جيوكيمياء الرواسب البحريّة

لطلّاب السنة الرّابعة- شعبة الجيولوجيا البحريّة

د. سامر غدير
المعهد العالي للبحوث البحرية

د. أحلام إبراهيم
قسم الجيولوجيا

2015 – 2016 م.

1436 – 1437 هـ.

الفصل الثاني: التركيب الكيميائي للقشرة الأرضية

مقدمة: يرتبط انتشار العناصر المكوّنة لصخور القشرة الأرضية ارتباطاً مباشراً بخواصها الذرّية. إنّ السلوك الجيوكيميائي للعناصر بمختلف أنواعها يعتمد على خاصتين أساسيتين هما: (1) حجم الأيونات (نصف القطر الأيوني) (2) تكافؤ الأيونات، وترتبط هاتان الصفتان ارتباطاً وثيقاً بالبنية الالكترونية لذرة العنصر. من الضروري التطرّق لموضوعات جيوكيمياء العناصر قبل نقاش التركيب الكيميائي للأرض بأجزائها المختلفة.

2-3-التصنيف الجيوكيميائي للعناصر المكوّنة لمادة الأرض:

إنّ الافتراض السائد هو أنّ الأرض تكوّنت من تجمّع مرحلي لمواد نجمية صلبة تعرّضت فيما بعد إلى تمايز لمكوّناتها بالتبريد البطيء. تتكوّن الأرض أساساً من ثلاثة أنواع من المادة:

- النوع الفلزي (سبيكة الحديد والنيكل)
- النوع الكبريتيدي (كبريتيد الحديد)
- النوع السيليكاتي (الفلزات الرئيسة أوليفين وبيروكسين)

يستند جميع الباحثين الآن إلى نتيجةٍ واحدة وهي أنّ الأرض تتألّف بشكلٍ أساسي من 15 عنصر كيميائي من مجموع العناصر الموجودة في الطبيعة على النحو الآتي:

1-(Fe، O، Si، Mg) وتشكل بمجموعها 92% من كتلة الأرض.
2-(Ni، Ca، S، Al) بكميات تزيد عن 1% لكل عنصر منها.
3-(Na، Cr، Mn، Co، P، K، Ti) بكميات (0.05-0.6)% لكلّ عنصر منها.
4-لا تزيد نسبة أي عنصر من بقية عناصر الجدول الدوري عن 0.1%.

إنّ انتشار العناصر في بيئة تحكمها الجاذبية مثل أرضنا، لا تحكمه الكثافة أو الوزن الذري كما كان يعتقد سابقاً، وإنّما يحكمه ميل العنصر للدخول في أحد أنواع المادة الأرضية السابق ذكرها. ويعتمد هذا الميل على: 1-البنية الإلكترونية، 2-الروابط الكيميائية.

نجد، تأكيداً لهذا، أنّ اليورانيوم والثوريوم، وهما من العناصر الثقيلة، ينتشران في الصخور الحامضية من القشرة بينما ينتشر الذهب والبلاتين، رغم أنّهما أقلّ كثافة، في المعطف والنواة. نجد من هنا أنّ انتشار العناصر لا تحكمه الجاذبية بقدر ما تحكمه الخواص الكيميائية من الروابط والبنية. لذلك قام العالم غولدشميدت 1954 بتصنيف العناصر إلى أربع مجموعات:

- العناصر الليثوفيلية (الصخرية): وهي تميل للوجود مع/أو على شكل سيليكات.
- العناصر الكالكوفيلية: وهي تتركّز في السولفيدات.
- العناصر السيدروفيلية: وهي تميل للوجود مع الحديد الحرّ، وربما تتركّز في النواة الحديدية للأرض.
- العناصر الجوية (الغازية): وهي عناصر تسود في الجو، وفي الغازات الطبيعية.

الجدول 2-1: تقديرات التركيب الكيميائي الوسطي للقشرة الأرضية (*Ronov & Yaroshevsky, 1976*):

	1	2			3			4	5
المكونات	كل القشرة	قشرة محيطية	قشرة قارية	كل القشرة	قشرة محيطية	قشرة قارية	قشرة تحت قارية	كل القشرة	قشرة قارية	قشرة قارية
SiO_2	59.1	46.6	59.4	55.2	49.4	59.3	58.8	57.1	59.2	60.3
TiO_2	1.0	2.9	1.2	1.6	1.4	0.7	0.8	0.9	0.8	1.0
Al_2O_3	15.2	15.0	15.6	15.3	15.4	15.0	14.9	15.0	15.8	15.6
Fe_2O_3	3.1	3.8	2.3	2.8	2.7	2.4	2.4	2.5	3.4	•
FeO	3.7	8.0	5.0	5.8	7.6	5.6	5.8	6.0	3.6	7.2•
MnO	0.1	0.2	0.1	0.2	0.3	0.1	0.1	0.2	0.1	0.1
MgO	3.4	7.8	4.2	5.2	7.6	4.9	5.1	5.5	3.3	3.9
CaO	5.1	11.9	6.6	8.8	12.5	7.2	7.4	0.1	3.1	5.8
Na_2O	3.7	2.5	3.1	2.9	2.6	2.5	2.5	2.5	2.1	3.2
K_2O	3.1	1.0	2.3	1.9	0.3	2.1	2.0	1.7	3.9	2.5
H_2O	1.3	–	–	–	–	–	–	–	3.0	–
P_2O_5	0.3	0.3	0.2	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2

• كل الحديد على هيئة FeO

1) Clarke & Washington، 1924

2) Poldervaart، 1955

3) Ronov & Yaroshevsky، 1976

4) Goldschmidt، 1954

5) Taylor 1964

بمقارنة نتائج الطريقتين السابقتين، نلاحظ ظهور اختلافات واضحة بينهما. تشمل هذه الاختلافات الانخفاض الواضح في نسب كل من السيليكون، الصوديوم والبوتاسيوم، والارتفاع في نسب كلٍ من الحديد، المغنيزيوم والكالسيوم في نتائج بولدرفارت. يعدّ تحليل بولدرفارت أقرب إلى الواقع، حيث أنه يعكس قيماً أقرب إلى حقيقة تركيب القشرة، وذلك لأنه يراعي جزءاً هاماً من القشرة المحيطية.

ظهرت في السنوات الأخيرة أهمية العناصر الثانوية وعناصر الأثر في تفسير الظواهر الجيولوجية المختلفة. يعرض الجدول (2–2) متوسط نسبة العناصر الثانوية وعناصر الأثر في نوعين من الصخور، تمّ اختيارهما لتمثيل القشرة بكلا قسميها العلوي (السيالي SiAl) والسفلي (السيمائي SiMa)، هما: الغرانيت ممثلاً للقشرة القارية، والدياباز ممثّلاً للقشرة المحيطية، كما يشمل الجدول تقديراً لمتوسط هذا الوجود في القشرة ككل.

الجدول 2–2: متوسط وجود العناصر في القشرة الأرضية بالجزء من مليون (Mason & Moore, 1982):

العدد الذري	العناصر	متوسط القشرة	العدد الذري	العناصر	متوسط القشرة	العدد الذري	العناصر	متوسط القشرة
1	H	1400	30	Zn	70	59	Pr	8.2
3	Li	20	31	Ga	15	60	Nd	28
4	Be	2.8	32	Ge	1.5	62	Sm	6
5	B	10	33	As	1.8	63	Eu	1.2
6	C	200	34	S	0.05	64	Gd	5.4
7	N	20	35	Br	2.5	65	Tb	0.9
8	O	466000	37	Rb	90	66	Dy	3
9	F	625	38	Sr	375	67	Ho	1.2
11	Na	28300	39	Y	33	68	Er	2.8
12	Mg	20900	40	Zr	165	69	Tm	0.5
13	Al	81300	41	Nb	20	70	Yb	3.4
14	Si	277200	42	Mo	1.5	71	Lu	0.5
15	P	1050	44	Ru	0.01	72	Hf	3
16	S	260	45	Rh	0.005	73	Ta	2
17	Cl	130	46	Pd	0.01	74	W	1.5
19	K	25900	47	Ag	0.07	75	Re	0.001
20	Ca	36300	48	Cd	0.02	76	Os	0.005
21	Sc	22	49	In	0.1	77	Ir	0.001
22	Ti	4400	50	Sn	2	78	Pt	0.01
23	V	135	51	Sb	0.2	79	Au	0.004
24	Cr	100	52	Te	0.01	80	Hg	0.08
25	Mn	950	53	I	0.5	81	Ti	0.05
26	Fe	50000	55	Cs	3.0	82	Pb	13
27	Co	25	56	Ba	425	83	Bi	0.2
28	Ni	75	57	La	30	90	Th	7.2
29	Cu	55	58	Ce	60	92	U	1.8

من نظرة على الجدولين (2–1) و (2–2) يتّضح لنا أن هناك ثمانية عناصر فقط من مجموع 92 عنصراً معروفة تدخل في تركيب القشرة بنسبة 99%. هذه العناصر هي: الأكسجين (O)، السيليكون (Si)، الألمنيوم (Al)، الحديد (Fe)، الكالسيوم (Ca)، الصوديوم (Na)، البوتاسيوم (K)، والمغنيزيوم (Mg)، وهي ما تسمى بالعناصر الرئيسة، في حين لا تشكل بقية العناصر الأخرى في مجملها إلا 1% فقط، لذلك تسمى بالعناصر الثانوية أو العناصر الأثر. من مجموعة العناصر الثانوية نذكر: المنغنيز (Mn)، الفوسفور (P)، ومن عناصر الأثر نذكر: الريبيديوم (Rb)، السيزيوم (Cs)، السترونسيوم (Sr)، الباريوم (Ba)، الغاليوم (Ga)، الكوبالت (Co)، النيكل (Ni)، بالإضافة إلى العناصر الترابية النادرة (*REE : Rare Earth Elements*).

بمقارنة النسب الوزنية والحجمية للعناصر الرئيسة في القشرة (جدول 2-3) يتضح لنا أن أكثر العناصر انتشاراً هو الأكسجين الذي تصل نسبته الوزنية إلى أكثر من 45%. بمراعاة عدد الذرات لكل عنصر من هذه العناصر التي تدخل في تكوين القشرة، نجد أن الأكسجين يشارك بنسبة تزيد عن 60% من إجمالي الذرات الكلي، وإذا ما أدخلنا أحجام ذرات هذه العناصر في الحساب وجدنا أن الأكسجين يشكل أكثر من 90% من حجم القشرة ككل، ويمكن بذلك القول إن القشرة ليست إلا شبكة من أنيونات الأكسجين التي تترابط بوساطة كاتيونات السيليكون وأيونات الفلزات الأخرى.

الجدول 2-3: العناصر الرئيسة في القشرة الأرضية ونسبها الوزنية والحجمية (Masn & Moore, 1982) :

العناصر	النسبة الوزنية	نسبة عدد الذرات	نصف القطر	النسبة الحجمية
O	46.60	62.55	1.40	91.70
Si	72.27	21.22	0.26	0.20
Al	8.13	6.47	0.53	0.5
Fe	5.00	1.92	0.77	0.5
MgO	2.09	1.84	0.72	0.40
Ca	3.63	1.94	1.12	1.50
Na	2.83	2.64	1.16	2.20
K	2.59	1.42	1.60	1.10

تتشابه العناصر الثانوية وعناصر الأثر في نمط انتشارها مع العناصر الرئيسة، إذ يرتفع الوجود النسبي لبعض منها في صخور القشرة السيالية (الغرانيتية) وتقل في صخور القشرة السيمائية (البازلتية)، ويحدث العكس لعناصر أخرى، كما نجد أن هناك عناصر تتساوى نسبها في النوعين من الصخور. من أمثلة العناصر التي ترتفع نسبها في صخور القشرة السيالية: الباريوم (Ba)، الربيديوم (Rb)، البيريليوم (Be)، في حين ترتفع نسب كل من: الكوبالت (Co)، النيكل (Ni)، السكانديوم (Sc) في الصخور الأساسية وتنخفض في صخور القشرة السيالية، وتظهر عناصر أخرى مثل: الغاليوم (Ga)، القصدير (Sn)، الجرمانيوم (Ge)، والزنك (Zn) انتشاراً متساوياً في نوعي القشرة.

مما تجدر الإشارة إليه هو أن هناك عناصر معروفة منذ زمن بعيد، حتى قبل أن تُعرف العناصر الرئيسة نفسها، لأهميتها الاقتصادية، لا تأتي إلا بنسب ضئيلة جداً قد تصل إلى نسب عناصر الأثر، من هذه العناصر: الذهب (Au)، اليورانيوم (U)، الرصاص (Pb)، والنحاس (Cu).

2-5-التركيب الكيميائي للمعطف:

أجريت العديد من المحاولات للوصول إلى اقتراح أقرب إلى واقع التركيب الكيميائي للمعطف.

من نظرة على الجدول (2-4)، نلاحظ التشابه الكبير في نتائج هذه المحاولات التي تدلّ جميعها على تكوّن المعطف بصورة رئيسة من خمسة عناصر تشكّل تقريباً 98% من المجموع الكلّي للعناصر الداخلة في تركيبه. هذه العناصر هي: السيليكون (Si)، المغنيزيوم (Mg)، الحديد (Fe)، الألمنيوم (Al) والكالسيوم (Ca).

الجدول 2-4: التركيب الكيميائي للمعطف *(Mason, 1966)* و *(Ringwood, 1966a)*:

المكونات	من النيازك Mason, 1966	من النيازك Ringwood, 1966a	من البيرولايت Ringwood, 1966b	من الليرزوليت Hutchison,1974
SiO_2	48.10	43.20	45.20	45.00
MgO	31.10	38.10	37.50	39.00
FeO	12.70	9.20	8.00	8.00
Al_2O_3	3.10	3.90	3.50	3.50
CaO	2.30	3.70	3.10	3.25
Na_2O	1.10	1.80	0.57	0.28
Cr_2O_3	0.55	-	0.43	0.41
MnO	0.42	-	0.14	0.11
P_2O_5	0.34	-	0.06	-
K_2O	0.12	-	0.13	0.04
TiO_2	0.12	-	0.17	0.09
NiO	-	-	-	0.25

يُقسم المعطف، كما نعلم، وفقاً للدراسات السيزمية، إلى ثلاثة نطاقات:

- المعطف العلوي: ويمتدّ من نهاية القشرة المحيطية (البازلتية) حتى عمق 400كم
- نطاق انتقالي يمتد من عمق 400 وحتى 1000كم
- المعطف السفلي ويمتد من عمق 1000 وحتى 2900كم أي عند الحدود العلوية للنواة.

2-5-1-المعطف العلوي:

حظيت منطقة المعطف العلوي والطبقة الانتقالية بالعديد من الدراسات المكثفة وذلك لما يتمتع به هذا الجزء من الأرض من أهمية خاصة، إذ ثبت أن مفتاح كثير من الأحداث الجيولوجية والجيوكيميائية التي تظهر على سطح القشرة الأرضية يبدأ من المعطف العلوي والطبقة الانتقالية. هذا ويعتقد أن نقاط انطلاق الزلازل العميقة تقع على عمق 300 – 600 كم وكذلك مصادر الزلازل البركانية، كالتي تحدث في جزر هاواي، يعتقد أنها تنطلق من عمق يزيد عن 60 كم، كما أن العمليات المتسببة في انزباح القارات تحدث كذلك على أعماق المعطف العلوي والمنطقة الانتقالية. ولقد ساعدت الوسائل المخبرية، في السنوات الأخيرة، التي مكنت العلماء من دراسة طبيعة الصخور والمعادن في ظروف من الضغط والحرارة تعادل تلك السائدة فى جوف الأرض حتى عمق 400 كم، إضافة إلى

هناك ثلاثة أنواع من الصخور يحتمل أن تكون سائدة في المعطف العلوي وهذه الصخور هي:

1) دونيت (الفلزات الرئيسة أوليفين).
2) بيريدوتيت (الفلزات الرئيسة أوليفين وبيروكسين).
3) إيكلوجيت (الفلزات الرئيسة غرينا وبيروكسين).