معالجة المياه الجوفية الملوثة بشوارد النترات في مفاعل السرير المميع[1]

المهندس حمود محمد حمود الحسين[2] الدكتورة سلوى حجار[3]

الدكتور محمد ضاي[4]

الملخص

تشكل إزالة النترات بالطريقة البيولوجية في مفاعل السرير المميع منقوص الأوكسجين طريقة بسيطة للتخلص مما يلوث المياه الجوفية من نتروجين النترات.

يتم في هذا المفاعل تنمية غشاء بيولوجي على حبيبات سرير المفاعل والتي تم اختيارها في هذا البحث حبيبات الكربون المنشط ذات الأقطار (1-3) ملم، ويتكون هذا الغشاء البيولوجي في قسمه الأعظم من بكتريا عضوية التغذية ويمرر تيار الماء الخام المحمل بشوارد النترات مع ما يضاف إلى هذا الماء من مغذيات للبكتريا والتي اختيرت في بحثنا هذا الإيتانول وفوسفات الصوديوم ثنائية الهدروجين، الأول كمغذ كربوني والثاني كمغذ فوسفوري. يتم مرور الماء الخام من أسفل المفاعل بسرعة كافية لتمييع حبيبات هذا السرير الحاملة للغشاء البيولوجي.

إن البكتريا الموجودة في الغشاء البيولوجي ستقوم بإرجاع النترات إلى نتريت ثم إلى أكسيد نتري ثم إلى أكسيد النتروز ثم إلى غاز النتروجين:

$$NO_3 \longrightarrow NO_2 \longrightarrow NO \longrightarrow N_2O \longrightarrow N_2$$

ولوحظ في هذا البحث أن النسبة المثالية للإيتانول اللازم للمعالجة هي C_2H_5OH / NO_3 = 0.095mg/mg وإن إنقاص كمية الإيتانول عن هذه القيمة كان يعطي تدنياً واضحاً في كفاءة إزالة النترات.

[1] أعد البحث في سياق رسالة الدكتوراه للمهندس حمود محمد حمود الحسين بإشراف الأستاذة الدكتورة سلوى حجار والأستاذ الدكتور محمد الضي.

[2] قسم البيئة- كلية الهندسة المدنية- جامعة حلب.

[3] قسم البيئة- كلية الهندسة المدنية- جامعة حلب.

[4] قسم البيئة- كلية الهندسة المدنية- جامعة حلب.

1. مقدمة:

أصبحت مشكلة ارتفاع تركيز النترات في المياه الجوفية من إحدى أهم المشاكل التي تواجه إمداد السكان بماء الشرب في كثير من دول العالم ومنها القطر العربي السوري، إذ توجد في القطر العربي السوري أكثر من 350 بئراً تحتوي مياهها على تراكيز للنترات تتجاوز الحدود المسموحة (44mg/l). ويقوم أكثر من 600 ألف مواطن بتأمين مياه الشرب بطرائقهم الخاصة. لذلك تم التوجه إلى العمل في هذا المجال لما له من أهمية اقتصادية وصحية واجتماعية في قطرنا. وتمت محاولة البحث عن طريقة اقتصادية يستطيع المواطن أن يتحمل تكاليفها دون معدات تكنولوجية مستوردة ومعقدة تحتاج إلى قطع أجنبي وصيانة مستمرة.

2. مصادر النترات في المياه الجوفية:

يوجد نتروجين النترات بشكل طبيعي في المياه الجوفية وفي مياه الأمطار بكميات قليلة وتزداد هذه الكمية في المناطق التي يقوم فيها المزارعون برش الأسمدة غير العضوية والأسمدة الحيوانية على الأراضي المزروعة، وبعد ري الأراضي الزراعية يمكن أن يرشح النتروجين غير المستهلك من قبل النباتات عبر التربة إلى المياه الجوفية. فضلاً عن أن سكان الريف كثيراً ما يستعملون الحفر الفنية للتخلص من مياه صرفهم، وإن التسربات من هذه الحفر الفنية يمكن أن تكون مصدراً للنترات التي تصل إلى المياه الجوفية.

هذا فضلاً عن أن جميع المركبات الحاوية على النتروجين يمكن أن تتحول إلى مركبات النترات. وإن القابلية الكبيرة لانحلال النترات في الماء وعدم ارتباطها بالتربة يجعلان تلوث المياه الجوفية بها من الأمور الشائعة.

3. التأثيرات الصحية للنترات في الإنسان:

إن أكثر ما ترتبط التأثيرات الصحية للنترات في الإنسان مع الأطفال الرضع في الشهور الأربعة الأولى إذْ إن تناولهم مع وجبة الحليب مياهاً حاوية على النترات يؤدي

إلى تحول هذه النترات في معدتهم إلى نتريت يمكنه أن يتحد مع جزيئات الأكسجين في خلايا الدم الحمراء مما يؤدي إلى استنزاف الأكسجين واحتمال خنق الطفل.

بعد الأشهر الستة الأولى لا يشكل عوز الميثيموغلوبين تهديداً للطفل مادامت بكتريا تحويل النترات إلى نتريت لم تعد موجودة في معدة الطفل، كما أن المرضعات لا يمررن النترات إلى رضعهم عبر الحليب.

أما بالنسبة للبالغين فإن تناول مياه الشرب الحاوية على نترات لا يشكل خطراً صحياً عليهم. ومع ذلك فإن بعض الدراسات تشير إلى إمكانية حصول نزف في الطحال نتيجة التناول المديد لمياه حاوية على كميات كبيرة من النترات، وإن معايير منظمة الصحة العالمية WHO تنص على أن تركيزاً للنترات أكبر من(10mg/l as N أو 44mg/l) يمكن أن يكون خطراً على الكبار والصغار، كما يمكن لمحتوى منخفض من النترات أن يصبح خطراً عندما يتعرض الماء الحاوي عليه إلى الغليان المديد وذلك بسبب أن النتريت والنترات غير قابلين للتبخر [1و2].

4. معالجة مشكلة تلوث المياه الجوفية بالنترات:

1- 4- منع مصادر التلوث:

إن منع مصادر التلوث قد يكون على المدى الطويل أكثر فعالية من معالجة المياه الملوثة بالنترات. مثلاً الاهتمام بقميص البئر وغطائها وبطانتها، والاهتمام بنظام تصريف مياه المجاري القريبة من البئر لمنع أي تسربات منه إلى الماء الجوفي، فضلاً عن حفر خنادق لمنع تسرب مياه الأمطار التي تسير على سطح الأرض إلى داخل البئر، مع الأخذ بتوجهات منظمة الصحة العالمية بترشيد استخدام الأسمدة الآزوتية أو استخدام الأسمدة العضوية بدلاً عنها. قد تكون كل هذه الأمور أفضل من معالجة المياه.

وأيضاً يجب أن نلاحظ أن الآبار الضحلة أكثر تعرضاً للتلوث بالنترات من الآبار العميقة [3 , 4].

2- 4- معالجة المياه الجوفية الملوثة بالنترات:

يمكن أن تزال النترات من المياه الجوفية المعدة للشرب بالطرائق الفيزيائية – الكيميائية وبالطرائق البيولوجية.

4-2-1- العمليات الفيزيائية – الكيميائية لإزالة النترات:

تشمل العمليات الفيزيائية – الكيميائية للتخلص من فائض النترات طرائق التناضح العكسي والتبادل الإيوني والتقطير.

أ- التناضح العكسي: هو العملية التي يستخدم فيها فرق الضغط لإحداث انتقال الماء من طرف المحلول المركز (الضغط العالي) عبر غشاء نصف نفوذ إلى طرف المحلول الأقل تركيزاً (الضغط المنخفض). وهناك عدة عوامل تؤثر في العملية مثل الضغط المطبق على الماء الملوث بالنترات، ودرجة حرارة الماء ونوع الغشاء المستعمل والصيانة الصحيحة للنظام [5].

وتتميز هذه الطريقة بأنها بطيئة وذات طاقة هيدروليكية ضعيفة ولاسيما عند استعمال الضغوط غير المرتفعة جداً.

ب- التبادل الإيوني: في عملية التبادل الإيوني ترشح المياه الملوثة عبر أسطوانة محملة بحبيبات رزين تبادل شوارد النترات أو النتريت بشوارد الكلور أو شوارد البيكربونات المرتبطة بحبيبات الرزين. ولكن يجب الانتباه لأن الرزينات تفضل تبادل شوارد الكبريتات ثنائية التكافؤ- إن وجدت في الماء- على شوارد النترات أحادية التكافؤ. وهناك رزينات انتقائية تحل هذه المشكلة باحتجازها النترات في المقام الأول، لكن سعتها التبادلية أقل.

ت- التقطير: الذي يتم بتبخير الماء ثم تكثيف البخار الناتج للحصول على مياه منزوعة المعادن وخالية أيضاً من شوارد النترات، هذه العملية غالية التكاليف تتطلب صيانة مستمرة للأنابيب التي يمكن أن تحصل فيها ترسبات.

جميع العمليات المذكورة سابقاً –عدا التقطير- تنقل النترات من سائل منخفض التركيز إلى سائل آخر مركز ولكن كميته أقل ويجب التخلص منه.

2-2-4- العمليات البيولوجية لإزالة النترات من المياه الجوفية:

تنفذ العمليات البيولوجية لإزالة النترات من المياه الجوفية باستعمال البكتريا ذاتية التغذية أو عضوية التغذية ملتصقة على حامل للغشاء البيولوجي.

في حالة استعمال البكتريا ذاتية التغذية (Autotrophic Bacteria) يتم التخلص من النترات إما بوجود الهيدروجين:

$$2NO^{-}_{3} + 5H_2 \longrightarrow 4H_2O + N_2 + 2OH^{-}$$

أو بوجود الكبريت:

$$5S + 6NO_3^{-} + 2H_2O \longrightarrow 3N_2 + 5SO_4^{2-} + 4H^{+}$$

أما في حالة استعمال البكتريا عضوية التغذية (Heterotrophic Bacteria) فإن هذه البكتريا تستعمل لأيضها الكربون والنتروجين، كما أنها تحصل على طاقتها من المغذيات الغنية بالكربون كالايتانول أو الميتانول أو حمض الخل أو المولاس أو الغلوكوز وبغياب الأكسجين الجزيئي في السائل حيث يكون الوسط منقوص الأكسجين (Anoxic) فإنها تستطيع أن ترجع النترات إلى نتريت ثم إلى أكسيد نتري (Nitric Oxide) وأكسيد النتروز وغاز النتروجين كما يأتي [6].

$$NO^{-}_{3} \longrightarrow NO^{-}_{2} \longrightarrow NO \longrightarrow N_2O \longrightarrow N_2$$

المركبات الثلاثة الأخيرة هي مركبات غازية يمكن أن تتحرر إلى الهواء الجوي، يتم التفاعل بوجود الإيتانول كالآتي:

$$12NO_3^{-} + 5C_2H_5OH \longrightarrow 6N_2 + 10CO_2 + 9H_2O + 12OH^{-}$$

وتساهم أنواع البكتريا التالية في نقل نتروجين النترات إلى نتروجين غازي:

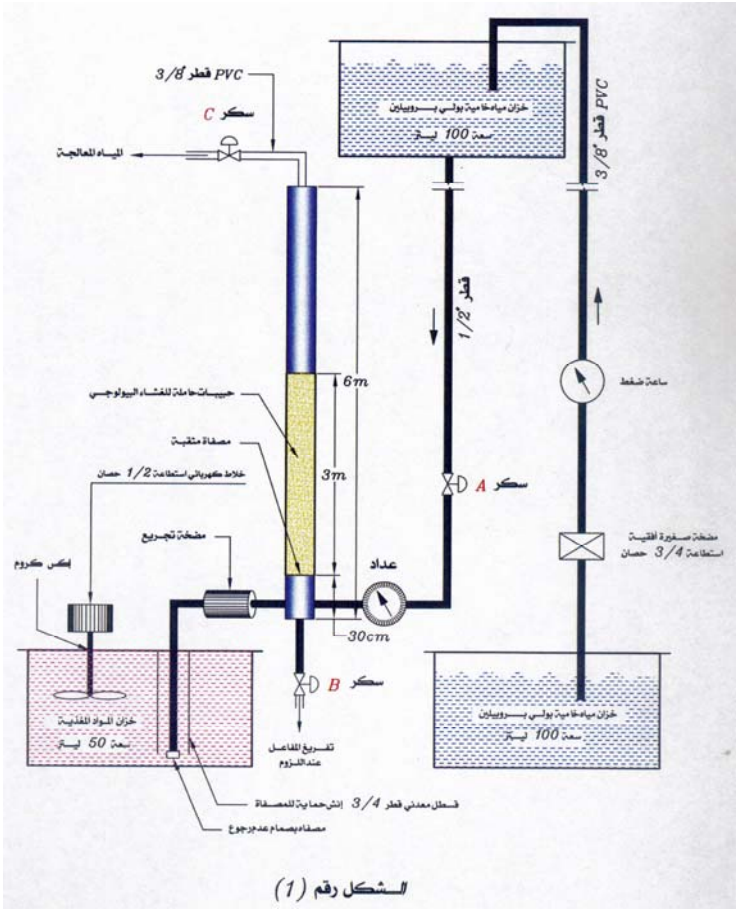
Alcaligenes, Aerobacter, Achromobacter, Lactobacillus, Flavobacterium, Brevibacterium, Bacillus, Spirillum, Pseudomonas, Proteus, Micrococcus.

وهي البكتريا عضوية التغذية.

ونظراً لما تميزت به هذه العملية (استعمال النمو الملتصق للبكتريا عضوية التغذية على حبيبات سرير) من نقل للنترات إلى نتروجين غازي وبسبب ضعف تأثيرها في التوازن الكربوني للماء وسهولة معالجة حمأتها والتي هي فائض الكتلة الحيوية مع حمأة مياه المجاري المنزلية، فقد اختيرت كموضوع لمسار البحث.

5. <u>العمل المخبري:</u>

تم البحث بعونه عز وجل باستعمال المفاعل المبين في الشكل (1)



الشكل رقم (1)

وهذا المفاعل يتألف من أسطوانة تحتوي على الحبيبات المعدة لحمل الغشاء البيولوجي على سطوحها. وقد اختير في مسار هذا البحث كحامل للغشاء البيولوجي حبيبات الكربون المنشط ذات الأقطار (1-3)mm وذلك لما تقدمه هذه الحبيبات من المزايا الآتية:

1- سطوح خشنة ذات شقوق ومسام تستطيع أن تحتمي بها البكتريا في أثناء انفشار الغشاء البيولوجي لتسهم بإقلاع جديد وسريع للمفاعل.

2- امتزاز سريع للبكتريا الموجودة في الماء إلى سطوحها ونمو سريع للبكتريا على هذه السطوح.

3- طاقة امتزاز واسعة تستطيع تخليص المياه من المغذيات المضافة غير المستخدمة من قبل البكتريا.

يتم تحضير بكتريا إقلاع المفاعل ضمن حوض خزان المواد المغذية نفسه كونه مزوداً بخلاط كهربائي استطاعة ½حصان سعة 50 ليتراً حيث يتم تحضير 30 ليتراً من المياه الخام نسبة النترات فيها 83mg/l مع إضافة إيتانول C_2H_5OH بحدود 130 mg/l مع إضافة كمية مادة فوسفاتية 16.67 mg/l من $Na\ H_2PO_4$ (أورثو فوسفات الصوديوم ثنائي الهيدروجين).

يحرك الخلاط ليتم تنشيط البكتريا ثم يتم تدوير هذه المياه ضمن المفاعل على الأقل خمس مرات يتم إدخالها من الأعلى وسحبها من أسفله حتى تلتصق البكتريا على سطوح حبيبات الكربون المنشط مشكلةً الغشاء البيولوجي، ثم تُدخل المياه الخام من أسفل المفاعل بسرعة كافية لرفع حبات السرير وجعلها معلقة بالماء، وذلك بمعدل تحميل سطحي مقدارm/h 7.4، ويتم إضافة المغذيات مع الماء العادي إلى خزان المواد المغذية ويتم ضخها ضمن المفاعل عن طريق مضخة التجريع المركبة على هذا الخزان وبكميات متغيرة لكل سلسلة من التجارب حسب القيم الآتية للإيتانول: 6.58 mg/l, 13.167 mg/l, 26.3 mg/l, 52.67 mg/l وبكمية لأورثو فوسفات

الصوديوم ثنائي الهيدروجين مقدارها 0.883 mg/l وذلك لمياه خام كان التركيز الأولي للنترات فيها هو 138mg/l, 83 mg/l وبسبب نقص الأوكسجين الجزيئي في ماء المفاعل فإن البكتريا تقوم بإرجاع النترات في نهاية الأمر إلى نتروجين غازي.

6. المناقشة والنتائج:

أ- إن إجراء التجربة بمعدل تحميل سطحي 9.87 m/h لماء خام كان التركيز الأولي للنترات فيه هو84 mg/l دون إضافة مغذيات إلى الماء كان يترافق مع نقصان لا بأس به للنترات بسبب امتزاز هذه النترات إلى سطوح حبيبات الكربون المنشط، ولكن كمية النترات كانت تعود للارتفاع مع استمرار عمل المفاعل بعد مدة من عمله.

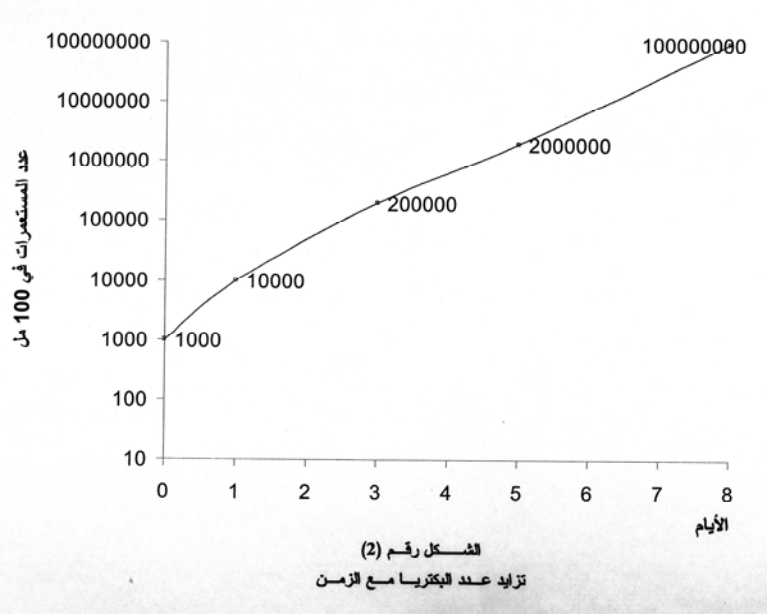
سلسلة التجارب الأولى: تم تدوير مياه الإقلاع في المفاعل بعد أن تم تحضيرها بين 2007/4/28 وحتى 2007/5/5،حيث كان تزايد عدد المستعمرات الجرثومية كالأتي:

يوم	0	1	3	5	8
عدد المستعمرات في 100 مل	1×10^3	1×10^4	2×10^5	2×10^6	1×10^8

وقد تم تحديد عدد مستعمرات البكتريا عن طريق أطباق بتري المعروفة، والشكل (2) يبين تزايد عدد البكتريا مع الزمن.

ملاحظة:

في بداية التجارب لم يتم التوصل إلى أكثر من 10^5 مستعمرة جرثومية في الـ 100 مل، وبمدة زمنية بحدود شهر تقريباً بسبب عدم استخدام المادة الفوسفاتية، وبعد استخدامها خلال مرحلة إعداد مياه الإقلاع تم ازدياد عدد المستعمرات الجرثومية بهذا الشكل الكبير.

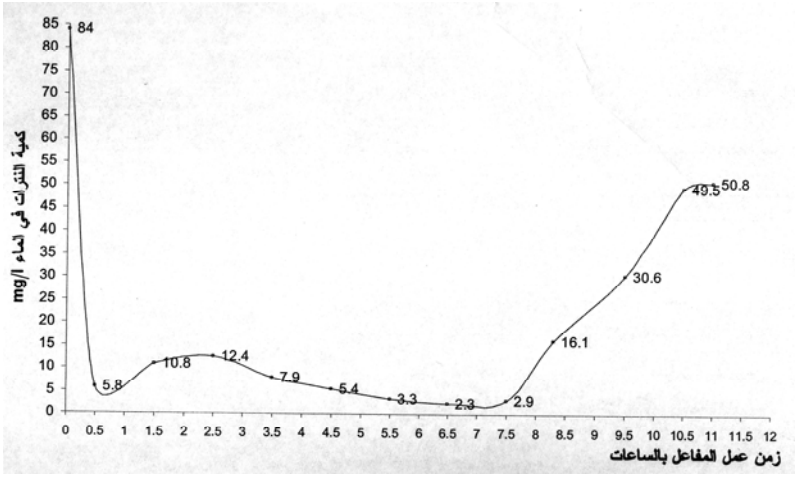


الشـــكل رقـم (2)
تزايد عـدد البكتريـا مـع الزمـن

وبعد إدخال المياه الخامية على المفاعل تم الحصول على النتائج الآتية:

الزمن /سا/	0	0.5	1.5	2.5	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5	8.3	9.5	10.5	11
كمية النترات mg/l	84	5.8	10.8	12.4	7.9	5.4	3.3	2.3	2.9	16.1	30.6	49.5	50.8

والشكل رقم (3) يبين المنحنى البياني لتغير كميات النترات في الماء مع الـ زمن دون إضافة أي مغذيات خلال التجربة، حيث لوحظ أن المفاعل بدأ يفقد كفاءته في تخفيض النترات بعد الساعات الثماني الأولى من بداية التجربة.



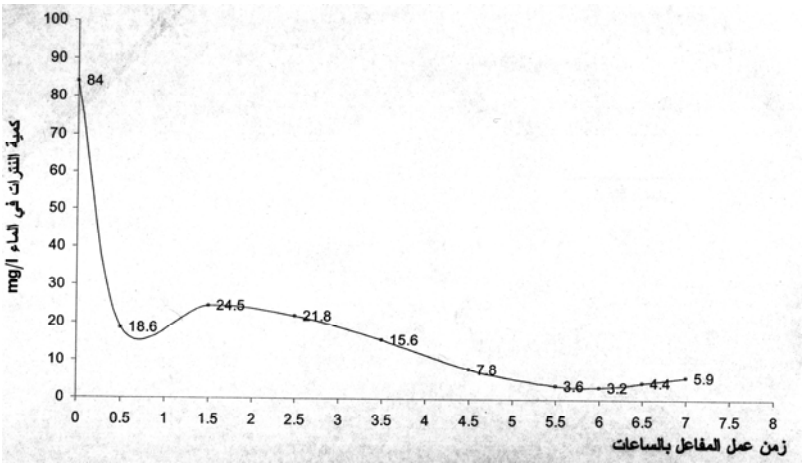
الشكل رقم (3)

تغير تركيز النترات مع الزمن (دون إضافة مغذيات خلال سير التجربة)

ب- إن إجراء تجربة إزالة النترات في مفاعل السرير المميع منقوص الأكسجين بمعدل تحميل سطحي مقداره 7.4 m/h (تم تخفيض معدل التحميل السطحي من 9.8m/h إلى 7.5m/h لتأمين زمن تماس أكبر بين تيار المياه الخام مع سطوح الأغشية البيولوجية على حبيبات الكربون المنشط) لمياه كان تركيز النترات فيها هو 84 mg/l مع إضافة 52.67 mg/l من الإيتانول أعطى نقصاناً واضحاً للنترات، وكانت النتائج مرضية تماماً حسب الجدول الآتي:

الزمن /ساا/	0	0.5	1.5	2.5	3.5	4.5	5.5	6	6.5	7
كمية النترات mg/l	84	18.6	24.5	21.8	15.6	7.8	3.6	3.2	4.4	5.9

والشكل (4) يبين تغير تركيز النترات مع الزمن مع إضافة الإيتانول كمغذ للبكتريا.



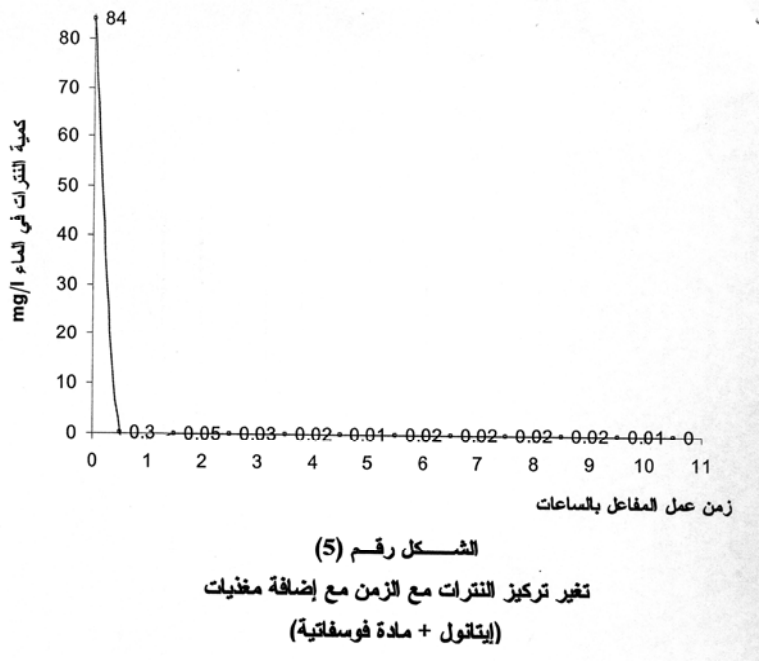
الشكل رقم (4)

تغير تركيز النترات مع الزمن مع إضافة الإيتانول كمغذ للجراثيم

ج- أجريت تجربة إزالة النترات في مفاعل السرير الممبع منقوص الأكسجين وذلك بسرعة جريان 7.4 m/h لمياه خام، كان تركيز النترات فيها 84 mg/l مع إضافة 52.67 mg/l إيتانول و 1.67 mg/l من أورثو فوسفات الصوديوم ثنائي الهيدروجين، فكانت النتائج ممتازة ووصلت نسبة إزالة النترات الوسطية إلى 99.9%.

الساعة	0	0.5	1.5	2.5	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5	8.5	9.5	10.5
كمية النترات mg/l	84	0.3	0.05	0.03	0.02	0.01	0.02	0.02	0.02	0.02	0.01	0

والشكل (5) يبين تغير تركيز النترات مع الزمن مع إضافة مغذيات الإيتانول وأورثو فوسفات الصوديوم ثنائي الهيدروجين.



الشـــــكل رقـــم (5)
تغير تركيز النترات مع الزمن مع إضافة مغذيات
(إيتانول + مادة فوسفاتية)

ومع مقارنة نتائج هذه التجربة مع تجربة إزالة النترات بوجود الإيتانول فقـط كمـادة مغذية يلاحظ تحسن واضح في كفاءة إزالة النترات، وثبات هذا التحسن مـع إضـافة مغذي أورثو فوسفات الصوديوم ثنائي الهيدروجين.

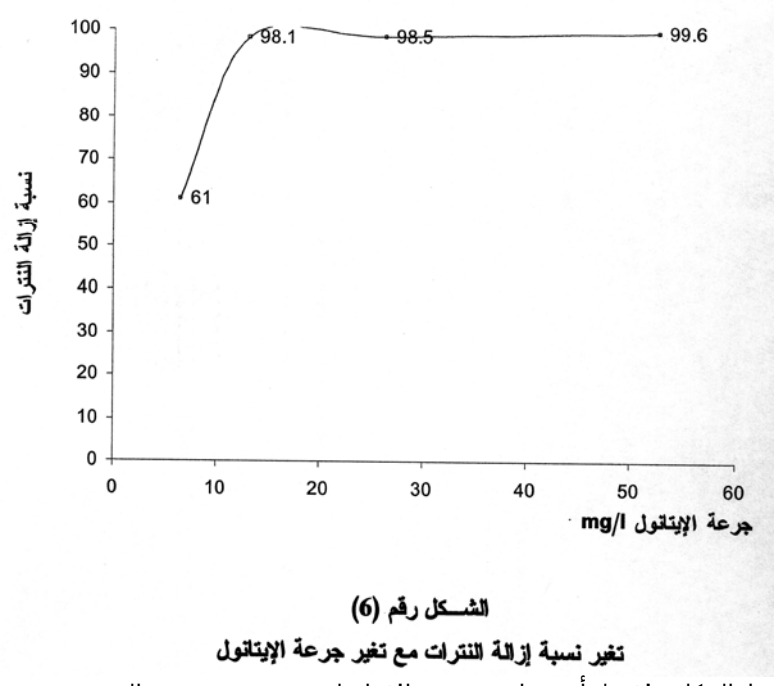
د- أجريت سلسلة تجارب إزالة النترات في مفاعل السرير المميع البيولوجي منقوص الأكسجين، وذلك بسرعة جريان للماء الخام في المفاعل 7.4 m/h ولمياه خام كان تركيز النترات فيها 138 mg/l مع إضافة 1.67 mg/l من أورثو فوسفات الصوديوم ثنائي الهيدروجين وكميات متغيرة من الإيتانول لكل سلسلة تجارب بالقيم:

6.583 mg/l, 13.167 mg/l, 26.3 mg/l, 52.67 mg/l

فكانت نسبة إزالة النترات هي على التسلسل:

61% 98.1% 98.5% 99.6%

كما هو مبين في الشكل رقم (6):



الشـــكل رقم (6)

تغير نسبة إزالة النترات مع تغير جرعة الإيتانول

من هذا الشكل نلاحظ أن زيادة جرعة الإيتانول من 6.58 mg/l إلى 13.167 mg/l ترافقت مع زيادة واضحة في كفاءة عمل المفاعل في إزالة النترات، ثم إن زيادة الجرعة من 13.167 mg/l إلى 26.3 mg/l ثم إلى 52.67 mg/l كانت تترافق مع زيادة كفاءة المعالجة، ولكن هذه الزيادة كانت طفيفة جداً ولا تتلاءم مع زيادة جرعة الإيتانول المقدمة، ومن الواضح أن الجرعة الثانية (13.167 mg/l) أعطت كفاءة ممتازة وكميتها مقبولة وهي الجرعة الأنسب من خلال المنحنى البياني السابق .

7. التـوصـيات:

أ- تعد المعالجة البيولوجية للمياه الجوفية لإزالة فائض النترات من الماء عملية فعالة جداً، وينصح بها وذلك لما توفره من مزايا عن باقي طرائق معالجة النترات الأكثر شيوعاً في عمليات معالجة المياه الجوفية، وهذه المزايا يمكن تلخيصها بالجدول الآتي:

العنصر المدروس	الإزالة البيولوجية للنترات في مفاعل السرير المميع منقوص الأكسجين	إزالة النترات بالتبادل الإيوني	إزالة النترات باستعمال أغشية التناضح العكسي
الكلفة الابتدائية	أقل	تحتاج إلى قطع أجنبي	أكبر وتحتاج إلى قطع أجنبي
كلفة التشغيل	متشابهة	متشابهة	تحتاج إلى تبديل الغشاء كل مدة من الزمن
مراقبة التشغيل	تحتاج إلى مراقبة دقيقة	التشغيل متوازن تماماً	تحتاج إلى مراقبة
درجة الحرارة	حساسة جداً لانخفاض درجة الحرارة	أقل تأثراً بالتغيرات الحرارية	أقل تأثر بالتغيرات الحرارية
محتوى الماء الخام من المواد العالقة	لا تتأثر بمحتوى الماء الخام من المواد العالقة	هذه الطريقة حساسة جداً لكمية SS في الماء الخام	حساسة لكمية SS للماء الخام
ملوحة الماء الخام	ذات تأثير قليل	لا تستخدم هذه الطريقة إذا وجد في الماء كثير من الكبريتات والكلوريدات	يمكن أن تزيل الكلوريدات والكبريتات
نواتج المعالجة	حمأة بيولوجية وينحول NO-3 إلى N2	يوجد ناتج ملحي مركز وإن محلول التجديد يحتوي على النترات والكبريتات من الماء الخام وجزء من شوارد البيكربونات ونسبة كبيرة من كلور الصوديوم	يوجد ناتج محلي مركز من النترات وغيرها من الأملاح الموجودة في الماء يجب التخلص منه
التوازن الكربوني	يتأثر قليلاً	يتأثر بشكل كبير والماء الناتج هو أكثر عدوانية	يتأثر
التشغيل الأوتوماتيكي	معقد	سهل	سهل

ب- تحتاج هذه الطريقة إلى إضافة مواد مغذية للبكتريا، وقد اختير هنا الإيتانول، وكانت الجرعة المثالية هي 13.167 mg/l لمياه تركيز النترات البدائي لها هو 138 mg/l أي أن نسبة الإيتانول إلى النترات كانت:

$$C_2H_5OH / NO_3 = 0.095.$$

ج- إن استعمال حبيبات الكربون المنشط كحشوة للسرير المميع وكحامل للغشاء البكتيري أعطى مزايا وكفاءة جيدة جداً في المعالجة.

د- إن إضافة مغذي أورثو فوسفات الصوديوم ثنائي الهيدروجين بكمية 1.67 mg/l ترافق مع موثوقية أكثر للإزالة الكاملة للنترات من المياه الجوفية، كما وفر زمناً كبيراً في تحضير مياه الإقلاع للمفاعل.

المراجع

1- د. سلوى حجار، 2006 – معالجة مياه الشرب. منشورات جامعة حلب، مديرية الكتب والمطبوعات الجامعية. 34 – 365.

2- M.Mc Casland et al, 2005 – Nitrate: Health Effects in Drinking Water.

3- P.D. Robillard et al, 2006 - Nitrate in Drinking Water. Agricultural and Biological Engineering Department USA.

4- Mimesoto Department of Agriculture USA 2006 – Drinking Water Protection Series; Nitrote Contamination – What is the Cost.

5- T.J. Casey, 1997 – Unit Treatment Processes in Water and Wastewater Engineering. John Wiley & Sons.

6- G. Tchobanoglous et al, 1991 – Water Engineering Treatment; Disposal and Reuse. Mc Graw – Hill, Ince P.P. 432 – 437.

تاريخ ورود البحث إلى مجلة جامعة دمشق: 2008/1/23.