البحوث والدراسات

دراسة هيدروكيميائية للمياه الجوفية في حقل أم العيش - الكويت

د. خالد مهدي البراك*
أ. د. فوزية محمد الرويح**

ملخص:

يعتبر حقل أم العيش أحد أهم حقول المياه الجوفية العذبة في دولة الكويت. وقد اتضح من الدراسة الهيدروكيميائية للمياه الجوفية في هذا الحقل أن مجموع الأملاح الذائبة كان ما بين ٥٠٠ – ١,٥٠٠ جزء في المليون عندما تم اكتشاف الحقل في عام ١٩٦٣م، ثم أخذ مجموع الأملاح الذائبة بالزيادة خلال السنوات التي تلت السحب من المياه الجوفية ليراوح بين ٦٧٠ – ٦,١٠٠ جزء في المليون. كما دلت نتائج التحاليل الكيميائية على سيادة الأيونات: $SO_4^{2-} > Cl^- > HCO_3^-$ وسيادة الكاتيونات: $Ca^{2+} > (Na+K)^+ > Mg^{2+}$، وأن المياه الجوفية العذبة مشبعة بمعادن الكالسيت والدولوميت، وغير مشبعة بمعادن الجبس، والأنهيدرايت، والهاليت.

والعمليات الجيوكيميائية السائدة هي إعادة الدلمتة وعملية الإذابة البسيطة وعملية التبادل الأيوني العكسي. كما وجد أن الأنواع الكيميائية للمياه الجوفية هي من نوع: كبريتات الصوديوم، كبريتات الكالسيوم، بيكربونات الكالسيوم، بيكربونات الصوديوم، كلوريد الكالسيوم وكلوريد الصوديوم. بالإضافة إلى أن نوعية المياه هي SO_4-Na، Cl-Mg؛

شكر: يتقدم الباحثان بالشكر الجزيل إلى وزارة الكهرباء والماء على تزويدها لهما بالتحاليل الكيميائية للمياه الجوفية لحقل أم العيش.

* دكتوراه في موارد المياه، جامعة نيوكسل، المملكة المتحدة، عام ١٩٩٧م، معهد الكويت للأبحاث العلمية، إدارة موارد المياه، دولة الكويت.

** دكتوراه في الجيولوجيا، جامعة لندن، المملكة المتحدة، عام ١٩٨٠م، أستاذ بقسم علوم الأرض والبيئة، كلية العلوم، جامعة الكويت، دولة الكويت.

مما يدل على أن صخور الخزان المائي تكونت في بيئات ترسيبية بحرية، وأن هذه الرسوبيات قد اختلطت وتفاعلت مع الأمطار خلال عصر البليستوسين المطير. هذا، وتدل النسب الكيميائية $\frac{Na}{Cl}$، $\frac{SO_4}{Cl}$ و $\frac{Ca}{Mg}$ لمنطقة الدراسة على أنها أعلى من متوسط قيم مياه البحر؛ مما يشير إلى اختلاط المياه الجوفية الحالية بمياه تتميز بملوحة عالية مثل ماء البحر. ودل التحليل الإحصائي على وجود علاقة ارتباط إيجابية قوية بين كل من عناصر Na^+-Cl^-، Ca^{2+}-Mg^{2+}، Na^+-Ca^{2+} و Ca^{2+}-Cl^-.

مقدمة:

تولي دولة الكويت اهتماماً بالغاً لدراسة المياه الجوفية، ومعرفة امتداد الخزانات المائية الحاملة للمياه القابلة للاستعمال، وكذلك دراسة ملوحة المياه الجوفية، وذلك لأهمية المياه في حياة الدولة والشعب والأفراد من ناحية، وفقر دولة الكويت بالمصادر الطبيعية للمياه من ناحية أخرى، لذا فإن المياه الجوفية تشكل مصدراً طبيعياً ناضباً يجب استكشافه واستغلاله الاستغلال الأمثل والمحافظة عليه. أما احتياجات الدولة المتعددة لمياه الشرب، والصناعة، والعمران، فإنها تعتمد عليها من تحلية مياه البحر، وتستخدم ما نسبته ١٠٪-١٢٪ من المياه الجوفية قليلة الملوحة للخلط مع المياه المقطرة لكي تصبح صالحة للشرب، كما تستغل المياه الجوفية قليلة الملوحة في الزراعة خاصة في منطقتي الوفرة والعبدلي الزراعيتين.

وسيتطرق البحث إلى دراسة الخصائص الكيميائية وتغيرها خلال عدة سنوات في حقل أم العيش؛ وذلك بهدف تعرف الأنواع الكيميائية للمياه الجوفية، وأصل المياه الجوفية، والعمليات الجيوكيميائية السائدة، ودرجة تشبع المياه الجوفية من عدمه بالنسبة إلى بعض المعادن.

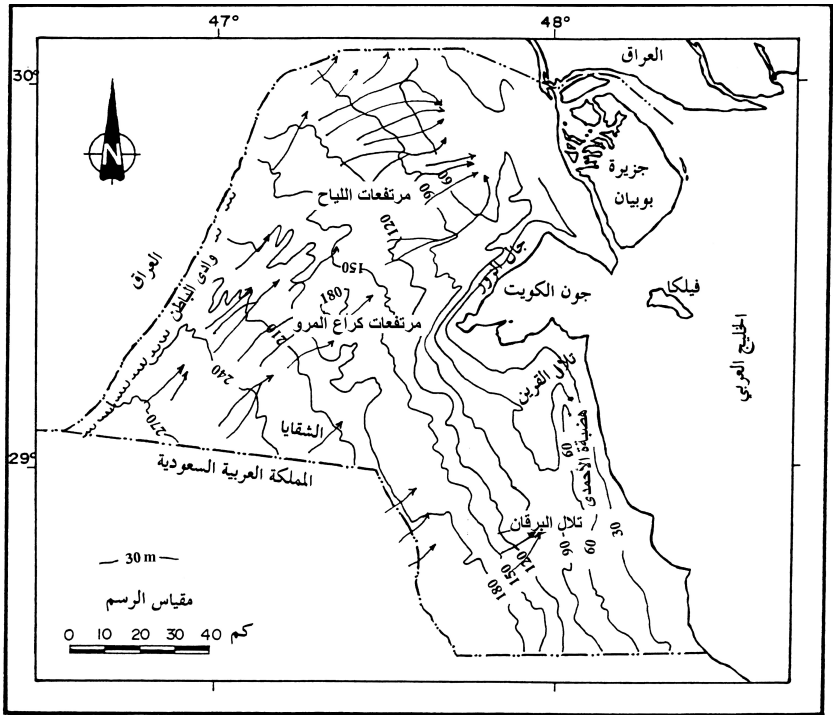
جيولوجية دولة الكويت:

الموقع والمساحة:

تقع دولة الكويت في أقصى الزاوية الشمالية الغربية من الخليج العربي بين خَطَّيْ عرض ٢٨ْ و ٣٠ْ شمالاً وخَطَّيْ طول ٤٦ْ و٤٨ْ شرقاً، وتحدّها من

الشمال والغرب الجمهورية العراقية بحدود طولها ٢٤٠ كم، ومن الجنوب الغربي المملكة العربية السعودية بحدود طولها ٢٥٥ كم، في حين يحدها من الشرق الخليج العربي وطول ساحله ٢٩٠كم. تبلغ المساحة الإجمالية لدولة الكويت نحو ١٨,٠٠٠كم^{٢}. ومعظم أراضي الكويت مسطحة رملية تنحدر تدريجياً من مستوى ٣٠٠ متر في أقصى الجنوب الغربي، لتصل إلى مستوى سطح البحر عند ساحل الخليج تجاه الشمال الشرقي.

يتكون سطح الكويت من سهول رملية منبسطة ومتموجة تموجاً خفيفاً، ويوجد على السطح تلال قليلة الارتفاع ومنخفضات ضحلة. وأهم الظواهر التضاريسية هي: جال الزور، هضبة الأحمدي، وادي الباطن، تلال البرقان، تلال القرين، مرتفعات اللياح، مرتفعات كراع المرو (الرويح، ١٩٩٧) (الشكل رقم ١).



الشكل رقم (١) – أهم الظواهر التضاريسية بدولة الكويت

الجيولوجيا الطبيعية:

يغطي سطح الكويت رواسب حديثة التكوين، تكونت في العصر الرباعي، ويمتد إلى الأسفل منها سبع مجموعات صخرية طباقية مرتبة من الأعلى إلى الأسفل على النحو التالي: مجموعة الكويت، مجموعة الحسا، مجموعة الأرومة، مجموعة الوسيع، مجموعة الثمامة، مجموعة الرياض، ومجموعة مرات؛ أي تمتد الطبقات من العصر الرباعي إلى العصر الجوراسي. ولقد تم التوصل إلى هذه الطبقات عن طريق حفر آبار البترول وآبار المياه في الكويت، وسنكتفي بشرح موجز لمجموعة الكويت ومجموعة الحسا الصخرية وتكويناتهما المختلفة؛ وذلك لأنهما يمثلان الخزانين الرئيسيين للمياه الجوفية في دولة الكويت.

رواسب العهد الحديث Quaternary:

تتمثل هذه الرواسب في رمال شاطئية دقيقة الحبيبات توجد على الشاطئ الجنوبي للكويت والمنطقة المحايدة. وهي رمال دقيقة الحبيبات نقلتها الرياح، كما توجد كثبان رملية هلالية في منطقة أم نقا في شمال شرق الكويت، وتوجد أيضاً بعض الرمال الدقيقة إلى خشنة الحبيبات المترسبة في قيعان الوديان، وكذلك رواسب سبخية مالحة واسعة الانتشار على شاطئ الكويت الجنوبي، والشاطئ الشمالي لمنطقة جون الكويت (الرويح، ١٩٩٧م).

مجموعة الكويت Kuwait Group:

تظهر صخور مجموعة الكويت في الأماكن التي لا توجد فيها رواسب حديثة، ويطلق اسم مجموعة الكويت على الصخور الفتاتية التي تعلو الصخور الجيرية والدولوميتية لمجموعة الحسا، وتنقسم مجموعة الكويت من الأعلى إلى الأسفل إلى ثلاثة تكوينات، هي: تكوين الدبدبة، تكوين فارس السفلي، وتكوين غار. ويراوح عمر الطبقات ما بين عصر الميوسين والبليستوسين. ويزداد سمك مجموعة الكويت في الاتجاه الشمالي والشرقي، حيث يصل في الأحمدي إلى نحو ٦ أمتار، في حين يصل سمك الطبقات إلى نحو ٨٥٣ متراً في شمال الكويت. ويتكون تكوين الدبدبة وتكوين غار من الحصى والرمل، وتكوين فارس السفلي من صخور رسوبية من المتبخرات، ولعدم وجود طبقة فارس السفلي،

فإنه يصعب تمييز هذه التكوينات الثلاثة في جنوب شرق الكويت، وجنوب غربها، لذا يطلق عليها مجتمعة اسم مجموعة الكويت (Owen and Nasr, 1958).

مجموعة الحسا Hasa Group:

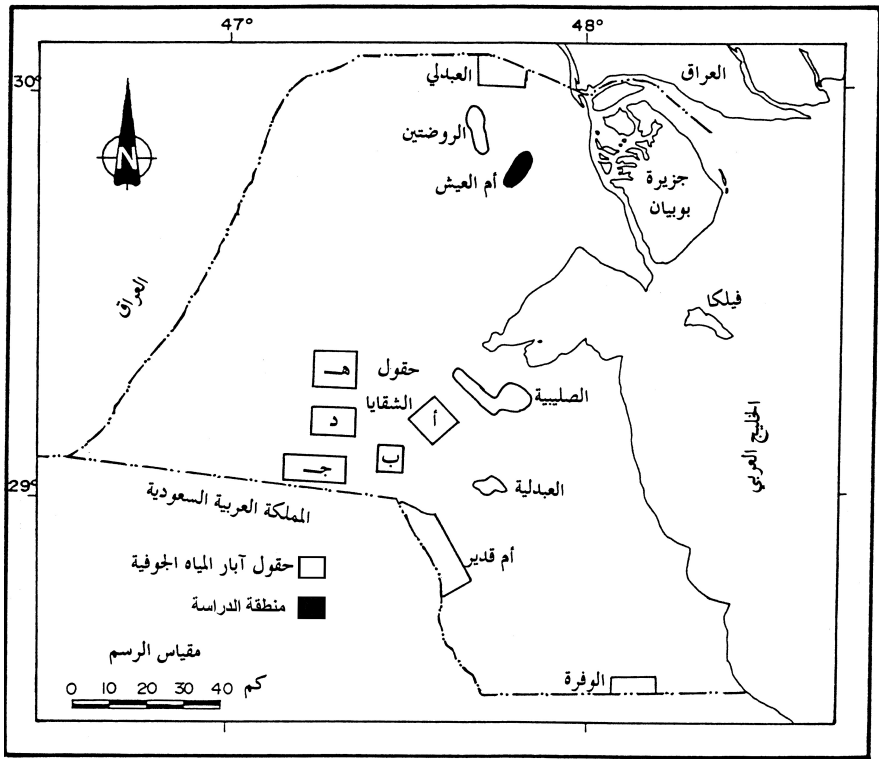
تتألف معظم صخور مجموعة الحسا من الحجر الجيري، والمارل، والدولوميت في الجزء السفلي، والأنهيدرايت في الجزء الأوسط، والحجر الجيري والمارل في الجزء العلوي. وتنقسم مجموعة الحسا إلى ثلاثة تكوينات من الأعلى إلى الأسفل، وهي: تكوين الدمام، تكوين الرص، تكوين أم الرضومة. ويعتبر تكوين الدمام الخزان الرئيسي للمياه الجوفية قليلة الملوحة والمستغل على نطاق كبير في دولة الكويت (الرويح، ١٩٩٧م).

هيدروجيولوجية دولة الكويت:

تعتبر دولة الكويت فقيرة في مواردها المائية الطبيعية، نسبة إلى الأمطار القليلة التي يبلغ معدلها ١٥٥ ملم/ السنة، وهي لا تسمح بتكوين المياه السطحية، وإن وجدت فوجودها يقتصر على فصل الشتاء كمياه سطحية مؤقتة، ونسبة التبخر عالية تبلغ ٢٦٠٠ ملم/السنة، لذا فإن المصدر الرئيسي لموارد المياه الطبيعية هي المياه الجوفية. وتوجد المياه الجوفية المستغلة في دولة الكويت في تكوين الدبدبة من مجموعة الكويت، وتكوين الدمام من مجموعة الحسا. وتنساب حركة المياه الجوفية من الجنوب الغربي إلى الشمال الشرقي. كما وجد أن مجموع الأملاح الذائبة (T.D.S.) في كل من خزان مجموعة الكويت وتكوين الدمام يزداد من الجنوب الغربي إلى الشمال الشرقي في اتجاه حركة المياه الجوفية ويراوح ما بين ٢,٥٠٠ – ١٥٠,٠٠٠ جزء في المليون، (الرويح، ١٩٩٧م).

تنقسم حقول المياه الجوفية إلى قسمين رئيسيين بحسب نوعية المياه المنتجة: حقول مياه جوفية عذبة، وحقول مياه جوفية قليلة الملوحة. توجد حقول المياه الجوفية العذبة في شمال الكويت، في تكوين الدبدبة من مجموعة الكويت، في حقل الروضتين وحقل أم العيش. كما توجد المياه الجوفية قليلة الملوحة في

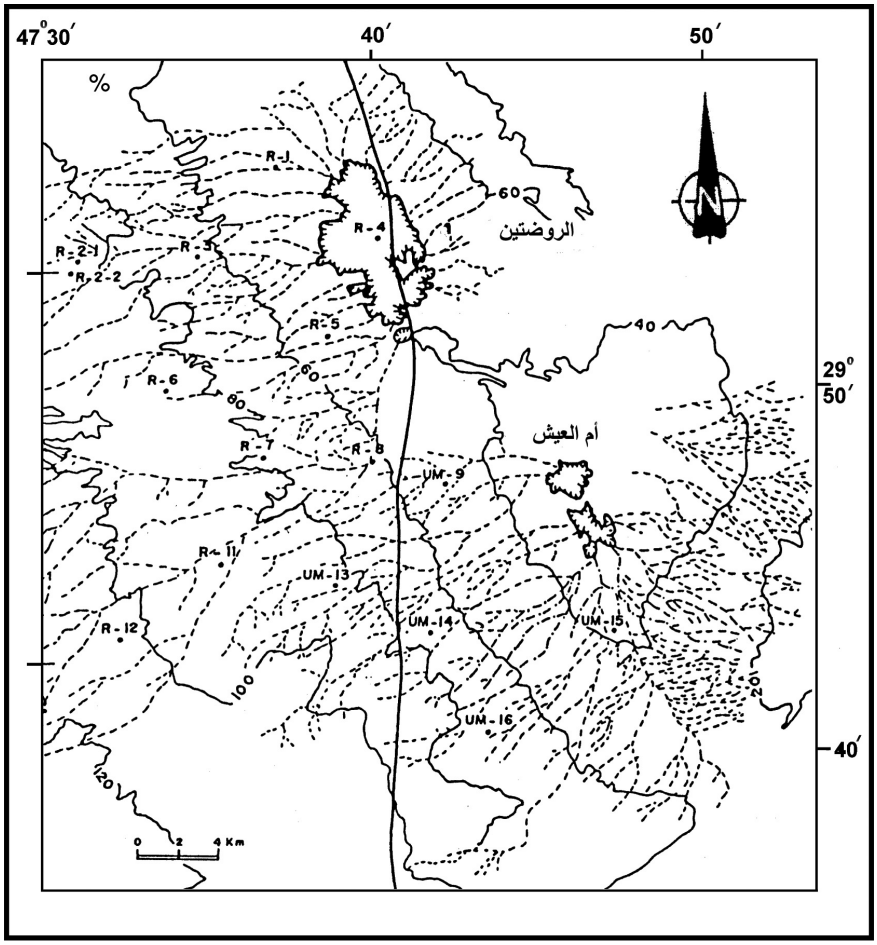
حقل الصليبية، حقول الشقايا (أ، ب، جـ، د، هـ)، وحقل أم قدير والمناطق الزراعية العبدلي والوفرة (الشكل رقم ٢)، (الرويح، ١٩٩٧م).



الشكل رقم (٢) – مواقع حقول المياه الجوفية ومنطقة الدراسة بدولة الكويت

إن المياه الجوفية العذبة ينحصر وجودها في تكوين الدبدبة ممثلة في حقل الروضتين وحقل أم العيش، اللذين يقعان ضمن حوض كبير تبلغ مساحته حوالي ٢,٠٥٩ كم^{٢}، حيث تبلغ مساحة حوض أم العيش ٧٩٠ كم^{٢}، ومساحة حوض الروضتين ٧٢٥ كم^{٢}، كما هو موضح في الشكل رقم (٣)، حيث يقع حوض أم العيش إلى الجنوب الشرقي من قاع حوض الروضتين، وتغطى أرضيته وقاعه بالرواسب السلتية والطينية والرملية، وتغطى جوانبه بفرشات رملية وحصوية، ويقطع جانبه شبكة كثيفة من الأودية شبه الجافة تتجه

مصباتها صوب قاع المنخفض على شكل تصريف مائي مركزي. وتشكل مياه الأمطار الموسمية مصدراً مهماً للشحن والتغذية الطبيعية للحوض؛ حيث تصل تقريباً إلى ٦٠ جالوناً في اليوم. ويراوح مجموع الأملاح الذائبة للمياه الجوفية من ١,٦٠٠– ٢,٠٠٠ جزء في المليون (العتيبي، ٢٠٠٥م). ويقدر المخزون الطبيعي من المياه الجوفية العذبة في هذين الحقلين بنحو ٤٠ ألف مليون جالون (كتاب الإحصاء، ٢٠٠٦م).

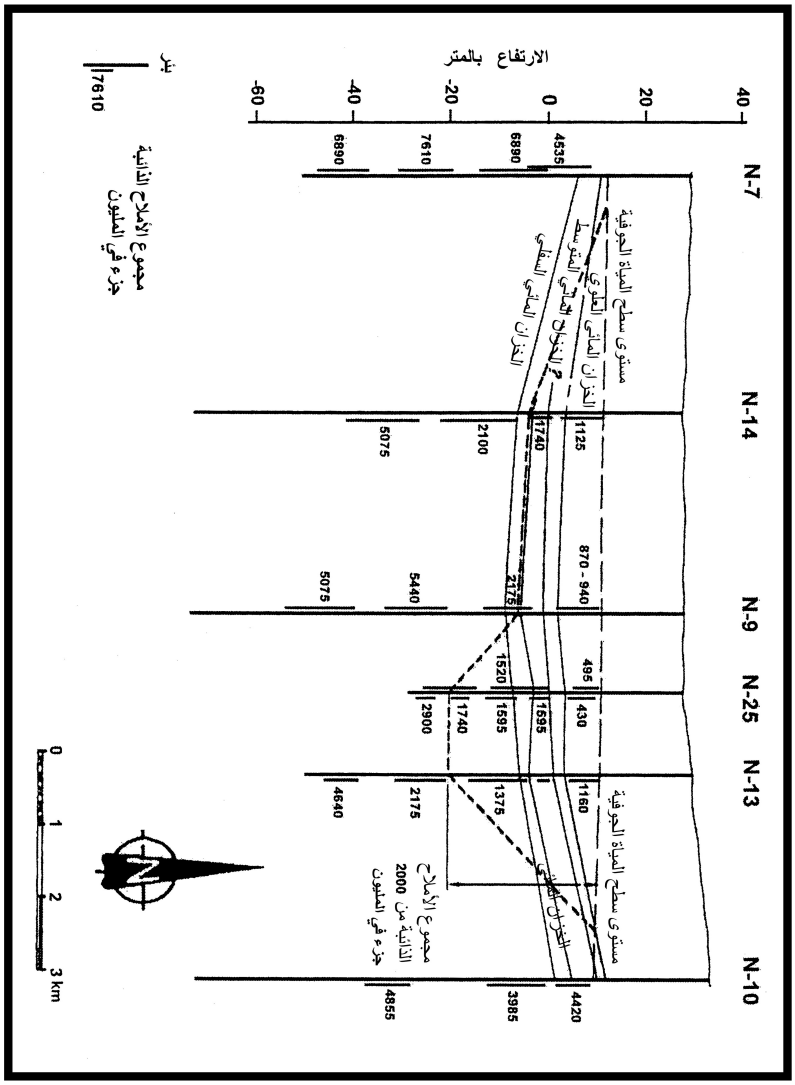


الشكل رقم (٣) – التصريف المائي لحوضي الروضتين وأم العيش (Al-Sulaimi et al., 1993)

حقل أم العيش Umm Al-Aish:

حوض أم العيش هو أحد حقول المياه الجوفية العذبة التي تقع شمال دولة الكويت، وقد تم اكتشاف الحقل في عام ١٩٦٣م، ويتم إنتاج المياه العذبة فيه من تكوين الدبدبة المكون من صخور رملية وحصوية تفصلها طبقات رملية ناعمة، وطبقات طينية قليلة المسامية. يتكون الحقل من ٦١ بئراً، منها ٢٦ بئراً منتجاً، و٣٥ بئراً تجريبية ومراقبة بطاقة تصميمية تصل إلى ١,٥ مليون جالون يومياً. وتراوح ملوحة المياه الجوفية ما بين ٣٠٠– ٢,٠٠٠ جزء في المليون، وهذه المياه محاطة من الجوانب ومن أسفل بمياه عالية الملوحة. الشكل رقم (٤). كما تبين من استخدام طريقة المقاومة الكهربائية لتحديد امتداد الخزان المائي أن متوسط عمق المياه الجوفية ٢٢ متراً من سطح الأرض، وأن سمك الخزان المائي يراوح بين ٣٩ متراً في مركز الحوض المائي و١٠ أمتار في المنطقة الجنوبية، وهو يمثل أفضل أنواع المياه الجوفية وكمياتها (Al-Ruwaih and Ali, 1986).

ومن دراسة الخصائص المورفولوجية لنظام التصريف في حوض أم العيش اتضح أن أكبر حوض تصريف يوجد في الجهة الجنوبية الغربية، حيث يغطي مساحة قدرها ٢٠٦ كم^{٢}؛ أي ما يعادل نحو ٤٦٪ من مجموع مساحة نظام صرف أم العيش. ومن جهة أخرى فإن أصغر حوض صرف في أم العيش يغطي مساحة ٧كم^{٢}. ومن قياس معدل التسرب في نظام صرف أم العيش يتضح أن القراءات تراوح ما بين ٧ – ٢٠,٥ سم / الساعة، وأن القراءات المتدنية تسجل في المنخفضات أو الوديان (السليمي، ١٩٩٩م). لقد تم اكتشاف المياه الجوفية العذبة في حوض أم العيش واستغلالها منذ عام ١٩٦٣م، وتوقف إنتاج المياه الجوفية العذبة من الحقل عام ١٩٩٠م بعد الغزو العراقي على دولة الكويت، حيث تم تدمير الحقل بالكامل، وتلوثت المياه الجوفية بالمركبات الهيدروكربونية نتيجة لتسرب النفط بعد حرق آبار النفط في حقل الروضتين (KFAS,1998).



الشكل رقم (٤) – قطاع جيولوجي لامتداد الخزان المائي وتقسيماته في حقل أم العيش (Parson, 1963)

دراسة الخصائص الكيميائية لحقل أم العيش:

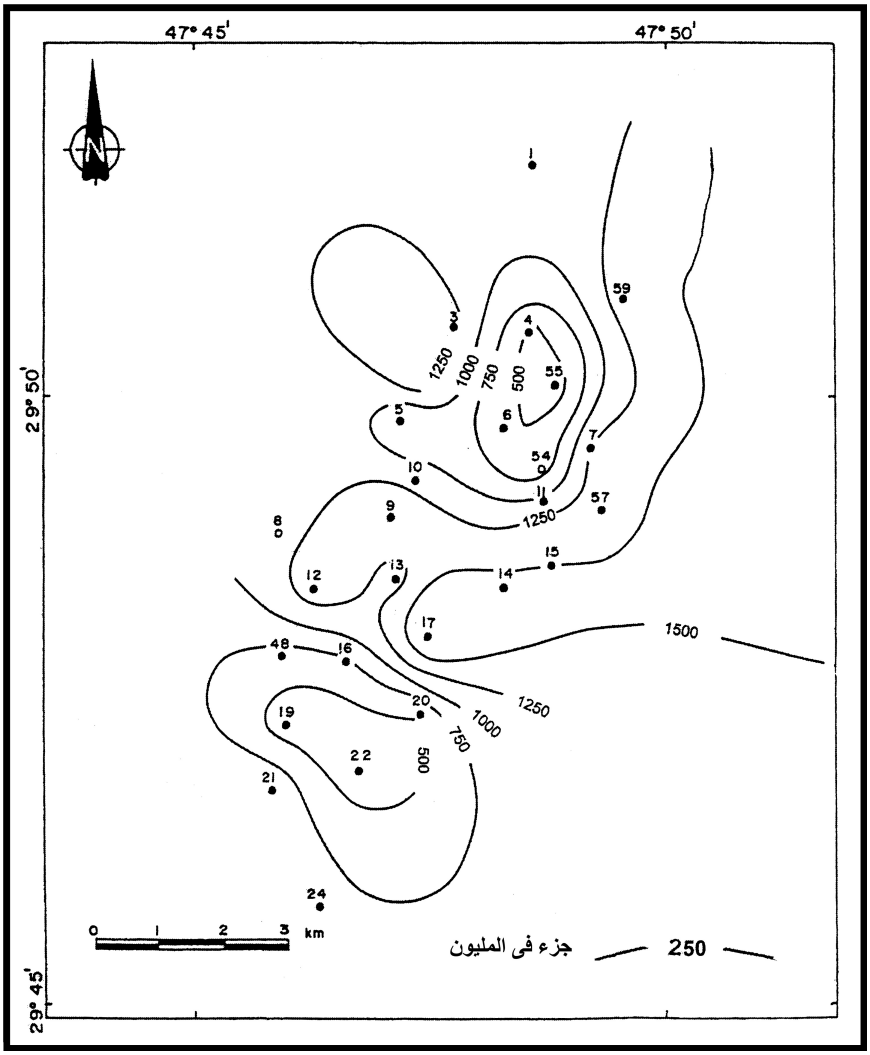
إن دراسة الخصائص الهيدروكيميائية للخزان المائي تساهم في فهم حركة المياه الجوفية وأصلها والعمليات الجيوكيميائية التي تؤثر على نوعية المياه الجوفية وكيميائيتها. ومن أجل دراسة الخصائص الكيميائية لحقل أم العيش، تم الحصول على التحاليل الكيميائية للمياه الجوفية من وزارة الكهرباء والماء للسنوات ١٩٦٤م، ١٩٧٧م، ١٩٨٧م، ١٩٩٤م و٢٠٠٤م، (انظر الجدول رقم (١): نموذج من التحاليل الكيميائية لعام ٢٠٠٤م) واستخدمت نتائج التحاليل الكيميائية لتعرف الأنواع الكيميائية للمياه الجوفية وأصل المياه الجوفية، والعمليات الجيوكيميائية السائدة، ودرجة تشبع المياه الجوفية بأنواع معينة من المعادن، بالإضافة إلى دراسة التغير في مجموع الأملاح الذائبة خلال السنوات الماضية.

لقد كان مجموع الأملاح الذائبة لحقل أم العيش يراوح بين ٥٠٠–١,٥٠٠ جزء في المليون في عام ١٩٦٤م، ونظراً لاستغلال المياه الجوفية فقد ازدادت ملوحة المياه الجوفية مع الوقت، خاصة عند طرف الحوض ليصل مدى تراوح مجموع الأملاح الذائبة فيه من ٦٧٠ – ٦,١٠٠ جزء في المليون عام ٢٠٠٤م، كما في الشكل رقم (٥) والشكل رقم (٦) على التوالي. وقد يكون هذا ناتجاً من تحرك المياه الجوفية قليلة الملوحة التي تقع أسفل المياه الجوفية العذبة في الآبار نفسها. وبدراسة التحاليل الكيميائية للمياه الجوفية العذبة لحقل أم العيش وعلى مدار عدة سنوات، اتضح سيادة الأيونات بالترتيب الآتي: $SO_4^{2-} > Cl^- > HCO_3^-$. كما أن ترتيب الكاتيونات السائدة هو: $Ca^{2+} > (Na+K)^+ > Mg^{2+}$. ونظراً لتدهور نوعية المياه الجوفية العذبة في الحقل فقد تم إغلاق معظم آبار المياه المنتجة واقتصر عددها على ٨ آبار بدلاً من ٢٦ بئراً منتجة كانت في بداية تشغيل الحوض المائي (Al-Ruwaih, 1985).

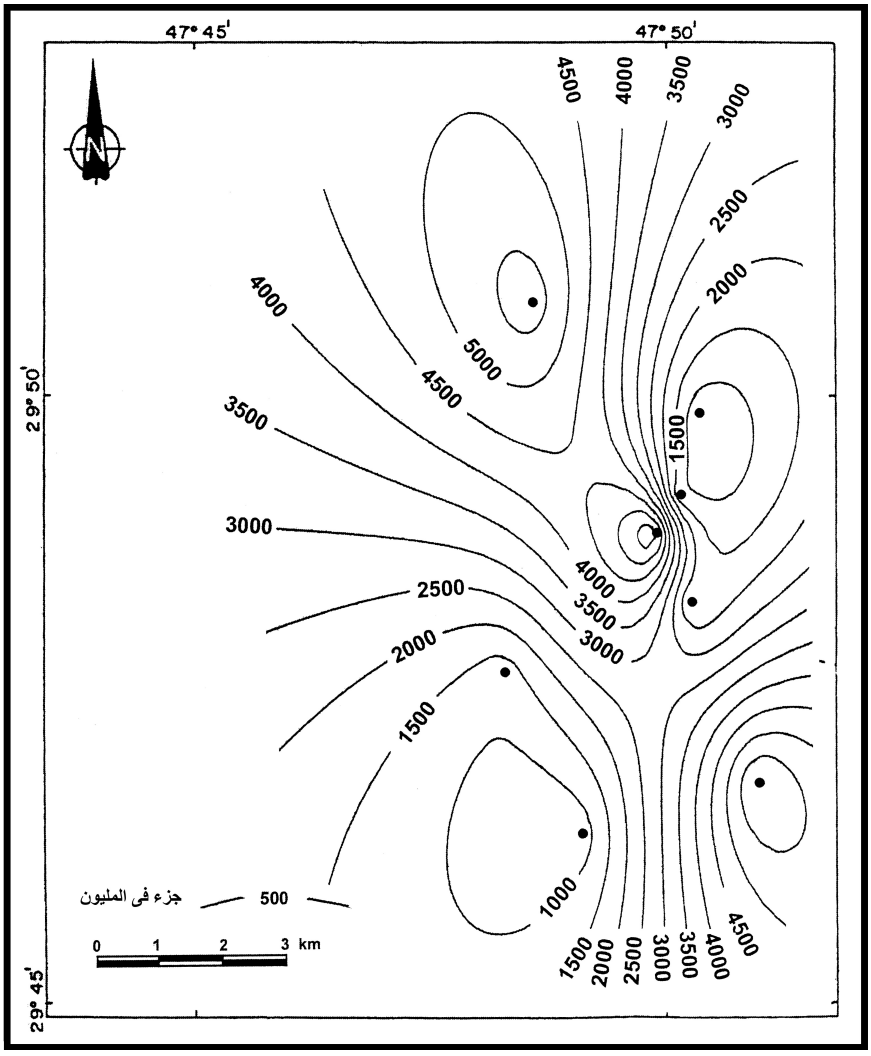
الجدول رقم (١)

التحاليل الكيميائية للمياه الجوفية في حقل أم العيش لعام ٢٠٠٤م

رقم البئر	الأس الهيدروجيني pH	قيمة التوصيل الكهربائي ميكروسيمتر / سم	مجموع الأملاح الذائبة جزء في المليون	الصوديوم جزء في المليون	البوتاسيوم جزء في المليون	الكالسيوم جزء في المليون	الماغنسيوم جزء في المليون	الكلور جزء في المليون	الكبريتات جزء في المليون	البيكربونات جزء في المليون
١٦	٧,٧	٧,٦٩٠	٥,٨٠٠	١,٣٨٧	٣	٣٨٣	٥٥	٩٤٠	٢,٦١١	٥٨
١٧	٧,١	٩٤٣	٦٧٠	٤١	٢,٤	١١٤,٣	٢٢,٧	٦٠	١٤٩	٢٥٧
١٨	٦,٧	٩,٩٠٠	٦,١٠٠	١,٤٥٥	٧	٥٤١	٧٠,٥	٣,٠١٤	٢٤٤	٣٣٢
١٩	٦,٩	١,٩٥٠	١,٢٠٠	١٢٢	٣,٦	٢١٧	٣٣	٤٠٣	١١٣	٢٠٩
٢٠	٧,٥	٢,٢٣٠	١,٥٠٠	٢٩٣	٤,٧	١٤٩	١٠	٢١٣	٦٧٣	٨٩
٢١	٧,٣	١,٩٤٤	١,٢٤٠	١٧٥	٣	١٦٦,٦	٢٥	٢٨٤	٣٨٠	١١٤
٢٢	٧,٣	٩٣٦	٧٠٠	٣٢,٥	١,٥	٩٨	٤١	٦٦	٢٣٠	١٥٠
٢٣	٧,٤	٩,٢٥٠	٦,١٠٠	١,٤٤٣	٤,٥	٥٦٢	٩٢,٧	١,٨١٩	١,٩٨٤	٦٦



الشكل رقم (٥) – توزع مجموع الأملاح الذائبة في حقل أم العيش عام ١٩٦٤م



الشكل رقم (٦) – توزع مجموع الأملاح الذائبة في حقل أم العيش عام ٢٠٠٤م

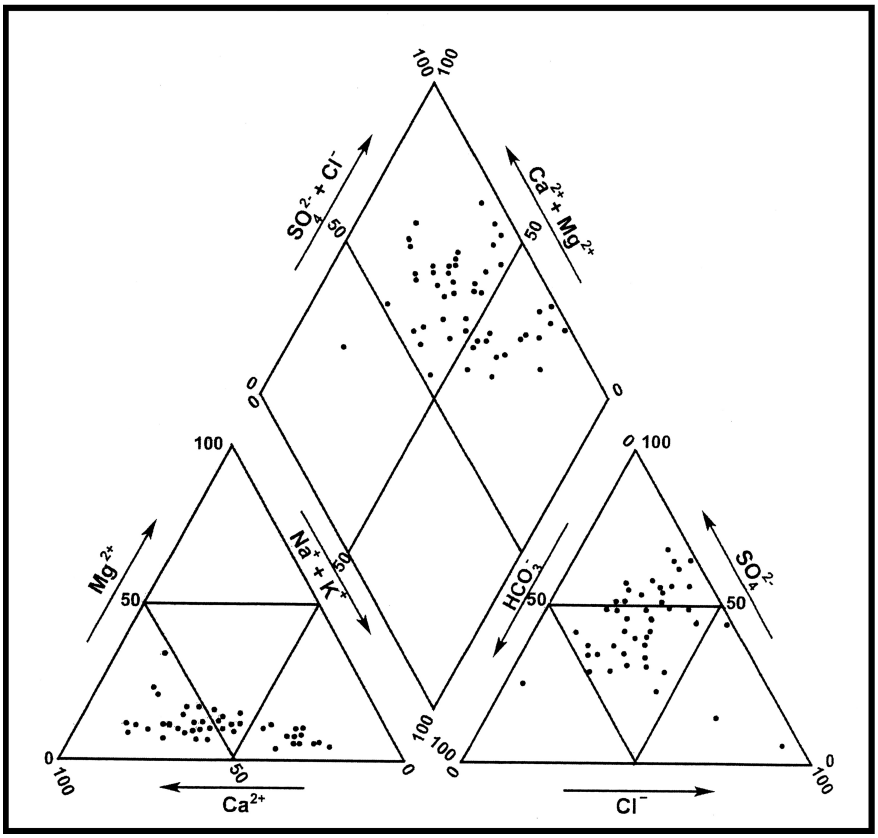
أنواع المياه الجوفية وأصلها:

لقد تم تطبيق طريقة شولر Schoeller (1935) لمعرفة الأنواع الكيميائية للمياه الجوفية، ومن جراء ذلك، اتضح أن هناك ست مجموعات لأنواع المياه الجوفية الكيميائية، وهي: كبريتات الصوديوم، كبريتات الكالسيوم، بيكربونات الكالسيوم، كلوريد الكالسيوم، بيكربونات الصوديوم، وكلوريد الصوديوم (الجدول رقم ٢)، وفي جميع أنواع المياه الجوفية الكيميائية لوحظ أن تركيز أيونات الصوديوم والبوتاسيوم أكبر من تركيز أيون الكلور ($(Na^+ + K^+) > Cl^-$). وأن الأنواع الكيميائية للمياه ما هي إلا نتيجة لعمليات التبادل الأيوني بين المياه الجوفية وصخور الخزان المائي، حيث يستخلص الصوديوم من المياه ويطلق عنصر الكالسيوم، وهذا ما يفسر تحول نوعية المياه من نوع كلوريد الصوديوم NaCl إلى نوع كلوريد الكالسيوم $CaCl_2$. كما أن عملية التبادل الأيوني العكسي تعتبر من العمليات السائدة التي تؤثر في نوعية المياه الجوفية، حيث يتم استخلاص عنصر الكالسيوم (Ca^{2+}) من المياه الجوفية ويطلق عنصر الصوديوم (Na^+)، مما ينتج عنه مياه جوفية نوعيتها الكيميائية بيكربونات الصوديوم (Appelo and Postma, 1994)

الجدول رقم (٢)
الأنواع الكيميائية للمياه الجوفية لحقل أم العيش
باستخدام طريقة Schoeller

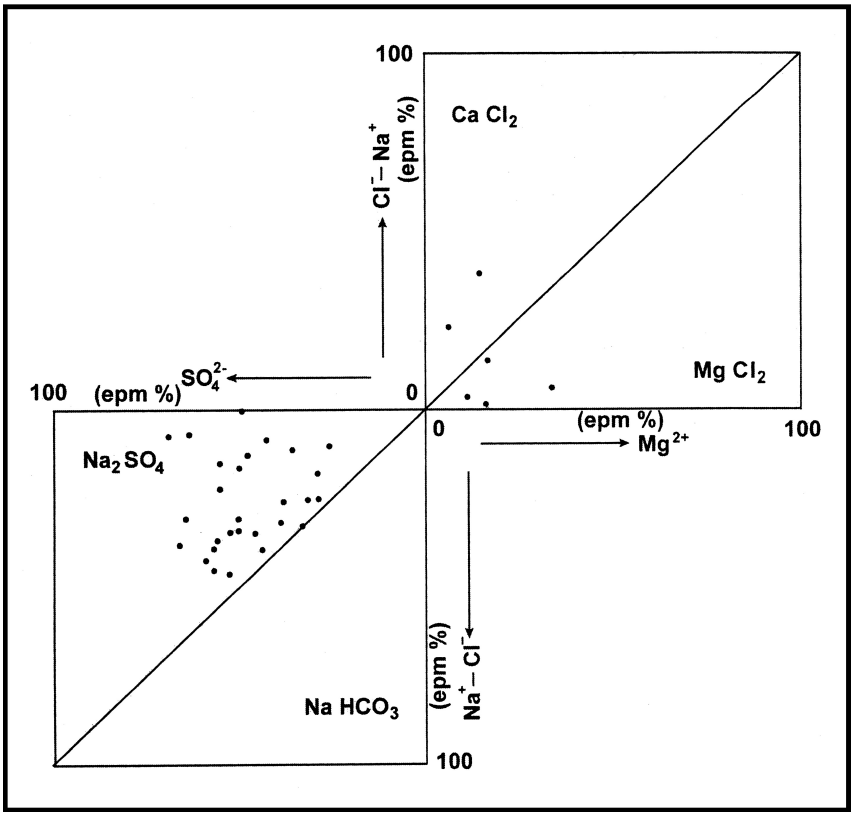
رقم المجموعة	المجموعة	أنواع المياه الجوفية الكيميائية	التركيب الكيميائي
١	٣٣١٣١١٣	كبريتات الصوديوم	Na_2SO_4
٢	٣٣١٣٣١٣	كبريتات الكالسيوم	$CaSO_4$
٣	٣٣٣١١١٣	بيكربونات الكالسيوم	$Ca(HCO_3)_2$
٤	٣٣١٣١٣١	كلوريد الكالسيوم	$CaCl_2$
٥	١١١٣١١٣	بيكربونات الصوديوم	$NaHCO_3$
٦	٣٣٣٣١١٣	كلوريد الصوديوم	NaCl

هذا، وبالإضافة إلى ذلك، فقد أسقطت معظم التحاليل الكيميائية لحقل أم العيش على مخطط بايبر Piper (1935) كما هو موضح في الشكل رقم (٧)؛ حيث تشير معظم التحاليل الكيميائية للمياه الجوفية إلى سيادة العناصر القلوية الأرضية الكالسيوم والماغنسيوم (Ca^{2+} وMg^{2+}) على العناصر القلوية الصوديوم والبوتاسيوم (Na^{+} وK^{+}). كما أن الأحماض القوية المتمثلة في الكلور والكبريتات (Cl^{-} وSO_4^{2-}) يزيد تركيزها على الأحماض الضعيفة مثل البيكربونات (HCO_3^{-}).



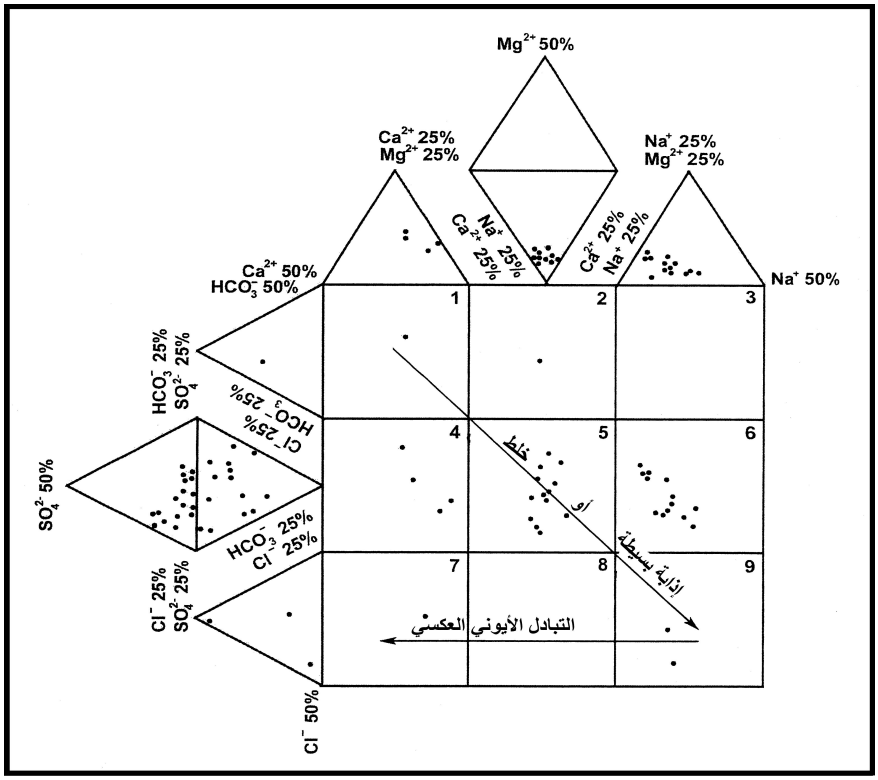
الشكل رقم (٧) – التحليل الكيميائي للمياه الجوفية في حقل أم العيش باستخدام شكل بايبر

كذلك، فقد تم تطبيق التقسيم الذي اعتمده سولين Sulin (1948) لتصنيف أصل المياه الجوفية وذلك باستخدام عينات المياه الجوفية العذبة لحقل أم العيش كما هو مبين في الشكل رقم (٨)، وعليه، فقد تم تعرف نوع صوديوم كبريتات SO_4.Na، وهذا النوع من المياه يرجح أن أصل المياه الجوفية هي مياه قارية مطيرة. كما أن الأنواع الأخرى التي تم تعرفها هي: كالسيوم . كلوريد Cl-Ca وماغنسيوم- كلوريد Cl-Mg التي تشير إلى أن رسوبيات وصخور خزان المياه الجوفي في منطقة الدراسة قد ترسبت في بيئات بحرية ضحلة قديمة، وقد اختلطت هذه المياه الجوفية بمياه الأمطار المتساقطة على مكمن المياه الجوفية (Al-Ruwaih et al., 2005).



الشكل رقم (٨) – مخطط سولن لأصل المياه الجوفية في حقل أم العيش

هذا، وبالإضافة إلى ذلك، فقد تم رسم معظم التحاليل الكيميائية وإسقاطها على مخطط دوروف (Lloyd and Heathcote,1985) كما هو مبين في الشكل رقم (٩)، حيث تشير النتائج إلى أن معظم عينات المياه الجوفية تقع في المساحات رقم ٤، ٥ و ٦ من المخطط؛ حيث تسود عمليات الإذابة الجيوكيميائية البسيطة في الخزان المائي أو الخلط مع مياه أخرى، وإلى سيادة عنصري الكالسيوم Ca^{2+} والكبريتات (SO_4^{2-})، علماً بأن سيادة الكبريتات في المياه الجوفية يدل على احتمال التغذية والشحن الطبيعي للمياه الجوفية من مياه الأمطار في العصر الجيولوجي المطير البليستوسين، حيث دلت دراسة النظائر (^{14}C) على أن عمر المياه الجوفية العذبة في حقل أم العيش يراوح بين ٦٩٥ إلى ٣,٤٤٠سنة (Al-Ruwaih, 1994).



الشكل رقم (٩) – العمليات الجيوكيميائية السائدة للمياه الجوفية في حقل أم العيش باستخدام شكل دوروف

النسب الكيميائية:

إن العلاقة بين بعض النسب الكيميائية التي تذوب في المياه الجوفية قد أثبتت جدواها في تعرف أصل المياه في مجال الهيدروجيوكيمياء، ومن مثل هذه النسب نسبة $\frac{Na}{Cl}$ ، $\frac{SO_4}{Cl}$ و $\frac{Ca}{Mg}$، مقيسة بوحدة مليمكافئ / لتر (epm).

إن متوسط قيم النسب الكيميائية لـ $\frac{Na}{Cl}$ ، $\frac{SO_4}{Cl}$ و $\frac{Ca}{Mg}$ لمياه البحر هي ٠,٨٥، ٠,١٠ و٠,٢٠ على التوالي، كما أن متوسط قيم النسب الكيميائية السابقة لمياه الأنهار هي ١,٧٩، ١,٥٧ و ٣,٦ (Al-Yaqubi, 1977). الجدول رقم (٣) يبين النسب الكيميائية لحقل أم العيش.

الجدول رقم (٣)

النسب الكيميائية لحقل أم العيش

الرقم المتسلسل	Na/Cl	SO_4/Cl	Ca/Mg
١	٢,٢٨	٢,٠٥	٤,٢٢
٢	١,٠٥	١,٨٣	٣,٠٥
٣	٠,٧٤	٠,٠٦	٤,٦٦
٤	٠,٤٧	٠,٢١	٣,٩٩
٥	٠,٩٥	٠,٩٩	٤,٠٤
٦	٠,٧٦	٢,٥٧	١,٤٥
٧	١,٢٢	٠,٨٠	٣,٦٨
٨	١,٢٥	١,٥٧	٤,٩٤
٩	١,٩٨	٢,٢٥	٤,٦٥
١٠	١,٤٤	١,٢٥	٣,١٢
١١	٣,١٢	٢,٤١	٢,٨٣
١٢	٢,٦٤	٢,٦٤	٣,٢٤
١٣	٣,١٥	٤,٤٤	٢,٥٩

تابع/ الجدول رقم (٣)
النسب الكيميائية لحقل أم العيش

الرقم المتسلسل	Na/Cl	SO_4/Cl	Ca/Mg
١٤	٢,١٩	١,٧٨	٤,٤٥
١٥	٠,٩٣	٠,٨٢	٢,٨٧
١٦	١,٦٤	١,٨٠	٣,٩٠
١٧	١,٥٠	١,٩٥	٤,٦٢
١٨	٢,٢٣	١,٤١	٤,٠٤
١٩	٢,٨٤	٢,٤٢	٣,١٣
٢٠	٤,٨٢	٤,٤٣	٣,٤٠
٢١	٢,٠٤	١,٦٦	٣,٥٦
٢٢	١,٩٧	١,٥٤	٤,١٩
٢٣	٠,٦٦	٠,٥٢	٢,٩٦
٢٤	١,٩٨	١,٧٨	٤,٢٣

حيث وجد أن متوسط قيم النسبة الكيميائية لـ $\frac{Na}{Cl}$ لحقل أم العيش تراوح بين ٠,٤٧ و ٤,٨٢، كما أن وجود المياه الجوفية ذات النوعية الكيميائية كبريتات الصوديوم (Na_2SO_4) و بيكربونات الصوديوم ($NaHCO_3$) بالإضافة إلى مياه ذات النوعية الكيميائية كلوريد الصوديوم (NaCl) يعكس مدى تأثر المياه الجوفية الأصلية بمياه الأمطار في العصور المطيرة. كما أن التحليل الكيميائي للنسب الكيميائية يبين أن نسبة $\frac{SO_4}{Cl}$ تراوح بين ٠,٠٦ إلى ٤,٤٤ في حقل أم العيش التي هي أعلى من متوسط قيمة $\frac{SO_4}{Cl}$ لماء البحر، وهذا يعزى إلى أن مصدر الكبريتات الرئيسي في المياه الجوفية لمنطقة الدراسة هو النسبة العالية لذوبان صخور المتبخرات الأنهيدرايت ($CaSO_4$) وصخور الجبس (كبريتات الكالسيوم المائية) $CaSO_4.2H_2O$، التي تشكل نسبة غير قليلة من صخور مكمن

مجموعة الكويت. كما أن نسبة $\frac{Ca}{Mg}$ تراوح بين ١,٤٥ و ٤,٩٤ في حقل أم العيش والتي هي أعلى من متوسط قيم مياه البحر ومياه الأنهار، وهذا يعزى إلى أن عنصر الماغنسيوم Mg^{2+} يوجد بنسبة أعلى من عنصر الكالسيوم Ca^{2+} في مياه البحر. بينما في المياه السطحية والمياه الجوفية العذبة يوجد عنصر الكالسيوم Ca^{2+} بتركيز أعلى وسيادة على عنصر الماغنسيوم Mg^{2+}؛ وذلك نظراً لتسرب وذوبان صخور كربونات الكالسيوم ($CaCO_3$) وصخور بيكربونات الكالسيوم $Ca(HCO_3)_2$، وعليه، فإن النسبة المرتفعة نسبياً للنسبة الكيميائية لـ $\frac{Ca}{Mg}$ في حقل أم العيش تدل على أن مياهه قد تأثرت واختلطت مع مياه أصلها جوي، أي مياه مطيرة.

قياس درجة تشبع المياه الجوفية بالمعادن:

لقياس درجة تشبع المياه الجوفية من عدمه بالنسبة إلى بعض المعادن، وذلك من خلال عمليات الإذابة أوالترسيب وتفاعلها مع صخور الخزان المائي، فقد استخدم برنامج الحاسب الآلي **WATEQ4F** (Ball and Nordstrom, 1992). إن برنامج **WATEQ4F** يحسب انتشار ونشاط العناصر المائية، بالإضافة إلى تعيين دليل تشبع المعادن **SI (Mineral Saturation Index)** للعديد من المعادن الموجودة في المياه الجوفية، إن دليل تشبع المعادن (SI) يقيس مدى تشبع المياه؛ أي بمعنى هل هذه المياه الجوفية مشبعة، تحت التشبع أو في حالة اتزان بالنسبة لبعض المعادن، كما في المعادلة التالية (Deutsch, 1997):

$$SI = \log \frac{K_{iap}}{K_{sp}}$$

حيث إن (K_{iap}) يمثل ناتج النشاط الأيوني للأيونات، و(K_{sp}) يمثل ناتج ذوبان المعدن. وقد وجد أنه عندما يكون المحلول المائي في حالة اتزان **(Equilibrium)** مع بعض المعادن، فإن قيم دليل تشبع المعادن SI تساوي صفراً؛ أي ($K_{iap} = K_{sp}$). وعندما تكون قيمة SI أقل من صفر (< ٠) فإن المياه الجوفية توصف بأنها غير مشبعة بالنسبة للمعادن، وتكون هناك فرصة لإذابة

هذه المعادن إذا كانت موجودة في المياه الجوفية. وعندما تكون قيمة SI أكبر من صفر (٠ <) فذلك يعني أن المياه الجوفية مشبعة بالنسبة إلى بعض المعادن، وتكون لهذه المعادن القابلية على أن تترسب في المياه الجوفية. وقد تم عرض نتائج قياس SI لحقل أم العيش في الجدول رقم (٤).

الجدول رقم (٤)

نتائج قياس درجة تشبع المياه الجوفية في حقل أم العيش

المعادن	التركيب الكيميائي	المتوسط	الانحراف المعياري	دليل التشبع
الأنهيدرايت	$CaSO_4$	١,٤٢–	٠,٥٢	٠,٣٧–
الكالسيت	$CaCO_3$	٠,٤١	٠,٠٩	٠,٢٢
الدولوميت	$CaMg(CO_3)_2$	٠,٤٢	٠,٢١	٠,٥٠
الجبس	$CaSO_4.2H_2O$	١,١٢–	٠,٥٢	٠,٤٦–
الهاليت	NaCl	٦,٣١–	١,٠٥	٠,١٧–

ومن استقراء نتائج قياس درجة تشبع المياه الجوفية من عدمه في حقل أم العيش والموضحة في الجدول رقم (٤)، اتضح أن المياه الجوفية مشبعة بالنسبة لمعادن الكالسيت والدولوميت، ويزيد تركيزها في اتجاه حركة المياه الجوفية تجاه الشمال – والشمال الشرقي. أما في وسط الحوض المائي فإن المياه الجوفية تبدو غير مشبعة بالنسبة لمعادن الأنهيدرايت والجبس والهاليت. وقد وجد أن عملية ذوبان الجبس في المياه الجوفية يؤدي إلى إطلاق عنصر الكالسيوم في المياه الجوفية وزيادة تركيزه فيها، كما أن وجود عنصر الكالسيوم يؤدي بدوره إلى ترسيب معادن الكالسيت وإذابة الدولوميت، فيما يعرف بعملية إعادة الدلمتة (Back, 1983 & Al-Ruwaih and Qabazard, 2005) **Dedolomitization**، كما أظهر حساب متوسط قيم الضغط الجزئي لثاني أكسيد الكربون (P_{CO_2}) أنه يساوي ٣,٨ × ١٠$^{-٣}$ مقيساً بوحدة (.atm)، وهذا يدل على أن الخزان المائي في منطقة الدراسة يمثل بيئة ترسيبية عميقة ومُغلقة بالنسبة إلى ثاني أكسيد الكربون (Al-Sulaimi and Al-Ruwaih, 2004).

التحليل الإحصائي:

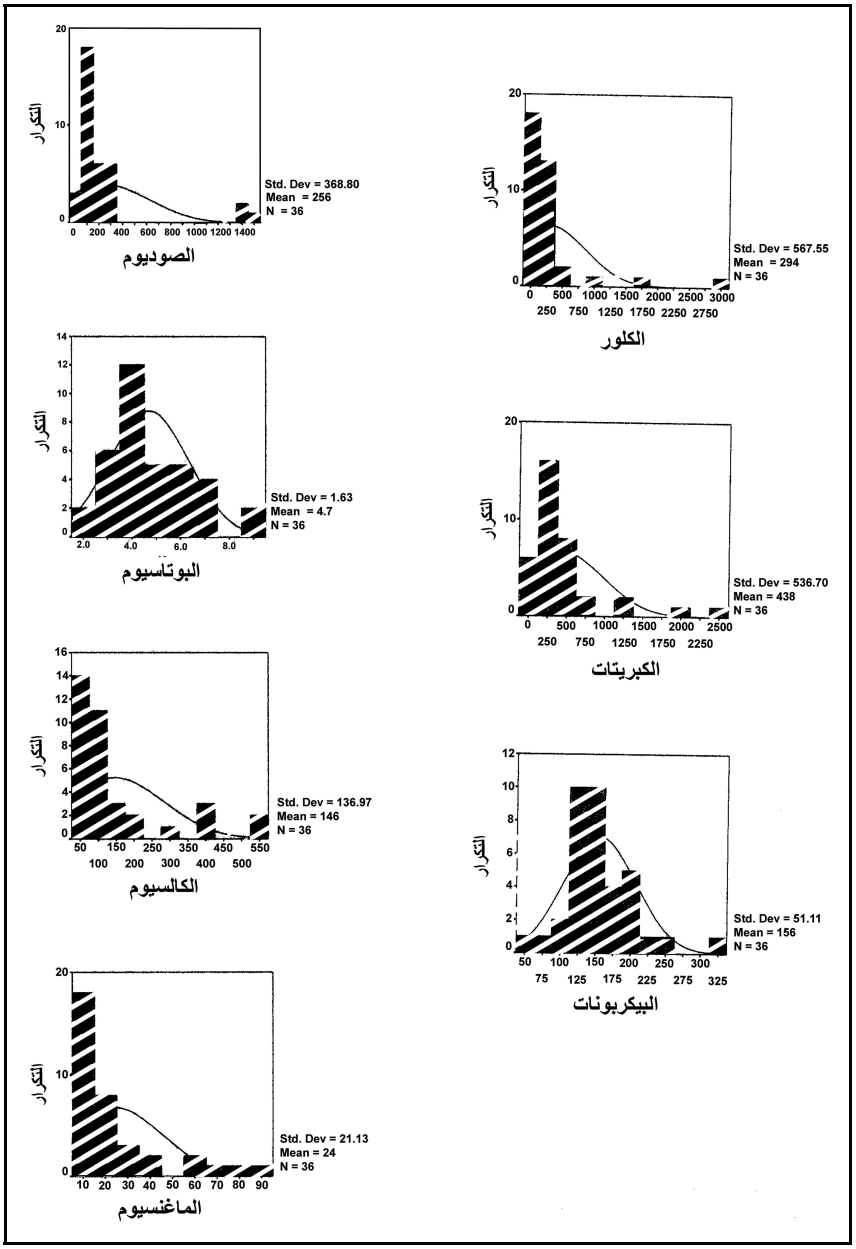
إن توزيع الخصائص والارتباطات الثنائية **(Bivariate Correlation)** للعناصر الكيميائية في المياه الجوفية في منطقة الدراسة قد تم إيضاحه وعرضه على شكل المدرج التكراري **(Histogram)** وتحليل الارتباط، وذلك باستخدام برنامج الحاسب الآلي **Statistical Package of Social Sceince (SPSS, 2002)**. إن الإحصاء الوصفي للمعلومات الكيميائية الناتجة عن استخدام البرنامج SPSS يتكون من جزأين؛ الجزء الأول يهتم بعرض النتائج الكيميائية على شكل المدرج التكراري والتوقيع المتناثر. والجزء الثاني يهتم بعرض النتائج مقيساً بالإحصاء الشكلي مثل: المنوال، الوسيط، الالتواء والتفلطح والإحصاء الانتشاري مثل: قياس المدى، التباين والانحراف المعياري.

إن تطبيق برنامج SPSS على نتائج التحاليل الكيميائية للمياه الجوفية في حقل أم العيش يدل على وجود اختلاف كبير في تركيز الكاتيونات والأيونات وتوزعها، كما هو مبين في الجدول رقم (٥)، والشكل رقم (١٠) الذي يبين الانحراف الإيجابي لتوزع العناصر الكيميائية.

الجدول رقم (٥)

الإحصاء الوصفي للتحاليل الكيميائية لحقل أم العيش

العنصر	المتوسط	الإنحراف المعياري	التباين	الإلتواء	التفلطح
K	٤,٦٩٣	١,٦٣٤	٢,٦٧٠	٠,٦٦٣	٠,٢١٣
pH	٧,٦٨٣	٠,٣١٥٥	٠,٠٩٩٥٧	٠,٦٦٣	٠,٢١٣
Mg	٢٤,١٥٠	٢١,١٣٤	٤٤٦,٦٦٠	١,٩٨٧	٣,٣٣٨
Ca	١٤٦,٤٣١	١٣٦,٩٧٢	١,٨٧٦,٢١	١,٩٤٢	٢,٩٤٠
HCO_3	١٥٦,٠٦١	٥١,١٠٧	٢,٦١١,٩٧١	١,٠٤٠	٣,١٨٨
Na	٢٥٦,٣٧٠	٣٦٨,٨٠	١٣٦,٠١٦,٢	٢,٨٥١	٧,١٧٩
Cl	٣٩٣,٦٢٢	٥٦٧,٥٤٩	٣٢٢,١١١,٧	٣,٩٢٤	١٦,٤٧٤
SO_4	٤٣٧,٧٠	٥٣٦,٧٠	٢٨٨,٠٤٤,٩	٢,٨١٤	٨,٥١٣
TDS	١,٣٦٤,٥٠	١,٥٢٢,٤٧	٢,٣١٧,٩٢٨	٢,٥٨٢	٥,٩٠٨



الشكل رقم (١٠) – المدرج التكراري للعناصر الكيميائية في حقل أم العيش

كما استخدمت تقنية الارتباطات الثنائية بين متغيرين لقياس درجة الترابط والتجاذب بين عددين متغيرين (Davis, 1986)، ووجد أنه إذا كانت قيمة الارتباط إيجابية (+١) دل ذلك على العلاقة الإيجابية الكاملة بين المتغيرين، في حين تدل المضاهاة السلبية (−١) على أن أحد المتغيرين يتغير بطريقة عكسية بالنسبة للمتغير الآخر، كما وجد أنه عندما تكون قيمة الارتباط (صفراً)، فهذا يدل على أنه ليس هناك علاقة بين المتغيرين. ويبين الجدول رقم (٦) الارتباط ثنائي التغير بين العناصر الأساسية للمياه الجوفية في حقل أم العيش، التي تدل على أن هناك علاقة إيجابية قوية بين كل من Ca-Mg (0.942)، Na-Cl (0.894)، Na-Ca (0.842) وبين Na-Cl (0.894). كما دلت النتائج على أن هناك علاقة إيجابية متوسطة بين كل من Na-Mg (0.734)، $Ca\text{-}SO_4$ (0.719) و $Mg\text{-}SO_4$ (0.703).

الجدول رقم (٦)

الارتباطات الثنائية بين متغيرين للتحاليل الكيميائية لحقل أم العيش

العنصر	Na	K	Ca	Mg	Cl	SO_4	HCO_3
Na	١,٠٠٠						
K	٠,٢٠٢	١,٠٠٠					
Ca	٠,٨٤٢	٠,٢٨٧	١,٠٠٠				
Mg	٠,٧٤٥	٠,٢٣١	٠,٩٤٢	١,٠٠٠			
Cl	٠,٨٩٤	٠,٢٢٥	٠,٨٣٧	٠,٧٢٩	١,٠٠٠		
SO4	٠,٧٤٠	٠,١٧٩	٠,٧١٩	٠,٧٠٣	٠,٤١٩	١,٠٠٠	
HCO3	−٠,١٠٦	−٠,٠٥٩	−٠,١٠٤	−٠,١٠٣	٠,٢٢٠	−٠,٥٩٢	١,٠٠٠

الاستنتاج والتوصيات:

توجد المياه الجوفية المستغلة في دولة الكويت في مكمن مجموعة الكويت، ومكمن مجموعة الحسا. ويشكل حقل أم العيش أهمية كبيرة لدولة الكويت كونه أحد مصادر المياه الجوفية العذبة في منطقة صحراوية. إن الهدف الرئيسي من هذا البحث هو دراسة الخصائص الكيميائية للمياه الجوفية وتغيرها مع مرور

السنوات من خلال دراسة التغير في مجموع الأملاح الذائبة وتعرف أنواع المياه الجوفية الكيميائية وأصلها، ودراسة مدى تشبع المياه الجوفية من عدمه بالنسبة إلى بعض المعادن الأساسية.

وقد دلت الدراسة الهيدروكيميائية للمياه الجوفية العذبة لحقل أم العيش على أن مجموع الأملاح الذائبة كان يراوح بين ٥٠٠ – ١,٥٠٠ جزء في المليون عام ١٩٦٣، ثم أخذ مجموع الأملاح الذائبة بالزيادة خلال السنوات التي تلت الإنتاج من المياه الجوفية ليراوح بين ٦٧٠ – ٦,١٠٠ جزء في المليون عام ٢٠٠٤. كما أن توزع الأيونات يدل على سيادة الكبريتات في بعض الآبار وسيادة البيكربونات في بعض الآبار على النحو الآتي: $SO_4^{2-} > Cl^- > HCO_3^-$ أو $HCO_3^- > SO_4^{2-} > Cl^-$.

أما بالنسبة لسيادة الكاتيونات فهي: $(Na+K)^+ > Ca^{2+} > Mg^{2+}$. وفي بعض العينات تكون السيادة لعنصر الكالسيوم: $Ca^{2+} > (Na+K)^+ > Mg^{2+}$. وكشفت الدراسة أيضاً أن المياه الجوفية العذبة مشبعة بالنسبة إلى معادن الكالسيت والدولوميت، وغير مشبعة بالنسبة إلى معادن الجبس، والأنهيدرايت والهاليت. كما وجد أن العملية الجيوكيميائية إعادة الدلمتة هي العملية الجيوكيميائية الرئيسية التي تؤثر على نوعية المياه الجوفية في حقل أم العيش. هذا، إلى جانب بعض العمليات الجيوكيميائية الأخرى كعملية الإذابة البسيطة أو الخلط، وعملية التبادل الأيوني العكسي.

ومن نتائج هذه الدراسة وجد أن الأنواع الكيميائية للمياه الجوفية هي: كبريتات الصوديوم (Na_2SO_4)، كبريتات الكالسيوم ($CaSO_4$)، بيكربونات الكالسيوم $Ca(HCO_3)_2$، بيكربونات الصوديوم $NaHCO_3$، كلوريد الكالسيوم $CaCl_2$ وكلوريد الصوديوم NaCl. كما أن وجود نوعي المياه SO_4-Na و Cl-Mg يدل على أن صخور الخزان المائي تكونت في بيئات ترسيبية بحرية، وأن هذه الرسوبيات قد اختلطت وتفاعلت مع مياه الأمطار خلال عصر البليستوسين المطير.

دلت النسب الكيميائية $\frac{Na}{Cl}$ ، $\frac{SO_4}{Cl}$ و $\frac{Ca}{Mg}$، لمنطقة الدراسة أيضاً على أنها

أعلى من متوسط قيم مياه البحر، وعلى اختلاط المياه الجوفية الحالية بمياه تتميز بملوحة عالية مثل ماء البحر.

ووجد من التحليل الإحصائي أن هناك علاقة ارتباط إيجابية قوية بين كل من عناصر Na^{+}-Cl^{-}، Ca^{2+}-Mg^{2+}، Na^{+}-Ca^{2+}، Ca^{2+}-Cl^{-}. هذا، بالإضافة إلى وجود علاقة ارتباط إيجابية متوسطة بين Na^{+}-Mg^{2+}، Na^{+}-SO_4^{2-}، Mg^{2+}-Cl^{-} و Ca^{2+}-SO_4^{2-}. وتوصي الدراسة بالقيام بالتحليل الكيميائي للمياه الجوفية وقياس مستواها بانتظام، خاصة بعد إغلاق معظم الآبار؛ ذلك لدراسة تأثير التغذية الطبيعية على نوعية المياه الجوفية وارتفاع منسوب المياه الجوفية.

المراجع

أولاً - المراجع العربية:

- الرويح، فوزية محمد، (١٩٩٧م)، موارد الأرض الطبيعية، جامعة الكويت، مجلس النشر العلمي.
- العتيبي، عبيد سرور، (٢٠٠٥م)، مصادر المياه ودورها في التنمية الاقتصادية والاجتماعية في دولة الكويت، دراسة في الجغرافيا الاقتصادية، جامعة الكويت، مجلس النشر العلمي، حوليات الآداب والعلوم الاجتماعية.
- السليمي، جواد وأكبر، عدنان، (١٩٩٩م)، المياه الجوفية في دولة الكويت، مؤسسة الكويت للتقدم العلمي، الطبعة الأولى.
- كتاب الإحصاء السنوي، (٢٠٠٦م)، المياه – وزارة الكهرباء والماء.

ثانياً - المراجع الأجنبية:

- Al-Ruwaih, F.M. and Ali, H.A. (1986), Resistivity measurements for groundwater investigation in Umm Al-Aish area of northern Kuwait. Journal of Hydrology **88:** 185-198.
- Al-Ruwaih, F.M. and Qabazard, H.A. (2005), Aquifer characteristics and water quality of Miocene - Pleistocene sediments, Kuwait. Bulletin of Engineering Geology and the Environment **64(2)**: 175-191.
- Al-Ruwaih, F.M. (1985), Hydrochemical classification of the groundwater of Umm Al-Aish, Kuwait. Kuwait Journal of the University of Kuwait (Science) **12(2):** 288 - 296.
- Al-Ruwaih, F.M. (1994), Patterns of groundwater chemistry of the Kuwait Group aquifer, Kuwait. Journal of Engineering Hydrology **2(1)**: 24-35.
- Al-Ruwaih, F.M., Talebi, L. and Hadi, K.M. (2005), Major geochemical processes in the evolution of Eocene carbonate aquifer, Kuwait. Kuwait Journal of Science and Engineering **32(1):** 119- 144.

- Al-Sulaimi, J.S., Al-Ruwaih, F.M. (2004), Geological, structural and geochemcial aspects of the main aquifer system in Kuwait. Kuwait Journal of Science and Engineering. **31(1)**: 149-174.
- Al-Sulaimi, J., Visanathan, M.N. and Szekely, F. (1993), Effect of oil pollution on fresh groundwater in Kuwait. Environmental Geology. **22:** 246-256.
- Al-Yaqubi, A.S. (1977), Some groundwater studies in Al-Shagaya - Al-Sulaibiya area, Kuwait. M.Sc. Thesis, Kuwait University, Kuwait, 143 p.
- Appelo, G.A.J. and Postma, D. (1994), Geochemistry, groundwater and pollution. Rotterdam, A.A., Balkema, 536 p.
- Back, W. (1963), Priliminary result of a study of the calcium carbonate saturation of groundwater in central Florida. Bulletin of the International Association of Scientific Hydrology **8(3):** 43 - 51.
- Ball, J.W. and Nordstrom, D.K. (1992), Geochemical model to calculate speciation of major, trace and redox elements in natural waters: U.S. Geological Survey, International Groundwater modeling center, 189p.
- Davis, J.G. (1986), Statistics and data analysis in Geology. 2nd Edition. John Wiley and Sons, New York, U.S.A, 550 p.
- Deutsch, W. (1997), Groundwater geochemistry: Fundamentals and applications to contamination. Lewis Publications, New York, USA, 221p.
- Kuwait Foundation for the Advancement of Sciences, KFAS. (1998), An environmental assessment of Kuwait, seven years after the Gulf war. Research Projects Directorate. Grant No. 98 - 05 - 01.
- Lloyd, J.W. and Heathcote, J.A. (1985), Natuaral inorganic hydrochemistry in relation to groundwater. Oxford Clarendon Press, 296 p.
- Owen, R.M.S. and Nasr, S.N. (1958), Stratigraphy of the Kuwait-Basra area. In: Habitat of Oil, A symposium: Tulsa, Oklohama, American Association of Petroleum Geologists Bulletin, **1252 - 1278.**
- Parson Corporation. (1963), Groundwater resources in Kuwait. Vol. I, II and III. Ministry of Electricity and Water, Kuwait.

- Piper, A.M. (1953), A graphical procedure in the geochemical interpretation of water analyses. U.S. Geological Survey, Ground-water Note 12.
- Schoeller, H. (1935), Utilite de la notion des exchanges de bases pour la comparison des eaux souterraines. Soc. Geol. Comptes Rendus, Summaire et Bull. Ser. 5, **5: 651- 657.**
- SPSS inc. (2002), SPSS for windows Release 11. A statistical soft-ware package.
- Sulin, V.A. (1948), Water of petroleum formation system of natural waters. CostopteKhizdat, Moscow, 96 p.