------مجلة علوم الرافدين، المجلد 27، العدد 1، ص 64 -75، 2018------

تنقية مياه الصرف الصحي بالتعريض المباشر للأشعة الشمسية

***عبد العزيز يونس طليع الصفاوي** — قسم علوم حياة/ كلية التربية/ جامعة الموصل

ريم أياد طلعت — قسم علوم ا لبيئة/ كلية البيئة وتقاناتها/ جامعة الموصل

* **Email**: Sagffewi@yahoo.com

(أستلم 2013/11/20 ؛ قُبل 24 /2014/2)

الملخص

تضمنت الدراسة إجراء معالجة لمياه الصرف الصحي بتعريض المياه للأشعة الشمسية بعد وضعها بأحواض بلاستيكية سعة 5 لتر وتغطيتها بغطاء بلاستيكي شفاف وبأربعة معاملات (t_1 بدون تهوية – t_2 تهوية مستمرة – t_3 وt_4 تهوية لمدة 5 و 3 ساعات) على التوالي، مع استمرار المتابعة والقياس لكل من (الملوحة EC_{25} والدالة الحامضية pH و العسرة الكلية T.H والقاعدية الكلية .T.Alk وايونات البيكاربونات HCO_3^- والفوسفات PO_4^{-3}، فضلا عن المتطلب الحيوي للاوكسجين BOD_5 وقياس كل من العدد الكلي للبكتريا TPC وبكتريا القولون البرازية F. coliform وبكتريا *E. coli* وفقا للطرائق المعتمدة عالميا، لمعرفة التغيرات النوعية التي تحدث للمياه الملوثة خلال مدة التعريض للأشعة الشمسية.

أشارت النتائج إلى حدوث تحسن كبير في شفافية ونوعية المياه؛ إذ بلغت نسبة الازلة لكل من المتطلب الحيوي للأوكسجين مابين 68– 72% بعد مرور أسبوع من المعالجة والقاعدية الكلية وايونات الفوسفات مابين 65–67% و97–98% على التوالي في نهاية المعالجة، كذلك حدوث انخفاض واضح في أعداد البكتريا المدروسة أثناء المعالجة لتبلغ نسبة الإزالة 99 % للعدد الكلي للبكتريا و 100 % لكل من بكتريا القولون البرازية وبكتريا *E.coli* بعد مرور أربعة أيام من المعالجة.

الكلمات الدالة: الأشعة الشمسية لمعالجة مياه المجاري، المعالجة الفيزياوية لمياه المجاري.

Sewage Water Purification Through Direct Exposure to Solar Radiation

Abdul-Aziz Y. Al-Saffawi
Department of Biology/ College of Education/ University of Mosul

Reem A. Talaat
Department of Environ. Science/ College of Environment & Technology/ University of Mosul

ABSTRACT

The study deals with ecofriendly treatment of sewage water by direct exposure to solar radiation, The water was put in 5 liter plastic containers covered with transparent covers, the experiments were conducted with four treatments [t_1: with out aeration, t_2: continuous aeration, t_3 and t_4 : with 5,3 hour aeration daily] respectively, in order to investigate the quality variation of the polluted water, periodical measurements of the parameters: Salinity, pH, T. Hardness, T. Alkalinity, HCO_3^- ions, PO_4^{-3} ions, BOD_5, total count of bacteria, *E. coli* and faecal coliform bacteria according to international standard methods.

The results showed that after treatment occurred with significant improvement in transparency and water quality, removal percentage of BOD_5 68 – 72% after one week of treatment, T. alk. and PO_4^{-3} 65 – 67% and 95 – 97 % respectively in the end of the treatment. Also, high decreasing percent in number of TPC 99%, F. coliform and E. coli 100% after four days of treatment.

Keywords: solar treatment of sewage water, physical treatment of sewage water.

المقدمة

أضحت قضية البيئة وحمايتها من التلوث من أكثر القضايا حساسية في عالم اليوم، واستوجب التعامل معها بأكبر قدر ممكن من الجدية واحتلت مكانة مرموقة في سلم عناية المجتمع الدولي، لأن هذه القضية ترتبط ببقاء الإنسان وصحته وتقدمه واقتصاده. وقد ادى استخدام المياه في المجالات المدنية كافة الى تردي نوعيته مما جعله مصدراً للإزعاج وخطرا على الصحة العامة وتشويها لجمال الطبيعة، وعليه يجب اتخاذ الاحتياطات لتجميع ونقل ومعالجة وتصريف مياه الفضلات بطريقة آمنة؛ إذ يستخدم البشر في كثير من أجزاء العالم وحتى الوقت الحاضر مياه شرب ملوثة بسبب التجاوزات والسلوكيات الخاطئة للمواطنين في التعامل مع الموارد المائية مما يسبب مشاكل صحية خطيرة وبخاصة الدول النامية التي تواجه مشاكل صحية بسبب تصريف مياه المجاري الى الموارد المائية إما بدون معاملة أو بمعاملة غير كفوءة (الصفاوي والسردار، 2013).

إن المياه الجارية كالأنهار والجداول لها القابلية على تحسين نوعية مياهها وتنقيتها بعد قطعها لمسافات من خلال عملية التنقية الذاتية Self Purification (Ifabiyi, 2008). والتي تتضمن عدة عمليات فيزيائية وكيميائية وحيوية تؤدي الى تنقية المياه؛ اذ يتم تخفيف وانتشار الملوثات في المورد المائي كذلك امتزاز الملوثات من قبل المواد العالقة والتي تترسب إلى القاع، فضلاً عن عمليات الفلترة التي تقوم بها اللافقاريات ذات التغذية الترشيحية، كذلك امتصاص الملوثات من قبل النباتات الراقية فضلاً عن التفاعلات الكيموضوئية التي تحفز بوساطة الإشعاع الشمسي (Ostroumov, 2006)، فالإشعاع الشمسي المتمثل بالأشعة فوق البنفسجية UV والأشعة تحت الحمراء والأشعة الحمراء تعمل على القضاء على المسببات المرضية من خلال ميكانيكيات مختلفة منها:

1- امتصاص الأشعة UV-A (320-400 nm) من قبل الـ DNA مسببة تكوين thymine dimers الذي يؤدي إلى عرقلة تضاعف الـ DNA فضلاً عن حدوث الطفرات نتيجة لعمليات الإصلاح الخاطئة.

2 - امتصاص أشعة الـ UV من قبل المركبات العضوية يحفزحدوث التفاعلات الكيموضوئية مؤدية إلى تكوين مجاميع اوكسجينية فعالة ROS التي يمكنها ألحاق الضرر بالكائنات الدقيقة عن طريق أكسدة المكونات الخلوية (Oates *et al*., 2003).

3- توليد حرارة في الماء نتيجة لامتصاص الأشعة الحمراء وتحت الحمراء والتي تسبب مسخ البروتين ومن ثم أعاقة وظيفته وقد تسبب الموت للكائن الحي (Brock *et al*., 2002).

أن الأحياء المجهرية المرضية التي تصيب الإنسان تكون متكيفة للمعيشة في أمعاء الإنسان لكن حال انتقالها إلى البيئة ستكون حساسة جداً للظروف القاسية خارج جسم الإنسان؛ إذ ليس بمقدورها مقاومة ارتفاع درجات الحرارة ولاتمتلك ميكانيكيات لمقاومة أشعة UV مما قد يودي الى قتل الأحياء المجهرية المرضية (Schertenleib and Wegelin, 2002).

تشير الدراسة التي قام بها Vidali (2000) لدور الإشعاع الشمسي في تطهير المياه الملوثة إلى نجاح المعاملة بضوء الشمس في القضاء على بكتريا الـ *E.coli* وبكتريا *Enterococcus faecalis* وأكد على أمكانية استخدام هذه الطريقة في البلدان التي تتميز بطول فترة الإشعاع الشمسي كالدول الواقعة في المناطق الجافة وشبه الجافة. وهذا ماأكدته منظمة الصحة العالمية WHO (2003) من أمكانية استخدام الإشعاع الشمسي لتطهير المياه وجعلها صالحة للشرب؛ إذ أن الأشعة فوق البنفسجية من النوع A (320-400 nm) فعالة في عملية التطهير، وأن عملية التطهير تزداد بثلاثة أضعاف في قضائها على الممرضات فيما إذا كانت درجة حرارة الماء مرتفعة نسبياً، لذلك جاءت هذه الدراسة لمعرفة إمكانية معالجة مياه المجاري بالتعريض للأشعة الشمسية في ظروف مدينة الموصل.

المواد وطرائق العمل

أخذت مياه المجاري بواقع 5 لتر ووضعت بأحواض بلاستيكية ابعادها (30، 21، 10 سم) وغطيت بغطاء بلاستيكي شفاف وثم تعريضها لأشعة الشمس المباشرة وبعضها للتهوية باستخدام مضخات الهواء وتحت الظروف الطبيعية لمدينة الموصل خلال شهر ايلول وقد تم تكرار هذه التجربة مرتين وكانت المعاملات كالأتي:

(t_1) المعاملة الأولى: بدون تهوية.

(t_2) المعاملة الثانية: تهوية مستمرة.

(t_3) المعاملة الثالثة: تهوية لمدة 5 ساعات متواصلة يوميا.

(t_4) المعاملة الرابعة: تهوية لمدة 3 ساعات متواصلة يوميا.

مع استمرار المتابعة والقياس لكل من (الأس الهيدروجيني pH والتوصيل الكهربائي EC_{25} و العسرة الكلية Total Hardnessوالقاعدية الكلية T.Alkalinity وايونات البيكاربونات HCO_3^- والفوسفات PO_4^{-3}، فضلا عن المتطلب البايوكميائي للاوكسجين BOD_5 وقياس كل من العدد الكلي للبكتريا Total Plate Count وبكتريا القولون البرازية Faecal coliform وبكتريا *E.coli* وفقا للطرائق المعتمدة عالميا (Kumar *et al.*, 2011 ؛ APHA, 1998)، لمعرفة التغيرات النوعية التي تحدث للمياه الملوثة خلال مدة التعريض للأشعة الشمسية.

النتائج والمناقشة

توصف التنقية الذاتية الطبيعية Self-purification بأنها ملخص لجميع العمليات الفيزيائية والكيميائية والبايولوجية ودور الاشعة الشمسية التي من خلالها ستعمل على خفض كمية الملوثات، مثل عمليات التحلل البايولوجي والنترجة والتعدين واستيعاب المواد العضوية الذائبة والمغذيات الموجودة في المياه بوساطة الكائنات الحية كالبكتريا والفطريات واللافقاريات والطحالب (Maalah, 2013 ؛ Heidenwag *et al*., 2001).

تشير نتائج الدارسة الى حدوث تحسن كبير في شفافية الماء كما موضح بالصورة (1) مع اختفاء الروائح الكريهة، وقد يعزى ذلك الى وجود الطحالب في الماء التي تعمل على تحسين تهوية المياه للمعاملة t_1 فضلا عن عملية التهوية لبقية المعاملات وبالتالي خلق ظروف هوائية Aerobic condition وتغيير مسارات التفاعلات الحيوية وتكوين نواتج غير ضارة للنظام البيئي المائي او قد تكون بسبب تاثير الاشعة الشمسية في تنشيط التفاعلات الكيموضوئية خاصة عند وجود بعض المركبات العضوية كالفينولات والمركبات الاليفاتية والعطرية الحساسة للضوء Photosensitizer مما يشجع تكوين المجاميع الاوكسجينية الفعالة ROS وبالتالي حدوث عمليات التحلل الضوئي Photo-degradation (Hussein and McGuigana *et al.*, 2012 ؛Abass, 2010)، وهذه العمليات ستؤدي الى تحسين شفافية المياه، وهذا ما أكده (الصفاوي والسنجري، 2013) عند دراستهما لعمليات التنقية الذاتية لمياه مجاري وادي الخرازي في مدينة الموصل؛ اذ أشارا إلى دور التنقية الذاتية في عمليات ترويق المياه وانعدام الروائح الكريهة نتيجة لتحسين ظروف التهوية.

قبل المعالجة الطبيعية بعد المعالجة الطبيعية

الصورة 1: مياه المجاري قبل وبعد المعالجة الطبيعية

أما قيم الأس الهيدروجيني والموضحة في الجدول (1) فيلحظ أنها تأخذ بالارتفاع لتصل الى (10.63) بعد مرور (4) أسابيع من المعالجة للمعاملة t_1 والذي قد يعزى إلى عمليات البناء الضوئي للطحالب و استهلاك غاز CO_2 مما يؤدي الى زيادة تكوين المسببات القاعدية وإطلاقها الى البيئة المائية وهذا ماأكده كل من (ألشاهري وآخرون، 2009؛ الصفاوي والسردار، 2013) كما في المعادلات الآتية :

$$2HCO_3^- \rightarrow CO_3^{=} + CO_2 + H_2O$$
$$CO_3^{=} + H_2O \rightarrow CO_2 + 2OH^-$$

الجدول 1: معدل نتائج الدالة الحامضية خلال مدة المعالجة الطبيعية

المعاملات	قبل المعالجة	بعد يوم من المعالجة	بعد أربعة أيام من المعالجة	بعد أسبوع من المعالجة	بعد ثلاثة أسابيع من المعالجة	بعد أربعة أسابيع من المعالجة
t_1	7.67	8.16	8.02	8.28	10.44	10.63
t_2		8.71	8.64	8.65	8.55	8.52
t_3		8.41	8.37	8.68	9.22	9.20
t_4		8.32	8.30	8.58	9.26	9.39

بينما كانت القيم اقل من ذلك في بقية المعاملات وقد يعزى ذلك الى دور عملية التهوية ودخول الاوكسجين الذائب في سلسلة من التفاعلات الضوئية لتكوين الجذور الحرة Free radicals واحتمال تفاعل ايونات الهيدروكسيل OH^- مع جذر الـ $OH^{\cdot}$ لتكوين الماء، كذلك يلاحظ من الجدول (2) تذبذب قيم التوصيل الكهربائي فالارتفاع في القيم قد يعود الى عمليات التحلل للمواد العضوية والتفاعلات التي تحدث في المياه والتي تؤدي الى إذابة بعض المركبات الموجودة فيه (الصفاوي وآخرون،2009؛ Manahan,2004) كما في المعادلات الآتية :

$$\{CH_2O\} + O_2 \xrightarrow{\text{Microorganisms}} CO_2 + H_2O$$

$$\mathbf{H_2CO_3 + CaCO3 \longrightarrow Ca(HCO_3)_2}$$

في حين أن الانخفاض قد يعود الى امتصاص العناصر الذائبة من قبل الكائنات الدقيقة، وهذا ما تؤكده دراسة (Olutiola *et al.*, 2010) والتي أشارت إلى استهلاك العناصر المغذية من قبل الأحياء المائية الدقيقة مما يؤدي الى انخفاض قيم التوصيل الكهربائي، فضلا عن حدوث عمليات الترسيب التي تسهم في هذا الانخفاض (Ostroumov, 2006).

الجدول 2: معدل نتائج التوصيلية الكهربائية بوحدة (uS/cm) خلال مدة المعالجة الطبيعية

المعاملات	قبل المعالجة	بعد يوم من المعالجة	بعد أربعة أيام من المعالجة	بعد أسبوع من المعالجة	بعد ثلاثة أسابيع من المعالجة	بعد أربعة أسابيع من المعالجة
t_1	761	701	840	720	818	691
t_2		688	811	733	858	720
t_3		688	840	733	885	748
t_4		688	840	746	939	762

أما بالنسبة للتلوث العضوي فان استمرار طرح مياه المجاري مباشرة إلى النهر دون أي معاملة تذكر سيؤدي إلى التأثير السلبي على النظام البيئي المائي للنهر، فضلاعن تكوين المركبات الهايدروكاربونية المكلورة Trihalomethanes (THMs) نتيجة لعمليات الكلورة المستخدمة في محطات الإسالة لإنتاج مياه الشرب؛ إذ يتفاعل الكلور مع المواد العضوية مكونا هذه المركبات التي تعد احد أسباب سرطان الكلى والمثانة والقولون والمستقيم (Lou *et al.*, 2010). ويشير الجدول (3) إلى ان معدل قيم الـ BOD_5 لمياه المجاري قبل المعالجة والذي بلغ (110 ملغم/لتر) نتيجة لاحتوائها على كميات كبيرة من الفضلات العضوية مما ينعكس سلبا على تركيز Do ثم حدوث عمليات التحلل اللاهوائي وتكوين نواتج ضارة بالبيئة المائية مع انبعاث الروائح الكريهة والمزعجة (الصفاوي والطائي، 2013؛الصفاوي و السنجري، 2013) كما في المعادلات التالية:

$$4CH_3H_7O_2NS + 8H_2O \longrightarrow 4CH_3COOH + 4NH_3 + 4H_2S$$

$$4CH_3COOH + 8H \longrightarrow 5CH_4 + 3CO_2 + 2H_2O$$

الجدول 3: معدل نتائج BOD_5 (ملغم/لتر) خلال مدة المعالجة الطبيعية

المعاملات	قبل المعالجة	بعد يوم من المعالجة	بعد أربعة أيام من المعالجة	بعد أسبوع من المعالجة	بعد ثلاثة أسابيع من المعالجة	بعد أربعة أسابيع من المعالجة	الإزالة %
t_1	110	52.8	-	31.7	41.4	40.5	% 63
t_2		88.0	-	34.3	31.2	23.8	% 78
t_3		88.0	-	35.2	44.9	32.6	% 70
t_4		88.0	-	30.8	38.7	29.9	% 72

وقد حدث انخفاض نسبي لتركيز الـ BOD_5 حيث بلغت نسبة الإزالة بعد يوم واحد من التعريض لأشعة الشمس إلى (52 ، 20 ، 20 ، 20)% للمعاملات (t_1 و t_2 و t_3 و t_4) على التوالي لتصل النسبة الى (71 ، 69 ، 68 ، 72)% على التوالي بعد مرور أسبوع من المعالجة مقارنة بتركيز الـ BOD_5 قبل المعالجة. ويعود هذا الانخفاض في التركيز الى تأثير الأشعة الشمسية التي تعمل على حدوث التفاعلات الكيموضوئية Photochemical reactions وإطلاق الجذور الحرة free radical مثل جذر الهيدروكسيل الحر ($OH^{\cdot}$) التي تهاجم وتتفاعل مع المواد العضوية (Nogueira *et al*., 2008)، وكذلك الى عمليات التحلل من قبل الأحياء المجهرية للمواد العضوية وتحويلها الى نواتج بسيطة مثل CO_2 والماء التي تستهلك من قبل الطحالب المائية لإنتاج المواد العضوية اللازمة لبناء الخلايا الجديدة وبدورها تقوم بتجهيز الماء بالأوكسجين الذائب الذي يستغل من قبل الأحياء الدقيقة لعمليات التحلل للمواد العضوية (الصفاوي والعساف، 2013) وكل هذه العمليات ستؤدي الى خفض تركيز الـ BOD_5 في المياه. وهذا ما لاحظه (Nogueira *et al*., 2008) في دراسته لتأثير التعريض لأشعة الشمس في معالجة المياه الملوثة، حيث بلغت نسبة الإزالة للحمل العضوي (90)% بعد مرور عدة ساعات من التعريض.

أما نسبة الانخفاض للعسرة الكلية والموضحة في الجدول (4) فقد بلغت (41 ، 41 ، 36 ، 36)% للمعاملات (t_1 و t_2 و t_3 و t_4) على التوالي بعد (4) أسابيع من المعالجة، وقد يعود هذا الانخفاض الى عمليات امتصاص الكالسيوم والمغنسيوم اللازم للنشاطات الحيوية للأحياء المائية آو بسبب وجود مجاميع الكبريتات والسلفاهايدرايل في المواد الكاربوهيدراتية والبروتينية في الكائنات الدقيقة والتي تعمل على جذب العناصر أو الايونات الموجبة وامتزازها أو اتحادها معها مما يسبب انتزاعها من الماء وتنقيته (Ostroumov, 2006). وهذا ما أكده (Ifabiyi, 2008) في دراسته لقابلية التنقية الذاتية لنهر Ogbe إذ انخفضت العسرة الكلية بنسبة (30)% بعد قطع مسافة (25) كم.

الجدول 4: معدل نتائج العسرة الكلية (ملغم/لتر. على اساس $CaCO_3$) خلال مدة المعالجة الطبيعية

المعاملات	قبل المعالجة	بعد يوم من المعالجة	بعد أربعة أيام من المعالجة	بعد أسبوع من المعالجة	بعد ثلاثة أسابيع من المعالجة	بعد أربعة أسابيع من المعالجة	الإزالة%
t_1	346	358	288	284	248	204	% 41
t_2		338	292	284	260	202	% 41
t_3		346	292	290	272	220	% 36
t_4		340	296	258	286	218	% 36

وبالنسبة لتركيز القاعدية الكلية وايونات البيكاربونات والموضحة في الجدولين (5) و (6) على التوالي فتشير النتائج بان نسبة الإزالة لكل منهما بلغت (66، 67، 65، 67) %

الجدول 5: معدل نتائج ايونات البيكاربونات (ملغم/لتر) خلال مدة المعالجة الطبيعية

المعاملات	قبل المعالجة	بعد يوم من المعالجة	بعد أربعة أيام من المعالجة	بعد أسبوع من المعالجة	بعد ثلاثة أسابيع من المعالجة	بعد أربعة أسابيع من المعالجة	الإزالة%
t_1	251	239	232	237	120	85	% 66
t_2		237	234	239	112	81	% 67
t_3		239	232	239	112	88	% 65
t_4		242	237	239	115	81	% 67

الجدول 6: معدل نتائج القاعدية الكلية (ملغم/لتر. على اساس $CaCO_3$) خلال مدة المعالجة الطبيعية

المعاملات	قبل المعالجة	بعد يوم من المعالجة	بعد أربعة أيام من المعالجة	بعد أسبوع من المعالجة	بعد ثلاثة أسابيع من المعالجة	بعد أربعة أسابيع من المعالجة	الإزالة%
t_1	206	196	190	194	98	70	% 66
t_2		194	192	196	92	66	% 67
t_3		196	190	196	92	72	% 65
t_4		198	194	196	94	66	% 67

للمعاملات (t_1 و t_2 و t_3 و t_4) على التوالي بعد (4) أسابيع من المعالجة مقارنة بتراكيزها قبل المعالجة، وقد يعود السبب الى حدوث التفاعلات الكيميائية وتحويل بيكاربونات الكالسيوم الى صورة كاربونات الكالسيوم المترسبة (Manahan, 2004).

أما معدل نتائج ايونات الفوسفات والموضحة في الجدول (7) فقد أظهرت النتائج حدوث انخفاض كبير في تراكيزها؛ إذ بلغت نسبة الإزالة (38 ، 40 ، 42 ، 44) % للمعاملات (t_1 و t_2 و t_3 و t_4) بعد أربعة أيام من المعالجة لتبلغ (97 ، 98 ، 98 ، 98)% على التوالي بعد (4) أسابيع من التعريض لأشعة الشمس، وقد يعود هذا الانخفاض الى حدوث التفاعلات الكيموضوئية وترسيب الفوسفات أو بسبب نمو الطحالب التي لها القدرة على امتصاص الفسفور وإزالته من المياه وذلك لكونها قادرة على الاستفادة من الفوسفات المتوافر في المياه لأجل نشاطاتها الفسيولوجية (Hu *et al*., 2010).

الجدول 7: معدل نتائج ايونات الفوسفات (ملغم/لتر) خلال مدة المعالجة الطبيعية

المعاملات	قبل المعالجة	بعد يوم من المعالجة	بعد أربعة أيام من المعالجة	بعد أسبوع من المعالجة	بعد ثلاثة أسابيع من المعالجة	بعد أربعة أسابيع من المعالجة	الإزالة%
t_1	6.01	5.06	3.71	4.34	1.40	0.13	% 97
t_2		4.62	3.60	4.71	0.12	0.10	% 98
t_3		4.66	3.37	4.62	0.12	0.10	% 98
t_4		4.50	3.45	4.43	0.11	0.12	% 98

وقد تمت ملاحظة انخفاض كبير في العدد الكلي للبكتريا وبكتريا القولون البرازية أثناء عمليات المعالجة الطبيعية كما هو موضح في الجداول (8،9،10) حيث بلغت نسبة الإزالة للعدد الكلي للبكتريا مابين 96–99 %، بينما كانت 100 % لكل من بكتريا القولون البرازية وبكتريا *E. coli* بعد مرور أربعة أيام من المعالجة ولكل المعاملات مقارنة بأعدادها قبل المعالجة، وهذه النتائج مقاربة لنتائج دراسة (Oates *et al.*, 2003) حول استخدام الطاقة الطاقة الشمسية كأحد أساليب المعالجة حيث حققت هذه الدراسة نتائج كبيرة في تقليل أعداد كل من بكتريا القولون الكلية Total coliform bacteria و *E.coli* وذلك بتثبيط وقتل البكتريا إذ بلغت نسبة الإزالة الى 52% بعد مرور يوم واحد من التعريض لأشعة الشمس وزادت هذه النسبة في اليوم الثاني لتصل الى 100%.

الجدول 8: معدل نتائج العدد الكلي للبكتريا (خلية/مل) خلال مدة المعالجة الطبيعية

المعاملات	قبل المعالجة	بعد يوم من المعالجة	بعد أربعة أيام من المعالجة	بعد أسبوع من المعالجة	بعد ثلاثة أسابيع من المعالجة	بعد أربعة أسابيع من المعالجة	الإزالة%
t_1	$10^7\times1$	$10^5\times18$	$10^5\times4$	N.D	N.D	N.D	% 100
t_2		$10^6\times12$	N.D	N.D	N.D	N.D	% 100
t_3		$10^6\times9$	$10^5\times2$	-	N.D	N.D	%100
t_4		$10^6\times6$	$10^5\times1$	N.D	N.D	N.D	% 100

الجدول 9: معدل نتائج اعداد بكتريا القولون البرازية (خلية/100مل) خلال مدة المعالجة الطبيعية

المعاملات	قبل المعالجة	بعد يوم من المعالجة	بعد أربعة أيام من المعالجة	بعد أسبوع من المعالجة	بعد ثلاثة أسابيع من المعالجة	بعد أربعة أسابيع من المعالجة	الإزالة%
t_1	$10^5\times4$	$10^3\times150$	N.D	N.D	N.D	N.D	% 100
t_2		$10^3\times93$	N.D	N.D	N.D	N.D	% 100
t_3		$10^3\times460$	N.D	N.D	N.D	N.D	% 100
t_4		$10^3\times240$	N.D	N.D	N.D	N.D	% 100

الجدول 10: معدل نتائج أعداد بكتريا *E. coli* (خلية/100مل) خلال مدة المعالجة الطبيعية

المعاملات	قبل المعالجة	بعد يوم من المعالجة	بعد أربعة أيام من المعالجة	بعد أسبوع من المعالجة	بعد ثلاثة أسابيع من المعالجة	بعد أربعة أسابيع من المعالجة	الإزالة%
t_1	$10^5\times4$	$10^3\times150$	N.D	N.D	N.D	N.D	% 100
t_2		$10^3\times93$	N.D	N.D	N.D	N.D	% 100
t_3		$10^3\times460$	N.D	N.D	N.D	N.D	% 100
t_4		$10^3\times240$	N.D	N.D	N.D	N.D	% 100

N.D: غير محسوس.

كذلك أشارت نتائج دراسة (Olutiola *et al*., 2010) الى أن نسبة الإزالة في برك أكسدة مياه الصرف الصحي بلغت (53)% للعدد الكلي للبكتريا و (85)% للعدد الكلي لبكتريا القولون.

برهنت الأشعة الشمسية على قدرتها على القضاء على الكائنات المسببة للأمراض مع تقليل كمية المواد العضوية في المياه المعالجة بسبب تنشيط التفاعلات الكيموضوئية في المياه وبوجود الأوكسجين ومن ثم تكوين الأنواع الاوكسجينية الفعالة Reactive Oxygen Species (ROS) التي تعمل على تدمير الكائنات الدقيقة Microorganisms الموجودة في المياه مثل جذر الهيدروكسيل ($OH^{\cdot}$) والذي يتميز بقدرته العالية على أكسدة المركبات العضوية الموجودة في الخلايا أعلى بكثير من المؤكسدات التقليدية (Blanco *et al*., 2008)، كما أن امتصاص الإشعاع الشمسي المتمثل بـ UV-A من قبل الـ DNA يعمل على تكوين thymine dimers الذي يؤدي بدوره الى عرقلة تضاعف الـ DNA (Oates *et al*., 2003). كذلك فان رفع درجة الحرارة سيزيد من عمليات قتل البكتريا بسبب حصول تآزر بين الإشعاع والحرارة (Blanco *et al*., 2008) إذ أن الحرارة المتولدة في الماء بسبب التعريض للإشعاع الشمسي والمتمثل (بالأشعة تحت الحمراء)، فضلا عن الحرارة الممتصة من قبل المواد العالقة في الماء تسبب مسخ البروتين (Protein denaturation) ومن ثم إعاقة الإنزيمات على القيام بوظائفها مما قد يسبب موت الخلية (Brock *et al*., 2002)، وتشير الأبحاث والدراسات الى وجود علاقة أو ترابط مابين التعرض لأشعة الشمس ودرجات الحرارة ونشاطات عملية البناء الضوئي وانخفاض أعداد بكتريا الكوليفورم، حيث يؤدي pH والأوكسجين دورا في التأثير في تركيز

بكتريا الكوليفورم (Moreira *et al*., 2009)، وهذا ما أكده (Yeh *et al*., 2011) عند دراسته لنمو الطحالب في الأنظمة المائية، إذ أدى ارتفاع الـ pH الى 9 الى حدوث انخفاض معنوي في أعداد بكتريا الكوليفورم، إذ يسبب الـ pH القاعدي تأين (Ionization) لمكونات الأغشية الخلوية. كذلك تؤدي البروتوزوا المنتشرة في مياه الصرف الصحي دورا في انخفاض أعداد البكتريا من خلال استهلاكها للبكتريا الموجودة في المياه وتغذيتها على جزيئات المواد العضوية (Ostroumov, 2006)، كذلك أشار (McGuigana *et al*., 2012) الى القدرة العالية للإشعاع الشمسي في تثبيط طائفة واسعة من المسببات المرضية مثل *E. coli* و *Vibrio cholera* و *Salmonella typhimurium* و *Candida albicans* وهذا التأثير القاتل يرجع الى العمليات الضوئية والحرارية وتأثير التآزر القوي الذي يحدث عند ارتفاع درجة الحرارة. وهذا ما أكده كل من (Bosshard, 2010 ؛ McGuigana *et al*., 2012) ؛إذ أن تعريض للإشعة الشمسية يعمل على تعطيل عمليات النقل للأغشية فضلا عن تثبيط الأنظمة الإنزيمية نتيجة لاكسدة الحوامض الامينية في البروتينات والحوامض الدهنية المتعددة غير المشبعة في اللبيبدات.

الاستنتاجات

1- أظهرت المعالجة باستخدام الإشعاع الشمسي كفاءة عالية في إزالة العديد من الملوثات والقضاء على نسبة كبيرة من أعداد أدلة التلوث البكتيري.

2- لوحظ تحسن كبير في شفافية المياه المعالجة بالإشعاع الشمسي واختفاء الرائحة الكريهة نتيجة لتوفير الظروف الهوائية من قبل الطحالب.

التوصيات

1- الوعي البيئي ومنع حدوث التجاوزات بتصريف المياه الثقيلة مع مياه المجاري المصرفة الى النهر، مع إجراء الفحوصات الدورية والمستمرة على نوعية مياه الفضلات المطروحة.

2- نقل مياه المجاري الى المنخفضات جنوب مدينة الموصل لغرض تعريضها الى عمليات المعالجة الطبيعية ومن ثم تحسين نوعية هذه المياه للاستخدامات الزراعية والحد من ضغوط التلوث على نوعية مياه نهر دجلة.

المصادر العربية

ألشاهري، يوسف جبار؛ إسماعيل، محمد بشير؛ الصوفي، بلقيس يحيى (2009). تأثير الإضاءة وتركيز النتروجين والفسفور على النمو والمحتوى البروتيني لطحلب *Oscillatoria Angustissima* مجلة التربية والعلم،22 (2)،174-186.

الصفاوي، عبدالعزيز يونس؛ البرواري، مشير رشيد؛ خدر، نوزت خلف (2009). دراسة الخصائص الطبيعية والكيميائية والبايولوجية لمياه وادي دهوك. مجلة تكريت للعلوم الصرفة، **14**(2)، 54-60.

الصفاوي، عبدالعزيز يونس طليع؛ السردار، نور ميسر (2013)، استخدام بعض الطرائق الفيزياوية الحيوية لتحسين نوعية مياه الآبار، مقبول للنشر في مجلة التربية والعلم.

الصفاوي، عبدالعزيز يونس طليع؛ الطائي، نور ضياء صالح (2013). دراسة بيئية وبكتريولوجية للفضلات السائلة من مستشفيات مدينة الموصل. مجلة تكريت للعلوم الصرفة. **18**(4)، 86-97.

الصفاوي، عبدالعزيز يونس طليع؛ السنجري، وفاء عصام (2013). التنقية الذاتية لمياه وادي الخرازي في مدينة الموصل. مقبول للنشر في مجلة التربية والعلم.

الصفاوي، عبدالعزيز يونس طليع؛ العساف، أزهار يونس (2013). دراسة بيئية وبيولوجية للفضلات السائلة في وادي الدانفيلي وتأثيره على مياه نهر دجلة جنوب مدينة.

المصادر الاجنبية

APHA; AWWA ; WCPE. (1998). "Standard Method for Examination of Water and Wastewater". 20th ed., Washington, DC, USA.

Blanco, J.; Malato, S.; Fernandez, P.; Alarcon, D.; Gernjak, W.; Maldonado, M.I. (2008). "Solar Energy and Feasible Applications to Water Processes". 5th European Thermal. Sciences Conference, the Netherlands.

Bosshard, F.; Riedel, K.; Schneider, T.; Geiser, C.; Bucheli, M.; Egli, T. (2010). Protein oxidation and aggregation in UVA-irradiated *E. coli* cells as signs of accelerated cellular senescence. *Env. Microbi*, **12**, 2931 – 2945.

Brock, T.; Madigan, T.; Martinko, J.; Parker, J. (2002). Biology of microorganisms englewood cliffs, NJ: Prentice Hall. In: Oates, P.M.; Shanahan, P.; Polz, M.F. (2003). "Solar Disinfection (SODIS) simulation of solar radiation for global assessment and application for point-of-use water treatment in Haiti". *Water Res.* **37**,47-54.

Heidenwag, I.; Langheinrich, U.; Luditz, V. (2001). Self purification in upland and lowland streams. *Acta hydrochim. Hydrobio*, **29** (1), 22-33.

Hu, Y.; Wang, S.; Wang, C.; Jiang, H. (2010)."Characterization of Phosphorus Removal in the Rivers Inputting in to Lake Taihu". 4th International Conference on Bioinformatics and Biomedical Engineering. 18-20, China.

Hussein, F.H.; Abass, T.A. (2010). Solar photolysis and photocatalytic Treatment of textile industrial wastewater. *Int. J. Chem.Sci*., **8**(3), 1409-1420.

Ifabiyi, I.P. (2008). Self Purification of a freshwater Stream in Ile-Ife Lesson for water management. *J. Hum. Ecol.*, **24**(2), 131-137.

Kumar, A.; Bisht, B.S., Joshi, V.D.; Dhewa, T. (2011). Review on bioremediation of polluted environment: a management tool. *inter. J. Envi. Sci*. **1**(6).

Lou, J.; Huang, C.; Han, J.; Huang, Y. (2010). Generation of disinfection by–product (DBPs) at two advanced water treatment plants. *Envir. Mon. Assess*. **162**, 365-375.

Malaah, W.N. (2013). Study the effect of the medical city wastewater on the water Quality of Tigris River at Baghdad City. Msc. Thesis. College of Science. University of Baghdad. Iraq.

Manhan, S.E. (2004)." Environmental Chemistry". 8th ed. Crc press. Washington, DC.USA 781p.

McGuigana, K.G.; Conroya, R.M.; Moslerb, H.J.; Du Preezc, M.; Jaswac, E.U.; Ibanezd, P.F. (2012). Solar water disinfection: A review from bench-top to roof-top. *J. Hazard. Materials* .In press.

McGuigana, K.G.; Joyce, T.M.; Onroy, R.M.; Gillespie, J.B.; Elmore-Meegan, M. (2012). Solar disinfection of drinking water contained in plastic bottles: characterizing the bacterial inactivation process. *J. Appl. Microbi*. **84**(6). In: Oates, P.M.; Shanahan, P.; Polz, M.F. (2003). Solar Disinfection (SODIS) simulation of solar radiation for global assessment and application for point-of-use water treatment in Haiti. *Water Res*., **37**, 47-54.

Moreira, J.F.; Cabral, A.R.; Oliveira, R.; Silva, S.A. (2009). Causal model to describe the variation of faecal coliform concentrations in a pilot – scale test consisting of Ponds aligned in series. *Ecolog. Engin.*, **35**, 791-799.

Nogueira, K.R.B.; Teixeira, A.C.S.; Nascimente, C.A.; Guardani, R. (2008). Use of solar energy in the treatment of water contaminated with phenol by Photochemical processes. *Brazil. J. Che. Eng*. **25**(4), 671-682.

Oates, P.M.; Shanahan, P.; Polz, M.F. (2003). Solar disinfection (SODIS) simulation of solar radiation for global assessment and application for point-of-use water treatment in Haiti. *Water Res.*, **37**, 47-54.

Olutiola, P.O.; Awojobi, K.O.; Oyedeji, O.; Ayansina, A.D.; Cole, O.O. (2010). Relationship between bacterial density and chemical composition of a tropical sewage oxidation pond. *Afri. J. Envi. Sci. and Tech.*, **4**(9), 595-602.

Ostroumov, S.A. (2006). Biomachinery for maintaining water quality and natural water Self-purification in marine and estuarine systems: elements of a qualitative theory. *Int. J. oceans and Oceanog.*, **1**(1), 111-118.

Schertenleib, R.; Wegelin, M. (2002). Solar water disinfection a guide for the application of SODIS. Swiss Federal Institute of Environmental Science and Technology (EAWAG) and Department of Water and Sanitation in Developing Countries (SANDEC).

Vidali, M. (2001). Bioremediation an overview. *Pure Appl. Chem*., **73**(7), 1163-1172. In: Kumar, A, Bisht, B.S., Joshi, V.D.; Dhewa, T. (2011)."Review on Bioremediation of Polluted Environment: A management Tool". Int. *J. Env. Sci*., 1(6).

WHO, (2003). Algae and cyanobacteria in fresh water, in Guidelines for safe Recreational water Environments (1): Coastal and fresh water, *World Health Organization*, Geneva.

Yeh, T.Y.; Ke, T.Y; Lin, Y.L. (2011). Algal growth control within natural water purification system: Macrophyte light Shading Effects. *Wat. Air and Soil Pollut.*, **214**, 575-586.