الفصل السادس

البيئة الجيوكيميائية الثانوية
صيغ الانتشار الثانوية

SECONDARY GEOCHEMICAL ENVIRONMENT. SECONDARY DISPERSION PATTERNS.

٦ ـ المقدمة Introduciion

يحدث الانتشار الثانوي للعناصر الكيمياوية في البيئة الثانوية ، وذلك نتيجة تأثير الفعاليات الجيولوجية السطحية ، والمتمثلة أساساً بعمليات التجوية المختلفة . غير أن عوامل التجوية الكيمياوية (والحياتية) هي الأكبر تأثيراً في تحرير العناصر الكيمياوية من الاطوار الصلبة المعدنية ، وكذلك انتقالها في الوسط الناقل (الماء عادة) وترسيبها عند الظروف الكيمياوية والفيزياوية الملائمة . ومن المتوقع ، بشكل عام ، تصاحب فقدان واكتساب العناصر الكيمياوية مع تأثير عمليات التجوية على الصخور والمعادن . وفي هذا الصدد ، اقترح كولديج Goldich 1938 ، طريقة لحساب الفقدان والاكتساب النسبي للعناصر الكيمياوية خلال المراحل المختلفة لعمليات التجوية ، وذلك بالاعتماد على ثبات مكونات الصخور من اوكسيد الالمنيوم Al_2O_3 ، بسبب فقده القليل خلال عملية التجوية ، والذي ينعكس بزيادته النسبية الكبيرة في نواتج عمليات التجوية المختلفة ، وكذلك بسبب تواجده بكميات صغيرة في مياه الانطقة ذات الفعالية الكيمياوية العالية . وباستخدام نسبة كمية Al_2O_3 في الصخور الغير مجواة الى كميته في الصخور المجواة ، يمكن تعيير نتائج التحاليل الكيمياوية للصخور المجواة ، وبالتالي حساب الفقدان والاكتساب النسبي للعناصر الكيمياوية وكما هو مؤشر في الجدول (٦ ـ ١) لصخور كوارتز ـ فلدسبار ـ بايوتايت ـ نايس Quartz-Feldspar-BiotiteGniess .

ان السلوك المختلف للعناصر المكونة للمعادن الخام خلال عملية التجوية ، التي يعتمدها الاستكشاف الجيوكيميائي في البيئة الثانوية ـ يتضمن المراحل الآتية :

1- تحرير العناصر من الاطوار المعدنية .
2- انتقال وبقاء هذه العناصر في الوسط الناقل (الماء عادة) بهيئة أيونات منفصلة أو معقدات أيونية ذائبة .
3- ترسيب ومغادرة هذه العناصر الوسط الناقل بهيئة معادن ثانوية أو مصاحبة لبعض الرواسب المتوفرة مثل اكاسيد الحديد والمنغنيز المائية والمواد العضوية .

يوضح الجدول (٦ ـ ٢) تأثير عمليات التجوية على بعض المعادن الخام ، وكذلك على المعادن الثانوية الناتجة عنها .

بشكل عام ، إن السلوك المختلف للعناصر الكيمياوية (وبمعنى آخر ، حركة هذه العناصر) في البيئة الثانوية وعند مختلف المواقع (تربة ، رواسب ومياه أنظمة التصريف والمياه الجوفية) يعتمد على تأثير عدد من العوامل التي سنأتي على شرحها فيما يأتي :

(جدول ٦ ـ ١) حساب الفقدان والاكتساب خلال عملية التجوية لصخور الكوارتز ـ فلدسبار بايوتايت نايس .

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
SiO_2	71,48	70,51	55,99	-15,49	-22
Al_2O_3	14,61	18,40	14,61	O	O
Fe_2O_3	0,69	1,55	1,23	+ 0,54	+ 78
FeO	1,64	0,22	0,17	-1,47	- 90
MgO	0,77	0,21	0,17	- 0,60	- 78
CaO	2,08	0,10	0,08	- 2,00	- 96
Na_2O	3,84	0,09	0,07	-3,77	- 98
K_2O	3,92	2,48	1,97	- 1,95	- 50
H_2O	0,32	5,90	4,68	+ 4,36	+ 1360
أخرى	0,65	0,54	0,43	- 0,22	- 34
المجموع	100,00	100,00	79,40	-20,60	
المعادن [حجم ٪]					
كوارتز	30	43			
بوتاسيوم فلدسبار	19	13			
بلاجوكليز	40	1			
بايوتايت (+ كلورايت)	7	نزر			
هورنبلند ماجنتايت ، المنايت	1	لا يوجد			
الاكاسيد الثانوية	1,5	2			
كأولونايت	لا يوجد	40			

العمود (1 ,2): يمثل التركيب الكيمياوي المعدل الى المئة للصخور المجواة . العمود 2 يمثل التركيب الكيمياوي للصخور الاكثر تجوية نسبة للعمود 1 .

العمود (3): يمثل الوزن المحسوب بالغرام لكل أوكسيد متبقي من عملية تجوية لمائة غرام من الصخور الطازجة ،وذلك بالاعتماد على الافتراض الخاص بثبات Al_2O_3 .

العمود (4): يوضح الاكتساب والفقدان للأكاسيد المختلفة بالغرام .

العمود (5): يوضح الاكتساب والفقدان بالمئة من الكمية الاصلية .

المصدر : (٤) كروسكوف ، Krauskopt, 1979

جدول (٦ ـ ٢) سلوك عدد من المعادن الخام المختارة خلال عملية التأكسد .

الحركة (المعدلات النسبية للانتشار)	المعادن الثانوية	المعادن الاصلية	العنصر
متوسط	ليمونايت	سيدرايت ، سليكات	Fe
بطيء	ليمونايت	هياتايت	
اكثرها سهولة للانتقال ،	كبريتات	عدد من المعادن	
		الكبريتيدية	Cu
تكون نطاق تغيير الكبريتيدات			
الذوبان العالي للكبريتات والكلوريدات	سيمثونايت	سفاليرايت	Zn
الحركة القليلة في نطاق الاكسدة	سيروسايت	جالينا وبقية خليط	Pb
وأكثر حركة بتواجد كبريتات	انجليسايت	الكبريتيدات	
الحديديك والكلوريدات .			
قليل الحركة بصيغة الكلوريدات		الذهب	Au
ويترسب بسرعة في الظروف الاختزالية			
متحرك بتواجد كبريتات الحديديك	سيرارجيرايت	أرجنتايت	Ag
مقاومة عالية للاكسدة		بلاتين	Pt
عديم الذوبان	كروميت	كرومايت	Cr
مقاومة عالية . ساكن		كاسيترايت	Sn
عالي الحركة ، سهل	الاكاسيد المائية	يورانانايت	U
التأكسد .	وعدد من		
	الاملاح		

المصدر : (٧)
ناسا ، NASA, 1968

٦ ـ ٢ العوامل المؤثرة في الانتشار الثانوي
FACTORS AFFECTING SECONDARY DISPERSION

١ ـ الدالة الحامضية ـ جهد التأكسد الاختزال :

تمثل الدالة الحامضية وجهد التأكسد اكبر الصفات الكيمياوية تأثيراً للماء على التفاعلات الكيمياوية لعمليات التجوية ، كما أنها يضبطان بقاء العناصر الفلزية الشحيحة في عدد من المياه الطبيعية ، وعلى الاخص المياه الجوفية ومياه التربة . وهنات علاقة بين الدالة الحامضية وجهد التأكسد التي يوضحها الشكل (٦ ـ ١) الذي يدعى بشكل الدالة الحامضية ـ جهد التأكسد . ويؤشر الشكل (٦ ـ ١) حدود قيم الدالة الحامضية المتوفرة في الطبيعة ، والتي تتراوح بين 4-9 ، كما أنه يؤشر حدود قيم جهد التأكسد المتوفرة في الطبيعة والتي يمكن حسابها من خلال تطبيق علاقة نرنست ، Nernst :

$$Eh = -0{,}059\,pH - \left[\frac{0{,}059}{2}\right] \log pH_2$$

على تفاعل اختزال الماء المتمثل بالمعادلة التالية :

$$H_2 = 2H^+ + 2\bar{e} \quad \ldots\ldots (١)$$

لتصبح المعادلة (١) كالآتي $Eh = -0{,}059\,pH$

وتطبيق معادلة العلاقة بين pH و Eh المتمثلة بالآتي :

$$Eh = E^\circ + \frac{0{,}059}{4} \log \left[\frac{[PO_2]\,[H^+]}{[H_2O]^2}\right]$$

على تفاعل تأكسد الماء والمتمثلة بالمعادلة الآتية :

$$2H_2O = O_2 + 4H^+ + 4\bar{e}$$

لتصبح المعادلة (٢) كالآتي : $Eh = 1{,}23 - 0{,}059\,pH$

ويشير الشكل (٦ ـ ١) الى العلاقة بين الحديدوز والحديديك عند مختلف الظروف من Eh و PH . وهذه هي العلاقة المثالية لكثير من العناصر التي تتواجد بأكثر من شحنة واحدة ، مثل المنغنيز ، الفناديوم ، النحاس واليورانيوم . بشكل عام ، فإن المياه المؤكسدة والقاعدية تساعد على ترسيب الحديديك ، أما المياه المختزلة والحامضية تساعد على إذابة الحديد ، وهذا يفسّر ترسيب الحديديك في ظروف قاعدية كما هو الحال في عدد من آفات التربة ومتبقيات التجويه للصخور الكاربونية مثلاً . كما أن دخول المياه الجوفية الى انظمة التصريف ، يؤدي الى تغيير الظروف المختزلة الى مؤكسدة ، وبالتالي يترسب الحديد والمنغنيز بسبب قابليتها المحدودة على الحركة عند مثل هذه الظروف .

تتواجد المياه الطبيعية بقيم مختلفة من الدالة الحامضية وجهد التأكسد (جدول ٦ ـ ٣) وتؤثر هذه المياه على ذوبان وتحرير وترسيب العناصر الكيمياوية ، حيث يعتمد اساساً ذوبان وبقاء كثير من اكاسيد العناصر الشائعة في الماء على قيمة الدالة الحامضية (شكل ٦ ـ ٢) .

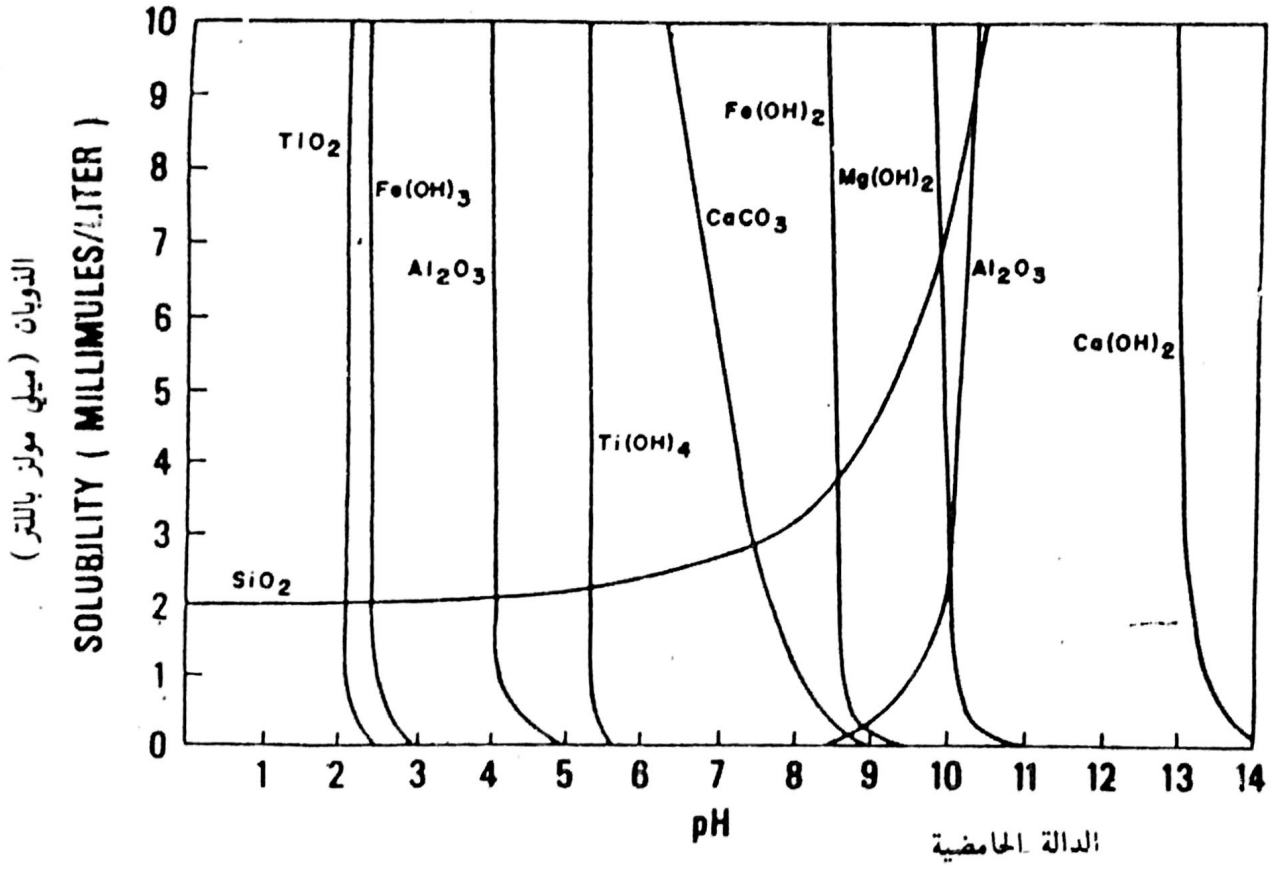
جدول (٦ ـ ٣) مديات وضوابط قيم الدالة الحامضية وجهد التأكسد ـ الاختزال لعدد من المياه الطبيعية .

الضوابط	(Eh (mV) مديات جهد التأكسد (ملي فولت)	pH مديات الدالة الحامضية	المياه
كمية CO_2, O_2 المذابة	300 +الى 800+	4-8	المياه الجوية
بيئة الصخور	100- الى 500	5-9	المياه الجوفية
التفاعلات العضوية			مياه المناجم
تأكسد البايرايت	200+ الى 800+	2-9	نطاق التأكسد
بيئة الصخور	100- الى 200+	6-9	نطاق رئيسي
كمية ونوعية المواد المذابة	100- الى 600+	4-10	المياه الجديدة للانهار والبحيرات
التوازن بين CO_2 المذاب وكاربونات الكالسيوم	200- الى 500+	6 - 10	مياه البحار
عدد من العوامل	185 - الى 700 +	0,85-9,5	مياه الجيوحراري
العزل عن الهواء	300 - الى 100 +	5-8	المياه الحبية
بيئة الصخور			

المصدر : (١)
باز ـ بيكنك وجماعته ، Baas-Becking et. al, 1960

ان اختلاف ذوبان بعض المعادن الكبريتيدية في المياه الطبيعية (نطاق التجوية) يمكن توضيحها بالشكل (٦ ـ ٣) الذي يفسر سهولة الانتشار الكيمياوي لمكونات معادن الجالينا والسفاليرايت في نطاق التجوية نسبة لمكونات معادن الجالكوسايت ، Chalcosite ، والكوفيلايت ، Covellite ، وعلى الاخص مكونات معدن الارجنتايت ، Argentite ، (والذهب) التي تنتشر مكوناتها بفعل فيزياوي بسبب امتلاك بيئة التجوية على قيمة من جهد التأكسد أقل من الجهد الذي تحتاجه اكسدة هذه المعادن .

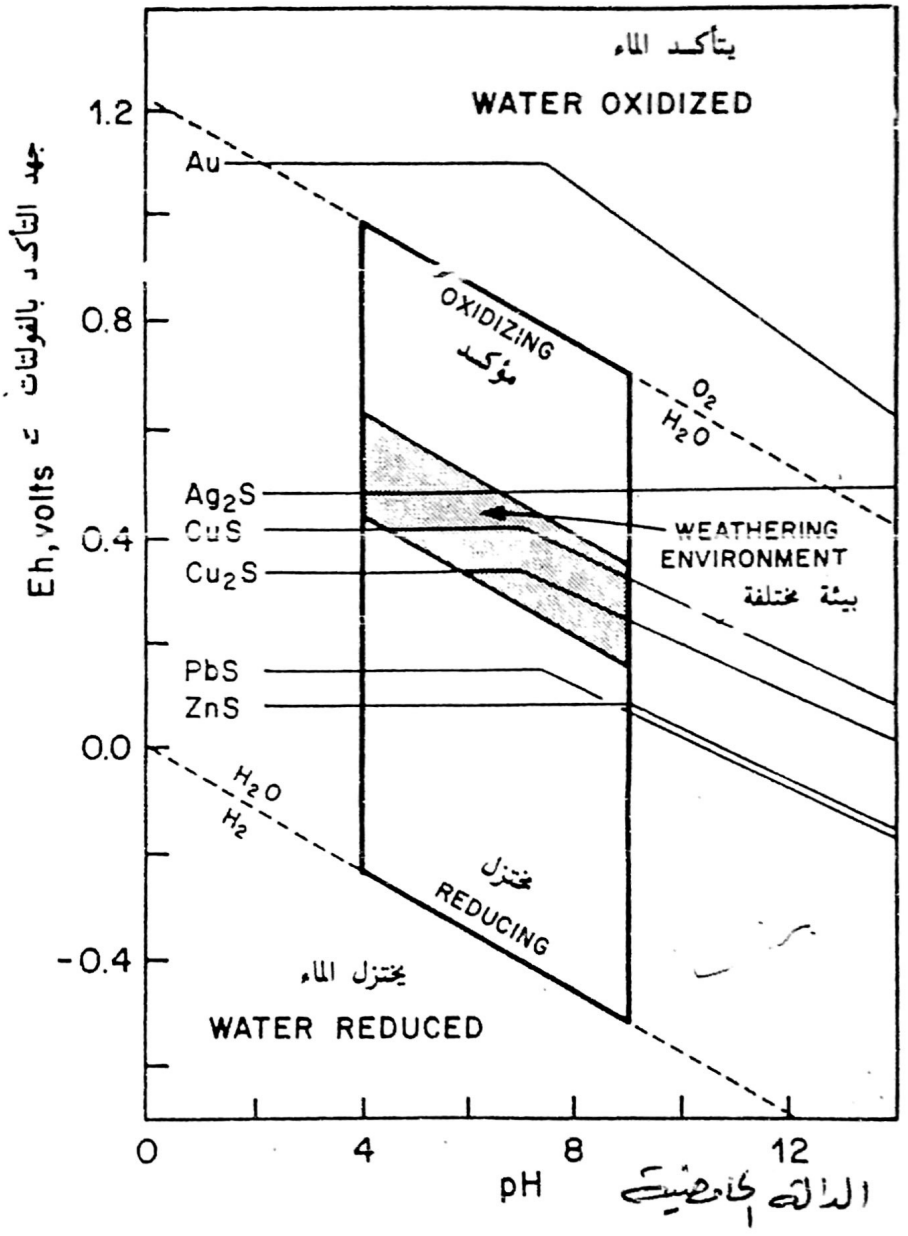
إن عمليات الأكسدة لا تتطلب فقط توفر الاوكسجين بل كذلك توفر أنظمة التصريف الكفوءة والضرورية لكي تجعل من عمليات الاكسدة ذات دلالة واضحة ، حيث تظهر على مكاشف الصخور الغير نفاذة للماء والهواء ، أكسدة قليلة . كما أن الفعاليات الحيوية تستهلك كل أو معظم الاوكسجين مما يحدد من فعاليات الاكسدة وبالتالي تجعل من البيئة ... بيئة اختزالية وحتى عند المواقع السطحية منها .



شكل (٦ ـ ٢)

اختلاف ذوبان بعض المكونات المتحررة خلال التجوية الكيمياوية ، باختلاف الدالة الحامضية .

المصدر : (٧)
لوحنان ، Loughnan ، 1969



شكل (٦ ـ ٣)

جهد التأكسد ـ الاختزال لبعض المعادن الكبريتيدية البسيطة عند 25°م وضغط جوي واحد وفعالية أيونية للفلز تساوي 10^{-6} مولار.

المصدر: (o)

هانسولد، 1967، Hansuld

٢ ـ اكاسيد الحديد والمنغنيز المائية

جاءت أهمية دراسة أكاسيد الحديد المائية واكاسيد المنغنيز في الاستكشاف الجيوكيميائي، بسبب قابليتها على امتصاص عدد من الفلزات المذابة، وكذلك

تصاحب ترسيب هذه الاكاسيد مع ترسيب بعض الفلزات المذابة . وهذا يجعل من هذه الاكاسيد مستودعاً للكثير من الفلزات وبغض النظر من تأثير الدالة الحامضية وجهد التأكسد على هذه الفلزات و/ أو حركتها العالية عند ظروف معينة من الدالة الحامضية وجهد التأكسد .

بالرغم من الاستخدام الشائع لهذه المواد في الاستكشاف الجيوكيميائي خلال العقد المنصرم ، وعلى الاخص في مسوحات حوض التصريف ، إلا أن تواجد هذه الاكاسيد يحدد من انتشار الفلزات العالية الحركة ، كما أنها يمكن أن تحتوي على تراكيز من الفلزات ليس لها علاقة بتواجد الشواهد المعدنية الخام (الشواذ الكاذبة ، False Anomalies) .

لقد حظيت دراسة تواجد اكاسيد الحديد والمنغنيز المائية في التربة والمياه الطبيعية بأهتمام الكثيرين من المختصين بعلوم التربة ، بسبب احتواء هذه المواد على الفلزات التي لها علاقة بحوادث تعرض البشر والحيوانات الى بعض الامراض .

قام جيني ، 1968 ، Jenny ، بمراجعة المعطيات المتوفرة عن تواجد المنغنيز والحديد والكوبالت والنيكل والنحاس والخارصين في التربة والرواسب الحديثة ، واستنتج بأن الاكاسيد المائية للحديد والمنغنيز تضبط وبشكل عام تثبيت الفلزات الثقيلة في التربة ورواسب المياه الحديثة ، وهذا يعتمد على مكونات الوسط المائي من الفلزات الذائبة ، والدالة الحامضية ، وكمية وقوة المعقدات العضوية واللاعضوية للفلزات الذائبة في الوسط المائي . وبالرغم من أهمية تواجد الفلزات في هذه الاكاسيد ، إلا أن معلوماتنا عن تفاصيل العمليات التي تؤدي الى هذ التواجد ماتزال تجريبية بشكل كبير ، ولا يمكن الوقوف عادة على الطريقة التي تتواجد بها هذه الفلزات في اكاسيد الحديد والمنغنيز المائية ، أي ، هل تتواجد هذ الفلزات بتأثير الترسيب المتصاحب أو الامتصاص أو كليهما ؟

درس هورسينل وإليوت ، Horsnail and Elliott, 1971 ، قابلية احتواء اكاسيد الحديد والمنغنيز على الفلزات الثقيلة في قنوات التصريف والرواسب لعدد من المواقع في كولومبيا البريطانية . وقد لاحظا في قنوات التصريف ، تواجد تراكمات من MO ، AS في الرواسب الغنية بالحديد ، في حين تحتوي الرواسب الغنية بالمنغنيز على كميات كبيرة من CO . ويوضح الجدول (٦ ـ ٤) تراكيز بعض العناصر النزرة في رواسب اكاسيد الحديد والمنغنيز وتجدر الاشارة هنا الى تاثير اوكسيد الالمنيوم الأقل تواجداً على تركيز واحتواء بعض العناصر مثل Ag V, MO, CO Ni, Zn, Cu, Pb,

جدول (٦ ـ ٤) تراكيز بعض العناصر الثانوية في رواسب اكاسيد الحديد والمنغنيز .

العناصر	التراكيز في معدل الصخور النارية (حـ . م . حـ)	التراكيز في رواسب اوكسيد الحديد (حـ . م . حـ)	التراكيز في رواسب اوكسيد المنغنيز (حـ . م . حـ)
As	2	10-700	70
Ba	640	90-370	1000-7000
Cu	70	180	2000-20 000
MO	1,7		300-3000
Ni	100	20-2000	1600-2200
Se	0,01	0,5-5,0	

المصدر : (٣)
كراسكويف ، Krauskopf , 1955
كرين ، Green, 1959

٣ المواد العضوية

تلعب المواد العضوية دوراً ملحوظاً في احتوائها وتركيزها لبعض الفلزات من خلال امتصاصها أو من خلال تكوين مركبات الفلزات العضوية . ويمكن أن تتواجد هذه المركبات بصيغ مذابة في مختلف المياه الطبيعية أو مع رواسب نطاق التجوية ، حيث تتراكم بعض الفلزات في آفاق الهيومس من مقاطع التربة مثال عنصري Cu Mo اللذان يصل تركيزهما في المواد العضوية الى 1% و 25 حـ م حـ على التوالي . وتعتمد قابلية المواد العضوية لاحتوائها بعض الفلزات على نوعية المواد العضوية وطبيعة المواد المتحللة منها ، والدالة الحامضية وجهد التأكسد . وليس من الغريب أن تمتلك المواد العضوية على هذه القابلية ، حيث أن قدرة التبادل الكتايوني لها قد تصل الى 500 meq/100 gm نسبة للمعادن الطينية التي نادراً ماتزيد قدرتها على التبادل الكتايوني عن 150 meq/ 100 gm .

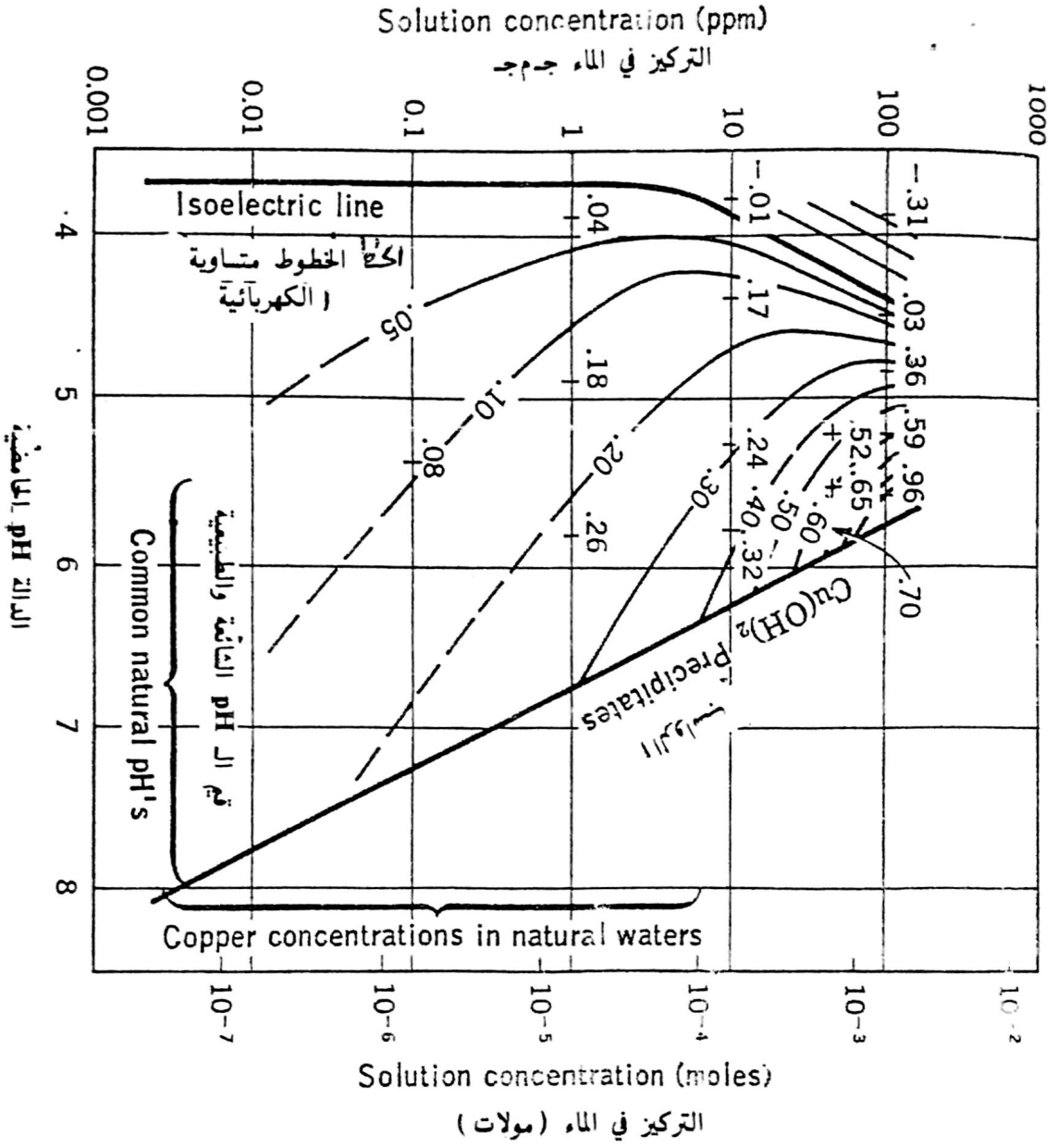
بالرغم من المعرفة البسيطة لطبيعة عملية تواجد الفلزات في المواد العضوية ، إلا أنها ذات أهمية واضحة في برامج الاستكشاف الجيوكيميائي وتعتبر المسؤولة مع

جدول (٦ ـ ٥) قدرة التبادل الايوني لبعض المعادن الطينية والانواع الشائعة من التربة .

المعادن والتربة	قدرة التبادل الكتايوني meg/ 100 gm
كأولينايت	3-15
هالوسايت	3-15
مونتمور يلونايت	80-150
إلايت	10-40
كلورايت	10-150
فر مكيولايت	10-150
الجزء العضوي من التربة	150-50
تربة البودزول (الولايات المتحدة)	5-25
جيرونوزوم (الاتحاد السوفيتي)	30-60
تربة البلاك كوتن Cotton Black (الهند)	50-80
لاتوسول (شمال زمبابوي)	2-10
تربة الكلي "Gley" (شمال زمبابوي)	15-25

المصدر : (٥) و (٣)

جوفي ، Goffe, 1949 كريم Grim, 1953; ماهر وفان بارن ، Mohr and Van Baren, 1954 تـوومز ، Toomس, 1955; كوفيت ، Govet, 1958; ليفنسون ، Levinson, 1980



شكل (٦ ـ ٤)

كمية النحاس الممتصة على الكوارتز بدلالة (pH) ومكونات المحلول من النحاس.

المصدر: (٣)

ريجاردسون وهاوكس، Richardson and Hawkes, 1958

٦ ـ استقرارية المعادن الثانوية :

يؤدي تأثير ظروف نطاق التجوية على كثير من المعادن الخام ، إلى تكوين معادن جديدة . وتحدد استقرارية هذه المعادن ، انتشار العناصر الكيمياوية المكونة لها . يوضح الجدول (٦ ـ ٦) كمية ذوبان الاملاح في مياهها المشبعة وتراكيز المكونات الفلزية لهذه الاملاح ، في المياه الطبيعية الجديدة . ويمكن أن نستنتج من هذا الجدول بأن جميع هذه الاملاح (المعادن الثانوية) غير مستقرة وتذوب عند ملامستها للمياه الجديدة ، ولكن ربما تكون هذه المعادن الثانوية مستقرة في مناطق

جدول (٦ ـ ٦) ذوبان الاملاح المتواجدة في الطبيعة كمعادن ثانوية

الاملاح	المعادن المكافئة	المكونات وكميتها في المحاليل المائية المشبعة * جـ م جـ		متوسط كمية المكونات في المياه الجديدة الطبيعية جـ م جـ
$AgCl$	سيرارجيرايت	Ag^{+}	$1,4^{a}$	3×10^{-6}
$BaSO_4$	بارايت	Ba^{2+}	$1,3^{a}$	0,16
CaF_2	فلورايت	F^{-}	8^{b}	0,25
$CuCO_3 . Cu(OH)_2$	ملاكايت	Cu^{2+}	12^{c}	0,002
$2CuCO_3 . Cu(OH)_2$	أزورايت	Cu^{2+}	7^{d}	0,002
$PbCO_3$	سيروسايت	Pb^{2+}	$1,3^{b}$	0,002
$PbSO_4$	انجلسايت	Pb^{2+}	27^{b}	0,002
$ZnCO_3$	سميثونايت	Zn^{2+}	107^{b}	0,01

(a) عند 25° م
(b) عند 18° م
(c) بتواجد 0,29 غم CO_2 في لتر وعند 20° م
(d) بتواجد 0,34 غم CO_2 في لتر وعند 20° م
* جميع هذه الارقام خاصة بالمياه المتعادلة النقية باستثناء تأشير غير ذلك .
المصدر : (٣)
سيديل ، 1940 ، Seldell .

تجوية المعادن الخام الاصلية ، حيث يزداد تراكيز العناصر في مياه أنظمة التصريف في هذه المناطق ، بشكل عام ، فأن كمية العناصر المذابة أو حاصل الذوبان Solubility Product ، للمعادن في مياهها المشبعة ، لا يمكن الاعتماد عليها دائماً في تحديد ترسيب أو استقرارية هذه المعادن في المياه الطبيعية ، وذلك بسبب تأثير الكتايونات والانايونات المذابة في هذه المياه ، على ترسيب مكونات المعادن . مثال : تبلغ تراكيز Ca^{2+} و CO_3^{2-} في مياه البحار القريبة من السطح 0,01M و 0,003M على التوالي . ويبلغ حاصل ضرب التركيزين 3×10^{-6} ، وهذا اكبر بحوالي 700 مرة من حاصل ضرب الفعالية الايونية ، أو حاصل الذوبان لمعدن الكالسايت الذي يساوي $4,5 \times 10^{-9}$. وهذا يعني الاشباع العالي جداً لمياه البحر بمكونات معدن الكالسايت !! ، مما يجعل الاعتقاد بترسيب معدن الكالسايت من مياه البحار وبشكل مستمر . ومن خلال حساب تراكيز Ca^{2+} و CO_3^{2-} الموجودة في مياه البحار والمهيئة للاتحاد فيما بينها وكذلك حساب تأثير Mg^{2+} و SO_4^{2-} عليها ، يمكن تخفيض حاصل ضرب تركيز $[Ca^{2+}]$ و $[CO_3^{2-}]$ إلى 14×10^{-9} مما يؤشر بأن مياه البحر مشبعة بمكوناتها من معدن الكالسايت . وهذا الرقم هو أقرب ما يمكن التوصل إليه في مياه معقدة كمياه البحار .

٧ ـ العوامل الاخرى :

تتضمن العوامل الفيزياوية الناتجة من الجذب الارضي والمؤثرة على انتشار المواد المنقولة في نطاق مواد سطح الارض الصلبة ، وكذلك المياه السطحية والمياه الجوفية والمياه الراكدة . كما تتضمن هذه العوامل انتشار المواد المنقولة بفعل حركة الجليد والرياح وتأثير فعاليات بعض الحيوانات على انتشار المواد المجواة . وتتضمن كذلك ، العوامل البيئية المؤثرة على انتشار نواتج التجوية مثل الظروف الجوية ، التضاريس الارضية ، جيولوجية المنطقة ، الفعاليات الحيوية ، الزمن . وقد تم توضيح تأثير هذه العوامل بالتفصيل في الفقرات المخصصة لمناقشة موضوع التجوية وتكوين التربة . أما بالنسبة لبقية العوامل المؤثرة في أعلاه ، سيتم مناقشة تأثيرها على اشكال صيغ الانتشار الثانوي في الفقرات التالية وحسب أهميتها .

٦ ـ ٣ حركة العناصر في البيئة الجيوكيميائية الثانوية
ELEMENTS MOBILITY IN SECONDARY GEOCHEMICAL ENIRONMENT

إن العوامل المتعددة والمختلفة التي تم مناقشة تأثيرها على الانتشار الثانوي للعناصر ، تجعل من دراسة حركة العناصر في البيئة الثانوية من المواضيع المعقدة جداً . وبالرغم من هذا التعقيد ، فقد جرت محاولات عديدة بهدف ايجاد الحركة النسبية للعناصر في المناطق المعدنية المختلفة وذلك من خلال تحديد كمية تواجد العناصر النزرة في المياه ، رواسب الروافد ، التربة ، الصخور الحائط ، وعند مسافات مختلفة من المصدر الخام . واستطاع أندروز ـ جونس ، Andrews-Jones, 1968 ، تجريبياً تقدير الحركة النسبية للعناصر في البيئة الثانوية واستند بتصنيفه لحركة العناصر على جهد التأكسد والدالة الحامضية ، حيث وضع اربعة ظروف بيئية رئيسية وهي البيئة الحامضية والمؤكسدة والقاعدية والمختزلة (جدول ٦ ـ ٧) . وهذا التصنيف القريب من الواقع . يوضح اختلاف حركة العناصر باختلاف الظروف البيئية من دالة حامضية وجهد تأكسد . أما تصنيف حركة العناصر في البيئة الثانوية ، والذي يعتمد على قابلية الذوبان لأملاح بعض العناصر مثل الكبريتات ، الكلوريدات ، الكاربونات المؤشرة في الجدول (٦ ـ ٨) ، لايمكن الاعتماد عليه بسبب عدم امكانية تطبيق معطيات ذوبان هذه الاملاح في المياه الطبيعية المركزة بالعناصر ، مثل مياه التربة والمالح . كما أن معدلات ذوبان بعض هذه الاملاح مثل كاربونات الخارصين ، تعتمد على كمية ثاني اوكسيد الكاربون المذاب في المياه . كذلك فان مكونات مياه الإنهار من السليكا ، لها تأثير بالغ على كمية ذوبان الخارصين بالأضافة الى تأثير العوامل الحياتية والامتصاص من قبل رواسب الروافد .

يجب التأكيد على تحديد طبيعة العوامل المؤثرة في حركة العناصر عند استخدامها في برامج الاستكشاف الجيوكيميائي . فاذا كانت هذه العوامل فيزياوية ، فإن الأمر يتطلب فقط تحديد عمليات التعرية المختلفة والمؤثرة في المنطقة ، وهذا يعني تحديد عدد من المتغيرات المؤثرة على حركة العناصر والتي تكون قليلة نسبة للاعداد الكبيرة من العوامل الكيمياوية المختلفة .

٦ ـ ٤ صيغ الانتشار الثانوي
SECONDARY DISPERSION PATTERN

تعتبر صيغ إنتشار العناصر في البيئة الثانوية من المواضيع المعقدة في الاستكشاف الجيوكيميائي ، وذلك بسبب تظافر عدد كبير من العوامل المختلفة في

جدول (٦ ـ ٧) الحركة النسبية للعناصر في البيئة الثانوية

الحركة النسبية	الظروف البيئية			
	مؤكسد	حامضي	متعادل ـ قاعدي	مختزل
VERY HIGH عالي جداً	Cl. I. Br S. B	Cl. I. Br S. B	Cl. I. Br S. B Mo. V. U. Se. Re	Cl. I. Br
HIGH عالي	Mo. V. U. Se. Re Ca. Na. Mg. F. Sr. Ra Zn	Mo. V. U. Se. Re Ca. Na. Mg. F. Sr. Ra Zn Cu. Co. Ni. Hg. Ag. Au	Ca. Na. Mg. F. Sr. Ra	Ca. Na. Mg. F. Sr. Ra
MEDIUM متوسط	Cu. Co. Ni. Hg. Ag. Au As. Cd	As. Cd	As. Cd	
LOW منخفض	Si. P. K Pb. Li. Rb. Ba. Be Bi. Sb. Ge. Cs. Tl	Si. P. K Pb. Li. Rb. Ba. Be Bi. Sb. Ge. Cs. Tl Fe. Mn	Si. P. K Pb. Li. Rb. Ba. Be Bi. Sb. Ge. Cs. Tl Fe. Mn	Si. P. K Fe. Mn
VERY LOW TO IMMOBILE منخفض جداً أو ساكن	Fe. Mn Al. Ti. Sn. Te. W Nb. Ta. Pt. Cr. Zr Th. Rare Earths	Al. Ti. Sn. Te. W Nb. Ta. Pt. Cr. Zr Th. Rare Earths	Al. Ti. Sn. Te. W Nb. Ta. Pt. Cr. Zr Th. Rare Earths Zn Cu. Co. Ni. Hg. Ag. Au	Al. Ti. Sn. Te. W Nb. Ta. Pt. Cr. Zr Th. Rare Earths S. B Mo. V. U. Se. Re Zn Co. Cu. Ni. Hg. Ag. Au As. Cd Pb. Li. Rb. Ba. Be Bi. Sb. Ge. Cs. Tl

المصدر : (٥)
أندروز ـ جونس ، Andrews-Jones, 1968

جدول (٦ ـ ٨) تصنيف حركة العناصر بالاعتماد على مقدار ذوبان املاحها في الماء .

(أولاً) الكاربونات :

كاربونات Na, K, Cr ذائبة بشكل ملحوظ في الماء ؛كاربونات Ba, Sb, Ag^{+} Ni, Mn^{2+} Mg, Pb, Hg^{+}, Fe^{3+}, Fe^{2+}, Au, Cu, Co, Ca, Cd, Bi, Sn^{2+}, Zn, Sr, Pt غير ذائبة أو قليلة الذوبان جداً .

(ثانياً) الكلوريدات :

كلوريدات Mn^{2+}, Mg, Pb, Fe^{3++}, Fe^{2+}, Cu, Co, Ca, Cd, Ba, Sb ذائبة في المياه ؛وكلوريدات Au^{+}, Cr, Bi, Pt, Zn. Sr, Sn^{2+}, Na, K, Ni, Ag, Hg^{+} غير ذائبة .

(ثالثاً) الكبريتات :

كبريتات Zn, Sn^{2+}, Na, K, Ni, Mn^{2+}, Mg, Fe^{2+}, Cu, Co, Cr, Cd ذائبة في المياه وكبريتات Pt. Sr, Ag, Hg^{+}, Pb, Fe^{3+}, Au^{+}, Ca, Sb غير ذائبة أو شحيحة الذوبان في المياه .

المصدر : (٥)

Handbook of Chemistry and physics

تحديد مديات وأشكال الانتشار الثانوي للعناصر . ولا تتحدد هذه المديات والاشكال بعوامل التجوية والتعرية واستقرارية العناصر في المحاليل فقط ، بل تعتمد كذلك على الظروف الجيولوجية والمائية ، بالاضافة الى عدد من العوامل الخاصة بمنطقة الدراسة مثل البنية المحلية ، التضاريس الارضية ، الغطاء النباتي... وغيرها . ولهذا فان التعرف على صيغ الانتشار الثانوي وتفسيرها واقتفائها باتجاه المصدر تعتبر من المواضيع الصعبة في الاستكشاف الجيوكيميائي. ويوجد حالياً عدد كبير من المراجع العلمية التي تناقش هذا الموضوع .

تصنّف صيغ الانتشار الثانوي حسب هاوكس و وب ، Hawkes and webb، 1962 ، بالاعتماد على زمن تكوين هذه الصيغ نسبة للمواد المضيفة ، وكذلك بالاعتماد على طريقة تكوين هذه الصيغ ، حيث أقترحا صيغ

الانتشار المتزامنة . Syngenetic ، لتأشير تزامن تكوين هذه الصيغ مع المواد المضيفة لها ، وصيغ الانتشار المتأخرة ، Epigenetic ، للصيغ المتكونة بعد تكوين المواد المضيفة لها . وبالرغم من أن التمييز بين الصيغ المتزامنة والصيغ المتأخرة غير واضحة في البيئة الثانوية نسبة للبيئة الرئيسية مثل صيغ الانتشار في التربة ورواسب الروافد التي تمثل خليطاً من الصيغ المتزامنة والمتأخرة ، غير أن هذا التصنيف مهم في تحديد زمن تكوين هذه الصيغ نسبة للمواد المضيفة ، وعلى الاخص تفسير صيغ الانتشار المركبة (متزامنة ومتأخرة) في الاستكشاف الجيوكيميائي . كما اقترحا تضنيف صيغ الانتشار الثانوي حسب طبيعة تكوينها الى :

١ ـ صيغ الانتشار الميكانيكية : التي تتكون بشكل رئيسي بفعل حركة المواد الصلبة نتيجة تأثير حركة المياه والجليد والرياح .

٢ ـ صيغ الانتشار المائية : التي تتكون نتيجة تأثير العوامل الديناميكية المتمثلة بالمحاليل المائية .

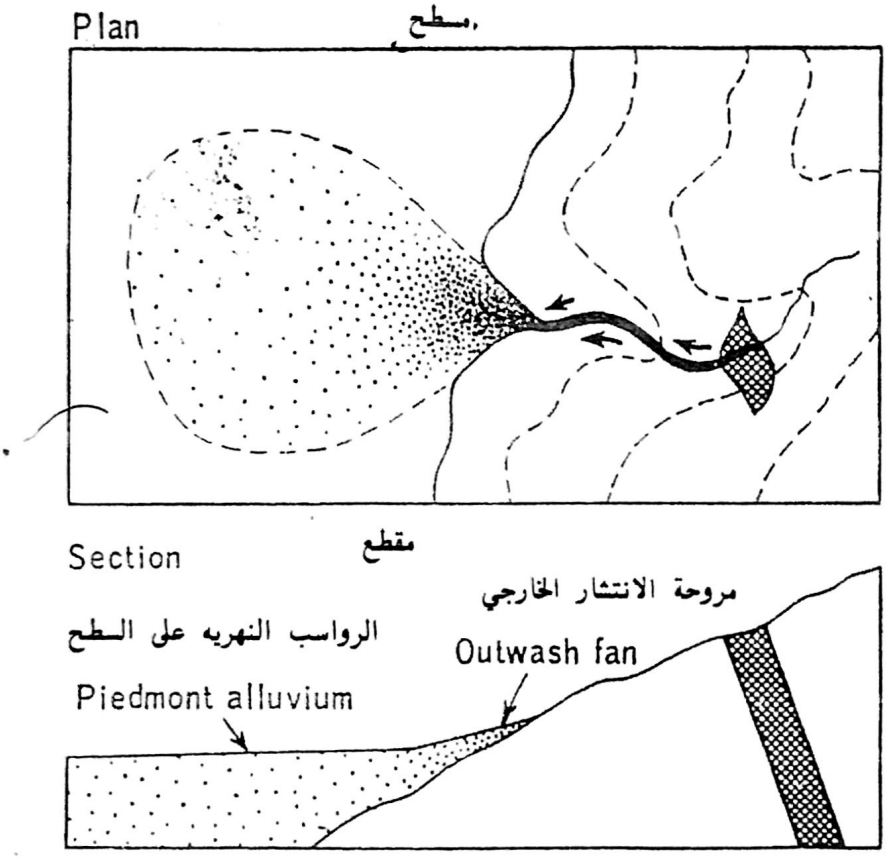
٣ ـ صيغ الانتشار الحياتية : التي تتكون نتيجة الفعاليات الحياتية .

وتستخدم مصطلحات عديدة للتعبير عن طبيعة واشكال تواجد صيغ الانتشار الثانوي منها : سوبر جيسنت ، Superjacent ، لتأشير تواجد صيغ الانتشار فوق صخور المصدر، جانبي ، Lateral ، للتعبير عن صيغ الانتشار المزاحة بشكل كامل الى أحد الجوانب وفوق طبقات الصخور الاخرى (غير صخور المصدر) . كما تستخدم مصطلحات عديدة للتعبير عن الاشكال المختلفة لصيغ الانتشار منها مصطلح هالة ، Halo ، لتواجد صيغ الانتشار المتناظرة فوق صخور المصدر ، ومصطلح مراوح ، Fans ، لتواجد صيغ الانتشار على جانب واحد من صخور المصدر ، ومصطلح القافلة ، Train ، لتواجد صيغ الانتشار في التربة المنقولة في قنوات محددة من أنظمة التصريف أو تكوين التربة في مواد الشواذ المتكونة بصيغ انتشار خطية نتيجة حركتها على امتداد قنوات التصريف الواضحة المعالم . وترتبط عادة هذه المصطلحات بتعابير أخرى تؤشر وضوح صيغ الانتشار مثل بارزة ، Intense ، أو غير بارزة ، Diffused .

٦ ـ ٤ ـ ١ صيغ الانتشار الميكانيكية
MECHANICAL DISPERSION PATTERNS

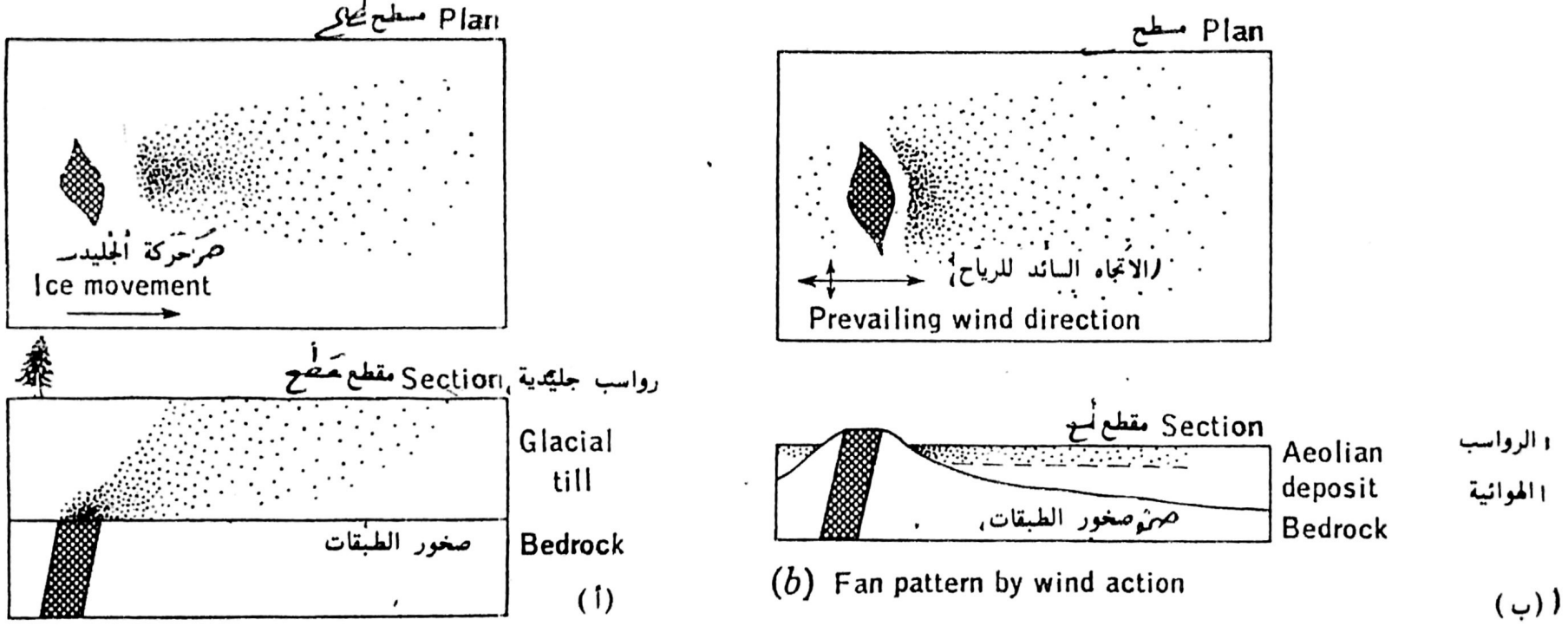
بشكل عام ، تتكون صيغ الانتشار الميكانيكي مع تكوين المواد المضيفة ، وذلك نتيجة تأثير العوامل الميكانيكية للوسط الناقل . لهذا ، تعتبر صيغ الانتشار

الميكانيكية احدى صيغ الانتشار المتزامنة . فأذا كان الوسط المؤثر هو الماء فإن هذه الصيغ تتكون في الرواسب النهرية (شكل ٦ ـ ٥) وكما هو الحال في تواجد المعادن الثقيلة وحبيبات المعادن الكبريتيدية في الرواسب النهرية . كما تتكون هذه الصيغ نتيجة تأثير الوسط الناقل والمتمثل بالحركة الجليدية والرياح (شكل ٦ ـ ٦) . ويعتمد شكل صيغ الانتشار الميكانيكية على الوسط الناقل والمؤثر ، حيث تتكون صيغ هالة السوبر جيسنت Superjacent Halo ، في التربة المتبقية ، بينما تتكون صيغ المراوح الجانبية ، Lateral Fan ، بفعل تأثير حركة الجليد والرياح . كما تؤدي عمليات التجوية والجذب الارضي الى تشويه صيغ الانتشار الميكانيكي وتقطعها (شكل ٦ ـ ٧) وفي الحالات المتطرفة قد تتكون صيغ المراوح ، Fans ، والممتدة على طول المنحدر ومن موقع صخور المصدر .



شكل (٦ ـ ٥)
الصيغ المتزامنة (الفتانية) بشكل المروحة "Fan" المتكونة في الرواسب النهرية .

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



شكل (٦ ـ ٦)

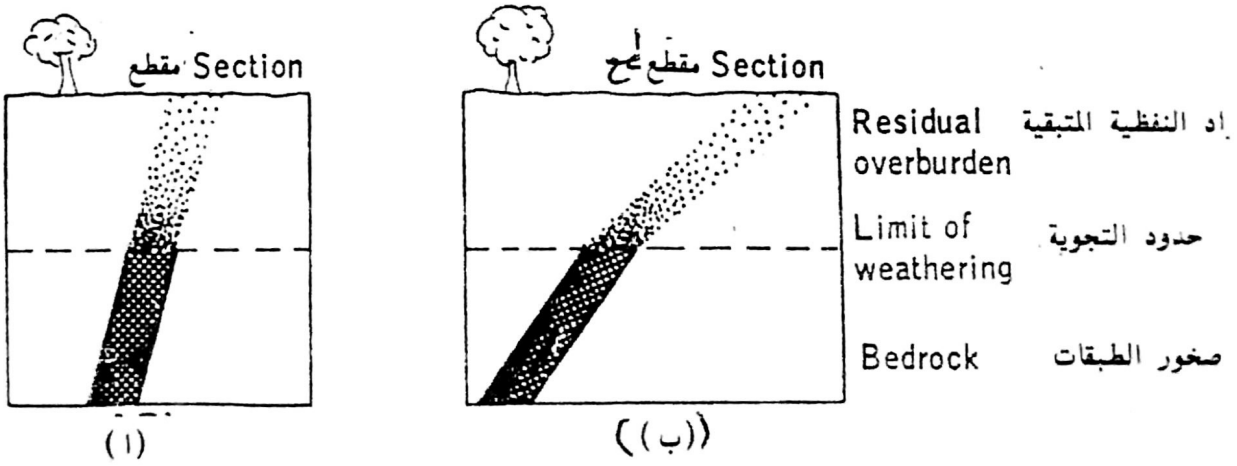
الصيغ المتزامنة (الفتانية) في مواد التغطية المنقولة (أ) صيغ المروحة الناتجة من تأثير حركة الجليد
(ب) صيغ المروحة الناتجة من تأثير حركة الرياح

المصدر : (٣)

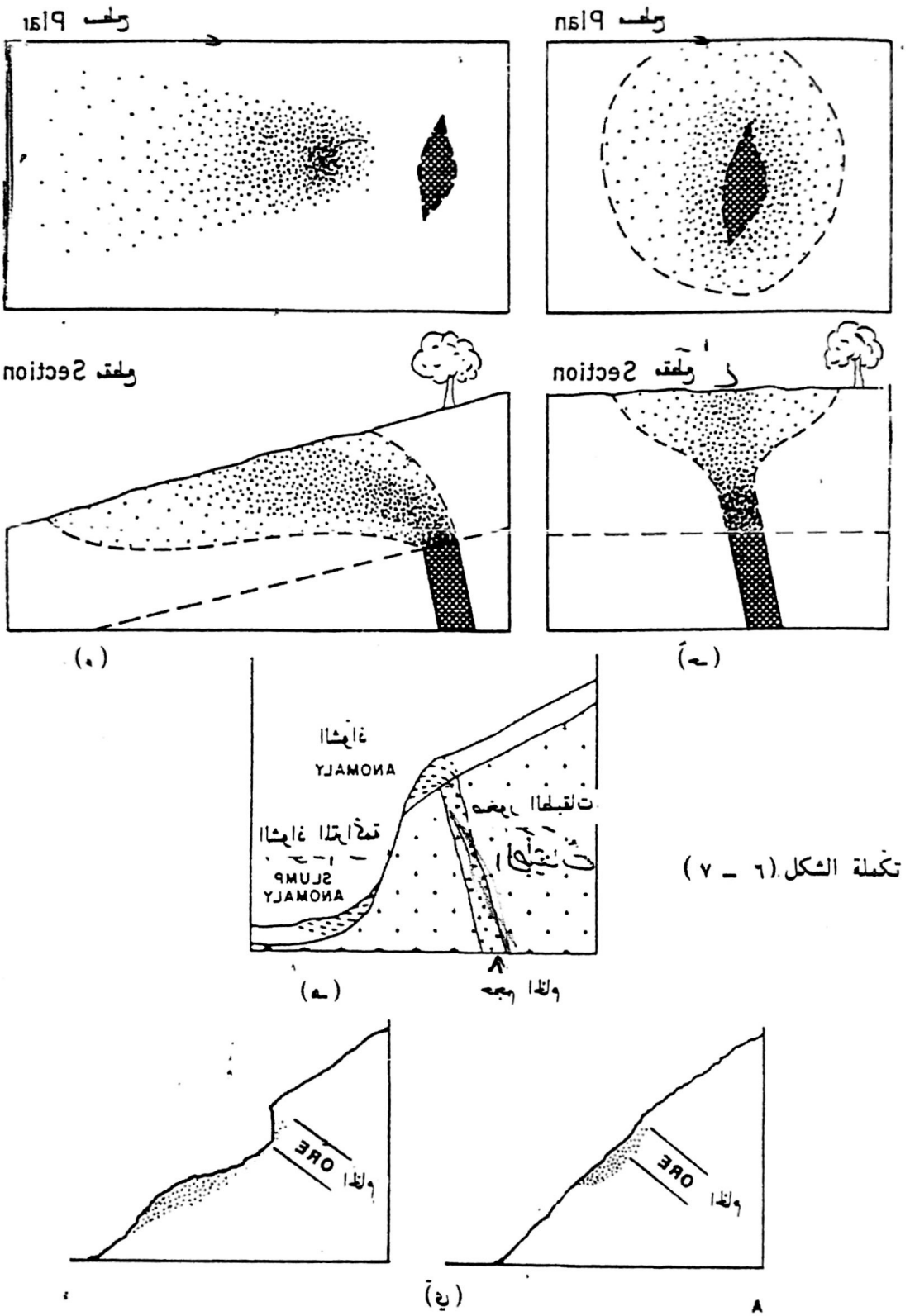
هاوكس و وب ، Hawkes and Webb, 1962

٦ ـ ٤ ـ ٢ صيغ الانتشار المائية
HYDROMORPHIC DISPERSION PATTERNS

تمثل هذه الصيغ ، جميع صيغ الانتشار المتأخرة ، التي يمكن تحسسها في مياه الينابيع والبحيرات والانهار والمياه الجوفية ورواسب الروافد والتربة .... وغيرها . وبالنسبة لصيغ انتشار العناصر المذابة في المياه ، يعتمد شكل هذه الصيغ على اتجاه الحركة المحلية للمحاليل ، فحركة المياه خلال القنوات الكثيفة يؤدي الى تكوين صيغ القافلة ، Train ، وكما هو الحال في أنظمة التصريف السطحية (شكل ٦ ـ ٨) . بينما تتكون صيغ المراوح ، Fans ، في المياه الجوفية (شكل ٦ ـ ٩) مع بعض التغيرات الناتجة من تفضيل المياه على الحركة وعلى امتداد طبقات الصخور والقنوات أو الانطقة النفاذة من مواد التغطية . أما شكل صيغ الانتشار المائية المتكونة في رواسب الروافد والتربة ، فيعتمد على مقدار الحركة الجانبية للمحاليل ، حيث يتراوح شكل صيغ الانتشار من هالة ، Halo ، الى مروحة ، Fan ، في مواد التغطية التي تخفي الجسم الخام (شكل ٦ ـ ١٠) . ويزداد تعقيد هذه الصيغ بزيادة التوزيع العشوائي للظروف المحلية والمؤثرة على ترسيب المكونات الذائبة في المياه . كما أن تواجد المنطقة ببنية محلية معينة مثال : تواجد الفوالق باتجاهات معينة ، يؤدي الى ازاحة صيغ الانتشار المائية في التربة (شكل ٦ ـ ١١) عن التسقيط العمودي لموقع صخور المصدر .



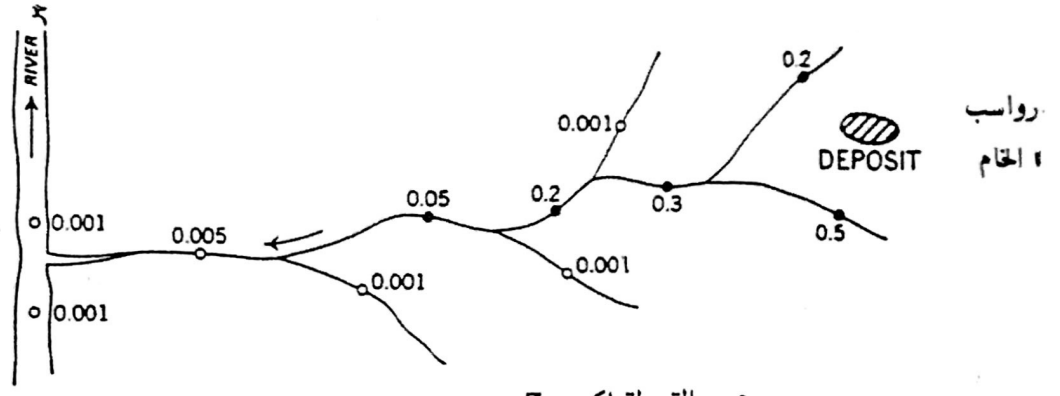
شكل (٦ ـ ٧)
الصيغ المتزامنة (الفتاتية) في مواد التغطيه المتبقية
(أ) تجوية بسيطة
(ب) تجوية مع انضغاط



تكملة الشكل (٦ ـ ٧)

(جـ) تجوية وخلط التربة بتأثير الصقيع والفعاليات الحياتية وتمثل ضيغ الهالو "Halo" ،
(ء) تجوية مع زحف التربة وتمثل ضيغ المروحة "Fan"
(هـ ، ي)
تأثير الحركة الانزلاقية باتجاه الاسفل لمواد التفظية والتي تؤدي الى ازاحة الشواذ من الموقع الحقيقي للخام .

المصدر : (٣) ، (٥) ، (٧) ، (أ) (ب) ، (حـ) ، (ء) هاوكس ووب ، 1962 ، Webb and HawKes و (ي) سيكل ، 1974 ، Seigel و (هـ) ليفنسون ، 1980 ، Levinson



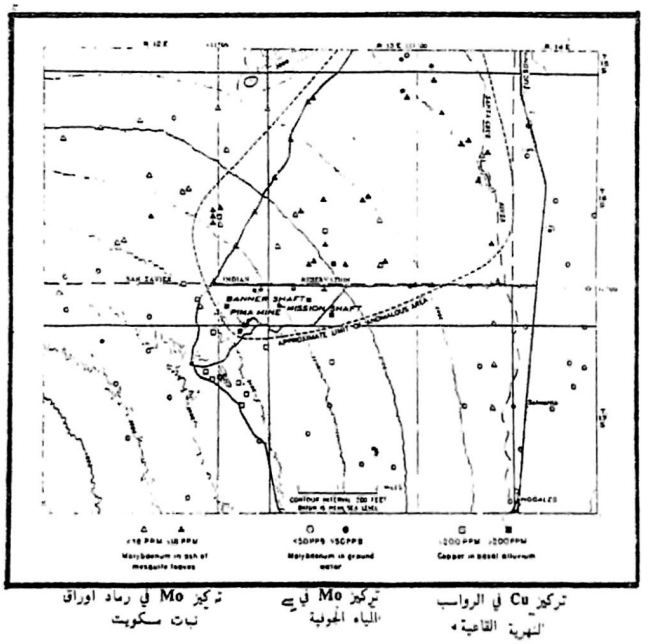
جميع القيم لتراكيز Zn جـ م جـ

شكل (٦ ـ ٨)

صيغة الانتشار القافلة "Train" المثالية والمتكونة في مياه روافد نظام تصريف منطقة رواسب Cu-Zn

المصدر : ٥٠

بويل وجماعته ، 1971 ، Boyle etal.



تركيز Mo في رماد اوراق نبات مسكويت

تركيز Mo في المياه الجوفية

تركيز Cu في الرواسب النهرية القاعية

شكل (٦ ـ ٩)

خارطة جيوكيميائية توضح الشواذ الناتجة من انتشار الفلزات المكونة لرواسب النحاس البورفيري بتأثير المياه الجوفية ، منطقة بيما "Pima" أريزونا "Arizona"

المصدر : ـ

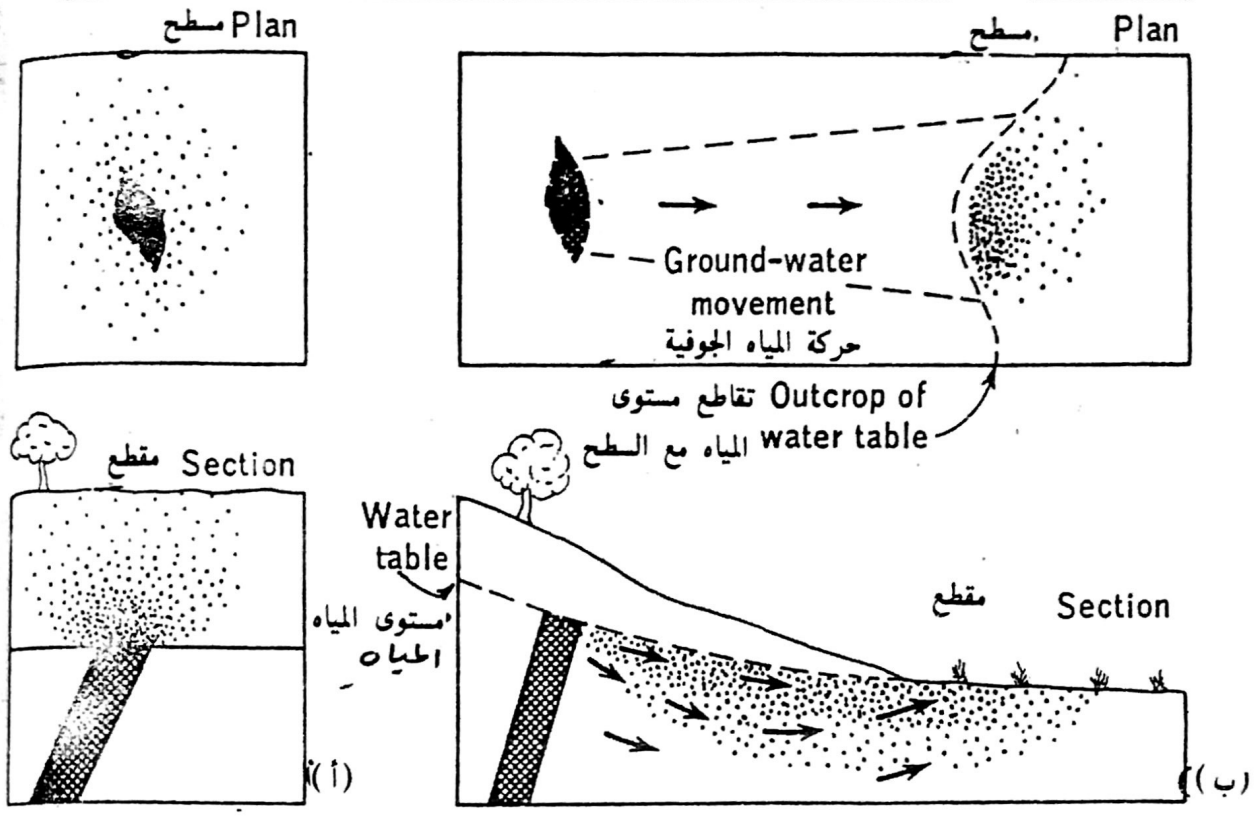
هوف ومارانزينوا ، 1961 ، Huff and Marranzino

٦ ـ ٤ ـ ٣ صيغ الانتشار الحياتية
BIOCHEMICAL DISPERSION PATTERNS

تتكون هذه الصيغ من الانتشار ، خلال نمو النباتات على التربة التي تحتوي على تراكيز شاذة من العناصر الفلزية . وبذلك تنتقل التراكيز الشاذة للعناصر الى النباتات ، وتتكون بالتالي الشواذ النباتية بشكل متزامن مع نمو النباتات . ولهذا تعتبر هذه الصيغ من الانتشار صيغ متزامنة (شكل ٦ ـ ١٢) . وتعكس هذه الصيغ جزئياً ، التركيب الكيمياوي لصخور المصدر ومواد التغطية ، كما تعكس في الجزء الآخر التركيب الكيمياوي لمحاليل المياه الجوفية المتوفرة في المنطقة .

تتكون صيغ الانتشار الحياتية كذلك ، من خلال تحلل المواد العضوية الحية أو الميتة والتي تمثل الشواذ النباتية ، حيث يتحرر جزء كبير من مكوناتها من العناصر الكيمياوية والتي تحتفظ بها التربة مكونة الشواذ المتأخرة ذات المنشأ الحياتي (شكل ٦ ـ ١٢) . وتتواجد هذه الصيغ في مواد التغطية المنقولة أو المتبقية ولها نفس العلاقة التي تضبط صيغ الانتشار الحياتية المتزامنة مع صخور المصدر ، حيث تتكون الصيغ المتأخرة مباشرة من الصيغ النباتية المتزامنة المعنية .

بشكل عام ، تعتبر صيغ الانتشار الحياتية أقل وضوحاً من الصيغ المائية والميكانيكية المتواجدة في نطاق جذور النباتات ، حيث يعتمد تكوين صيغ الانتشار الحياتية على طبيعة الدورة ـ الحياتية الجيوكيمياوئية المعقدة للفلزات ، وكذلك يعتمد على مكونات انطقة جذور النباتات من الفلزات . ويختلف شكلها من سوبرجيسنت Superjacent الى جانبي Lateral ، ومن هالة Halo الى مروحة Fan أو حتى قافلة Train في حالة تحديد مسار المياه الجوفية بقنوات على امتداد انظمة التصريف تحت السطح . وربما تتكون هالة ، Halo ، بارزة ، Intens ، عندما تتواجد جذور النباتات مباشرة في الجسم الخام المطمور (شكل ٦ ـ ١٢) .



شكل (٦ ـ ١٠)

اليصيغ المتأخرة والمتكونة في مواد التغطية المنقولة .

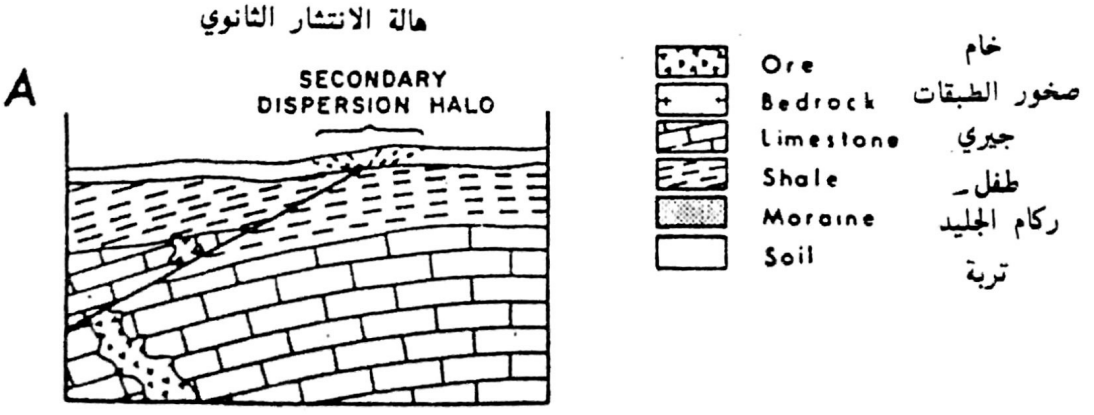
أ ـ صيغة الهالة "Halo" الناتجة من الحركة باتجاه الاعلى لرطوبة التربة .

ب ـ صيغة المروحة "Fan" في المواد تحت السطح والناتجة من تأثير الحركة الجانبية للمياه الجوفية.

المصدر : (٣)

هاوكس ووب ، 1962 ، Hawkes and webb

هالة الانتشار الثانوي

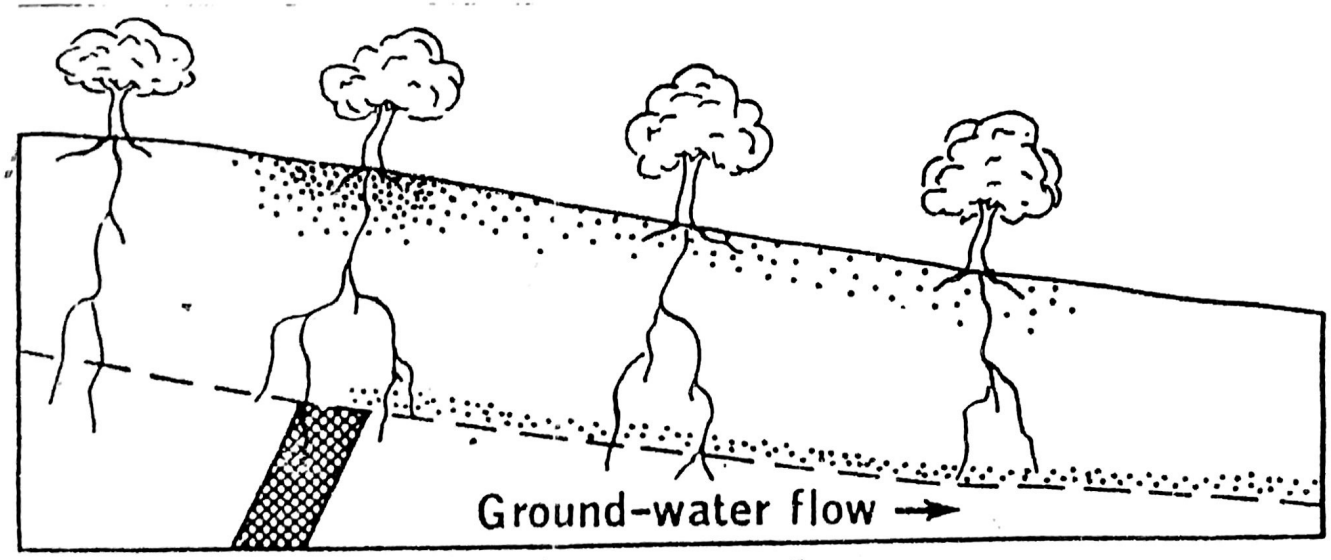


شكل (٦ ـ ١١)

تأثير البنية المحلية للجسم الخام على ازاحة صيغ الهالة "Halo"

المصدر : (٥)

أندروز ـ جونز ، 1968 ، Andrews -Jones



حركة المياه الجوفية

شكل (٦ ـ ١٢)

صيغ الانتشار الحياتية
المصدر : (٣)
هاوكس ووب ، 1962 ، awkes and webb
حركة المياه الجوفية