استخدام الأشعة الشمسية فوق البنفسجية (أ) لتعقيم مياه الشرب الملوثة عمدا ببكتيريا المصادر البرازية في حضرموت

عبدالله احمد بارعدي
كلية الهندسة و البترول . جامعة حضرموت للعلوم و التكنولوجيا

الملخـــص

نتائج قياسات الدراسة تشير أن الأشعة الشمسية فوق البنفسجية (أ) الساقطة على منطـقة فـوه الواقـعة شـمال مدينة المكلا على خط 14.32 درجة شمالا في اليمن تمتلك قدرة للقضـاء علـى البكتيريا (الموجبة والسالبة لصبغة جرام) الموجودة في الماء الملوث بها، و أن مقـدار المتوسـط الشهري السنوي لهذه الأشعة (فوق البنفسجية أ) يعـادل (17 w/m2). كما استنتج من البحث أن بكتيريا Staphylococcus Aureus . و بكتيـريا الايشيريشا القولونيـة (Escherishia coli) (والتي تعتبر مؤشر جيد لباقي البكتيريا القولونية) الموضوعة في أوعية زجاجية أو بلاستيكية شفافة ذات اللون الأزرق الفاتح دون غيرها من الأوعية الأخرى قد تمّ القضاء علـيهن نهائيـا بـالتعقيم الشمسي فوق البنفسجي في فترات ما بين 90 –120 دقيقه ولم تستطيعا النمو او تعيدا نشاطهن في الماء المعقّم شمسيّا حتى بعد مرور خمسة أيام من حفظه في الظروف الطبيعية داخل غرفة المختبر . كما لم تسجل في نهاية عملية التعقيم الشمسي أي ارتفاع ملحوظ لدرجة حرارة ماء الشـرب المـراد تعقيمه بعد القضاء التام على هذه البكتيريا مما يسهل تعددية وسرعة استخدامه . تكنولوجيـا التعقـيم الشمسي بالأشعة فوق البنفسجية أ . سهلة الاستخدام ومحلية التصنيع ولا تضر بالبيئة واقل كلفة مادية على الفرد والحكومة.

البحث ينفرد ولأول مرة وعلى مستوى اليمن بدراسة وتحليل و تسجيل قياسات الأشعة الشمسـية فوق البنفسجية(أ) لمدينة المكلا منطقة فوه ولمدة عام كامل مما يجعل إمكانية استثمار هذه النتـائج أكان لغرض تعقيم المياه الملوثة بالبكتيريا المدروسة في الأرياف اليمنيـة فـي المحافظـة أو فـي المعالجات الصحية الأخرى المتعددة الأغراض .

المقدمة

تشير الدراسات بان كمية المياه العذبة الموجودة على سطح الارض والتي هي في متناول يد الانسان لاتتعدى جزىء من كل مائه الف وان ٧٠% من سكان العالم واكثرهم في اسيا وافريقا يحصل الواحد على ٥٠ لتر من الماء يوميا اواقل (Amaoot,M,A., 1993,141 p) اما في اليمن فان المياه المتجددة تقدر بـ ٢٠١ مليار متر مكعب في حين بلغت مياه التغذية السنوية للاحواض الجوفية حوالي ١٠٣ مليار متر مكعب و بلغ الاستهلاك المائي عام ١٩٩٤ حوالي ٢٠٨ مليار متر مكعب من هذه المعطيات نستنتج بان هناك امكانية لحدوث استنزاف سنوي على حساب المخزون المائي بحوالي ٧٠٠ مليون متر مكعب مما يجعل نمط الاستهلاك المائي للشرب في المستقبل اكثر تعقيدا اكان في المدن الكبرى او في الارياف على حدا سواء في اليمن (تقرير مقدم لمجلس النواب اليمني ، ١٩٩٨، عن المخزون المائي في اليمن) . علما بان الجزء الملوث من الماء العذب في العالم بفعل النشاط البشري والصناعي في وقتنا الحاضر يؤثر سلبا على صحة الانسان ويتسبب في مرض ما لايقل ١.٢ بليون انسان في العالم وموت ما لا يقل عن ١٥ مليون طفل عند عمر اقل من خمس سنوات سنويا وتعتبر الدول النامية هي الاكثر علاقة بهذه الاحصائية (مغاوري م . ر، ١٩٨٩ ص ٨٩) وتصبح المشكلة اكثر حدة عندما تتعرض هذه المياه العذبة للتلوث بشكل مباشر بمياه المجاري في الريف او بانظمة الصرف الصحي في المدن مسببة نقص حاد في المخزون الاحتياطي للمياه العذبة في العالم وكلفة مادية اضافية على الحكومة يدفعها المواطن العادي لمعالجة الكثير من الامراض التي تصيبه واهمها امراض الجهاز الهضمي ناهيك عن الضرر الحاد والمزمن على البيئة . ولغرض الحد من التلوث في المستقبل وحماية المخزون المائي للاجيال القادمة ودون المساس بالبيئة الطبيعية والبشرية وجب ضرورة البحث عن طرق اكثر امكانية للتنفيذ واقل كلفة لتعقيم مياه الشرب الملوثة في المجتمعات الريفية على وجه الخصوص .

في الواقع العملي توجد هناك الكثير من تلك الطرق ابتداء من غلي المياه بالحطب ومرورا باستخدام الطرق الكيميائية والكيموفيزيائية إلا أن مجملها يرتبط بزيادة في معامل شدة التلوث البيئي كالتصحّر اوالتلوث المزمن للتربة من جهة وارتفاع الكلفة الاقتصادية وصعوبة قياس ودقة استخدام جرعات المركبات الكيميائية لمعالجة تلوث مياه الشرب بالنسبة للقاطنين في الارياف من جهة اخرى ونتيجة لذلك وجدت الكثير من البدائل والدراسات

الناجحة في تعقيم المياه الملوثة ومن اهمها استخدام الطاقة الشمسية في هذا المجال (افنيج عكرة، ١٩٨٤ ص ٢٥) .

معظم الاراضي اليمنية تقع على الحزام الانسب لاستثمار الطاقة الشمسية أي ما بين خطوط العرض ١٥ – ٣٥ درجة شمالا (اليمن تقع على خطوط عرض مابين ١٢.٥ – ١٩ درجة شمالا) وهذا يعني انها تمتلك اكثر ٩٠ % اشعاع شمسي مباشر اما عدد ساعات شروق الشمس فيها فتقدر بحوالي ٣٠٠٠ ساعة سنويا (رمضان ، الشكيل ، ١٩٨٦ ، ص ٣٨) . ان هذه المؤشرات الاولية تعكس امكانية استثمار تكنولوجيا الطاقه الشمسية بفعالية عالية في الكثير من المجالات ومنها على وجهة الخصوص تعقيم مياه الشرب الملوثة ، وبناءا على تحليلنا للدراسات السابقة (افنيج عكرة . ١٩٨٤ ، ص ٢٠) و توفير المعطيات الميدانية الاولية حول الاشعاع الشمسي فوق البنفسجي القريب (أ) لغرض استثماره في اطار التعقيم لمياه الشرب الملوثة بيولوجيا في منطقة فوّة ــ محافظة حضرموت اليمن . قمنا باجراء هذه الدراسة والتي امتدت اكثر من سنة ونصف و تهدف لمعرفة مدى ما تمتلكه الطاقة الشمسية فوق البنفسجية(أ) الساقطة على الاراضي اليمنية (موقع الدراسة : منطقة فوه – المكلا) من امكانية لقتل البكتريا ذات المصدر البرازي والمتواجدة في مياه الشرب والمتسببة لنقل بعض الامراض المعوية الاكثر انتشارا في الارياف اليمنية ، ولتوفير مياه صالحة للشرب ومعقمة باستخدام الطاقة الشمسية ولو بكميات صغيرة تكفي لسد المتطلبات اليومية للعائلة الريفية .

علما بانه لا توجد أي مصادر او ابحاث يمنية سابقه في هذا المجال لقياس الاشعاع الشمسي فوق البنفسجي (أ) ولمدة عام كامل اكان لغرض استثمارة في تعقيم مياه الشرب الملوثة بالمصادر البرازية او في أي مجال من المجالات الاخرى في اليمن .

مواد وطرائق البحث

ارتكزت منهجية البحث على طريقتين : الطريقة الميدانية وتتمحور في اجراء قياسات للاشعاع الشمسي فوق البنفسجي أ، ولمدة عام كامل واخذ عينات من مجاري مياه الصرف الصحي والنزول الى مكتب الصحة و مختبرات مستشفى ابن سينا التعليمي و الامومة والطفولة بالمكلا والمختبر المركزي التابع لوزارة الصحة لتحديد اكثر انواع البكتيريا انتشارا في منطقة الدراسة و ارياف المحافظة بشكل عام . اما الطريقة المخبرية فهي للكشف عن تلك الانواع من البكتيريا في مياة مجاري الصرف الصحي للمنطقة المعنية ودراسة سلوكياتها

(من مقاومة و ابادة) عند تعرضها للاشعاع الشمسي فوق البنفسجي أ ومن ثمّ تحليل نتائج تلك الطريقتين والربط فيما بينهما وتطويعهما لغرض الاستثمار في عملية تعقيم مياه الشرب الملوثة بالبكتيريا الممرضة ذات المصدر البرازي.

بعد تحليلنا لنتائج قياس اللاشعاع الشمسي و تحديد نطاقاته الطيفية بواسطة الاوعية المختلفة الالوان (شكل رقم ٤) ودراسة نتائج بعض البحوث ذات العلاقة (افنيج عكرة ، ١٩٨٤ ص ٢٠) . استنتجنا بصورة عامة ان الاشعة الشمسية المحصورة بين الطول الموجي ٣١٥ – ٤٠٠ نانومتر والتي تقع في مجال الاشعة فوق البنفسجية أ (الوعاء ذو اللون الازرق الفاتح) هي القادرة على قتل ٧٠% من البكتيريا الضارة في حين لوحظ ان الضوء المرئي الذي موجاته تتراوح مابين ٤٠٠ – ٧٥٠ نانومتر وتشكّل حوالي ٣٠% من ابادة لتلك للبكتيريا وعلية نجد ان نجاح عملية التعقيم الشمسي تعتمد على ضرورة توفير معطيات حول هوية وسلوكيات هذا الاشعاع الفوق بنفسجي أ ، و دراسة وتحديد هوية البكتيريا ذات العلاقة في منطقة الدراسة من خلال الطريقتين الميدانيتين التاليتين :

الطريقة الميدانية الاولى :

قياس ساعي ــ يومي على مدار العام للاشعاع الشمسي فوق البنفسجي (أ) الساقط على منطقة فوّه ــ المكلا .

لقد تمّ يوميا ولمدة عام كامل (بداية عملية القياس من اكتوبر، نوفمبر، ديسمبر ٢٠٠٠ و يناير ، فبراير ، مارس ٢٠٠١ و ابريل ، مايو وانتهاء بيونيو ٢٠٠٢ م) اجراء قياسات للاشعاع الشمسي فوق البنفسجي (أ) الساقط على أحد الأسطح العلوية لمختبرات كلية العلوم البيئة والاحياء البحرية بجامعة حضرموت للعلوم و التكنولوجيا (بمنطقة فوه الواقعة في شمال مدينة المكلا على خط عرض ١٤.٢٣ درجة) بواسطة جهاز Ultra Violet Irradiance Sensor Meter وذلك لكى نتمكن من وضع تصور سنوي استثماري لمعرفة مدى امكانية هذه الاشعة الساقطة ودمجها في الاطار التطبيقي و بدورة منتظمة ومستمرة على مدى اشهر العام كله . اخذت القياسات عند السقوط المباشر للاشعة الشمسية على العنصر الحساس للجهاز تارة وداخل قاعة المختبر تارة اخرى وفي وضعين مختلفين (عمودي وافقي) للعنصر نفسه. وذلك لهدف المقارنة ومعرفة مدى تاثير هذه الاشعة الشمسية فوق البنفسجبة على قتل البكتيريا عند الشروط السابقة وامكانية استخدام نتائجها في مجال التعقيم الشمسي .

الاجهزة المستخدمة في البحث لقياس الاشعاع الشمسي فوق البنفسجي :

– جهاز لقياس الاشعة الشمسية فوق البنفسجية القريبة (أ) Ultra Violet Irradiance Sensor Meter لقياس الاشعاع الشمسي على موجة عظمى مقدارها UV (a+b) 370 nm تحت سماء صافية ومقدم من شركة Philip Harris Education .

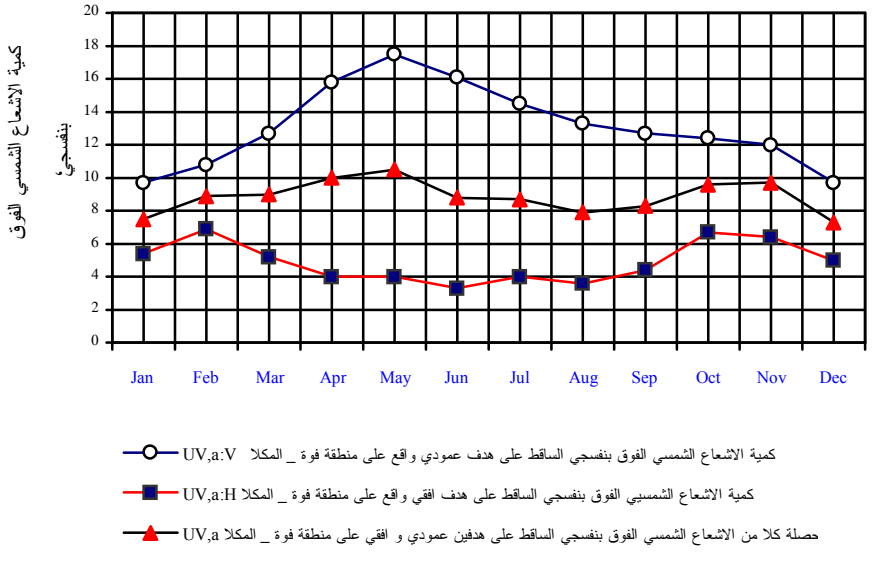
خطوات التجربة :

بعد ضبط الجهاز في الوضعين الرأسي تارة و الأفقي تارة اخرى عند شروط الحالتين التاليتين :

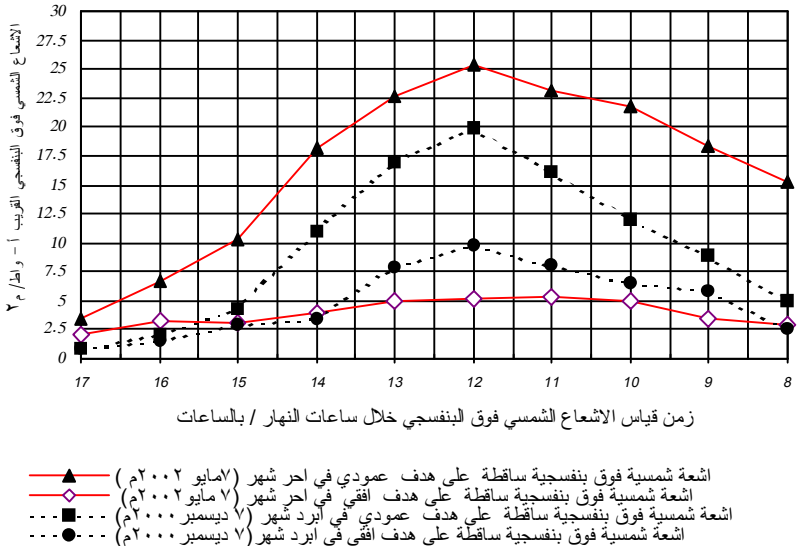
الحالة الاولى (قياس خارجي) : تسجيل قياسات الاشعاع الشمسي فوق البنفسجي (أ) بصورة يومية من الساعة الثامنة صباحا وحتى الخامسة مساءا ولمدة ١٢ شهراً . موقع الدراسة السطح العلوي لمختبر كلية العلوم البيئة و الاحياء البحرية / جامعة حضرموت .

الحالة الثانـــية (قياس داخلي) : وفي نفس الوقت وبنفس شروط القياس الخارجي تمّ التسجيل اليومي لقياسات الاشعاع الشمسي فوق البنفسجي (أ) داخل غرفة المختبر المعني ومن ثمّ تحويل تلك القياسات الى متوسطات شهرية لعام كامل لغرض الاستفاذه منها في العمليات التطبيقية . نتائج القياسات تنعكس في الشكلين رقم ١ و ٢ .

شكل رقم (1) المتوسط الشهري خلال العام لكمية الاشعاع الشمسي فوق hgبنفسجي أ الساقط على منطقة فوّة –المكلا وعلى هدفين عمودي و افقي ومقاس بجهاز رقمى على موجة عظمي (370 نانومتر) تحت سماء صافية



شكل رقم (٢) المتوسط اليومي لشدة للاشعاع الشمسي فوق البنفسجي القريب(من نوع أ) في الوضع الافقي و العمودي لاحر شهر (مايو) وابرد شهر (ديسمبر) اشعاعا خلال العام والساقط على منطقة فوة - المكلا



الطريقة الميدانية الثانية :

جمع المعطيات الميدانية الاحصائية حول اهم الامراض المعوية في ارياف محافظة حضرموت وانواع البكتيريا المسببة لها .

من خلال الدراسة والتحليل والنزول الميداني لمكاتب الصحة بالمحافظة والتعرف على سجلات المستشفيات العامة والمراكز الصحية الريفية حول انواع البكتيريا الاكثر انتشارا والمتسببة في انتشار بعض الامراض المعوية والمؤدية للاسهالات الحادة في الامعاء والتهابات فى المسالك البولية واحيانا التهابات كيس الصفراء وفي حالات نادرة ربما قد تسبب تسمم دموي والتهابات حادة في بطانة القلب الداخلية بين سكان المناطق الريفية اليمنية بمحافظة حضرموت ومن تلك المعطيات تمّ استنتاج بان بكتيريا المكورات العنقوديه *Staphylococcus aureus* وبكتيريا الايشريشيا القولونيه *Escherishia coli* (فيربرذر ١٩٨٣ ص ١٢٠) هي الاكثر شيوعا لانتشار تلك الامراض المعوية المباشر منها وغير المباشر وذلك نتيجة لاختلاط مياه المجاري ذات المصدر البرازي والحاملة لتلك البكتيريا

المعوية وتلويثها لمياه الشرب في الترع وخزانات مياه الشرب الشعبية في الارياف . ولهذا السبب تم اختيارنا لدراسة هذين النوعين من البكتيريا لتكونا هدفا للبحث والتحليل ولمعرفة ردود فعلها ومقاومتها لعملية التعقيم الشمسي الفوق بنفسجي لمياه الشرب الملوثة بها في الارياف ، مع الاخذ بعين الاعتبار بان هذا الاختيار لايمنع اجراء دراسات مستقبلية تعم باقي انواع البكتيريا ذات العلاقة بالامراض المعوية في الارياف اليمنية بما فيها بكتيريا الكوليرا *Vibrio cholerae* التي يجب ان تخضع لشروط وقائية خاصة جدا عند القيام بالبحث .

الطريقة الميدانية الثالثة :

جمع عينات من مياه مجاري الصرف الصحي لمنطقة فوّه – مدينة المكلا :

الهدف من فحص مياه المجاري لمنطقة فوة للتاكد من وجود بكتيريا الايشريشيا القولونيه *Escherishia coli* وهي ليست ممرضه بشكل مباشر ولكنها تعتبر الاكثر مقاومة لعملية الابادة دون غيرها من انواع البكتيريا الممرضه مثل *Staphylococcus flexneri, Staphylococcus typhi* مما يجعلها تكون مؤشر جيد لمعرفة الاثر القاتل لباقي انواع البكتيريا القولونية الممرضة الاخرى (افنيج عكرة ، ١٩٨٤ ص ٢٧) اذ تم احضار عشر عينات من مياه مجاري في ابريل ٢٠٠١ من عدة مواقع من منطقة فوه في قوارير من الزجاج سعة ٥٠٠ مليلتر غسلت مسبقا بمطهر مخفف ومن ثم بالماء المقطر . اما دراسة بكتيريا المكورات العنقودية *Staphylococcus(aureus)* فقد اخذت ثلاث عينات من مياه الشرب من شبكة التوزيع لمدينة المكلا وبعد غليها تمّ تلويثها عمدا ببكتيريا ممرضة مزروعة من بكتيريا *Staphylococcus* ، عند جمع العينات اخذ في الاعتبار الشروط التالية :

* ضرورة جمع العينات في قوارير معقمة من الزجاج سعة ٥٠٠ مللیلتر .
* ضرورة حفظ العينات في الحاوية المبردة عقب جمعها وحتى اجراء عملية الفحص .
* ضرورة الاخذ في الاعتبار الى الفترة الزمنية بين الجمع واجراء الفحص .
* التخلص من الشوائب العالقة عند اخذ العينات مباشرة وكذا عند التحليل البيولوجي ان وجدت وذلك من خلال فصلها بواسطة الترشيح المناسب .

الطريقة المخبرية :

ترتكز حول الكشف عن بكتيريا الايشريشيا القولونية *Escherishia coli* في مياه مجاري منطقة فوة واثر الاشعاع الشمسي الفوق بنفسجي أ على ابادة كلا من هذه البكتيريا و بكتيريا المكورات العنقودية *Staphylococcus aureus* .

الادوات المستخدمة في الكشف عن بكتيريا الايشريشيا القولونية *Escherishia coli* في مياه مجاري منطقة فوة :

مجهر ضوئي ، اوراق ترشيح من نوع Grosse 90 mm ، وسط غذائي (Nutrient Agar) ، حاضنة ، جهاز تعقيم autoclave. وسط المغذي Salmonella- Shigella. agar و وسط المغذي Macconkey agar

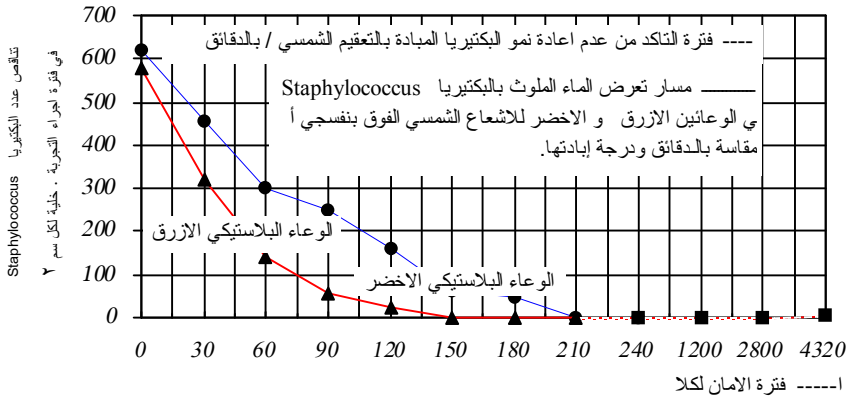
خطوات البحث :

تم احضار عينة من مياه المجاري بفوه ، عند فحصها بالمجهر لوحظ وجود عوالق نباتية وحبيبات رمل وكتل ترابية ..الخ ، بعد ذلك قمنا بزرع حجم معين من هذه العينة وليكن ١٠ ميكروليتر و٥٠ ميكروليتر في وسط غذائي Nutrient Agar في عشرة اطباق معقمة ، ثم تركت هذه الاطباق لمدة ٢٤ ساعة و ٤٨ ساعة ونتيجة لنمو الميكروبات بعد هذه المدة وبصورة كثيفة قمنا بعزل جزء منها وزراعتها في اطباق اخرى معقمة في نفس الوسط الغذائي وتركت هذه الاطباق الاخيرة ٢٤ ساعة وعند ملاحظتنا لنتيجة العزل تمّ التعرف على نوعين من المستعمرات للبكتيريا المتواجدة وهما الدائري الباهت والدائري الفاتح ، بعدها قمنا بعملية زراعة هذين النوعين من البكتيريا في وسط غذائي N.Agar وعند نمو هذه الميكروبات في هذه الاطباق عملنا على زراعتها في اوساط مغذية خاصة لنموها مثل الوسط المغذي Salmonella- Shigella. agar و الوسط المغذي Macconkey agar والذي يستخدم لتكاثر الميكروبات مثل بكتيريا الايشيريشيا القولونية *E.coli* (الهدف البكتيري الاول للدراسة) وغيرها ، وتركت الاطباق لمدة ٢٤ ساعة لغرض نمو البكتيريا و بعد الفحص لوحظ نمو للبكتيريا ذات اللون الباهت ولم يتم نمو للبكتيريا ذات اللون الداكن في هذه الاوساط كما ان لون الوسط الغذائي M.agar الاحمر قد تغير لونه بعد نمو البكتيريا الى اللون الوردي وهذه الصفة تعكس تواجد بكتيريا *E. coli* في مياه المجاري المدروسة لمنطقة

فوه ، وللتاكد الادق من وجود بكتيريا *E.coli* في هذه العينات موضع البحث تم ارسال بعض العينات لمختبر الصحة المركزي بمدينة المكلا التابع لوزارة الصحة والدي اكد بدوره تواجد هذه البكتيريا في هذه العينة المرسلة وهذا يؤكد ماتوصلنا اليه مسبقا .

بكتيريا المكورات العنقودية *Staphylococcus aureus* (الهدف البكتيري الثاني للدراسة) فقد تم زراعتها مسبقا في مختبر الصحة المركزي بمدينة المكلا التابع لوزارة الصحة لهدف بناء نموذج مصغّر لمياه شرب ملوثة ببكتيريا *Staphylococcus aureus* تتطابق ودرجة تلوث مياه الشرب في اغلب الارياف اليمنية بهذه البكتيريا ، وذلك لكي نستخدمها في دراسة معرفة اثر امكانية التعقيم الشمسي على ابادتها وتحليل نتائج ردود فعلها ما بعد عملية هذا النوع من التعقيم . وقد تمت هذه الدراسة من خلال تجربة اجريت يوم الثلاثاء الرابع عشر من مايو عام ٢٠٠٢ م (الشكل رقم ٣) يعكس نتائج الفحص .

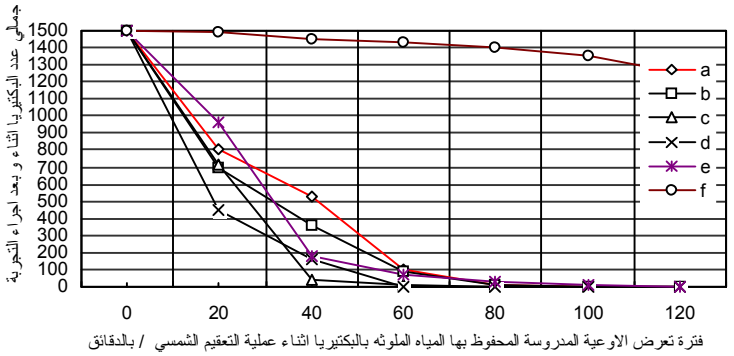
شكل رقم(٣) يوضح علاقة فترة الامان و فترة تعرض الماء الملوث ببكتيريا Staphylococcus واثر الاشعاع الشمسي على عدد تلك البكتيريا المبادة اثناء و بعد اجراء التجربة في كلا من الوعائين ذو اللون الازرق و اللون الاخضر



بعد مناقشة نتائج الفحوصات البكتيريولوجية لمياه مجاري منطقة فوة وتحديد نوع البكتيريا المتواجدة فيه وهي (*Escherishia coli*) وتوافر عينات مخبرية من بكتيريا *Staphylococcus aureus* وكذا رصد نتائج قياس المتوسط اليومي لاشهر عام كامل للاشعاع الشمسي فوق البنفسجي (أ) ومعرفة سلوكيات تلك الاشعة في احر وابرد اشهر السنة (مايو و ديسمبر) في المجال الطول الموجي 730 nm الساقطة على منطقة الدراسة (شكل رقم ٢,١) و تحليلنا لكافة تلك النتائج تمّ ربط تلك المعطيات فيما بينها (بكتيريا ممرضه بنوعيها + اشعة شمسية فوق البنفسجية أ) لغرض استثمارها في عملية التعقيم الشمسي والتي تمت من خلال الخطوات التالية : يتم تعقيم ماء الشرب النقي الخالي من الكلور بواسطة الغلي ويقسم الى قسمين حيث يلوث القسم الاول منه بفيض من مياه مجاري فوه المحتوية على بكتيريا *Escherishia coli* والقسم الآخر ببكتيريا *Staphylococcus aureus* وقد استعملنا لعملية التعقيم الشمسي اوعية معقمة وفضّلناها ان تكون الاكثر استخداما وتواجدا في المدن و الارياف اليمنية وذات انواع واشكال مختلفة لغرض المقارنة واختيار الافضل فيما بينها لغرض التعقيم الشمسي مثل : اوعية شفافة مختلفة الاحجام و الاشكال (علب بلاستيكية ذات اللون الازرق و الأخضر الشفاف / علب مياه صحة شملان وعلب مياه صحة الريان/ واكياس البولي اثيلين و قناني زجاجية شفافة سعتها تتراوح ما بين ٧٥٠ – ٢٠٠٠ مليليتر وجالون بلاستيكي ابيض . قسّمت كمية المياه الملوثة على هذه الاوعية المختلفة بعد تعقيمها بالتساوي . حيث فحص الماء الملوث بكتيريولوجيا قبل تعرضه لاشعة الشمس وضوء الغرفة العادي وبعدها عرّضت بعض هذه الاوعية الاختبارية المملؤة بالماء الملوث لضوء الغرفة العادي والبعض الاخر لاشعة الشمس المباشرة مع ابقاء وضع هذه الاوعية قائمه تارة وافقية تارة اخرى اما اكياس البولي اثيلين الشفافة فقد تم وضعها افقيا وذلك لمقارنة اثر الاوضاع المختلفة على فعالية ابادة الاشعاع فوق البنفسجي للبكتيريا المدروسة من خلال الفترات المنتظمة للفحص البكتيريولوجي للماء الملوث بها . حيث تمّ تعرّض هذه الاوعية باشكالها المختلفة لاشعة الشمس في اليوم السابع من شهر ابريل عام 2001 م و على فترات زمنية منتظمة كل 20 دقيقة ولبضع ساعات بالنسبة لبكتيريا *Escherishia coli* (نتائج الدراسة تنعكس في الشكل رقم 4) اما بكتيريا *Staphylococcus aureus* ، فقد تمت عملية التعقيم الشمسي لها (فترة تعرض الماء

الملوث للاشعاع الشمسي) كل 30 دقيقة ولمدة اربع ساعات وفي وعائين بلاستيكيين احدهما ازرق اللون والاخر اخضر اللون (علب صحة شملان و الريان) وقد اعتمدت في كلا الاختبارين طريقة العدّ المباشر لمعرفة مجموع البكتيريا ونسبة تناقصها عند كل اختبار كما حفظت كميات متساوية من الماء الملوث في اوعية متشابهة في مكان مظلم وفي نور الغرفة الطبيعي واختير سطح مختبر كلية العلوم البيئية والاحياء البحرية كموقع لاجراء الاختبارين (نتائج الاختبارين تنعكس في الشكل رقم ٣) .

شكل رقم4يوضح العلاقة بين معدل ابادة بكتيريا الايشيريشيا القولونية الملوثة للماء في الاوعية المختلفة وفترة تعرضها لاشعة الشمس فوق البنفسجية الساقطة على منطقة فوه - المكلا



النتائج و المناقشة :

اولا : تشير نتائج دراسة قياس الاشعة الشمسية فوق البنفسجية أ ، والمقاسة على الطول الموجي 370nm الساقط على المتر مربع من السطح اكان افقيا او عموديا لمنطقة فوة – مدينة المكلا وللفترة الممتدة من اكتوبر 2000 م وحتى يونيو 2002 م ولمدة عام كامل بان الاشعاع فوق البنفسجي يتزايد من الساعة العاشرة صباحا ويبلغ ذروته في الساعة الثانية عشر ظهرا أي ان هذا النوع من الاشعاع يبلغ مستواه الاقصي عند الظهيرة مهما كان الوقت من السنة ، وان شدته وفعاليته في القضاء على البكتيريا المدروسة تكون اشد واقوى بكثير عند تعرّض الماء الملوث لضوء الشمس المباشر بدلا عن تعرضه للضوء العادي في غرفة المختبر مع الاخذ في الاعتبار وحسب ما تعكسه نتائج التجربة بان الاشعاع الشمسي المنتشر

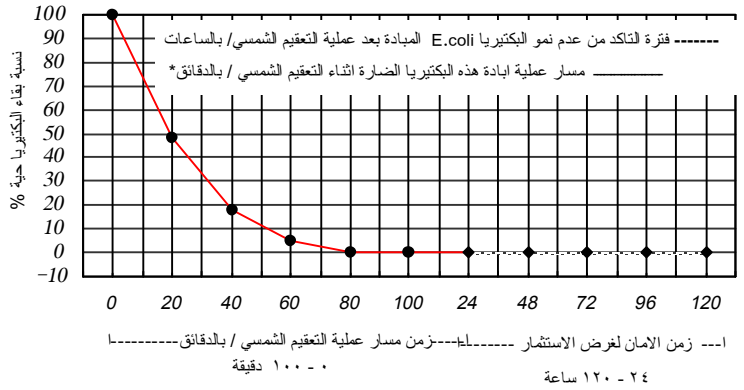
في اطار تكنولوجيا التعقيم الشمسي هو الافضل فعالية من الاشعاع الشمسي المباشر كون الاخير يتطلب دقة عالية في توجيه جهاز التعقيم بالنسبة لمسار الشمس مما يعني شرط تحديد زاوية الميل لجهاز التعقيم تصبح غير ضرورية مع ملاحظة ان كمية الاشعاع الشمسي الساقط وعلى فترات منتظمة من ساعات اليوم الشمسي على الجسم القائم تكون اعلى بكثير من تلك الساقطة على الجسم الافقي ولكنها تقترب من التساوي عند الغيوم او الامطار (شكل رقم 1 , 2) كما استنتجنا بان متوسط اقصى شدة لهذه الاشعة الشمسية فوق البنفسجية (أ) الساقطة على المنطقة المدروسة بلغت في شهري ابريل ومايو w/m^2 16-18 واقلها في شهري يناير و ديسمبر حوالي w/m^2 8.5 في حين بلغت في شهري يوليو واغسطس w/m^2 9 – 10 ، حيث لوحظ ان المسار العام لقياسات هذا الاشعاع فوق البنفسجي لاشهر السنة للمنطقة المعنية تتماثل ونتائج الدراسة حول المتوسط الشهري للاشعاع الشمسي الكلي الساقط على اليمن (Khogoli, Ramadan, 1983 PP.55-62) وهو ما يؤكد صحة قياساتنا .

من الدراسة استنتج ان شهر مايو هو افضل اشهر السنة ابادة للبكتيريا المدروسة والعكس صحيح بالنسبة لشهر ديسمبر وذلك عند وضع الجهاز عموديا كان او افقيا (شكل رقم 2) وان فصلي الصيف والخريف هما الافضل في عملية التعقيم الشمسي منها في فصل الشتاء وان لم يكن الفارق شاسعا بل نعتقد بان فصل الشتاء يمتلك ايضاً الامكانية في التعقيم الشمسي فيما لو تم تعرض الماء الملوث بالبكتيريا المعنية لفترة اطول مما يجعل نتائجه متساوية وعمليات التعقيم الشمسي لفصلي الصيف والخريف . من هذا الترابط الطبيعي لعمليات التعقيم الشمسي بين فصول السنة الاربعة يمكن التوصل الى امكانية وضع دورة منتظمة لعمليات التعقيم الشمسي وعلى مدار العام دون الاخذ في الاعتبار التغيرات الفصلية وهو بحد ذاته يعتبر مؤشر استثماري اقتصادي جيد لهذا النوع من عمليات التعقيم الشمسي وخصوصا اذا تم التعامل معه في اطار الارياف اليمنية .

ثانيا : عند الفحص البكتيريولوجي لمياه مجاري منطقة فوة لوحظ نمو بكتيريا في الوسط الغذائي ذات لونين مختلفين (داكنة و باهتة) وبعد زرع تلك البكتيريا ذات اللونين السابقين في الاوساط الغذائيه N.agar : M.agar نمت البكتيريا ذات اللون الباهت و لم يتم نمو للبكتيريا الداكنة في هذه الاوساط كما ان لون الوسط المغذي M.agar الاحمر قد تغير بعد نمو هذه البكتيريا الى اللون الاحمر الباهت وهذه صفة تعكس تواجد الايشيريشيا القولونية

في العينة المدروسة وللتاكد من نتيجة فحصنا تم ارسال قسم من مياه المجاري لاعادة عملية زراعتها في مختبر الصحة المركزي بمدينة المكلا التابع لوزارة الصحة وجاءت نتائجه مطابقة لما توصلنا اليه لاحقا ، مما يعنى امكانية تلوث مياه الشرب في هذه المنطقة بهذا النوع من البكتيريا ناهيك عن امكانية تواجدها في الارياف وهو ماعكسته الاحصائيات السنوية للمجمعات الصحية الريفية التابعة لمكتب وزارة الصحة العامة بالمحافظة . اما بكتيريا *Staphylococcus aureus* ، فلم تظهر بشكل مباشر في مياه المجاري ولكن الاحصائيات الحكومية للمختبرات التابعة لمستشفيات ومراكز الصحة في الارياف التابعة لفرع وزارة الصحة بالمحافظة تشير الى تواجد تلك الانواع في مدينة المكلا وضواحيها ، وفي الكثير من ارياف المحافظة مما جعل معرفة مدى امكانية استخدام التعقيم الشمسي في ابادة كلا النوعين من البكتيريا ومدى قدرتها على النمو بعد عملية التعقيم لتلك المياه الملوثة مما جعل تلك البكتيريا هدفا لدراستنا ونتائج تلك الدراسة تنعكس في الشكلين رقم 3 ,5 .

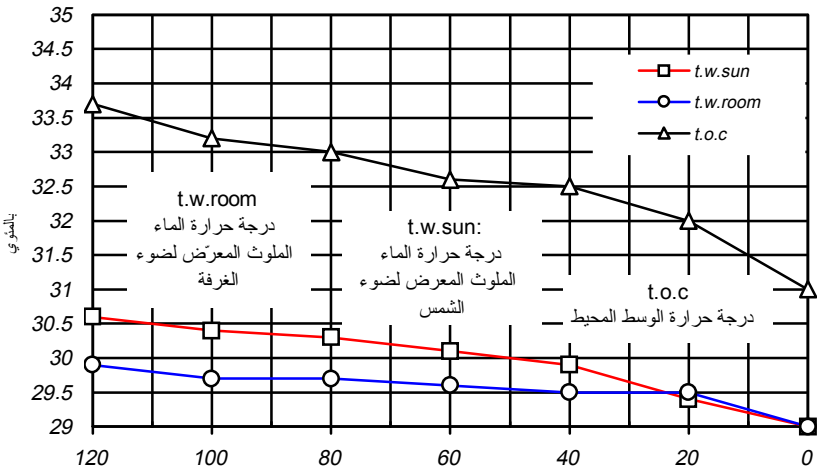
شكل رقم (٥) العلاقة بين النسب المئوية لبقاء بكتيريا الايشيريشيا القولونية حية و مسار فترتي الامان وعملية التعقيم الشمسي .



ثالثا : تشير نتائج الدراسة الى ان عملية القضاء على بكتيريا *Staphylococcus aureus* الممرضة في الماء الملوث بواسطة اشعة الشمس فوق البنفسجية تستغرق 60 دقيقة للوعاء البلاستيكي الازرق في حين تبلغ 90 عند استخدام الوعاء الاخضر مما يعكس الفعالية الاكثر للوعاء الازرق مقارنة بالوعاء الاخضر. شكل رقم 3.

رابعا : بعد الانتهاء من عملية التعقيم الشمسي للماء الملوث وابادتها لكل من البكتيريا *Escherishia coli* و البكتيريا *Staphylococcus aureus* والتي استمرت ساعتين لوحظ ان ارتفاع درجة حرارة الماء المعقم في الوعاء الازرق الخفيف (مقارنة بباقي الاوعية) تزيد بحوالي 1.5 درجة عن درجة حرارة الماء الملوث قبل التعقيم الشمسي (مما يؤكد بان ابادة البكتيريا لم يتم على اساس ارتفاع درجات الحرارة للماء الملوث بل على استخدام الاشعة الشمسية فوق البنفسجية أ) هذه الخاصية تساعد على سهولة الاستخدام المباشر للماء المعقم مقارنة بدرجة حرارة تعقيم الماء بطريقة الغلي حيث تبلغ درجة حرارة الماء المعقّم 100 درجة مئوية بعد التعقيم (شكل رقم 6) .

شكل رقم (6) يوضح العلاقة بين درجة حرارة الوسط المحيط وارتفاع درجة حرارة الماء الملوث داخل الوعاء الازرق اثناء عملية التعقيم الشمسي



فترة تعرض الماء الملوث بالبكتيريا في الوعاء الازرق لكلا من ضوء الشمس وضوء الغرفة / بالدقائق

خامسا : نتائج تجربة البحث المقاسة في 14 ابريل 2001 م حول التعقيم الشمسي اظهرت فعالية عالية في ابادة بكتيريا *Escherishia coli* فقد حصل تناقص تدريجي لعدد هذه البكتيريا مع زيادة فترة تعرّض الماء الملوث لاشعة الشمس وشكل الوعاء ونوعية مادته حيث لوحظ تناقص سريع من عدد البكتيريا من الساعة العاشرة صباحا عندما تكون شدة الاشعاع الشمسي الفوق بنفسجي w/m^2 15.4 ، وحتى الساعة الحادية عشر حيث بلغت شدة الاشعاع الشمسي الفوق بنفسجي w/m^2 19.2 ، مع ملاحظة ان التناقص يبقى مستمرا وبانتظام، وبعد تجاوز ذلك الوقت يزداد التناقص حدة ويصل لدرجة الابادة الفعلية لكل اعداد البكتيريا المعنية المتواجدة في الماء الملوث وهنا يصبح الماء معقما وذلك عند الساعة الثانية عشر ظهرا لتصل شدة الاشعاع الشمسي فوق البنفسجي اقصاه في ذلك اليوم $22w/m^2$ ومن هنا يمكن الاستنتاج بان الوقت اللازم للابادة النهائية (100%) لهذا النوع من البكتيريا بالاشعة الشمسية فوق البنفسجية يتراوح مابين 60 –120 دقيقة (شكل رقم 5) .

سادسا : نتائج تجربة البحث المقاسة في يوم الثلاثاء من الرابع عشر من مايو 2002 م حول التعقيم الشمسي تعكس فعالية عالية في ابادة بكتيريا *Staphylococcus aureus* ، فقد حصل تناقص سريع لعدد هذه البكتيريا ابتداء من الساعة العاشرة صباحا عندما كانت شدة الاشعاع الشمسي فوق البنفسجي w/m^2 35.2 ويزداد معدل التناقص بشكل اكبر عند الساعة الحادية عشر حيث تكون شدة هذا الاشعاع قد بلغت w/m^2 38.5 ثم يزداد التناقص بصورة تصل لدرجة الابادة الفعلية لكل اعداد البكتيريا المعنية عند الساعة الثانية عشر ظهرا وببلوغ الاشعاع اشده في ذلك اليوم ويعادل $40.3w/m^{-2}$ وبذلك يمكن ان نستنتج الوقت اللازم للابادة النهائية (100%) لهذا النوع من البكتيريا بالاشعة الشمسية فوق البنفسجية التي تتراوح ما بين 150 دقيقه للوعاء البلاستيكي الازرق الشفاف و 210 دقيقه للوعاء البلاستيكي الاخضر الشفاف كون اللون الازرق يسمح بمرور الاشعة فوق البنفسجية في حين اللون الاخضر لايسمح لهذه الاشعة بالمرور وبالتالي يقل تأثيرها في ابادة البكتيريا مقارنة باللون الازرق (شكل رقم 3). هذه النتائج المشجعة للتعقيم الشمسي لابادة هذين النوعين من البكتيريا الاكثر انتشارا في الارياف تساعد الجهات ذات العلاقة في وضع دراسة شاملة مدعمة ببرنامج ميداني متكامل جاد وفرق بحثية تعمل على تدقيق وربط تلك النتائج بخطط تنمية برنامج الصحة الريفية في الوزارات ذات العلاقة.

سابعا : تؤكد نتائج الدراسة انه لاتوجد اي امكانية لانبعاث أو نمو بكتيريا *Escherishia coli* أو بكتيريا *Staphylococcus aureus* ، المبادة مرة اخرى في الماء المعقم شمسيا والمحفوظ ولمدة خمس ايام بعد التعقيم في جو الغرفة العادي وهذا يعطي اهمية لامكانية حفظه لغرض الاستخدام عند الظروف المناخية او الطقسية الطبيعية وغير الطبيعية (امطار غيوم وغيرها) ودون أي خوف من نمو البكتيريا الممرضة مرة اخرى (نتائج ذلك تنعكس في الشكلين رقم 3 ; 5) .

ثامنا : تم تعرّض مجموعة من القناني المتجانسة وذات اللون الازرق ولكنها ذات اسماك مختلفة mm 2;5;10. وكذا تم تعكير متعمد وبدرجات مختلفة لقناني ذات سمك ثابت ولون ازرق ولوحظ ان : مردودية عملية التعقيم الشمسي فوق البنفسجي لابادة البكتيريا تتناسب عكسيا وتعكّر الماء الملوث وعمقه وعكسيا مع سمك الوعاء . كما يلاحظ بان المردودية التعقيمية ترتفع عندما يكون لون الوعاء الحامل للماء المراد تعقيمه شمسيا ازرق فاتح وشكله كرويا او اسطوانيا .

تاسعا : التعقيم الشمسي بالاشعة فوق البنفسجية أ . يمتلك البساطة في التكنولوجيا و السهولة في الاستخدام ومواد التصنيع يمكن ان تكون محلية (اوعية زجاجية) كما يساهم في المشاركة المتواضعة لحماية البيئة الطبيعية والبشرية وخفض معدل انتشار الامراض المعوية في الريف اليمني و يقلل من عملية التصحر ويرشّد في استخدام الوقود الاحفوري للمخزون القومي المستخدم لاغراض تعقيم المياه وخصوصا الملوثة ببكتيريا المصادر البرازية .

شكر وتقدير

يتقدم الباحث بالشكر والعرفان بالجميل الى كل من ساهم في تقديم النصح وجمع و تحليل العينات والمعطيات الهامة في البحث و نخص بالذكر المرحوم د. حاج احمد باحميش د.بابكر عثمان هارون د. سالم ربيع بازار والمهندسين على حمود الفلاحي وعمّار محمد العماري و زكي عمر بامعبد و العاملين في مختبر الصحة المركزي بمستشفى ابن سيناء التعليمي .

الخلاصة :

تشير الدراسة الاولية والممتدة لعام كامل في قياس الاشعاع الشمسي فوق البنفسجي (أ) بامكانية اليمن في استثمار هذه كوسيلة لتعقيم مياه الشرب الملوثة ببكتيريا *Escherishia coli* أو بكتيريا *Staphylococcus aureus* وابادتها في فترة لاتتعدى الساعتين بين العاشرة والثانية عشر ظهرا . وبتكنولوجيا بسيطة التركيب والاستخدام وذات منشأ محلي ولاتترك أي ضررعلى البيئة الطبيعية اوالبشرية عند الاستثمار ، كما ان البكتيريا المبادة لايمكنها ان تنمو او تعيد نشاطها مجددا حتى بعد خمسة ايام من حفظ الماء المعقم شمسيا في الغرفة او أي مكان مظلم ، مع ملاحظة ان التعقيم بهذه الاشعة لايؤدي الى أي ارتفاع يذكر لدرجة حرارة الماء بعد التعقيم مقارنة بدرجة حرارة الوسط المحيط او الاوعية الشفافة الاخرى . يعتبر هذا البحث الاول من نوعه في اليمن يعالج عمليات تعقيم مياه الشرب الملوثة بتلك الانواع من البكتيريا بواسطة الاشعة الشمسية فوق البنفسجية (أ) وخلال أي يوم من ايام العام .

التوصيات :

١. نوصي بدعم وتشجيع مثل هذه الدراسات المستقبلية بمعدات واجهزة حديثة ترتقي وحجم المسئولية التي تعكسها نتائج هذه البحوث على الانسان اليمني في الريف .
٢. نوصي بضرورة وضع خارطة شمسية للاشعاع الشمسي فوق البنفسجي (أ) في مجال الطول الموجي 370nm (المجال القاتل لاغلب البكتيريا الممرضة المنتشرة في الارياف اليمنية) الساقط على اليمن لغرض تعقيم المياة الملوثة (تعطى الاولية للمناطق الريفية) وكذا الاستفادة من الخارطة وتطويع نتائجها لدراسات صحية اخرى .
٣. ضرورة الاستمرار في تطوير آلية البحث والتنسيق مع مكاتب وزارة الصحة بالمحافظات في معرفة اثر هذا الاشعاع الشمسي على باقي انواع البكتيريا المسببة للامراض والمحتمل تواجدها في الارياف بما فيها الكوليرا (*Vibrio cholerae*) شرط ان تاخذ كافة الاحتياطات الضرورية لذلك . كما يجب ان تولى اهمية بالغة ودراسات مستفيضة لمعرفة ردود فعل الفيروسات المعوية والملوثات الميكروبية الاخرى لمثل هذا النوع من التعقيم .

٤. على الجهات المعنية بمكافحة هذه الامراض تشجيع مردودية البحث و العمل على تكوين مجموعات عمل بحثية ودعمها ماديا و معنويا لتنمية وتحسين آلية هذه الدراسة وتعميمها على اغلب ارياف الجمهورية في اسرع وقت ممكن .
٥. وضع مشروع لتكنولوجيا محلية المنشأ للتعقيم الشمسي متعددة الانتاج لتوفر متطلبات القطاعات الحكومية و الخاصة والافراد في المدن او الارياف على وجة الخصوص من ماء الشرب الصحي .

المراجع المستخدمة :

١. افنيج عكرة ، زينة رفول، بستركرها غوبينا (1984) " التعقيم الشمسي لمياه واشربة الجفاف " دار الصحة البيئيه كلية العلوم ، الجامعة الامريكية اصدار اليونسيف بيروت لبنان .
٢. فيربرذر ر. و (1983) علم الجراثيم (مترجم) وزارة التعليم العالي و البحث العلمي . جامعة الموصل . العراق
٣. مغاوري م . ر (1989) " مستقبل المياه في العالم العربي " الطبعة الاولى الدار العربية للنشر و التوزيع ، القاهرة .
٤. رمضان ، محمد رافت . الشكيل ، علي جمعان (١٩٨٦) "الطاقة المتجددة " دار الشروق ، القاهرة ، الطبعة الاولى .

6- Amaoot,M,A., (1993): Man and Pollution of Environment, Al-Dar Almasiriah Al-lubnan Publ , Cairo , 141 pp . (In Arbic)

7 -.Khogoli, A, Ramadan, M.R.I,.Ali, Z.E.H and.Fattah, Y.A, ., (1983): Global and Diffuss Solar Irradiance in Yemen (Y.A.R.) Solar Energy. Vol.31,No.1,p:55-62.

The Utilising of solar ultra violet rays for sterilising polluted drinking water by stool bacteria in Hadhramout Governorate.

A.A.Ba-Raadi
Faculty of Ingineering & Petroleum (Hadh.U.S.T.)

Abstract :

It was observed from the results obtained from this research that Staphylococci bacteria were totally destroyed using solar ultra-violet rays sterilization and that the bacteria could not retain their potency or ability to grow for a week of preservation in sterilized water under normal climatic conditions in the area . These rays have the ability to destroy bacteria abundantly found in drinking water specially at rural areas . This might also indicates the utilization of this technique of sterilization in common life without any risk or environment pollution. It was also found that both Gram positive and negative bacteria are affected when deliberate contamination of the water was performed as it was noticed that the amount of ultra-violet rays(20.7 W/m^2) falling upon Fowa area , north of Mukalla (14^o 32 ' N) was quite sufficient to destroy pathogenic bacteria within 90 minutes .It was also deduced that this method of sterilization does not increase water temperature under test . Bacteria *Escherishia coli* subjected to the ultraviolet solar radiation for not more than 2 hours were unable to grow or retain activity even for 5 day after sterilization .

Sterilization by solar radiation did not raise water temperature of the media . This is the first report in Yemen to measure and study ultra-violet rays during one whole year which makes the investment of such results for natural sterilization of polluted water or for health purposes possible .