

## مصادر الأيونات والعناصر النادرة في مياه نهر الفرات (دراسة إحصائية) بين القائم والبغدادي، غرب العراق

محمد عفان الحمداني<sup>1</sup>، عبد صالح فياض الدليمي<sup>2</sup>، بيان محي حسين<sup>3</sup>،  
سيف الدين عبد الرزاق سالم<sup>3</sup> و ماهر احمد عبد<sup>4</sup>

الاستلام: 2011 / 3 / 14، القبول: 2011/10 / 6  
الكلمات الدالة: العمليات الهيدروكيميائية، بيئة نهريّة، نهر الفرات، بحيرة حديثة، النظام الهيدرولوجي، التلوث

### المستخلص

أنجزت دراسة أصل ومصادر المكونات الكيميائية في مياه نهر الفرات وبحيرة حديثة من القائم إلى البغدادي، غرب العراق في فترتي الزيادة المائية والنقصان المائي للسنة المائية 2007 وفي ستة نقاط مراقبة، بعد تحديد الخصائص الهيدروكيميائية للمياه باستخدام نتائج تحليل 26 متغيراً فيزيو – هيدروكيميائياً، شملت الأيونات الرئيسية والثانوية والنادرة وقياس الحامضية والعسرة والتوصيلية الكهربائية. فسرت الظواهر الهيدروكيميائية المتعلقة بمصادر الأيونات والعناصر النادرة على أساس النتائج الإحصائية لبرنامج Curve Expert v1.3 وتحديد معاملات الارتباط بين المكونات الفيزيوكيميائية للمياه، كما استخدمت نتائج الفروقات المعنوية كأساس لتحديد التغيرات الطارئة على مكونات المياه وعلى طول مجرى النهر، في منطقة الدراسة.

حددت الدراسة التأثيرات الهيدروجيوكيميائية الطبيعية ضمن النظام البيئي لنهر الفرات وبحيرة حديثة، بالإضافة إلى التأثيرات البيئية المرتبطة بالنظام المائي، مثل المياه الجوفية والمياه الراجعة (المجري والمبازل) والتي اعتبرت مصادر محتملة للتلوث في حال تدهور النظام الهيدرولوجي الطبيعي الناتج عن قلة تصريف مياه النهر والتي تزيد تدهوراً نشاطات الإنسان من خلال التحكم بتصريف النهر عبر السدود أو بسبب تفاقم أزمة الجفاف (قلة الأمطار وزيادة التبخر).

أكدت هذه الدراسة مؤشرات مهمة عن وجود مصادر مركبات النتروجين في مياه نهر الفرات وبحيرة حديثة الناتجة بفعل تحلل وتفسخ النباتات المائية والأشنيات وتحولها إلى مواد عضوية مسببة تحول بيئة النهر والبحيرة إلى بيئة اختزالية أسنة في انطقة تباطؤ سرعة المياه وبالتالي نمو وتكاثر الأحياء المجهرية التي تهدد الإنسان في صحته عند استخدام المياه لأغراض الشرب مباشرة. كما عكفت الدراسة على تفسير الظواهر الهيدروجيوكيميائية من خلال مراقبة نمط تذبذب تراكيز العناصر النادرة وعلاقتها باحتمالات التلوث بعد تحديد نسب تراكيزها المضافة إلى مياه النهر والبحيرة على طول مجرى النهر بين القائم والبغدادي.

## SOURCES OF IONS AND TRACE ELEMENTS IN WATER OF THE EUPHRATES RIVER (STATISTICAL STUDY) FROM AL-QAIM TO AL-BAGHDADI, WEST IRAQ

Mohammed A. Al-Hamdani, Abed S. Al-Dulaiymi, Bayan M. Hussien,  
Saifeldeen A. Salem and Maher A. Abed

### ABSTRACT

The study of sources and origin of the hydro-chemical constituents in the Euphrates River and Haditha Lake from Al-Qaim to Al-Baghdadi, west Iraq was performed by regime observation in six stations during the water surplus and deficit periods of 2007 water year.

<sup>1</sup> وزارة التعليم العالي والبحث العلمي، المستشار الثقافي، أنقرة

<sup>2</sup> جامعة الأنبار، مركز دراسات الصحراء، مدير المركز. e-mail: desert\_anbar@yahoo.com

<sup>3</sup> جامعة الأنبار، مركز دراسات الصحراء

<sup>4</sup> جامعة الأنبار، كلية الزراعة، مدرس

The hydro-chemical properties of the Euphrates River and Haditha lake waters are determined, using the analysis results of 26 physico – chemical variables including major, minor and trace elements, acidity, hardness and electrical conductivity. The interpretation of the hydro – chemical phenomena are achieved according to statistical results of Regression Stat. Program (Curve Expert v1.3), calculating the correlation coefficients among the physico – chemical components of the water.

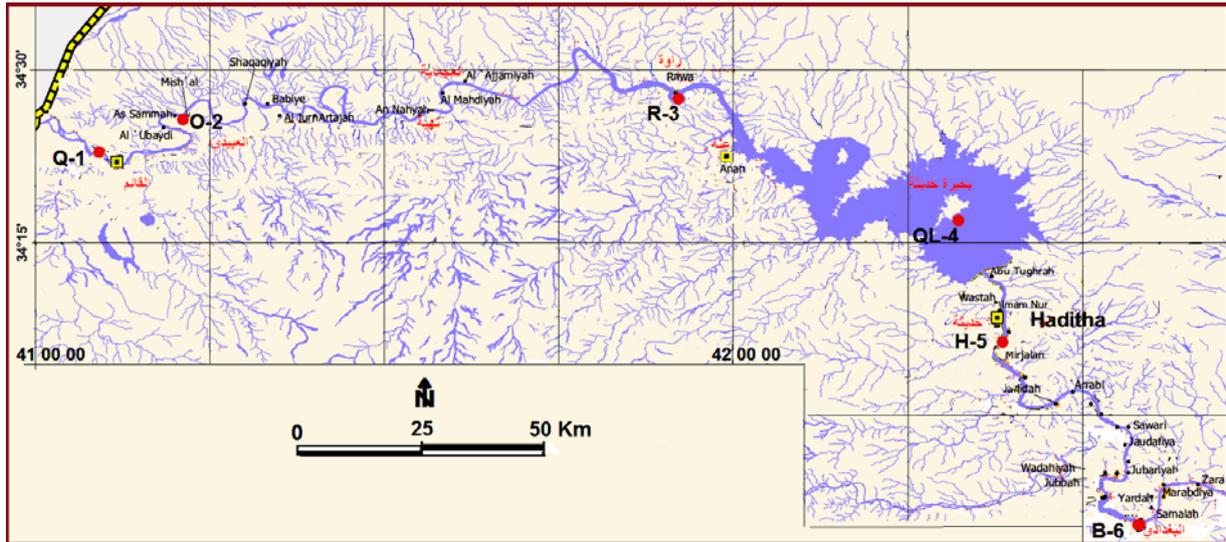
The hypothetical statistic (significant level) and significant difference results were used to determine the variations in water components along the Euphrates river valley. The study also determined the natural hydro – geochemical effectiveness within the Eco-system of Euphrates River and Haditha lake, to prove and reaches the other related environmental effectiveness, which affect the hydrologic system; such as ground water, waste water and irrigation drained water.

The environmental effectiveness are considered as a probable source for pollution in case of hydrologic system deterioration, which is increased by man activities through inadequate controlled process in river discharge across the gates of dams or caused by Draught Crises results from low rainfall and high evaporation. The study indicated a source case of Nitrogen species, such as nitrite and ammonium ions, resulted by the process of putrefaction, which affects the environment of water plants in the river and lake to the reduction case, causing the increasing of organic sludge in the bed load sediments, which became a good environment for living of micro organisms; then causing the life of human in danger, when using the water directly without treatment. The hydro – geochemistry of trace elements is examined to approach the probable pollution throughout the additional concentration percent along the river between the monitoring points, from Al-Qaim through Al-Baghdadi.

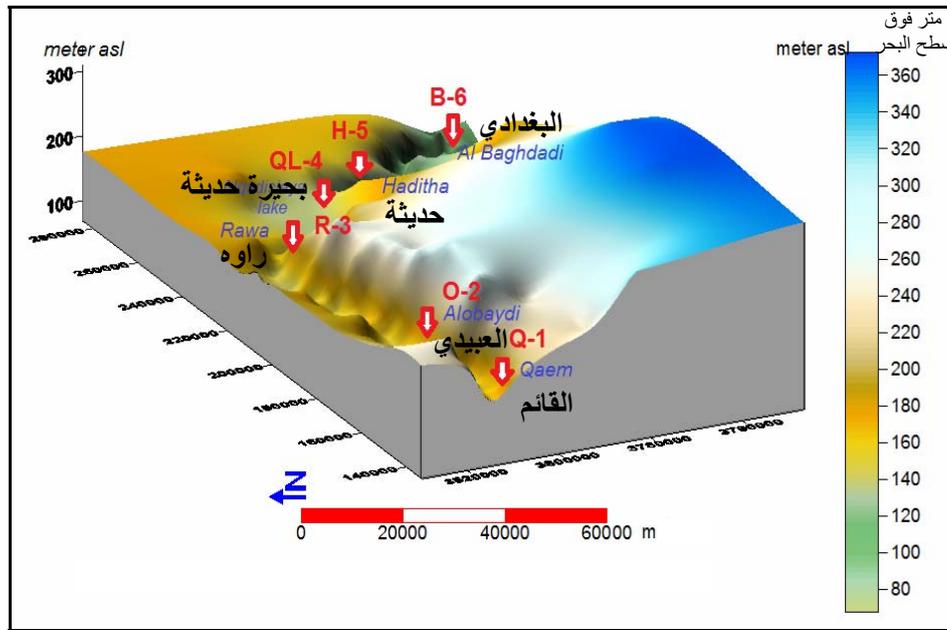
## المقدمة

يهدف هذا البحث إلى تحديد المصادر الطبيعية وغير الطبيعية للمكونات الهيدروكيميائية (الأيونات والعناصر النادرة) في مياه نهر الفرات وبحيرة حديثة بين القائم والبغدادي، غرب العراق ضمن النظام الهيدرولوجي الفرعي الأول (First Hydrologic subsystem) وبداية النظام الهيدرولوجي الفرعي الثاني، استناداً إلى التحليل الإحصائي المتمثل بتحديد درجة وعلاقة الارتباط بين المكونات واستخدام نتائج نسب الفروق المعنوية ومستوياتها في التفسير والتي تستند على قواعد إيجاد الفرق في تراكيز المكونات بين 6 نقاط مراقبة وفق مبادئ الأنظمة الهيدرولوجية الداخلة إلى والخارجة من النظام، في فترتي الزيادة والنقصان المائي للسنة المائية 2007، ولستة وعشرين متغيراً فيزيو – كيميائياً. إذ تم التقاط النماذج المائية من المواقع المثبتة سلفاً (الشكل 1) بواسطة قناني بلاستيكية وباستخدام الطرق التقليدية لتحضير وتجهيز القناني بعد غسلها بالماء المقطر قبل عملية الغسل بماء النموذج، ومن ثم تسجيل المعلومات الحقلية وإجراء التحليل الكيميائي في المختبرات المتخصصة. وقد شملت المراقبة محطات الرصد في القائم (Q-1) والعبيدي (O-2) وراوة (R-3) وبحيرة حديثة (QL-4) وحديثة (H-5) والبغدادي (B-6) (الملحقين 1 و 2، نتائج التحاليل الكيميائية للنماذج).

يشق نهر الفرات مجراه باتجاه عام غرب – شرق بين القائم وسد حديثة في أراضي يتراوح ارتفاعها بين (110 – 163) م فوق سطح البحر وبمعدل انحدار قدره 26 سم/ كم شرقاً، وتحدها من الضفتين هضبة متموجة يتراوح ارتفاعها بين (200 – 300) م فوق سطح البحر (الشكل 2). يصبح مجرى نهر الفرات جزءاً من بحيرة سدة حديثة ضمن المنسوب الطبوغرافي بين (110 – 147) م فوق سطح البحر. تصب في هذا النظام مجموعة وديان موسمية متوازية النمط باتجاه عام (جنوب – شمال) ذات طاقة تصريف واطئة وعلى جانبي النهر، وأهمها وادي المانعي والقائم وعكاشات والرطكة وجباب والخزكة والغصير والفحيمي، وتصب مياه وادي صواب في نهر الفرات ضمن الحدود السورية، بينما يشق النهر مجراه بالاتجاه الجنوبي الشرقي (S55° E) بين سد حديثة والبغدادي في أراضي يتراوح ارتفاعها بين (70 – 100) م فوق سطح البحر وبمعدل انحدار قدره 37 سم/ كم ضمن هضبة يتراوح ارتفاعها بين (100 – 200) م فوق سطح البحر. تصب في هذا الجزء مجموعة وديان موسمية ذات طاقة تصريف متباينة وعلى ضفتي النهر وينمط تصريف متوازي تجري باتجاه الشرق والشمال الشرقي ومنها وادي حجلان وزغيدان وبنات الحسن وحروران. وأهم ما يميز هذه الأودية إنها تعتبر مناطق تصريف للمياه الجوفية وعلى شكل ينابيع معدنية ذات تراكيز مختلفة من الأيونات والعناصر والمواد الهيدروكاربونية لها تأثير بيئي على مياه نهر الفرات.



شكل 1: خريطة مواقع المحطات المراقبة ضمن منطقة الدراسة



شكل 2: الموديل الطبوغرافي ثلاثي الأبعاد لنهر الفرات بين القائم والبغدادي

تراوحت المعدلات السنوية ولسبعين سنة (Al-Hamdani *et al.*, 2010) لدرجات الحرارة والأمطار والتبخير في منطقة الدراسة (القائم - حديثة) و (حديثة - البغدادي) بين (20 - 18)° و (22 - 20)° م و (150 - 125) ملم و (125 - 100) ملم، بين (1900 - 1600) ملم، (1900 - 2000) ملم، على التوالي.

استناداً إلى التقسيم البنوي، فإن مجرى نهر الفرات في أعالي النهر يقع ضمن كتلة عنة التي تحدها من الجنوب كتلة الكعرة العائدة إلى النطاق الغربي (Western Zone). واستناداً إلى المعلومات التركيبية فإن مجرى النهر يأخذ اتجاه عام مع اتجاه نظام فوالق NW - SE (Najid Fault System) المتمثلة بفالق (رمادي - مسيب) ويمكن تحديده تأثيره عند نطاق بحيرة حديثة (Buday and Jassim, 1987)، كما يتأثر مجرى نهر الفرات بنظام الفوالق المستعرضة (Transversal Fault System) المتمثلة بفوالق عنة - قلعة دزة الذي يتضح تأثيره في مناطق أعالي النهر. كما يظهر تأثير فالق أبو جبر على مجرى النهر عندما يتقاطع مع فالق (رمادي - مسيب) في شمال حديثة وبحيرة حديثة، حيث يغير

النهر مجراه من غرب - شرق إلى شمال غرب - جنوب شرق. ومن أهم الطيات المؤثرة في اتجاه مجرى النهر (شرق - غرب) هي طية عنة غير المتناظرة بين مدينتي عنة والقائم (Fouad, 2007).

تتكشف صخور الأوليجوسين والمايوسين وترسبات العصر الرباعي في حوض النهر وعلى النحو الآتي (Sissakian and Mohammed, 2007):

— **صخور الأوليجوسين:** تتكشف صخور الأوليجوسين في بعض أجزاء الجانب الأيمن من مجرى نهر الفرات في مقاطع الوديان وفي لب طية عنة (بين عنة وراوة). وتكوينات الأوليجوسين المتكشفة هي: **تكويني شيخ علاس وشوراو** ويتكشفان في منطقة مكر الذيب ووديان صواب وعكاش وهوران. **تكوين بابا** ويتكشف على مجرى الفرات في منطقة التقاء وادي الفحيمي والخشخاش، كما يتكشف في وادي خزكة ضمن طية عنة. **تكوين عنة** ويتكشف في طية عنة وقربة نهاية على نهر الفرات ويظهر في منطقة الحقلانية وفي بعض أجزاء الجانب الأيمن من مجرى نهر الفرات في مقاطع الوديان مثل وادي حوران وكذلك الحافات العميقة لمجرى النهر بين حديثة والبغداد.

— **صخور المايوسين:** تغطي صخور المايوسين النسبة العظمى من مساحة منطقة الدراسة والتي تتألف من **تكوين الفرات** (المايوسين الأسفل)، وتغطي مساحة على شكل شريط موازي لجنوب نهر الفرات يتراوح من (15 - 50) كم عرضاً، وعلى الجانب الأيمن من مجرى النهر بين حديثة والبغداد. **تكوين الغار** (المايوسين الأسفل)، ويظهر بين وادي حوران والحدود السورية وفي وادي الرطكة بعيد عن مجرى نهر الفرات. **تكوين النفايل** (المايوسين الأوسط) ويتكشف في جنوب المناطق المغطاة بتكوين الفرات. **وتكوين الفتحة** (المايوسين الأوسط) ويتكشف في الجانب الأيسر من بحيرة سد حديثة ومنطقة العبيدي (Sissakian, 2000).

— **ترسبات العصر الرباعي:** وتشمل ترسبات البلايستوسين المبكر والأوسط والمتأخر والهولوسين وتظهر في مقاطع على جانبي نهر الفرات وتشمل ترسبات المدرجات النهرية المتألفة من الرمل الحصى والمدملكات، بالإضافة إلى الرسوبيات الفيضية وأكتاف النهر وترسبات الوديان والسباح.

يعتبر نهر الفرات نطاق تصريف المياه الجوفية في الجانب الأيمن من مجرى النهر وعلى المنسوب (110 - 165) م فوق سطح البحر، بين حديثة والقائم مع توفر ظروف خزن الضفاف، إذ تمتزج المياه الجوفية مع مياه بحيرة حديثة أو النهر، وفي الأجزاء الشريطية المحاذية لهما. أما اتجاه حركة المياه الجوفية فهو شمال - شمال شرق (NNE) بين حديثة والقائم (Al-Hamdani et al., 2010)، وهو نطاق تصريف للمياه الجوفية المتحركة في الجانب الأيسر من مجرى نهر الفرات وعلى المنسوب (130 - 150) م فوق سطح البحر، بين سد حديثة والقائم. أما اتجاه حركة المياه الجوفية شمال نهر الفرات فهو إلى الجنوب الغربي في مناطق سبخة أبو - غارس وإلى الجنوب في مناطق غرب راوة. كما يكون نهر الفرات نطاق تصريف للمياه الجوفية في الجانب الأيمن والأيسر من مجرى النهر وعلى المنسوب (70 - 95) م فوق سطح البحر، بين البغداد وحديثة. أما في الجانب الأيمن، فإن اتجاه حركة المياه الجوفية يكون شرق - شمال الشرق (ENE)، وباتجاه الجنوب الشرقي وشرق الجنوب في الجانب الأيسر من النهر، وهذه الاتجاهات مطابقة لاتجاهات تصريف المياه السطحية في الوديان.

تتراوح قيم المواد الذائبة الكلية (TDS) في المياه الجوفية وعلى جانبي مجرى نهر الفرات بين (3000 - 4000) جزء من مليون جزء للمنطقة بين القائم وحديثة. ونوعية المياه الجوفية في الضفة اليسرى من مجرى النهر هي مياه صوديوم أو كالسيوم؛ كلوريد سلفاتية (Na; Cl - sulphate أو Ca; Cl - sulphate). وفي الضفة اليمنى من النهر هي مياه صوديوم أو كالسيوم، بيكربونات كلوريدية (Ca; HCO<sub>3</sub> - chloride أو Na; HCO<sub>3</sub> - chloride) (Hussien, 2010). بينما تتراوح قيم المواد الذائبة الكلية (TDS) في المياه الجوفية وعلى جانبي مجرى نهر الفرات بين (3000 - 6000) جزء من مليون جزء بين حديثة والبغداد. نوعية المياه الجوفية في الضفة اليسرى من مجرى النهر هي مياه صوديوم أو كالسيوم؛ كلوريد سلفاتية (Na; Cl - sulphate أو Ca; Cl - sulphate). وفي الضفة اليمنى من النهر هي مياه صوديوم أو كالسيوم، بيكربونات كلوريدية (Ca; Cl - sulphate أو Na; HCO<sub>3</sub> - chloride أو Ca; HCO<sub>3</sub> - chloride) (Araim, 1990).

إن معدل تصريف مياه نهر الفرات الداخل إلى العراق في حصيبة وللفترة من عام 1970 ولغاية 2000 بلغ 951 م<sup>3</sup>/ثا وقد بلغ المعدل السنوي لتصريف نهر الفرات في حديثة وللفترة ذاتها حوالي 904 م<sup>3</sup>/ثا، أي بفاقد مائي ضمن النظام الأول نسبته 4.9%، حصيلة التغير الناتج من التبخر والأمطار والاستخدامات المختلفة والخزن في بحيرة حديثة، بعد إنشاء السد.

## النتائج والمناقشة

## ■ الخصائص الهيدروكيميائية

— الحامضية: تصنف مياه نهر الفرات الداخلة عبر الحدود السورية - العراقية ضمن النظام الأول في فترة الزيادة المائية للعام 2007 في نقطة المراقبة Q-1 (نقطة الدخول، القائم) ونقطة المراقبة Ha-5 (حديثة) على إنها مياه قليلة القاعدية (pH = 7.4) و (pH = 7.3)، على التوالي (الجدول 1). في حين كانت المياه قليلة القاعدية في بداية النظام الثاني (pH = 7.3) منتهية بمياه متعادلة الحامضية (pH = 7.1) في نقطة المراقبة B-6 في البغدادي.

أما في فترة النقصان المائي، فإن مياه نهر الفرات الداخلة إلى النظام الأول في نقطة المراقبة Q-1 تصنف على إنها مياه قليلة القاعدية (pH = 7.3) تنتهي بحيرة حديثة ذات المياه معتدلة الحامضية (pH = 7.0)، عند نقطة المراقبة QL-4. في حين تعتبر المياه الخارجة من النظام الأول إلى النظام الثاني عبر بوابات سد حديثة مياه معتدلة (pH = 7.0) لتعود وتحمل صفة المياه قليلة القاعدية (pH = 7.5)، في نقطة المراقبة B-6 في البغدادي.

إن سبب تحول المياه قليلة القاعدية إلى أقل قاعدية هو المخزون المائي في بحيرة حديثة الذي يلعب دوراً مهماً في عملية الاستقرار الهيدروكيميائي، حيث تتميز الخزانات المائية السطحية باستيعابها للمكونات الكيميائية من المياه الداخلة خلال العمليات الهيدروجيوكيميائية المتمثلة بميكانيكية الانتشار، فضلاً عن ميكانيكية الامتزاج. أما أسباب تحول المياه إلى الأكثر قاعدية في مجاري النهر فإنها تعود إلى فعاليات الإذابة التي تقوم بها المياه لقاع ووظائف النهر والتي تضيف نسب من تراكيز  $\text{HCO}_3$  إلى تراكيز الأيونات السالبة (Langmuir, 1997)، خصوصاً وأن مجرى نهر الفرات يقع ضمن الطبقات الجيرية للتكوينات الجيرية المختلفة. كما إن لنظام الجريان وسرعة حركة المياه دور في إذابة بعض الغازات المؤثرة في حامضية المياه، مثل ثنائي أكسيد الكربون ضمن ظروف مناخية محددة لحرارة الجو والمياه، بالإضافة للنباتات المائية التي لها دور في تزويد المياه بهذه الغازات من خلال عمليات التركيب الضوئي والتنفس، مضافاً إليها تراكيز المواد الكيميائية من خلال المياه الراجعة والمستعملة من قبل الإنسان عبر مياه المجاري على طول خط الجريان.

— درجة حرارة المياه: تصنف مياه نهر الفرات في النظام الهيدرومترولوجي الأول والثاني في فترة الزيادة المائية ضمن المياه الباردة (Cold Water) استناداً إلى تصنيف (Laboutka 1974)، إذ بلغت درجة حرارة المياه بين (10 – 13)°م و (11 – 12)°م، على التوالي. بينما تصنف مياه النهر في النظامين الأول والثاني في فترة النقصان المائي على إنها مياه فاترة (Tepid water)، حيث بلغت درجة حرارة المياه بين (23 – 24)°م و (23.8 – 24)°م، على التوالي. يوضح الجدول (2) درجة حرارة المياه في نقاط المراقبة عند الدخول والخروج من كل نظام.

جدول 1: درجة الحامضية لمياه نهر الفرات في فترتي الزيادة والنقصان المائي

فترة النقصان المائي		فترة الزيادة المائية		النظام الهيدرومترولوجي
pH (خروج من النظام)	pH (دخول في النظام)	pH (خروج من النظام)	pH (دخول في النظام)	
7.0	7.3	7.3	7.4	الأول (القائم – سد حديثة)
7.5	7.0	7.1	7.3	الثاني (سد حديثة – البغدادي)

جدول 2: درجة حرارة المياه لنهر الفرات في فترتي الزيادة والنقصان المائي

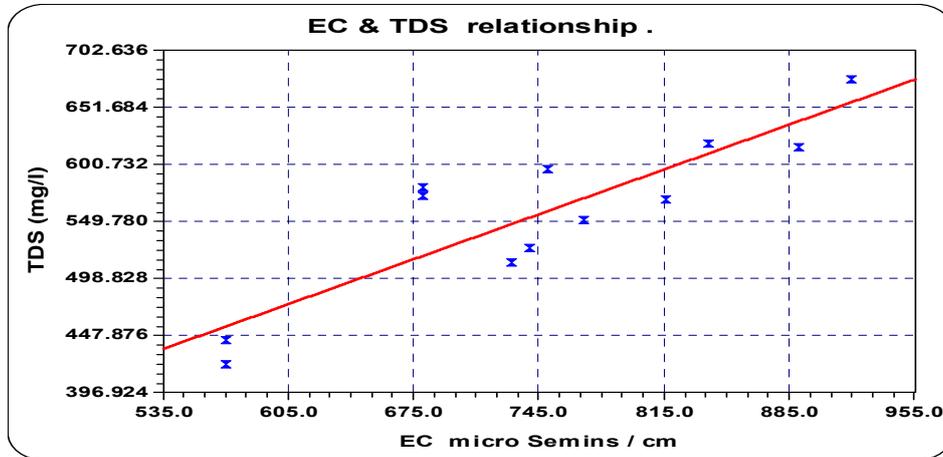
فترة النقصان المائي (°م)		فترة الزيادة المائية (°م)		النظام الهيدرومترولوجي
نهاية	بداية	نهاية	بداية	
11	12	12	11	الأول (القائم – سد حديثة)
24	23.8	23	24	الثاني (سد حديثة – البغدادي)

يعزى سبب اختلاف درجات حرارة المياه إلى اختلاف درجات حرارة الجو بين الفترتين، حيث العلاقة المباشرة والطرديّة بين درجة حرارة الهواء والمياه السطحية. وهذه النتائج تؤكد عدم وجود مصادر تلوث حرارية طبيعية أو صناعية (Heat Flow) ذات تأثير خطير على المياه، أو إلى عدم فاعلية الملوثات الحرارية على تغيير درجات حرارة المياه بسبب كونها مصادر صغيرة ذات تصريف بسيط يمكن استيعابها. وعليه فلا خطر على التنوع البيولوجي وللحياة المائية النباتية والحيوانية المتكيفة والمتواجدة في مثل هذه الظروف من حيث درجة حرارة المياه المسجلة في فترة المراقبة، إذا ما استمرت للفترة المقبلة.

— العسرة الكلية: تصنف مياه نهر الفرات في النظامين الأول والثاني في فترة الزيادة المائية ضمن المياه اليسرة (Soft water)، حيث تتراوح قيمتها بين (60.06 – 73.3) ملغم/ لتر و (58.07 – 73.22) ملغم/ لتر، على التوالي. وهي مياه صالحة لاستخدامها في الأغراض الصناعية والمعامل، إذ يستخدم مؤشر العسرة لبيان صلاحية المياه في هذه الاستخدامات (Matthess, 1982). تصنف مياه نهر الفرات في النظامين وفي فترة النقصان المائي على إنها مياه نسبياً عسرة، وتتراوح قيم العسرة الكلية بين (107.6 – 115.74) ملغم/ لتر وبين (115.71 – 129.68) ملغم/ لتر، على التوالي. وتشكل العسرة المؤقتة نسبة 45% من العسرة الكلية، بإزالة هذه النسبة وبمعالجة بسيطة تصبح المياه يسرة تصلح في الاستخدامات الصناعية والبشرية. يعود سبب زيادة قيم العسرة في مياه النهر وفي فترة النقصان المائي عنه في فترة الزيادة المائية إلى زيادة تراكيز الكالسيوم والمغنيسيوم بسبب عملية الإغناء بتركيز الأيونات الناتجة بفعل عملية تبخر الماء في فترة الصيف المؤدية إلى زيادة في تراكيز الأيونات والتي تنعكس على خاصية العسرة الكلية بالازدياد.

— التوصيلية الكهربائية والمواد الذائبة الكلية: تصنف مياه نهر الفرات في النظامين استناداً إلى قيم التوصيلية الكهربائية (EC) والمواد الذائبة الكلية (TDS) وفي جميع نقاط المراقبة ضمن المياه العذبة (Fresh water) وحسب تصنيف (Hem, 1970). إذ تراوحت قيمتها بين (570 – 890) مايكروسيمنس/ سم وبين (422 – 616) ملغم/ لتر، على التوالي في فترة الزيادة المائية. بينما تراوحت قيم التوصيلية الكهربائية والمواد الذائبة الكلية بين (680 – 920) مايكروسيمنس/ سم وبين (569 – 677) ملغم/ لتر، على التوالي في فترة النقصان المائي. أما العلاقة بين خاصية التوصيلية الكهربائية لمياه نهر الفرات وتركيز المواد الذائبة الكلية (الشكل 3) فتمثلها معادلة الدرجة الأولى التالية ولفترتي المراقبة:

$$[TSD] = 129.5 + 0.573 [EC \times 10^6], \text{ where, } r = 0.88$$



شكل 3: العلاقة بين المواد الذائبة الكلية والتوصيلية الكهربائية لمياه نهر الفرات

أفرزت نتائج قيم المواد الذائبة الكلية على طول نقاط المراقبة لمياه نهر الفرات ظواهر علمية هيدروكيميائية شملت النظام الهيدرولوجي الأول والثاني، بالإضافة إلى مقطع النهر المتمثل ببحيرة حديثة، هذا ما يؤكد ضرورة تقسيم النظام الهيدرولوجي لنهر الفرات إلى أنظمة ثانوية لتفسير وتحليل نتائج المراقبة الهيدروكيميائية بدقة عالية. تمت ملاحظة هذه الظواهر من خلال قيم تراكيز TDS الموضحة في الجدول (3) لنقاط المراقبة في مناطق الدخول والخروج من النظام الهيدرولوجي.

جدول 3: تراكيز الـ TDS في نقاط المراقبة لنهر الفرات (للسنة المائية 2007)

TDS (mg/l) في فترة النقصان المائي		TDS (mg/l) في فترة الزيادة المائية		النظام
نقطة الخروج	نقطة الدخول	نقطة الخروج	نقطة الدخول	
569.77	572.59	422.4	513	الأول (القائم - سد حديثة)
677.16	569.77	616	422.4	الثاني (سد حديثة - البغدادي)

بلغت نسبة إغناء تراكيز المواد الذائبة الكلية لمياه نهر الفرات في نقطة المراقبة في راوة (R-3) مقارنةً بقيمتها في نقطة المراقبة في القائم (Q-1) ولفترة الزيادة المائية والنقصان المائي %7.48 و %4.25، على التوالي. بلغت نسبة تخفيف تراكيز المواد الذائبة الكلية في مياه بحيرة حديثة مقارنةً بقيمتها في نقطة المراقبة (راوة) قبل الدخول إلى البحيرة ولفترتي الزيادة والنقصان المائي %23.39 و %4.5، على التوالي. بلغت نسبة إغناء تراكيز الـ TDS لمياه نهر الفرات في نقطة المراقبة في البغدادي (B-6) مقارنةً بقيمتها في نقطة المراقبة في سد حديثة (H-5) ولفترتي الزيادة المائية والنقصان المائي %38.69 و %9.17، على التوالي. أوضحت نتائج تحاليل الـ TDS في نقاط المراقبة قبل بحيرة حديثة ازدياد تراكيز الـ TDS مع اتجاه جريان النهر بين نقاط مراقبة النهر (القائم والعبدي وراوة) ثم تنخفض تراكيزها في بحيرة حديثة وتعود لتزداد ثانية مع اتجاه الجريان انتهاءً بنقطة المراقبة في البغدادي.

إن ازدياد تراكيز الـ TDS مع جريان النهر هي ظاهرة هيدروكيميائية طبيعية سببها واضح ومعلوم، وهو أن مياه النهر تزيد من تراكيز أيوناتها الناتجة من عمليات الإذابة والخلب (leaching) من الصخور وعلى طول المجرى، وكذلك تزداد بسبب تناقص تصريف النهر بفعل عوامل التبخر والضخ للأغراض الزراعية، بالإضافة إلى احتمالات إضافة الأيونات للنهر من المياه الراجعة (مياه البزل والمجاري) والمياه الجوفية. تنخفض تراكيز الـ TDS في داخل البحيرة بسبب حجم المياه المخزونة فيها للفترة التي تسبق عملية المراقبة الحالية، حيث لا يظهر تأثير الأملاح الداخلة إلى البحيرة بسبب عملية الانتشار والامتزاج وحيث تمتزج وتنتشر تراكيز الأيونات المضافة ضمن مياه البحيرة. تعتبر مياه البحيرة عند بوابة سد حديثة هي المياه الداخلة إلى النظام الهيدرولوجي الثاني، وهي نقطة البداية لمراقبة النظام الثاني وتعتبر المرجع الثاني للحسابات الهيدروكيميائية ضمن النظام الهيدرولوجي لنهر الفرات بعد المرجع الأول المتمثل في نقطة المراقبة عند الحدود العراقية السورية (القائم). وعليه فإن تركيز الـ TDS في البحيرة يمثل تركيز الـ TDS لمياه نهر الفرات ضمن النظام الثاني، وتعود مياه النهر ثانية لتتصرف ضمن الحالة الطبيعية المتمثلة بازدياد تراكيز الـ TDS مع اتجاه جريان النهر وللأسباب التي ذكرت لمقطع النهر وقبل دخوله للبحيرة. من الملاحظ إن نسب الإغناء بتركيز المواد الذائبة الكلية لمياه نهر الفرات وعملية التخفيف في مياه بحيرة حديثة في فترة الزيادة المائية أعلى من نسب عملية الإغناء والتخفيف في مياه النهر والبحيرة في فترة النقصان المائي. ويعود سبب الإغناء في مياه النهر إلى ازدياد عملية الإذابة والخلب للصخور والرسوبيات، وذلك لانتساع المساحة السطحية لمنطقة تماس المياه مع اليابسة (مقطع النهر) بسبب ارتفاع مناسيب المياه، كما تلعب المواد الذائبة الكلية والتي تحملها المياه الجوفية ومن ضمنها مياه ينابيع حجلان دوراً في عملية إغناء التراكيز في النهر، إذا ما علمنا إن كمية الأملاح الذائبة المتوقع دخولها إلى مياه النهر من ينابيع حجلان فقط هي حوالي (7 - 8) طن/ يوم أو ما يعادل 2850 طن/ سنة، محسوبة من معدل تراكيز المواد الذائبة الكلية (TDS) لمياه ينابيع حجلان البالغة 2250 ملغم/ لتر وبمعدل قدره 45 لتر/ ثا. يظهر هذا التأثير كجزء من نسب الإغناء التي تحدث في النظام الثاني والتي تراوحت بين %38.69 و %9.17 ولفترتي الزيادة المائية والنقصان المائي، على التوالي. بينما تراوحت بين %7.48 و %4.25 ولفترتي الزيادة المائية والنقصان المائي في النظام الأول. أما ازدياد عملية التخفيف في مياه بحيرة حديثة يعود إلى ازدياد مخزون مياه البحيرة من مياه النهر الداخلة إلى البحيرة في فترة الزيادة المائية.

تؤكد هذه النتائج عدم رصد ملوثات غير طبيعية صناعية خطيرة وهذا لا يلغي عدم تلوثها بسبب ضعف تأثيرها على مياه النهر أو كونها ملوثات محدودة الفعالية في مناطق التأثير وبمساحات ضيقة، ولكن النتائج رصدت تأثيرات هيدروكيميائية طبيعية للمياه الجوفية وللمياه ينابيع حجلان، بالإضافة إلى عمليات الإذابة من خلال إغناء مياه نهر الفرات بنسب تراكيز تفوق الإغناء بفعل الإذابة والتبخر بمقدار خمسة أضعاف في فترة الزيادة المائية وضعفين في فترة النقصان، مقارنةً بمقطع النهر في النظام الهيدرولوجي الأول بين القائم وراوة، وبالرغم من هذه النتائج فإن مياه نهر الفرات بقيت ضمن صنف المياه العذبة الصالحة للاستخدامات المختلفة.

### ■ التصنيف الهيدروكيميائي لمياه نهر الفرات وبحيرة حديثة

تصنف مياه نهر الفرات وحسب تصنيف شولير (Collins, 1975) في فترة الزيادة المائية ضمن مجموعة الكبريتات من عائلة كالمسيوم - كبريتات، نوعها مغنيسيوم - صوديوم - كالمسيوم؛ كلوريد - بيكربونات - كبريتات، باستثناء مياه بحيرة حديثة فهي مياه بيكاربوناتية من عائلة كالمسيوم - بيكربونات، نوعها مغنيسيوم - صوديوم - كالمسيوم وكلوريد - كبريتات - بيكربونات.

تصنف مياه نهر الفرات في فترة النقصان المائي ضمن مجموعة الكبريتات من عائلة كالمسيوم - كبريتات، نوعها صوديوم - مغنيسيوم - كالمسيوم وكلوريد - بيكربونات - كبريتات، متحولاً إلى مياه ذات مواصفات متجانسة من الكلوريد والكبريتات والبيكاربونات ضمن حدود نسبة 33% لكل منها. وهذا ما يؤكد دور البحيرة التنظيمي في عملية التوازن الهيدروكيميائي نتيجة العمليات الهيدروجيوكيميائية المتمثلة بعملية الانتشار والامتزاج والتبادل الأيوني وذلك بسبب تباين العمق واتساع المساحة السطحية للمياه المتعرضة للجو أو المتماسمة مع رسوبيات القاع والتي تتأثر بحصاد أكبر لمياه الأمطار أو فقدان أكبر للتبخر أو علاقة أوسع مع المياه الجوفية، وهذه العمليات معقدة ومتداخلة تتأثر بكميات المياه الداخلة إلى البحيرة. هذه الحقيقة تؤكد عودتها بعد خروجها من السد إلى مقطع النهر بخصائص المياه الكبريتاتية وذلك بسبب تغير الظروف الهيدروديناميكية والتي تؤثر في عمليات الإذابة لرسوبيات القاع بالإضافة إلى ما تستلمه من مياه راجعة ومياه جوفية على طول خط الجريان. وهناك ظاهرة واضحة تدل على حدوث عملية التبادل الأيوني بين الكالمسيوم والصوديوم لمياه النهر ورسوبياته في فترتي المراقبة، إذ نجد ازدياد تركيز الكالمسيوم في فترة النقصان المائي يقابله تناقص في تراكيز الصوديوم في كل نقاط المراقبة مع احتفاظ تراكيز المغنيسيوم بنسبها وفي الفترتين. وعليه فإن المصادر الطبيعية لمكونات المياه من الأيونات هي:

- المصادر الرئيسية لايونات الكالمسيوم والكبريتات، تعود إلى عمليات الإذابة والخلب لمعادن صخور المتبخرات من الجبس والانهيدرايت والتراب الجبسية ذات التركيب الكيميائي  $CaSO_4 \cdot 2H_2O$  و  $CaSO_4$ .
- المصادر الرئيسية لايونات البيكاربونات والمغنيسيوم، تعود إلى معادن الصخور الجيرية الكلسية والدولومايتية والتراب الكلسية ذات التركيب الكيميائي  $CaCO_3$  و  $Ca Mg(CO_3)_2$ .
- المصادر الرئيسية لايونات البوتاسيوم والكلور، تعود إلى معادن الهاليت والسلفايت (KCl و NaCl) المرافقة لمعادن المتبخرات في الصخور غير الفتاتية والتراب الناتجة بفعل التجوية.

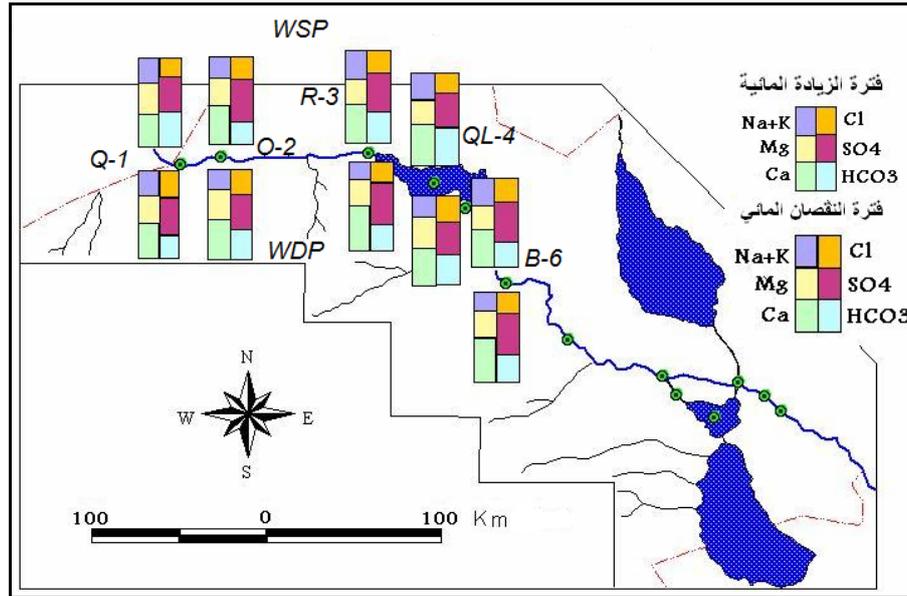
أما المصادر الثانوية لهذه الأيونات فتشمل المكونات الكيميائية للمياه الراجعة (الزل والمجري والمخلفات) والمياه الجوفية، إذ تضيف نسب تراكيز متباينة على طول مجرى نهر الفرات. يوضح الشكل (4) نسب تغير المكونات الأيونية لمياه النهر في نقاط المراقبة في فترتي الزيادة والنقصان المائي.

### ■ العمليات الهيدروكيميائية

- تمت دراسة الظواهر الهيدروكيميائية في مياه نهر الفرات وبحيرة حديثة من خلال التحليل الكمي الإحصائي المبنية على نتائج التحليل الكيميائي لمكونات المياه (الجدول 4). إن المعلومات الإحصائية التي اعتمدت في التفسير هي:
- الفرق في تراكيز الأيونات بين نقاط المراقبة وفق مبادئ الأنظمة الهيدرولوجية (الداخلية إلى والخارجة من النظام).
- نسب الفروقات المعنوية (Significant differences) المحسوبة من المعادلة التالية:

$$\text{تركيز الأيون في نقطة النهاية} - \text{تركيز الأيون في نقطة البداية} = \text{Sig}\% \times 100$$

- مستويات الفروق المعنوية (Hypothetical Statistic) (Helsel and Hirsch, 2002) ونضم:
- نسبة الفرق المعنوي > 5% تمثل فروقاً معنوية ضعيفة ليست لها أهمية.
- نسبة الفرق المعنوي (5 - 15) % تمثل فروقاً مؤثرة متوسطة الأهمية.
- نسبة الفرق المعنوي < 15% تمثل فروقاً معنوية مهمة ومؤثرة.
- معامل الارتباط (Correlation Coefficient) بين تراكيز الأيونات وتراكيز المواد الذائبة الكلية (TDS).
- العلاقات الارتباطية بين الأيونات باستخدام برنامج الإحصاء Curve Expert v1.3.



شكل 4: نوعية مياه نهر الفرات في فترتي الزيادة والنقصان المائي (للسنة المائية 2007)

جدول 4: قيم ونسب إغناء وتخفيف تراكيز الأيونات في فترتي الزيادة والنقصان المائي (للسنة المائية 2007)

نهر الفرات (سد حديثة – البغدادي)		بحيرة حديثة		نهر الفرات (قائم – راوة)		الفترة	الأيون
Sig%	Meq/l	Sig%	Meq/l	Sig%	Meq/l		
11.11	+ 0.04	29.4	- 0.15	27.5	+ 0.011	WSP	K
12	+ 0.003	12	- 0.003	0.0	0.0	WDP	K
75	+ 1.04	29.8	- 0.59	8.5	+ 0.156	WSP	Na
11.11	+ 0.22	6.6	+ 0.122	1.6	+ 0.03	WDP	Na
43.9	+ 0.596	16.5	- 0.268	2.8	+ 0.044	WSP	Mg
9.6	+ 0.249	2.4	+ 0.061	6.5	+ 0.154	WDP	Mg
13.5	+ 0.293	15.9	- 0.412	10	+ 0.235	WSP	Ca
16.3	+ 0.668	3.5	+ 0.144	3.4	+ 0.144	WDP	Ca
133	+ 1.6	50	- 0.2	19.9	+ 0.4	WSP	Cl
0.0	0.0	0.0	0.0	40	+ 0.801	WDP	Cl
105	+ 2.552	35	- 1.313	6.5	+ 0.231	WSP	SO <sub>4</sub>
77	+ 2.152	20.35	- 0.714	1.46	- 0.052	WDP	SO <sub>4</sub>
14.3	- k 0.401	3.7	+ 0.10	0.10	- 0.003	WSP	HCO <sub>3</sub>
9.0	- 0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	WDP	HCO <sub>3</sub>
54	+ 0.052	50	- 0.095	22.7	- 0.056	WSP	PO <sub>4</sub> (mg/l)
67.6	- 0.24	188	+ 0.232	37.35	- 0.074	WDP	PO <sub>4</sub> (mg/l)
100	+ 0.095	100	- 0.259	137	+ 0.15	WSP	NH <sub>4</sub> (mg/l)
30.4	- 0.06	39.8	- 0.051	42.3	- 0.094	WDP	NH <sub>4</sub> (mg/l)
106	+ 0.016	40	- 0.01	100	+ 0.025	WSP	NO <sub>2</sub> (mg/l)
78.2	- 0.097	55	+ 0.044	14.2	+ 0.01	WDP	NO <sub>2</sub> (mg/l)
60	- 1.32	37.5	- 1.32	15	+ 3.498	WSP	NO <sub>3</sub> (mg/l)
50	- 2.2	4.7	+ 0.20	20.4	- 1.08	WDP	NO <sub>3</sub> (mg/l)

+ إغناء في التركيز - استنزاف التركيز.

■ الأيونات الرئيسية

استناداً إلى المعلومات الإحصائية (الجدول 4) نستنتج ما يلي:

- حصول عملية إغناء (Enrichment Process) في تركيز الأيونات  $Ca^{+2}$ ،  $Mg^{+2}$ ،  $Na^{+}$ ،  $K^{+}$  و  $SO_4^{-2}$  و  $Cl^{-}$  في فترتي الزيادة والنقصان وبنسب مختلفة تراوحت بين (0.0 – 27.5) %، (1.6 – 8.5) %، (2.8 – 6.5) %، (3.4 – 10) %، (19.9 – 40) % و (1.46 – 6.5) %، على التوالي وعلى طول مجرى نهر الفرات بين القائم وراوة، وهذه النسب تمثل حصيلة التراكم المضافة إلى مياه النهر ومن مختلف المصادر الطبيعية وغير الطبيعية.
- حصول عملية استنزاف (Depletion Process) في تراكيز أيونات مياه بحيرة حديثة  $Ca^{+2}$ ،  $Mg^{+2}$ ،  $Na^{+}$ ،  $K^{+}$  و  $SO_4^{-2}$  و  $Cl^{-}$  في فترتي الزيادة والنقصان المائي وكانت على أشدها في فترة الزيادة المائية وبنسب متباينة تراوحت بين (12 – 29.4) %، (6.6 – 29.8) %، (2.4 – 16.5) %، (3.5 – 15.9) %، (0.0 – 50) % و (20.3 – 35) %، على التوالي وذلك بسبب طاقة استيعاب مياه البحيرة للتراكيز الداخلة إليها بينما شهدت مياه البحيرة عملية إغناء في تركيز  $HCO_3^{-}$  غير معنوية تراوحت بين (0.0 – 2.7) % وهذه النسب تمثل حصيلة تخفيف تراكيز الأيونات بفعل عملية الامتزاج وعملية الانتشار ضمن بحيرة حديثة (Langmuir, 1997).
- حصول عملية إعادة إغناء (re-enrichment) من خلال زيادة تراكيز أيونات مياه نهر الفرات بين سد حديثة والبغدادى للأيونات  $Ca^{+2}$ ،  $Mg^{+2}$ ،  $Na^{+}$ ،  $K^{+}$  و  $SO_4^{-2}$  و  $Cl^{-}$  وبنسب مختلفة تراوحت بين (11.11 – 12) %، (9.6 – 43.9) %، (13.5 – 16.3) %، (0.0 – 133) % و (77 – 105) %، على التوالي.

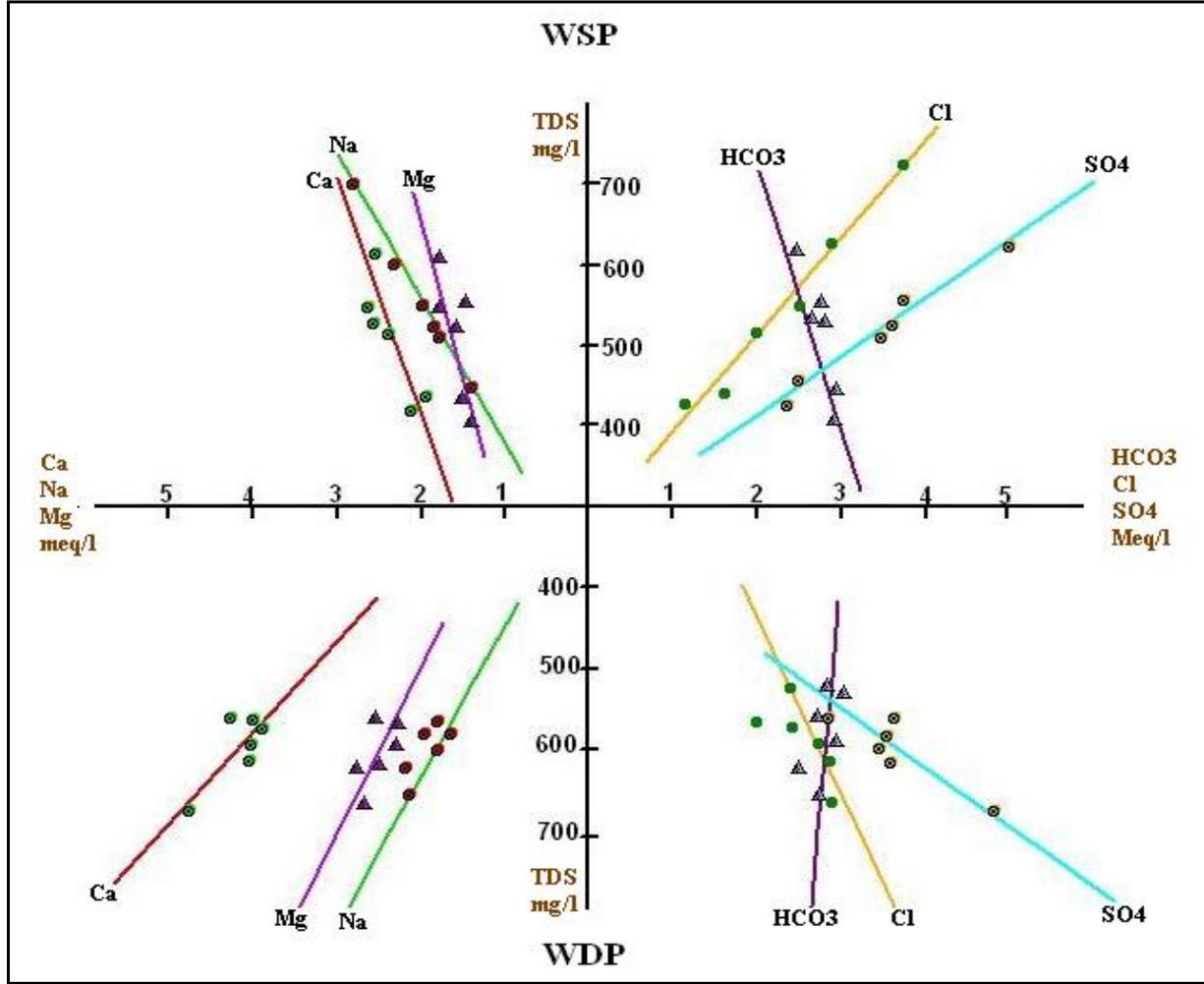
إن عملية إعادة إغناء تراكيز المياه ناتجة من مصادر بفعل العمليات الهيدروجيوكيميائية، مثل الإذابة والتبادل الأيوني ومن تسرب المياه الجوفية ومياه الينابيع من جهة ومن جهة أخرى ارتفاع منسوب مياه نهر الفرات بسبب الزيادة في المساحة السطحية للشواطئ المتعرضة للإذابة والخلب ومن ثم غسل الأملاح الموجودة في رسوبيات الشاطئ، إضافة إلى تجريف النفايات المرمية على الشاطئ واحتضان محتوياتها مضافاً إليها المصادر غير الطبيعية الأخرى المتمثلة بالمياه الراجعة (المجري والبزل) وعلى طول خط جريان النهر. إن النتائج أعلاه ومن مقارنتها مع نتائج المواد الذائبة الكلية نجد أن نمط تذبذب تراكيز الأيونات الرئيسية يتطابق طردياً مع نمط تذبذب قيم الـ TDS المسجلة في نقاط المراقبة على طول مجرى النهر، باستثناء تراكيز البيكربونات الذي يمثل علاقة عكسية مع قيم الـ TDS، وعلى الأغلب فإن زيادة تراكيز البيكربونات في المياه ذات التركيز الواطئ من الـ TDS يعود إلى فعل إذابة  $CO_2$  من الجو ومن عمليات التنفس للنباتات المائية التي تنمو بشكل مضطرب في مجرى النهر والبحيرة.

إن نمط تذبذب تراكيز الأيونات متمثلة بنتائج علاقات الارتباط الإحصائية لمعادلة الانحدار من الدرجة الأولى والتي سجلت علاقات ارتباط عالية في فترة الزيادة المائية وتخفض نسبياً في فترة النقصان المائي، وكما موضحة في الجدول (5) والشكل (5).

جدول 5: معاملات الارتباط بين الأيونات والمواد الذائبة الكلية

الفترة	معامل الارتباط TDS-Na	R TDS-Mg	R TDS-Ca	R TDS-Cl	R TDS-SO <sub>4</sub>	R TDS-Mg
الزيادة المائية	0.99	0.97	0.74	0.98	0.98	0.90
النقصان المائي	0.79	0.81	0.77	0.48	0.84	0.51

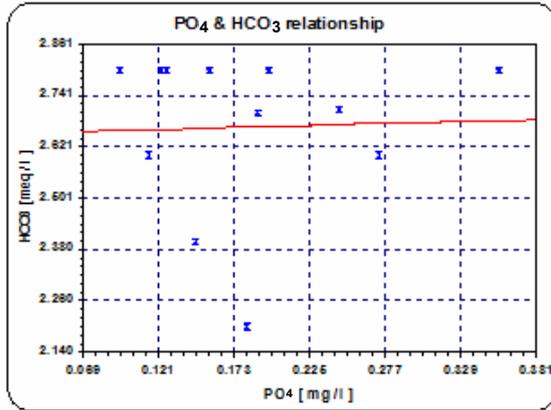
تشير نتائج الارتباط إلى أن العمليات الهيدروجيوكيميائية التي تحدث في مياه النهر ذاته (داخل منظومته) في فترة الزيادة المائية هي العمليات الحاكمة في تذبذب تراكيز الأيونات وتشمل الإذابة والنقل والتبادل الأيوني والامتصاص والعوامل الهيدروديناميكية لمياه نهر الفرات، بينما نتائج الارتباط الواطئة التي رصدت في فترة النقصان المائي فتشير إلى وجود عوامل خارج منظومة مياه النهر تؤثر فيه وهي على الأغلب المكونات الكيميائية للمياه الراجعة والمياه الجوفية والينابيع وتأثير النباتات المائية.



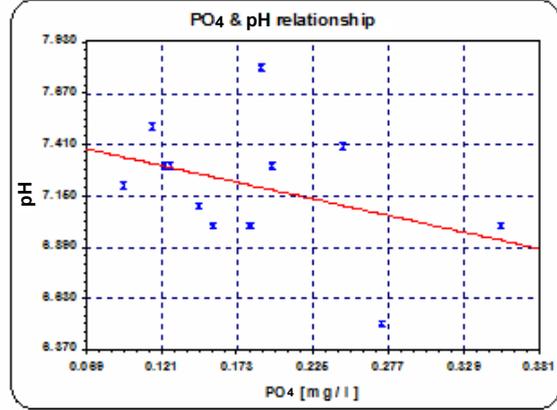
شكل 5: علاقة المواد الذائبة الكلية وتركيز الأيونات الرئيسية في فترتي المراقبة (للسنة المائية 2007)

#### ■ الأيونات الثانوية

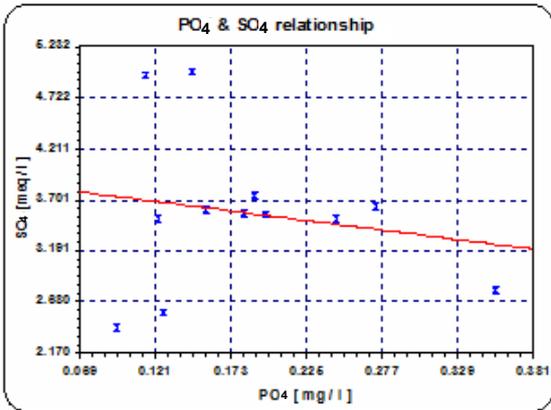
— الفوسفات ( $PO_4^{3-}$ ): تراوحت تراكيز الفوسفات في مياه نهر الفرات وبحيرة حديثة ابتداء من القائم وحتى البغدادي بين (0.059 – 0.273) ملغم/ لتر وبين (0.115 – 0.345) ملغم/ لتر في فترتي الزيادة المائية والنقصان المائي، على التوالي، وفي كلا الحالتين فإن التراكيز أقل من الحدود المسموح بها للاستخدامات المختلفة (PDWQS, 2007). انخفضت تراكيز الفوسفات مع ازدياد قاعدية مياه نهر الفرات وحصل إغناء بسيط في تراكيزها في نقاط المراقبة التي سجلت قيم pH متعادلة الحامضية. الشكل (6) يوضح العلاقة العكسية بين تركيز الفوسفات وقيم pH وبمعامل ارتباط ضعيف قدرة 0.36 ويعود سبب ضعف الارتباط إلى إن قيم pH تعتمد على تراكيز البيكربونات إذ تزداد تراكيزها مع ازدياد القاعدية (Langmuir, 1997)، وهي عكس العلاقة التي رصدت بين الفوسفات ودرجة الحامضية. كما أكدت نتيجة العلاقة بين تراكيز البيكربونات والفوسفات (الشكل 7) إنها ضعيفة الارتباط، في حين يجب إن تسجل علاقة ايجابية عالية الارتباط إذا اعتبرنا إن مصدر الفوسفات يعود إلى الصخور الكلسية.



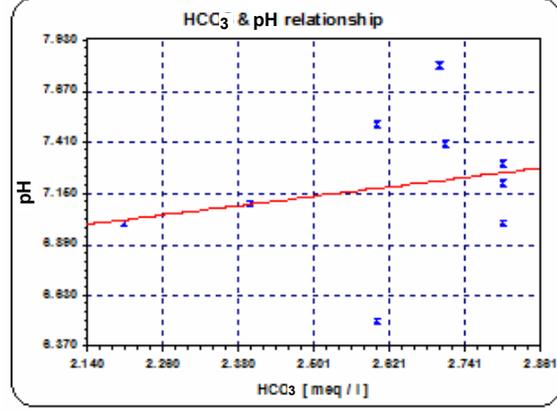
$$[\text{HCO}_3] = 2.652 + 0.867 [\text{PO}_4], \text{ where } r = 0.034$$



$$[\text{pH}] = 7.5 - 1.61 [\text{PO}_4], \text{ where } r = 0.38$$



$$[\text{SO}_4] = 3.9 - 1.83 [\text{PO}_4], \text{ where } r = 0.18$$



$$[\text{pH}] = 6.14 + 0.39 [\text{HCO}_3], \text{ where } r = 0.24$$

شكل 7: العلاقة بين تراكيز الفوسفات والبيكاربونات والكبريتات

شكل 6: العلاقة بين الأس الهيدروجيني وتراكيز الفوسفات والبيكاربونات

وهذا يعني إن تراكيز الفوسفات في المياه لا تعود إلى آلية تواجد البيكاربونات في مياه نهر الفرات ولا حتى العوامل المؤثرة فيها، كما أكد هذا الاستنتاج انخفاض تركيز الفوسفات بازدياد تركيز الكبريتات (الشكل 7)، الذي يعود مصدر تواجده إلى عمليات الإذابة والخلب لترسبات الصخور في القاع والشواطئ. ويدعم هذا التفسير نتائج تركيز الفوسفات في فترتي الزيادة المائية والنقصان المائي (الجدول 4)، إذ نجد حصول عملية افتقار واستنزاف (depletion) في تركيزه على طول مجرى النهر ولا وجود لتأثير نشاط صناعي من معامل الفوسفات في فترة المراقبة (المياه الراجعة، الفضلات) بسبب توقف الإنتاج، لذلك لا يمكن إن نعزو وجود الفوسفات إلى التلوث الصناعي، وعلى الأقل في فترة الدراسة (المراقبة) وإنما يكون مصدره من مكونات مياه نهر الفرات الداخلة من سوريا. أما عن عملية حصول إغناء بسيط في مياه بحيرة حديثة وفي فترة النقصان المائي فربما يكون تفسيره إلى تحلل هياكل الكائنات المائية (الأسماك والنباتات المائية) الموجودة ضمن رسوبيات القاع في فترة انخفاض منسوب البحيرة بسبب التبخر أو التصريف العالي من بوابات السد.

— **الأمونيوم والنترات:** بلغ معدل تركيز الأمونيوم ( $\text{NH}_4$ ) في مياه نهر الفرات وبحيرة حديثة في فترة الزيادة المائية 0.112 ملغم/ لتر، وارتفع بنسبة 66% في فترة النقصان المائي إذ بلغ معدله 0.186 ملغم/ لتر، مصدره تحلل المواد العضوية من المخلفات الحيوانية والنباتية فضلا عن تحلل النباتات المائية التي ترعرت بفعل تغير النظام البيئي المائي، حيث تغيرت من البيئة النهرية إلى بيئة البحيرات وبعد إنشاء السدود التي قللت من حركية مياه النهر والتي شملت سرعة المياه وارتفاع مناسيبها في البحيرات واتساع المساحة السطحية للمياه بمعدل عمق قليل تتأثر مياهها بأشعة الشمس مما ساعد على نمو النباتات المائية وبالتالي تغير النظام البيئي من خلال نموها وموتها وتحللها، والتي تسبب زيادة في تركيزها لتكون عناصر مغذية لجيل ثاني من النباتات المائية مسببة زيادة مضطربة بكثافتها وليصبح عندئذ النتروجين ضمن دورة حياة النباتات المائية والوسط المائي.

إن ازدياد تركيز الأمونيوم والنترات هي من النتائج السلبية التي تفرزها عملية التخزين في البحيرات الاصطناعية وخصوصاً في فترات الخزن الطويلة والتي لا تتناسب فيها كميات المياه الداخلة مع الكميات الخارجة عبر البوابات. كما إن ارتفاع مناسيب البحيرات يؤثر سلباً على سرعة مياه النهر من خلال تغيير معدل انحدار مياه النهر وكلها تعود إلى إضعاف حركية مياه النهر وتجعله في حالة بعيدة عن الحالة الطبيعية مسببة تغييراً في نظامه البيئي.

بلغ معدل تركيز النترت ( $\text{NO}_2^-$ ) في مياه نهر الفرات وبحيرة حديثة في فترة الزيادة المائية 0.019 ملغم/ لتر، وازداد تركيزه بنسبة 268%، في فترة النقصان المائي. وفي كلتا الحالتين فإن تركيز النترت ازداد عن الحد المسموح به للشرب والبالغة 0.01 ملغم/ لتر (PDWQS, 2007).

إن ايون النترت غير مستقر ويمثل حالة وسطية بين البيئة الاختزالية والأكسدة، فإنه يتحول إلى نترات بعملية الأكسدة أو يتحول إلى أمونيوم في حالة الاختزال (Al-Janabi, 2008). وعلى أي حال، فإنه مؤشر مهم لعملية تحول الأمونيوم إلى نترات، وزيادة تركيزه في نظام مائي تزداد فيه تراكيز الأمونيوم مع انخفاض في تركيز النترات عن الحد المسموح، وهذا يعني إن النظام المائي في حالة ديناميكية تساعد في تحويل الأمونيوم إلى نترات ويقلل من خطورة بقاء المياه في حالة راكدة والتي تكون عادة مياه خطيرة جداً على حياة الإنسان، لذلك زيادة تركيز النترت في مثل هذه الحالة لا يمكن الاعتماد عليها بدرجة ثقة عالية لتسجيل حالة تلوث، خصوصاً وإن معدل تركيز النترات في فترة الزيادة المائية قد بلغ 1.837 ملغم/ لتر في فترة الزيادة المائية و3.705 ملغم/ لتر في فترة النقصان المائي، وهذه القيم أقل بكثير من الحد المسموح به للاستخدام البشري البالغ 45 ملغم/ لتر (Walton, 1970).

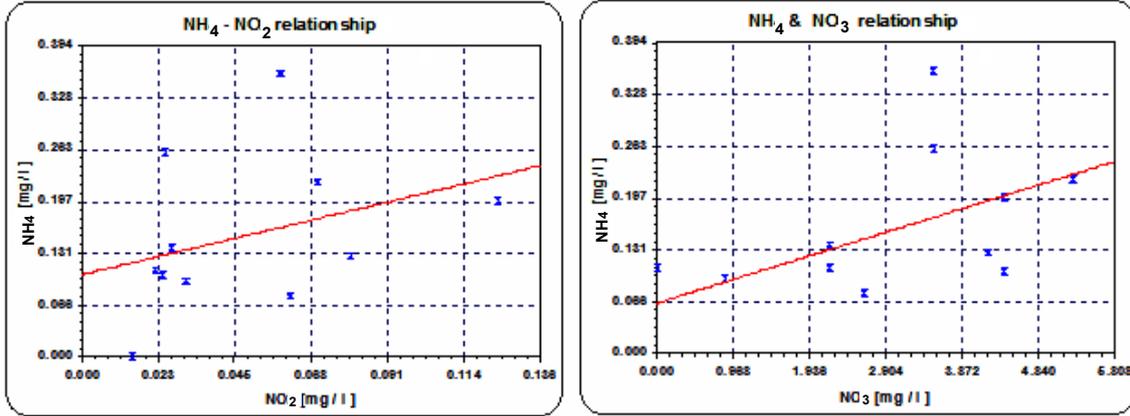
أشرت علاقات الارتباط (الشكل 8) بين الأمونيوم من جهة والنترات من جهة أخرى النتائج الآتية:

- العلاقة بين تركيز الأمونيوم والنترات والنترت هي علاقة طردية وهذا يعني:
  - إما أن يكون مصدر الأمونيوم من النترات ويتكون حالياً وبظروف اختزالية وهذا مؤشر خطير إذا استمر لفترة، لأن مياه نهر الفرات وبحيرة حديثة ورسوبياتها ستتحوّل تدريجياً إلى مياه أسنة وراكدة شبيهة بمياه المستنقعات تتكاثر فيها البكتريا ويكون النظام المائي مهدداً بالتلوث البيولوجي وينبغي تعقيم المياه قبل استخدامها لأغراض الشرب.
  - أو أن يكون مصدر النترات هو الأمونيوم والذي يتكون بظروف وبيئة مؤكسدة تزداد فيها نسب تركيز النترات، وستكون خطيرة إذا اجتازت تركيز 45 ملغم/ لتر، فإن كانت هذه الحالة هي واقع النظام الهيدرولوجي، فإن النظام المائي الآن غير ملوث ولكن فيه مؤشرات لبدائيات التلوث.
- بما إن معامل ارتباط العلاقات الطردية بين تركيز الأمونيوم والنترات والنترت بمستوى متوسط الأهمية تتراوح بين (0.37 – 0.57)، فعليه نستنتج ما يلي:
  - أما وجود عملية تجدد في المياه بمستوى مقبول من الأهمية.
  - أو وجود مصادر ثانوية للنترات والنترت تساهم فيها المياه الراجعة بكل أنواعها والمياه وعلى طول خط الجريان، أو حدوث الحالتين أعلاه.

يمكن حل مشكلة ازدياد تراكيز الأمونيوم والنترات من خلال التفاوض مع البلدان المتشاطئة لنهر الفرات بضرورة حصول العراق على حصته المائية الطبيعية لإعادة التوازن البيئي المائي بدرجة معقولة. إضافة إلى تجنب استخدام مياه النهر مباشرة لأغراض الشرب إلا بعد تعقيمها.

– **العناصر النادرة:** بلغت تراكيز العناصر النادرة في مياه نهر الفرات وبحيرة حديثة والتي شملت الكروم، الكوبالت، النيكل، النحاس، الخارصين، الرصاص، الزئبق، الألمنيوم، المنغنيز، الزرنيخ والكاديوم بين: (0 – 2.94)، (0.07 – 19.26)، (2.41 – 27.05)، (0 – 3.45)، (0.17 – 11.83)، (8.9 – 47.7)، (0 – 5.73)، (13.75 – 478)، (1.6 – 83.2)، (0 – 7.78) و(0.41 – 3.81) مايكرو غرام/ لتر، على التوالي.

ومن مقارنة هذه النتائج مع حدود تواجدها في مياه الأنهار الطبيعية (Hem, 1970) تبين أن جميع العناصر تتواجد ضمن الحدود الطبيعية لمياه الأنهار، كما إنها تقع ضمن الحدود المقترحة لاستخدامها في مياه الشرب، باستثناء عناصر الرصاص، الزئبق والمنغنيز وفي فترة النقصان المائي ولنقطة المراقبة في البغدادي، إذ تتأثر المياه في فترة انخفاض منسوب المياه الجوفية على جانبي النهر بالإضافة إلى تأثير مياه ينابيع حجلان (Hussien et al., 2011).



$$[NH_4] = 0.104 + 0.1 [NO_2], \text{ where } r = 0.37$$

$$[NH_4] = 0.063 + 0.31 [NO_3], \text{ where } r = 0.57$$

شكل 8: العلاقة بين تركيز الأمونيوم والتريبت والنترات

#### ■ نمط التذبذب في تراكيز العناصر

أكدت النتائج حدوث ثلاثة أنماط لتذبذب تراكيز العناصر النادرة، والشكل (9) يوضح نمط التذبذب بين العناصر الممثلة للمجاميع الثلاثة (النيكل والزرنيخ والرصاص) مع الأملاح الذائبة الكلية، والنتائج هي:

● تتناغم تذبذب تراكيز العناصر النادرة (الكروم والكاميوم والخاصين والنيكل والكوبالت) مع نمط تذبذب الأيونات الرئيسية والأملاح الذائبة الكلية لمياه نهر الفرات وبحيرة حديثة، وعليه فإن تراكيز هذه العناصر متأثرة بالعوامل الهيدروجيوكيميائية الرئيسية والنتيجة من فاعلية وهيدروداينميكية مياه النهر على الرسوبيات ضمن قوانين وميكانيكية الحمولة الذائبة في الأنهار والبحيرات (Hem, 1970).

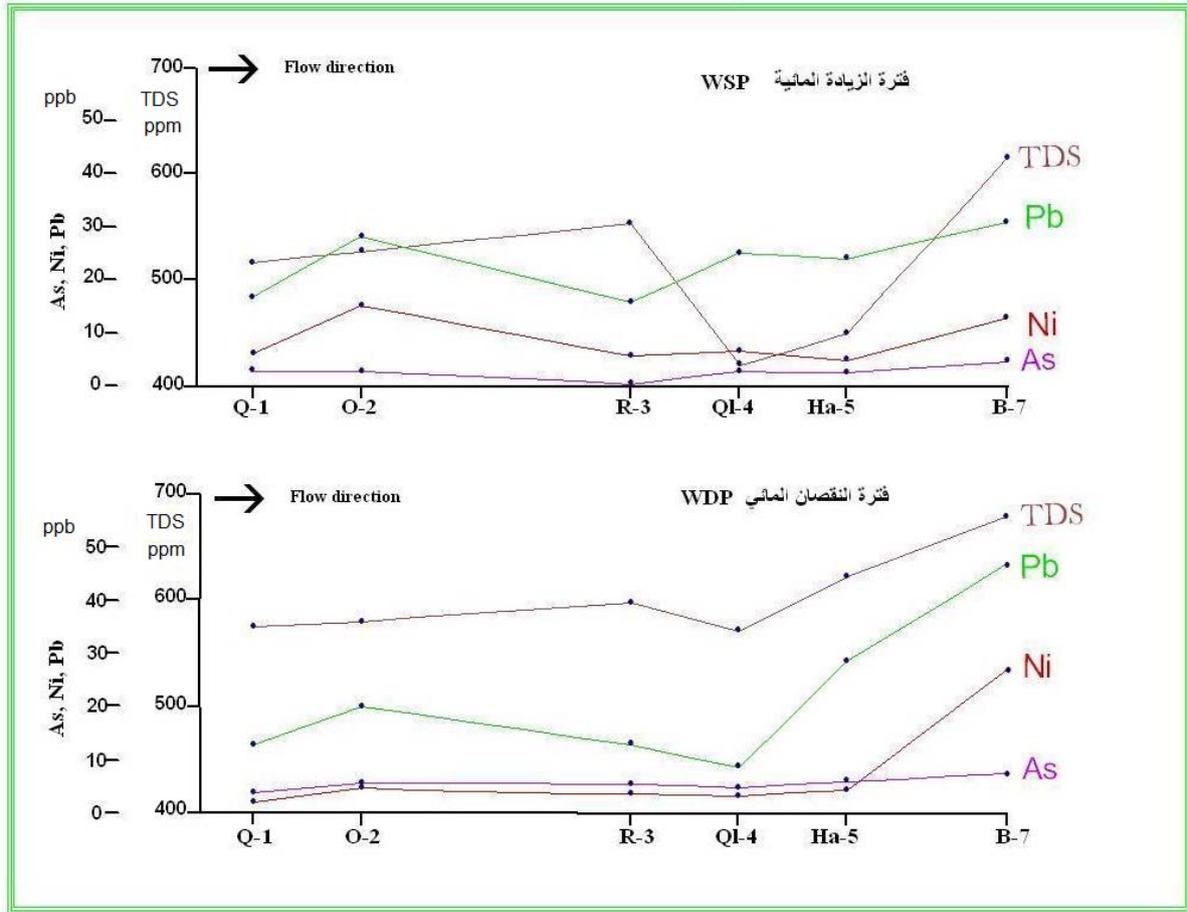
● تعاكست أنماط تذبذب تراكيز النحاس والزرنيخ مع أنماط تذبذب الأيونات الرئيسية لمياه نهر الفرات وبحيرة حديثة، حيث ازدادت تراكيزها في مياه البحيرة وحتى في فترة الزيادة المائية وبحالة المنسوب المرتفع لمياه البحيرة، وعليه إن هذه العناصر متأثرة بالعوامل البايوكيميائية (Cauwet and Sidorov, 1996) المتمثلة بتحلل النباتات والمواد العضوية في رسوبيات قاع البحيرة.

● كانت أنماط تذبذب الرصاص والزرنيق والألمنيوم والمنغنيز متباينة بين فترتي الزيادة المائية والنقصان المائي، ففي فترة النقصان المائي كان النمط متطابق مع نمط تذبذب المواد الذائبة الكلية (TDS)، بينما كانت معاكسة لنمط تذبذب الـ TDS في فترة الزيادة المائية، بمعنى آخر إن هذه العناصر متأثرة بالمصادر الهيدروجيوكيميائية بالإضافة إلى مصادر أخرى، مثل تأثير المياه الراجعة والمياه الجوفية على طول خط الجريان (Al-Dulaiymi et al., 2011).

#### ■ العمليات الهيدروكيميائية للعناصر النادرة

— الإغناء (Enrichment): هو زيادة تراكيز المكونات الكيميائية للمياه بفعل العمليات الهيدروجيوكيميائية الآتية:

- الإذابة (Dissolution).
- التلوث الطبيعي (Natural contamination) وينتج من عمليات الخلط بمياه ذات تراكيز عالية مصادرها طبيعية مثل تسرب المياه الجوفية وتصريف الينابيع وروافد الأنهار.
- التلوث الاصطناعي (Artificial pollution) وينتج من عملية إضافة المكونات الكيميائية والبايوكيميائية من مصادر غير طبيعية مثل المخلفات السائلة والمياه الراجعة (المجري والمبازل) (نشاطات الإنسان).



شكل 9: نمط تذبذب عناصر الرصاص والنيكل والزرنيخ والمواد الذائبة الكلية في نقاط المراقبة باتجاه خط الجريان

— الاستنزاف (Depletion): هو نقصان تراكيز المكونات الكيميائية للمياه بفعل العمليات الهيدروجيوكيميائية الآتية:

- التخفيف (Dilution) وتتم بإضافة مياه ذات تراكيز واطنة من المكونات الكيميائية وتحدث بفعل عمليات الخلط والانتشار (Mixing and dispersion mechanism).
- عوامل ثانوية، مثل إمتزاز بعض المكونات الكيميائية (الأيونات) من قبل الرسوبيات والمواد العالقة.
- تفاعل بعض المكونات الكيميائية بسبب تغير جهة التأكسد والاختزال (Collins, 1975) وترسيبها على هيئة مواد صلبة، كما يلعب عامل التبادل الأيوني زيادة في تراكيز بعض الأيونات المكونة للمياه يقابلها نقصان في تراكيز أيونات أخرى.

أثبتت نتائج تحليل العناصر النادرة في مياه نهر الفرات وبحيرة حديثة النتائج الآتية:

- تناقص تراكيز عناصر الكاديوم والألمنيوم والنحاس عند نقطة المراقبة في البغدادي عن تراكيزها في نقطة المراقبة (الدخول إلى النظام المائي) في القوائم بمقدار (0.3 و 70 و 0.7) مايكروغرام/لتر، على التوالي، في فترة الزيادة المائية (3.4 و 252 و 0.72) مايكروغرام/لتر في فترة النقصان المائي، على التوالي. هذا يعني إن مصدر تراكيز الكاديوم والألمنيوم والنحاس خلال السنة المائية هو من المكونات الكيميائية لمياه النهر خارج منطقة المراقبة وبالتحديد في مقطع النهر في أجزائه العليا (سوريا وتركيا) (Al-Janabi, 2008). وينطبق هذا التفسير على تراكيز الكروم والخاصين والزنبق في فترة النقصان المائي، إذ تناقصت تراكيزها بمقدار (3.61 و 2.99 و 4.47) مايكروغرام/لتر عند نقطة المراقبة في البغدادي عن نقطة المراقبة في القائم.

● ازدياد تراكيز الزرنيخ والمنغنيز والرصاص والنيكل والكوبالت عند نقطة المراقبة في البغدادي عن تراكيزها المسجلة في نقطة المراقبة في القائم بمقدار (0.22 و 7.8 و 13.08 و 7.07 و 1.88) مايكروغرام/ لتر، على التوالي، في فترة الزيادة المائية و (3.13 و 61.0 و 34.2 و 24.64 و 8.85) مايكروغرام/ لتر، على التوالي، في فترة نقصان المائي. وهذا يدل على أن مقدار عملية إغناء تراكيز الزرنيخ والمنغنيز والرصاص والنيكل والكوبالت في فترة نقصان المائي أكبر من الإغناء في فترة الزيادة المائية. وهذا ينطبق على تراكيز الخارصين والكروم والزنك في فترة الزيادة المائية، إذ ازدادت تراكيزه بمقدار (2.502 و 1.69 و 3.53) مايكروغرام/ لتر على التوالي، عند نقطة المراقبة في البغدادي عن ما سجل في نقطة المراقبة في القائم. إن الزيادة في عملية الإغناء في فترة نقصان المائي مقارنة بعملية الإغناء في فترة الزيادة المائية، ناتجة من انخفاض مناسيب مياه النهر والبحيرة بسبب عملية التبخر أو قلة التصريف التي تتحكم بها الدول المتشاطئة على النهر (سوريا وتركيا) والتي تتعكس بشكل سلبي على تردي المياه من خلال زيادة تراكيز العناصر. كما إن انخفاض منسوب المياه يجعل المياه عرضة للتلوث والتأثر بالمياه الراجعة والمياه الجوفية وذلك بسبب انخفاض قابلية مياه النهر والبحيرة على تخفيف أو تنظيم التراكيز المضافة الداخلة إلى النظام المائي.

#### ■ أصل ومصدر العناصر النادرة في مياه نهر الفرات والبحيرة حديثة

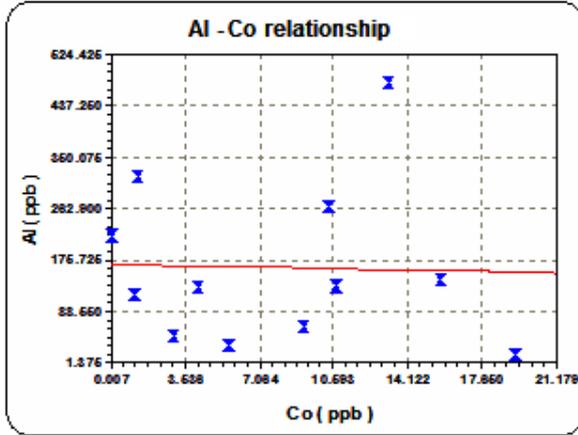
استخدمت المعلومات الإحصائية للوصول إلى بعض الحقائق المتعلقة بأصل تواجد العناصر النادرة في المياه وباستخدام برنامج Curve Expert v1.3 للحصول على معاملات الارتباط بين العناصر وفق الأسس والمنهجية الآتية:

- استخدام عنصر الألمنيوم كمرجعية لعلاقات العناصر، على اعتبار أن الألمنيوم مصدره المعادن الطينية المكونة للصخور الفتاتية ورسوبيات قاع النهر والبحيرة والحمولة العالقة فيها (Langmuir, 1997).
- استخدمت العلاقة بين الألمنيوم وايون الكالسيوم، على اعتبار أن أيونات الكالسيوم مصدرها المعادن الكربوناتيّة والكبريتاتيّة المكونة للصخور غير الفتاتية من الحجر الجيري والدولومايت والجبس، ومن مقارنة العلاقات بين العناصر والألمنيوم من جهة والكالسيوم والألمنيوم من جهة أخرى يمكن تحديد مصدر بعض العناصر التي ترتبط عكسياً مع الألمنيوم، فإذا ارتبطت هذه العناصر بشكل طردي مع الكالسيوم فإن مصدرها من معادن الصخور الجيرية والجبسية وإذا ارتبطت عكسياً مع الألمنيوم، فإن مصدرها ليست الرسوبيات وإنما مصادر أخرى، مثل تأثيرات المياه الجوفية والمياه الراجعة وتحلل المواد العضوية وتأثير النباتات المائية.

أوضحت علاقات الارتباط بين العناصر النادرة والألمنيوم في الأشكال (10 و 11 و 12 و 13 و 14 و 15 و 16 و 17 و 18 و 19) النتائج الآتية:

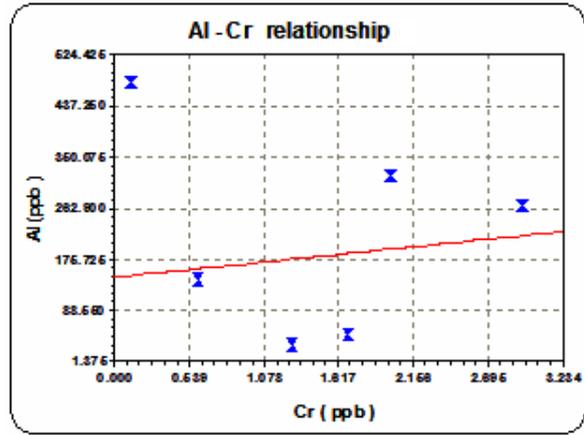
- ترتبط تراكيز عناصر الكوبالت والنيكل والرصاص بعلاقة عكسية مع تركيز الألمنيوم، وهذا مؤشر على أن المصدر الرئيسي لهذه العناصر، على الأغلب. أما المعادن المكونة للصخور غير الفتاتية (الجيرية والجبسية)، وذلك لان علاقة تركيز الألمنيوم بالكالسيوم (الشكلين 20 و 21) هي علاقة عكسية، لذا فإن تركيز عناصر الكوبالت والنيكل والرصاص يرتبط بعلاقة طردية مع الكالسيوم، أو أن المصدر الرئيسي هو من مصادر التلوث الطبيعية وغير الطبيعية للمياه الجوفية والمياه الراجعة (المجري والمبازل).
- ترتبط تراكيز عناصر النحاس والمنغنيز والكروم والخارصين والكوبالت والزنك والزرنيخ بعلاقة طردية مع تركيز الألمنيوم، وهذا ما يدل على الأغلب أن المصدر الرئيسي لهذه العناصر هي المعادن الطينية المكونة للرسوبيات الفتاتية ورسوبيات القاع والمواد العالقة.
- ترتبط تراكيز مركبات النتروجين طردياً مع تركيز الألمنيوم (الشكل 22)، وهذا يعكس وجود المواد العضوية النباتية مع رسوبيات القاع أو محمولة بشكل مواد عالقة أو غروية (Langmuir, 1997)، والتي انعكست بشكل ايجابي على تركيز الزرنيخ، وكما موضح من خلال العلاقة الطردية بين مركبات النتروجين وتركيز الزرنيخ (الشكل 23).

وكما أوضح الشكلين (24 و 25) العلاقة العكسية بين مركبات النتروجين من جهة والرصاص والزنك من جهة ثانية، وهذا دليل على عدم ارتباط عناصر الرصاص والزنك مع معادن الصخور الطينية وعدم تأثرها بالمواد العضوية. وأخيراً فإن هذه العلاقة تعكس مصادر تواجد العناصر النادرة في المياه على طول خط الجريان من المنبع وحتى آخر نقطة مراقبة في البغدادي.



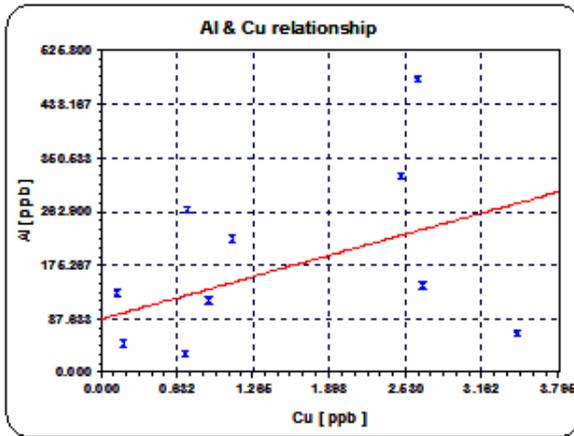
$$[Al] = 168 - 0.64 [Co], \text{ where } r = 0.029$$

شكل 11: علاقة تراكيز الألمنيوم والكوبالت في مياه نهر الفرات وبحيرة حديثة



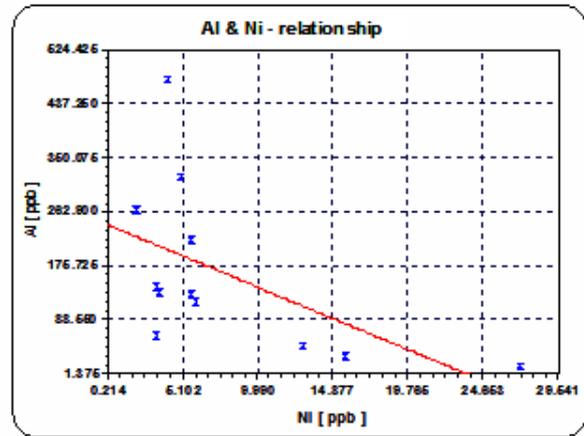
$$[Al] = 145.63 + 24.16 [Cr], \text{ where } r = 0.18$$

شكل 10: علاقة تراكيز الألمنيوم والكروم في مياه نهر الفرات وبحيرة حديثة



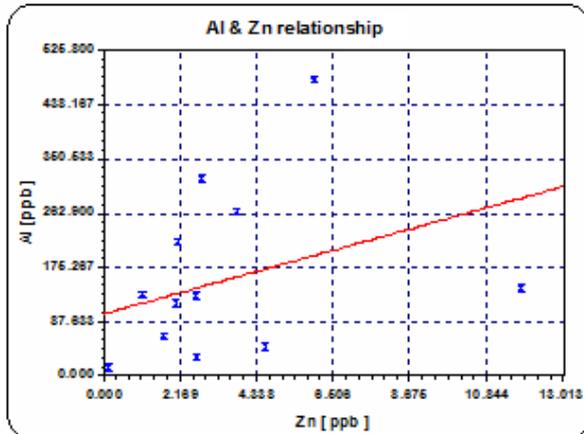
$$[Al] = 87.59 + 54.55 [Cu], \text{ where } r = 0.49$$

شكل 13: علاقة تراكيز الألمنيوم والنحاس في مياه نهر الفرات وبحيرة حديثة



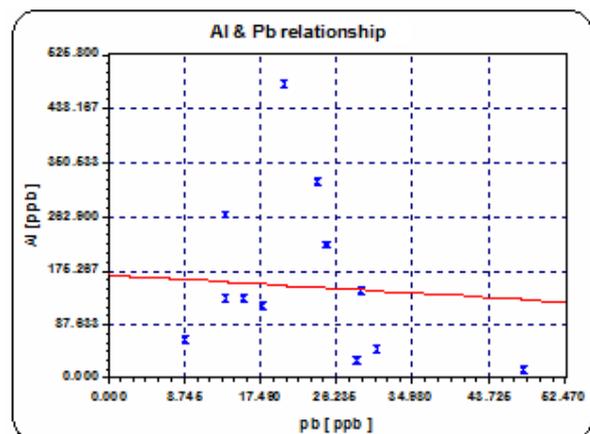
$$[Al] = 244.4 - 10.3 [Ni], \text{ where } r = 0.55$$

شكل 12: علاقة تراكيز الألمنيوم والنيكل في مياه نهر الفرات وبحيرة حديثة



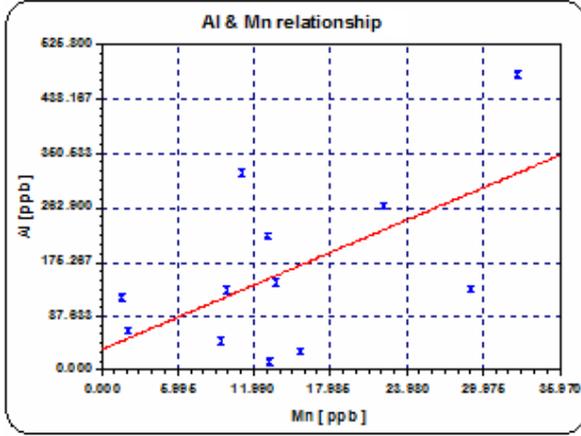
$$[Al] = 87.59 + 15.79 [Zn], \text{ where } r = 0.35$$

شكل 15: علاقة تراكيز الألمنيوم والزنك في مياه نهر الفرات وبحيرة حديثة



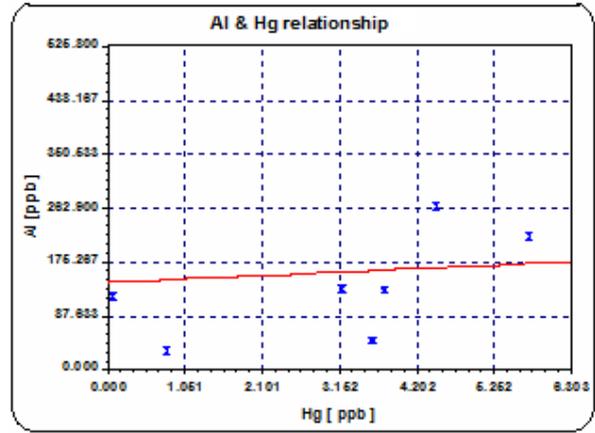
$$[Al] = 167.68 - 0.829 [Pb], \text{ where } r = 0.071$$

شكل 14: علاقة تراكيز الألمنيوم والرصاص في مياه نهر الفرات وبحيرة حديثة



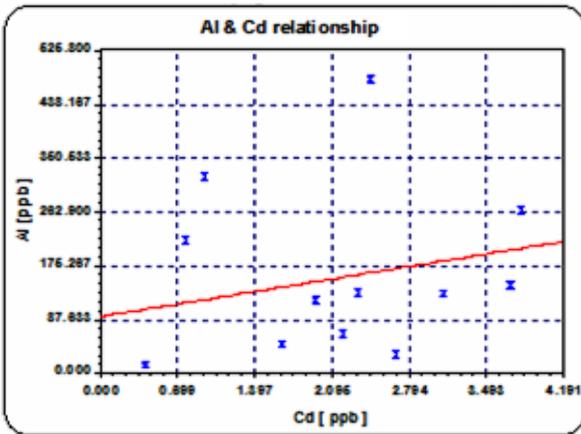
$[Al] = 34.24 + 8.7 [Mn]$ , where  $r = 0.62$

شكل 17: علاقة تراكيز الألمنيوم والمنغنيز في مياه نهر الفرات وبحيرة حديثة



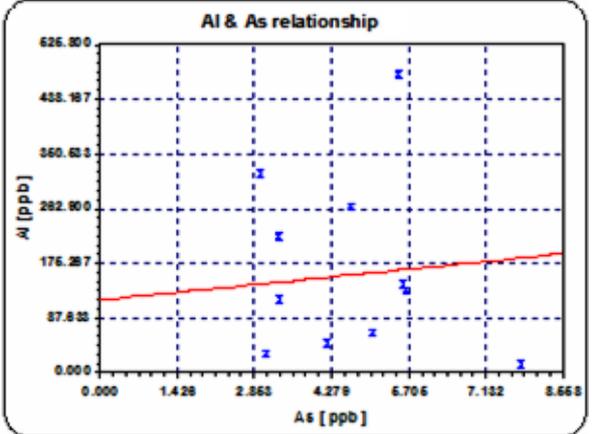
$[Al] = 141.69 + 5.26 [Hg]$ , where  $r = 0.081$

شكل 16: علاقة تراكيز الألمنيوم والزنبيق في مياه نهر الفرات وبحيرة حديثة



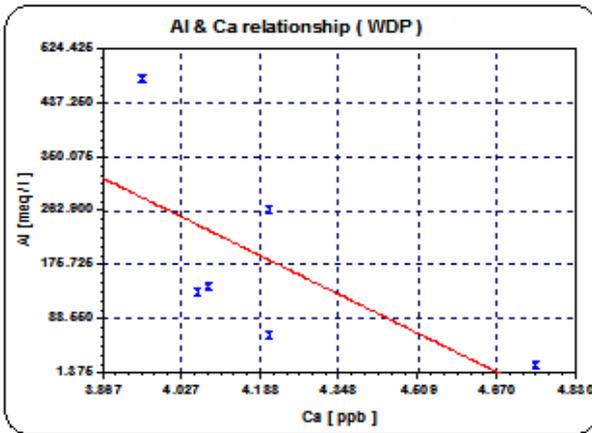
$[Al] = 91.98 + 29.21 [Cd]$ , where  $r = 0.26$

شكل 19: علاقة تراكيز الألمنيوم والكاديوم في مياه نهر الفرات وبحيرة حديثة



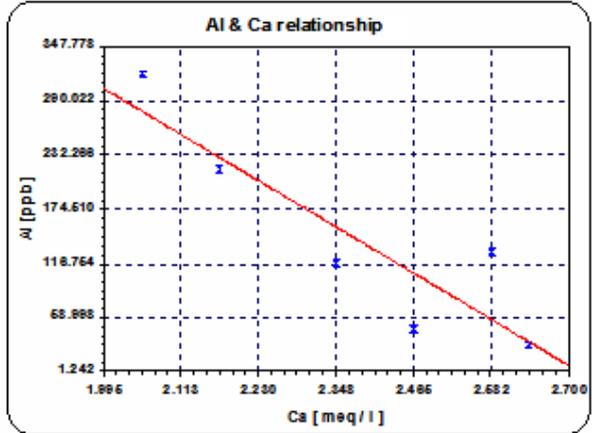
$[Al] = 116.4 + 8.66 [As]$ , where  $r = 0.14$

شكل 18: علاقة تراكيز الألمنيوم والزرنيخ في مياه نهر الفرات وبحيرة حديثة



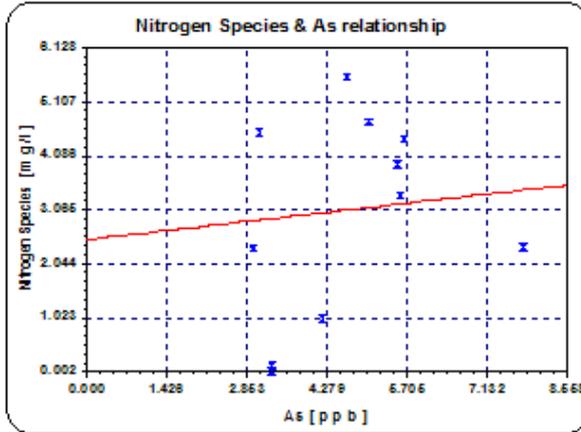
$[Al] = 1828 + 391 [Ca]$ , where  $r = 0.65$

شكل 21: علاقة تراكيز الألمنيوم والكالسيوم في فترة النقصان المائي



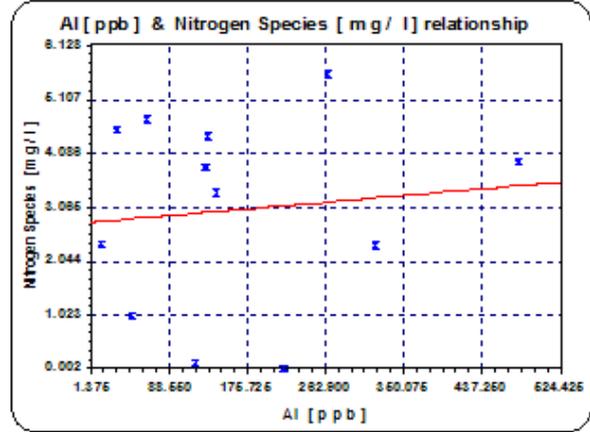
$[Al] = 1140.4 + 419.47 [Ca]$ , where  $r = 0.89$

شكل 20: علاقة تراكيز الألمنيوم والكالسيوم في فترة الزيادة المائية



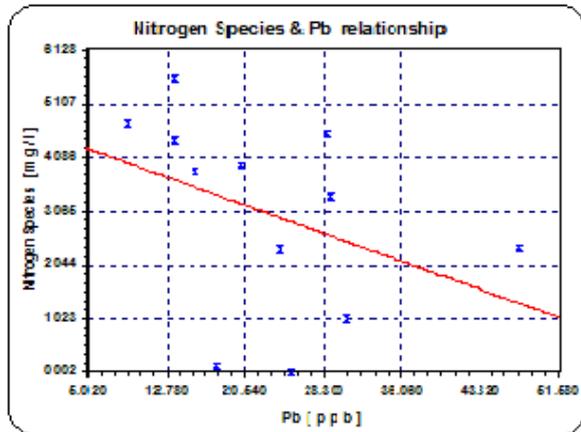
$$[\text{Nitrogen Species}] = 2.49 + 0.12 [\text{As}], \text{ where } r = 0.12$$

شكل 23: علاقة تراكيز الزرنيخ ومركبات النتروجين



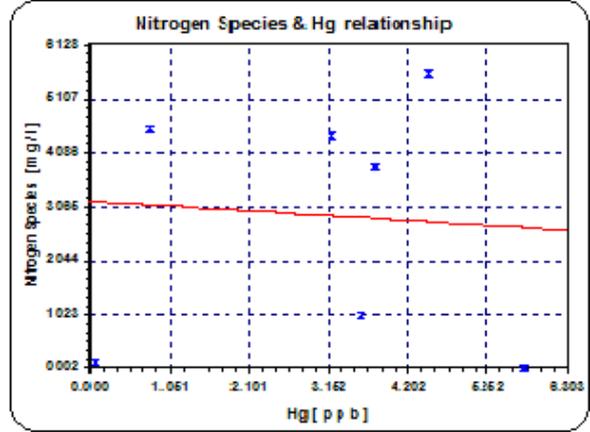
$$[\text{Nitrogen Species}] = 2.77 + 0.001 [\text{Al}], \text{ where } r = 0.11$$

شكل 22: علاقة تراكيز الألمنيوم ومركبات النتروجين



$$[\text{Nitrogen Species}] = 4.58 - 0.068 [\text{Pb}], \text{ where } r = 0.39$$

شكل 25: علاقة تراكيز الرصاص ومركبات النتروجين



$$[\text{Nitrogen Species}] = 3.17 + 0.086 [\text{Hg}], \text{ where } r = 0.10$$

شكل 24: علاقة تراكيز الزئبق ومركبات النتروجين

### الاستنتاجات

- من خلال هذه الدراسة لمياه نهر الفرات وبحيرة حديثة، يمكن استنتاج ما يلي:
- أثبتت نتائج المراقبة لمياه النهر والبحيرة لفترتي الزيادة والنقصان المائي للسنة المائية 2007 عدم وجود مصادر تلوث حرارية طبيعية أو صناعية ذات تأثير خطير على التنوع البيولوجي في النظام البيئي المائي للنهر بين القائم والبغادي.
- أثبتت نتائج قياسات درجة الحمضية والعسرة والتوصيلية الكهربائية لمياه نهر الفرات من القائم إلى البغادي عدم تسجيل حالات تلوث طبيعية أو صناعية خطيرة، وان وجدت حالات تلوث فهي ليست بالفاعلية المهمة والخطرة ولكن تستدعي المعالجة قبل استخدامها إذ أنها مياه قليلة القاعدية - قليلة الحمضية ومياه يسرة إلى عسرة نسبياً.
- أكدت نتائج المواد الذائبة الكلية أن مياه النهر والبحيرة هي مياه عذبة ذات تركيز أقل من 677 ملغم/ لتر ونتائجها ما يلي:

- رصد حالة إغناء بتركيز المواد الذائبة الكلية مع خط الجريان بين القائم وراوة بنسبة قدرها 7.48% و 4.25% لفترتي الزيادة المائية والنقصان المائي، على التوالي.
- تسجيل حالة تخفيف في تركيز المواد الذائبة الكلية في بحيرة حديثة بنسب تتراوح بين (4.5 - 23.31) % في فترتي المراقبة.
- رصد حالة إعادة إغناء بتركيز المواد الذائبة الكلية بعد تصريفها من بوابات سد حديثة باتجاه محطة البغادي وبنسبة إغناء قدرها (9.17 - 38.64) % في فترتي المراقبة. إن عملية الإغناء بالتركيز تعود إلى: تراكم عمليات الإذابة على طول خط الجريان، وإضافة المكونات الكيميائية من المياه الراجعة والمياه الجوفية، خصوصاً وإنها تتحرك باتجاه النهر الذي يمثل نطاق تصريفها.

- إن أهم عملية هيدروجيوكيميائية تحدث في بيئة بحيرة حديثة هي عملية الامتزاج والانتشار والتي بموجبها تتم حالة التخفيف بالتركيبة وذلك لكون المياه المخزونة في البحيرة لها القابلية على استيعاب المواد المضافة، إذا ما بقيت نسبة تصريف الأملاح الداخلة إليها ثابتة في المستقبل. كما أثبتت النتائج أن عملية الإغناء في مقطع نهر الفرات والتخفيف في مياه البحيرة في فترة الزيادة المائية هو أعلى من حدوثها في فترة النقصان المائي والتي تدل وتؤكد حدوث عمليات الإذابة والخلب (leaching) لصخور رسوبيات القاع وهي المصدر الرئيسي. كما أكدت أن المصادر الثانوية لها دور في عملية إغناء تراكيز الأيونات في المياه ناتجة من إضافة المكونات الكيميائية لمياه ينابيع حجلان إلى النهر بكمية تقدر بين (7 - 8) طن/ يوم، والمعلومات أعلاه أكدت عدم رصد ملوثات خطيرة ولكن لم تنفي عدم حصولها بسبب ضعف تأثيرها على مياه النهر لمحدودية فعاليتها وفي مناطق التأثير، ولمسافات قليلة.
- صنفت مياه نهر الفرات ضمن مجموعة الكبريتات من عائلة كالمسيوم - الكبريتات في نطاق نطاقي النهر (قائم - راوة) و(حديثة - البغدادي)، فيما صنفت مياه بحيرة حديثة ضمن مجموعة البيكاربونات من عائلة كالمسيوم - بيكاربونات. كما أكد التصنيف الهيدروكيميائي لمياه البحيرة ظاهرة هيدروكيميائية تمثلت بتجانس تراكيز الكلوريد والكبريتات والبيكاربونات ضمن حدود نسبة 33% لكل منها. والذي يؤكد دور البحيرة التنظيمي في عملية التوازن الهيدروكيميائي الناتجة من عمليات الانتشار والامتزاج والتبادل الأيوني بين مياه نهر الفرات الداخلة والمياه المخزونة فيه، ومنها نستنتج أن ماء البحيرة المخزون لعب دوراً إيجابياً في تخفيف التراكيز ولم تكن البحيرة مصدراً لتردي المياه من ناحية الملوحة وعلى أقل تقدير في فترة المراقبة والرصد والتحليل.
- رصدت الدراسة ومن خلال المعلومات الإحصائية للأيونات الرئيسية  $SO_4$ ,  $Cl$ ,  $Mg$ ,  $Ca$ ,  $Na$ ,  $K$  و  $HCO_3$  عمليات الإغناء والاستنزاف وإعادة إغناء التراكيز على طول خط المراقبة وتم مناقشة هذا الموضوع بأسلوب كمي لا وصفي وبمستويات دقة معقولة. وأشارت خلاصة نتائج الارتباط إلى أن العمليات الهيدروجيوكيميائية في مياه النهر ضمن مجراه وفي فترة الزيادة المائية هي العمليات الحاكمة في تذبذب تراكيزها، مثل الإذابة والتبادل الأيوني والامتصاص. وكذلك أشارت نتائج الارتباط الواظنة المرصودة في فترة النقصان المائي إلى وجود عوامل مؤثرة خارج نظام وبيئة النهر تؤثر في مياهه، وهي على الأغلب من مصادر المياه الراجعة والمياه الجوفية. لم تؤثر هذه النتائج حالة تلوث كبرى وخطرة بسبب محدودية فعاليتها ويمكن أن تكون مستقبلاً بؤراً للتلوث في حالة تناقص تصريف مياه نهر الفرات المستلمة من دول المنبع (تركيا وسوريا).
- لم تسجل نتائج تحاليل أيونات الفوسفات على وجود نشاط صناعي واضح وجلي، وهذا متوقع لان معامل الفوسفات متوقعة ولم تعمل طيلة فترة المراقبة وقد سجلت حالة إغناء بسيطة في مياه البحيرة، وقد يعود تفسيره إلى تحلل هياكل الكائنات النباتية والحيوانية (النباتات المائية والأسنان والأسماك) المتواجدة ضمن رسوبيات القاع، وقد يكون مصدرها للسنوات الماضية قبل فترة المراقبة.
- سجلت نتائج تحليلات مركبات النتروجين من الأمونيوم والنترت والنترات ازدياداً وإغناءً في تراكيز الألمنيوم والنترت إلى حدود أعلى من الحدود المقترحة لاستخدامها في مياه الشرب، وهو المؤشر الخطير الذي اتضح من هذه الدراسة، ويعود سبب ذلك إلى تغير البيئة النهريّة من الحالة الهيدروديناميكية الفعالة إلى حالة هيدروديناميكية غير فعالة أو إلى هيدروستاتيكية وساكنة وفي بعض مقاطعه، وذلك من خلال تحويل مجرى النهر إلى بحيرات ساعدت على نمو النباتات المائية بكثافة غيرت من الوضع البايوكيميائي لمياه النهر الذي انعكس بشكل واضح من خلال ازدياد نسبة المواد العضوية في رسوبيات القاع وبالتالي التأثير على الأحياء المائية النباتية والمجهرية والتي جعلت من المياه ذات لون اخضر ناتج من تحلل النباتات والأسنان وتكاثر البكتيريا.
- خلصت نتائج تحاليل العناصر النادرة من الكروم والكوبالت والنيكل والنحاس والخاصين والرصاص والزنبق والألمنيوم والمنغنيز والزرنيخ والكالسيوم إلى أن تراكيزها كانت ضمن حدود تواجدتها في البيئات النهريّة الطبيعية وتقع ضمن الحدود المقترحة لاستخدامها في مياه الشرب، باستثناء الرصاص والزنبق والمنغنيز وفي فترة النقصان المائي ولمحطة البغدادي فقط. وقد تبين من خلال دراسة مصادر وجود العناصر بالطرق الإحصائية أن عناصر الرصاص والزنبق والمنغنيز مصدرها المياه الجوفية ومياه ينابيع حجلان، إذ ازدادت تراكيزها في فترة النقصان الحالي وهذا ما أوصل الباحثين إلى استنتاج أن مياه نهر الفرات قد تكون عرضة لخطر التلوث بعد سد حديثة مع خط الجريان في حالة استمرار تناقص تصريف مياه نهر الفرات المستلمة من دول المنبع.
- إن تركيز الأمونيوم في فترتي الزيادة المائية والنقصان المائي ازداد عن الحد المسموح به للاستخدام البشري البالغ 0.05 ملغم/ لتر، لذا يتطلب إجراءات معالجة المياه بالتهوية في محطات تنقية المياه لزيادة إذابة الأوكسجين في الماء والذي ينتج عنه أكسدة الأمونيوم وتحويله إلى نترت ( $NO_2$ ) ومن ثم إلى نترات ( $NO_3$ ) مع ضرورة معالجة البكتيريا المصاحبة، لأن وجود الأمونيوم بنسب تراكيز تفوق المسموح بها يعني إن هنالك عمليات بايو - هيدروكيميائية جارية في بيئة اختزالية قد تكون مثالية لنمو أنواع من البكتيريا الضارة بالصحة. يمكن حل مشكلة ازدياد تراكيز الأمونيوم والنترات من خلال التفاوض مع البلدان المتشاطئة لنهر الفرات بضرورة حصول العراق على حصته المائية الطبيعية لإعادة التوازن البيئي المائي بدرجة معقولة، إضافة إلى تجنب استخدام مياه النهر مباشرة لأغراض الشرب إلا بعد تعقيمها.

Annex 1: Hydrochemical data, Ions WDP, 2007

Water Point	Temp. (°C)	pH	EC X 106 (µs/cm) (25 °C)	TDS Mg/l	Cationic Composition				Total Cations		Anionic Composition				Total Aninos	TH	PO <sub>4</sub>	NH <sub>4</sub>	NO <sub>2</sub>	NO <sub>3</sub>
					K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Mg <sup>++</sup>	Ca <sup>++</sup>	Meq/l	Meq%	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Meq/l						
Q-1	24	7.3	680	572.5	1.801	2.363	4.206	8.395	2.002	3.559	2.801	113.12	8.362	0.197	0.222	0.07	5.28			
					0.298	21.451	28.148	48.362	100	23.942	42.561	33.497	100	-						
O-2	23.4	7.0	680	580.1	1.748	2.319	3.947	8.039	2.404	3.601	2.801	107.6	8.804	0.156	0.358	0.059	3.512			
					0.311	21.744	28.847	49.098	100	27.283	40.902	31.815	100	-						
R-3	23.5	7.3	750	597	1.831	2.517	4.062	8.435	2.803	3.507	2.84	112.1	9.111	0.123	0.128	0.08	4.20			
					0.296	21.707	29.840	48.157	100	30.765	38.492	30.743	100	-						
QL-4	23	7.0	816	570	1.953	2.578	4.206	8.759	2.803	2.793	2.801	115.74	8.397	0.355	0.197	0.124	4.40			
					0.252	22.297	29.432	48.019	100	33.381	33.262	33.357	100	-						
Ha-5	23.8	7.0	840	620.2	2.153	2.78	4.082	9.04	2.803	3.567	2.2	115.7	8.57	0.182	0.077	0.62	2.64			
					0.276	23.816	30.753	45.155	100	32.707	41.622	25.671	100	-						
B-6	24.0	7.5	920	677	2.171	2.827	4.75	9.773	2.803	4.945	2.601	129.68	10.349	0.115	0.137	0.027	2.2			
					0.256	22.214	28.927	48.603	100	27.085	47.782	25.133	100	-						

Annex 1: Hydrochemical data, Ions WSP, 2007

Water Point	Temp. °C	pH	EC X 106 (µs/cm) (25 °C)	TDS Mg/l	Cationic Composition				Total Cations Meq/l	Anionic Composition				Total Anions Meq/l	TH	PO <sub>4</sub>	NH <sub>4</sub>	NO <sub>2</sub>	NO <sub>3</sub>
					K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Mg <sup>++</sup>	Ca <sup>++</sup>		Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Mg/l						
					Meq%					Meq%									
Q-1	11	7.4	730	513	0.04	1.827	1.58	2.348	5.795	2.002	3.507	2.709	8.212	66.23	0.246	0.109	0.0	0.022	
					0.690	31.527	27.265	40.518	100	24.361	42.675	32.964	100						
O-2	13	6.5	740	526	0.047	1.914	1.669	2.641	6.271	2.002	3.633	2.601	8.236	73.3	0.273	0.104	0.024	0.022	
					0.750	30.521	26.615	42.114	100	24.308	44.111	31.581	100						
R-3	10	7.8	770	551	0.051	1.983	1.624	2.583	6.241	2.402	3.738	2.701	8.841	71.94	0.19	0.259	0.025	4.40	
					0.817	31.774	26.021	41.388	100	27.169	42.280	30.551	100						
QL-4	11	7.2	750	422	0.036	1.392	1.365	2.171	4.955	1.201	2.425	2.801	6.427	60.06	0.095	0.00	0.015	3.52	
					0.727	28.093	27.366	43.814	100	18.687	37.731	43.582	100						
Ha-5	12	7.3	750	444	0.038	1.392	1.386	2.054	4.870	1.601	2.572	2.801	6.974	58.07	0.127	0.109	0.022	2.2	
					0.780	28.583	28.460	42.177	100	22.957	36.880	40.163	100						
B-6	11	7.1	890	616	0.076	2.436	2.436	1.952	2.465	2.803	4.977	2.400	10.18	73.22	0.147	0.095	0.031	0.88	
					1.096	35.157	31.157	28.172	100	27.534	48.89	23.576	100						

Annex 2: Trace Element Concentrations (WSP and WDP), 2007

Water point	Cr ppb	Co ppb	Ni ppb	Cu ppb	Zn ppb	Pb ppb	Hg ppb	Al ppb	Mn ppb	As ppb	Cd ppb	Remark
Q-1	-	1.129	5.93	0.89	2.068	17.75	0.07	117.5	1.6	3.32	1.95	WSP
O-2	1.28	5.62	15.8	0.7	2.65	28.57	0.8	30.12	15.7	3.08	2.68	WSP
R-3	-	4.134	5.69	0.14	2.62	15.6	3.77	129.6	9.9	-	3.103	WSP
QL-4	-	0.07	5.66	1.09	2.107	25.08	5.73	216.6	13.1	3.3	0.77	WSP
Ha-5	2.0	1.26	4.98	2.5	2.8	24.06	-	318.9	11.1	2.97	0.95	WSP
B-6	1.69	3.01	13.0	0.19	4.57	30.83	3.6	47.5	9.4	4.2	1.65	WSP
Q-1	2.94	10.41	2.41	0.72	3.78	13.5	4.47	266	22.2	4.65	3.81	WDP
O-2	0.116	13.26	4.12	2.63	5.95	20.24	-	478	32.7	5.53	2.45	WDP
R-3	-	10.74	3.62	-	1.1	13.5	3.19	132	29.0	5.66	2.34	WDP
QL-4	-	9.123	3.39	3.45	1.7	8.9	-	64	2.08	5.03	2.2	WDP
Ha-5	0.6	15.71	3.39	2.67	11.83	28.99	-	142	13.66	5.59	3.71	WDP
B-6	-	19.26	27.05	-	0.17	47.7	-	13.75	83.2	7.78	0.41	WDP

## المصادر

- Al-Dulaiymi, A.S., Hussien, B.M. and Mekhlef, H.N., 2011. Hydrologic System of Euphrates River, Spatial Analysis Between Qaem – Falluja. CDS . Al-Anbar Univ., Unpub. Report, 22pp.
- Al-Hamdani, M.A., Fayadh, A.S. and Hussien, B.M., 2010. Probable pollution study in Euphrates River between Qaem and Falluja during (2007 – 2008) water years. Ministry of Higher Education and Scientific Research, University of Al-Anbar, Center of Desert Studies. Unpub. Study, 162pp.
- Al-Janabi, M.A., 2008. Qualitative and Environmental study for Euphrates River from Dyer Elzor to Baghdadi, using chemical analysis and remote sensing. Science College, Al-Anbar University, Unpub. M.Sc. Thesis, (in Arabic).
- Araim, H.I., 1990. Hydrogeological Map of Iraq, scale 1: 1000 000. GEOSURV, Baghdad, Iraq.
- Buday, T. and Jassim, S., 1987. Tectonic Map of Iraq, scale 1: 1000 000. GEOSURV, Baghdad, Iraq.
- Cauwet, G. and Sidorov, I., 1996. The biogeochemistry of the Lena River. Organic carbon and nutrients distribution. Mar. Chem., Vol.53, p. 211 – 227.
- Collins, A.G., 1975. Geochemistry of oil field water. Development in Petroleum Science, Holland, 496pp.
- Fouad, S.F., 2007. Tectonic and Structural Evolution of the Iraqi Western Desert. Iraqi Bull. Geol. Min., Special Issue. No.1, p. 29 – 51.
- Helsel, D.R. and Hirsch, R.M., 2002. Chapter A3, Statistical Methods in Water Resources, Techniques of Water-Resources Investigations of the United States Geological Survey, Book 4, Hydrologic Analysis and Interpretation. Publication available at: <http://water.usgs.gov/pubs/twri/twri4a3/> . 510pp.
- Hem, J.D., 1970. Study and interpretation of the chemical characteristics of natural water, 2<sup>nd</sup> edit. GSWs, Paper 1473.
- Hussien, B.M., 2010. Hydrogeological Condition within Al-Anbar Governorate. Jour. Al-Anbar Univ. for Pure Science, ISSN: 1991-8941, Vol.4, No.3, p. 97 – 111.
- Hussien, B.M., Al-Dulaiymi, A.S. and Al-Hamdani, M.A., 2011. Hydro-chemical model and probable pollution in the water of Euphrates River (Qaem – Falluja). CDS. Al-Anbar Univ., Unpub. Report, 28pp.
- Jassim, S.Z., Karim, S.A., Basi, M.A., Al-Mubarak, M. and Munir, J., 1984. Final report on the regional geological survey of Iraq, Vol. 3, Stratigraphy. GEOSURV, int. rep. no. 1447.
- Laboutka, M., 1974. The hydrogeological tables and data (Basic Instruction No.3). Unpub. Report No.3. GEOSURV, Baghdad, 40pp.
- Langmuir, D., 1997. Aqueous Environmental Geochemistry. Colorado School of Mines. Prentice Hall. Upper Saddle River, New Jersey 07458, 618pp.
- Matthess, G., 1982. The Properties of Groundwater. Dep. of Environmental Science. John Wiley and Sons. Inc. New York, 406pp.
- PDWQS (Public Drinking Water Quality Standards), 2007. Standards for quality of public drinking water, Public Health Code: 19-13-B102. Department of Public Health. Current with materials published in Connecticut Law Jour., through 11/06/2007. 97pp.
- Walton, W.C., 1970. Groundwater Resource Evaluation. McGraw Hill Series. 664pp.
- Sissakian, V.K., 2000. Geological Map of Iraq, scale 1: 1000 000, 3<sup>rd</sup> edit. GEOSURV, Baghdad, Iraq.
- Sissakian, V.K. and Mohammed, B.S., 2007. Stratigraphy. In: The Geology of the Iraqi Western Desert. Iraqi Bull. Geol. Min., Special Issue, No.1, p. 51 – 125.