

التقييم الهيدروجيوكيميائي للمياه الجوفية المتوضعة في الصخور الكربونانية لحوض نهر عفرين

الدكتور أحمد محمد محمد*

(قبل للنشر في 2004/2/26)

□ الملخص □

تم في هذا البحث دراسة التغيرات الهيدروجيوكيميائية ودرجة الإشباع بالفلزات المختلفة، والربط بين هذه التغيرات واتجاه حركة المياه الجوفية وذلك باستخدام برنامج WATAQ p. ولقد تبين من خلال هذه الدراسة بأن المياه الجوفية تكون مشبعة بالنسبة لفلزي الكالسيوم والدلوميت في القسم المركزي والجنوبي الغربي من منطقة الدراسة وتحت مشبعة في الجزء الشمالي الشرقي، فيما يتعلق للفلزات السولفاتيّة (الجص والأنهيدريت) فتكون المياه تحت مشبعة في أرجاء المنطقة كافة. ومن خلال تطبيق النماذج الهيدروجيوكيميائية وجد بأن النموذج المحفز لتشكل مياه بيكربوناتية كلسية-مغنيزية (Ca-Mg-HCO₃) هو المسيطر، في حين أن النموذج المشكل لمياه من النمط (Ca-Mg-SO₄) لا يلعب دوراً بارزاً (أو رئيسياً) في نظام المياه الجوفية في منطقة الدراسة.

كما أجريت دراسة احصائية باستخدام برنامج (SSPS.11) وذلك لتحديد معاملات الارتباط بين المكونات الأساسية للتركيب الكيميائي للمياه الجوفية وكذلك لمعرفة المتغيرات التي تشير إلى العوامل الأساسية المؤثرة في هذا التركيب .

*أستاذ مساعد في قسم الجيولوجيا - كلية العلوم - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية.

Hydro geochemical Assessment of the Ground Water in the Carbonate Rocks of the Afreen Basin

Dr. Ahmad Mohammad*

(Accepted 26/2/2004)

□ ABSTRACT □

The development of chemical models used in species and saturation calculation of the ground water system has been going on since 1970. In this article, the WATAQ_p program version₂ is applied to estimate the saturation indices and chemical activities for each species of different minerals in water . The paper highlighted the changes of the hydrochemical properties and saturation state of the groundwater in the aquifer .

The ground water is supersaturated with respect to calcite, dolomite in the western part of the study area , whereas in the northern part it is sub saturated . On the other hand , the ground water is subsaturated with respect to gypsum and anhydrite in the study area . The dolomitization model is expected to continue in the ground water environment , whereas the dedolomitization model is out of the ground water system .

* Associate Professor , Department Of Geology , Faculty Of Science ,Tishreen University, Lattakia - Syria

مقدمة:

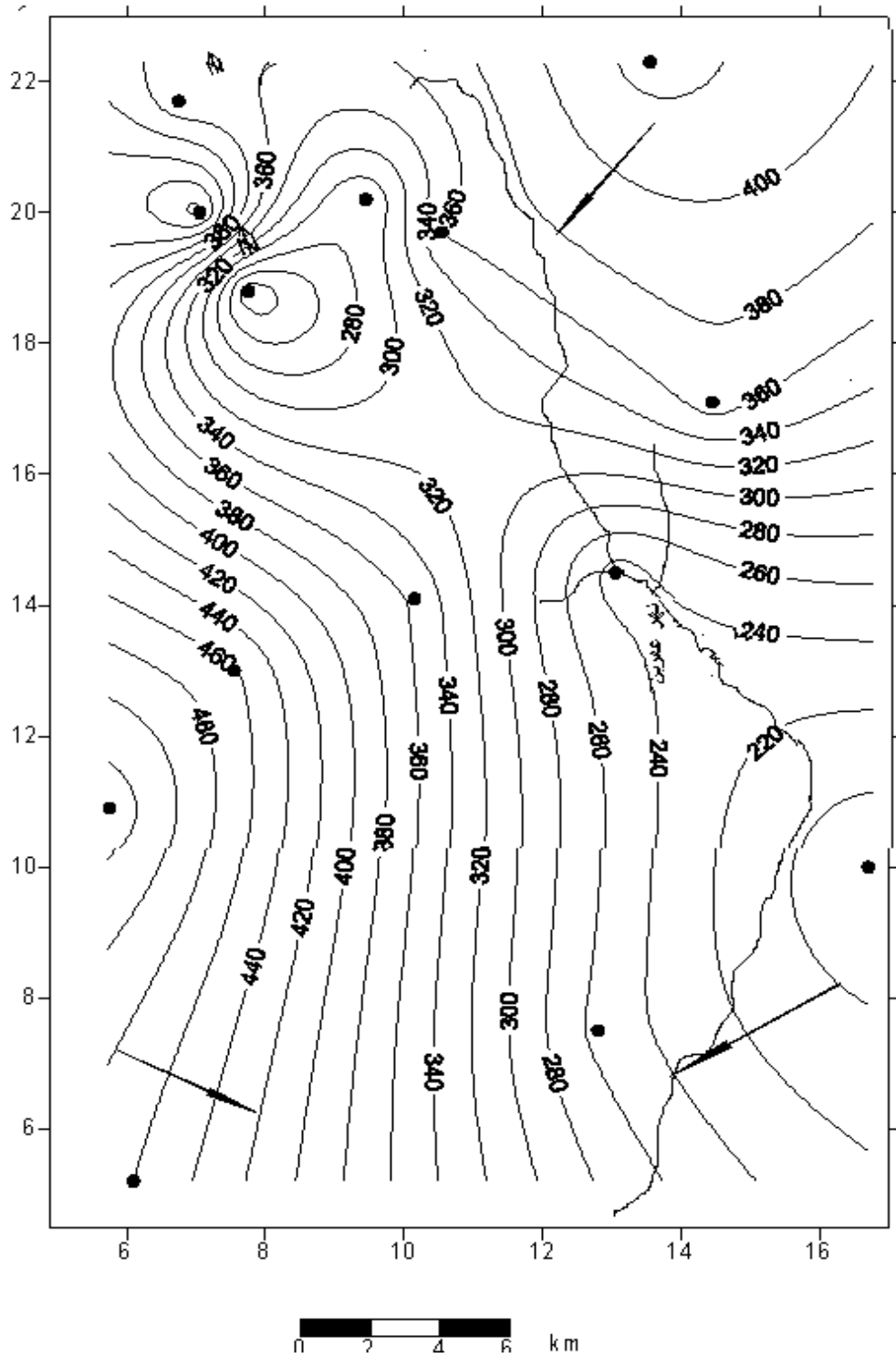
تعتبر التحاليل الكيميائية للمياه الجوفية من أهم الوسائل التي تساعد على تفسير وفهم البنية الهيدروجيولوجية السائدة في منطقة الدراسة باعتبار أن التركيب الكيميائي لهذه المياه يتشكل نتيجة تأثير مختلف الظروف الطبيعية التي تحدد وبدقة مصادر هذا التركيب والعمليات الفيزيا- كيميائية التي يتم بموجبها انتقال المواد وإعادة توزيعها في النظام الهيدروجيولوجي . وعموماً تندرج عوامل تشكيل التركيب الكيميائي للمياه الجوفية في مجموعتين أساسيتين هما : مجموعة العوامل الجيومورفولوجية - المناخية ويأتي في مقدمة هذه العوامل التضاريس والمناخ ، ومجموعة العوامل الجيولوجية - الهيدروجيولوجية وأهمها البنية الجيولوجية وتركيب الصخور والعوامل الهيدرودينامية . إلا أنه لعل أهم عوامل المجموعة الثانية هي العوامل الهيدرودينامية وخصوصاً اتجاه حركة المياه ضمن الخزان المائي .

تتم دراسة اتجاه حركة المياه الجوفية عادة كعامل أساسي في تشكيل التركيب الكيميائي لهذه المياه طالما أن هذا العامل يجسد قابلية الحركة (Deutsch 1997, Domenico and Schwartz 1987). إن من أهم مظاهر تأثير اتجاه حركة المياه الجوفية على تركيبها الكيميائي هو التغيرات في الملوحة وفي النمط الجيوكيميائي لهذه المياه باتجاه الحركة والذي لا يخضع لهذه القاعدة هو ظاهرة نادرة ، فمثلاً لا تتغير الملوحة الاجمالية بدرجة كبيرة على الأجزاء التي تتصف بطريق رشح قصير ، وكذلك لا تلاحظ تغيرات في هذه الملوحة في مناطق الطي الجبلي على أجزاء المنحدرات المعتدلة للجبال والتي تتلقى أمطاراً لا بأس بها (Kratkof 1982,) كما أن حساب مؤشرات الاشباع في الخزانات الجوفية الكربوناتيية أظهر عدم توافق بين التغيرات الكيميائية المألوفة وبين اتجاه حركة المياه الجوفية (Sandra,2000) . ويتم عموماً تغير الملوحة الاجمالية للمياه الجوفية وبالتالي درجة اشباعها بالفلزات المختلفة بقانونية معينة تتجلى في زيادة قيمتها الاجمالية في اتجاه حركة المياه الجوفية ، وهذا يفسر بزيادة زمن تأثير العمليات الفيزيا- كيميائية بين المياه والصخور عند اطالة طريق الرشح ، وعند ذلك تبلغ المواد الضعيفة الانحلالية مرحلة الاشباع وفوق الاشباع .

يتكون الخزان المائي الجوفي في منطقة الدراسة من صخور كلسية مطوية مشققة ومكرسته وتحتوي على اندساسات بازلتية في بعض الآبار ، ومن صخور مارلية وكلسية غضارية ودولوميتية تؤلف بمجموعها معقداً هيدروجيولوجياً تتطور فيه عدة جريانات مائية مرتبطة فيما بينها بعلاقة هيدروليكية بفعل التشوهات البنيوية التي أصابت المنطقة ، وبالتالي تشكل هذه الجريانات بمجموعها جرياناً مائياً واحداً ذا بنية معقدة يتطابق اتجاه حركة مياهه في أغلب أرجاء المنطقة مع الانحدار الطبوغرافي العام أي باتجاه نهر عفرين (شكل 1) ، كما يتميز هذا الجريان بغياب التغيرات الحادة بخصائصه الكيميائية سواء بالملوحة أم بالتركيب الكيميائي

الهدف من البحث:

يهدف هذا البحث إلى تحديد أنماط النماذج الهيدروكيميائية المسيطرة في الخزان الجوفي الكربوناتي لحوض نهر عفرين بهدف تحديد آفاق التطور المحتمل في ملوحة المياه الجوفية وتركيبها مع الزمن ، وربط ذلك بالبنية الهيدروجيولوجية والهيدرودينامية لمنطقة الدراسة.



شكل (1) خريطة هيدرودينامية لحوض نهر عفرين (خريف 1998)

--- 400 --- خط تساوي منسوب المياه الجوفية



اتجاه حركة المياه الجوفية

طريقة البحث والمواد المستعملة:

استعملت في هذا البحث نتائج التحاليل الكيميائية لثمانية آبار منتجة وتقع في أماكن مختلفة من منطقة الدراسة وممثلة لها بشكل جيد وقد أجريت هذه التحاليل في المخبر المركزي للمؤسسة العامة لمياه الشرب والصرف الصحي بمدينة حلب في عام 2001 ، وفيها تم تحديد العناصر الأساسية (الكاتيونات والأيونات) والعناصر الملوثة (نترات ، أمونيا) . كذلك استخدمت نتائج الدراسات والتحليل السابقة الجيولوجية والهيدروجيولوجية والهيدروكيميائية التي أجريت في هذه المنطقة (Mohamad,2002, Report from hydrogeological studies,1982. وقد تم تنفيذ هذه الدراسة باستخدام برامج حاسوبية متطورة هي برنامج WATAQp version₂ لتحديد وتقييم الفلزات المتوقعة في الخزان المائي الجوفي وتحديد درجة اشباعه بهذه الفلزات ، برنامج SSPS .11 لإجراء التقييم والتحليل الاحصائي ، برنامج Surfer. 7 لاعداد الخرائط اللازمة

النتائج والمناقشة:

تتأثر خواص المياه الجوفية في حوض نهر عفرين بخواص المياه المغذية للخزان المائي الجوفي وبسماكة طبقة الغضار المغذية وكذلك بالتركيب الليتولوجي لصخور الخزان (Mohamad 2002) . إن قيمة الملوحة الاجمالية في منطقة الدراسة تتراوح بين 222 و 524 ملغ/ل وتصل إلى 786 ملغ/ل في البئر (A₃). وهذه التراكمات تزداد من الشمال والغرب نحو الجنوب والشرق بما يتوافق واتجاه حركة المياه الجوفية . قيمة pH تتأرجح بين 7.3 و 8 وهذا يعكس ميلاً للمياه الجوفية باتجاه القلوية ويدل بدوره على وجود كمية كافية من Ca(HCO₃) في المياه الجوفية . وحسب علاقة التركيب الكيميائي جدول (1) فإنه لا توجد تغيرات حادة في قيم المكونات الأساسية للمياه الجوفية ضمن منطقة الدراسة . فقيم شاردة البيكربونات تتراوح بين 270 و 415 ملغ /ل وتسجل أعلى القيم في المنطقة الشمالية والغربية حيث الارتفاعات العالية والهطولات المطرية الجيدة ، أما قيم شاردتي السلفات والكلور فتتأرجح بين 18-90 و 20-50 ملغ /ل على التوالي ويتوافق توزيعها في المنطقة واتجاه حركة المياه الجوفية ، إذ تزداد قيم هاتين الشارديتين من الشمال نحو الجنوب ، ومن الغرب نحو الشرق ، ما عدا الجزء الجنوبي الغربي حيث تنتشر التشكيلات الكلسية الغضارية والمارلية الدولوميتية . وتتراوح قيم شاردتي Mg²⁺ , Ca²⁺ بين 28 و 124 ملغ /ل للكالسيوم و 23-50 ملغ /ل للمغنيزيوم ويلاحظ زيادة قيمهما باتجاه الجنوب الغربي شكل (2) . إن عدم توافق توزيع الأيونات الأساسية في هذا الجزء من منطقة الدراسة مع اتجاه حركة المياه الجوفية يعود إلى الطبيعة الليتولوجية للتشكيلات الجيولوجية الموجودة إذ تنتشرنا صخور الباليوجين الغضارية والمارلية الدولوميتية ذات الصفات الرشحية الضعيفة التي لا تسمح بالنقل الجيد لنواتج العمليات الفيزيوكيميائية التي تتم بين المياه والصخور .

رقم العينة	الوحدات	الكاتيونات					ΣK	الأنيونات					ΣA	TDS, mg/l	pH	عينة التحليل الكيميائي
		K+Na	Ca	Mg	NH ₄			HCO ₃	SO ₄	Cl	NO ₃					
A1	ppm	44.8	30.16	0		4.72	363.35	29	26.6	21.65	7.66	256	7.5	$\frac{HCO_3^{16} Cl_{10} SO_4^8}{Mg_{44} Ca_{30} (Na+K)_{16}}$		
	epm	0.96	2.21	2.51		4.72	5.95	0.6	0.75	0.34	7.66	256	7.5			
	e%	16.9	38.9	47.19			77.77	7.99	9.77	4.56						
A2	ppm	77.6	13.12	0.038		4.97	239.12	30	19.2	30.5	5.58	261	7.46	$\frac{HCO_3^{12} SO_4^{12} Cl_{10}}{Ca_{76} Mg_{21}}$		
	epm	0.11	3.88	1.09		4.97	3.92	0.62	0.54	0.49	5.58	261	7.46			
	e%	2.16	76.03	21.4			77.16	12.1	10.62	8.81						
A3	ppm	73.6	47.6	0.03		7.64	270	65	41.2	221	10.5	786	7.4	$\frac{HCO_3^{42} NO_3^{14} SO_4^{13}}{Mg_{42} Ca_{41}}$		
	epm	8.68	3.96			7.64	4.42	1.35	1.18	3.56	10.5	786	7.4			
	e%	48.2	51.8				42.13	12.89	11.01	33.93						
A4	ppm	40.8	37.48	1.2		5.14	284.4	43	54	6.28	7.15	243	7.7	$\frac{HCO_3^{61} Cl_{21} SO_4^{13}}{Mg_{44} Ca_{29} (Na+K)_{27}}$		
	epm	1.88	2.04	3.1		5.14	4.65	0.89	1.5	0.1	7.15	243	7.7			
	e%	26.78	29.08	44.1			64.82	12.51	21.3	1.41						
A5	ppm	124	12.63	0.05		7.25	429.4	18	26.3	12.81	8.36	354	7.7	$\frac{HCO_3^{64} Cl_{10}}{Ca_{76} Mg_{13} (Na+K)_{11}}$		
	epm	0.9	6.2	1.05		7.25	7.04	0.375	0.75	0.2	8.36	354	7.7			
	e%	11.15	75.98	12.86			84.18	4.66	9.2	2.47						
A6	ppm	112	51.3	0.064		9.85	414.8	91	43.2	70.27	11.04	524	7.6	$\frac{HCO_3^{61} SO_4^{17} Cl_{11}}{Ca_{66} Mg_{43}}$		
	epm	0.07	5.6	4.25		9.85	6.8	1.89	1.22	1.13	11.04	524	7.6			
	e%	0.7	56.45	42.8			61.65	17.16	11.01	10.26						
A7	ppm	105.6	18.46	0.032		6.82	360.12	31	32.4	25.19	7.88	368	7.3	$\frac{HCO_3^{15} Cl_{12}}{Ca_{70} Mg_{20} (Na+K)_6}$		
	epm	0.66	5.28	1.54		6.82	5.92	0.64	0.92	0.4	7.88	368	7.3			
	e%	8.82	70.58	20.58			75.08	8.19	11.57	5.15						
A8	ppm	28	32.07	0.064		4.07	234.24	13	21.6	11.05	4.89	222	7.89	$\frac{HCO_3^{18} Cl_{12}}{Mg_{57} Ca_{30}}$		
	epm	0.58	1.4	2.67		4.07	3.84	0.27	0.6	0.18	4.89	222	7.89			
	e%	12.2	30	57.42			78.4	5.53	12.42	3.64						

جدول (1) التركيب الكيميائي لعينات مياه الآبار الحظائفة (سنة 2001) في منطقة القر لسنة

التحليل والتقييم الإحصائي:

يعتبر التحليل الإحصائي أداة جيدة يمكن تطبيقها لمعرفة المتغيرات التي تشير إلى العوامل الأساسية المؤثرة على الخواص الكيميائية في منطقة الدراسة ، وقد استخدمت هذه الأداة في هذا البحث . فقد تبين من تحديد معاملات الارتباط بين المتغيرات الكيميائية الأساسية ما يلي جدول 2:

1. علاقة ارتباط إيجابية قوية بين الملوحة TDS وكل من NO_3, SO_4, Mg, CL حيث تبلغ معاملات الارتباط ما يلي $r=0.53, r=0.63, r=0.73, r=0.93$ على التوالي ، وقد تم تأكيد ذلك باجتماعها في المجموعة (السلسلة) الأولى شكل (3) و جدول (2) (التحليل بطريقة R-Mode) . وبالتالي فإن الملوحة تتناسب بشكل مباشر مع كل المتغيرات ما عدا Ca و HCO_3
2. علاقة ارتباط إيجابية بين الكلور وكل من Mg و SO_4 ($r=0.66, r=0.68$) على التوالي وهذا يشير إلى التوافق في توزع هذه الشوارد في المياه الجوفية حيث تزداد قيم هذه الشوارد مع اتجاه حركة المياه الجوفية
3. علاقة ارتباط بين الكلور والأمونيوم ($r=0.70$) مما يشير إلى ظاهرة الملوثات ، وبالتالي تسرب مياه الصرف الصحي والزراعي إلى المياه الجوفية في بعض أجزاء هذه المنطقة (وخصوصاً بجوار مدينة عفرين)

جدول (2) معاملات الارتباط بين المكونات الكيميائية الأساسية للعينات المائية المحللة

Correlations

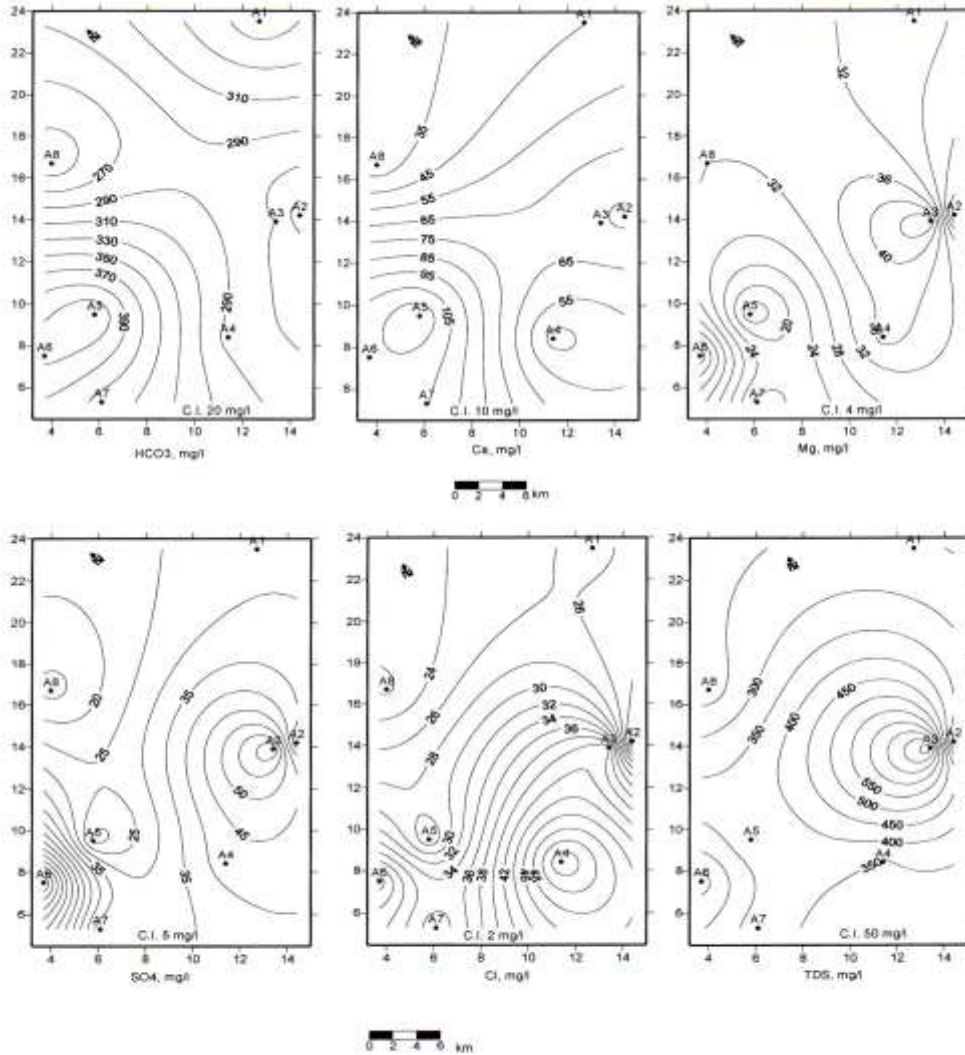
	TDS	Ca	Mg	HCO ₃	SO ₄	CL	NO ₃	NH ₄
TDS	1							
Ca	0.325671	1						
Mg	0.631656	-0.22874	1					
HCO ₃	0.08754	0.715636	-0.04404	1				
SO ₄	0.734561	0.301472	0.792013	0.236242	1			
CL	0.537636	-0.00203	0.678156	0.127609	0.662392	1		
NO ₃	0.931967	0.114105	0.576447	-0.16401	0.592607	0.304282	1	
NH ₄	-0.09921	-0.38192	0.201857	-0.21547	0.054981	0.703358	-0.24979	1

إن من أهم استخدامات الإحصاء في مجال الهيدروجيولوجيا هو ما يسمى تحليل المجموعات وينفذ بأكثر من أسلوب (Klovan 1975, Davis 1976) وقد استخدمنا في هذا البحث أسلوب (Vairemax) وذلك بطريقتين : (Q- Mode) و (R-Mode) . فقد تم إجراء تحليل إحصائي بطريقة Q-Mode (Cluster analysis) وذلك لتحديد علاقات الارتباط بين الآبار وفصلها في مجموعات متشابهة بخواصها . وتبين من هذا التحليل شكل (4) وجود مستويين للتشابه $a-a$ و $b-b$

فعلى مستوى التشابه $a-a$ نميز حالة (أو بئر) مستقلة (البئر A_3) و عدة حالات (أو آبار) تشكل مجموعة واحدة . حيث تتميز البئر A_3 بملوحة عالية نسبياً مقارنة مع بقية العينات . بينما على طول مستوي التشابه $b-b$ يمكن تمييز حالتين مستقلتين (البئر A_3 والبئر A_6) ومجموعة واحدة . حيث تنفرد هاتان البئران عن المجموعة بارتفاع نسبة النترات فيهما عن الحد المسموح به (مياه ملوثة) إلا أن البئر A_3 تتميز عن البئر

A₆ بارتفاع ملوحتها نسبياً وهي تقع في منطقة مدينة عفرين حيث أن تسرب مياه الصرف الصحي يمكن أن يكون مسؤولاً عن زيادة هذه الملوحة فضلاً عن تلوثها بالنترات . أما التحليل بطريقة (R-Mode Varimax Rotated-Factor) فهو أكثر انتشاراً واستعمالاً في التطبيقات الهيدروجيوكيميائية (Klovan 1975, Davis 1976) وقد نفذ هذا التحليل في هذا البحث لفصل المتغيرات في مجموعات (سلاسل) حسب علاقات الارتباط فيما بينها ، وحسب هذا التحليل تنتزع الشوارد الكيميائية في منطقة الدراسة (حسب درجة ارتباطها) في ثلاث مجموعات شكل (4) :

1. المجموعة الأولى : تتميز بعلاقة ارتباط ايجابية قوية بين TDS وكل من NO_3 , SO_4 , Mg , Cl وتسمى هذه المجموعة بمجموعة الملوحة .
2. المجموعة الثانية وتظهر علاقة ارتباط ايجابية بين الأمونيوم والكلور وهذا يشير وكما ذكرنا أعلاه إلى دور المخصبات وتسرب مياه الصرف الصحي إلى المياه الجوفية وخصوصاً بجوار التجمعات السكانية الكبرى (مدينة عفرين) وتسمى هذه المجموعة (مجموعة الملوثات)
3. المجموعة الثالثة وتمثل ارتباط ايجابي كبير بين الكالسيوم والبيكربونات وتسمى (بمجموعة



شكل (2) توزع الشوارد الأساسية والملوحة في منطقة الدراسة

تطبيق النماذج الهيدروكيميائية:

إن الخواص الهيدروجيوكيميائية للمياه الجوفية في هذه المنطقة لا تعتمد على الخواص الهيدروكيميائية للمياه المغذية فقط، ولكن أيضاً على العمليات التفاعلية داخل نظام الجريان نفسه. فالعمليات في المنطقة المشبعة بالماء تكون أكثر تعقيداً منها في منطقة التهوية وذلك بسبب إمكانية حدوث عمليات الخلط، ولأن الأوضاع الجيولوجية والهيدروجيولوجية والجيوكيميائية تكون مختلفة جداً في هذه المنطقة. إن عملية انحلال الأملاح تكون أكثر فعالية في صخور المتبخرات وفي الصخور الكربوناتيية باتجاه حركة المياه الجوفية (Kratkof1982, Abd Aal and Eweida 2000). ومن أهم البرامج التي تستخدم لدراسة العمليات التي تحدث ضمن نظام الجريان برنامج WATAQ والذي تتوفر منه في الوقت الحاضر إصدارات كثيرة. ولقد استخدمنا في هذا البحث إصدار p-2 WATAQ الذي مخططه التدفقي موضح على الشكل (5) (Plummer, et al. 1988)، حيث يسمح هذا البرنامج بحساب حالة الإشباع كنسبة بين نتاج النشاط الأيوني (Ionic Activity Product) IAP والذوبان (Solubility) والتي توصف أيضاً بثابت الانحلالية والذوبان (Solubility) constant K والتي تحسب بقانون تفاعل الكتل (Law of mass action) على النحو التالي (Appelo and Postna,1993)

$$K = \text{CaSO}_4 / (\text{Ca}^{+2})(\text{SO}_4^{-2}) = 10^{2.5} \quad (\text{For CaSO}_4 \text{ complexes})$$

نتائج التحاليل الكيميائية لعينات المياه الجوفية المدروسة تمت معالجتها بواسطة هذا البرنامج كملف ادخال لكل عينة. حيث يقوم البرنامج بتحويل التراكيز إلى مول / ل ويحسب الفعالية للعناصر في كل عينة وكذلك عوامل الإشباع (Saturation indices) للفلزات الكربوناتيية (كالسيت، أراغونيت، دولوميت) وللجص على النحو التالي:

$$S.I = \log IAP / K$$

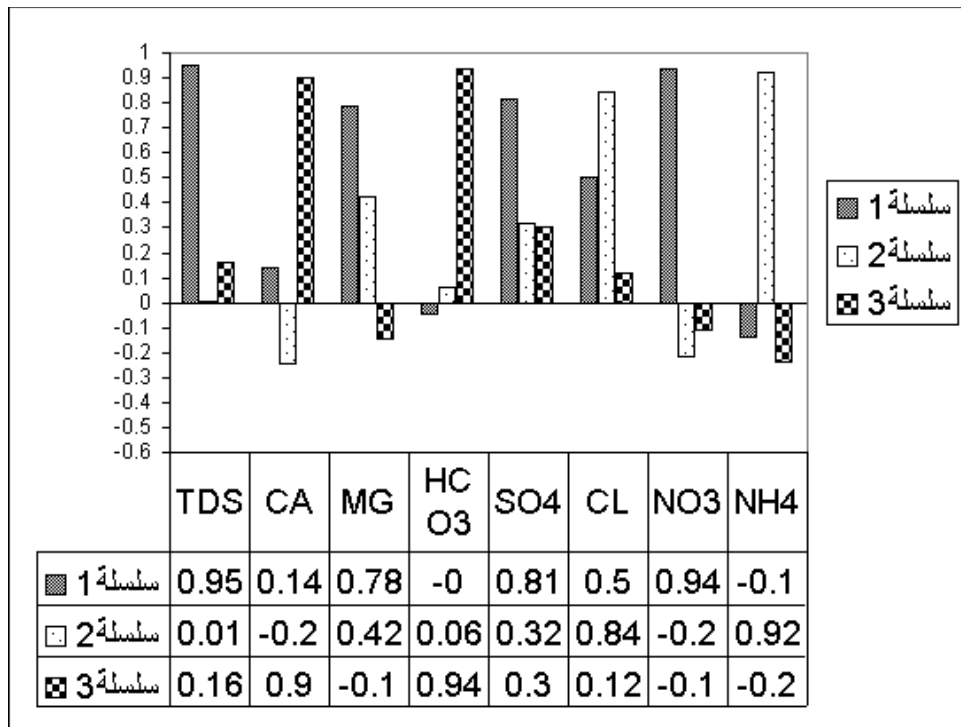
فإذا كانت : $S.I=0$ يكون هناك حالة توازن بين الفلز والمحلول (Equilibrium state)

$S.I < 0$ تسود حالة تحت الإشباع (Sub-saturation)

$S.I > 0$ المحلول في حالة إشباع (Super-saturation) وبالتالي تحدث عمليات الترسيب

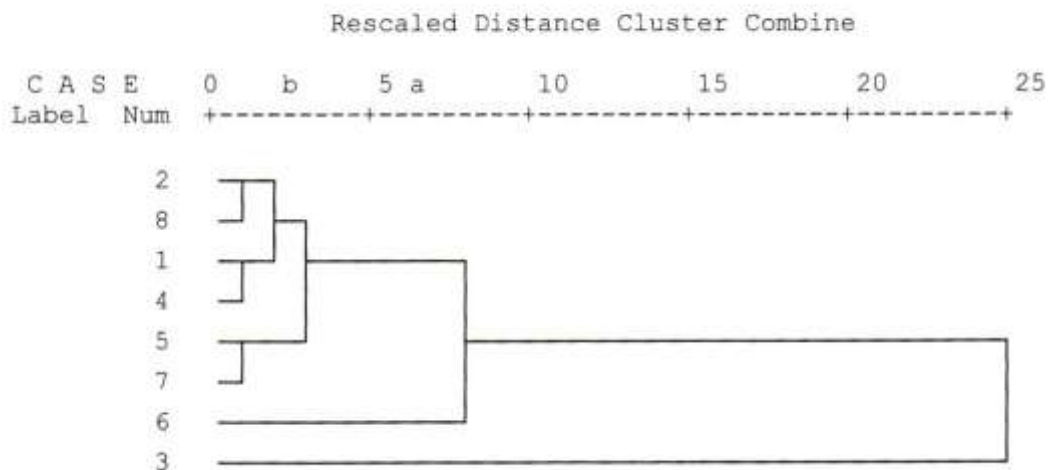
والمحلول غير قادر على حل أي مقدار من الفلزات .

ولقد ذكرنا أعلاه بأن المياه البيكربوناتية الكلسية – المغنيزية (Ca-Mg-HCO_3) هي النمط المسيطر في هذه المنطقة كما ثبت من تحليل عينات المياه الجوفية جدول (1) وعندما تتحرك هذه المياه ضمن طبقات الخزان تقوم بحل الكالسيت والدولوميت والجص (أو الانهيدريت) الذي يوجد ضمن اللحيقيات الرباعية الموجودة بسماكات لا بأس بها في هذه المنطقة . و حالما يصل كل من الكالسيت والدولوميت إلى مرحلة الإشباع فإن الجص يظل في حالة تحت الإشباع ويستمر بالانحلال مضيفاً الكالسيوم والسولفات إلى المياه الجوفية. وبناءً على ذلك فإن الكالسيت يصبح في حالة فوق الإشباع ويترسب ويتناقص تركيز البيكربونات . إن التناقص في تركيز البيكربونات يجعل المياه في حالة تحت الإشباع بالنسبة للدولوميت ويحفز بالتالي انحلال الدولوميت .

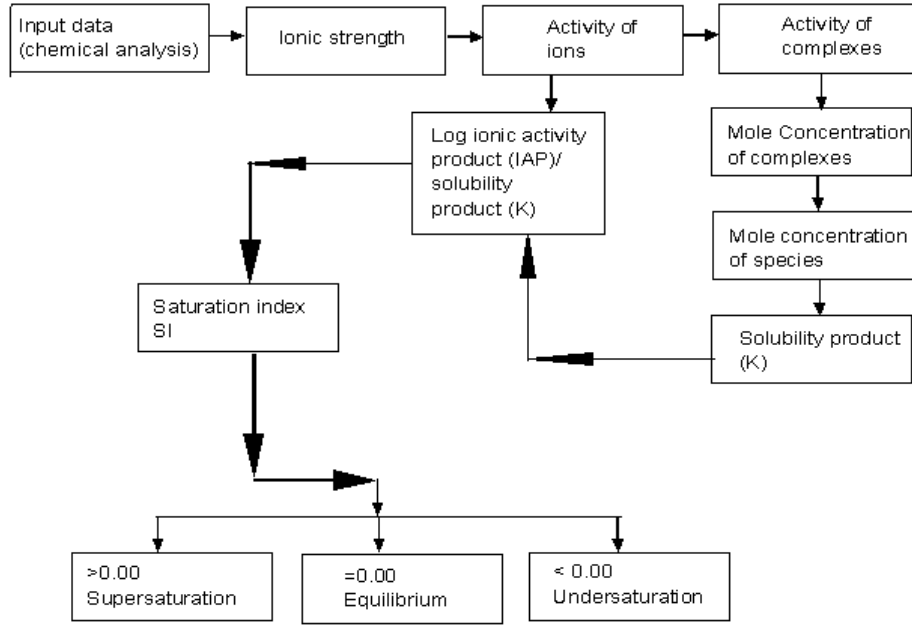


شكل (3) التحليل الإحصائي R - Mode للمتغيرات

Dendrogram using Average Linkage (Between Groups)

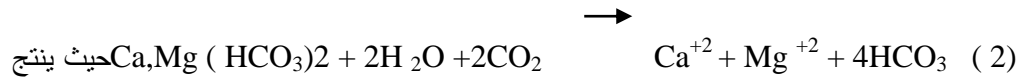
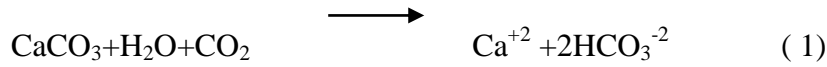


شكل (4) التحليل الإحصائي (Q - Mode) لتوضيح الارتباط بين الآبار المدروسة



شكل (5) المخطط التدفقي لبرنامج WATEQp

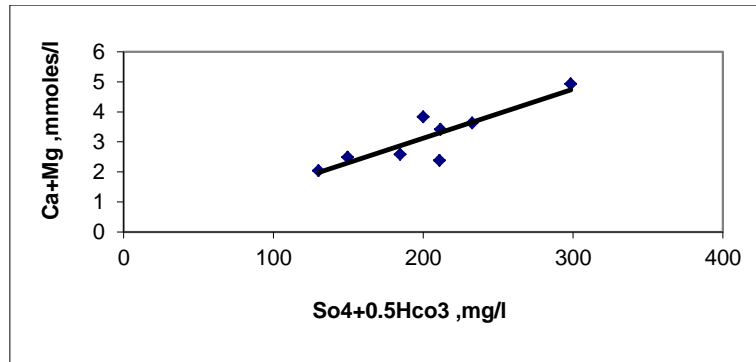
إن انحلال فلزات الكربونات (الكالسيت والدولوميت) يتم بالمياه الحاوية على غاز CO_2 على النحو التالي :



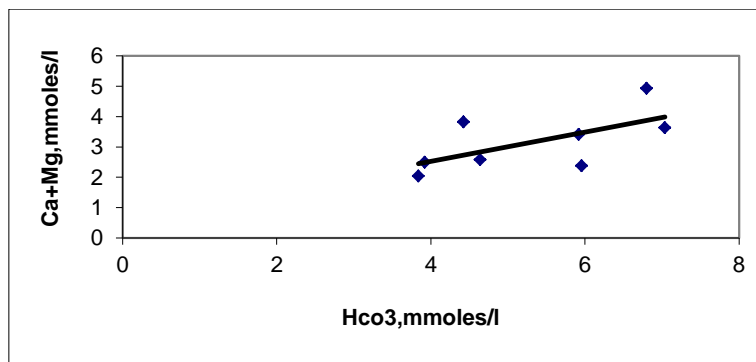
CO_2 من أكسدة المادة العضوية ، وتنفس جذور النباتات في التربة وينحل في المياه المغنيزية .
 ففي حالة انحلال الدولوميت وفقاً للمعادلة (2) تكون نسبة التركيز الجزئي لـ [Ca+Mg] بالنسبة لـ [HCO_3] خطية مع ميل قدره 0.5 (Sandra,2000) وقد تم رسم هذه العلاقة لعينات المياه الجوفية المدروسة شكل (6 - 2) ، وقد تبين أن اتجاه هذه العلاقة يتوافق مع النموذج الهيدروكيميائي المعروف dolomitization (وهو العملية التي تحفز تشكل مياه من النمط $Ca-Mg-HCO_3$) كما أن جميع العينات المدروسة تتبع هذا النموذج . هذا و تكون المياه البيكربوناتية الكلسية- المغنيزية عادة بحالة توازن أو اشباع بالنسبة للكالسيت والدولوميت وبالتالي فإن الفلزات الكربوناتية تمثل ضابطاً لتركيزات (HCO_3, Mg, Ca) في مياه الخزان المائي الجوفي الكربوناتي. إن ميل المياه الجوفية للوصول الى مرحلة الاشباع وفوق الاشباع بالنسبة للكالسيت خصوصاً درست من قبل (Appello and Postma 1993, Domenico and Schwartz) حيث تبين بأن التأثيرات الكينيتيكية ربما هي التي تمنع ترسب الكالسيت . وبالتالي فإن التفاعلات التي تؤدي أو تحفز حدوث الاشباع وفوق الاشباع بالنسبة للكالسيت والدولوميت هي تلك التفاعلات المسؤولة عن إضافة HCO_3, Mg, Ca أو تلك التي تستهلك CO_2 .

إن مؤشرات الاشباع للجص في المياه الجوفية تزداد مع زيادة تركيز السلفات وتستهمل القيمة (± 0.2) كمعيار لتقدير عدم تحقيق الاشباع بالجص (Appello and Postma, 1993).
 أما نموذج dedolomitization (وهو العملية التي تحفز تشكل مياه من النمط Ca-Mg-SO_4) فيتحقق عندما يكون ميل الخط المستقيم الناتج من العلاقة بين $[\text{Ca}+\text{Mg}]$ و $[\text{SO}_4+0.5\text{HCO}_3]$ مساويا (1) (Sandra, 2000). وقد أظهرت هذه العلاقة لمنطقة الدراسة ميلاً أقل بكثير من (1) شكل (6)
 1-) ، وبالتالي فإن هذا النموذج يغيب في منطقة الدراسة.

إن قيم مؤشرات الاشباع التي تم حسابها بالبرنامج تدل على أن المياه الجوفية في منطقة الدراسة هي بحالة اشباع بالنسبة لفلزات الكربونات (الكالسيوم والدولوميت) وخصوصاً في القسم المركزي والجنوبي الغربي جدول (3) ، اذ تدل الدراسات على أن حالة الاشباع للكالسيوم تتحقق عندما تكون قيمة مؤشر الاشباع تتراوح بين (0) و (± 0.1) (Appello and Postma 1993). وقد تبين من نتائج حساب عامل الاشباع للكالسيوم (S.I) جدول (3) بأن قيمته تتراوح بين (-0.2) في الجزء الشمالي من المنطقة (البئر A_1) و (0.9) في جزئها الجنوبي (البئر A_5) . أما قيمة هذا العامل بالنسبة للدولوميت فتبلغ (-0.7) في جزء المنطقة الشمالي و الشرقي (البئر A_1, A_3) و (1.3) في جزئها الجنوبي والجنوبي الغربي (البئر A_5, A_6) . ويتصف فلزا الجص والانهيدريت بقيم سالبة بالنسبة لمؤشر الاشباع في كل أرجاء منطقة الدراسة (تقل عن -0.2 بكثير) ، وهذا يدل بدوره على حالة تحت الاشباع بالنسبة لهذين الفلزين في منطقة الدراسة .



شكل (1-6) خط الاتجاه المتوقع لنموذج (dedolomitization) في منطقة الدراسة



شكل (2-6) الاتجاه المتوقع لنموذج (dolomitization) في منطقة الدراسة
 جدول (3) درجة الاشباع للمياه الجوفية بالفلزات الأساسية في منطقة الدراسة

درجة الاشباع S.I				البئر
أنهيدريت	جص	دولوميت	كالسيت	
-2.753	-2.197	-0.756	-0.249	A1
-2.307	-2.033	-0.107	0.188	A2
-2.264	-1.708	-0.715	-0.222	A3
-2.395	-2.187	0.995	0.333	A4
-2.348	-2.146	1.274	0.946	A5
-1.805	-1.549	1.305	0.666	A6
-2.424	-1.868	-0.9	-0.027	A7
-3.269	-2.714	-0.282	-0.127	A8

إن حساب مؤشرات الاشباع للفلزات المذكورة أعلاه يدل على أن حالة الاشباع بالفلزات الكربوناتية وخصوصاً الكالسيت والدولوميت تسود في كافة أرجاء المنطقة وخصوصاً في الأجزاء الجنوبية الغربية منها بشكل يتوافق وتوزع شاردي الكالسيوم والمغنيزيوم فيها جدول (1) ، أما مؤشرات الاشباع بالنسبة للجص والانهدريت فهي سالبة وهذا يدل على أن المياه الجوفية قادرة على حل أكثر لهذين الفلزين في حال توفرهما .

النتيجة العامة:

لقد أظهرت معطيات هذه الدراسة أن المياه البيكربوناتية الكلسية -المغنيزية $Ca-Mg-HCO_3$ هي النمط السائد في هذه المنطقة و الذي سيبقى مسيطراً في المستقبل وذلك لوفرة الكالسيت والدولوميت في خزانهما المائي الجوفي ، إضافة إلى التغذية المائية التي تأخذ مكاناً في كل أرجاء هذه المنطقة . كما تبين من خلال الدراسة بأن حالة الاشباع في الخزان المائي الجوفي الكربوناتية في هذه المنطقة تعكس علاقات تأثير متبادل بين مختلف أنماط الصخور والمياه الجوفية . فانهلال الكالسيت والدولوميت أدى إلى اغناء المياه الجوفية بشوارد الكالسيوم والمغنيزيوم والبيكربونات بشكل متوافق والنموذج الهيدروكيميائي المعروف بالدمتة *dolomization* حيث تتبع جميع عينات المياه الجوفية المدروسة هذا النموذج ، في حين لوحظ غياب نموذج نزع الدمته *dedolomitization* الذي ينتج من انحلال توضعات الجص ، كذلك لم تلاحظ أية تغيرات حادة سواء بالملوحة أو النمط الجيوكيميائي للمياه باتجاه حركة المياه الجوفية ، وبالتالي فإن التغير الكيميائي المألوف والذي يتبع عادة اتجاه حركة المياه الجوفية لم يتحقق في منطقة الدراسة وذلك بسبب الظروف الخاصة للخزانات المائية الجوفية الموجودة في الصخور الكربوناتية الكارستية والتي تنتسب إليها هذه المنطقة.

.....

1. Abd Aal,G.A.,Eweida, A.E, Dahab,K., and Farid, M.(2000).Hydrochemical model for the lower cretaceous aquifer in sinai peninsula, Egypt, 5th Int. Conf. the Arab World,Cairo University
2. Appello CA and Postma A (1993). Geochemistry, groundwater and pollution. Rotterdam, Germany.
3. Deutsch, W.J. (1997). Groundwater geochemistry, fundamentals and applications to contamination.NY
4. Domenico, P.A. andSchwartz, F.W.(1987).Physical and chemical hydrology.JohnWiley andSons Inc.
5. Kratkof (1982). Principles of hydrogeology hydrogeochemistry, Nedra, Pub., Moscow, (in Russian).
6. Mohamed AM (2002). Hydrogeochemical changes of groundwater in the Afreen basin , Syria ,Water science , National Water Research center, Egypt
7. Plmmer L N, Parkhur D L, Fleming G W , and Dunkle S A (1988) . Acomputer program incorporating Pitzers equations for calculation geochemical reactions in brine . U . S .Geol . survey water resource, I nv., Rep.88-4153.
8. Sandra, M. B. and George, L. L. (2000).Regional groundwater flow and geochemistry in the Midwestern basins and Arches aquifer system in parts of Indiana, Ohio,Michigan, Illionois. US geological Survey.
9. Davis, J . C .(1976) Statistics and data analysis in geology., New York
10. Klovan, J.E., (1975) R-and Q- mode factor analysis., in McCammon R.B(ed.), concepts in Geostatistics. New York, Springer Verlag
11. Report of hydrogeological and hudrological studies of Alepo area (1982), second circular ,hydrogeology