

## الوضع الهيدروجيولوجي والهيدروكيميائي لمنطقة سد بادوش، وسط شمال العراق، للفترة ما بين (1988 – 1990)

شهلة صالح زكي المصلح<sup>1</sup> و نضير عباس الانصاري<sup>2</sup>

الاستلام: 2011/06/13، القبول: 2012/07/12  
الكلمات الدالة: مكنن مائي، حركة المياه الجوفية، كيميائية المياه الجوفية، سد بادوش، العراق

### المستخلص

يتناول هذا البحث دراسة هيدروجيولوجية وهيدروكيميائية للمكانن الجوفية في منطقة سد بادوش للفترة ما بين (1988 – 1990). تقع منطقة الدراسة في وسط شمال العراق وتبعد حوالي 40 كيلومتر جنوب سد الموصل في محافظة نينوى.

تعتبر طية علان من أكثر الظواهر الجيولوجية البارزة في المنطقة وتغطيها صخور تابعة لتكوين الفتحة الذي يعلو صخور تكويني الجريبي والفرات المكونان لللب الطية. الصخور المتكشفة في لب طية علان عند الضفة اليمنى لنهر دجلة هي صخور كلسية مدلمتة معادة التبلور ودولومايت، تمتاز بكونها مسامية ومتكسرة ومتكسفة وتمثل المكنن المائي الجوفي الرئيسي في منطقة سد بادوش، وهو من النوع المحصور ويحتوي ضمناً على عدة مكانن شبه محصورة لذا قد اعتبر المكنن الجوفي في ترسبات العصر الثلاثي من النوع الجوفي المحصور المتعدد والذي قد يكون متصلاً هيدروليكيًا. في حين تبين عدم وجود اتصال هيدروليكي واضح بين مياه نهر دجلة والمياه الجوفية في مكننها. كما لوحظ وجود مكنن جوفي معلق ذو امتداد محدود في ضفة النهر اليسرى. يكثر وجود الحفر البالوعية والكهوف في الجزء الغربي من طية علان، كما لوحظ وجود ظاهرة التخسف في عدة مواقع من منطقة الدراسة عند ضفتي نهر دجلة اليمنى واليسرى والتي أثرت على نوعية المياه الجوفية من خلال إذابة الصخور، كما أن التصريف المائي إلى داخل الأرض يكون عاليًا.

تعرضت الوحدات الصخرية لعدة تغيرات جيوكيميائية، مما أدت إلى حصول تغيرات في نسب الأيونات الموجبة والسالبة الرئيسية الموجودة في المياه الجوفية، وأهم هذه التغيرات هو حصول التبادل الأيوني واختزال وأكسدة أيونات الكبريتات وإعادة تبلور وإحلال وعملية دلمتة وإعادة دلمتة. أهم التغيرات الفيزيائية التي تمت دراستها هي: درجة حرارة المياه، التوصيلية الكهربائية، الأس الهيدروجيني، القوة الأيونية ومعامل التشبع. تميزت المياه الجوفية الموجودة في المكنن الجوفي لتكوين جريبي في منطقة سد بادوش، قبل البدء بأعمال الحفر لغرض إنشاء السد (والذي لم يكتمل انجازه فيما بعد) في عام 1988، بكونها متعادلة إلى قليلة القاعدية (pH = 7 – 8.9) وتتراوح بين العذبة إلى متوسطة الملوحة وبأنها عسرة إلى عسرة جدا وملوثة بغاز كبريتيد الهيدروجين. يعتبر معدني الكالسايت والدولومايت من المعادن الرئيسية المكونة للمكنن المائي الجوفي اللذان يساعدان على تشبع المياه الجوفية بهذين المعدنين، نتيجة لوجود ظاهرة التخسف والحفر البالوعية والكهوف في المنطقة، حيث تساعد على مرور المياه من خلالها وحصول عملية الإذابة.

بينت التحاليل الكيميائية للعامين 1989 و 1990، بعد البدء بعمليات حفر وإنشاء السد، حصول تغاير في النسب الأيونية للمياه الجوفية عن عام 1988 نتيجة للتغير في الظروف الجوية التي حصلت مما ساعد على تغيير نوعية المياه وحصول زيادة في تراكيز الأيونات وتغاير في قيم المعاملات الفيزيائية والكيميائية.

المصدر الرئيسي لتغذية المياه الجوفية هو مياه الأمطار والثلوج الساقطة التي تتسرب إلى الطبقة المائية عبر التكتشفات الصخرية. تتميز المياه الجوفية بنوعين رئيسيين هما:  $Ca - HCO_3$  و  $Ca - SO_4$ ، وفي مناطق معينة عند ضفة النهر اليسرى حصل خلط ما بين المياه البيكاربوناتية والمياه الكبريتاتية.

<sup>1</sup> رئيس جيولوجيين أقدم، هيئة المسح الجيولوجي العراقية، ص. ب 986 علوية، بغداد

البريد الإلكتروني: shehla\_almuslih@yahoo.co

<sup>2</sup> استاذ (Lulea University of Technology, Lulea 971 87, Sweden)

## **HYDROGEOLOGICAL AND HYDROCHEMICAL SITUATION OF BADUSH DAM SITE, CENTRAL NORTH OF IRAQ FOR THE PERIOD BETWEEN (1988 – 1990)**

**Shehla S.Z. Al-Muslih and Nadhir A. Al-Ansary**

### **ABSTRACT**

This research investigates the hydrogeology and hydrochemistry of the aquifers in Badush Dam site. The area is located in the central northern part of Iraq, about 40 Km south of Mosul Dam in Nainawa Governorate.

Alan anticline is the most prominent geological feature in the studied area. The bulk of the anticline is mainly covered with rocks of Fatha Formation; overlying the Jeribe and Euphrates formations, which form the core of the anticline.

The Jeribe Formation, which is the main water bearing formation in the studied area is composed of recrystallized, dolomitized, porous, fractured, and karstified limestone. The fact that the formation contains several semi-confined beds; isolated by lenses of clay and marl makes it of multi-confined type. It should be mention, however, that the formation is hydraulically continuous. Furthermore, the data indicate that Tigris River has no effect on the aquifer. In addition, the hydrogeological conditions showed existence of a perched aquifer on the left bank of Tigris River with a limited areal distribution.

Karst phenomenon is formed in gypsum and to a lesser extent on dolomitic limestone. Karst areas normally have caves developed as a result of dissolution along joints, bedding planes, or other fractures. Karst phenomenon affects the type of the groundwater, and increases the discharge.

The rock units are affected by many geochemical changing that modified the major anions and cations. The most significant changes are: ionic exchange, escaping of CO<sub>2</sub> from the soil, reduction of sulfate by biochemical methods, oxidation of sulfate minerals, replacement, recrystallization, dissolution, dolomitization, and dedolomitization. The groundwater was found to vary considerably in terms of chemical and physical properties before the construction of Badush Dam during 1988 (which has not been accomplished later on) and through the operations of dams drilling through 1989 and 1990. The physical properties include many parameters such as: temperature of water, electric conductivity, pH, ionic strength, and saturated index. Principal component analyses were used to delineate the main chemical constituents. Generally, the water through the year 1988 was neutral to slightly alkaline (pH = 7 – 8.9), low in conductivity, slightly brackish to fresh, hard to very hard and contaminated with H<sub>2</sub>S gas. Through the years 1989 and 1990, the groundwater constituents became more mineralized, slightly acidic to slightly alkaline (pH = 6.7 – 7.9), higher in conductivity, salinity, and hardness.

The groundwater composition in the Jeribe Formation aquifer is largely controlled by calcite and dolomite dissolution and cation exchange. The caves, sinkholes, and karst forms contribute considerably to the concentration of major ions in the groundwater.

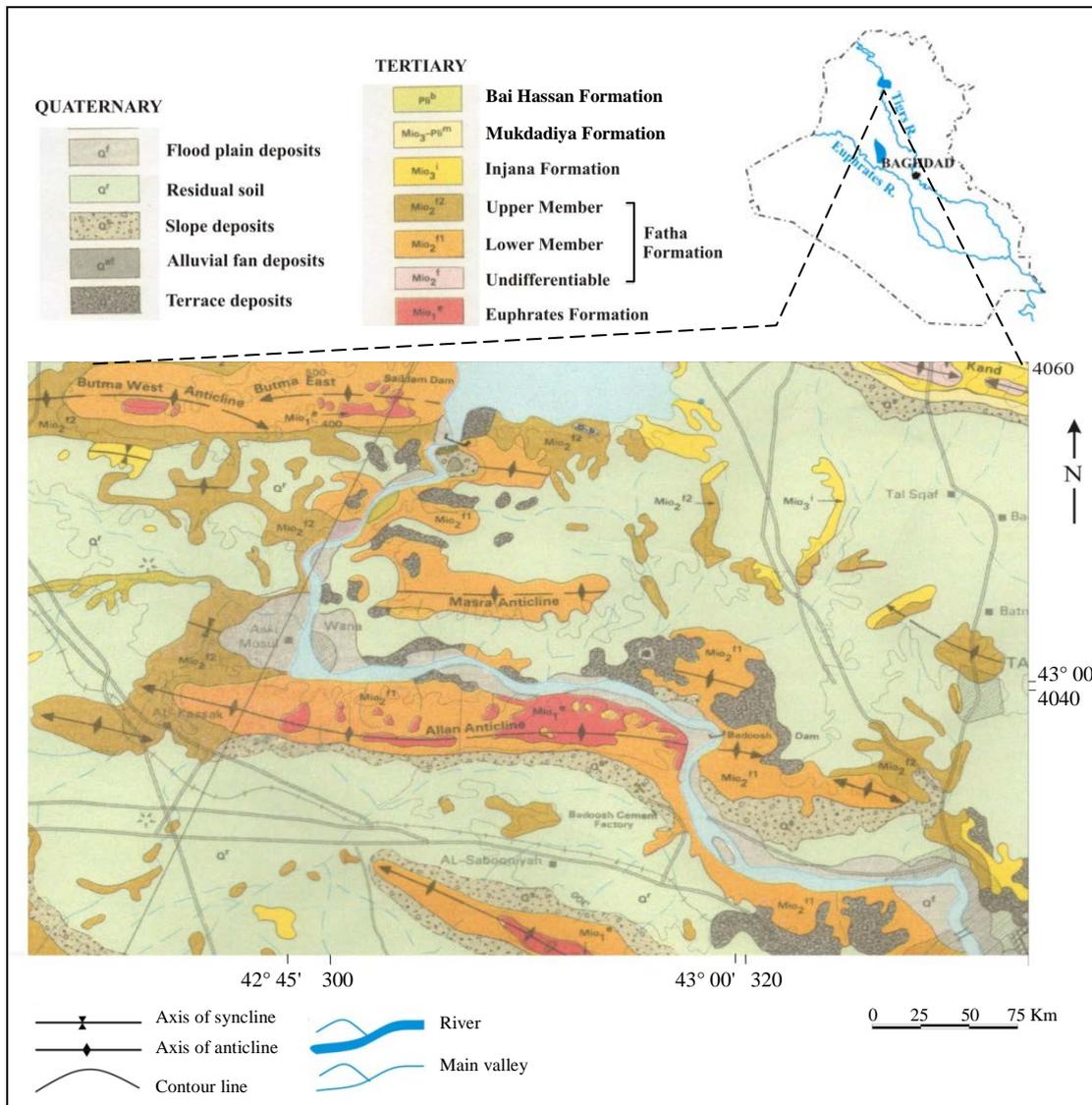
Using the results of the chemical analysis of water samples, the water type proved to be mainly of Ca – HCO<sub>3</sub> type, and Ca – SO<sub>4</sub> type. In special areas, at the left bank of the river, there was a mix between the carbonated and sulfuric water.

## المقدمة

برزت أهمية الدراسة الهيدروجيولوجية لهذه المنطقة من فكرة إنشاء سد بادوش والذي يعتبر سدا وقائيا لمشروع سد الموصل. الغرض الأساسي منه هو دعم سد الموصل في الحالات الطارئة. إن الوضع الجيولوجي لمنطقة سد بادوش جعله موضع اهتمام في المشاريع الصناعية والإروائية. لقد تمت النمذجة المائتة لمنطقة الدراسة في عام 1988 من قبل شركة Energoproject المتخصصة بأعمال الحفر والتنقيب لغرض إنشاء سد بادوش في المنطقة البالغة مساحتها حوالي 12 كيلومتر مربع.

## الموقع والمساحة

تقع منطقة سد بادوش في وسط شمال العراق بين خطي طول  $42^{\circ} 56'$  و  $43^{\circ} 01'$  وخطي عرض  $36^{\circ} 25'$  و  $36^{\circ} 29'$  (الشكل 1) وتبعد حوالي 15 كم شمال غرب مدينة الموصل و 40 كم تقريبا جنوب سد الموصل. تبلغ مساحة منطقة الدراسة حوالي 12 كم<sup>2</sup> يمر نهر دجلة خلالها. حدودها الشمالية من الضفة اليسرى تشمل طية مسرة التي يبلغ ارتفاعها حوالي 400 م فوق مستوى سطح البحر. أما في الضفة اليمنى فتتمثل بطية بظمة التي يبلغ ارتفاعها حوالي 540 م فوق مستوى سطح البحر، حدودها الجنوبية تتمثل بجبل علان الذي يبلغ ارتفاعه حوالي 430 م فوق مستوى سطح البحر.



شكل 1: خريطة موقعية و جيولوجية لمنطقة الدراسة (Sissakian *et al.*, 1995)

### الدراسات السابقة

- تطرق معظم الدراسات الهيدروجيولوجية للمنطقة ضمن السياق العام للموارد المائية للعراق وكما يلي:
- قامت شركة Parsons (1955) بإعداد دراسة ظروف المياه الجوفية في محافظة نينوى والأجزاء الشمالية من الصحراء الغربية للفترة بين (1953 – 1955) كجزء من متطلبات منهاج تطوير أصول المياه في العراق.
  - أجرت مديرية استثمار المياه الجوفية (1979) دراسة وقامت بحفر بعض الآبار في مدينة الموصل وحولها لغرض التعرف على هيدروجيولوجية المنطقة ووضع خريطة بذلك.
  - أجرى Araim (1984) دراسة عن هيدروجيولوجية العراق تطرق من خلالها إلى منطقة البحث.
  - قامت شركة (1988، 1989a and b و 1990) Energoproject بدراسات في مجالات متعددة شملت جيولوجية وتركيبية وصخرية وطباقية ومورفولوجية المنطقة، بالإضافة إلى إجراء التحليلات المختبرية والحقلية للمياه الجوفية والسطحية كجزء من متطلبات منهاج إقامة السد.
  - قدم الكبيسي (1992) بحثاً حول الخواص الهيدروديناميكية للمياه الجوفية في منطقة سد بادوش.

### المناخ

يمتاز مناخ منطقة الدراسة بأنه جاف ويظهر اختلافاً كبيراً بين فصلي الصيف والشتاء وبين الليل والنهار أيضاً، حيث أنه حار جاف صيفا وبارد معتدل الرطوبة شتاءً. إن مدة سقوط الأمطار محددة بثمانية أشهر، تبدأ من تشرين الأول وتنتهي بشهر أيار، أي خلال فصول الخريف والشتاء والربيع وأكثر من 50% من الأمطار السنوية تسقط خلال أشهر فصل الشتاء الذي يبدأ من شهر كانون الأول وينتهي مع نهاية شهر شباط، حيث بلغ المعدل السنوي للأمطار للفترة بين (1941 – 1990) حوالي 366.7 ملم حسب محطة الأنواء الجوية للموصل. أما المعدل السنوي لدرجات الحرارة للفترة بين (1950 – 1990) فقد بلغت 19.6 °م وبصورة عامة أقصى درجة حرارة تسجل خلال فصل الصيف في شهري تموز وأب وأدنى درجة حرارة تسجل في شهر كانون الثاني. بلغ المعدل السنوي للرطوبة النسبية لنفس الفترة السنوية بحدود 51.6%، حيث ترتفع الرطوبة النسبية في فصل الشتاء لكثرة الأمطار الساقطة وانخفاض درجات الحرارة. بلغ معدل التبخر للفترة بين (1971 – 1990) حوالي 1852.2 ملم وتكون أعلى قيمة له خلال شهري تموز وأب وأقل كمية للتبخر خلال شهري كانون الأول وكانون الثاني.

### جيولوجية المنطقة

هنالك العديد من الدراسات الجيولوجية ومن ضمنها المسح الجيولوجي والجيومورفولوجي والظواهر التركيبية والتتابع الطباقية قامت بها هيئة المسح الجيولوجي العراقية في منطقة الدراسة، وفيما يلي وصف موجز لجيولوجية المنطقة.

### ■ الجيومورفولوجي

تقع منطقة البحث في هضبة متكونة من سلاسل متوازية من المرتفعات مكونة تلالاً متوسطة الارتفاع تتخللها سلسلة من المنخفضات. يجري نهر دجلة في المنطقة باتجاه عام شمال – جنوب، وغرب – شرق، تبعاً لامتداد الظواهر التركيبية في المنطقة المتمثلة بالطيات المحدبة والطيات المقعرة.

- أهم الظواهر الجيومورفولوجية في المنطقة حسب (1988) Energoproject هي:
- وجود الحافات بسيطة الميل (Questa) والحافات شديدة الميل (Hogbacks) والمساطب الصخرية (Mesas) والسفوح شديدة الانحدار.
  - ظاهرة التخسف (Karst phenomenon): تكونت هذه الظاهرة نتيجة لإذابة الصخور الكلسية وصخور المتبخرات في التكوينين الصخريين الجريبي والفتحة وتكون منخفضات مغلقة بالكالسايت ومتجوية إلى حد حوالي عشرة أمتار عمقا (Energoproject, 1988).
  - الحفر البالوعية (Sink holes) والكهوف: يكثر وجودها في الجزء الغربي من طية علان المحدبة داخل طبقات سميكة من الجبس وقد يصل قطر الحفر البالوعية إلى حوالي 10 أمتار أو أكثر (Toma, 1992).
  - تغطي مساحات واسعة من المنطقة بترسبات ذات حجم متباين يتراوح بين قطع صغيرة إلى حجم الطين تدعى Proluvial sediments ويرجع مصدرها في الأغلب إلى تعرية المساطب النهرية القديمة (Energoproject, 1988).

- يتصف نهر دجلة بوجود جروف شديدة الانحدار. كما توجد المساطب النهرية كسلسلة على طول مجرى نهر دجلة ذات مستويات وارتفاعات متباينة، وكما يأتي:  
المستوى الأول: فوق مستوى المياه في النهر بـ 15 متر.  
المستوى الثاني: فوق مستوى المياه في النهر بـ 25 متر.  
المستوى الثالث: فوق مستوى المياه في النهر بـ 50 - 55 متر.  
المستوى الرابع: فوق مستوى المياه في النهر بـ 50 - 55 متر.
- نتيجة لتجمع المواد المتعراة من وادي نهر دجلة وتغير أشكالها واتجاهاتها مع الزمن تكونت سهولا وحواجز محدبة، وتشمل السهول كلا من السهل الفيضي لنهر دجلة وسهل البيدمنت المتمثل بالأراضي السهلية الممتدة أسفل الحافات الصخرية التي تحيط بالهضاب والمساطب الصخرية وكذلك سهول الأودية.
- أهم أنماط مسارات التصريف الأساسية هو النمط الشجري والنمط المستطيل، وتمتاز المنطقة بقلة التشعبات النهرية وأكثرها خالية من المياه معظم أوقات السنة عدا الفصول الممطرة.

#### ■ البنيوية والتركيبية

من الناحية البنيوية تقع منطقة الدراسة ضمن منطقة الرف غير المستقر، ويكون مرتفعا نسبيا بشكل عام والطيات ضمنه ذات اتجاه شمال غرب - جنوب شرق في الجزء الجنوبي وباتجاه شرق - غرب في الجزء الشمالي (AI- (Kadhimi et al., 1996). الأشكال التركيبية الرئيسية في المنطقة هي الطيات المقعرة والمحدبة، وأهم هذه الطيات من الشمال إلى الجنوب هي: طية مسرة المحدبة (Masara Anticline)، وتقع بالقرب من منطقة أسكي موصل وطية علان المحدبة (Alan Anticline) (الشكل 1).

تتميز طية علان بكونها أكثر التراكيب الممثلة للمكمن المائي الجوفي. يمتد وادي نهر دجلة إلى الشمال من هذه الطية ووادي أبو قادر إلى جنوبها وتقع منطقة سد بادوش في الجزء الشرقي منها. تتكون هذه الطية من ثلاث قباب (جبل بادوش، شيخ كارا، تل كوجك العاشق).

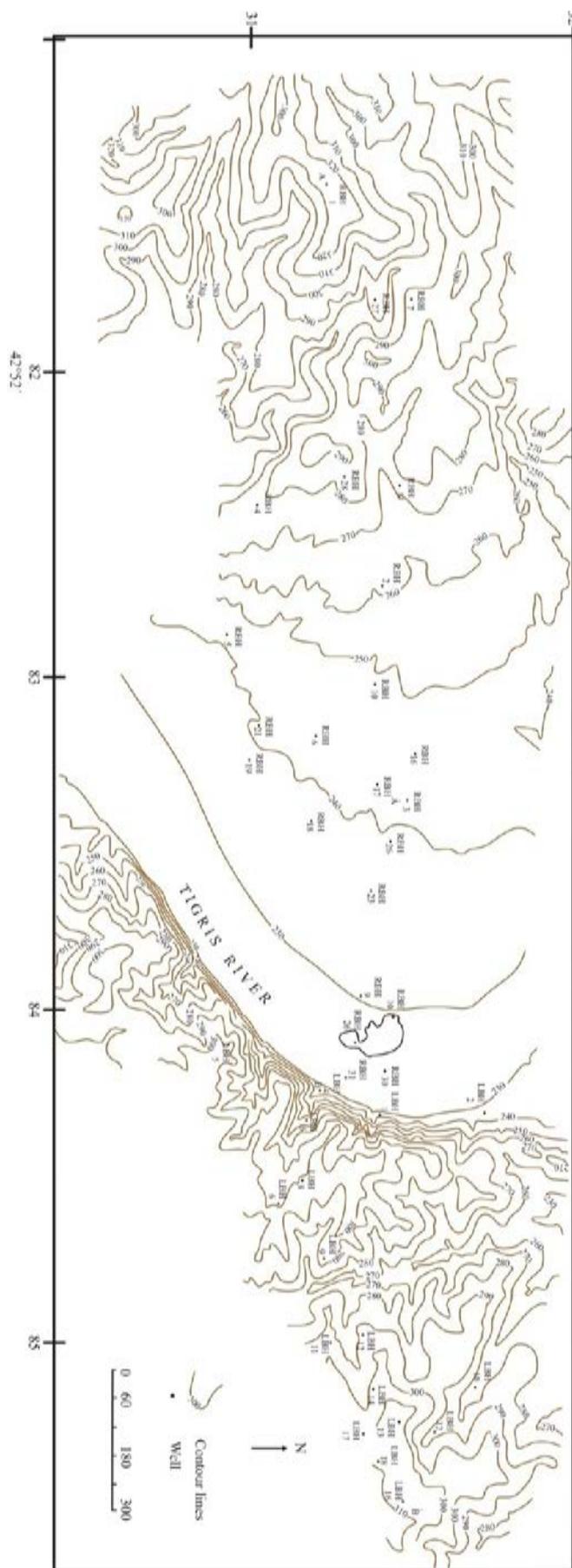
#### ■ التتابع الطباقى والصخرية

تتميز صخور منطقة سد بادوش بكونها ذات أصل رسوبي تعود إلى حقبة العصر الثلاثي وتتراوح أعمارها بين المايوسين الأسفل إلى العصر الرباعي. إن التتابع الطباقى في آبار منطقة البحث من الأقدم إلى الأحدث هي كما يلي: تكوين الفرات، تكوين الجريبي، تكوين الفتحة، تكوين إنجانة وترسبات العصر الرباعي، وفيما يلي الوصف الطباقى للتكوينات من الأقدم إلى الأحدث (الشكل 1):

— **تكوين الفرات (المايوسين المبكر):** يعد أقدم التكوينات المدروسة وهو غير متكشف على السطح ويوجد في الآبار RBH-1، RBH-2، RBH-37 عند ضفة النهر اليمنى (الشكل 2)، ويظهر بأعماق مختلفة وهي 173، 142.5 و 107 متر على التوالي، ولوحظ في ضفة النهر اليسرى في البئر LBH-1 على عمق 126.4 متر. يتكون هذا التكوين من الحجر الجيري المتبلور جيد التطبيق والحجر الجيري الطباشيري، وقد يتداخل الحجر الجيري أحيانا مع الصلصال الجيري. يغطي تكوين الفرات بمنطقة الدراسة بتكوين الجريبي مباشرة والحد الفاصل بينهما يتمثل بوجود طبقة صخور كلسية متكسرة أو شبه متكسرة.

— **تكوين الجريبي (المايوسين الأوسط):** يتكشف هذا التكوين في أجزاء من طية علان وطية بطمة على شكل رقع صغيرة متفرقة إضافة إلى تكشفها في بعض الوديان العميقة (Energoproject, 1988). تكوين الجريبي قريب جدا في مظهره ومقطع صخره من تكوين الفرات وقد ميز الباحثون بينهما استنادا إلى وجود الأحافير الدالة ( *Borelis melo curdica*) في تكوين الجريبي وعدم وجودها في تكوين الفرات، ويعود عمر التكوين على أساس الأحافير الموجودة فيه إلى المايوسين الأوسط (Bellen et al., 1959). يتكون تكوين الجريبي من الحجر الجيري جيد التطبيق والمتبلور والمدلمت، إضافة إلى وجود الحجر الجيري الطباشيري، ولوحظ أن بعض السحنات الصخرية متأثرة بعملية التخسف. تمتد طبقات الصلصال في هذا التكوين بصورة مستمرة تحت قاع النهر ولها دور مهم في منع ترشيح المياه من النهر إلى المكمن الجوفي. يفصل بين تكوين الجريبي وتكوين الفتحة الذي يعلوه توافيقا طبقة من الحجر الجيري الطباشيري (الحد الفاصل) في معظم نماذج الضفة اليمنى وصلصال وحجر جيري وصلصالي في معظم الآبار المحفورة على طول محور السد (Energoproject, 1988).

الوضع الهيدرولوجي والهيدروكيميائي لمنطقة سد بادوش، وسط شمال العراق، للفترة ما بين (1988 – 1990)  
شهلة صالح زكي المصلح ونضير عباس الانصاري



— **تكوين الفتحة (المابوسين الأوسط):** يتميز تكوين الفتحة في منطقة سد بادوش بتعاقب وحدات صخرية رسوبية مختلفة أهمها الحجر الجيري الطباشيري، الصلصال، الصلصال الجيري، الحجر الجيري المدلمت، والجبس. توجد طبقات من الصلصال والعقد الجبسية في الجهة الشرقية من منطقة الدراسة، ومن تعاقب هذه الوحدات الصخرية في تكوين الفتحة يلاحظ وجود عروق من الطين ذات سمك قليل.

— **تكوين إنجانة (المابوسين المتأخر):** توجد صخور تكوين إنجانة في عدة مواقع ضمن المناطق المحيطة بمنطقة الدراسة، ولوحظت اكتشافاته في بعض الأجزاء الشمالية الغربية والشمالية الشرقية من المنطقة في الجزء المقعر بين طيبي علان وطية عطشان والقريبة من أسكي موصل وبقية التراكيب الأخرى، ويتراوح سمكه بين (30 – 150) متر، في حين تعرض جزء كبير من التكوين في منطقة الدراسة والمناطق المحيطة بها للتعرية الذي أدى إلى تقليل سمكه كثيرا واختفائه من معظم المواقع.

— **ترسبات العصر الرباعي:** تغطي ترسبات العصر الرباعي معظم الوحدات الصخرية الأقدم منها في منطقة الدراسة ويتراوح سمكها بين عدة سنتيمترات إلى عدة أمتار وقد يصل إلى حوالي 17 متر في الضفة اليمنى من نهر دجلة. تشمل هذه الترسبات: الترسبات الفتاتية وترسبات الشرفات العالية والترسبات الغرينية النهرية.

### الهيدروجيولوجي

تمثل منطقة الدراسة صخور دولومايتية وكلسية تعود لتكويني الفرات والجريبي الحاملة للمياه ومغطاة برسوبيات تكوين الفتحة وتحيطها جبة خفيفة نسبيا من ترسبات العصر الرباعي يبلغ سمكها بضعة أمتار وقد يصل سمك هذه الجبة في بعض أجزاء الضفة اليمنى من نهر دجلة إلى حوالي 17 متر.

### ■ المكامن المائية الجوفية

أهم المكامن المائية التي يمكن ملاحظتها من خلال المقاطع الجيولوجية والتركيب الصخري هي:

— **المكمن المائي غير المحصور:** يمثل هذا المكمن انتشارا في تكوين الفتحة. تبين من خلال ملاحظتنا للمقاطع الجيولوجية أن سطح الماء الحر يكون في بعض المناطق ضمن صخور تكوين الفتحة وكذلك عند ترسبات الشرفات النهرية التي تظهر في الجهة اليمنى للنهر (الجهة الغربية) وهي ذات امتدادات محدودة، ويلاحظ أن سمك صخور الفتحة والشرفات النهرية قليل نسبيا لذلك فإن سمك الصخور الخازنة للمياه يكون محدودا وبالتالي فإن كمية المياه ضمن هذا المكمن المائي تكون قليلة إن لم تكن معدومة في بعض المناطق.

— **المكمن المائي المحصور:** يظهر هذا النوع ضمن تكوين الجريبي والذي يعتبر المكمن المائي الرئيسي في المنطقة. إن الحد الطبقي بين تكوين الفتحة وتكوين الجريبي متكون من الصلصال وفي بعض المناطق من الصلصال الجيري والحجر الجيري الطباشيري الصلب وهذا النطاق يعتبر كطبقة غير نفاذة، وبالتالي فإن المكمن المائي وفقا لوصفه الطبقي يعتبر من النوع المحصور. سمك هذا المكمن المائي يتغير عموديا وجانبيا من مكان لآخر، وبصورة عامة يبلغ سمكه أكثر من 36 مترا، وهو ذو امتداد واسع سواء على يمين النهر أو يساره، مغطيا جميع المنطقة وما جاورها إلى أكثر من 25 كيلومتر. يتغير مكمن الجريبي من حالة الخزان المحصور (عند منطقة التضاريس العالية الموازية للنهر) إلى غير المحصور في بعض المناطق (عند الجهة اليمنى القريبة للنهر في مناطق تكشفه)، اعتمادا على نوع الصخور المكونة له ومستوى الماء الاستقراري في أبار المراقبة في الطبقات الحاملة للمياه، إضافة إلى موقعها في العمود الطبقي. إن المكمن المائي يتكون من الدولومايت والحجر الجيري المتكسر بالإضافة إلى الحجر الجيري المدلمت المتأثر بعمليات التخسف، فضلا عن وجود طبقات رقيقة من الصلصال والصلصال الجيري الصلب ذات الانتشار المحدود والتي تتغير في سمكها من مكان لآخر (Energoproject, 1988)، ويحتوي ضمنا على عدة مكامن شبه محصورة (Semi-Confined) نظرا لوجود عديسات من صخور الصلصال والطين الصماء بين الطبقات الكلسية المنكهفة والحاملة للمياه. وبناء على ذلك، يعد المكمن الجوفي في منطقة سد بادوش في صخور العصر الثلاثي من نوع المكمن الجوفي المحصور المتعدد (Multi-Confined Aquifer) الذي قد يكون متصلا هيدروليكيًا، أي ذو علاقة متبادلة. تمثل طية علان المحدبة الحد الجنوبي للمكمن المائي الجوفي عند الضفة اليمنى للنهر، ويصل في الجزء الجنوبي الغربي إلى قبة تل كوجك العاشق المحدبة، أما حدوده الشمالية فتتمثل بطية بطمة المحدبة من الضفة اليمنى وطية مسرة من الضفة اليسرى، قرب قرية كارج، وإلى الشمال من طية مسرة يمتد المكمن المائي بميلان طفيف لجهة واد واسع في النطاق الأيسر من المكمن المائي، متداخلا بين وادي أبو سويد ووادي كرنوص. يدخل المكمن المائي باتجاه شرق طية مسرة بعدة وديان (وادي الجيسات، وادي محور ووادي الملاح)، أما في الجزء الغربي فيصل المكمن المائي إلى طية كصير المحدبة.

— **المكمن المائي المعلق:** يمكن ملاحظة وجود مكمن جوفي معلق ذو امتداد محدود يقع في الجهة الشرقية من المنطقة (الضفة اليسرى من النهر) عند الآبار LBH-13، LBH-14 و LBH-16، تكون نتيجة لوجود طبقات غير نفاذة من الجبس والصلصال الصلب وبالتالي تجمع المياه المترشحة على هذه الطبقة، لذا فإن منسوب الماء الجوفي في تلك الآبار وما يحيطها يسجل قيماً أعلى من مناسيب الآبار الموجودة في عموم المنطقة.

#### ■ صفات المكمن المائي لتكوين جبريبي

تم التعرف على أهم الصفات الهيدروليكية لمكمن جبريبي المائي في منطقة سد بادوش من خلال دراسة سابقة من قبل الكبيسي (1992) التي بين فيها القيم الهيدروليكية بتطبيق طريقة التحليل العددية (Numerical Analysis) كالاتي:

معدل معامل الناقلية المائية (T) =  $3405.3 \text{ م}^2/\text{يوم}$ ، حيث بلغت أعلى قيمة عند البئر LBH-16 وهي  $3450.2 \text{ م}^2/\text{يوم}$  وأقل قيمة عند البئر RBH-1، حيث بلغت  $3375.7 \text{ م}^2/\text{يوم}$ .

بلغ معدل معامل النفاذية (K)  $92.8 \text{ م}^2/\text{يوم}$ ، وأعلى قيمة له هي عند البئر LBH-16، حيث بلغت  $94 \text{ م}^2/\text{يوم}$  وأقل قيمة عند البئر RBH-1، حيث بلغت  $92 \text{ م}^2/\text{يوم}$ . يتبين من هذه النتائج بأن قيمتي T و K للمكمن الجوفي جبريبي عالية مما يدل على أن ناقلية ونفاذية المكمن في المنطقة عالية.

أما قيمة معدل معامل الخزن (S) فقد بلغت  $1.5 \times 10^{-1}$ ، وان أعلى قيمة هي عند البئر LBH-5 والمساوية لـ  $3.8 \times 10^{-1}$ ، وأقل قيمة كانت عند البئر SBH-3 والمساوية لـ  $1.8 \times 10^{-2}$ . ومن وجود طبقات الصلصال المتعاقبة مع طبقات الكلس والدولومايت الشبه أفقية والمختلفة في نفاذيتها يستدل على أن النفاذية في الاتجاه الأفقي أعلى مما هي عليه في الاتجاه العمودي وعموماً تقل النفاذية في الأنطقة العميقة في صخور تكويني الفرات والجريبي. إن سعة الترشيح تمثل أقصى معدل يمكن فيه لسطح التربة امتصاص الماء في مدة زمنية معينة، وهناك عدة عوامل تؤثر فيها أهمها: كمية الأمطار الهاطلة وحالة سطح التربة وخصائص التربة وتأثير الكائنات الحية. يمكن الاستدلال من خلال قيم النفاذية العالية لصخور مكمن جبريبي الجوفي على أن قابليتها على الترشيح العمودي جيدة وهذا يساعد على ازدياد حركة المياه خلالها أثناء فترة تساقط الأمطار وذوبان الثلوج.

#### ■ ظاهرة التكهف والحفر البالوعية

لوحظ تأثير ظاهرة التكهف بالطبقات الجبسية القابلة للإذابة والتي تعود إلى تكوين الفتحة المتكشف على مساحة واسعة في المنطقة، بينما تكويني الفرات وجريبي المتكونين من الحجر الجيري المدلمت، والحجر الكلسي الصلصالي، والصخور الصلصالية المتكلسة يقتصر وجودهما على مساحات قليلة ومحدودة في لباب بعض الطيات المحدبة الموجودة في المنطقة، حيث تكون الطبقات في مثل هذه المواقع شبه أفقية كذلك توجد في الغواطس والأجزاء ذات الانحدارات الواطئة، لأن قلة الانحدار قد يساعد على تجمع المياه في الترسبات الهشة التي تعلو الطبقات الجبسية. سجلت التكهفات (التخسف) في عدة مواقع منها الآبار RBH-1، RBH-2، LBH-9 و LBH-13، كما تنتشر في معظم أرجاء المنطقة المدروسة كهوف تكون فارغة أو مليئة بالكالسايت والترسبات المزيجية. تعد هذه الكهوف إحدى أشكال التخسف التي تتكون نتيجة لحصول عملية الإذابة والتحلل للكالسايت والدولومايت على طول الفواصل ومستويات التطبق وبقية أنواع الفتحات الموجودة في المنطقة والتي تشكل مناطق ضعف في تلك الصخور (Freeze and Cherry, 1979). نتيجة لاستمرار حصول عملية الإذابة يتكون هبوط مخروطي الشكل على سطح الأرض من جراء تصريف المياه إلى جوف الأرض ويطلق على تلك الأماكن الحفر البالوعية (Sink holes) (Holmes, 1962). لوحظت أيضاً ظاهرة القنوات التخسفية (Channels) وهي أفقية تقريباً ومتمركزة في تكوين الفتحة.

من الظواهر الأساسية في هيدرولوجية التخسف وجود نوعين من الدوران: الدوران الانتشاري (Diffus Circulation) وفيه يكون دخول المياه السطحية إلى داخل الأرض بشكل منتظم ومتساو، والدوران التركيزي (Concentrated Circulation) سببه دخول المياه السطحية إلى داخل الأرض من خلال المناطق ذات النفاذية العالية والمحددة بأنطقة ضعف كالشقوق والكسور والفواصل (Sweeting, 1972). يتميز شمال منطقة البحث بوجود ظواهر التخسف والحفر البالوعية، خاصة في التراكيب الجيولوجية مثل طيتي مسرة وبطمة المحدبتين والجزء الغربي من طية علان مؤثرة في صخور الجبس خاصة، وقد يصل قطر الحفر البالوعية إلى حوالي 20 متراً أو أكثر (Toma, 1992). ان تأثير ظاهرة التخسف في هيدرولوجية المنطقة واضح من حيث نوعية المياه والأنواع الصخرية المختلفة وتحللها، حيث أن وجود التخسف يعني أن كثافة الصرف السطحي قليلة، لأن معظم المياه السطحية تغور من خلال التخسف إلى داخل الأرض، كما إن وجود المياه المشبعة بالكالسايت تفسر على إنها كانت غير مشبعة في وقت مبكر، لكن وجود الكهوف يساعد على دوران المياه خلالها، فمن خلال هذه الحركة تتطور الكهوف وتتوسع نتيجة لتفاعل حامض الكربونيك المذاب

في المياه غير المشبعة بالكالسايت مع الصخور الكلسية المكونة للمكمن المائي وبمرور الوقت تتحول المياه إلى مياه مشبعة بالكالسايت، حيث تصل المياه إلى حالة التشبع بالكالسايت عند بداية ترسيبها كما في التفاعل الآتي:



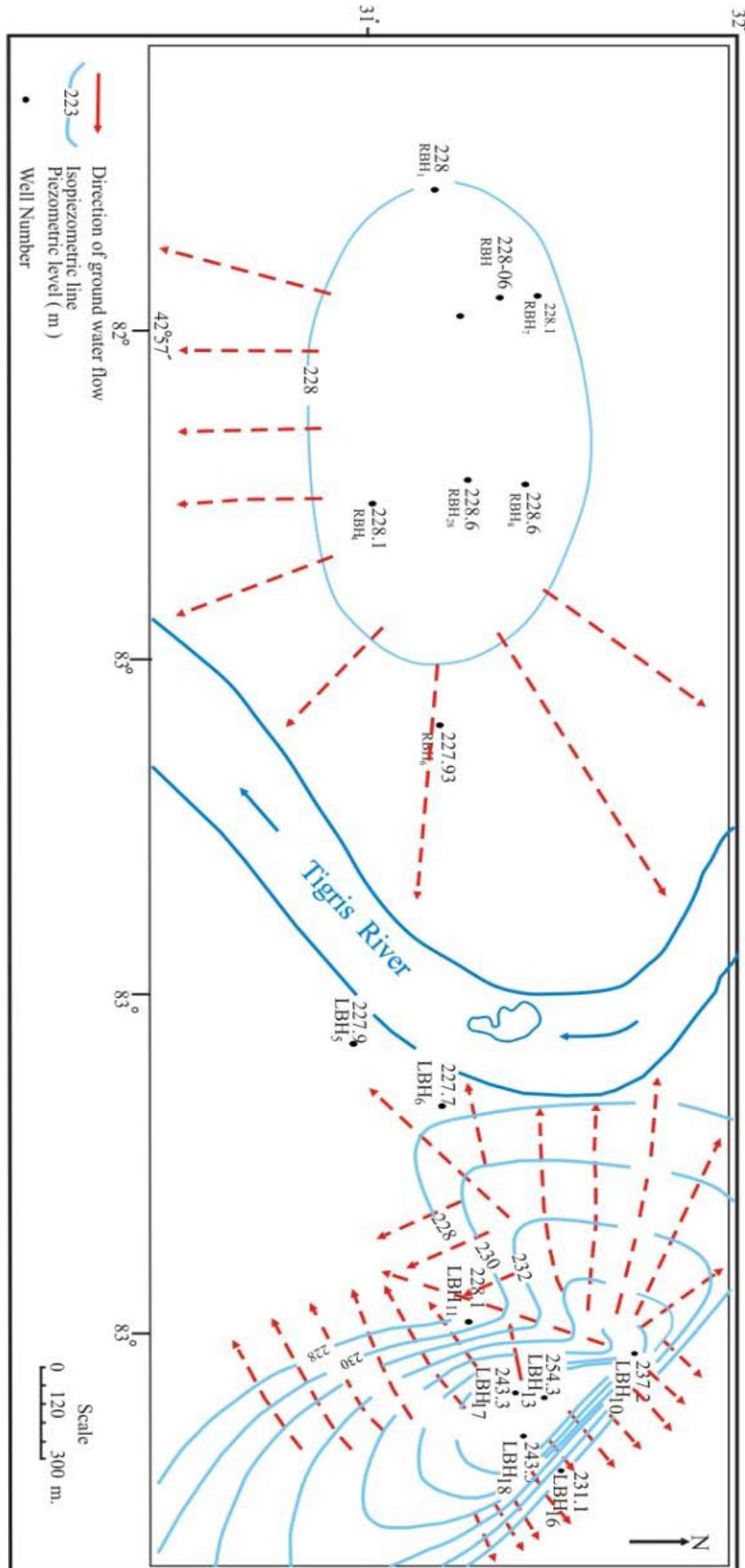
كما لوحظ زيادة تركيز أيون المغنسيوم بنفس اتجاه زيادة تركيز أيون الكالسيوم. فمن صفات وميزات هيدرولوجية التخسف، وجود تسرب وترشيح عال للمياه داخل الأرض وجريان سطحي قليل، لهذا يلاحظ إن كثافة التصريف السطحي في مناطق التخسف تكون قليلة بينما كثافة التصريف إلى داخل الأرض تكون عالية (Sweeting, 1972)، وهذا يزيد من نسبة تغذية المياه الجوفية علاوة على إضافة أنواع أيونية مختلفة متجددة.

### ■ حركة المياه الجوفية

إن حركة المياه الجوفية في منطقة الدراسة تتطابق بشكل تقريبي مع ميل الطبقات والانحدار الطبوغرافي وتكون موازية لمحور الطيات في مناطق الطيات المحدبة وتتحد نحو الأسفل باتجاه الغواطس ويكون الميل الهيدروليكي لمناطق التغذية والتصريف في نفس اتجاه ميل الطبقات. ونتيجة لحدوث الحركات التكتونية فقد يحدث تغيير حاد في الميل الهيدروليكي للمياه الجوفية وتبدأ أنظمة التصريف السطحي بالتكون ويصاحبها تكون أنظمة التخسف. لأن مع تكون الكسور والفواصل العمودية، نتيجة لعملية الإذابة في الصخور الجبسية، بصورة خاصة والتي قد تسمح بتمرير المياه وتسريبها إلى الداخل، يحدث توسيع للفتحات وتتحول إلى ممرات عمودية لها القابلية على تمرير المياه والترسبات بسهولة، فيحدث في هذه المرحلة تغيير في نوعية جريان المياه، حيث يتحول من جريان خطي إلى جريان مضطرب وبفعل الدوامات الموجودة في هذا النوع من الجريان تحصل الإذابة في عدة مواقع مختلفة في الطبقات الجبسية على طول مستويات التطبيق مكونة بذلك فجوات وكهوف. ونتيجة لتكون فراغات يحصل هدم للسقف الموجود فوق هذه الفراغات وتبدأ ما تعرف بالحفر البالوعية بالظهور.

يبين الشكل (3) مناسيب المياه الجوفية في الخزان، وشبكة الجريان من خلال رسم خطوط تساوي الجهد وخطوط الجريان للمكمن في منطقة سد بادوش التي تكون بشكل متعامد على خطوط تساوي الجهد، واتجاه حركة المياه الجوفية (الكبيسي، 1992). تتحرك المياه الجوفية لمكمن جريبي المائي باتجاه الانحدار الأسفل من مناطق التغذية إلى منطقة التصريف، كما أن مستوى المياه الجوفية ينخفض على جانبي نهر دجلة بسبب وجود ميل هيدروليكي عالي نسبياً باتجاه النهر ويتراوح بين (0.01 – 0.08) في مواقع الآبار LBH-13، LBH-16، LBH-17 و LBH-18 عند ضفة النهر اليسرى، وهذا واضح في الشكل (3)، حيث أن خطوط تساوي الجهد تكون متقاربة عند تلك الآبار مما يشير إلى أن النفاذية قليلة وإن الانحدار الهيدروليكي عالي. بلغ الميل الهيدروليكي في ضفة النهر اليمنى حوالي 0.003 مما يدل على إن النفاذية عالية في هذه المنطقة، وفرق الارتفاع بين أعلى وأوطأ مستوى للمياه الجوفية في المنطقة يتراوح بين (12 – 18) متراً.

يكون اتجاه حركة المياه الجوفية في الضفة اليمنى من النهر بصورة عامة باتجاه الميلان الهيدروليكي، أي من الشمال الغربي إلى الجنوب الشرقي باتجاه نهر دجلة، ويتغير موضعياً في بعض المناطق، إذ يكون من الشمال نحو الجنوب تبعاً لطبوغرافية المنطقة. في ضفة النهر اليسرى يكون اتجاه حركة المياه معاكساً للضفة اليمنى، أي من الشمال الشرقي إلى الجنوب الغربي باتجاه نهر دجلة. تتغذى المياه الجوفية في مكمن جريبي المائي من مناطق تكشف التكوين في غرب منطقة الدراسة (لب طية علان) بالإضافة إلى مكاشفه عند شمال المنطقة ضمن طية بطمة التي يتكشف فيها التكوين.



**الخواص الفيزيائية للمياه الجوفية**

أهم الصفات الفيزيائية التي تمت دراستها هي درجة حرارة المياه، والتوصيلية الكهربائية (EC)، والأس الهيدروجيني (pH)، والقوة الأيونية (I) ومعامل التشبع (S.I.). درست هذه الصفات للنماذج المائية لثلاث سنوات قبل وأثناء إنشاء سد بادوش وكالاتي:

- النماذج المدروسة خلال عام 1988 قبل البدء بحفر وإنشاء السد 14 نموذج (الشكل 2).
- النماذج المدروسة خلال عام 1989 أثناء الحفر 56 نموذج (الشكل 4).
- النماذج المدروسة خلال العام 1990 أثناء مراحل الحفر 46 نموذج (الشكل 4).

**■ التوصيلية الكهربائية (EC)**

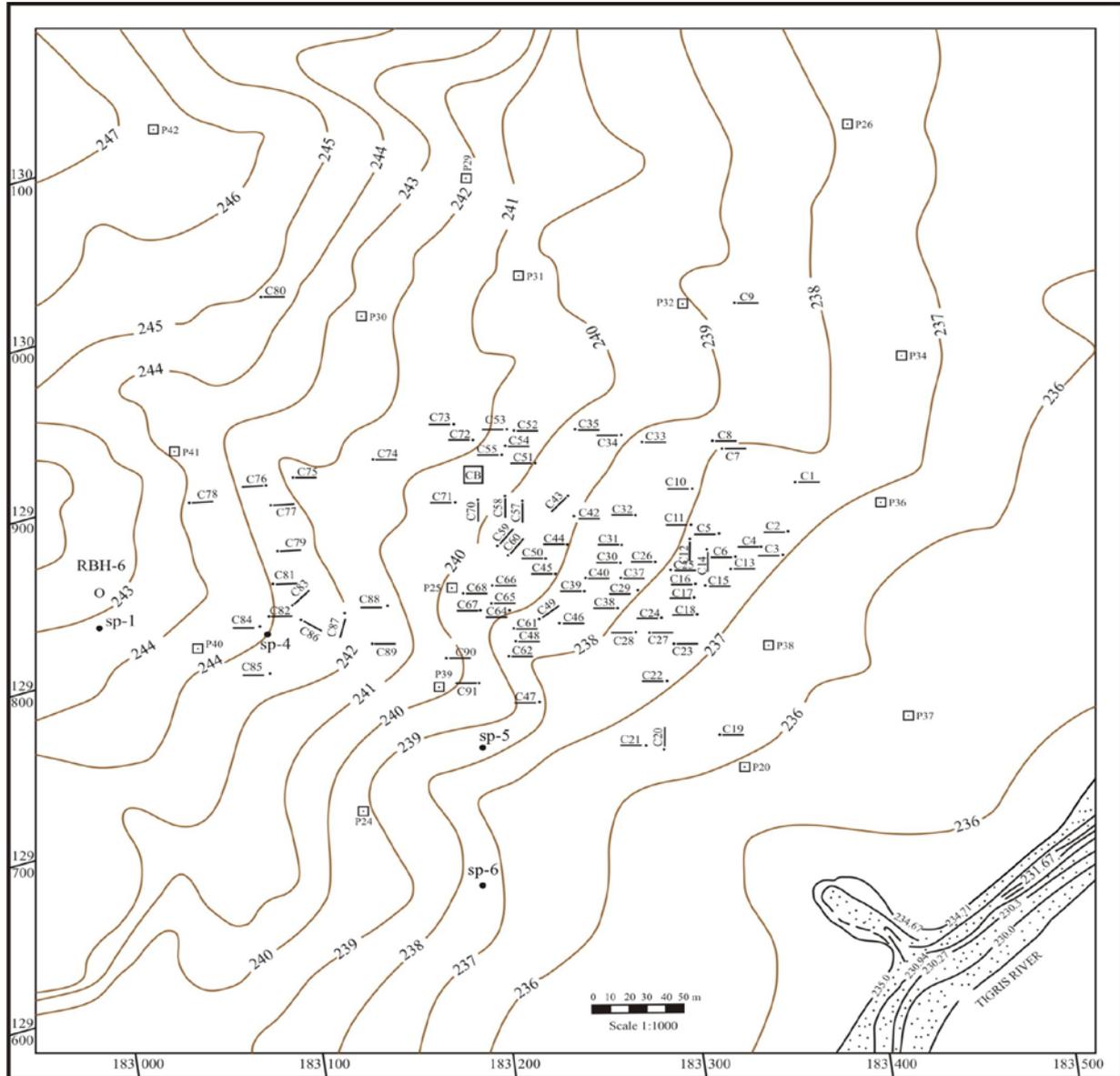
تقاس بدرجة حرارة مثبتة على 25 °م، لذا فإن التغيرات في القراءات تدل على نوع وتركيز المواد الموجودة بشكل ذائب في النموذج المائي من مقدار تلك القيمة المحسوبة. تراوحت القيم الخاصة بالتوصيل الكهربائي للمياه الجوفية في عام 1988 بين (262 – 2150) ميكروسيمنس/سم لنماذج المواقع عند الضفة اليسرى، وبلغت بين (425 – 870) ميكروسيمنس/سم في المواقع عند الضفة اليمنى من النهر (الجدول 1)، وبلغت قيمتها في عام 1989 بين (310 – 5350) ميكروسيمنس/سم، أما في عام 1990 فتراوحت بين (1350 – 5300) ميكروسيمنس/سم.

**■ درجة حرارة المياه**

يتضح من سجلات الحرارة للفترة ما بين (1950 – 1990) ان المعدل السنوي لدرجات الحرارة تراوح ما بين (19.4 – 20.3) °م وكانت درجات الحرارة عالية نسبياً خلال أشهر الصيف وتقل في الفترات الباردة. قيست درجة حرارة المياه الجوفية لبعض المواقع في الحقل مباشرة من قبل الشركة المنفذة لبناء السد (Energoproject, 1988) خلال الفترة من 30 تموز إلى 30 تشرين الأول من عام 1988 لتبين وجود تغيرات بسيطة في قيم درجة حرارة المياه الجوفية في مكنم الجريبي، تراوحت بين (22.5 – 23) °م في المواقع القريبة من نهر دجلة على كلتا الضفتين، وفي المواقع البعيدة عن نهر دجلة تتراوح درجة الحرارة بين (24 – 24.9) °م. بلغ مدى درجات الحرارة المقاسة بتاريخ تشرين الثاني/ 1989 لبعض الآبار المحفورة بين (23 – 24) °م، وفي عام 1990 تراوحت بين (21 – 25) °م لنفس الفترة وقد بلغت في شهر آذار من نفس السنة بين (23 – 23.5) °م.

**■ الأس الهيدروجيني (pH)**

تراوحت قيم الأس الهيدروجيني للمياه الجوفية عند ضفة النهر اليمنى بين (7.6 – 8.4) (الجدول 1) في فترة النقصان المائي لعام 1988، وفي ضفة النهر اليسرى بين (7 – 8.9) لنفس الفترة، أي إنها تتباين في صفتها بين المتعادلة والقاعدية القليلة. وبلغت قيم الأس الهيدروجيني للمياه الجوفية بين (6.7 – 8) خلال عام 1989، أي إنها تتباين في صفتها بين الحامضية القليلة والقاعدية القليلة، واستمرت تلك الصفة خلال عام 1990، حيث بلغت قيم الأس الهيدروجيني بين (6.5 – 7.5). إن مقدار الـ pH يتحكم به توازن ثاني أكسيد الكربون وأيونات الكربونات والبيكاربونات اللذين يعملان بدورهما كموازن لتنظيم التغيرات في قيمة الـ pH ضمن الحدود الصغيرة، فعند pH أعلى من 8.2 يحصل تفكك لأيونات البيكاربونات إلى أيونات الكربونات، وفي pH أقل من 8.2 تضاف أيونات الهيدروجين إلى أيونات الكربونات وتتكون البيكاربونات وفي هذه الحالة تتكون مياه بيكاربوناتية (Davis and De Wiest, 1966). ونتيجة لبدء عمليات الضخ وسحب المياه من المنطقة تحفزت أيونات الكربونات للتفاعل وعليه قل تركيز أيون الهيدروجين مع استمرار ضخ المياه.



**LEGEND**  
 RBH-60 بئر في ضفة البئر اليمنى .C2 مواقع النماذج بيزوميتر □ نقطة المركز

شكل 4: خريطة موقعية لأبار المياه الجوفية المحفورة عامي 1989 و 1990 في منطقة سد بادوش (Energoproject, 1989a and b and 1990)

جدول 1: يبين التحاليل الكيميائية للمياه الجوفية في منطقة البحث  
(Energoproject, 1988, 1989a, 1989b and 1990)

العام	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (ملغم/لتر)	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> (ملغم/لتر)	Cl <sup>-</sup> (ملغم/لتر)	Mg <sup>+2</sup> (ملغم/لتر)	Ca <sup>+2</sup> (ملغم/لتر)	Na <sup>+</sup> + K <sup>+</sup> (ملغم/لتر)	T.D.S. (ملغم/لتر)	العصرة الكلية	القوة الأيونية	E.C. (μs/Cm)	pH	رقم النموذج	
1	141.6	123.4	12.4	15.6	71.3	9.3	376	247	0.0087	440	8.3	RBH-1	
	178.2	158	40.9	23.3	84.2	27.48	474	406	0.0147	505	7.9	RBH-4	
	161.1	301.6	115.2	39.9	118.6	73.7	800	476	0.0197	870	8.1	RBH-6	
	261.2	110.9	30.2	28.7	61.8	19.22	447	336	0.0163	560	8.2	RBH-7	
	295.3	184	58.7	36.9	112.2	35.91	577	378	0.0184	618	8.1	RBH-8	
	234.3	67.7	19.6	21.9	67.3	14.79	408	245	0.0081	430	7.8	RBH-27	
	195.3	110.5	32	24.3	68.1	21.87	378	229	0.0082	425	7.9	RBH-28	
	139.1	32.2	8.9	10.2	36.1	10.5	200	138	0.0054	265	8.9	LBH-5	
	280.7	176.8	28.4	36	106.6	23.37	532	294	0.0123	475	7.5	LBH-6	
	273.4	56.7	10.6	23.8	68.9	14.68	343	435	0.0086	262	7.6	LBH-8	
	136.7	30.3	10.6	9.7	43.3	7.7	175	184	0.0064	320	8.7	LBH-10	
	402.7	834.9	20.4	60.8	378.8	14.05	1689	1128	0.0299	1650	7	LBH-11	
	244.1	306.9	16	28.7	160.3	11.55	640	556	0.0199	800	7.4	LBH-13	
	311.2	1355.9	17.7	126.4	440.9	34.89	2392	1621	0.0378	2150	7.2	LBH-16	
	1	5.2	6.8	15.4	5.8	11.4	12.9	2023	860	0.03308	2500	7.28	P-20
		292.8	248.5	646.8	39.4	147.2	231.6	1615	532	0.03459	2400	7.6	P-30
353.8		120.7	391.4	28.8	99.2	124.9	915	368	0.0218	1400	7.6	P-31	
305		269.8	600.6	42	112	199.3	1409	600	0.0309	2000	7.48	P-32	
341.6		49.7	148.2	40.3	57.6	66.9	565	312	0.1459	760	7.76	P-36	
366		63.9	296.6	41.2	94.4	85.4	683	108	0.01932	890	7.63	P-37	
292.8		113.6	416.9	48	108.8	95.9	750	472	0.02375	1250	7.78	P-38	
292.8		290.2	763.8	69.1	176	246.4	1709	728	0.047	2700	7.39	P-39	
268.3		234.5	485.3	67.2	160	236.3	1645	680	0.03295	2200	7.49	P-40	
280.6		213	429.3	76.8	176	241.7	1679	760	0.03875	2300	7.54	P-41	
1	219.6	553.8	1043	97.9	384	471.6	2800	1368	0.0725	3800	6.99	C-2	
	280.6	560.9	1067.9	112.3	364.8	429.6	2877	1380	0.0779	3900	6.99	C-3	
	366	603.5	1121.4	79.2	456	415.9	2980	1470	0.0716	4050	7.1	C-4	
	292.8	355	697.1	70.1	272	295	2019	972	0.042	2900	7.6	C-6	
	317.2	85.2	432.6	69.6	116	131.7	979	580	0.07269	1350	7.33	C-9	
	353	617	1166	116	419	442.98	2962	1532	0.076	4000	7.2	C-10	
	317.2	461.5	947.6	76.8	360	347.1	2351	1920	0.0597	3600	7.44	C-11	
	329	532.5	921.2	84	400	388.2	2613	1350	0.063	3500	7.2	C-12	
	217.2	511.2	1026.7	134.4	300	384.1	2587	1310	0.0676	3700	7.25	C-16	
	311.1	631.9	1228.8	127.2	412	429.6	2877	1560	0.07565	4300	6.77	C-17	
	353.8	298.2	669.1	72	420	260.3	1798	900	0.0516	2980	7.3	C-18	
	341.6	312.4	686.4	43.2	240	268	1647	780	0.0427	2700	7.04	C-22	
	219.6	298.2	652.9	46.2	232	238.8	1661	772	0.0389	2700	7.2	C-23	
	292.8	355	722.6	74.9	246.4	278.5	1914	928	0.0577	2900	7.2	C-24	
	353.8	1341.4	745.5	95	520	532.4	2019	1160	0.0526	1160	7	C-26	
	305	333	1128	78.7	280	287.2	1969	1028	0.0556	350	7.5	C-29	
	353.8	582.2	1173.7	112.3	392	451.9	3019	1448	0.0751	4100	7	C-31	
	329.4	568	1071.2	112.3	371.2	388.5	2615	1396	0.0675	3900	7.01	C-32	
	341.6	468.6	955.8	80.6	352	387.8	2610	1216	0.0551	3500	7.2	C-33	
	292.8	305.3	763.8	72	251.2	287.95	1974	928	0.047	2800	7	C-34	
	390	347	1032	144	38.9	407.4	2735	1400	0.0699	310	6.9	C-38	
	329	460	1002	96	356	363.3	2454	1292	0.623	3700	7	C-39	
	366	717.1	1287.1	132	440	503.9	3350	1650	0.0794	4700	7.04	C-42	
	366	745.5	1331.6	86.4	552	523.3	3474	1740	0.0831	4450	7.06	C-44	
	378.2	823.6	1501.3	110.4	502	637.6	4202	1940	0.0919	5350	6.73	C-45	
	353.6	532	1140	120	392	278	2584	1460	0.0779	350	7.1	C-46	
	380.6	404.7	917.1	81.6	219	395.9	2471	888	0.0532	3200	7.4	C-48	
	341	127.8	331	44	150	122.5	920	560	0.0287	1310	7.3	C-52	
	378	99.4	335	52.8	144	125.2	1475	800	0.02685	2100	7.2	C-53	
	366	776	1357	125.7	472	515.8	3426	1704	0.0881	5000	7.26	C-54	
	317.2	582.2	1212.9	120	420	462.6	3087	1550	0.075	4100	6.86	C-55	
	353	617	1232	109	428	466.9	3115	1528	0.0782	4400	7.2	C-57	
	3536.8	745.5	1341.4	95	520	532.4	3532	1696	0.0859	5000	6.92	C-58	
	329.4	653.2	1280.5	120	400	471.4	3143	1500	0.0772	4450	7.29	C-59	
329.4	795.2	1454.3	228.4	371.2	605.9	4000	1880	0.0917	5150	7.1	C-69		
353	710	1314	143.6	447	503.2	3346	1716	0.083	4900	6.85	C-70		

**الوضع الهيدروجيولوجي والهيدروكيميائي لمنطقة سد بادوش، وسط شمال العراق، للفترة ما بين (1988 – 1990)**  
**شهلة صالح زكي المصلح ونضير عباس الانصاري**

Cont. table 1

العام	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (ملغم/لتر)	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> (ملغم/لتر)	Cl <sup>-</sup> (ملغم/لتر)	Mg <sup>+2</sup> (ملغم/لتر)	Ca <sup>+2</sup> (ملغم/لتر)	Na <sup>+</sup> + K <sup>+</sup> (ملغم/لتر)	T.D.S. (ملغم/لتر)	العسرة الكليّة	القوة الأيونية	E.C. (µs/Cm)	pH	رقم النموذج
1	317.2	610.6	1182.4	43.2	520	470.9	3140	1480	0.0734	4400	6.95	C-71
	207.4	319.5	1260.7	128.6	342.4	480.2	3199	1392	0.07065	4500	6.95	C-72
	366	688.7	1302.7	88.2	520	355.3	2403	1660	0.0792	4600	7.06	C-73
	305	298	780	122	323	252	1745	1320	0.083	390	7.1	C-74
	341	369	848	77	296	150.8	1100	1060	0.0579	3000	7.3	C-75
	292	142	500	53	188	163.7	1182	662	0.03194	1950	7.3	C-76
	329	411	1200	76	368	342.4	2321	1240	0.06145	3700	7	C-77
	244	248.5	704.5	43.2	216	143	1053	720	0.03675	2400	7.39	C-78
	292.8	213	618	39.4	238.4	221.7	1552	760	0.02785	1900	7.98	C-80
390.4	646.1	1176.6	96	480	488.8	3254	684	0.0402	2450	6.83	C-91	
1	317.2	355	249.2	82.6	241.6	266.9	1840	948	0.0371	2900	7.12	C-5
	280.6	120.7	463.9	35.5	144	135.12	1000	508	0.026	1360	7.47	C-7
	280.6	177.5	685.6	49	198.4	183.14	1306	700	0.0359	1730	7.3	C-8
	341.6	539.6	1227.8	105.6	408	423	2835	1460	0.0704	4100	7.16	C-12
	305.7	404.7	1009.4	79.2	244	343.6	2329	940	0.0684	2800	6.76	C-13
	305	326.6	795.2	72	260	222.4	1785	950	0.0467	2600	6.98	C-14
	317.6	397.6	982.2	55.2	340	223.8	2408	1080	0.065	2800	7.05	C-15
	256.2	63.3	454.8	43.2	128	136.1	1006	500	0.0244	1350	6.88	C-19
	231.8	142	477	55.2	132	117.7	889	560	0.026	1280	7.05	C-20
	353.8	681.6	1517.8	55.2	500	574.5	3800	1480	0.0846	4300	6.67	C-21
	305	319.5	745.7	141.1	140.8	252.96	1751	940	0.04956	2700	7.22	C-22
	390.4	781	1590.4	112.4	512	612.6	4043	1790	0.0932	5050	6.9	C-25
	366	631.9	1457.6	103.2	336	468.7	3126	1270	0.0746	3900	6.62	C-27
	402.6	745.5	1463.4	91.2	588	532.4	3532	1850	0.0896	4900	7.12	C-28
	378.2	745.5	1369.5	127.2	484	539.5	3577	1740	0.086	4900	6.91	C-30
	317.2	532	1186.5	110.4	352	410.35	2754	1340	0.0693	3500	6.71	C-35
	390.4	816.5	1541.8	76.8	620	509.04	3383	1070	0.093	5200	6.96	C-36
	390.4	738.4	1479.4	98.4	548	534.8	3647	1780	0.08305	5000	7.03	C-37
	366	681.6	1521.9	48	500	586.5	3877	1450	0.0844	4500	6.55	C-40
	353.8	724.2	1450	171.8	416	474.4	3162	1756	0.0864	4900	6.88	C-41
	399.4	390.5	1015.2	96	340	362.6	2450	1250	0.0623	2900	6.82	C-43
	366	688.7	1325.8	79.2	280	512.8	3407	1030	0.0681	4200	6.55	C-47
	305	475.7	1198.1	81.6	384	243.5	2811	1300	0.0662	3300	7.15	C-49
	366	759.7	1488.1	148.8	452	527.2	3563	1750	0.0871	4400	6.83	C-50
	378.2	702.9	1293.7	93.6	504	499.9	3325	1650	0.0824	4200	6.95	C-51
	329.4	710	1367	93.6	500	501.04	3332	1640	0.0826	4250	6.66	C-56
	392.4	731.3	2343.1	69.6	552	511.9	3401	1670	0.086	4250	6.7	C-60
	353.8	695.8	1252.5	98.4	484	502.7	3343	1620	0.08135	4100	6.92	C-61
	366	695.8	1451.8	79.2	528	523	3472	1650	0.0858	4800	7.04	C-62
	366	702.9	1334.8	112.8	460	491.9	3274	1620	0.085	4300	6.84	C-63
	353.8	702.9	1259.1	91.2	488	512.96	3408	1600	0.08	4200	6.78	C-64
	317.2	475.7	1234.4	93.6	384	317.9	2828	1350	0.0754	3700	7.1	C-65
	353.8	724.2	1381	96	480	579.9	3835	1600	0.0853	4400	6.82	C-66
	341.6	639	1215.4	153.6	304	484.8	3229	1400	0.0708	4000	6.9	C-67
	305	539.5	1306.8	96	300	432	2892	1150	0.0686	3700	6.9	C-68
	378.2	781	1498	112.8	591	568.5	3762	1820	0.1227	5100	7	C-70
317.2	497	1123.1	96	320	411.3	2760	1200	0.0661	3300	6.69	C-79	
317.2	539.6	1081.9	100.8	248	260.6	2811	1300	0.0566	3300	56.7	C-81	
341.6	447.3	1137.9	112.8	312	346.1	2556	1250	0.06565	3800	6.95	C-83	
292.8	333.7	852.8	91.2	248	176.2	2123	1000	0.0465	2500	6.8	C-84	
292.8	326.6	867.6	88.8	200	271.3	1868	870	0.0471	2300	6.73	C-85	
305	369.2	865.2	76.8	252	266.9	2110	950	0.0476	2900	7.2	C-86	
317.2	468.6	869.3	86.4	268	225.8	2136	1030	0.05145	2900	6.75	C-87	
341.6	596.5	1268.1	103.2	448	440	2943	1550	0.0765	4200	7.05	C-88	
366	837.8	1518.6	158.4	460	560.8	4137	1810	0.0924	5200	6.95	C-89	
317.2	568	1146.2	103.2	380	420.4	2818	1380	0.0611	3700	6.7	C-90	

Cont. table 1

العام	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (ملغم/لتر)	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> (ملغم/لتر)	Cl <sup>-</sup> (ملغم/لتر)	Mg <sup>+2</sup> (ملغم/لتر)	Ca <sup>+2</sup> (ملغم/لتر)	Na <sup>+</sup> + K <sup>+</sup> (ملغم/لتر)	T.D.S. (ملغم/لتر)	العسرة الكلية	القوة الأيونية	E.C. (μs/Cm)	pH	رقم النموذج
1	317.2	355	249.2	82.6	241.6	266.9	1840	948	0.0371	2900	7.12	C-5
	280.6	120.7	463.9	35.5	144	135.12	1000	508	0.026	1360	7.47	C-7
	280.6	177.5	685.6	49	198.4	183.14	1306	700	0.0359	1730	7.3	C-8
	341.6	539.6	1227.8	105.6	408	423	2835	1460	0.0704	4100	7.16	C-12
	305.7	404.7	1009.4	79.2	244	343.6	2329	940	0.0684	2800	6.76	C-13
	305	326.6	795.2	72	260	222.4	1785	950	0.0467	2600	6.98	C-14
	317.6	397.6	982.2	55.2	340	223.8	2408	1080	0.065	2800	7.05	C-15
	256.2	63.3	454.8	43.2	128	136.1	1006	500	0.0244	1350	6.88	C-19
	231.8	142	477	55.2	132	117.7	889	560	0.026	1280	7.05	C-20
	353.8	681.6	1517.8	55.2	500	574.5	3800	1480	0.0846	4300	6.67	C-21
	305	319.5	745.7	141.1	140.8	252.96	1751	940	0.04956	2700	7.22	C-22
	390.4	781	1590.4	112.4	512	612.6	4043	1790	0.0932	5050	6.9	C-25
	366	631.9	1457.6	103.2	336	468.7	3126	1270	0.0746	3900	6.62	C-27
	402.6	745.5	1463.4	91.2	588	532.4	3532	1850	0.0896	4900	7.12	C-28
	378.2	745.5	1369.5	127.2	484	539.5	3577	1740	0.086	4900	6.91	C-30
	317.2	532	1186.5	110.4	352	410.35	2754	1340	0.0693	3500	6.71	C-35
	390.4	816.5	1541.8	76.8	620	509.04	3383	1070	0.093	5200	6.96	C-36
	390.4	738.4	1479.4	98.4	548	534.8	3647	1780	0.08305	5000	7.03	C-37
	9	366	681.6	1521.9	48	500	586.5	3877	1450	0.0844	4500	6.55
353.8		724.2	1450	171.8	416	474.4	3162	1756	0.0864	4900	6.88	C-41
399.4		390.5	1015.2	96	340	362.6	2450	1250	0.0623	2900	6.82	C-43
366		688.7	1325.8	79.2	280	512.8	3407	1030	0.0681	4200	6.55	C-47
305		475.7	1198.1	81.6	384	243.5	2811	1300	0.0662	3300	7.15	C-49
366		759.7	1488.1	148.8	452	527.2	3563	1750	0.0871	4400	6.83	C-50
378.2		702.9	1293.7	93.6	504	499.9	3325	1650	0.0824	4200	6.95	C-51
329.4		710	1367	93.6	500	501.04	3332	1640	0.0826	4250	6.66	C-56
392.4		731.3	2343.1	69.6	552	511.9	3401	1670	0.086	4250	6.7	C-60
353.8		695.8	1252.5	98.4	484	502.7	3343	1620	0.08135	4100	6.92	C-61
366		695.8	1451.8	79.2	528	523	3472	1650	0.0858	4800	7.04	C-62
9	366	702.9	1334.8	112.8	460	491.9	3274	1620	0.085	4300	6.84	C-63
	353.8	702.9	1259.1	91.2	488	512.96	3408	1600	0.08	4200	6.78	C-64
	317.2	475.7	1234.4	93.6	384	317.9	2828	1350	0.0754	3700	7.1	C-65
	353.8	724.2	1381	96	480	579.9	3835	1600	0.0853	4400	6.82	C-66
	341.6	639	1215.4	153.6	304	484.8	3229	1400	0.0708	4000	6.9	C-67
0	305	539.5	1306.8	96	300	432	2892	1150	0.0686	3700	6.9	C-68
	378.2	781	1498	112.8	591	568.5	3762	1820	0.1227	5100	7	C-70
	317.2	497	1123.1	96	320	411.3	2760	1200	0.0661	3300	6.69	C-79
	317.2	539.6	1081.9	100.8	248	260.6	2811	1300	0.0566	3300	56.7	C-81
	341.6	447.3	1137.9	112.8	312	346.1	2556	1250	0.06565	3800	6.95	C-83
	292.8	333.7	852.8	91.2	248	176.2	2123	1000	0.0465	2500	6.8	C-84
	292.8	326.6	867.6	88.8	200	271.3	1868	870	0.0471	2300	6.73	C-85
	305	369.2	865.2	76.8	252	266.9	2110	950	0.0476	2900	7.2	C-86
	317.2	468.6	869.3	86.4	268	225.8	2136	1030	0.05145	2900	6.75	C-87
	341.6	596.5	1268.1	103.2	448	440	2943	1550	0.0765	4200	7.05	C-88
	366	837.8	1518.6	158.4	460	560.8	4137	1810	0.0924	5200	6.95	C-89
	317.2	568	1146.2	103.2	380	420.4	2818	1380	0.0611	3700	6.7	C-90

▪ القوة الأيونية (I)

هي حساب قوة المجال الكهربائي الساكن للمحلول والمتسبب عن طريق الأيونات (Glasstone and Lewis, 1968)، ويعبر عنها رياضياً بما يأتي:

$$I = \sum (m_i z_i^2 / 2)$$

حيث أن: I = القوة الأيونية

m = تركيز الأيون المراد معرفة قوته الأيونية بالـ (مول/لتر)

Z = شحنة ذلك الأيون

ولتطبيق هذه المعادلة في مياه منطقة البحث الحاوية على ست أيونات رئيسية فتكتب كما يلي:

$$I = 1/2 [(Na^+) + 4(Mg^{+2}) + (Ca^{+2}) + (HCO_3^-) + (Cl^-) + 4(SO_4^{-2})]$$

يلاحظ ان قيم القوة الأيونية خلال عام 1988 (الجدول 1) متقاربة في الموقع الواحد لكنها تتغير من موقع إلى آخر وتزداد في الموقعين LBH-11 و LBH-16 مما يدل على زيادة قابلية الإذابة فيها، ويتراوح مداها في تلك السنة بين (0.00809 – 0.02002) عند ضفة النهر اليمنى، ويتراوح بين (0.004655 – 0.05915) وبمعدل (0.031903) في نماذج الضفة اليسرى، وتراوح بين (0.01459 – 0.0917) وبلغ معدلها (0.05315) خلال عام 1989 (الجدول 1)، كما تراوحت بين (0.026 – 0.1227) وبلغ معدلها (0.07435) في عام 1990 (الجدول 1)، مما يدل على قلة معاملات الفعالية وزيادة قابلية الذوبان في هذين العامين نتيجة لبدء عمليات الحفر والضخ وبدء عمليات سحب المياه.

▪ معامل التشبع (S.I.)

درجة تشبع النماذج المائية بالكلسايت يعبر عنها بمعامل التشبع (S.I.).

استخدم المخطط البياني الذي نشره (1985) Hem لاستخراج معامل التشبع بمعدن الكلسايت في المياه الجوفية، وذلك من معرفة عدة معاملات كالقوة الأيونية ودرجة الحرارة والأس الهيدروجيني، بالإضافة إلى إيجاد تراكيز أيوني البيكارونات والكالسيوم المقاسة بالجزء بالمليون عن طريق التحليلات الكيميائية. تحسب الدالة الحامضية للاتزان (pH equilibrium) بواسطة هذا المخطط وتطبيق المعادلة التالية يمكن الحصول على معامل التشبع:

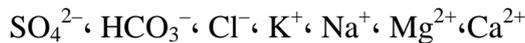
$$S.I. = pH \text{ measured} - pH \text{ equilibrium}$$

حيث أن: pH measured = تمثل الدالة الحامضية المقاسة بالحقل

تؤلف المعادن الكربوناتيّة (الكلسايت والدولومايت) المحتوى الرئيسي للمكمن المائي الجوفي في تكوين جيربي وتصل إلى حالة التشبع أو شبه التشبع والمبين في معظم تحاليل النماذج المدروسة، لذا تظهر أهميتها عند التأثير في كيميائية المياه الجوفية، عدا نموذج رقم 2 من الموقع LBH-8 الذي يبين أن النموذج المائي في حالة تحت التشبع الذي بلغت قيمته - 0.18، وحالة التشبع تعني أن السائل والمعدن يتواجدان في حالة توازن (Henderson, 1984) كما هو الحال في أحد نماذج موقع LBH-8 الذي بلغت قيمة معامل التشبع له صفر.

الخواص الكيميائية للمياه الجوفية

أجريت التحليلات الكيميائية على نماذج مياه جوفية لمواقع مختلفة في مكمن جيربي المائي، وتضمنت 14 نموذج لعام 1988 و 56 نموذج لعام 1989 و 46 نموذج لعام 1990 (جدول 1). تشمل الأيونات الأساسية المحللة كلا من:



### ■ الأيونات الموجبة

— **أيون الكالسيوم ( $Ca^{+2}$ ):** يمثل الكالسيوم أكثر الأيونات الموجبة تركيزاً في معظم النماذج المائية لمنطقة الدراسة، ويبلغ تركيزه خلال عام 1988 في نماذج الضفة اليمنى من المياه الجوفية 92.95 ملغم/لتر، وتراوح قيمه بين (67.3 – 118.6) ملغم/لتر، وفي الضفة النهر اليسرى تبين التحليلات الكيميائية وجود تفاوت كبير بالقيم من موقع إلى آخر، ويتراوح بين (36.1 – 106.6) ملغم/لتر وبمعدل 71.35 ملغم/لتر في الآبار LBH-5، LBH-6، LBH-8، و LBH-10، بينما يتراوح بين (106.3 – 440.9) ملغم/لتر في الآبار LBH-11، LBH-13 و LBH-16 والممثلة للمناطق البعيدة عن نهر دجلة. أي أن تركيز أيون الكالسيوم ترتفع قيمه كلما اقتربنا من نهر دجلة في الضفة اليمنى وترتفع في المواقع البعيدة عن النهر في الضفة اليسرى.

خلال عام 1989 تراوحت قيم أيون الكالسيوم بين (552 – 11.4) ملغم/لتر وبلغ معدله 281.7 ملغم/لتر وبلغت القيم في عام 1990 بين (128 – 588) ملغم/لتر وبمعدل 358 ملغم/لتر. وجد أن القيم تزداد كلما اتجهنا نحو مركز السد، نتيجة لازدياد عمليات سحب المياه من مكن جريبي المائي وضخها في تلك المواقع إضافة إلى قلة الأمطار خلال عامي 1989 و 1990 والمغذية للمكن الجوفي.

— **أيون المغنيسيوم ( $Mg^{+2}$ ):** يتراوح تركيز أيون المغنيسيوم في نماذج المياه الجوفية لعام 1988 بين (15.6 – 39.9) ملغم/لتر عند الضفة النهر اليمنى وبمعدل 27.75 ملغم/لتر، وتراوح بين (10.2 – 60.8) ملغم/لتر عند الضفة النهر اليسرى من النهر وبلغ معدله 36.5 ملغم/لتر وقد يصل إلى 126.4 ملغم/لتر كما في البئر LBH-16. خلال عام 1989 تراوح تركيز أيون المغنيسيوم بين (28.8 – 228.4) ملغم/لتر ومعدله 128.6 ملغم/لتر، ويصل معدل التراكم خلال عام 1990 إلى 103.7 ملغم/لتر وتتراوح بين (35.5 – 171.8) ملغم/لتر، ويلاحظ أن القيم خلال هذين العامين تزداد باتجاه مركز السد.

— **أيون الصوديوم وأيون البوتاسيوم ( $Na^{+} + K^{+}$ ):** يوجد أيون البوتاسيوم في النماذج المائية لمنطقة البحث بتركيز قليلة جداً تكاد تهمل لذا فقد تم احتسابه مع أيونات الصوديوم. بلغ معدل تركيز أيون الصوديوم مع أيون البوتاسيوم في نماذج المياه خلال عام 1988 بين (9.3 – 35.9) ملغم/لتر وبمعدل 22.6 ملغم/لتر، ويلاحظ أن أعلى معدل لهذين الأيونين هو في المواقع القريبة من النهر ويقل كلما ابتعدنا من النهر. وتراوحت القيم في الضفة النهر اليسرى بين (7.7 – 34.9) ملغم/لتر وبلغ معدله 21.3 ملغم/لتر ويكون ارتفاع القيم باتجاه النهر أي باتجاه حركة المياه الجوفية. خلال عام 1989 تراوحت قيم الأيونين بين (66.9 – 637.6) ملغم/لتر وبلغ معدله 352.3 ملغم/لتر، وبلغت القيم خلال عام 1990 حوالي بين (222.4 – 535.6) ملغم/لتر ومعدل تلك القيم 404 ملغم/لتر، والجدول (1) يوضح التراكيز الأيونية لمنطقة الدراسة.

### ■ الأيونات السالبة

— **أيون الكلوريد ( $Cl^{-}$ ):** تراوحت قيم أيون الكلوريد في عام 1988 بين (12.4 – 115.2) ملغم/لتر عند الضفة النهر اليمنى وبلغ معدلها 63.8 ملغم/لتر وعند الضفة النهر اليسرى بين (5.3 – 19.6) ملغم/لتر وبمعدل 12.45 ملغم/لتر. تراوحت القيم خلال عام 1989 بين (50 – 824) ملغم/لتر وبلغ معدلها 437 ملغم/لتر، وازدادت القيم خلال عام 1990 حيث تراوحت بين (120.7 – 837.8) ملغم/لتر وبلغ معدلها 479 ملغم/لتر، وزيادة الأيون تكون باتجاه مركز السد (الجدول 1).

— **أيون البيكربونات ( $HCO_3^{-}$ ):** يتراوح تركيزه خلال عام 1988 بين (141.6 – 295.3) ملغم/لتر في نماذج الضفة اليمنى وبمعدل 218.5 ملغم/لتر، وفي نماذج الضفة النهر اليسرى تراوحت القيم بين (134.1 – 311.2) ملغم/لتر وبلغ معدلها 222.7 ملغم/لتر. ازداد تركيز أيون البيكربونات خلال عام 1989، حيث بلغ معدله 347.7 ملغم/لتر وتراوحت قيمه بين (219.6 – 475.8) ملغم/لتر وتراوحت القيم عام 1990 بين (280.6 – 390.4) ملغم/لتر وبلغ معدلها 335.5 ملغم/لتر (الجدول 1).

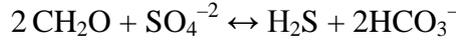
— **أيون الكبريتات ( $SO_4^{2-}$ ):** يتراوح تركيزه بين (32.2 – 1355.9) ملغم/لتر لنماذج الضفة اليسرى من النهر لعام 1988، لكن ازداد تركيزه في المواقع ذات درجات الحرارة العالية نسبياً وكما هو الحال في نماذج الآبار LBH-11 و LBH-16 و LBH-13 فيصبح هو الأيون السالب الرئيسي في هذا النطاق. عند الضفة اليمنى تراوحت قيمه بين (67.7 – 184) ملغم/لتر عدا موقع البئر RBH-6، حيث بلغت قيمته 307 ملغم/لتر وخلال عام 1989 تراوحت قيم أيون الكبريتات بين (318 – 1501.3) ملغم/لتر وبلغ معدلها 909.6 ملغم/لتر، وفي عام 1990 تراوحت بين (249.2 – 1556.5) ملغم/لتر وبلغ معدلها 902.8 ملغم/لتر (الجدول 1).

■ المواد الصلبة الكلية المذابة (T.D.S.)

بلغ تركيز الـ T.D.S. في المياه الجوفية لعام 1988 عند ضفة النهر اليمنى بين (376 – 800) ملغم/لتر وبمعدل 588 ملغم/لتر، وتراوح عند ضفة النهر اليسرى بين (157 – 2392) ملغم/لتر وبمعدل 1274.5 ملغم/لتر. تبين أن هناك نقصانا تدريجيا للقيم من مناطق التغذية الواقعة في أعالي منطقة الدراسة نحو الأسفل باتجاه خطوط الجريان عند ضفة النهر اليمنى. سجلت أقصى قيمها عند موقع البئر 6-RBH، وعند ضفة النهر اليسرى أعلى تركيز سجل في موقع البئر 16-LBH، ثم يتدرج بالنقصان حول هذا الموقع وباتجاه خطوط جريان المياه الجوفية. يعود السبب في هذه الزيادة إلى وجود خزان معلق في هذا الموقع مما يساعد على تغلغل مياه جديدة غنية بالمواد الذائبة. خلال عام 1989، ارتفعت قيم الـ T.D.S. ارتفاعا ملحوظا وتراوح بين (565 – 4202) ملغم/لتر وبلغ معدلها 2383.5 ملغم/لتر، وسجلت زيادة أعلى خلال عام 1990، حيث تراوحت بين (889 – 4137) ملغم/لتر، وبمعدل 2513 ملغم/لتر. حسب تصنيف Hem (1970) لقيم الـ T.D.S.، تبين أن المياه الجوفية في منطقة الدراسة تتراوح بين مياه عذبة إلى متوسطة الملوحة (الجدول 1).

■ غاز كبريتيد الهيدروجين (H<sub>2</sub>S)

المصدر الرئيسي لغاز كبريتيد الهيدروجين في منطقة الدراسة هو اختزال أيون الكبريتات بواسطة البكتريا، حيث أن الظروف البيئية اللازمة لنمو البكتريا المختزلة للكبريتات المسماة *Desulfovibrio desulfuricans* التي وضحها Zobell (1963) متوفرة ومتطابقة مع ظروف الممكن الجوفي المدروس، ويمكن تمثيل التفاعل الحاصل بما يلي:



سجلت تراكيز غاز H<sub>2</sub>S لـ 95 نموذج في مواقع متباينة من منطقة سد بادوش وبأوقات مختلفة خلال الفترة بين منتصف شهر أيلول 1989 حتى شهر أيلول 1990. تتراوح القيم بين (1.2 – 65.2) ملغم/لتر (الجدول 2) وبلغ معدلها 33.2 ملغم/لتر وتتركز القيم العالية في الجزء الوسطي من منطقة الدراسة قرب منطقة الضخ، حيث تصبح الغازات المختزلة حرة الحركة مما يساعدها على النفوذ من الممكن الجوفي إلى الأعلى.

■ العسرة الكلية

عسرة المياه هي إحدى العوامل المهمة في معرفة نوعية المياه والتي يجب أخذها بنظر الاعتبار، وتعزى بصورة رئيسية إلى وجود أيونات الكالسيوم والمغنيسيوم في المياه، إضافة لهذا توجد أيونات أخرى موجبة الشحنة ثنائية التكافؤ وهي نادرة مثل <sup>+2</sup>Mn، <sup>+2</sup>Fe، <sup>+2</sup>Ba، <sup>+2</sup>Zn و <sup>+2</sup>Sr ... وغيرها مكونة مركبات على شكل بيكاربونات وكبريتات وكلوريدات. تراوحت قيم العسرة الكلية في المياه الجوفية لمنطقة الدراسة لعام 1988 بين (229 – 476.6) ملغم/لتر عند الضفة اليمنى من النهر وبمعدل 352.8 ملغم/لتر، وبين (138 – 1619.8) ملغم/لتر عند ضفة النهر اليسرى وبمعدل 878.9 ملغم/لتر، وتراوح قيمها بين (108 – 1940) ملغم/لتر ومعدلها 1024 ملغم/لتر لنماذج المياه الجوفية لعام 1989. كما تراوحت القيم بين (500 – 1850) ملغم/لتر وبلغ معدلها 1175 ملغم/لتر لنماذج عام 1990 (الجدول 1).

جدول 2: يبين تراكيز غاز كبريتيد الهيدروجين في منطقة الدراسة  
(Energoproject, 1988)

Sample No. and Date	H <sub>2</sub> S (ppm)	Sample No. and Date	H <sub>2</sub> S (ppm)	Sample No. and Date	H <sub>2</sub> S (ppm)
<b>T-1</b>		<b>SP-2</b>		<b>SP-4</b>	
1 (16.9.89)	44	11 (24.12.89)	51.3	6 (8.1.90)	29.3
2 (18.9.89)	54.8	12 (8.1.90)	28.0	7 (29.1.90)	46.7
<b>T-2</b>		13 (9.1.90)	43.4	8 (8.3.90)	45.1
(16.9.89)	26	14 (8.3.90)	46.7	9 (5.4.90)	55.4
<b>SP-1</b>		15 (5.4.90)	56.0	10 (5.5.90)	43.0
1 (24.9.89)	43.9	16 (5.5.90)	53.6	11 (10.6.90)	43.6
2 (25.9.89)	42.6	17 (10.6.90)	54.8	12 (11.7.90)	47.3
3 (30.9.89)	39.2	18 (11.7.90)	30.5	13 (7.8.90)	44.2
4 (4.10.89)	43.6	19 (7.8.90)	41.1	14 (6.9.90)	3.1
5 (9.10.89)	60.7	20 (6.9.90)	33.6		
6 (17.10.89)	42.9	<b>SP-3</b>		<b>SP-5</b>	
7 (23.10.89)	59.2	1 (24.9.89)	62.3	1 (8.1.90)	34.8
8 (5.11.89)	49.2	2 (25.9.89)	36.7	2 (8.3.90)	40.5
9 (7.11.89)	48.0	3 (30.9.89)	44.5	3 (5.5.90)	43.0
10 (16.11.89)	48.3	4 (4.10.89)	54.8	4 (10.6.90)	34.3
11 (24.12.89)	41.7	5 (9.10.89)	43.5	5 (11.7.90)	39.2
12 (8.1.90)	33.0	6 (17.10.89)	49.2	6 (7.8.90)	44.2
13 (29.1.90)	31.8	7 (23.10.89)	23.0	7 (6.9.90)	38.0
14 (8.3.90)	52.0	8 (5.11.89)	43.0	<b>SP-6</b>	
15 (5.4.90)	50.1	9 (7.11.89)	59.8	1 (11.7.90)	65.2
16 (5.5.90)	34.0	10 (24.12.89)	34.9	2 (7.8.90)	46.9
17 (10.6.90)	35.1	11 (8.1.90)	36.7	3 (6.9.90)	22.1
18 (11.7.90)	5.3	12 (29.1.90)	61.7	<b>SP-7</b>	
19 (7.8.90)	29.1	13 (8.3.90)	52.3	1 (11.7.90)	1.2
20 (6.9.90)	23.4	14 (5.4.90)	40.5	2 (7.8.90)	47.9
<b>SP-2</b>		15 (5.5.90)	58.0	3 (6.9.90)	13.1
1 (24.9.89)	45.7	16 (10.6.90)	31.1	<b>SP-8</b>	
2 (25.9.89)	51.7	17 (11.7.90)	48.6	1 (7.8.90)	32.8
3 (30.9.89)	48.3	18 (7.8.90)	35.5	2 (6.9.90)	19.8
4 (4.10.89)	36.7	19 (6.9.90)	33.6	<b>SP-9</b>	
5 (9.10.89)	54.8	<b>SP-4</b>		1 (7.8.90)	10.7
6 (17.10.89)	53.5	1 (5.9.89)	30.5	S-1 (16.1.90)	45.7
7 (23.10.89)	56.7	2 (30.9.89)	44.5	S-2 (16.1.90)	52.9
8 (6.11.89)	44.8	3 (4.10.89)	51.1	S-3 (16.1.90)	51.1
9 (7.11.89)	56.0	4 (17.10.89)	57.3		
10 (16.11.89)	48.0	5 (23.10.89)	52.3		

### تصنيف المياه

هنالك طرق متعددة لتمثيل نتائج التحاليل الكيميائية للمياه عن طريق الرسم البياني للتوصل إلى تفسيرها وتصنيفها. من الطرق المستخدمة في هذه الدراسة هي: تصنيف فوستروكنوتوف Vostroknutov في (1988) Muhammed، وتصنيف باير (1944) Piper.

### ■ تصنيف فوستروكنوتوف

يفترض هذا التصنيف طريقة تحليلية تبين التغيرات في التركيب الكيميائي من خلال تصنيف نتائج التحاليل المتعددة ولفترات طويلة بمخطط واحد (الشكل 5). تبين أن نوعية المياه الجوفية لعام 1988 حسب هذا التصنيف (الشكل 5a) هو ارتباط بين البيكاربونات والكبريتات والكلوريد مع نسب مختلفة من بقية الأيونات الموجبة والسالبة الموجودة بنسب أعلى من 25% وزن مكافئ بالمليون. ويلاحظ بأحد الأنواع الآتية:

- 1- تصنيف 39 نموذج من المياه الجوفية ضمن مجموعة الكبريتات (Sulfate Group) وتشمل العوائل الرئيسية التالية:
  - عائلة كالسيوم – مغنسيوم – كبريتات – بيكاربونات، وتشمل 27.97% من مجموع النماذج المحللة.
  - عائلة كالسيوم – مغنسيوم – كبريتات – كلوريد، وتشمل 4.24% من النماذج المحللة.
  - عائلة كالسيوم – صوديوم – كبريتات – كلوريد، وتشمل 0.85% من النماذج المحللة.
- 2- تصنيف 79 نموذج من المياه الجوفية المحللة ضمن مجموعة بيكاربونات الكالسيوم (Bicarbonate Group) وتشمل عائلة واحدة فقط وهي: عائلة كالسيوم – مغنسيوم – بيكاربونات – كبريتات، وشغلت نسبة 66.95% من مجموع النماذج المحللة.

أما نتائج التصنيف الهيدروكيميائي لنماذج عام 1989 (الشكل 5b) فهي كما يلي:

- 1- تصنيف 104 نموذج ضمن مجموعة الكبريتات (Sulfate Group)، واهم عوائلها هي:
  - عائلة كالسيوم – صوديوم – كبريتات – كلوريد، وشغلت 56.6% من النماذج المحللة.
  - عائلة كالسيوم – صوديوم – كبريتات – بيكاربونات، وتشمل 14.2% من النماذج المحللة.
  - عائلة صوديوم – كالسيوم – كبريتات – بيكاربونات، وتشمل 2.8% من النماذج المحللة.
  - عائلة صوديوم – كالسيوم – كبريتات – كلوريد، وشغلت 24.5% من النماذج المحللة.
- 2- تصنف نموذج واحد فقط ضمن مجموعة الكلوريد الذي ينتمي إلى عائلة صوديوم – كالسيوم – كلوريد – كبريتات، وتشغل 0.9% من النماذج المحللة.
- 3- تصنف نموذج واحد فقط ضمن مجموعة البيكاربونات الذي ينتمي إلى عائلة مغنسيوم – صوديوم – بيكاربونات – كبريتات، وتشغل 0.9% من جميع النماذج المحللة.

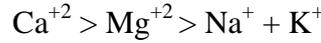
نتائج التصنيف الهيدروكيميائي لنماذج عام 1990 (الشكل 5c) فهي كما يلي:

- 1- تصنف 82 نموذج ضمن مجموعة الكبريتات، واهم عوائلها هي:
  - عائلة كالسيوم – صوديوم – كبريتات – كلوريد، وشغلت 65.1% من النماذج المحللة.
  - عائلة كالسيوم – صوديوم – كبريتات – بيكاربونات، وشغلت 1.2% من النماذج المحللة.
  - عائلة كالسيوم – مغنسيوم – كبريتات – كلوريد، وشغلت 3.6% من النماذج المحللة.
  - عائلة مغنسيوم – صوديوم – كبريتات – كلوريد، وشغلت 1.2% من النماذج المحللة.
  - عائلة صوديوم – كالسيوم – كبريتات – بيكاربونات، وشغلت 3.6% من النماذج المحللة.
  - عائلة صوديوم – كالسيوم – كبريتات – كلوريد، وشغلت 16.6% من النماذج المحللة.
- 2- يصنف نموذج واحد فقط ضمن مجموعة الكلوريد وينتمي إلى عائلة صوديوم – كالسيوم – كلوريد – كبريتات، ويشغل 1.2% من جميع النماذج المحللة.

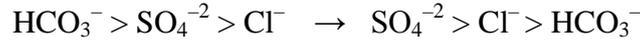
يفسر سبب هذا التباين كميًا بزيادة أيون الكلوريد والصوديوم المنقول نتيجة لسقوط الأمطار في المنطقة وذوبان الثلوج وترشحها إلى جوف الأرض. كما أن التغيرات الحاصلة في نوعية مياه منطقة الدراسة بين المواقع المختلفة تعزى إلى الاختلاف في أعماق نماذج المياه الجوفية، حيث إن عمق الآبار في المنطقة يصل إلى 98.4 م عند ضفة النهر اليمنى وإلى حوالي 89.27 م عند ضفة النهر اليسرى والتي قد تكون مختلطة من أكثر من مكمن مائي أو عدم التجانس الصخري للمكمن المائي مما ينعكس على زيادة الذوبان النسبي لبعض الأيونات مؤدياً إلى هذا الاختلاف. إلا أن التباين بين نوعية المياه الجوفية خلال الأعوام الثلاثة سببه الرئيسي هو عملية سحب المياه الجوفية من المكمن المائي لخفض مناسبتها للمباشرة في بناء أسس السد مما أدى إلى زيادة حركة المياه الجوفية وإذابة الصخور كالمتبخرات والهالايت وأملاح الكبريتات نتيجة لزيادة الاحتكاك ما بين المياه والصخور المماسية، وقد يكون السبب قلة الأمطار المغذية لهذه الخزانات خلال عامي 1989 و 1990.

## ■ تصنيف بايبر (Piper, 1944)

حسب تصنيف Piper (1944)، (الأشكال 6، 7 و 8) فإن جميع النماذج الواقعة عند ضفتي النهر اليمنى واليسرى تبين وجود نسبة عالية من أيون الكالسيوم تفوق تراكيزه بقية الأيونات الموجبة، كما إن تركيز أيون المغنسيوم أعلى من تركيز أيون الصوديوم والبوتاسيوم، أي أن:



من ملاحظة مثلث الأيونات السالبة نستنتج إن نماذج المواقع القريبة من النهر عند الضفة اليسرى تبين وجود تراكيز عالية من أيون البيكاربونات التي تقل كلما ابتعدنا عن النهر حيث تزداد نسبة أيون الكبريتات وأيون الكلوريد، أي إن:



(في المواقع البعيدة من النهر) (في المواقع القريبة من النهر)

إن سبب زيادة تركيز أيون الكبريتات في المناطق البعيدة عن النهر هو ذوبان الجبس الموجود في المنطقة. أما نماذج الضفة اليمنى فيلاحظ فيها زيادة تركيز أيون البيكاربونات في المنطقة التي يكثر فيها تأثير ظاهرة التخسف كما في الآبار RBH-7، RBH-8، RBH-27 و RBH-28.

		HCO <sub>3</sub>		SO <sub>4</sub>		Cl	
		Cl	SO <sub>4</sub>	HCO <sub>3</sub>	Cl	SO <sub>4</sub>	HCO <sub>3</sub>
Ca	Mg		79	33	5		
	Na + K				1		
Na + K	Ca						
	Mg						
Mg	Ca						
	Na + K						

Ca – SO<sub>4</sub> = 39 samples  
Ca – HCO<sub>3</sub> = 79 samples

(a) التصنيف الهيدروكيميائي للمياه الجوفية لعام 1988

		HCO <sub>3</sub>		SO <sub>4</sub>		Cl	
		Cl	SO <sub>4</sub>	HCO <sub>3</sub>	Cl	SO <sub>4</sub>	HCO <sub>3</sub>
Ca	Mg						
	Na + K			15	60		
Na + K	Ca			3	26	1	
	Mg						
Mg	Ca						
	Na + K		1				

Ca – SO<sub>4</sub> = 75 samples  
Na – SO<sub>4</sub> = 29 samples  
Mg – HCO<sub>3</sub> = 1 sample  
Na – Cl = 1 sample

(b) التصنيف الهيدروكيميائي للمياه الجوفية لعام 1989

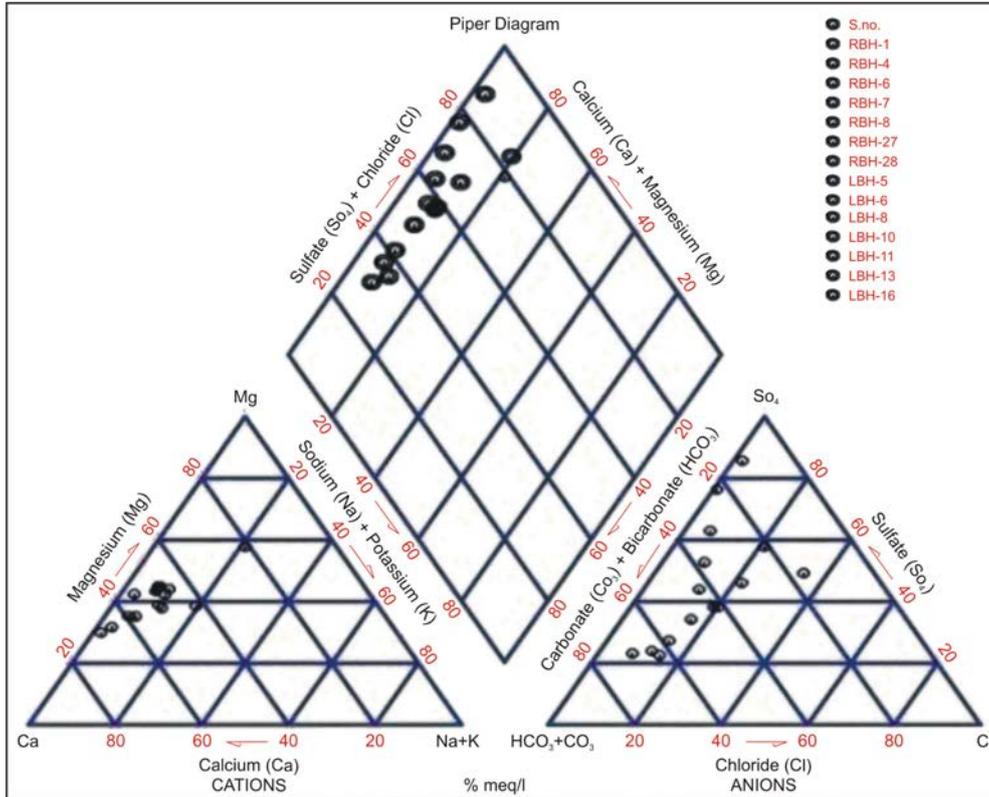
		HCO <sub>3</sub>		SO <sub>4</sub>		Cl	
		Cl	SO <sub>4</sub>	HCO <sub>3</sub>	Cl	SO <sub>4</sub>	HCO <sub>3</sub>
Ca	Mg				3		
	Na + K			1	54		
Na + K	Ca			3	20	1	
	Mg						
Mg	Ca						
	Na + K				1		

Ca – SO<sub>4</sub> = 58 samples  
Mg – SO<sub>4</sub> = 1 sample  
Na – SO<sub>4</sub> = 23 samples  
Na – Cl = 1 sample

(c) التصنيف الهيدروكيميائي للمياه الجوفية لعام 1990

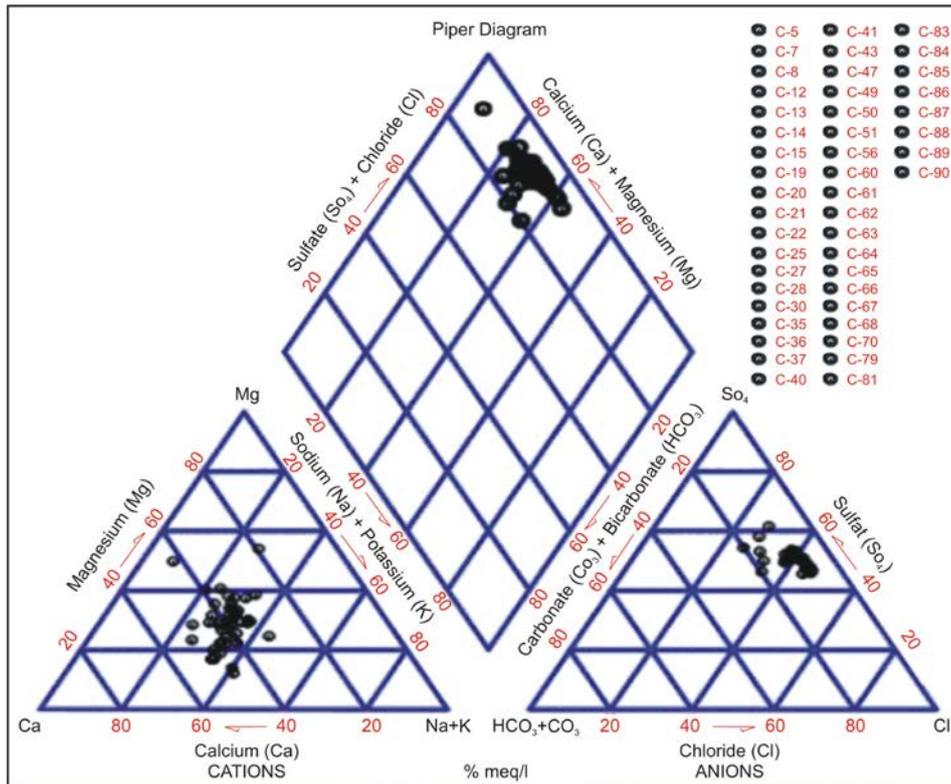
شكل 5 (a، b و c): يبين مخطط التصنيف الهيدروكيميائي لـ Vostroknutov للأعوام الثلاثة 1988، 1989 و 1990

ان تغاير نوعية المياه خلال السنوات الثلاث واضح (الأشكال 6، 7 و 8)، حيث تتغير المياه الجوفية في ضفة النهر اليميني خلال عامي 1989 و 1990 من مياه ذات عسرة كاربوناتية تزيد على 50%، إلى مياه تكون فيها الأيونات الموجبة والسالبة لا تزيد على 50%، ويعزى سبب الاختلاف بصورة رئيسية إلى بدء عمليات ضخ وسحب المياه مما أدى إلى تغيير كيميائية المياه الجوفية في المنطقة نتيجة لزيادة حركتها وسرعتها وذوبان الصخور المماسة لها.

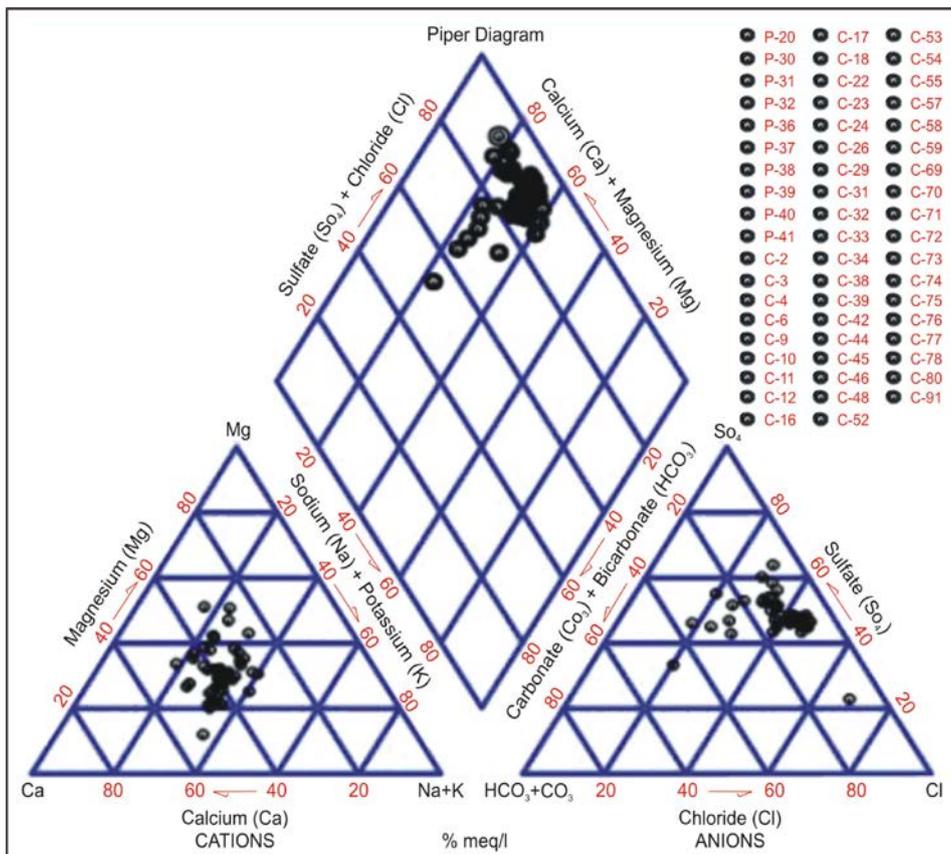


شكل 6: التمثيل الثلاثي لنتائج تحليل المياه الجوفية لعام 1988 بطريقة Piper (1944)

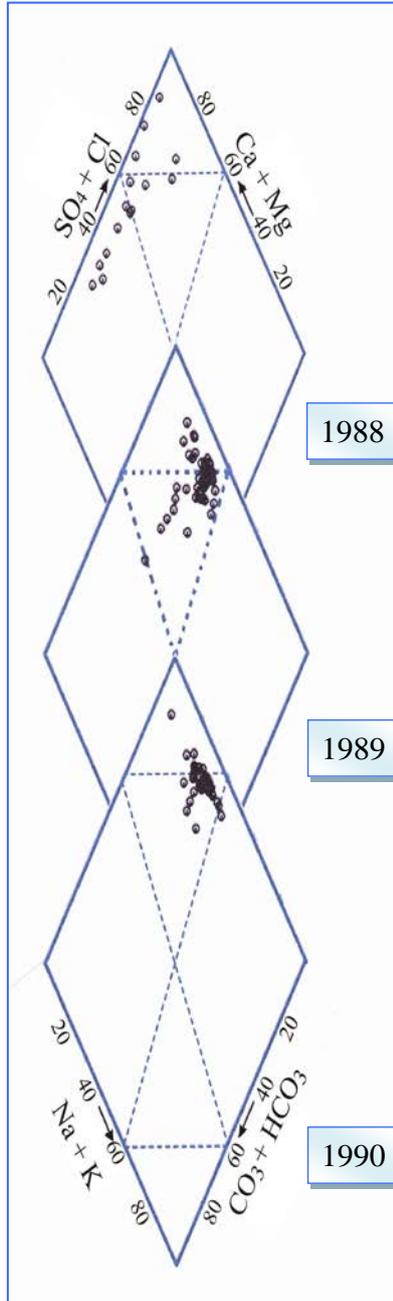
من ملاحظة الشكل المعيني (الشكل 9) الذي يصنف النماذج المائية حسب التركيب الكيميائي لها من حيث التشابه والاختلاف بالتركيز النسبي للأيونات الموجبة والسالبة الرئيسية، لوحظ أن معظم النماذج المائية (حوالي 60%) لعام 1988 تكون فيها العسرة الكاربوناتية 50% وهذا يعني أن الخواص الكيميائية للمياه الجوفية تسيطر عليها القلوويات الترابية والحوامض الضعيفة، وبعض النماذج (حوالي 20%) تكون نسبة كل من الأيونات الموجبة والسالبة فيها لا تزيد على 50%، والعدد المتبقي من النماذج (20%) تكون عسرتها غير الكاربوناتية أي الملوحة الثانوية تزيد على 50%. أما خلال عامي 1989 و 1990 فإن معظم النماذج (حوالي 92%) من نماذج عام 1989 و 75% من نماذج عام 1990 تكون فيها نسبة كل من الأيونات الموجبة والسالبة لا تزيد عن 50% وبقيّة النماذج من العامين تكون فيها العسرة غير الكاربوناتية 50%.



شكل 7: التمثيل الثلاثي لنتائج تحليل المياه الجوفية لعام 1989 بطريقة Piper (1944)



شكل 8: التمثيل الثلاثي لنتائج تحليل المياه الجوفية لعام 1990 بطريقة Piper (1944)



— تحليل السحنات الهيدروكيميائية باستخدام المثلثات المتساوية الأضلاع في تصنيف (Piper 1944): تعرف السحنات الهيدروكيميائية بأنها أنظمة معلمة ومحددة بتركيز أيونية (موجبة وسالبة) معينة تعكس نوعية المياه من خلال التقاءها في التقسيمات الثانوية للشكل المعيني في تصنيف باير (الأشكال 6، 7 و 8). لقد صنفت نماذج عام 1988 بمثلث الأيونات الموجبة ضمن سحنة نوع الكالسيوم، وفي مثلث الأيونات السالبة صنفت معظم النماذج (71.4%) ضمن سحنة البيكربونات و 28.6% من النماذج صنفت ضمن سحنة الكبريتات، كما تبين من الشكل المعيني ان 28.6% من النماذج تتكون بصورة رئيسية من Mg + Ca و 41.3% تحتوي على الـ Na + K في نسبة قليلة من النماذج إضافة الى احتوائها على Mg + Ca و 57.1% من النماذج تتكون بصورة رئيسية من Ca + Na + K ونسب لا بأس بها من الـ Na + K. في حين تكون نماذج عامي 1989 و 1990 ذات سحنات هيدروكيميائية متشابهة لكنها مختلفة عن نماذج عام 1988 السابقة الذكر، فأكثر نسبة من النماذج للعامين المذكورين لا ينضم الى نوع معين من الأنواع الأيونية الموجبة، نتيجة لحصول الخلط فيها. أما في مثلث الأيونات السالبة، فإن 68% من النماذج لعام 1989 و 96% من نماذج عام 1990 يصنف ضمن سحنة الكبريتات، و 30% من نماذج عام 1989 و 4% لعام 1990 لا تنضم الى نوع محدد من سحنات الأيونات السالبة، و 2% من نماذج عام 1989 تقع ضمن سحنة الكلوريد (الشكل 9).

يتضح من التقسيمات السابقة وتقسيمات الشكل المعيني وجود زيادة في تركيز أيوني Na + K خلال عامي 1989 و 1990 نسبة إلى أيون الكالسيوم في نماذج عام 1988. أما في مثلث الأيونات السالبة فيلاحظ الزيادة في نسبة أيوني الكبريتات والكلوريد في العامين 1989 و 1990 عن أيون  $HCO_3$ . يرجح السبب في ذلك إلى حصول عمليات سحب المياه من الممكن المائي الجوفي وحصول ذوبان لأملح وصخور الكبريتات والكلوريد المماسة للمياه والموجودة في أجزاء من التكوينات الصخرية التي تمر منها المياه المنقولة إلى مكمن جريبي الجوفي عن طريق النضوح خلال الفتحات والتكسرات، حيث إن سرعة المياه الجوفية تبين زيادة في الفترات التي تلي بدء عمليات الضخ، فبعد مرور سبعة أيام من الضخ كانت كما يلي (الكبيسي، 1992):

- على جهة يسار النهر بلغت القيمة 0.3 متر/يوم
- على جهة يمين النهر بلغت القيمة 1.8 متر/يوم

وبعد مرور 154 يوماً من الضخ كانت سرعة المياه الجوفية على جهة يسار النهر 1.1 متر/يوم، أما على جهة يمين النهر فإن سرعة المياه الجوفية أعلى بكثير من الجهة الأخرى وذلك بسبب اتساع تأثير مخروط الانخفاض لمنسوب المياه الجوفية ونتيجة لتأثير النفاذية والانحدار الهيدروليكي القليل نسبياً مقارنة بيسار النهر، فزيادة سرعة المياه تسبب زيادة الاحتكاك بين المياه والصخور الملامسة لها وبالتالي زيادة في الذوبان.

شكل 9: يبين معينات (Piper 1944) للشحنات الثلاث

## المناقشة

إن وجود الكهوف تحت السطحية الواسعة في منطقة سد بادوش ساعد على دوران المياه خلالها، وبالتالي أثر على الصفات الهيدروجيولوجية لمكمن جريبي المائي، فمن خلال هذه الحركة تطورت الكهوف وتوسعت نتيجة التفاعلات الحاصلة بين المياه الجوفية والصخور التي تحويها. تحتوي المياه الجوفية على أيونات  $Ca^{+2}$  و  $HCO_3^-$  كمواذ ذائبة رئيسية وتكون بحالة اتزان مع الكالساييت والدولومايت. إن إذابة الكاربونات في التراكيب الصخرية، خاصة كاربونات الكالسيوم والمغنسيوم تعزى بصورة رئيسية إلى وجود الحوامض الضعيفة في طبقات التربة الحاصلة من ذوبان غاز ثاني أكسيد الكربون ( $CO_2$ ). في حالة المياه غير المشبعة يزداد تركيز الكالسيوم عن المغنسيوم، وبالعكس في المياه المشبعة أو فوق المشبعة قد تفقد جزءاً من الكالسيوم بعملية الترسيب فيقل تركيز الكالسيوم عن المغنسيوم. في حالة كون الأيون السالب الغالب في الماء هو الكبريتات ( $SO_4^{-2}$ ) وتركيز أيون البيكاربونات ( $HCO_3^-$ ) قليل فإن المحدد لتركيز الكالسيوم في الماء هو ذوبان الجبس ( $CaSO_4$ ).

إن تركيز أيون الكالسيوم في المياه الجوفية الاعتيادية يتراوح بين (10 – 100) ملغ/لتر وليس لهذا التركيز تأثيراً على صحة الأحياء عند استخدامه، لكنه يصبح مؤذياً فيما لو وصلت النسبة إلى أكثر من 100 ملغ/لتر (Davis and Dewiest, 1966). وقد تبين إن نسبة تركيز الكالسيوم مقبولة في المواقع البعيدة عن نهر دجلة ولكن تزداد نسبة أيون الكالسيوم كلما اقتربنا من نهر دجلة (في الضفة اليمنى) حتى تصل إلى 118.6 ملغ/لتر، وارتفاعها في المواقع البعيدة عن نهر دجلة (في الضفة اليسرى) حتى تصل إلى 440.9 ملغ/لتر كما هو في الآبار LBH-5، LBH-13 و LBH-16 (الجدول 1). وبصورة عامة يلاحظ ازدياد تركيزه باتجاه خطوط جريان المياه الجوفية وقد يكون السبب الرئيسي في زيادة نسبة هذا الأيون هو نتيجة ذوبان الصخور الكلسية والدولومايتية المكونة للمكمن المائي الجوفي نتيجة للتماس بين المياه والصخور، كما إن سبب زيادة تركيزه في الضفة اليسرى من النهر هو وجود الخزان الجوفي المعلق وطبقة الجبس التي يحتمل ذوبان جزء منها في المياه الجوفية خاصة وإن نسبة أيون الكبريتات تزداد في هذه المواقع أيضاً.

إن نسبة أيون المغنسيوم في المياه الجوفية عادة أقل من نسبة أيون الكالسيوم (Hamil and Bell, 1986)، ويتراوح تركيزه عادة بين (1 – 40) ملغ/لتر، وقد بلغت أعلى قيمة له عند ضفة النهر اليمنى 42.8 ملغ/لتر وفي ضفة النهر اليسرى 62 ملغ/لتر (الجدول 1)، وقد تصل إلى 126.4 ملغ/لتر وكما في البئر LBH-16.

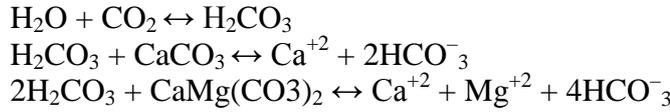
إن ارتفاع قيم أيوني الكالسيوم والمغنسيوم عند ضفتي النهر وبنفس الاتجاه وكذلك الارتفاع الكبير في نسب الأيونين عند موقع البئر LBH-16 يفسر بوجود مكمن جوفي معلق في هذا الموقع، نتيجة لوجود صخور جبسية سميكة ومتكيفة وزيادة عملية ذوبان الصخور الكلسية والجبسية فيه.

يفسر ازدياد تركيز أيون الصوديوم باتجاه جريان المياه الجوفية بكونه يبقى بشكل مستقر في الماء أثناء جريانه من مكان إلى آخر. إن المصدر الرئيسي لأيون الصوديوم هو أملاح كلوريد الصوديوم الموجودة في تكوين الفتحة، والمصدر الثاني له طبقات الطين والصلصال المتداخلة مع طبقات الصخور الكلسية والدولومايتية المكونة لمكمن جريبي المائي الجوفي. كما أن تغلغل مياه الأمطار إلى المكمن الجوفي من خلال الحفر البالوعية حاملة معها نسبة عالية من الصوديوم قد تكون سبب زيادة نسبة الأيون في المياه الجوفية. وأيون البوتاسيوم قد ينتج من تجوية المعادن التي تحويه والموجودة في التربة.

إن مصدر أيون الكلوريد في منطقة سد بادوش هو المتبخرات التي تحوي ترسبات كلوريد الصوديوم، حيث قد يحصل تبادل أيوني بين المياه المترشحة إلى المكمن المائي الجوفي والأيونات الموجودة في طبقات الطين والصلصال التي تمر عبرها المياه مما يجعلها حاملة لأيون الكلوريد. أظهرت نتائج تحاليل النماذج المائية اختلافات واسعة في تركيزه في المواقع المختلفة ويزداد تركيزه نتيجة لحصول عمليات الإذابة وترشيح مياه الأمطار وذوبان التلوج، ولا يمكن أن يصبح الأيون السالب الرئيسي بسبب زيادة تركيز أيون الكبريتات نسبة إلى الكلوريد في معظم التراكيب.

إن نماذج المواقع عند ضفة النهر اليمنى (RBH-7، RBH-8، RBH-27 و RBH-28) (الشكل 2) تمثل مناطق التخسف وتبين ارتفاعاً في قيم أيون البيكاربونات (الجدول 1) أكبر من النماذج المائية الأخرى للمواقع خارج تلك المنطقة، مما يدل على إن ذوبان الصخور الكلسية هو السبب في ارتفاع قيمها. يلاحظ في ضفة النهر اليسرى إن أقصى مقدار لهذا الأيون وجد في النماذج المائية لموقع LBH-11 ثم يليه الموقع LBH-16 على الرغم من أن نوعية المياه في هذين الموقعين كبريتية وتأتي زيادة تركيزه نتيجة لذوبان الجبس بصورة رئيسية.

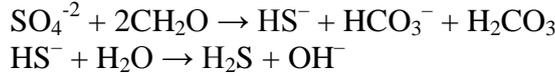
نتيجة لما سبق من الممكن حصر أهم التغيرات الحاصلة في كيميائية المياه الجوفية لمنطقة الدراسة كآلاتي:  
 - تفاعل حامض الكربونيك مع الصخور الكربوناتيّة في الممكن المائي الجوفي تاركا أيونات  $Ca^{+2}$ ،  $Mg^{+2}$  و  $HCO_3^-$  ذائبة في المحلول.



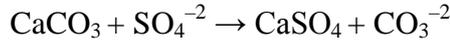
- إذابة الجبس وإعطاء أيونات  $Ca^{+2}$  و  $SO_4^{-2}$



- اختزال أيونات الكبريتات بوجود البكتريا وقد يزال الـ  $HS^-$  بتفاعلها مع أيون الهيدروجين في الماء لإنتاج  $H_2S$ .



- إضافة أيون  $Cl^-$  من خلال ذوبان معدن الهاليت أو الطفل أو خلال انتقاله مع ماء المطر المترشح.  
 - تفاعل كربونات الكالسيوم مع أيونات الكبريتات الذائبة في الماء والآتية من ذوبان الجبس مكونة  $CaSO_4$  تاركا أيونات الكربونات ذائبة في المحلول.



- حصول عملية الدلمتة وتحول الصخور الكلسية إلى دولومايت.

نتيجة للتفاعلات المذكورة سابقا، تميزت المياه الجوفية بنوعيتين رئيسيتين هما:  $Ca - HCO_3$  و  $Ca - SO_4$ ، وفي مناطق معينة عند ضفة النهر اليسرى حصل خلط ما بين المياه الكربوناتيّة والمياه الكبريتيّة.

#### الاستنتاجات

- تعد الأمطار المصدر الرئيسي لتغذية المياه الجوفية، حيث أن معظم الأمطار الساقطة والمياه الناتجة من ذوبان الثلوج تجري على سطح الأرض وتصب في نهر دجلة وجزءا منها يترشح إلى جوف الأرض عبر مناطق التكتشفات الصخرية والتكسرات والفتحات ومناطق وجود التخسفات، مغذيا المياه الجوفية.
- تعد ظاهرة التكيف من أكثر العوامل المسيطرة على المياه الجوفية، إضافة إلى وجود الحفر البالوعية والكهوف نتيجة لدوران المياه بنظام مغلق وذوبان الصخور المماسة لها، خاصة الصخور الكلسية والدولومايتية والجبسية، وقد سجلت تكهفات التخسف في عدة مواقع منها الآبار 1-RBH، 2-RBH، 9-LBH و 13-LBH.
- من صفات ومميزات هيدروجيولوجية التخسف وجود تسرب وترشيح عال للمياه داخل الأرض وجريان سطحي قليل، لذا يلاحظ أن كثافة التصريف السطحي تكون قليلة بينما التصريف إلى داخل الأرض يكون عاليا مما يضيف أنواعا أيونية مختلفة ومتعددة ويزيد من التغذية المائية.
- تعرضت الوحدات الصخرية إلى عدة تغيرات تحويرية جيوكيميائية مؤثرة على تركيب الأيونات الرئيسية الموجودة فيها وأهم هذه التغيرات هي: التبادل الأيوني وهروب غاز ثاني أكسيد الكربون من التربة واختزال الكبريتات بالطرائق البايوكيميائية وتأكسد المعادن الكبريتية والإحلال وإعادة التبلور والإذابة والدلمتة وإعادة الدلمتة.
- تم تحديد نوعين من المكامن المائية الجوفية في تكوين جريبي، أحدهما من النوع المحصور الذي يحتوي ضمنا على عدة مكامن مائية شبه محصورة في صخور الجريبي الدولومايتية والكلسية المتكيفة التي تتخللها الطبقات الصلصالية بشكل عدسات تعمل كطبقات صماء بين تلك المكامن شبه المحصورة، وتتصف بكونها متصلة هيدروليكيًا لذا اعتبر المكنم الجوفي المحصور بأنه مكنم متعدد. أما المكنم الجوفي الآخر فهو معلق ذو امتداد محدود في ضفة النهر اليسرى وتحده من الأسفل طبقة من الجبس.
- في عدة مناطق قريبة من الضفة اليسرى القريبة لنهر دجلة وعند مناطق تكشف تكوين الجريبي يتغير المكنم من حالة الخزان المحصور إلى غير المحصور.

- تبين عدم وجود تأثير كبير لنهر دجلة في الممكن الجوفي أو بالعكس، لكون المياه الجوفية محصورة بطبقة صلصالية صماء تمثل صخور قاع النهر، غير أن في الضفة اليسرى من النهر وفي أعلى النهر يلاحظ أن خطوط تساوي الجهد موازية إلى حافة النهر مما يدعو إلى الاعتقاد أن النهر يغذي الممكن الجوفي لمسافة قصيرة جداً.
- في اتجاه أسفل النهر (Down stream) تكون خطوط تساوي الجهد غير متوازية مع حافة النهر، فالممكن الجوفي يغذي النهر وقد يعزى هذا إلى وجود مكامن معلقة في المنطقة فوق طبقة الجبس والصلصال التي تعود إلى تكوين الفتحة.
- تبين إن أيونات الكالسيوم والبيكاربونات والكبريتات لها أعلى النسب بين جميع الأيونات الموجبة والسالبة لكونها تدخل في تركيب الصخور الكلسية والدولوميتية والجبسية، إضافة إلى وجود الكلس كمادة لاصقة في الصخور الرملية وبقية الترسبات الرملية. كما يلاحظ وجود تفاوت في التراكيز الأيونية بين المواقع المختلفة نتيجة لحصول عمليات التبادل الأيوني وعمليات الإحلال والتفاعلات المختلفة ما بين المياه الجوفية والصخور الملامسة لها، حيث إن درجة تمعدن المياه الجوفية تتحدد من خلال قابلية الإذابة وسيطرة التوازن الكيميائي.
- تتميز المياه الجوفية في المنطقة بنوعين رئيسيين هما:  $\text{Ca} - \text{HCO}_3$  و  $\text{CaSO}_4$  وفي مناطق معينة عند ضفة النهر اليسرى حصل خلط ما بين المياه الكربوناتية والمياه الكبريتية.

### التوصيات

يعتبر وجود الكهوف الواسعة في منطقة البحث من أهم الصفات الهيدروجيولوجية للصخور الكلسية والدولومايت والجبس التي تساعد على دوران المياه خلالها وبالتالي تغيير كيميائيتها بصورة مستمرة مما يعرضها لخطر التلوث، خاصة بعد القيام بأعمال الحفر لعمل السد الذي لم يتم انجازه في تلك المنطقة لذا نوصي بوضع شبكة من آبار المراقبة في المنطقة لرصد كيميائية المياه ونوعيتها.

### المصادر

- الكبيسي، قصي ياسين سلمان، 1992. الخواص الهيدروليكية لممكن المياه الجوفية في منطقة سد بادوش. رسالة ماجستير غير منشورة، كلية العلوم، جامعة بغداد.
- مديرية استثمار المياه الجوفية، 1979. الواقع الهيدروجيولوجي لمحافظة نينوى. تقرير داخلي غير منشور، وزارة الزراعة والإصلاح الزراعي، بغداد.
- Al-Kadhimi, J.M.A., Sissakian, V.K., Sattar, A.F. and Deikran, D.B., 1996. Tectonic Map of Iraq, 2<sup>nd</sup> edit., scale 1: 1000 000. GEOSURV, Baghdad, Iraq.
- Araim, H.I., 1984. Regional Hydrogeology of Iraq, Vol.6. GEOSURV, int. rep. no. 169.
- Bellen, R.C. van, Dunnington, H.V., Wetzel, R. and Morton, D., 1959. Lexique Stratigraphic International. Asie, Fasc. 10a, Iraq, Paris.
- Davis, S.N, and De Wiest, R.J, 1966. Hydrogeology. John Wiley and sons, Inc. New York, London, Sydney, 463pp.
- Energoproject, 1988. Basic design for Badush (1) Dam project, Vol.2, Geology of reservoir area (text). Unpub. Report, Badush Dam project, Mosul, p. 1 – 29.
- Energoproject, 1989a. Summary report, Vol.1, Final design. Badush Dam project, Mosul, p. 1 – 12.
- Energoproject, 1989b. Basic design for Badush (1) Dam project, Vol.2, Geology of reservoir area (text). Unpub. Report, Badush Dam project, Mosul, 29pp.
- Energoproject, 1990. Final Hydrogeological report. Badush Dam project, Mosul, p. 1 – 16.
- Freeze, R.A. and Cherry, J.A., 1979. Ground Water. Prentic Hall Inc., Englewood Cliffs, N.J., 604pp.
- Glasstone, S. and Lewis, D., 1968. Elements of Physical Chemistry. Mc Millan Co. LTD, New York, 758pp.
- Hamil, L. and Bell, F.G., 1986. Ground Water Resource Development. Butterworths, London, 344pp.
- Hem, J.D., 1970. Study and interpretation of the chemical characteristic of natural water, 2<sup>nd</sup> edit. U.S.G.S. water supply paper, 1473, 363pp.
- Hem, J.D., 1985. Study and interpretation of the chemical characteristics of natural water, 3<sup>rd</sup> edit. U.S.G.S. water supply paper, 2254, 263pp.
- Henderson, T., 1984. Geochemistry of groundwater in two sandstone aquifer systems in the Northern Great Plains in parts of Montana, Wyoming, North Dakota and South Dakota. U.S.G.S. professional paper.
- Holmes, G.D., 1962. Introduction to College Geology, 2<sup>nd</sup> edit., Mac Millan Co., New York, 483pp.
- Muhammed, K.I., 1988. Hydrogeology of the Makhmur plain, Northern Iraq. Unpub. Ph.D. Thesis, University of London.
- Parsons, R.H., 1955. Groundwater resources of Iraq, Vol.7. GEOSURV, int. rep. no. 414.
- Piper, A.M., 1944. A Graphic procedure in the geochemical interpretation of water analysis. Translations American Geophysical Union, 25pp.

الوضع الهيدروجيولوجي والهيدروكيميائي لمنطقة سد بادوش، وسط شمال العراق، الفترة ما بين (1988 – 1990)  
شهادة صالح زكي المصلح ونضير عباس الانصاري

- Sissakian, V.K., Hagopian, D.H. and Hassan, E.A., 1995. Geological map of Al-Mosul Quadrangle, sheet NJ-38-13. GEOSURV, Baghdad, Iraq.
- Sweeting, M.N., 1972. Karst Landforms. Macmillan, London, 362pp.
- Toma, M.K., 1992. Geology and geotechnical study of the rock units in Badush Dam area, North Iraq. Unpub. Ph.D. Thesis, University of Baghdad.
- Zobell, G., 1963. Organic Geochemistry. Longmans, London, 3692pp.