مقارنة تلوث نهر دجلة قبل وبعد توقف الإنتاج في منجم كبريت المشراق، جنوب الموصل، وسط شمال العراق

قيس جاسم سعود*

الإستلام: 6/ 3/ 2008، القبول: 3/ 7/ 2008

المستخلص

تناولت الدراسة مقارنة التلوث في نهر دجلة، من شمال منجم كبريت المشراق ولغاية التقاء نهر الزاب الأعلى بنهر دجلة، قبل وبعد توقف استخراج الكبريت بطريقة فراش من منجم كبريت المشراق وذلك من خلال نتائج التحاليل الهيروكيميائية لنماذج المياه التي التقطت في عام 2007 ومقارنتها بنتائج التحاليل الهيدروكيميائية قبل توقف الاستخراج والمنشورة في الدراسات السابقة. تبين بان قيم التراكيز للايونات الرئيسية وكذلك قيم الأس الهيدروجيني لم تتغير كثيراً ومازالت ضمن الحدود المسموح بها، إلا ان قيم كمية المواد الصلبة الذائبة زادت في نماذج عام 2007 عن قيمها في نماذج السنين السابقة. بينت نتائج التحاليل الكيميائية للنماذج بان هناك زيادة كبيرة في قيم تركيز غاز كبريتيد الهيدروجين بمنطقة محددة من نهر دجلة لا تتجاوز مئات الأمتار، وتبين بان التسرب الحاصل من منجم كبريت المشراق من خلال العيون الصناعية التي خلّفها والتي أصبحت منفذا طبيعيا لتصريف المياه الجوفية الكبريتية هو احد الأسباب المؤدية الى زيادة تلوث مياه نهر دجلة بهذا الغاز. ومن الأسباب الأخرى هو انتشار العيون الكبريتية الطبيعية من منطقة الموصل وحتى منطقة التقاء نهر الزاب الأعلى بنهر دجلة، وكذلك مياه الآبار الكبريتية ذاتية التدفق التي تصب في مجرى نهر دجلة، والتي تقل كثيرا عند التقاء نهر الزاب الأعلى بنهر دجلة وتختفي بعد ذلك.

TIGRIS RIVER POLLUTION: A COMPARATIVE STUDY BEFORE AND AFTER PRODUCTION STOPPAGE FROM AL-MISHRAQ SULFUR MINE, SOUTH OF MOSUL, CENTRAL NORTH IRAQ

Qays J. Saud

ABSTRACT

This study reveals a comparison of the environmental impact for the pollution of the Tigris river, from north of Al-Mishraq sulfer mine till the junction of Greater Zab River with Tigris River, before and after production stoppage by means of Frash method, through hydrochemical analysis of many samples collected in 2007 and their comparison with samples collected in previous studies, before the production stoppage period. It was found that there is no main change in the major ions concentration and pH; and they are within the acceptable limits, but the total dissolved solids in the collected samples during 2007 increased slightly as compared to the previously collected samples. Also a considerable increase was found in H_2S, in a restricted area within Tigris River, which is not more than few hundred meters. It was found that the seepage from Al-Mishraq sulfur mine through the artificial springs that were developed during production is one of the reasons that have increased the pollution of Tigris River by H_2S. From other reasons are: the presences of sulfatic springs that exist along the river from Mosul city down to the area of the junction of Greater Zab River with Tigris River, moreover, the presence of the naturally flowing wells that yield sulfatic water and drain into Tigris River. The pollution decreases considerably after the junction of Greater Zab River with Tigris River and disappears behind that.

* رئيس جيولوجيين أقدم، الشركة العامة للمسح الجيولوجي والتعدين، ص.ب. 986، علوية، بغداد، العراق

المقدمة

يمتاز نهر دجلة بعذوبة مياهه عند دخوله الأراضي العراقية من شمالها عبر تركيا حيث منبع هذا النهر، وتزداد كمية الملوثات في هذا النهر بعد ذلك بسبب جريانه في الأراضي العراقية عبر تكوينات جيولوجية تحوي على صخور ذات قابلية عالية للإذابة وأهمها صخور الجبس ضمن تكوين الفتحة، وكذلك إنشاء السدود على هذا النهر في كل من تركيا والعراق مما يسبب زيادة كمية المواد الصلبة الذائبة بسبب التبخر العالي من أحواض هذه السدود، يضاف الى ذلك ما يطلق من المخلفات الصناعية أو البشرية الى مجرى النهر وبدون معالجة تذكر. وفي محافظة الموصل تحديداً تصب مياه الكثير من العيون الكبريتية في نهر دجلة مباشرة ابتدءاً من مدينة الموصل مرورا بحمام العليل وحتى التقاء نهر الزاب الأعلى به، وتتسرب المياه من منجم كبريت المشراق عبر عيون صناعية تنبع بوسط النهر، بسبب المياه المستخدمة لأغراض إنتاج الكبريت (محمود وآخرون، 2005) (الشكل 1).

شكل 1: منفذ العيون الصناعية في نهر دجلة

الهدف

إن الهدف من هذا البحث هو دراسة تلوث نهر دجلة في المنطقة المحددة من شمال منجم كبريت المشراق ولغاية التقاء نهر الزاب الأعلى مع نهر دجلة قبل وبعد توقف استخراج الكبريت من منجم كبريت المشراق، وذلك من خلال مقارنة نتائج التحاليل الهيدروكيميائية لنماذج المياه الملتقطة في هذه الدراسة عام 2007 مع مثيلاتها من نتائج التحاليل المنشورة في الدراسات السابقة (المرهج، 1979 ومحمود وآخرون، 2005).

الدراسات السابقة

درست المنطقة هيدروجيولوجيا وجيولوجيا بصوره تفصيلية من قبل الكثير من الباحثين ومن هذه الدراسات:

- المرهج (1979): قدم دراسة حول هيدروكيمياء وجيوكيمياء والتلوث المحتمل لنهر دجلة في منطقة منجم كبريت المشراق وتوصل الى ان التلوث الحاصل من منجم كبريت المشراق موقعي ولا يتعدى مسافة خمسة كيلومترات حول المنجم.
- محمود وصادق (1985): قدما دراسة عن واقع منجم كبريت المشراق وبينا إن الطبقات الحاملة للكبريت الحر تتصف بظروف هيدروجيولوجية متباينة، حيث إن الطبقة الأولى (العليا) الحاملة للكبريت الحر تمتاز بمعامل انسياب عالي جدا يتم من خلاله تسرب أكثر من 62% من المياه الجوفية الى نهر دجلة. والطبقة الثانية الحاملة للكبريت الحر تمتاز بمعامل انسياب اقل وتتسرب من خلالها حوالي 26% من المياه الجوفية الى نهر دجلة. أما الطبقة الثالثة الحاملة

للكبريت الحر تمتاز بمعامل انسياب واطئ يتم من خلالها تسرب 12% من المياه الجوفية الى نهر دجلة. بينت الدراسة أعلاه إن جزءاً من الطبقة الكبريتية الأولى متصل بصورة شبه مباشرة مع قعر نهر دجلة خصوصا في منطقة التسرب وسط النهر، وان الهبوط الأرضي المرافق لعمليات الإنتاج يؤدي الى حدوث تدمير للطبقات العازلة ومن ثم زيادة حجم الاتصال بين الطبقات وبالتالي تسرب المياه المحقونة الى الطبقة الكبريتية الأولى ذات النفاذية العالية والتي تساعد على الانسياب السريع لهذه المياه نحو النهر من خلال العيون الصناعية التي خلفها إنتاج الكبريت من منجم كبريت المشراق.

- Sissakian (1995): قدم دراسة جيولوجية لمنطقة لوحة الموصل ضمن خريطة بمقياس 250000:1 تضمنت منطقة الدراسة.
- Sissakian and Ibrahim (2004): قدما تقريرا في سلسلة المخاطر الجيولوجية في العراق ضمن لوحة الموصل وبينا بان التلوث الحاصل من منجم كبريت المشراق إضافة الى مياه العيون يعد من المخاطر الجيولوجية الكبيرة.
- محمود وآخرون (2005): قدموا تقريرا عن المطروحات الصناعية من منجم كبريت المشراق/ 1 وآثارها على البيئة، وتوصلوا الى اعتبار منجم كبريت المشراق هو المصدر الأساس لتلوث مياه نهر دجلة والذي اقترن بتاريخ بدء استثمار الكبريت في عام 1972.
- سعود (2008): قدم دراسة عن تلوث نهر دجلة قبل وبعد توقف الإنتاج في منجم كبريت المشراق (جنوب شرق مدينة الموصل) وتوصل الى إن نهر دجلة يتلوث من خلال العيون الكبريتية التي تصب في مجراه، إضافة الى تصريف العيون الصناعية في وسط نهر دجلة والتي خلفها الإنتاج من منجم كبريت المشراق، إضافة الى التصريف من الآبار الكبريتية ذاتية التدفق والتي تصرف مياهها الى نهر دجلة.

إسلوب العمل

اعتمدت هذه الدراسة على القيام بجولتي عمل حقلية في عام 2007: الأولى في شهر آذار والثانية في نهاية شهر آب، أجريت خلالهما أعمال النمذجة الهيدروكيميائية لمياه نهر دجلة ولأربعة مواقع: **الأول** قبل دخوله حقل المشراق **والثاني** مقابل منجم كبريت المشراق **والثالث** بين منجم كبريت المشراق والتقاء نهر الزاب الأعلى بنهر دجلة **والرابع** بعد التقاء نهر الزاب الأعلى بنهر دجلة (الشكل 2)، وتم التقاط ثمانية نماذج مائية من وسط نهر دجلة للمواقع أعلاه. وكذلك شملت الدراسة العمل المختبري من خلال إجراء التحاليل الهيدروكيميائية لنماذج المياه الملتقطة، في مختبرات الشركة العامة للمسح الجيولوجي والتعدين، لمعرفة كمية الايونات الرئيسية السالبة والموجبة والأس الهيدروجيني (pH) وكمية المواد الصلبة الذائبة (T.D.S). كذلك تم جمع ثمانية نماذج مياه من المواقع أعلاه لبيان تواجد غاز كبريتيد الهيدروجين. وكذلك تم قياس درجة حرارة الماء والهواء أثناء عملية جمع النماذج، واعتمدت نتائج التحاليل الهيدروكيميائية في الدراسات السابقة التي تمت في هذه المنطقة، ومنها المرهج (1979) ومحمود وآخرون (2005) لمقارنتها بنتائج هذه الدراسة.

جيولوجية منطقة الدراسة

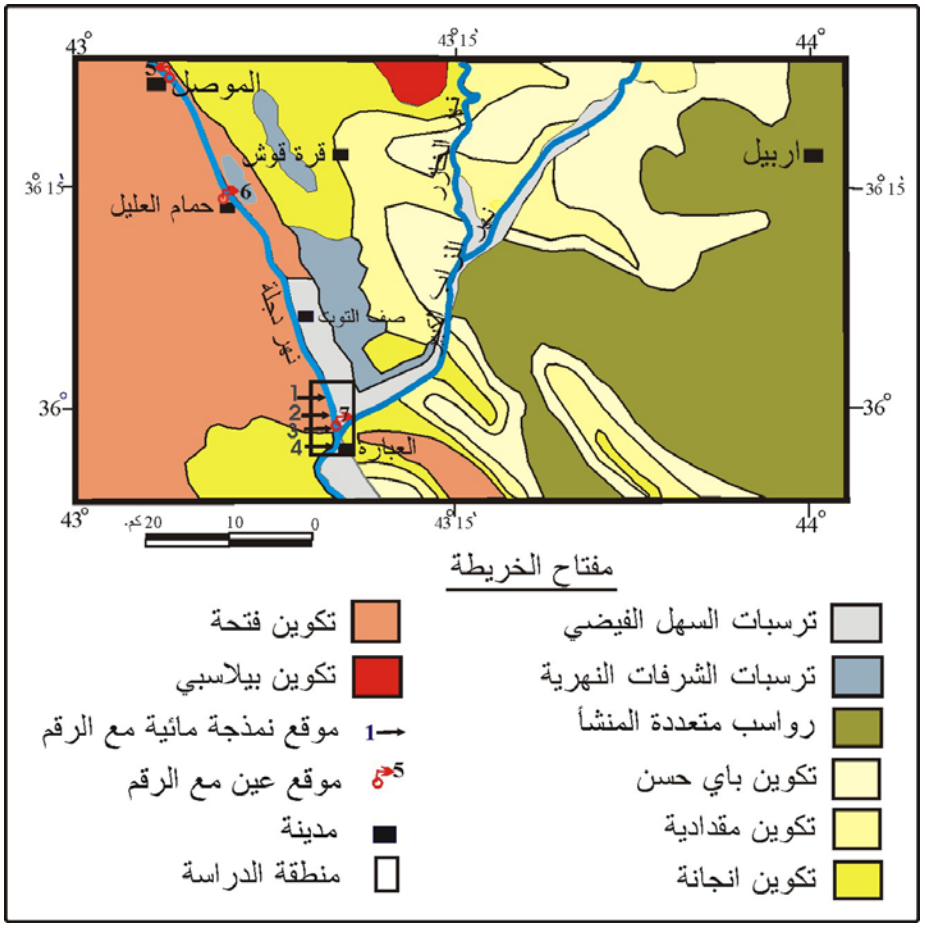
تظهر المكاشف الصخارية ابتدءا من صخور عصر المايوسين الأوسط والمتمثلة بتكوين فتحة تليها صخور عصر المايوسين الأعلى والمتمثلة بتكوين انجانة ثم صخور عصري المايوسين الأعلى– الباليوسين والمتمثلة بتكوين المقدادية، ثم صخور عصر البلايوسين – البلايستوسين والمتمثلة بتكوين باي حسن وأخيرا ترسبات العصر الرباعي وتشمل ترسبات الشرف النهرية وملئ الوديان (Sissakian, 1995) (الشكل 2).

جيومورفولوجيا، يرتفع نهر دجلة في منطقة الدراسة 188 متر فوق مستوى سطح البحر ويخترق نهر دجلة تركيب المشراق من وسطه وتتميز حافة النهر اليمنى بوجود قطع حاد في التركيب بشكل جرف صخري شديد الانحدار موازي لمجرى النهر يبلغ ارتفاعه حوالي 70 متر يظهر فيه عدد من الدورات الرسوبية من صخور الصلصال، والكلس والجبس التي تمثل تكوين الفتحة. تتكون المنطقة من تضاريس منبسطة، ويمكن ملاحظة أربعة أنواع من الوحدات الجيومورفولوجية وهي وحدات ذات أصل تركيبي – تعروي، وحدات ذات أصل تعروي، وحدات ذات أصل نهري ووحدات ذات أصل اذابي (Sissakian, 1995).

بنيويا، تقع المنطقة بشكل رئيسي ضمن الرصيف غير المستقر المتمثل بنطاق الطيات الواطئة حزام بطمة – الموصل وحزام مكحول (Al-Kadhimi *et al*., 1996). تركيبيا، تمتاز المنطقة بتواجد طيات محدبة متوازية ذات اتجاه شمال غرب جنوب شرق يصل عددها الى 15 طية، وأهمها من الناحية الاقتصادية طية المشراق، اللزاكة ومكحول وذلك بسبب تواجد ترسبات الكبريت فيها.

ترسبات الكبريت

يتواجد الكبريت الحر كترسبات واسعة في طية المشراق والتي تتميز بكونها طية عريضة وكبيرة من النوع غير المتناظر وذات غاطسين وتقع هذه الطية ضمن تكوين الفتحة. بين كل من Al-Bassam (1984) و Ma'ala *et al.* (1989) إن الكبريت الحر في طية المشراق المحدبة ثانوي المنشأ وتتضمنه صخور جبسية وصخور كلسية، حيث يمثل احد أضخم الترسبات في العالم. يعتبر تركيب طية المشراق من اكبر الحقول الكبريتية في العراق والتي يستثمر منها الكبريت منذ سبعينيات القرن الماضي ولغاية عام 2003، حيث توقف الاستخراج من هذا المنجم.



شكل 2: خريطة جيولوجية لمنطقة الدراسة (محورة عن Sissakian, 2000)

أنماط التلوث البيئي في منطقة الدراسة

ان أنماط التلوث البيئي في منطقة الدراسة تتمثل بما يلي:

- **المخاطر الجيولوجية:** بين كل من Sissakian and Ibrahim (2004) وجود سبعة أنواع من المخاطر الجيولوجية في منطقة الدراسة وهي التخسف، الجبس، التلوث، الهبوط الأرضي، الزلازل وحركات الانهيال والفيضانات، وفي تصنيفهما لتلك المخاطر عدا التلوث من أخطرها والمصدر الرئيسي له هو منجم كبريت المشراق إضافة الى وجود العديد من العيون الكبريتية.

- **الملوثات الطبيعية**: وتتمثل بالمطروحات السائلة والغازية التي تطلقها مجموعة الينابيع المائية المنتشرة في وسط نهر دجلة مقابل منجم كبريت المشراق قبل بدأ العملية الإنتاجية في المنجم، وان كمية المواد الصلبة الذائبة في مياهها تتراوح مابين (4510 - 6310) جزء من المليون، وان كمية غاز كبريتيد الهيدروجين يتراوح بين (99.1 - 484) جزء من المليون يصاحبها رائحة نفاذة وقوية لهذا الغاز، إلا ان كمية المياه الخارجة من هذه العيون قليلة نسبيا وتأثيرها قليل جدا على مياه نهر دجلة (شريف وآخرون، 2005).

- **الملوثات المنجمية**: تتمثل هذه الملوثات بالمطروحات السائلة والغازية التي تتسرب في وسط نهر دجلة وكذلك عبر السفح المطل على النهر والتي بدأت بعد عملية الإنتاج في منجم كبريت المشراق عام 1972. حيث بينت التحاليل الكيميائية إن كمية المواد الصلبة الذائبة في المياه المتسربة تتراوح ما بين (3000 - 4000) جزء من المليون، وتراوحت درجة حرارة هذه المياه مابين (80 - 100) درجة مئوية (درجة حرارة الماء اللازمة لصهر الكبريت هي 155 درجة مئوية)، وتصل كمية غاز كبريتيد الهيدروجين المذاب فيها الى 500 جزء من المليون ويصاحبها رائحة قوية لهذا الغاز، حيث تمثل هذه المياه المحقونة في الآبار التي تستخدم لصهر الكبريت (شريف وآخرون، 2005).

- **العيون الطبيعية والصناعية**

تتمثل العيون الكبريتية الطبيعية التي تصب في نهر دجلة بثلاثة مواقع، وتغمر هذه العيون بماء نهر دجلة في فترة الفيضان وتظهر في فترة الصيهود فقط وتعتبر مياهها من الملوثات الطبيعية، وهي على التوالي من الشمال الى الجنوب (الشكل 2) :

- عيون كبريت الموصل (رقم 5)
- عيون حمام العليل (رقم 6)
- عين الجزرة في الجانب الشرقي من نهر دجلة، مقابل منجم كبريت المشراق (رقم 7). وهذا العين موجود قبل بدء الإنتاج من منجم كبريت المشراق.

أما العيون التي ظهرت وسط نهر دجلة مقابل منجم كبريت المشراق منذ بدء الإنتاج في عام 1972 فتعتبر من العيون الصناعية، كونها ظهرت بعد حقن المياه الحارة المستخدمة لاستخراج الكبريت، والتي يبلغ معدل مقدارها 20000 متر مكعب/ يوم وتعتمد كميتها على كمية الإنتاج، وعليه فان ملوثاتها هي ملوثات صناعية ناتجة من فعاليات المنجم بعد الإنتاج، وتغمر هذه العيون بمياه نهر دجلة ولا تظهر الى السطح. تكونت ظاهرة المخاريط الكبريتية في وسط النهر مقابل منجم كبريت المشراق بعد بدء الإنتاج (الشكل 3)، وبعد توقف الإنتاج أصبحت هذه العيون منفذا لتصريف المياه الجوفية المشبعة بالكبريتات والتي تتجه بحركتها من غرب منطقة الدراسة وتصرف مياهها وسط نهر دجلة الى يومنا هذا.

شكل 3: المخاريط الكبريتية على الساحل الأيمن لنهر دجلة في منطقة الدراسة

صلاحية استخدام المياه

اعتمدت حدود التركيز المسموح بها ضمن كل من المواصفتين القياسيتين، العراقية (I.R.S, 1996) ولمنظمة الصحة العالمية (W.H.O, 2006) لغرض بيان صلاحية استخدام المياه (الجدول 1).

جدول 1: حدود تراكيز الايونات الموجبة والسالبة حسب المواصفتين القياسيتين العالمية (W.H.O, 2006) والعراقية (I.R.S, 1996)

الأيون والمعطيات الفيزيائية (ppm)	الحد الأعلى للتركيز (ppm)	
	منظمة الصحة العالمية (W.H.O, 2006)	المواصفة القياسية العراقية (I.R.S, 1996)
K^+	12	□
Na^+	200	200
Mg^{++}	125	50
Ca^{++}	75	50
Cl^-	250	250
$SO_4^=$	250	250
NO_3^-	50	50
كمية المواد الصلبة الذائبة	500 -1000	1000
العسرة الكلية	□	500
pH	6.5 - 8.5	6.5 - 8.5

■ **الأيونات الموجبة والسالبة**

يبين الشكل (2) مواقع نماذج المياه الملتقطة في هذه الدراسة، ويبين الجدول (2) نتائج التحاليل الكيميائية لنماذج المياه وكذلك نتائج تحاليل بعض المياه المحللة في الدراسات السابقة والتي تقع ضمن نفس مواقع النماذج الحالية. وبمقارنة تراكيز الايونات الموجبة والسالبة مع حدود تراكيزها بالمواصفتين القياسيتين العالمية والعراقية (الجدول 1) يتبين بان كافة التراكيز هي ضمن الحدود المسموح بها في كلا المواصفتين أعلاه، ماعدا النموذج رقم 5 (الجدول 2) والملتقط في شهر آب، 2007 ، حيث ازدادت نسبة تركيز ايوني الكبريتات والكالسيوم بنسبة قليلة وهي 264 و 100.2 جزء من المليون، على التوالي عن حدودها ضمن المواصفتين القياسيتين، وعن تركيزها لنفس الموقع في فترة الربيع ولبقية النماذج. ان زيادة ايون الكبريتات يرجع الى تأكسد خامات الكبريت وذوبان صخور الجبس ($CaSO_4$ $2H_2O$) والانهيدرايت ($CaSO_4$) المميزة لمنطقة الدراسة، وكذلك انتقالها من خلال مياه العيون الكبريتية التي تصب في نهر دجلة. كذلك فان صخور الجبس والانهيدرايت والمعادن الطينية تعتبر من المصادر الأساسية لأيون الكالسيوم المذاب في المياه.

■ **المواد الصلبة الذائبة (T.D.S)**

إن مقارنة تراكيز المواد الصلبة الذائبة للنماذج المبينة في الجدول (2) مع حدود تراكيزها بالمواصفتين القياسيتين العالمية والعراقية (الجدول 1) تبين بان كافة حدود التراكيز هي ضمن الحدود المسموح بها في كلا المواصفتين أعلاه.

■ **الأس الهيدروجيني (pH)**

إن مقارنة قيم الأس الهيدروجيني للنماذج المبينة في الجدول (2) مع حدودها بالمواصفتين القياسيتين العالمية والعراقية (الجدول 1) تبين بان كافة القيم هي ضمن الحدود المسموح بها في كلا المواصفتين أعلاه.

جدول 2: نتائج التحاليل الهيدروكيميائية والعسرة الكلية للنقاط المائية المعتمدة في الدراسة الحالية

التركيز الكيميائي والمعطيات الفيزيائية	موقع النقطة المائية	قبل منطقة التسرب			منطقة التسرب أمام منجم كبريت المشراق		بعد منطقة التسرب				بعد التقاء نهر الزاب الأعلى بنهر دجلة	
	تاريخ النمذجة	1991	2007/4/18	2007/8/30	2007/4/18	2007/8/30	2007/4/18	1990/5/7	1990/8/17	2007/8/30	2007/4/18	2007/8/30
	رقم النموذج والدراسة	1 دراسات سابقة	2 الدراسة الحالية	3 الدراسة الحالية	4 الدراسة الحالية	5 الدراسة الحالية	6 الدراسة الحالية	7 دراسات سابقة	8 دراسات سابقة	9 الدراسة الحالية	10 الدراسة الحالية	11 الدراسة الحالية
الأيونات الموجبة (ppm)	Na^+	6.2	21.16	65.83	49.68	49.29	2.3	19.09	6.21	58.01	22.54	42.16
	K^+	-	1.56	1.49	3.13	3.01	1.56	1.95	1.17	1.49	1.56	3.01
	Ca^{++}	56.1	68.14	56.11	72.14	100.2	88.18	51.9	73.95	60.12	68.14	80.16
	Mg^{++}	25.7	15.8	16.4	19.44	21.38	15.8	13.01	11.91	16.4	15.8	20.78
الأيونات السالبة (ppm)	Cl^-	-	35.5	35.5	53.25	17.75	35.5	70.1	35.45	35.5	35.5	17.75
	$SO_4^=$	170	62.4	151.2	120	264	67.2	92.7	56.44	151.2	57.6	197.76
	$CO_3^=$	-	-	18	-	15.6	-	-	-	13.2	-	18.0
	HCO_3^-	164.7	204.96	140.3	209.84	150.06	209.84	30.51	118.36	141.52	214.72	146.4
غاز كبريتيد الهيدروجين (ppm)		-	22.1	16.15	23.8	28.9	3.4	-	-	3.4	لا يوجد	لا يوجد
المواد الصلبة الذائبة (ppm)		430	364	424	454	594	364	360	314	448	314	466
العسرة الكلية (ppm)		246.3	235.16	207.5	260	338.67	285.2	183.13	233.6	217.5	235.1	285.6
الأس الهيدروجيني		7.8	6.9	7.1	6.8	7.1	7	7.6	7	7.3	7	7.5

■ **العسرة الكلية**

بمقارنة القيم المحسوبة للعسرة الكلية (الجدول 2) مع الحدود المقترحة للعسرة من قبل Todd (1980) والموضحة في الجدول (3) تبين إن مياه جميع النماذج هي من الصنف "عسر" ماعدا النموذج رقم 5 والذي يقع في منطقة التسرب فهو من الصنف عسر جداً.

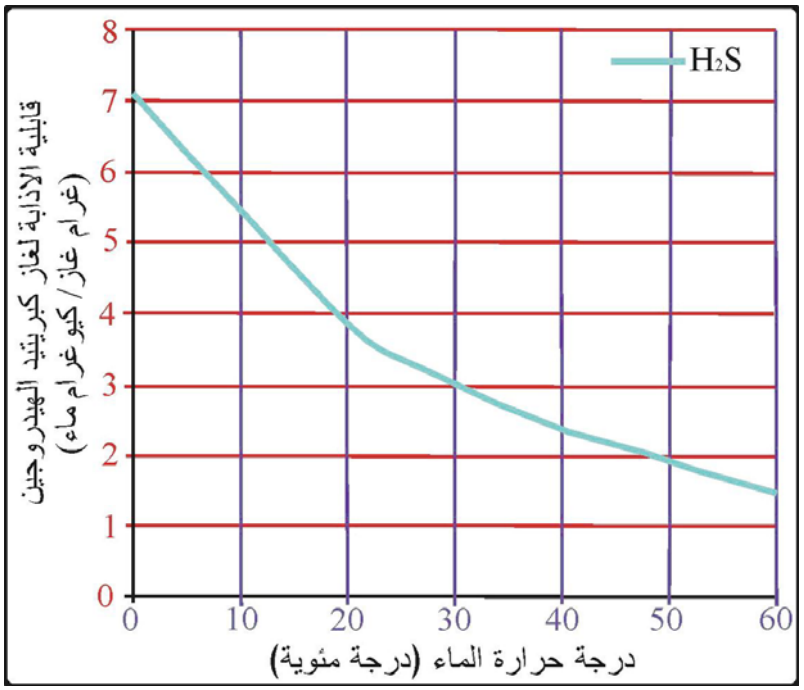
جدول 3: تصنيف عسرة المياه (عن Todd, 1980)

صنف المياه	العسرة الكلية (جزء من المليون)
جيد	75 - 0
متوسط	150 - 75
عسر	300 - 150
عسر جداً	أكثر من 300

غاز كبريتيد الهيدروجين (H_2S) في مياه نهر دجلة

ان تواجد غاز كبريتيد الهيدروجين في نماذج مياه نهر دجلة التي التقطت من وسط النهر في كل من المواقع: أمام منجم كبريت المشراق ومن شماله ومن قبل التقاء نهر الزاب الأعلى بنهر دجلة (النماذج 2، 3، 4، 5 ،6 و9) (الجدول 2) يجعل هذه المياه غير صالحة لشتى أنواع الاستخدامات، حيث ان تركيزه أعلى بكثير من الحد المسموح به وهو 1 جزء من المليون (Tood, 1963)، ويختفي تواجد هذا الغاز بالمياه بعد التقاء نهر الزاب الأعلى بنهر دجلة (النموذجين 10 و 11) (الجدول 2) مما يدل على ان هذا التلوث هو موقعي.

يبين الشكل (4) مخططا لقابلية الإذابة لغاز كبريتيد الهيدروجين في الماء بمختلف درجات الحرارة، ويتضح منه بان أقصى قابلية إذابة لهذا الغاز هي في درجة حرارة الصفر مئوي وتبدأ هذه القابلية بالانخفاض مع ارتفاع درجات حرارة الماء حيث يتحرر الغاز من الماء الى الجو (Engineering Toolbox, 2005). ولأن درجة حرارة الماء في موقع الدراسة كانت بحدود 25 درجة مئوية في فصل الصيف و 20 درجة مئوية في فصل الربيع، فعليه ان قابلية الإذابة لهذا الغاز تقل الى النصف.



شكل 4: مخطط قابلية الإذابة لغاز كبريتيد الهيدروجين في الماء مع درجات الحرارة
عن (Engineering Toolbox, 2005)

تأثير غاز كبريتيد الهيدروجين (H_2S) على البيئة

يعتبر غاز كبريتيد الهيدروجين من الغازات السامة لسهولة ذوبانه في الماء، فقد بين Mattson (1997)، انه بإمكان 100 ملليلتر من الماء بدرجة الصفر مئوي إذابة ما مقداره 437 ملليلتر من هذا الغاز، وعلى الرغم من ذلك فانه سيتأكسد من خلال الأوكسجين المذاب في الماء خلال 24 ساعة ويترسب على هيئة عنصر الكبريت. ان خطورة الغاز المتحرر الى الهواء لا تكمن في كونه غازا ساما فقط بل إن الخطورة تصبح اكبر عندما يتاكسد في الهواء متحولا الى ثاني اوكسيد الكبريت (Wikipedia, 2007)، إضافة الى كون هذا الغاز من المواد اللاعضوية التي تؤثر على الحياة النباتية والحيوانية في مياه النهر. إن حالة تسمم الحياة النباتية والحيوانية بالغاز غير محدودة فقط بالقيمة المهلكة التقريبية في المياه وهي 1 جزء من المليون (Tood, 1963) وإنما تعتمد على عوامل أخرى كثيرة مثل الجنس، العمر، الوضع الصحي، المناعة، التأقلم، التركيب الكيميائي للماء ودرجة الحرارة (Klein, 1973). ان غاز كبريتيد الهيدروجين يغير الحامضية داخل الخلايا الحية حيث يتغير الوسط الحامضي المتعادل وقليل القاعدية الى الوسط الحامضي مما يسهل على هذا الغاز اختراق تلك الخلايا مسببا مخاطر حياتية كثيرة (Wikipedia, 2007). كما ان للغاز المذاب في الماء تأثيرا على حياة الأسماك عندما يصبح بتركيز عالي جدا حيث وجد بان بعض الأسماك تموت بعد (8 - 10) أيام بعد غمرها بماء يحوي تركيز 100 جزء من المليون من هذا الغاز لمدة ثلاث ساعات الميدانية (Wikipedia, 2007).

ومن خلال الزيارة الميدانية لمنطقة الدراسة تبين بان هذه المنطقة لا تخلو من الأسماك حيث يتم اصطيادها من قبل أهالي المنطقة، مما يدل على إن قيمة التركيز لهذا الغاز بمياه نهر دجلة (الجدول 2) لا يؤثر على حياة الأسماك خصوصاً، وان تركيز هذا الغاز ينخفض شمال منطقة الدراسة وينعدم جنوبها بعد التقاء نهر الزاب الأعلى بنهر دجلة، حيث إن منطقة التلوث قدرت بخمسة كيلومترات طولاً ابتداءاً من منطقة التقاء نهر الزاب الأعلى بنهر دجلة وباتجاه الشمال.

إن لهذا الغاز تأثيرا ً خطيرا ً على الإنسان إذ يسبب أمراضا ً حادة وخطرة منها ذات الرئة، شلل الجهاز العصبي المركزي، الصداع، فقدان حاسة الشم، الغثيان، تلين البلعوم، الخدر، الخمول، الاستسقاء الرئوي، ضغط الدم المنخفض، الالتهابات الجفنية وأخيرا فقدان الوعي (E.P.A, 2006).

هيدروكيميائية مياه العيون

■ **العيون الصناعية**

تمت الاستعانة بنتائج التحاليل الكيميائية لمياه العين الناتجة بفعل الإنتاج من منجم كبريت المشراق (الجدول 4) للأعوام مابين (1985 - 1991) (محمود وآخرون، 2005) لبيان محتوى التركيب الكيميائي لمياهها، ويلاحظ من هذا الجدول وجود زيادة كبيرة جداً في محتواها من غاز كبريتيد الهيدروجين، كمية المواد الصلبة الذائبة، الكبريتات، الكالسيوم وفي بعض النماذج المغنسيوم والكلور.

■ **العيون الطبيعية**

تمت الاستعانة بنتائج التحاليل الكيميائية لمياه العيون الطبيعية التي تصب بنهر دجلة بمنطقة الموصل وحمام العليل (الجدول 4) (المرهج، 1979) لبيان التركيب الكيميائي لمياهها، ويلاحظ من هذا الجدول إن هذه المياه ذات محتوى عال من غاز كبريتيد الهيدروجين، المواد الصلبة الذائبة، الكبريتات والكالسيوم وفي بعض النماذج المغنسيوم والكلور وخاصة في عين الموصل.

من مقارنة نتائج التحاليل الكيميائية لمياه العيون الصناعية والطبيعية (الجدولين 4 و 5) يلاحظ بان كمية المواد الصلبة الذائبة في مياه عين كبريت الموصل هي بحدود الضعف عما هي عليه في مياه العيون الصناعية. أما عين حمام العليل فان كمية الأملاح الذائبة فيها كانت ضمن الحدود المسموح بها وبكمية اقل مما في عين كبريت الموصل والعيون الصناعية، أما غاز كبريتيد الهيدروجين فكانت كميته في مياه العيون الصناعية أكثر بكثير وتصل الى عشرة أضعاف عما هي عليه في مياه العيون الطبيعية.

جدول 4: نتائج التحاليل الكيميائية لمياه العيون الصناعية (عن محمود وآخرون، 2005)

موقع النموذج	تاريخ االنمذجة	الأيونات الموجبة (ppm)			الأيونات السالبة (ppm)				غاز كبريتيد الهيدروجين (ppm)	المواد الصلبة الذائبة (ppm)	الأس الهيدروجيني	العسرة الكلية (ppm)
		$Na^+ + K^+$	Ca^{++}	Mg^{++}	Cl^-	$SO_4^=$	$CO_3^=$	HCO_3^-				
منطقة التسرب	1985	466	641	74.2	213	2133	84	38	685	3744	7.8	1906.6
	1989	237	601	81.2	1	1341	87	77	357	3000	7	1835.5
	1991	192	328	43	23	778	100	138	337	2232	8.4	995.9
	1991/5	182	419	76	47	1640	96	355	605	3440	6.75	1358

جدول 5: نتائج التحاليل الكيميائية لمياه العيون الطبيعية (عن المرهج، 1979)

موقع النموذج	تاريخ النمذجة	الأيونات الموجبة (ppm)				الأيونات السالبة (ppm)				غاز كبريتيد الهيدروجين (ppm)	المواد الصلبة الذائبة (ppm)	الأس الهيدروجيني	العسرة الكلية (ppm)
		K^+	Na^+	Ca^{++}	Mg^{++}	Cl^-	$SO_4^=$	$CO_3^=$	HCO_3^-				
عين كبريت الموصل	1978	37	529	549	144	855	1708	□	230	55	5499	7.3	1964
عين حمام العليل	1978	32	113	106	35	141	214	□	310	41	872	7.6	408

تلوث مياه نهر دجلة

لغرض مقارنة نوعية مياه نهر دجلة حاليا (الجدول 2) وسابقا (المرهج، 1979) (الجدول 6) فقد اعتمدت نتائج تحاليل نماذج مختلفة المواقع وشملت هذه النماذج من الشمال الى الجنوب كل من المواقع: منطقة بادوش، منطقة شمال الموصل، منطقة جنوب الموصل، منطقة حمام العليل، المنطقة الواقعة قبل دخول نهر دجلة من أمام منجم كبريت المشراق (مابين قرية صف التوت ومنجم كبريت المشراق) ومقابله والموقع الأخير هو بعد التقاء نهر الزاب الأعلى بنهر دجلة. من مقارنة النتائج في الجدول (2) مع مثيلاتها في الجدولين (4 و 6) تبين بان قيم التراكيز للايونات الرئيسية السالبة والموجبة وكذلك قيم الأس الهيدروجيني لم تتغير كثيرا ومازالت ضمن الحدود المسموح بها، والواردة في الجدول (1). إلا ان قيم كمية المواد الصلبة الذائبة زادت في مياه نهر دجلة لعام 2007 عن قيمها الموجودة في المياه لعام 1978 (المرهج، 1979) ورغم ذلك مازالت ضمن الحدود المسموح بها، والسبب يعود الى قلة تصريف نهر دجلة بسبب إنشاء سد الموصل، مما يؤدي الى زيادة كمية التبخر من مياه نهر دجلة وكذلك كون المياه الجوفية في منطقة الدراسة من النوع الكبريتي والتي تتجه بحركتها نحو نهر دجلة (Araim, 1984)، ومعظمها يمر بمناطق صخور الجبس سريع الذوبان العائد لتكوين فتحة. أما غاز كبريتيد الهيدروجين فقد كان معدل تواجده في نماذج الدراسة السابقة مابين (0.43 - 0.52) جزء من المليون وهو ضمن الحدود المسموح بها (Tood, 1963)، في حين كان تواجده في نماذج هذه الدراسة 28.9 جزء من المليون في منطقة التلوث أمام منجم كبريت المشراق، وهذه الكمية هي اقل بكثير عن مثيلاتها المقاسة في السنين السابقة لمياه العيون الصناعية والطبيعية (الجدولين 4 و 5)، وهي أكثر بكثير عما كانت عليه في عام 1978 (الجدول 6)، وهذه الكمية فوق الحد المسموح به بكثير. إلا ان تواجد غاز كبريتيد الهيدروجين يقل بصورة تدريجية جنوب هذه المنطقة، حيث تصل كميته الى 3.4 جزء من المليون ويختفي بعد التقاء نهر الزاب الأعلى بنهر دجلة (الجدول 2). في حين كانت العسرة الكلية لمياه جميع نماذج نهر دجلة من الصنف "عسر" ماعدا النموذج رقم 12 والذي يقع في منطقة بادوش فهو من الصنف "متوسط" (الجدول 6)، أما العسرة الكلية لمياه العيون الصناعية والطبيعية فهي من الصنف "عسر جداً ".

يلاحظ من كافة التحاليل الكيميائية للمياه بان نهر دجلة ملوث أساساً بغاز كبريتيد الهيدروجين قبل موقع منجم كبريت المشراق وهذه دلالة على وجود مصادر أخرى للتلوث بهذا الغاز شمال المنطقة أعلاه، والتي هي مياه مجمل العيون الكبريتية التي تصب في مجرى النهر. وعند منطقة التسرب الصناعية وسط نهر دجلة فان التلوث يزداد موقعياً بفعل التسرب الحاصل عبر العيون الصناعية التي تكونت عند بدء الإنتاج من منجم كبريت المشراق والتي أصبحت اليوم منفذا

لتصريف المياه الجوفية الكبريتية التي تتميز بها منطقة الدراسة، ويختفي تأثير هذا التلوث بعد التقاء نهر الزاب الأعلى بنهر دجلة أو قبله بقليل، نتيجة لتطاير هذا الغاز إضافة الى التخفيف الحاصل بفعل مياه نهر الزاب الأعلى.

جدول 6: نتائج التحاليل الكيميائية والعسرة الكلية للنقاط المائية (المرهج، 1979)

التركيز الكيميائي والمعطيات الفيزيائية	موقع النقطة المائية	منطقة بادوش	شمال الموصل	جنوب الموصل	منطقة حمام العليل	قرية صف التوت	مقابل منجم المشراق	عند التقاء نهر الزاب الأعلى بنهر دجلة
	تاريخ النمذجة	1978	1978	1978	1978	1978	1978	1978
	رقم النموذج	12	13	14	15	16	17	18
الأيونات الموجبة (ppm)	Na^+	3.4	17	17	18	20	19	14
	K^+	-	2	2	2	3	2	1.56
	Ca^{++}	44	56	56	66	60	56	62
	Mg^{++}	7	21	19	21	21	24	23
الأيونات السالبة (ppm)	Cl^-	20	25	25	25	25	25	19.5
	$SO_4^=$	-	84	86	115	110	120	86
	$CO_3^=$	-	-	-	-	-	-	-
	HCO_3^-	146	164	179	173	179	180	189
غاز كبريتيد الهيدروجين (ppm)		0.43	0.51	0.52	0.5	0.52	0.5	0.45
المواد الصلبة الذائبة (ppm)		173	284	248	330	308	312	300
العسرة الكلية (ppm)		140.06	227.67	220.14	250.18	235.17	237.67	250
الأس الهيدروجيني		7.55	6.9	6.9	7.7	7.2	7.3	7.5

الاستنتاجات

- يبدأ تلوث نهر دجلة بغاز كبريتيد الهيدروجين وزيادة كمية المواد الصلبة الذائبة فيه عند دخوله مدينة الموصل بفعل العيون الكبريتية الطبيعية التي تصب فيه من مدينة الموصل وحتى التقاء نهر الزاب الأعلى بنهر دجلة.
- يؤثر منجم كبريت المشراق على نوعية المياه في نهر دجلة من حيث زيادة تلوثه بغاز كبريتيد الهيدروجين وزيادة المواد الصلبة الذائبة بفعل مياه العيون الصناعية التي نتجت بعد بدء عملية استخراج الكبريت وتحولها (بعد توقف الإنتاج) الى منفذاً طبيعياً لتصريف المياه الجوفية الكبريتية التي تمتاز بها منطقة الدراسة. يكون هذا التأثير موضعيا ولا يتجاوز مئات الأمتار ويعود النهر بعدها الى طبيعته الكيميائية كلما اتجهنا جنوب منطقة الدراسة وخاصة بعد التقاء نهر الزاب الأعلى بنهر دجلة.
- ازدادت قيم كمية المواد الصلبة الذائبة في مياه نهر دجلة بنسبة قليلة عما كانت عليه أثناء الإنتاج من منجم كبريت المشراق بفعل التلوث الصناعي والزراعي في أعلى النهر إضافة الى تأثير سد الموصل.
- ازداد مقدار كمية غاز كبريتيد الهيدروجين بمياه نهر دجلة في منطقة الدراسة عما كان عليه قبل توقف إنتاج منجم كبريت المشراق وذلك لاستمرار تدفق العيون الكبريتية الطبيعية والصناعية التي تصب في نهر دجلة وكذلك تدفق المياه الكبريتية من بعض الآبار ذاتية التدفق ورغم قلة تصريفها، إلا أنها تؤثر بشكل موقعي على تلوث مياه نهر دجلة.

المصادر

المرهج، زهير جاسم، 1979. هيدروكيمياء وجيوكيمياء والتلوث المحتمل لنهر دجلة منطقة كبريت المشراق. رسالة ماجستير غير منشورة، جامعة بغداد، 179 صفحة.

سعود، قيس جاسم، 2008. دراسة تلوث نهر دجلة قبل وبعد توقف الإنتاج في منجم كبريت المشراق (جنوب شرق محافظة نينوى). الشركة العامة للمسح الجيولوجي والتعدين، تقرير داخلي رقم 3068 .

محمود، صداع شريف و صادق، زهير داوود، 1985. دراسة عن واقع منجم كبريت المشراق. الشركة العامة للمسح الجيولوجي والتعدين، تقرير داخلي رقم 1583.

محمود، صداع شريف، معلة، خلدون عباس و بني، ثائر جرجيس، 2005. المطروحات الصناعية من منجم كبريت المشراق وآثارها على البيئة. الشركة العامة للمسح الجيولوجي والتعدين، تقرير داخلي رقم 2920 .

Al-Bassam, K.S., 1984. Final Report on the Regional Geological Survey of Iraq, Vol.5: Economic Geology. GEOSURV, int. rep. no. 1449.

Al-Kadhimi, J.A.M., Sissakian, V.K., Fattah, A.S., and Deikran, D.B., 1996. Tectonic map of Iraq, scale 1: 1000000, 2nd edit. GEOSURV, Baghdad, Iraq.

Araim, H.I., 1984. Regional Hydrogeology of Iraq. GEOSURV, int. rep. no. 1450.

E.P.A, US Environmental Protection Agency, 2006. Mining Safety Services, Inc. Jour., H_2S Safety Source.

Engineering Toolbox, 2005. Solubility of Gases in Water. www. engineering toolbox.

Fairbridge, R.W., 1972. The Encyclopedia of Geochemistry and Environmental Sciences. Van Nortrand, 1321pp.

I.R.S, 1996. Drinking Water Standards. Central Organization for Standardization and Quality Control.

Klein, L., 1973. River Pollution Chemical Analysis. Butterworth, London, 206pp.

Ma'ala, K.A., Mahdi, A.H., Fouad, S.F., Lawa, F.A., Philip, W. and Al-Hassany, N., 1989. Report on geological investigation for native sulfur in the northern section of the Fatha – Mosul Sulfur District. GEOSURV, int. rep. no. 1938.

Mattson, B., 1997. Microscale Gas Chemistry. Chem. 13 News, Department of Chemistry, Creighton University, Omaha, Nebraska. 68178, USA.

Sissakian, V.K., 1995. Geological report on Al-Mosul Quadrangle, sheet NJ-38-13, scale 1: 250000. GEOSURV, Baghdad, Iraq.

Sissakian, V.K., 2000. Geological Map of Iraq, scale 1: 1000 000, 3rd edit. GEOSURV, Baghdad, Iraq.

Sissakian, V.K., and Ibrahim, F.A., 2004. Series of Geological Hazard Maps of Iraq, Mosul Quadrangle, scale 1: 250000. GEOSURV, int. rep. no. 2860.

Todd, D.K., 1963. Ground Water Hydrogeology. John Willy and Sons, N.Y., 336pp.

Todd, D.K. 1980. The Water Encyclopedia. Water Information Center Inc., 559pp.

W.H.O, 2006. Guidelines for Drinking Water Quality, 1st addendum to the 3rd edit., Vol.1: World Health Organization, Geneva.

Wikipedia, 2007. http://en.wikipedia.org/wiki/Talk:Hydrogen_sulfide