

## Studying the Reducing of the Evaporation in the Dam of 16 Tishreen by Water Bubbles

Dr. Izzeddin Hassan\*  
Diana Yosuf\*\*

(Received 22 / 11 / 2018. Accepted 23 / 9 / 2019)

### □ ABSTRACT □

It is known that water covers more than three-quarters of the globe, but nevertheless, the good for use is few with increasing need for water.

Most Arab states will suffer - in the future - from a severe water crisis, and evaporation is one of the real problems that drain water in hot areas, especially in Arab countries located in the arid and semi-arid regions.

Direct and indirect methods have been used to try to estimate the amount of water lost in this activity. Evaporation is known as the maximum amount of vapor that can be released from a certain area of the earth to the atmosphere under the influence of the specific weather factors of that region. Evaporation in natural conditions takes place from the water, Soil, and vegetation. Each evaporation surface has several characteristics that affect the evaporation process. For example, "evaporation from the surface of water is related to the prevailing weather conditions in the region such as air humidity, temperature, solar brightness, wind speed, surface area and water depth. Research has been done about different methods have been explored to reduce this type of evaporation from water surfaces to conserve water that is stored in open reservoirs to alleviate the water crisis.

Therefore, the objective of our study was to address the problem of evaporation in the dam lakes and to study the methods used to reduce water losses and compare them, and then choose the optimal method in the general conditions in general and in the conditions of Lattakia area, especially in 16 Tishreen dam.

After the study of this research shows that among the methods that can be applied to reduce evaporation as a new water source, the most environmentally friendly because it does not affect the composition of water and suitability for different uses is the method of air bubbles or water bubbles. Experimented from the previous reference studies described later, "this method will be a very effective technique in reducing evaporation from deep water reservoirs (especially large dam lakes). This method is based on the thermal mixing of water by compressed air.

After the experiments, the results were excellent, reducing the evaporation and thus the annual water loss by 7.6%.

**Keywords:** Water, Water crisis, Evaporation, Water loss, Air bubbles or Water bubbles, Evaporation reduction.

---

\* Professor- Faculty of Civil Engineering- Tishreen University–Lattakia–Syria.

\*\* Postgraduate Student(Master) - Faculty of Civil Engineering-Tishreen University–Lattakia–Syria.

## دراسة التقليل من التبخر في سد 16 تشرين بطريقة الفقاعات المائية

د. عز الدين حسن\*

ديانا يوسف\*\*

(تاريخ الإيداع 22 / 11 / 2018. قُبِلَ للنشر في 23 / 9 / 2019)

### □ ملخص □

من المعروف أن المياه تغطي أكثر من ثلاثة أرباع الكرة الأرضية لكن بالرغم من كل ذلك فإن الصالح منها للاستخدام يبقى قليلاً مع تزايد الحاجة إلى الماء.

إن معظم الدول العربية ستعاني - مستقبلاً - من أزمة حادة في المياه، والتبخر هو أحد المشكلات الحقيقية التي تستنزف المياه في المناطق الحارة و خصوصاً في البلاد العربية الواقعة في المنطقة الجافة وشبه الجافة. استُخدمت طرائق مباشرة وغير مباشرة لمحاولة تقدير كميات المياه المفقودة بهذه الفعالية، إذ يُعرف التبخر بأنه أقصى كمية من البخار يمكن أن تنطلق من مساحة معينة من الأرض إلى الجو تحت تأثير العوامل الجوية الخاصة بتلك المنطقة تحديداً، ويحصل التبخر في الظروف الطبيعية من سطوح المياه، والتلج، والتربة، ومن النباتات ويتميز كل سطح تبخر بعدة خصائص تؤثر على عملية التبخر، فمثلاً "يتعلق التبخر من سطح المياه بظروف الطقس السائدة في المنطقة كنقص رطوبة الهواء، درجة الحرارة، السطوح الشمسي، سرعة الرياح، مساحة السطح وعمق المياه. وقد تم البحث عن طرائق مختلفة للتقليل من هذا النوع من التبخر من السطوح المائية للحفاظ على المياه التي يتم تخزينها في الخزانات المكشوفة للتخفيف من أزمة المياه.

لذلك كان الهدف من هذه الدراسة معالجة مشكلة التبخر في بحيرات السدود ودراسة الطرائق المتبعة للتقليل من الفاقد المائي والمقارنة بينها ثم اختيار الطريقة الأمثل في الظروف العامة بشكل عام وفي ظروف منطقة اللاذقية سد 16 تشرين بشكل خاص باعتباره السد الرئيسي بالمحافظة بأكبر حجم تخزين 210 مليون م<sup>3</sup>.

ويعد الدراسة التي تمت لهذا البحث تبين أنه من بين الطرائق التي يمكن تطبيقها لتقليل التبخر كمصدر مائي جديد فإن أكثرها صديقة للبيئة لعدم تأثيرها على تركيبة المياه وصلاحيتها من أجل استخدامات مختلفة هي طريقة الفقاعات الهوائية أو الفقاعات المائية. وبالتجربة ومن توصيف الدراسات المرجعية السابقة المذكورة لاحقاً لهذه الطريقة فإنها ستكون تقنية فعالة جداً في تقليل التبخر من خزانات المياه العميقة (خاصة بحيرات السدود الكبيرة) وتعتمد هذه الطريقة على الخلط الحراري للماء عن طريق الهواء المضغوط.

بعد القيام بالتجارب كانت النتائج ممتازة حيث قللت من التبخر وبالتالي من الفاقد المائي السنوي بنسبة %7.6.

**الكلمات المفتاحية:** المياه، أزمة المياه، التبخر، الفاقد المائي، التقليل من التبخر، الفقاعات الهوائية أو الفقاعات المائية.

\* أستاذ في قسم الهندسة المائية والري-كلية الهندسة المدنية-جامعة تشرين-اللاذقية - سورية.

\*\* طالبة ماجستير في قسم الهندسة المائية والري-كلية الهندسة المدنية-جامعة تشرين-اللاذقية - سورية.

**مقدمة:**

إن استمرار زيادة النمو السكاني في العالم يستدعي تحقيق استغلال أمثل للموارد المائية المتاحة لمواجهة المتطلبات المتزايدة على الغذاء، فضلاً عن التحديات التي تفرضها محدودية هذه الموارد، كما أن دراسة مصادر الثروة المائية في سورية وفي أي بلد آخر أحد العوامل الرئيسية المحددة لاتساع الرقعة الزراعية. وباعتبار أن المياه تغطي أكثر من ثلاثة أرباع الكرة الأرضية وقد قامت المدن والقرى تاريخياً على ضفاف الأنهار حيث تتوافر المياه، إلى أن أصبح من الممكن إيصال المياه إلى أماكن أخرى أو إقامة الخزانات والسدود والسدات المائية لتجميع المياه وتخزينها لاستخدامها عند الحاجة في أماكن مختلفة، لكن بالرغم من كل ذلك فإن الصالح منها للاستخدام يبقى قليلاً مع تزايد الحاجة إلى الماء، 97% من هذا الحجم موجود في البحار و2% مجمد في الطبقات الجليدية وبذلك فلم يبق غير 1% موزع على الأنهار والمسطحات المائية الداخلية غير المالحة والتي يحتاجها الإنسان في تلبية حاجاته إلى الشرب والري وغيرها...، كما أن معظم الدول العربية ستعاني - مستقبلاً - من أزمة حادة في المياه وهذه هي الصورة الحقيقية التي تستدعي دعم أكثر للموارد المائية في تلبية متطلبات الموازنة مع عدد السكان الآخذ بالازدياد [1].

خصوصاً وأن معظم الدول العربية تقع تحت خط الفقر المائي (ما عدا خمسة بلدان هي: العراق، سورية، لبنان، المغرب، وسلطنة عمان إلا أن هذه البلدان تعاني من نقص المياه)، مع العلم أن خط الفقر المائي هو 1000 متر مكعب في السنة للفرد الواحد، حيث تواجه جميع البلدان العربية وضعاً مائياً هشاً، ماعدا العراق الذي لديه حصة مائية تزيد على 2900 متر مكعب للفرد في السنة. ولبنان وسوريا يواجهان حالياً إجهاداً مائياً يقل عن 900 متر مكعب للفرد في السنة، فيما تواجه بقية البلدان العربية شحاً مائياً (أقل من 120 متر مكعب للفرد في السنة)، ورغم أن مجموع الموارد المائية الجوفية السنوية في المنطقة العربية يبلغ حوالي 35 بليون متر مكعب، فإن أكثر من 50 بالمئة من المياه في شبه الجزيرة العربية هي مياه جوفية، ونتيجة لعدم وجود أنهار في معظم الدول العربية وخاصة دول الخليج العربي فإن أحواض المياه تعتبر المصدر الرئيسي والوحيد للمياه العذبة والمتجددة، ونتيجة للضغط والسحب الزائد من الأحواض الجوفية فإن نسبة عالية جداً من مناطق تلك الأحواض قد وصلت إلى حالة من الاستنزاف والملوحة العالية والتلوث العضوي وغير العضوي، وبالتالي فإن حدوث دمار كامل للطبقات الصخرية الحاملة للمياه الجوفية لم يعد مستبعداً، وتعتبر حصة الفرد من المياه أقل المعدلات في العالم، ففي عام 1960 كانت حصة الفرد في المنطقة العربية من المياه العذبة المتجددة والمتاحة للاستخدامات المختلفة تزيد على 4 آلاف متر مكعب سنوياً، أما اليوم فحصة الفرد لا تتجاوز 350 متراً مكعباً في السنة، وهي أدنى كمية متوافرة للفرد عالمياً وهذا يعني أن هناك أزمة مياه عميقة وشديدة الخطورة ستواجه غالبية الدول العربية [2].

**أهمية البحث وأهدافه:**

تأتي أهمية هذا البحث من القيم الكبيرة لتبخر المياه من بحيرات السدود ومحاولة معالجة هذه الظاهرة في أماكن مختلفة حول العالم كمصدر مائي جديد، فالتبخر هو أحد المشكلات الحقيقية التي تعاني منها المياه في المناطق الحارة و خصوصاً في البلاد العربية الواقعة في المنطقة الجافة وشبه الجافة.

مثال: يقدر أن بحيرة السد العالي في مصر تفقد من المياه سنوياً قدر حصة العراق من نهر الفرات، أي ما يعادل 25% من جملة المخزون المائي بالبحيرة عند منسوب 180 متراً فوق مستوى سطح البحر [3].

استُخدمت طرائق مباشرة وغير مباشرة لمحاولة تقدير كميات المياه المفقودة بهذه الفعالية، إذ يُعرّف التبخر بأنه أقصى كمية من البخار يمكن أن تتطلق من مساحة معينة من الأرض إلى الجو تحت تأثير العوامل الجوية الخاصة بتلك المنطقة تحديداً [4]، وتم البحث عن طرائق مختلفة للتقليل من التبخر حول العالم ودراستها لإيجاد ما يتناسب مع منطقة البحث.

بالتالي يكون الهدف من هذا البحث: التقليل من التبخر للحفاظ على المخزون المائي باستخدام الطريقة الأنسب في ظروف محافظة اللاذقية - سد 16 تشرين منطقة البحث وذلك عن طريق دراسة كيفية تطبيقها ونتائجها وآثارها من خلال التجربة.

#### الدراسات المرجعية السابقة:

- في النمسا كتب كاميران وفورت عن الأغذية النباتية للتقليل من التبخر، وهي معتمدة هناك في بعض البحيرات، والأغذية النباتية عبارة عن نباتات مائية تنمو على سطح الماء وتشكل غطاءً بيولوجياً يقلل من السطح المعرض للهواء وبالتالي يقلل التبخر [5].
- في السعودية اقترح آل الشيخ، الرحيلي والحسون، 2009 استخدام سعف النخيل تحت عنوان (استخدام سعف النخيل للتقليل من التبخر) وقد تم استخدامها لوفرتها ووضعها كأغذية ظل فوق بعض المسطحات المائية للتقليل من التبخر، أيضاً هذه الطريقة قد تغير من تركيبة المياه لعدم وصول الضوء إليها [6].
- في أميركا الجنوبية كتب غريك وآخرين عن كرات سميت بكرات تمويه الطيور للتقليل من التبخر وهي كرات سوداء اللون مصنوعة من البروبيلين يتم تغطية سطح البحيرة بها للتقليل من التبخر، وقد طبقت هناك وهذه الكرات تسمح بحركة القوارب في البحيرات التي توضع بها [7].
- في مقاطعة ميلووكي في ولاية ويسكنسن كتب بيرجر وكريكولا بحثاً عن استخدام كرات سميت بكرات الأمنيات أو مجالات الأمنيات Wishes Spheres وقد طبقت هذه الطريقة بالولاية المذكورة، وتغطي سطح البحيرة للتقليل من التبخر [8].
- في أستراليا قام العلماء Lemckert & Zhang, Helfert عام 2009 بتصميم جهاز للفقاعات الهوائية للتقليل من التبخر في بحيرة إحدى السدود الحقلية عام 2011 م يقوم بتوليد فقاعات هوائية في الأعماق لتبريد الطبقة السطحية وبالتالي التقليل من التبخر [9].
- وقد كتب لابون بحث في جامعة شيرمان Sherman عام 2000 في الولايات المتحدة الأميركية حول تأثير الفقاعات الهوائية المتولدة في قاع المسطح المائي على قيمة التبخر ودورها الفعال في التقليل من التبخر، وهو سابق للبحث المذكور في أستراليا [10].

وبعد البحث في الدراسات المرجعية تبين أنه لم يتطرق أي بحث من قبل لمثل هذا الموضوع في بلد البحث عموماً وفي منطقة البحث خصوصاً، كما تبين بالبحث والدراسة للطرائق المختلفة المقترحة والمطبقة لهذا الموضوع أن التغطية بالنباتات لا ينصح اللجوء إليه من أجل مواصفات معينة للمياه، لأن النباتات تغير من خصائص المياه فتصبح غير صالحة لبعض الاستخدامات وبالنسبة لباقي الطرائق جميعها تعتمد على التغطية فتمنع بذلك التهوية والضوء عن سطح الماء، ما عدا طريقة الفقاعات المائية التي لا تعتمد في آليتها على التغطية، وبالتالي هي من أفضل الطرائق بشكل عام وفي ظروف محافظة اللاذقية بشكل خاص، وذلك من حيث التقنية كونها لا تتطلب تغطية سطح الماء، ومن حيث

وفرة الأدوات أو سهولة توفيرها مقارنة بباقي الطرائق كما أنها وأدواتها صديقة للبيئة لذلك تم إجراء تجارب للتأكد من مدى فعاليتها في منطقة البحث.

## طرائق البحث ومواده:

### 1. منهجية البحث:

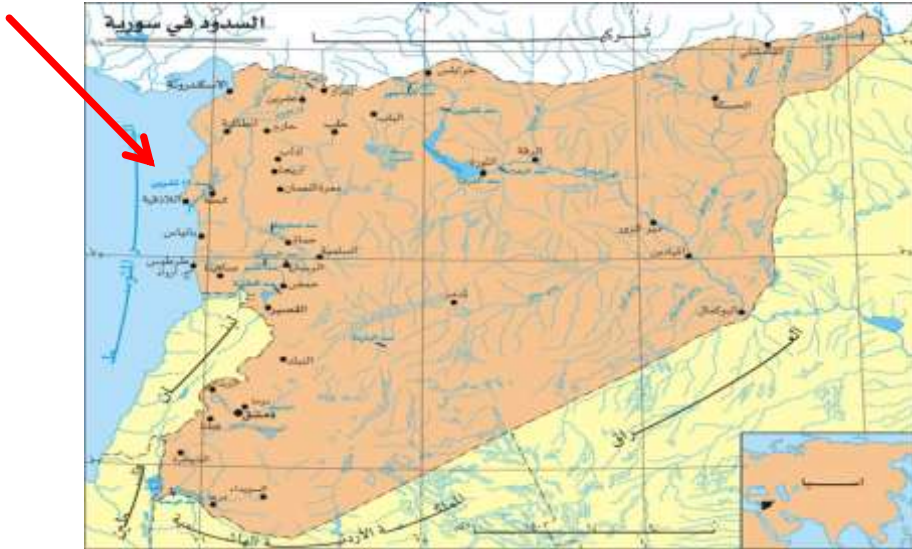
دراسة نظرية للطريقة ومواصفاتها وأدواتها، ثم تصميم نموذج فيزيائي للقيام بالتجربة في منطقة البحث سد 16 تشرين في محافظة اللاذقية يبين الشكل (1) موقع السد على خريطة سوريا، ثم إحضار البيانات الطبيعية للتبخر وهو الفاقد المائي عن المنسوب المقاس أولاً، وتسجيل النتائج بعد وضع النموذج الفيزيائي، ومقارنتها مع قيم التبخر في المنطقة المأخوذة من الأرصاد الجوية لتقييم الطريقة عملياً.

إضافة لتصميم نموذج فيزيائي آخر عبارة عن حوضين نموذجيين مملوءان بالماء، أحدهما توضع فيه أدوات الطريقة المختارة والآخر فقط الماء لتجري مقارنة قيم التبخر بين الحوضين لتقدير فعالية هذه الطريقة ونسبتها بشكل أكثر دقة.

### 2. منطقة البحث:

#### 1-2. مواصفات وموقع السد:

المساحة الصافية لبحيرة سد 16 تشرين 1120 هكتار أي 11.2 كم<sup>2</sup> وذلك عند منسوب التخزين الأعظمي للسد البالغ 75.95 م، يبين الشكل (2) صورة لبحيرة السد، أما أعماق البحيرة فتتراوح من 0.5 م إلى 50 م على امتداد البحيرة، ويقع السد في محافظة اللاذقية في سوريا على نهر الكبير الشمالي، يبعد عن مدينة اللاذقية 20 كم باتجاه الشرق، يحصر السد خلفه بحيرة تدعى بحيرة 16 تشرين تتألف من سبعة بحيرات مختلفة الحجم تغذي أراضي زراعية تقدر بحوالي نصف محافظة اللاذقية كما تغذي أكثر من 200 بلدة و قرية و ناحية بمياه الشرب [11].



الشكل (1) منطقة البحث على خريطة سوريا



الشكل (2) بحيرة السد

## 2-2. الغاية من بناء السد:

تم إنشاء سد 16 تشرين للغايات التالية: تخزين مياه النهر والأمطار، وتشكيل بحيرة يتم استزراعها بالأسماك والهدف الأهم استخدام مياهه في الري، و تحتوي البحيرة على مفيض أو ما يسمى (قمع التصريف) والذي يقوم بتصريف المياه الزائدة من مياه السد، وهو بعمق 40 م، وبلغ تخزين السد 210 مليون م<sup>3</sup> حسب المخططات التصميمية، وقدر الحجم الميت بـ 80 مليون م<sup>3</sup> والحي بـ 130 مليون م<sup>3</sup> لأسباب طبيعية من رسوبيات وغيرها، وقدرت كمية الرسوبيات بـ 9.1 مليون م<sup>3</sup> في العام 2018 أي ما يعادل 7.58% من الحجم الإجمالي المفيد للسد [12]، و 12,382,930 م<sup>3</sup> في العام 2019 أي ما يعادل 10% من الحجم الإجمالي المفيد للسد [13]، علماً أنه أكبر سد تخزيني في المحافظة والسد الرئيسي الذي يعتمد عليه بالري لمناطق كثيرة محيطة به وأخرى بعيدة عنه بوساطة الربط الهيدروليكي وغيره من أساليب الجر للمياه، إضافةً لتأمينه مياه الشرب للعديد من القرى المحيطة به كما تم ذكره سابقاً [11].

## 3. المقارنة بين الطرائق المختلفة حول العالم لاختيار الأفضل:

العناصر المناخية أو البارامترات المناخية تختلف بين الليل والنهار فمثلاً "تختلف الرطوبة النسبية لمنطقة ما اختلافاً شديداً" خلال النهار، وتتغير عندما ترتفع أو تنخفض درجات الحرارة، فقد تكون الرطوبة النسبية أعلى في الصباح، عندما تكون درجة الحرارة منخفضة ويكون الهواء غير قادر على حمل كمية من بخار الماء أكبر من الكمية التي حملها في ذلك الوقت، ولكن عندما ترتفع درجة الحرارة أثناء النهار، يصبح الهواء قادراً على حمل كمية من بخار الماء أكبر، وبالتالي تقل كمية الرطوبة النسبية، وعندما يبرد الهواء تحت درجة ضغط محددة وكمية بخار ماء دائمة، فإنه يصل إلى درجة حرارة يصبح معها مشبعاً. ودرجة الحرارة هذه تسمى درجة أو نقطة الندى. أما إذا قلت درجة الحرارة عن ذلك، فإن بخار الماء يبدأ في التكثف وتتكون السحب أو الضباب أو الندى، وكلما انخفضت درجة حرارة الهواء بالنسبة لكمية الندى الموجودة فيه، زادت الرطوبة النسبية وباعتبار درجة الحرارة والسطوع الشمسي أعلى في النهار منه في الليل بالتالي التبخر أكثر في النهار منه في الليل [14] بالتالي عند الضرورة ولتقليل التكلفة يمكن استخدام الطريقة المختارة في النهار فقط في حال إمكانية ذلك.

ومن خلال البحث في طرائق التقليل من التبخر حول العالم تبين أن الطريقة الأفضل بالنسبة لبحيرات ذات سطوح كبيرة تقنياً وصحياً ومن أجل المحافظة على استخدامات مختلفة للمياه هي الطريقة التي لا حاجة فيها لتغطية سطح الماء، كما أن لوفرة أدوات الطريقة في المنطقة أو إمكانية تأمينها أهمية أيضاً، الجدول (1) يستعرض المقارنات بين الطرائق من هذه النواحي:

الجدول (1) مقارنة تقنية وصحية بين الطرائق المختلفة للتقليل من التبخر

اسم الطريقة	مبدأ عملها	أدوات الطريقة	تأثيرها على مواصفات وصلاحيات المياه	توفرها في منطقة هذا البحث أو بلد البحث أو إمكانية تأمينها
الغطاء النباتي	نباتات تنمو على سطح الماء فتشكل طبقة تمنع التبخر	نباتات تنمو على سطح الماء	تمنع الضوء والتهوية فتؤثر على تركيبة المياه	غير متوفرة في منطقة البحث لكن يمكن استيرادها
سعف النخيل	يغطي سطح البحيرة بأوراق النخيل فتتمنع التبخر	الأوراق المتساقطة من أشجار النخيل	تمنع الضوء والتهوية فتؤثر على تركيبة المياه	غير متوفرة في منطقة البحث لكن متوفرة بالبلد ويمكن إحضارها
كرات تمويه الطيور	توضع الكرات على سطح البحيرة بحيث تغطيها فتتمنع التبخر	كرات جوفاء سوداء اللون بلاستيكية مصنوعة من البولي إيثيلين عالي الكثافة	تمنع الضوء والتهوية فتؤثر على تركيبة المياه	غير متوفرة لكن يمكن صنعها أو استيرادها
كرات الأمنيات	توضع الكرات على سطح البحيرة بحيث تغطيها فتتمنع التبخر	كرات جوفاء بيضاء اللون بلاستيكية مصنوعة من البولي بروبيلين	تمنع الضوء والتهوية فتؤثر على تركيبة المياه	غير متوفرة لكن يمكن صنعها أو استيرادها
توليد الفقاعات الهوائية	توليد فقاعات هوائية على أعماق مختارة في البحيرة تحمل المياه الباردة للسطح فتتمنع تسخين الطبقة السطحية وبذلك تمنع التبخر	محرك هواء متصل به أنابيب تصل الهواء لأنابيب مثقبة توضع بالأعماق تخرج منها فقاعات الهواء	ليس لها أي تأثير على مواصفات وصلاحيات المياه	أدواتها متوفرة لكن يجب صنعها بما يناسب أبعاد منطقة البحث وذلك ممكن في الصناعات المحلية

الفرق الأهم لطريقة الفقاعات الهوائية عن باقي الطرائق هي عدم تغطيتها لسطح الماء، بالتالي لا تؤثر على تركيبة المياه وصلاحياتها لأغراض مختلفة، وبالنسبة لوفرة أدواتها أيضاً هي الأفضل من حيث الوفرة وإمكانية التأمين، وما عدى هذه الطرائق المذكورة من الطرائق الموجودة حول عالم يشبهها من حيث التكلفة والتقنية، و تكلفة الكهرباء اللازمة لطريقة الفقاعات الهوائية غير كبيرة كون محرك الهواء المستخدم لا يستهلك الكثير من الكهرباء كما سيجري شرحه في تفصيل الطريقة لاحقاً.

بالتالي وحسب الجدول (1) فإن طريقة الفقاعات الهوائية أو الفقاعات المائية وسعف النخيل هي الأنسب من حيث التوفر، لكن طريقة الفقاعات الهوائية أفضل تقنياً وصحياً بسبب ما ستخلفه سعف النخيل من أوساخ على البحيرة إضافة لمنعها للهواء والضوء كغيرها من طرق التغطية الأخرى، بالتالي ستؤثر على تركيبة المياه وصلاحياتها على عكس طريقة الفقاعات الهوائية، إضافةً لكون طريقة الفقاعات الهوائية الطريقة الوحيدة التي يمكن تجزئة تكلفتها إلى

تكلفة المعدات والتركيب إضافةً لتكلفة الكهرباء وكما ذكر سابقاً بأن التبخر في النهار أعلى بمقدار واضح منه بالليل بالتالي يمكن إطفاء هذه الأجهزة بالليل لتقليل التكلفة عند الضرورة. وتعتمد طريقة الفقاعات الهوائية على مبدأ التطبيق الحراري فيبقى السطح بارد مما يقلل التبخر بنسب كبيرة كون الحرارة من أكثر العوامل تأثيراً على التبخر في أشهر الجفاف (الصيف) إضافةً لكون هذه الطريقة حسب التوصيف والآلية المذكورة ومعداتنا ليس لها أي تأثير سلبي على البيئة (طريقة صديقة للبيئة).

#### 4. مبدأ عمل الطريقة:

تعتمد هذه الطريقة على الخلط الحراري للماء عن طريق الهواء المضغوط، حيث أنه خلال فصل الصيف ترتفع درجة حرارة المياه السطحية وبالتالي تصبح أقل كثافة، بينما تحت هذه الطبقة المياه أبرد وأكثر كثافة وكلما زادت الأعماق كلما كان هذا الفرق الحراري أكبر، فعلى عمق (3-4) متر - عادة - عن السطح تبقى فيها المياه باردة وأكثر كثافة. والطبقات المختلفة بالحرارة تفصل عن بعضها بواسطة حاجز حراري Thermocline يمنع المياه العميقة الباردة من الاختلاط بالمياه السطحية الساخنة، وتسمى هذه الظاهرة بالتطبيق الحراري، لذلك يتم حقن فقاعات هواء في المياه العميقة الباردة (عبر أجهزة خاصة مبينة جانبياً) كما في الشكل (3) فتجبر جزيئات المياه هذه بالصعود نحو الأعلى (حسب مبدأ الانتشار: الانتقال من الضغط الأعلى إلى الضغط الأدنى) حيث تمتزج المياه الباردة مع الساخنة أول الأمر ثم تحل محلها، أي تحل المياه الباردة تدريجياً محل المياه السطحية الأكثر سخونة التي تتخفص بدورها نحو الأسفل و بالتالي تقل درجة حرارتها... وهكذا، في الشكل (4) صورة توضح وصول الفقاعات إلى السطح، لتكون النتيجة: منع تسخين الطبقة السطحية للبحيرة وبالتالي منع تقليل نسبة حدوث التبخر من سطح الماء بشكل كبير، أي أن هذه الطريقة تعمل على تنظيم تدرج درجات الحرارة على امتداد عمق البحيرة [9].



الشكل (3) بعض أدوات الطريقة





الشكل (4) وصول غمامة الفقاعات الهوائية إلى سطح الماء وانتشارها نحو الخارج

### 5. أدوات التجربة:

- 1- جهاز توليد الفقاعات الهوائية وهناك خياران يمكن استخدامهما لتوليد الفقاعات الهوائية:  
 جهاز الهواء يحوي محرك هواء - وهو القسم الرئيسي في الجهاز - كالمستخدم في التجارب في هذا البحث ومعرض في إحدى الصور بالفقرة التالية الشكل (5)، المحرك المذكور عبارة عن محرك مغناطيسي بسيط جداً يكون بداخل جهاز توليد الفقاعات ولا يوضع هذا الجهاز في الماء، ويسحب الهواء من الجو ثم يضخه من فتحة أو أكثر بمقدمة الجهاز حسب شكله.  
 بالنسبة للمواصفات الفنية للجهاز تم اختيار الجهاز الأقل استطاعة حسب المتوفر ثم من خلال نتائجه قدرت الاستطاعة اللازمة للبحيرة، ولمعرفة مقدار ما تصرفه هذه الأجهزة من الكهرباء تقسم استطاعتها على استطاعة الطاقة في منطقة البحث فينتج مقدار الصرف ثم تقارن بثمن الطاقة في منطقة البحث فنتج التكلفة، مثلاً الجهاز ذو الاستطاعة 5 (واط / ساعة) المستخدم في تجارب البحث:  
 $5 \text{ (واط/ساعة) } / 220 \text{ (واط / ساعة)}$  وهي استطاعة كهرباء المدينة = 0.023 أمبير، أي يصرف هذا الجهاز أو المحرك أجزاء من الأمبير في الساعة، وهو يكفي لمساحة 4 م<sup>2</sup> ولعمق 1 م بعد تجربته على أحجام مختلفة من الأحواض عند البائع.
- 2- أنابيب من السيليكون كما في الشكل (5) بقطر 0.5 سم يصل جهاز الفقاعات بأنبوب مثقب من نوعه أو من أنواع أخرى.
- 3- أنبوب مطاطي مثقب كما في الشكل (6) الذي يوضح شكل الأنبوب وكيفية خروج الفقاعات منه في أحد أحواض سمك الزينة (تم استبداله بتجارب البحث بأنابيب من السيليكون تم تثقيبها لعدم توفره بسهولة بالأطوال المطلوبة إضافةً لكلفته).



الشكل (5) جهاز توليد الفقاعات الهوائية وأنايبب من السيليكون



الشكل (6) أنبوب مطاطي

علماً أن الجهاز يتم صنعه لمرة واحدة وقد يحتاج للصيانة خلال سنوات الاستخدام، كذلك الحال بالنسبة لباقي التجهيزات، أما عن حاجة البحيرة منطقة البحث ذات المساحة 11.2 كم<sup>2</sup> والعمق الذي يتراوح بين 0.5 م و 50 م، فإنها تحتاج لعدة محركات متوزعة على امتداد البحيرة حسب استطاعة الواحد منها المختارة، ولأننايبب بنوعية وأطوال تناسب أبعاد البحيرة يتم اختيارها بعد القيام بالتجربة لاستنتاج حاجة البحيرة بالمحاكاة بين النموذج المستخدم في التجربة وبين البحيرة.

## النتائج والمناقشة:

### 1. التطبيق العملي للبحث وسير التجارب:

تم الحصول على البيانات اللازمة للتبخر من مديرية الأرصاد الجوية ومديرية الموارد المائية بالاعتماد على المحطات المناخية التابعة لها بالقرب من سد 16 تشرين وتم حساب الفاقد المائي خلال عام سير التجربة لاستخدامها في المقارنة بينها وبين النتائج بعد استخدام النموذج الفيزيائي أنف الذكر وفق ما يلي:

صمم نموذج فيزيائي يحاكي البحيرة بالاستعانة بحوض تبخر أسطواني الشكل مصمم وفق النموذج الأميركي، وقطر السطح 120.4 سم (تضرب النتائج فيه بعامل تعادل 0.8 لتحاكي بحيرة السد مأخوذ من كودات تعتمد على طبيعة الظروف المناخية للبحيرة ونوع حوض التبخر فيها) تؤخذ منه قياسات يومية تقريباً في سد 16 تشرين موضح بالشكل (7) صورة للحوض المذكور منذ العام 2009 وقد تم طلب استخدامه بما يخدم البحث.

بالنسبة للحوض المذكور وأبعاده هو من النوع (أ) الذي تعتبره الهيئة الوطنية للرصد الجوي في الولايات المتحدة الأمريكية والموضح صورة نموذجية له بالشكل (8) وسيلة القياس المعيارية لأحواض التبخر، وهذا الحوض المعياري عبارة عن أسطوانة بقطر 47.5 إنش (120.4 سم) بعمق 10 إنش (25 سم)، ويرتكز على قاعدة خشبية، كما يحاط بسور من السلاسل لمنع الحيوانات من الشرب منه. وتقاس نسبة التبخر فيه بشكل يومي بمعرفة كمية المياه المتبخرة في ارتفاع واحد بوصة، حيث يبدأ القياس اليومي بملأ إنشين من أعلى الحوض، وفي نهاية اليوم بعد مضي 24 ساعة تحسب كمية المياه اللازمة للمحافظة على مستوي الإنشين، وفي حالة هطول الأمطار خلال فترة ال 24 ساعة تؤخذ بعين الاعتبار كميات الأمطار في حساب التبخر، أما إذا كانت كميات هطول الأمطار أكبر من معدل التبخر فيجب إخراج الزيادة في كمية الأمطار من خلال منحدر مثبت في الحوض. أما عن عيوب هذا النوع من أحواض التبخر فهي أنه لا يمكن قياس معدل التبخر في حالة تجمد مياه الحوض [15]، وهو الحوض الموجود في سد 16 تشرين والذي استخدم في هذا البحث والموضح في الشكل (7) وهو نفس النموذج المذكور بأبعاده ومعداته ما عدا السلاسل التي يحاط بها غير موجودة.

بجانب الحوض محطة مناخية متكاملة كما في الشكل (9) تعطي جميع البارامترات اللازمة وتعالج القيم إلكترونياً لتعطي قيم التبخر، إضافة لأجهزة قياس يدوية في حال الضرورة كما يمكن الاستعانة بمحطة الأرصاد الجوية القريبة عند الحاجة في حال تعطل في المحطة المناخية، أو حاجة أدوات القياس اليدوية للصيانة.



الشكل (7) حوض التبخر في سد 16 تشرين المستخدم في تجارب البحث



الشكل (8) حوض التبخر الأميركي النوع (أ)

المحطة المناخية



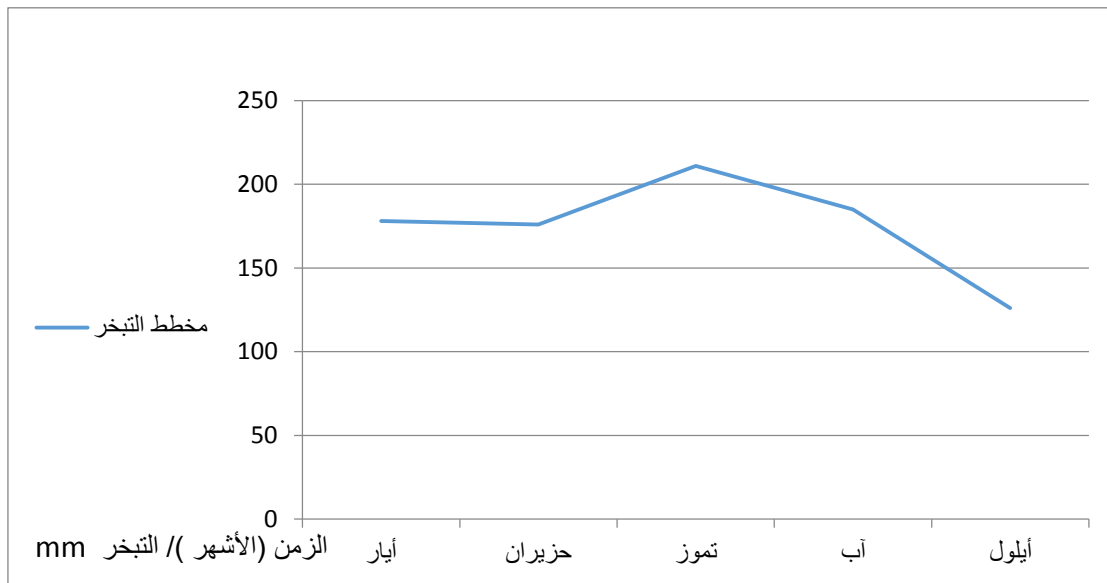
الشكل (9) حوض التبخر المستخدم في التجربة والمحطة المناخية المجاورة له في منطقة البحث

بعد القيام بمجموعة من الإحصاءات وفق البيانات التي تم الحصول عليها من مديرية الموارد المائية والأرصاد الجوية تبين أن متوسط التبخر السنوي من بحيرات السودان في الساحل بعد حذف القيم الشاذة 1300 ملم = 1.3م والفاقد المائي يعتمد على سطح كل بحيرة، وباعتبار الأمطار تعدل الفاقد بالتبخر في فصول الهطل المطري فإن هذا البحث يركز على أشهر الجفاف وعند الحساب كانت قيمة التبخر لعام 2017 عام هذه التجربة 876 ملم حسب بيانات الأرصاد الجوية في فصول الجفاف والتي اعتبرت من بداية شهر أيار إلى نهاية شهر أيلول وفق البيانات وبالتالي الفاقد في هذه الأشهر 9,811,200 م<sup>3</sup>.

أحضرت بيانات التبخر خلال أشهر التجربة وتمت معالجتها للحصول على التبخر الشهري (أي مجموع قيم التبخر في كل الأيام لكل شهر) وفق الجدول (2) ووضع مخطط بياني الشكل (10) يمثل ذلك:

الجدول (2) قيم التبخر خلال أشهر التجربة بالحالة الطبيعية

الأشهر	قيمة التبخر mm
أيار	178
حزيران	176
تموز	211
آب	185
أيلول	126
المجموع	876



الشكل (10) مخطط بياني يبين العلاقة بين الزمن والتبخر خلال أشهر التجربة بالحالة الطبيعية

وفي حوض التبخر الذي وضع فيه جهاز الفقاعات الهوائية ذو الاستطاعة 5 واط وهو أصغر جهاز متوفر بالسوق المحلية ويكفي ل 4 م<sup>2</sup> ولعمق 1 م حسب ما تم ذكره سابقاً، علماً أن حوض التبخر في هذه التجربة بمساحة 1.14 م<sup>2</sup> ويعمق 0.25 م منه أي يكفيه جهاز ربع استطاعة الجهاز المستخدم، إضافة ل 4 أنابيب من السيليكون بقطر 0.5 سم وبطول 1 م متقبة 8 ثقوب في كل أنبوب بتباعد 12.5 بين كل ثقبين، وتم وصل الجهاز بالتيار الكهربائي من جهة وبأنابيب السيليكون من الجهة الأخرى، حيث تم وضعها في قعر الحوض بشكل أفقي وبتباعد 25 سم بين كل منها بنتقيلها بحلقات معدنية لتستقر على قعر الحوض الصور في الشكل (11)، وتم ملئ الحوض بارتفاع 0.24 م ثم تشغيل الجهاز لتتشكل الفقاعات وبعدها تم البدء بأخذ القياسات اليومية لمنسوب المياه الجديد في كل يوم لمعرفة الفاقد المائي بالتبخر، بالتالي كمية المياه المتبخرة، وتسجيلها بشكل يومي والصور في الشكل (12) تبين كيفية تشكل الفقاعات وصعودها للسطح وكيفية أخذ القياسات، وبالمراقبة الأسبوعية للتأكد من سير التجربة، كما كان يعاد ملئ الحوض في كل أسبوع لكي لا يقل ارتفاع الماء عن الحد المذكور بشكل واضح، لأن أعمدة الفقاعات لا تتشكل بشكل



منتظم في هكذا أعماق والطبقات المختلفة الحرارة سرعان ما تصبح بنفس الحرارة وبالتالي نقل فعالية الطريقة عن فعاليتها الحقيقية المتوقعة.



الشكل (11) تجهيز الحوض للتجربة ووضع الأدوات اللازمة



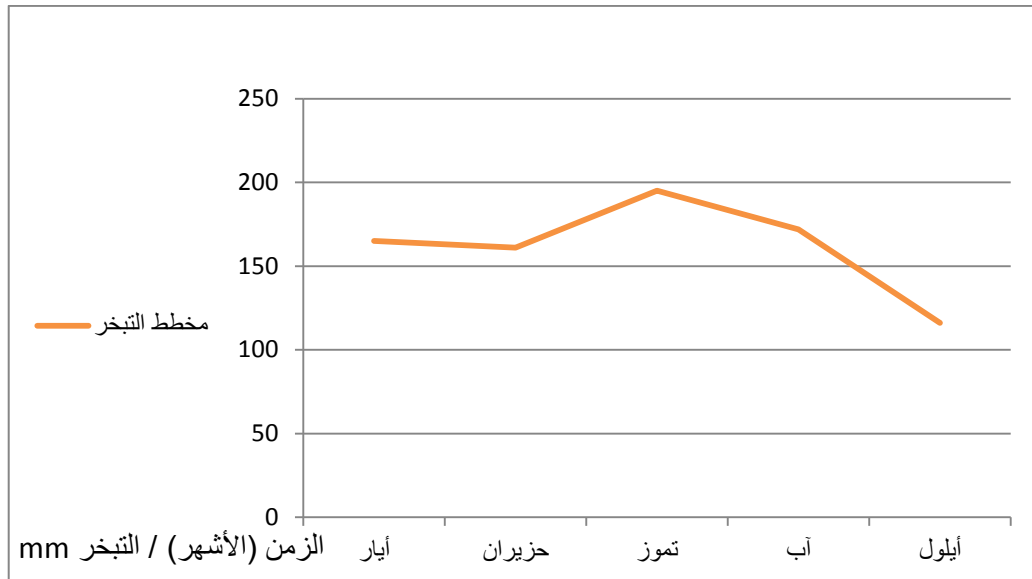


الشكل (12) تشكل الفقاعات وصعودها للسطح وكيفية أخذ القياسات

ثم عولجت القياسات اليومية للحصول على قياسات شهرية (أي مجموع قيم التبخر في كل الأيام لكل شهر) وضربت القيم بمعامل الحوض 0.8 لتحاكي البحيرة من أجل مقارنتها مع القيم في الجدول (2)، ووضعت البيانات المذكورة في الجدول (3) إضافةً لمخطط بياني الشكل (13) يمثل ذلك:

الجدول (3) قيم التبخر خلال أشهر التجربة باستخدام جهاز الفقاعات الهوائية

الأشهر	قيمة التبخر mm
أيار	165
حزيران	161
تموز	195
آب	172
أيلول	116
المجموع	809



الشكل (13) مخطط بياني يبين العلاقة بين الزمن والتبخر خلال أشهر التجربة باستخدام طريقة الفقاعات الهوائية

من الجدولين (2) و(3) والمخططات البيانية (10) و(13) هناك تشابه بالشكل بين الخطين وبالتالي تشابه نسب التبخر الشهرية مع اختلاف القيم بشكل واضح وهذا يدل على صحة القياسات وأنه حصل تقليل من التبخر بنسبة واحدة لتكون النتائج كما يلي:

بالحساب تبين أن قيم التبخر باستخدام جهاز توليد الفقاعات الهوائية أقل بفارق % 7.6 عن القيمة الطبيعية، وذلك بعد أخذ قيمة التبخر الكلية النهائية خلال أشهر التجربة كما في الجدول (4) النهائي التالي:

الجدول (4) جدول النتائج الكلية النهائية

التبخر المقيس في عام 2017 خلال أشهر التجربة من أيار إلى أيلول حسب بيانات محطة الأرصاد الجوية	التبخر في عام 2017 خلال أشهر التجربة بعد استخدام جهاز الفقاعات الهوائية من أيار إلى أيلول	الفاقد المائي المقيس في عام 2017 خلال أشهر التجربة حسب بيانات محطة الأرصاد الجوية	الفاقد المائي في عام 2017 خلال أشهر التجربة باستخدام جهاز الفقاعات الهوائية	تركيب المياه ومدى صلاحيتها بعد وضع جهاز الفقاعات الهوائية	الفارق بين النتائج
876 ملم	809 ملم	9.811 مليون م <sup>3</sup>	9.066 مليون م <sup>3</sup>	لم يتغير تركيب المياه وبالتالي لم تختلف صلاحياتها	% 7.6 وفرة مياه بعد وضع جهاز الفقاعات الهوائية



للتأكد من دقة النسب أجريت تجربة أخرى على حوضين نموذجيين يملكان نفس الأبعاد وضعا بنفس المكان أي معرضان لنفس الظروف الجوية، وضع في إحداهما ماء فقط وفي الآخر ماء وأدوات الطريقة بنفس الأبعاد التي وضعت في التجربة الأولى مضاف إليها جهاز آخر لتوليد الفقاعات، أي ضعف كمية الهواء عن التجربة الأولى الشكل (14).



الشكل (14) تجهيز الحوضين للتجربة ووضع الأدوات اللازمة والتأكد من الأبعاد والأعماق

ثم تركت التجربة لمدة ثلاثة أيام وسجلت قراءات كل يوم، فكانت النتائج كالتالي في الجدول (5) والشكل (15) يبين كيفية أخذ القراءات:

الجدول (5) جدول النتائج الكلية النهائية

الأيام	مقدار انخفاض منسوب المياه في الحوض الأول بال سم	مقدار انخفاض منسوب المياه في الحوض الثاني بال سم
الأول	0.6	0.4
الثاني	1.3	0.9
الثالث	1.9	1.67



الشكل (15) صور لبعض القراءات الدورية

بالتالي من الجدول أعلاه فإن نسبة تقليل التبخر % 12 أقل بقليل من ضعف القيمة الناتجة في التجربة السابقة، مع أن كمية الهواء التي ضخنت فيها هي تماما" ضعف كمية الهواء في التجربة السابقة بالتالي ضعف عدد فقاعات الماء المتشكلة. والطريقة أثبتت فعاليتها بالتقليل من التبخر بين الحوضين الموضوعين بنفس المكان. يمكن أن نعزو السبب في ضعف نسبة التقليل من التبخر إلى أن الأعماق قليلة وغير كافية لتبادل حراري فعال بين الطبقات كون اختلاف الحرارة بين هذه الطبقات سيكون قليل وسرعان ما تسخن لصغر السطح المعرض للسطوع وقلّة العمق الذي يجعل أشعة الشمس تصل للأعماق ولو بنسب أقل عن تأثيرها على السطح، الأمر الذي لا يكون في البحيرات كبيرة العمق بالتالي يتوقع أن تكون الفعالية أفضل، كما يلاحظ من الجدول نفسه انخفاض قيمة التقليل من التبخر كل يوم عن اليوم الذي يسبقه لنفس السبب وهو أن فعالية الطريقة التي تعتمد على الخط الحراري لإيصال الطبقة الباردة إلى السطح تصبح أقل بسبب وصول الحرارة للأعماق مع الوقت نظرا" لقلّة الارتفاع، لكن رغم ذلك فهناك فعالية من عملية الخلط وهي تغيير مكان جزيئات الماء باستمرار فلا تبقى نفس الجزيئات معرضة للسطوع الشمسي مدة طويلة، وهذا جيد بالنسبة للماء كون الماء يكتسب الحرارة ببطئ ويفقدتها ببطئ بسبب حرارته النوعية العالية التي تبلغ 4180 جول/كجم\*درجة مئوية فكلما زادت الحرارة النوعية للمادة كلما صعب رفع درجة حرارتها، والماء يغلي بالدرجة 100C ° بالضغط الجوي لكنه يتبخر عندما يكتسب درجة حرارة محيطه إذا كان أعلى من درجة حرارته [16]، بالتالي هذه الطريقة تمنع الماء من اكتساب درجة حرارة المحيط في بحيرات ذات سطوح وأعماق كبيرة بسبب الخلط المستمر للجزيئات، وتؤخر وتقلل من هذا الاكتساب في خزانات صغيرة قليلة الأعماق.

وكون الحوض النموذجي حوض معتمد لمعرفة القياسات مختلفة للبحيرة بالتالي يمكن اعتماد نتائج هذه التجربة لمعرفة القيم الناتجة في البحيرة بشكل تقريبي فيما لو طبقت الطريقة في البحيرة بما يناسب أبعادها. أما بالنسبة للأعماق الكبيرة بالبحيرة فحسب المرجع [9] تكون الفعالية أكبر في الأعماق التي تزيد عن (3-4) م بالتالي في البحيرة نختار عمق أكبر بعد دراسة ما يلزم من مواصفات لباقى الأجهزة تناسب هذا الارتفاع وتتناسب مع الأجهزة التي وضعت بالتجربة على الحوض النموذجي من أجل تقدير نسبة التقليل الناتجة من خلال نتائج تلك التجربة، أما تثبيت الأنابيب في العمق المختار فيتم بتقالات كالتالي استخدمت في التجربة تجبر الأنابيب على الطفو بالمقدار المطلوب وبشكل متساوي على طول الأنبوب، حيث تتصل تلك الأنابيب بأحد أطرافها بمضخة الهواء بأنابيب من نفس نوعها.

## الاستنتاجات والتوصيات:

### الاستنتاجات:

- 1- عند استخدام جهاز الفقاعات الهوائية تم التقليل من التبخر الحاصل بنسبة % 7.6 عند التجربة على حوض تبخر نموذجي في منطقة سد 16 تشرين.
- 2- سيتم عند التطبيق بالأبعاد والمواصفات التي تناسب البحيرة توفير 745000 م<sup>3</sup> من الماء وذلك كحد أدنى كون التجربة قامت على أقل قيم ممكنة.
- 3- تقليل التبخر الحاصل هو بسبب المحافظة على برودة سطح الماء وبالتالي التقليل من التأثير بالحرارة والسطوع الشمسي والتي هي من أهم البارامترات المؤثرة على التبخر في الأشهر المختارة.

- 4- زيادة كمية الهواء التي تضخ في الأنابيب يزيد عدد الفقاعات الهوائية وبالتالي تزيد الفعالية، ويحتاج لتجربة لمعرفة كمية الهواء (الفقاعات) اللازمة لتحقيق أفضل نسبة لتخفيف التبخر.
- 5- العمق في حوض التجربة الأولى والثانية صغير وسرعان ما اكتسبت جميع الطبقات نفس درجة الحرارة، لذلك كان لا بد من إعادة ملئ الحوض كل عدة أيام لتبقى هناك طبقة باردة في الأعماق، أما بالنسبة للبحيرة فلا حاجة لذلك وستكون الفعالية أفضل لأن الأعماق فيها كبيرة والطبقات العميقة تبقى باردة فأشعة الشمس تتبدد بأعماق قليلة فلا تصل لأعماق أكبر، وحسب المرجع [9] تكون الفعالية كبيرة على أعماق أكثر من (3-4) م بعد البحث والتجريب.
- 6- بسبب صغر عمق الحوض أيضا" عملية الخلط الحراري تكون قليلة أما في البحيرة فعملية الخلط الحراري ستكون أفضل بسبب الأعماق الكبيرة وبالتالي فعالية الطريقة أفضل، وفيما إذا تم تطبيق الطريقة في البحيرة بما يتناسب مع أبعادها ويتوافق مع الحوض النموذجي المختار فإن نسبة التقليل من التبخر الناتجة في الجدول (4) تعبر عن أقل ما يمكن أن ينتج في البحيرة.
- 7- بالمراقبة تبين أنه عند وصول الفقاعات لسطح الماء وتفجرها على السطح يحدث عن كل منها رياح بسيطة، بالبحث عنها في توصيف هذه الطريقة في المرجع [9] وجد أنها تدعى بالهواء الشعري وياجتماعها وعدد الفقاعات الكبير يكون لها تأثير على الماء مساعدة" على التبخر، حيث أن الرياح من أحد البارامترات المؤثرة على التبخر لكن كونها بسيطة القوة والقيمة فتأثيرها صغير، ولكنها ملحوظة بالمراقبة ولولا هذه الرياح لكانت نسبة تقليل التبخر بهذه الطريقة أكبر من النسبة بوجودها.
- 8- تشابه الخطين البيانيين بالشكل (10) والشكل (11) يدل على تشابه قيم التبخر بوجود الطريقة مع قيمه في الحالة الطبيعية كونها بالعام نفسه، وهذا دليل على صحة القيم المحسوبة، والاختلاف الحاصل هو بسبب تقليل التبخر باستخدام الجهاز الموضوع بالحوض.

#### التوصيات:

- ✓ عدم تغطية سطح المياه للتقليل من التبخر حرصاً على الحفاظ على تركيبة المياه وصلاحياتها كون مواد التغطية تمنع الهواء أو الضوء أو كليهما معا".
- ✓ إعادة التجارب في عمق أكبر من أعماق الأحواض المستخدمة في هذا البحث مع تغيير كميات الهواء التي تضخ عبر الأنابيب لمعرفة لأي حد يمكن أن تزيد نسبة التقليل من التبخر بزيادة كمية الهواء وبالتالي كثافة الفقاعات، وما إذا كانت ستخف هذه الفعالية بعد حد معين من الزيادة بسبب زيادة الهواء الشعري بتفجر الفقاعات على السطح، وبسبب تشتت سطوح الماء وصغرها عند تجزئتها بالفقاعات وهي عوامل تؤدي عادة" للتبخر.
- ✓ التقدير الأمثل لحاجة المساحة والعمق من الأدوات وأبعادها ومواصفاتها من أجل وضع أدوات بالمواصفات التي تعطي الكفاءة المطلوبة ومن أجل معرفة النسبة من الماء التي يتم توفيرها.
- ✓ دراسة وضع الرسوبيات في المسطح المائي المختار لضمان بقاء الأنابيب أعلى منها طيلة فترة وضعها.
- ✓ دراسة الإمكانيات المتاحة في المنطقة المراد التقليل التبخر فيها ومدى الحاجة لتقليل الفاقد المائي.
- ✓ إطفاء محركات الهواء في فصول الشتاء والربيع والخريف لعدم الحاجة لها في هذه الأشهر كون الأمطار تعوض الفاقد المائي بالتبخر، إضافة" إلى أن هذه التقنية ليست بما يتناسب مع مناخ هذه الفصول.
- ✓ في حال عدم توفر الكهرباء يكفي تشغيل هذه المحركات في النهار كون مقدار التبخر الأعلى يحصل في هذه الفترات وفق دراسات أشير لها في البحث.

## المراجع:

- 1- وهدان، أيمن. الأمن المائي، كتاب. 2015، 1 يناير، 95، عبدالله، محمد بن علي. الماء. وفيه تنطوي نعمة الحياة، كتاب. 2016، 1 يناير، 86.
- 2- كعوش، فضل. العرب وأزمة المياه... حلول عاجلة أم كارثة مدمرة؟، المؤتمر الدولي حول المناخ في العاصمة القطرية الدوحة. 2012، 27 تشرين الثاني.
- 3- خزام، بشرى. دراسة وتحليل ظاهرة الانفصاح التبخري الكموني في المنطقة الوسطى من سوريا، مجلة جامعة البعث سورية. 2003، 129.
- 4- DOORENBOS, J.; PRUITT, W.O. *Guide Lines for Predicting Crop Water Requirement*. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) Rome, N°. 24, 1977, 156.
- 5- CAMERAN, T. FORT B. *Evaporation reduction: How to reduce evaporation studies*. 3 Journal of Irrigation and Drainage Division ASCE, 205, 79-78, 1984.
- 6- آل الشيخ، عبد المحسن بن عبد الرحمن. الرحيلي، عبدالله. صالح، الحسون. استخدام سعف النخيل في تقليل التبخر السعودية، منشورات مجلة الرياض. السبت 5 ذي القعدة 1430هـ - 24 أكتوبر 2009 م، العدد 15097.
- 7- CRAIG, I., GREEN, A., SCOBIE, M. & SCHMIDT, E. *Controlling Evaporation Loss from Water Storages*. National Centre for Engineering in Agriculture, Publication 1000580/1, Toowoomba, 2005.
- 8- BERGER, M.; CRICKOLA, F. *Solve the evaporation*, Bryant and Stratton College, Milwaukee, Fox News.
- 9- HELVER, F., ZHANG, H. & LEMCKERT, C. *Enhancing reservoir management through the use of mechanical evaporation reduction techniques*. In: Society for Sustainability and Environmental Engineering International Conference Proceedings, 22-24 November 2009, Melbourne, Australia, SSEE, USB, 2009.
- 10- LABON, G., *effect of air bubbles generated at the bottom of the water surface on the value of evaporation and its effective role in reducing it*, Research, Sherman University, United States, 2000.
- 11- بحيرة\_16\_تشرين، [./https://ar.wikipedia.org/wiki](https://ar.wikipedia.org/wiki)
- 12- حسن، عز الدين. حماد، منذر. حواط، ماهر. تأثير تراكم الرسوبيات على انخفاض المخزون الحي في بحيرة سد 16 تشرين، سوريا، مجلة جامعة تشرين، 2018.
- 13- بويو، معن. حساب السعة التخزينية الحالية وحجم الرسوبيات في بحيرة سد 16 تشرين باللائقية بالطرائق الطبوغرافية، سوريا، مجلة جامعة تشرين، 2019.
- 14- <http://redamostaganem.blogspot.com/2010/04/blog-post.html>.
- 15- [حوض التبخر / http://ar.wikipedia.org/wiki](http://ar.wikipedia.org/wiki/حوض_التبخر)
- 16- بالبيد، سعيد. زردة، يحيى. الفيزياء للصف الأول ثانوي، سلسلة بالبيد.