C, S, HC, S^{2-}	Na, Ca, Mg, B	Ca, Mg	Al Si(K)	Fe, Mn	Si
كالسايت	الفحم	هالايت	كالسايت	الاطيان	جوثايت	كوارتز
صوان	البترول	جبس	دولومايت	بوهيميات	ليمونايت	زركون
فوسفات	بايرايت	أنهيدرايت	أراكونايت	بوكسايت	بيرولوسايت	المنايت
أراكونايت	الكبريت	ابسومايت		السجيل الاسود		روتايل
		يوريت				مونازايت
		كالسايت				كاسيترايت
		دولومايت				ذهب ، بلاتين

المصدر : (٢) كولد شميتد ، Goldschmidt ، 1937

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 سائد خلال عملية تبلور الصهير الصخري السليكاتي.

بشكل عام تصنف العناصر الكيمياوية حسب ميولها للدخول في الاطوار الخمسة الرئيسية المتوفرة في الارض ، وكما هو مؤشر في التصنيف الرئيسي لكولد شميتد : عناصر سيدوروفايل "Siderophile"; جالكوفايل "Chalcophile"; ليثوفايل "Lithophile"; اتموفايل "Atmophile"; هيدروفايل "Hydrophile" .

تتميز بعض العناصر بأقتصار تواجدها في أطوار معينة ، وذلك من خلال إحلالها محلّ 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 الى مفهوم العنصر الدليل "Pathfinder Element" .

٢ ـ ٦ العناصر الدالة Pathfinder Elements

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

تختلف حركة العناصر المتصاحبة (بضمنها العنصر الخام) في الاطوار السائلة ، فهناك عناصر معينة ، لها حركة اكبر من العناصر الأخرى ، بسبب الظروف الفيزياوية ـ الكيمياوية للسوائل التي وجدت فيها هذه العناصر ، أو بسبب الحالة الفيزياوية (الغازية) لهذه العناصر . والحركة العالية (نسبياً) لهذه العناصر هي 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) . ويمكن تعريف العناصر الدالة بالعناصر (أو العنصر) المتصاحبة مع عنصر المعدن الخام والتي تمتاز بسهولة تحسسها وايجاد تراكيزها بسبب تكوينها لهالة عريضة ولتوفر طرق التحليل

جدول (٢ ـ ٥) أمثلة مختارة للتصاحب الجيوكيميائي للعناصر الثانوية والنزرة .

أنواع الصخور	العناصر المتصاحبة
1) التصاحب في الصخور النارية الداخلية	
صخور عالية الحديد ـ المغنيسيوم	Cr, Co, Ni, Cu
صخور الحديد ـ 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 المحاليل 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 التماسية	
رواسب الكاسيترايت ـ الشيلايت	W-Sn-Mo
رواسب فلورايت ـ 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 الحمر (قارية)	U-V-Se-As-Mo-Pb-Cu
طبقات الحمر (بركاني المنشأ)	Cu-Pb-Zn-Ag-V-Se
بوكسايت (تكونت فوق الصخور القلوية)	Nb-Ti-Ga-Be
العناصر الترابية النادرة	RE =

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

المناسبة لها . ويوضح الجدول (٢ ـ ٦) العناصر الدالة المتواجدة في انواع مختلفة من 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 ـ ٦)

العنصر الدليل واستخداماته في الكشف عن الرواسب الخام

العنصر الدليل	أنواع للنماذج	أنواع الرواسب الخام
As	صخور الحائط ، التربة المتبقية ، رواسب الروافد	خامات الذهب العرقية
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

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 .