

اختبار حصاد المياه من الندوة والضباب كمصدر إضافي للمياه العذبة في بعض المناطق داخل سورية

د. أحمد قره علي*

د. محمد أسعد**

مجد محمد خليل***

(تاريخ الإيداع 7 / 12 / 2020. قبل للنشر في 6 / 6 / 2021)

□ ملخص □

نتيجة للتغيرات المناخية وانخفاض مناسيب المياه السطحية الصالحة للشرب، ازداد مؤخراً مقدراً الاجهاد الواقع على المصادر التقليدية للمياه في سورية. وبناء على ذلك، بات هناك حاجة ملحة للتوجه نحو المصادر غير التقليدية، ومن هذه المصادر رطوبة الهواء، حيث يعد حصاد المياه من الغلاف الجوي مورداً مائياً متجدداً ومستداماً محتملاً. تم في هذه الدراسة تم استعراض آلية جمع المياه باستخدام أدوات جمع الضباب والندى الشبكية التقليدية، بالإضافة إلى المعالجة الكيميائية لتلك الأدوات. تم تصميم وإنشاء نموذجين من الشبكات المعدة لحصاد المياه من الهواء الجوي. وزعت النماذج ضمن تسلسل جغرافي ممتد من المناطق الساحلية إلى الوسطى وصولاً إلى المنطقة الشرقية بغية تجربتها في مختلف الظروف المناخية. أظهرت المناطق الساحلية الرطبة معدلات جمع للمياه (غير المطرية) تراوحت بين 0.3-1.4 لتر/م²/يوم بينما سجلت المنطقة متوسطة الجفاف معدلات تراوحت بين 0.2-0.8 لتر/م²/يوم في حين أن المنطقة الشرقية الجافة سجلت المعدلات الأدنى بين 0-0.4 لتر/م²/يوم. نتائج تحاليل الكيميائية لعينات المياه غير المطرية التي تم جمعها، جاءت مطابقة للمواصفات القياسية السورية ومعايير منظمة الصحة العالمية الخاصة بالمياه الصالحة للشرب.

الكلمات المفتاحية: سورية، حصاد المياه، رطوبة، ندوة، ضباب

* استاذ ، المعهد العالي للبحوث البحرية -جامعة تشرين - سورية.

** مدرس -كلية الهندسة الكيميائية والبترولية، جامعة البعث - سورية.

*** طالب دكتوراه ، المعهد العالي للبحوث البحرية -جامعة تشرين - سورية.

Testing Water Harvesting from Dew and Fog as Additional Source of Freshwater in Some Areas inside Syria

Dr. Ahmad Kara-Ali*
Dr. Mohamad Asaad**
Majd Khalil***

(Received 7 / 12 / 2020. Accepted 6 / 6 / 2021)

□ ABSTRACT □

Due to climate change and reduced surface drinking water levels, stress on traditional water sources in Syria has recently risen. Therefore, there is an urgent need to move toward non-traditional sources, including air humidity. since atmospheric water harvesting is renewable and sustainable. In this study, the mechanism for collecting water using traditional fog and dew collection tools is presented, along with the chemical treatment of these tools. Two prototypes of networks to collect water from atmospheric air have been designed and built. The prototypes were distributed in a geographical sequence extending from coastal to central regions to the eastern region. In order to be tested in different climatic conditions. The humid coastal areas showed water collection rates (non-rainfall) ranging from 0.3-1.4 liter/m²/day. While the moderate aridity region recorded rates ranged between 0.2-0.8 liter/m²/day. While the dry eastern region recorded the lowest rates between 0-0.4 liter/m²/day. The results of the chemical analyses of the rain water samples collected were consistent with the specifications of the Syrian standard and WHO drinking water standards.

Keywords: Syria, Water Harvest, Moisture, Atmospheric Moisture, Fog

*Professor , High Institute of Marine Research - Tishreen University -Syria.

** Assistant Professor , Chemical Engineering Department - Faculty of Chemical and Petroleum Engineering – AlBaath University – Syria

*** Postgraduate student - High Institute of Marine Research - Tishreen University - Lattakia-Syria.

مقدمة

تمثل المياه العذبة 2.5% فقط من إجمالي المياه الموجودة على سطح الأرض، منها 1.74% على شكل ثلوج وأنهار جليدية، و0.03% بحيرات وأنهار، و0.76% مياه جوفية [1]. تعد ندرة المياه العذبة إحدى أكبر التحديات أمام التنمية المستدامة والأمن المائي والغذائي لأي دولة، وتبرز هذه المشكلة بشكل واضح في سورية لكونها تقع في منطقة جافة وشبه جافة، أي أن ما يقارب الـ75% من مساحتها يتصف بالجفاف. تعاني سورية من انحدار عام في معدلات الهطول المطري في ظل التغيرات المناخية الراهنة بالرغم من التغيير الإيجابي نحو الزيادة في معدلات وخصائص الهطول المطري كالشدة والتكرارية والاستمرارية خلال بعض الفترات الزمنية، وهو ما يعني الازدياد المطرد في العجز المائي [3,2]. تجلى الجفاف بشكل واضح من خلال زيادة شدة جفاف الموسم الماطر في الربيع والشتاء وازدادت تكرارية حالات الجفاف الحدي في الوقت الذي تناقصت فيه تكرارية حالات الرطوبة الحدية في الربيع [4]. سيؤدي النمو السكاني والصناعي إلى زيادة الاحتياجات المائية في سورية من 1900 مليون متر مكعب من الماء في عام 2010 إلى حوالي 3150 مليون متر مكعب في عام 2050. انخفض متوسط نصيب الفرد من المياه العذبة من 12,185 متر مكعب في عام 1992 إلى 809 متر مكعب في عام 2012 [5]، وسينخفض إلى حوالي 440 مترًا مكعبًا في عام 2050. وعلاوة على ذلك، سيكون لتغير المناخ تأثير شديد على الموارد المائية السورية، الأمر الذي سيؤدي إلى خفض كمية المياه السطحية والجوفية بحوالي 1300 مليون متر مكعب في عام 2050، وزيادة التبخر من المسطحات المائية بنحو 190 مليون متر مكعب في عام 2050 [6]. بالنتيجة فإن الأزمة المائية سوف تتفاقم إذا لم يتم تداركها في الوقت القريب في ظل التزايد السكاني ومستجدات التنمية ومشاريع الري من أجل تأمين متطلبات الأمن الغذائي والتنمية الصناعية مما قد يشكل خطورة كبيرة ليس فقط على الأمن المائي بل يتعدى ذلك ليهدد الأمن القومي للدولة برمته. إضافة إلى أن المصادر التقليدية للمياه العذبة كانت عرضة خلال العقد الأخير لتأثيرات معنوية ناجمة عن النزاعات السياسية والعسكرية في سورية. فعلى سبيل المثال انخفاض منسوب مياه نهر الفرات الواردة من تركيا ومنعكساته السلبية المباشرة على الاقتصاد والتنمية في كامل المنطقة الشرقية من البلاد، وكذلك التهديدات الجديدة التي طالت نبع الفيحة المغذي للعاصمة دمشق [7].

يحتوي الغلاف الجوي على ما يقارب 13 ألف تريليون لتر من المياه العذبة، وأن حصاد المياه منه قد يشكل مورداً مائياً متجددة ومستداماً. يتم تجديد رطوبة الهواء بشكل طبيعي ودوري [8]، ولا ينتج عن هذه العملية أي آثار أو منتجات ثانوية مضرّة بالبيئة، وهي تقنية بسيطة منخفضة التكلفة نسبياً. إن غالبية الدراسات العلمية المنجزة والمعنية بموضوع جمع المياه من الغلاف الجوي تفنقر إلى إجراء تحقيق نقدي ومستقل في الجدوى الاقتصادية والعملية لأنظمة حصاد المياه من الغلاف الجوي. الأمر الذي أدى إلى تباينات كبيرة في الادعاءات والمزايم بخصوص أداء وقدرات عمليات جمع المياه من الهواء على تلبية الاحتياجات على المستوى التجاري. يعتبر مشروع حصاد المياه من الضباب والندوة يعتبر بمثابة دراسة حالة ضمن منهج مبتكر وشامل لمواجهة التحديات المعقدة لندرة المياه والتنمية المستدامة، بالإضافة إلى أن معظم الأبحاث في هذا المجال هي أبحاث تشمل مجالات واسعة كالأبحاث التطبيقية في الهندسة وعلوم المواد والأرصاد الجوية وعلوم المناخ والعلوم البيئية. تجدر الإشارة إلى أن الضباب والندى يعملان كغاسلات للغلاف الجوي بالتالي فإن الحالة الكيميائية لهذه المياه هي بمثابة دالة على جودة الهواء والتفاعلات غير المتجانسة بين الغاز والسائل والصلب في منطقة الجمع وهو ما يمكن الاستفادة منه في دراسات تلوث الهواء [9,8].

تأتي أهمية البحث في إيجاد مصادر غير تقليدية للمياه العذبة كونها تعد مصدراً إضافياً أو بديلاً للمصادر التقليدية أو استكمالاً لها في المناطق التي تعاني من صعوبة الحصول على المياه العذبة. حيث تندرج كل من مياه جمع الأمطار والضباب والرطوبة والندوة الجوية واستمطار السحب وتحلية المياه المالحة ضمن مصطلح الموارد غير التقليدية للمياه [8]. تزداد هذه الأهمية في ضوء الدراسات الحديثة التي أشارت إلى إمكانية استمرار النزاعات حول المياه وتعاظم حالة الجفاف التي تعاني منها سورية وما سيرافقه من تبدلات كبيرة في كم ونوع مصادر المياه الحالية. من المتوقع أن تحدث تحولات في الدورة الهيدرولوجية للنظم البيئية كاستجابة لتغيرات المناخ ومن هذه التحولات انخفاض كميات الهطولات المطرية السنوية في كل من منطقة البحر الأبيض المتوسط والنظم البيئية الجافة وشبه الجافة حول العالم وما سيرافقها من قصور في إمدادات المياه، وبالنتيجة زيادة العجز في تأمينها. في الوقت الذي تتبئ هذه التوقعات بارتفاع معدلات الرطوبة الجوية لمنطقة البحر الأبيض المتوسط بمقدار 27% عن معدلاتها الحالية خلال أشهر الصيف بحول العام 2080 [10,9].

أولى الأعمال التي تناولت حصاد المياه من الغلاف الجوي كانت عام 1947، إلا أن هذه بقيت قليلة نسبياً وذلك من حيث الكم والنوع مقارنة بسهولة تنفيذها. اقتصر التجارب حتى وقت قريب، على الطرق التقليدية المتمثلة بالتكثيف على أسطح تبريد، وذلك في عشرين دولة حول العالم منها دول مجاورة لسورية مثل تركيا وفلسطين المحتلة، وعدد من الدول الشرق أوسطية مثل عُمان، السعودية، البحرين، إيران، مصر، السودان، ودولة مطلة على البحر الأبيض المتوسط مثل فرنسا، إسبانيا، البرتغال، المغرب. زاد الاهتمام في العقد الأخير بتحسين وتطوير طرق الجمع التقليدية وزيادة كفاءتها، بالإضافة إلى التوجه نحو حصاد الرطوبة من الهواء المحيط عن طريق المواد المازة والماصة للرطوبة كذلك تلك الطرق التي تعني بفصل الغازات [12,11].

أهمية البحث وأهدافه

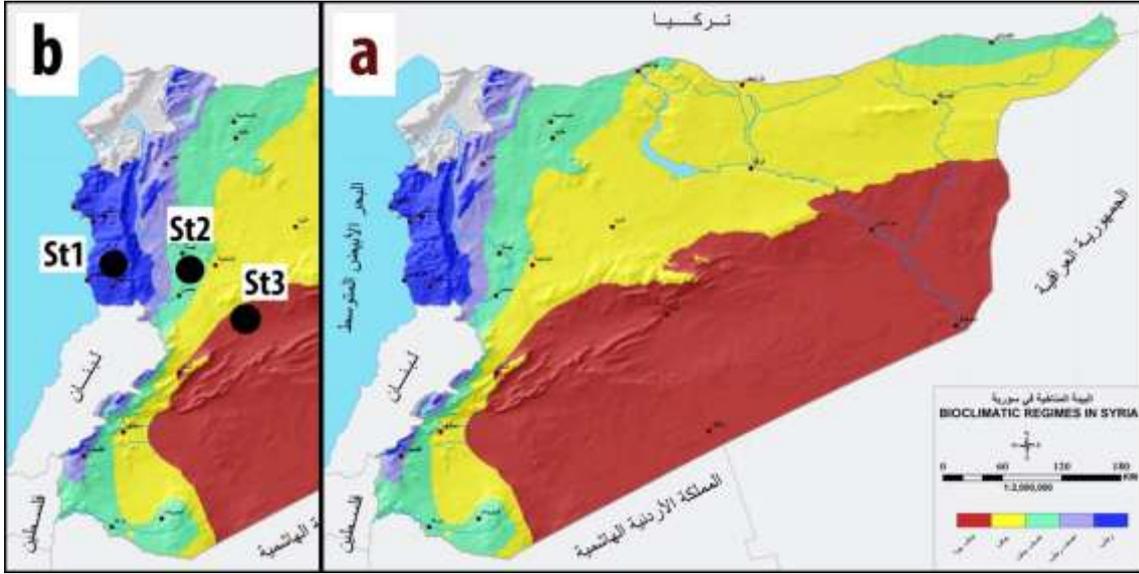
1. اختبار الطرق التقليدية لحصاد الندوة والضباب باستخدام الشبكات.
2. إجراء تعديلات على هذه الطرق سواء من حيث التصميم الهندسي أو استخدام مواد كيميائية كطلاء.
3. مقارنة النتائج مع أبحاث مماثلة أجريت في دول أخرى وتقييم جدوى هذه الطريقة كمورد محتمل للمياه العذبة داخل القطر.

طرائق البحث ومواده

موقع الدراسة

تم اختيار مواقع الدراسة الثلاثة وفقاً للتوزيع المناخي في سورية كما هو مبين في الشكل (1) [13]، بهدف التحقق من قدرة جمع المياه من الهواء المحيط في مختلف الظروف المناخية. بدأ من المنطقة الساحلية الرطبة، مروراً بالمنطقة الداخلية نصف الجافة، وصولاً إلى المناطق الداخلية الجافة. تم الأخذ بالاعتبار أثناء تحديد تلك المناطق بعض محددات الجغرافية والأرصاد الجوية مثل الهطل المطري وسرعة واتجاه الرياح في المنطقة المختارة وتضاريسها وارتفاعها عن سطح البحر وتكرارية الظروف المناخية الرطبة فيها، مع مراعاة سهولة الوصول إليها. تم تعيين قرية "بيت يوسف" (St₁) في المرتفعات الجبلية والتي تقع على ارتفاع 857 م عن سطح البحر وإلى الشرق من مدينة

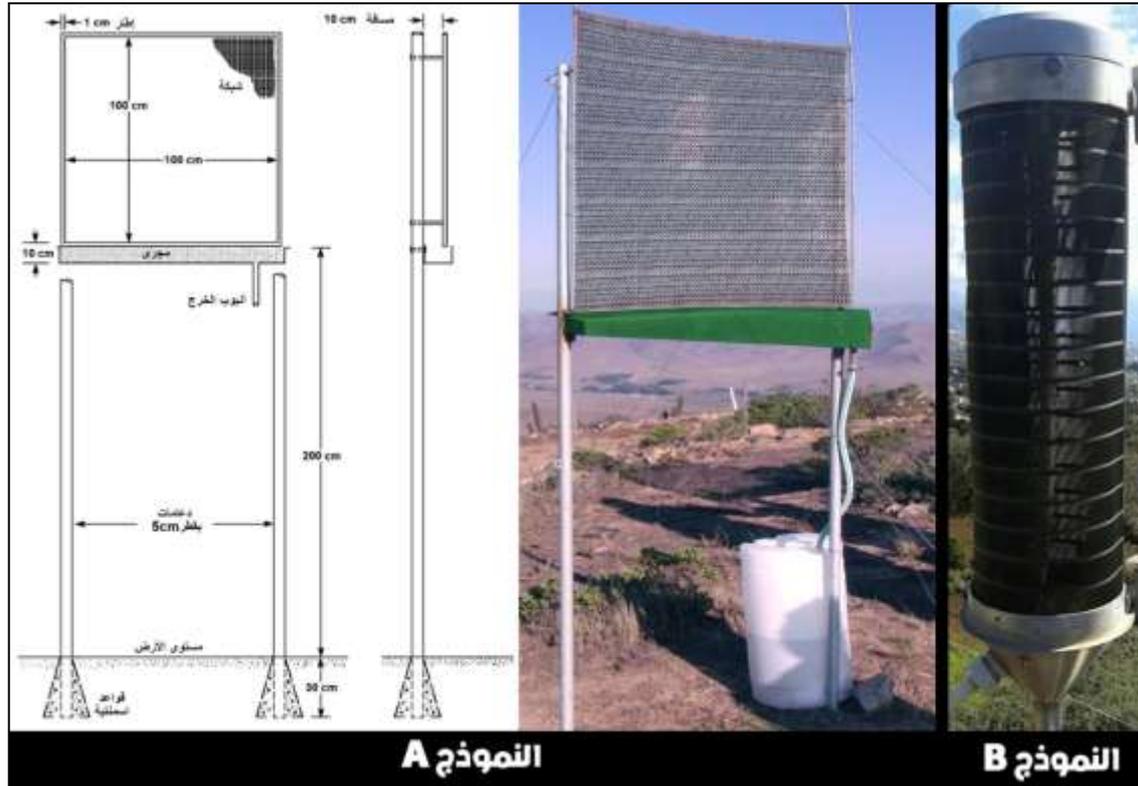
طرطوس بحوالي 44 كم كنقطة اختبار للمنطقة الساحلية الرطبة. قرية "معرين" (أوتوستراد حمص - حماه) (St_2) والتي تقع على ارتفاع 476 م عن سطح البحر وتبعد 10 كم جنوب مدينة حماه، تم تعيينها كنقطة ضمن البيئة نصف الجافة. قرية "الفحيلة" (St_3) والتي تقع على ارتفاع 420 م عن سطح البحر جنوب شرق مدينة حمص بحوالي 50 كم عُيّنَت كنقطة ضمن البيئة الجافة جداً كما هو مبين بالشكل (1)، حيث امتدت عملية الجمع على مدار عام كامل بدءاً من أيلول عام 2019 حتى أيلول عام 2020.



الشكل 1: (a) يظهر فيه توزيع البيئات المناخية في الجمهورية العربية السورية وفق تصنيف المديرية العامة للأرصاد الجوية، اللون الأزرق للبيئة الرطبة، البنفسجي الفاتح للنصف الرطبة، الأخضر للنصف الجافة، الأصفر للجافة، الأحمر للجافة جداً (b) توزيع مواقع الاختبار [13].

تصميم جهاز جمع المياه:

تم تصميم الجهاز وفق نموذجين، النموذج الأول (A) (الشكل 2) عبارة عن شبكة مسطحة مساحتها 1 م²، مثبتة على هيكل معدني مزود بمشابك، وحُدِد اتجاه سطح الشبكة بحيث يكون متعامد قدر الإمكان مع اتجاه الرياح السائدة. أسفل الشبكة توجد مجرى مائل من البولي إيثيلين مفتوح من الأعلى بهدف جمع المياه المتساقطة من الشبكة وينتهي المجرى من أسفل نقطة في الانحدار بفتحة متصلة بخرطوم ينتهي بوعاء تخزين من البولي إيثيلين سعة 40 لتر. النموذج الثاني (B) (الشكل 2) يتمثل بشبكة مساحتها 1 م² على شكل اسطوانة تمتلك قاعدتين من الستانلس تيل للثبيت من الجهتين العلوية والسفلية. تتوضع الشبكة فوق قمع من الستانلس تيل مزود من أسفله بوصلة معدنية ثم بخرطوم ينتهي بتدوره بوعاء تخزين من البولي إيثيلين سعة 40 لتر.



الشكل 2: أداة الجمع المسطحة (النموذج A). أداة الجمع الأسطوانية (النموذج B)

حققت الشبكات ذات معامل التظليل 35% أفضل النتائج في حصاد المياه من الهواء المحيط في العديد من الدراسات واعتبر معامل التظليل بنسبة 35% معامل تظليل قياسي، كما أوصت العديد من هذه الدراسات باستخدام شبكة مزدوجة بمعامل تظليل 35% من البولي برويلين [14]، لذا تم اختبار مزدوجة من البولي برويلين بمعامل تظليل 35% لكل طبقة في كلا النموذجين خلال المرحلة الأولى، وفي المرحلة الثانية تم طلاء كل من الشبكتين السابقتين بالإضافة إلى مجموعة أخرى من الشبكات للمقارنة (الجدول 7)، وذلك بمزيج من جزيئات السليكا الكارهة للماء وميثيل فينيل سيليكون [3].

حساب معامل التظليل

حدد معامل التظليل عن طريق حساب معامل الظل الشبكي SC والذي يمثل قدرة الشبكة على التقاط قطرات المياه من الهواء العابر لفتحات الشبكة، وهو يمثل المساحة المشغولة بخيوط الشبكة من إجمالي مساحة سطح الشبكة الكلي، وذلك من خلال وفقاً للمعادلة التالية [15]:

$$SC = 1 - \frac{A_{op}}{A_{tot}}$$

حيث: SC معامل الظل الشبكي وهو نسبة مئوية، A_{op} مساحة الفتحة المفردة ضمن الشبكة، و A_{tot} والمساحة الإجمالية لسطح الشبكة.

طلاء الشبكة

بغية تحسين كفاءة عملية جمع الماء وزيادة مقاومة الشبكة للعوامل المناخية المسببة للتآكل، والحصول على استقرار ميكانيكي عالٍ. تم طلاء الشبكات بطريقة البخ (الرداذ) بطلاء مخصص لهذه الغاية. حضر الطلاء من خلال إذابة مكون من مزيج أكسيد السيليكون SiO_4 الصلب مع سيليكون ميثيل فينيل $(C_7H_8OSi)_n$ (ريزين) في مذيب مكون من مزيج يحتوي على 40% تيتراهدورفوران و60% كحول إيزوبروبيلي، بنسبة 12:5:1 لكل من أكسيد السيليكون، سيليكون ميثيل فينيل، والمذيب على التوالي، في غرفة مغلقة، وجففت الشبكة المطلية في الظل بعيداً عن أشعة الشمس وبدرجة حرارة الغرفة [1].

المعاملات المناخية والبيئية

يعتمد جمع المياه من الغلاف الجوي باستخدام هذه الطريقة على دراسة العوامل البيئية والمناخية السائدة، ويرتبط بعوامل متعددة منها الهطل المطري، درجة حرارة الهواء، اتجاه وسرعة الرياح، الرطوبة النسبية، الرطوبة المطلقة، درجة حرارة الأرض، درجة حرارة نقطة الندى، رطوبة الهواء [16]، وذلك بالنسبة لمواقع الدراسة الثلاث. تم الحصول على هذه البيانات المتعلقة بالهطل المطري ودرجة حرارة الهواء واتجاه وسرعة الرياح والرطوبة النسبية ودرجة حرارة الأرض من خلال القياسات الحقلية والميدانية بالإضافة إلى بيانات المديرية العامة للأرصاد الجوية. الرطوبة المطلقة ودرجة حرارة نقطة الندى ومحتوى الهواء من الماء تم حسابها من خلال المعادلات التالية [17,18]:

$$AH = \frac{6.112 \times e^{\frac{17.67 \times T}{T+243.5}} \times RH \times 2.1674}{273.15+T}$$

AH : الرطوبة المطلقة، T : درجة حرارة الهواء، RH : الرطوبة النسبية، حيث تختلف الرطوبة النسبية عن الرطوبة المطلقة في أن الرطوبة النسبية RH تعريفاً هي نسبة محتوى الرطوبة الحالي لواحدة حجم الهواء إلى محتوى الرطوبة في نفس درجة الحرارة والضغط الجوي، بينما الرطوبة المطلقة AH تعريفاً هي كتلة بخار الماء الموجود في واحدة حجم الهواء [17-19]:

$$T_d = T_a - (RH+100)/5$$

T_d : درجة حرارة نقطة الندى، T_a : درجة حرارة الهواء المحيط، RH : الرطوبة النسبية، حيث يشير ارتفاع قيمة درجة نقطة الندى إلى زيادة محتوى الهواء من قطيرات الماء المحمولة. بالنسبة لمحتوى الهواء التقديري من الماء WH وهو كمية الماء التقديرية المحتمل جمعها مقدره باللتر، والمحتمل جمعه خلال 24 ساعة، فالشرط اللازم لاحتساب هذه المحتوى أن تكون الرطوبة النسبية RH عند قيمة أعلى من 69%، عندها يمكن حساب هذا المحتوى من خلال المعادلة [17,18]:

$$WH = 24 \times AH \times U_z \times E_{eq} \times 3.6$$

WH : كمية الماء التقديرية المحتمل جمعها مقدره باللتر للمتر المربع، AH : الرطوبة المطلقة، U_z : سرعة الرياح عند الارتفاع الذي وضع فيه الجهاز، E_{eq} : كفاءة الجهاز وتقدر غالباً بـ30% عند معامل تظليل SC 35% [17,18]. وتجدر الإشارة إلى أن معظم الدراسات الميدانية ودراسات النمذجة السابقة الخاصة بالمناخ تميل إلى اعتبار المدخلات المناخية للمياه غير المطرية، خصوصاً تلك المتعلقة بالضباب والندى، كفتة واحدة على الرغم من أن الاثنان مستمدان

من ظواهر مناخية مختلفة، وذلك بسبب القيود التقنية التي تعيق تحديد أصول المياه الغير المطرية والموجودة الغلاف الجوي [10].

الأجهزة والأدوات المستخدمة وطرق التحليل

– الأجهزة: مقياس من نوع HACH sension1 لتحديد قيم الـpH، مقياس من نوع EUTECH CON1103K لتحديد كل من الناقلية الكهربائية (EC) ومجموع المواد الصلبة المنحلة (TDS)، جهاز من نوع SHIMADZU TOC-V لتحديد الكربون العضوي الكلي (TOC) بطريقة الأكسدة بالحرارة العالية [20]، مطيافية الأشعة فوق البنفسجية والمرئية (UV-VIS) من نوع HACH DRB/200 لتحديد كل من شوارد النترات (NO_3)، النتريت (NO_2)، النشادر (NH_3)، الأمونيوم (NH_4^+) والكلور الشاردي Cl^- [21]، مطيافية الامتصاص الذري من نوع SHIMADZU AA-6300 لتحديد كل من الرصاص والكروم والكاديوم والحديد في الماء (تقنية اللهب) [22]، مطيافية الأشعة فوق البنفسجية والمرئية (UV-VIS) من نوع HACH DR/4000 spectrophotometer لتحديد الأوكسجين الكيميائي المستهلك (COD) [23]، مقياس من نوع AZ 7755 لتحديد الرطوبة النسبية، جهاز قياس درجة الحرارة، جهاز قياس سرعة الرياح.

– الأدوات: أوعية جمع بلاستيكية، قضبان معدنية، أسلاك تثبيت، شبكات من البولي بروبيلين، شبكات معدنية، خرطوم بلاستيكية، بياشر، أقماع، عيوات زجاجية، أنابيب اختبار.

– المواد الكيميائية: أكسيد السيليكون SiO_4 الصلب، سيليكون ميثيل فينيل $(C_7H_8OSi)_n$ (ريزين)، تيتراهدورفوران، كحول إيزوبروبيلي، كواشف، ماء مقطر.

النتائج والمناقشة

النتائج النظرية

تظهر الجداول (1،2،3،4) المتوسطات الشهرية للمعاملات المناخية المقاسة حقلياً والمحسوبة رياضياً. من أهم هذه المعاملات في الجداول المذكورة هو محتوى الهواء من الماء، والذي يشير إلى كمية المياه التي من المحتمل الحصول عليها بواسطة 1 م² من الشبكة خلال يوم واحد [17,18]. بلغ هذا المحتوى قيمة أعظمية في المنطقة الساحلية ثم الداخلية نصف القاحلة فالقاحلة جداً، وذلك نتيجة للارتباط الخطي المباشر بين محتوى الهواء من الماء وكل من الرطوبتين النسبية والمطلقة، واللذان تتناقضان كل ما تجهنا من الساحل نحو الداخل.

للشبكة تلعب دوراً هاماً في عملية الجمع، فعندما لا تكون الرياح متعامدة مع سطح الشبكة تتخفص كمية المياه نتيجة نقص مساحة سطح التصادم، وتتناقص الكمية أكثر بتوازي اتجاه الرياح مع مستوى السطح، والحل كان من خلال التصميم الأسطواني للنموذج (B)، والعامل الآخر هو عامل سرعة الرياح، حيث أن قيمة سرعة الرياح المثالية لعملية الجمع بين 5-2 m/s [19]، وغالباً ما تتجاوز سرعة الرياح هذه القيمة أثناء الظروف المناخية الرطبة أو المنخفضات الجوية والتي تكون فيها حالة المناخ المحيط مواتمة لعملية الجمع.

خلال الظروف المناخية الرطبة والتي عادة ما تترافق مع أمطار، تصبح عملية تحديد عائدة المياه التي تم جمعها فيما إذا كانت غير مطرية (هوائية) أم مطرية أمراً غير ممكن، وتم تقدير كمية المياه غير المطرية بشكل تقريبي، الجدول (5)، من خلال حساب متوسطات كميات المياه التي تم جمعها في الأيام التي لم تتضمن هطولات مطرية من كل شهر، وبغية تقييم الإنتاج المائي لها، تمت مقارنتها مع القيم الكلية للمياه المجموعة خلال أشهر كانون أول، كانون ثاني، شباط، وفق الظاهر في الجدول (6).

يظهر تأثير عامل الرياح بشكل واضح من خلال الفارق بين المتوسط السنوي لكمية المياه غير المطرية التي تم جمعها بواسطة كلا النموذجين المسطح والاسطواني باستخدام ذات الشبكة، حيث يبلغ الفارق في كمية المياه غير المطرية بين النموذجين 100% للموقعين St_2 , St_3 ، و 75% للموقع St_1 وفق ما هو وارد في الجدول (5)، بالإضافة إلى أن الفارق البسيط بين النموذجين بالنسبة لكميات المياه المطرية، والذي لا يزيد عن 25% الجدول (6)، يشير إلى قدرة جمع ميكانيكية متكافئة، وأن الفارق الوارد في الكميات الغير مطرية ناجم عن عوامل جوية أهمها الرياح الحاملة للقطيرات المائية.

الجدول (5): متوسط كميات المياه الغير مطرية التي جمعت خلال فترة الدراسة مقدرة بالتر/م²/يوم بالنسبة للنموذج لكلا النموذجين، وذلك باستخدام شبكة البولي بروبيلين المطلية المزودة بمعامل تظليل 35%.

ST ₃		ST ₂		ST ₁		
النموذج (B)	النموذج (A)	النموذج (B)	النموذج (A)	النموذج (B)	النموذج (A)	
0.1	0.1	0.2	0.1	0.5	0.3	أيلول 2019
0.1	0.1	0.2	0.1	0.7	0.4	ت 1 2019
0.2	0.1	0.5	0.3	0.9	0.6	ت 2 2019
0.4	0.3	0.8	0.5	1.2	0.7	ك 1 2019
0.4	0.3	0.9	0.5	1.4	0.9	ك 2 2020
0.4	0.3	0.8	0.6	1.4	0.8	شباط 2020
0.3	0.2	0.5	0.4	1.1	0.6	آذار 2020
0.2	0.1	0.3	0.2	0.8	0.5	نيسان 2020
0.2	0.1	0.2	0.2	0.6	0.3	أيار 2020
0.1	-	0.2	0.1	0.4	0.2	حزيران 2020
-	-	0.1	-	0.3	0.2	تموز 2020
-	-	0.1	-	0.3	0.2	أب 2020
0.1	-	0.1	0.1	0.4	0.3	أيلول 2020
0.2	0.1	0.4	0.2	0.7	0.4	المتوسط السنوي

الجدول (6): متوسط كميات المياه الكلية التي جمعت خلال ثلاثة أشهر مقدرة بالتر/م²/يوم بالنسبة لكلا النموذجين، وذلك باستخدام شبكة البولي برويلين المطلية المزودة بمعامل تظليل 35%.

St_3		St_2		St_1		نوع المياه
النموذج (B)	النموذج (A)	النموذج (B)	النموذج (A)	النموذج (B)	النموذج (A)	
0.4	0.3	0.8	0.5	1.2	0.7	ك1 2019
0.4	0.3	0.9	0.5	1.4	0.9	ك2 2020
0.4	0.3	0.8	0.6	1.4	0.8	شباط 2020
0.4	0.3	0.8	0.5	1.3	0.8	المتوسط
1.0	0.8	2.7	2.2	3.9	3.6	ك1 2019
1.2	0.9	3.0	2.6	4.1	3.9	ك2 2020
0.9	0.7	2.9	2.3	4.2	3.5	شباط 2020
1.0	0.8	2.8	2.4	4.0	3.7	المتوسط

تأثير معامل التظليل ونوعية الشبكة:

أظهرت شبكة البولي برويلين المزودة بمعامل تظليل 35% لكل طبقة، والمطلية بطلاء السيليكون والسليكا، نتائج أفضل بنسبة 40% في جمع المياه غير المطرية من باقي أنواع الشبكات المستخدمة لكلا النموذجين، وهو ما يتوافق مع العديد من الدراسات السابقة التي أوصت باستخدام شبكة البولي برويلين المزودة بمعامل تظليل 35% [18,17,3]. ازدادت كفاءة الشبكة المطلية بالمقارنة مع مثيلاتها غير المطلية، في حين أن الشبكات المزودة بمعاملات التظليل الكبيرة غير المطلية 50%، 60%، كانت الأقل إنتاجية، ومن المرجح أن يكون السبب صغر فتحات الشبكة عند هذه النسبة من معامل التظليل، بالتالي انسداد هذه الفتحات بقطرات الماء مما يمنع أو يعيق مرور الهواء الحامل للرطوبة وقطيرات الماء من خلال هذه الفتحات، وهذه هي الغاية الأساسية من الطلاء الكاره للماء الذي تم استخدامه، وهي تحقيق انسيابية حركية أعلى لقطرات الماء خلال حركتها على سطح خيوط الشبكة، بالتالي انتقالها بسرعة نحو الأسفل بتأثير ثقلها دون أن تبقى فترات طويلة ضمن الفتحات، وهو ما يمكن ملاحظته عن طريق المقارنة بين حصيلة المياه التي جمعتها الشبكات المطلية وتلك الناتجة عن الشبكات غير المطلية كما هو مبين في (الجدول 7).

بالرغم من أن معامل تظليل الشبكة المعدنية هو 40% وهي قيمة مقارنة لنسبة الـ 35% الموصي بها، إلا أن إنتاجية الشبكة، من المياه غير المطرية، كانت أقل من شبكة البولي إيثيلين ذات معامل التظليل 60%. هذا الأمر ينطبق أيضاً على الشبكة المعدنية المطلية، ويعود ذلك إلى عدة أسباب محتملة، منها وزن الشبكة المعدنية الذي لا يسمح بالحركة الأفقية للشبكة عند سرعات الرياح المنخفضة بالنسبة للنموذج المسطح، مما يعني مساحة اصطدام أقل بين الهواء الحامل لقطيرات الماء وبين سطح الشبكة، كذلك انخفاض حرارة معدن الشبكة في الأيام الشديدة البرودة خصوصاً في الموقعين St_3 , St_2 مما يحوله إلى سطح تتجمد عليه القطيرات عوضاً عن أن تتساق نحو مجرى التجميع، إضافة إلى ذلك فإن الطلاء المستخدم والموجود على الشبكة المعدنية، تبين أنه ضعيف الثبات نسبياً في الظروف المناخية المتطرفة الحرارة والبرودة، ويتآكل بسرعة أكبر من الطلاء الموجود على باقي أنواع الشبكات الأخرى غير المعدنية.

الجدول (7): إنتاجية الشبكات المستخدمة في الدراسة من المياه غير المطرية خلال شهري كانون الثاني ونيسان 2020 وفق النموذجين (A)، (B)، مقدرة ب لتر/م²/يوم.

النموذج (A)						
St ₃		St ₂		St ₁		نوع الشبكة
مطلية	غير مطلية	مطلية	غير مطلية	مطلية	غير مطلية	
كانون ثاني 2020						
0.3	0.1	0.4	0.3	0.8	0.6	بولي بروبلين - معمل تظليل 35% - مفردة
0.3	0.2	0.5	0.3	0.9	0.7	بولي بروبلين - معمل تظليل 35% - مزدوجة
0.3	0.1	0.3	0.2	0.7	0.5	بولي بروبلين - معمل تظليل 50% - مفردة
0.2	-	0.4	0.3	0.5	0.3	بولي بروبلين - معمل تظليل 50% - مزدوجة
0.2	0.1	0.3	0.2	0.5	0.2	بولي إيثيلين - معمل تظليل 60% - مفردة
0.1	-	0.2	0.1	0.4	0.3	بولي إيثيلين - معمل تظليل 60% - مزدوجة
0.1	-	0.2	0.1	0.2	0.1	معدنية - معامل تظليل 40% - مفردة
نيسان 2020						
0.1	-	0.1	-	0.4	0.2	بولي بروبلين - معمل تظليل 35% - مفردة
0.1	0.1	0.2	0.1	0.5	0.3	بولي بروبلين - معمل تظليل 35% - مزدوجة
0.1	0.1	0.2	0.1	0.4	0.2	بولي بروبلين - معمل تظليل 50% - مفردة
0.1	-	0.2	0.1	0.3	0.1	بولي بروبلين - معمل تظليل 50% - مزدوجة
0.1	-	0.1	-	0.3	0.1	بولي إيثيلين - معمل تظليل 60% - مفردة
0.1	-	0.1	0.1	0.2	0.1	بولي إيثيلين - معمل تظليل 60% - مزدوجة
0.1	-	0.1	-	0.2	0.1	معدنية - معامل تظليل 40% - مفردة
النموذج (B)						
St ₃		St ₂		St ₁		نوع الشبكة
مطلية	غير مطلية	مطلية	غير مطلية	مطلية	غير مطلية	
كانون ثاني 2020						
0.3	0.1	0.6	0.4	1.1	0.9	بولي بروبلين - معمل تظليل 35% - مفردة
0.4	0.3	0.9	0.6	1.4	1.0	بولي بروبلين - معمل تظليل 35% - مزدوجة
0.3	0.1	0.8	0.5	0.9	0.8	بولي بروبلين - معمل تظليل 50% - مفردة
0.2	-	0.6	0.4	0.7	0.5	بولي بروبلين - معمل تظليل 50% - مزدوجة
0.2	0.1	0.6	0.3	0.7	0.5	بولي إيثيلين - معمل تظليل 60% - مفردة
0.1	-	0.4	0.2	0.5	0.4	بولي إيثيلين - معمل تظليل 60% - مزدوجة
0.1	-	0.2	0.1	0.4	0.2	معدنية - معامل تظليل 40% - مفردة
نيسان 2020						
0.1	-	0.1	-	0.6	0.4	بولي بروبلين - معمل تظليل 35% - مفردة
0.2	0.1	0.3	0.2	0.8	0.6	بولي بروبلين - معمل تظليل 35% - مزدوجة
0.2	0.1	0.2	0.1	0.6	0.4	بولي بروبلين - معمل تظليل 50% - مفردة
0.1	-	0.2	0.1	0.5	0.3	بولي بروبلين - معمل تظليل 50% - مزدوجة
0.1	0.1	0.1	0.1	0.6	0.3	بولي إيثيلين - معمل تظليل 60% - مفردة
0.1	-	0.1	0.1	0.4	0.3	بولي إيثيلين - معمل تظليل 60% - مزدوجة
0.1	0.1	0.1	-	0.6	0.4	معدنية - معامل تظليل 40% - مفردة

جودة المياه المجمعة

تعتمد جودة المياه التي يتم جمعها باستخدام هذه الطريقة، على جودة الهواء المحيط والمياه المحمولة عبره من جهة، وعلى سطح الشبكة من جهة أخرى، وبهدف التحقق من صلاحية هذه المياه للشرب، أجريت على المياه التي تم جمعها، المطرية وغير المطرية، عدد من التحاليل الكيميائية للتحقق من مدى صلاحيتها للشرب، منها تحليل الأس الهيدروجيني (pH)، الناقلية الكهربائية (EC)، مجموع المواد الصلب المنحلة (TDS)، الأكسجين الكيميائي المستهلك (COD)، الكربون العضوي الكلي (TOC)، النترات (NO_3)، النتريت (NO_2)، الكبريتات (SO_4)، إضافة إلى بعض العناصر المعدنية كالرصاص Pb والكروم Cr، والكاديوم Cd، والحديد Fe. أظهرت النتائج أن القيم المقاسة تقع ضمن الحدود المسموح بها وفق المواصفات القياسية السورية لمياه الشرب [26]، والمواصفات القياسية لمنظمة الصحة العالمية [27]، باستثناء المواد الصلبة المنحلة الكلية (TDS) والناقلية الكهربائية (EC) فقد تجاوزتا الحدود المسموح بها لمواصفات منظمة الصحة العالمية في بعض الحالات (الجدول 8). هناك تطابق بين النتائج التي حصلنا عليها مع نتائج دراسات أخرى في ذات المجال أجريت في دول شرق أوسطية مثل إيران [26] والمملكة العربية السعودية [8].

الجدول (8): قيم متوسطات بعض البارامترات الخاصة بجودة المياه التي تم جمعها من المواقع الثلاثة خلال فترة الدراسة

التحليل	المواصفات القياسية السورية	مواصفات who	St ₁	St ₂	St ₃
pH	9-6.5	8-6.5	7.2 ± 0.2	7.4 ± 0.2	7.3 ± 0.2
μS/cm EC	1500	400	143 ± 22.3	195 ± 26.4	321 ± 25.2
mg/L TDS	900	600	255 ± 31.1	237 ± 44.6	420 ± 35.7
mg/L NO ₃	50	45	15 ± 1.1	12 ± 0.8	13 ± 1
mg/L NO ₂	0.2	0.3	0.07 ± 0.03	0.08 ± 0.01	0.06 ± 0.006
mg/L SO ₄ ⁻²	250	250	114 ± 11.2	98 ± 5.5	76 ± 3.6
mg/L Pb	0.01	0.01	-	0.004 ± 0.0005	-
mg/L Cr	0.05	0.05	-	-	-
mg/L Cd	0.003	0.003	-	-	-
mg/L Fe	0.3	0.3	0.12 ± 0.04	0.15 ± 0.04	0.14 ± 0.03
mg/L COD	2	2	0.7 ± 0.1	0.6 ± 0.08	0.4 ± 0.08
mg/L TOC	3	4	1.0 ± 0.1	1.2 ± 0.1	0.6 ± 0.09

القيم العالية للمواد الصلبة المنحلة الكلية (TDS) والناقلية الكهربائية (EC) المسجلة في الموقع St₃، يمكن أن تعزى إلى الظروف المناخية الغبارية والناجمة غالباً عن الرياح الجنوبية القادمة من الصحراء وما تحمله من غبار ومعلقات متناهية في الصغر تبقى معلقة بالهواء، في حين أن تراكيز كل من الرصاص Pb والكروم Cr، والكاديوم Cd كانت دون حدود الكشف باستثناء الرصاص Pb في الموقع St₂، ومن المرجح أن يكون السبب في هذا الارتفاع النسبي لتراكيز الرصاص، هو موقع الدراسة غرب الأوتستراد الدولي (حمص - حماه)، وما يعزز هذه الفرضية هو القيم المرتفعة للكربون العضوي الكلي (TOC) في ذات الموقع مقارنة مع باقي المواقع.

الاستنتاجات والتوصيات

الاستنتاجات

- المنطقة الساحلية حققت أفضل النتائج من حيث كميات المياه غير المطرية التي تم جمعها، تليها المنطقتين نصف الجافة والجافة جداً، وهو ما يتوافق إلى حد كبير مع البيانات المناخية والتوقعات النظرية.
- المياه التي تم الحصول عليها كانت ضمن معايير كل من هيئة المواصفات القياسية السورية ومنظمة الصحة العالمية الخاصة بجودة مياه الشرب، أي أن هذه المياه صالحة للشرب بشكل مباشر دون الحاجة إلى معالجة مسبقة.
- تشير النتائج إلى أن جمع المياه من الندوة والضباب يمكن أن يشكل مصدراً إضافياً واعدداً للمياه الصالحة للشرب، خصوصاً في المناطق التي تعاني من صعوبة في إيصال المياه الصالحة العذبة للشرب، ومنها المناطق الساحلية التي تعاني فيها حتى القرى الجبلية من انقطاع مياه الشرب لأيام عديدة.

التوصيات

- لابد من متابعة الأبحاث في هذا المجال بهدف زيادة كفاءة أدوات الجمع من خلال زيادة مساحة الشبكات، وزيادة كفاءتها عن طريق تحسين مادة الشبكة المستخدمة والتقصي بشكل دقيق عن الظروف المناخية المناسبة لعملية الجمع، بالإضافة إلى البحث وتطوير طرق جديدة وبديلة لجمع المياه من الهواء كونها مصدر نظيف نسبياً، ومتجدد باستمرار ولا ينضب.

Reference

1. Bhushan, B. *Bioinspired water collection methods to supplement water supply*. Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences. USA. Vol. 377, No. 2150, 2019, 1-51.
2. Mawed, K., ALshihabi, O. *Assessment of Precipitation in Syria, Trend Analysis, During the Period of (1955-2006)*. The Arab Journal for Arid Environments. Egypt. Vol. 7, No. 2, 2014, 50-58.
3. Eissa, M. *The water budget in Syria and its future prospects from 1993-1992 - 2009-2008 - until 2024 – 2025*. Damascus University Journal. Syria. Vol. 29, No. 3, 2013, 551-585.
4. Skaf, M., Hamdan, S., Sakere, R. *Changes in Drought Characteristics in the Coastal Region of Syria during the Period (1960- 2010) and its Potential Impacts in the Forest Ecosystems*. The Arab Journal for Arid Environments. Egypt. Vol. 10, No. 2, 2017, 170-183.
5. Mourad, Kh, A., Berndtsson, R. *Syrian Water Resources between the Present and the Future*. Air, Soil and Water Research. Sweden. Vol. 4, No. 4, 2011, 93-100.
6. Mahmoud, H., Alsayegh, C. *The Syrian Water Situation – An Analytical Study with Future Prospects*. Al-Baath University Journal. Syria. Vol. 39, No. 1, 2017, 39-69.
7. Selby, J., Dahi, S, O., Froghlich, C., Hulme, M. *Climate change and the Syrian civil war revisited*. Political Geography. UK. Vol. 60, 2017, 232-244.
8. Kaseke, F, K., Wang, L. *Fog and Dew as Potable Water Resources: Maximizing Harvesting Potential and Water Quality Concerns*. GeoHealth. USA. Vol. 2, N^o. 4, 2018, 327-332.
9. Abulhamayel, I, H., Gandhidasan, P. *Design and testing of large fog collectors for water harvesting in Asir region, Kingdom of Saudi Arabia*. 5th International Conference on Fog Collection and Dew. Germany. 2010.
10. Kaseke, F, K., Wang, L., Seely, K, M. *Nonrainfall water origins and formation mechanisms*. SCIENCE ADVANCES. USA. Vol. 3, No. 3, 2017, 1-8.
11. Bagheri, F. *Performance investigation of atmospheric water harvesting systems*. Water Resources and Industry. Canada. Vol 20, 2018, 23-28.

12. Klemm, O., Schemenauer, S, R., Lummerich, A., Cereceda, P. *Fog as a Fresh-Water Resource: Overview and Perspectives*. A Journal of the Human Environment. Sweden. Vol. 41, No. 3, 2012, 247-263.
13. 7. September, 2020. <http://www.mod.gov.sy/index.php?node=556&cat=7937&>.
14. Molina, M, J., Escobar, M, C. *Fog Collection Variability in the Andean Mountain Range of Southern Colombia*. Journal of the Geographical Society of Berlin. Germany. Vol. 139, No. 2, 2008, 127-140.
15. Gandhidasan, P., Abualhamayel, I, H., Patal, F. *Simplified Modeling and Analysis of the Fog Water Harvesting System in the Asir Region of the Kingdom of Saudi Arabia*. Aerosol and Air Quality Research. Taiwan. Vol. 18, No. 1, 2018, 200-2013.
16. Olivier, J. *Fog harvesting an alternative source of water supply on the West Coast of South Africa*. GeoJournal. Netherlands. Vol. 61, No. 3, 2014, 203-214.
17. Dahman, A, N., Aljboori, J, Kh., Bukama, A, E., Ali, M, F. *Water Collection from Air Humidity in Bahrain*. EDP Science. France. Vol. 23, No. 8, 2017, 1-15.
18. Davis, E, R., Mcregor, R, G., Enfiled, B, K. *Humidity: A review and primer on atmospheric moisture and human health*. Environmental Research. USA. Vol. 144, No. Pt A, 2016, 106-116.
19. Ngaina, J, N., Muthama, J, N., Opere, A, O., Ininda, J, M.; *Potential of harvesting atmospheric water over urban cities in Kenya*. International Journal of Physical Sciences. Nigeria. Vol. 2, No. 5, 2014, 69-75.
20. Lee, H., Hur, J., Hwang, Y., Shin, H. *A Novel Procedure of Total Organic Carbon Analysis for Water Samples Containing Suspended Solids with Alkaline Extraction and Homogeneity Evaluation by Turbidity*. International Journal of Environmental Research and Public Health. Korea. Vol. 17, No. 5, 2020, 1-13.
21. Maarouf, M., Yosef, N., Ahmad, R, M. *Determination of some nutrients (PO_4^{3-} , NO_3^- , NO_2^- , NH_4^+) In the waters of the Dreikish dam*. Tishreen University Journal. Syria. Vol. 41, No. 3, 2019, 157-174.
22. Sharma, B.; Tyagi, S. *Simplification of Metal Ion Analysis in Fresh Water Samples by Atomic Absorption Spectroscopy for Laboratory Students*. Journal of Laboratory Chemical Education. India. Vol. 1, No. 3, 2013, 54-58.
23. Fogelman, S., Blumenstein, M., Zhao, H. *Estimation of chemical oxygen demand by ultraviolet spectroscopic profiling and artificial neural networks*. Neural Computing & Applications. Australia. Vol. 15, No. 3, 2006, 197–203.
24. Gallo, K., Hale, R., Tarpley, D., Yu, Y. *Evaluation of the Relationship between Air and Land Surface Temperature under Clear- and Cloudy-Sky Conditions*. American Meteorological Society. USA. Vol. 50, No. 3, 2011, 767–774.
25. Mutiibwa, D., Strachan, S., Albright, T. *Land Surface Temperature and Surface Air Temperature in Complex Terrain*. IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing. USA. Vol. 8, No. 10, 2015, 1–13.
26. Schunk, C., Trautwein, P., Hruschka, H. *Testing Water Yield, Efficiency of Different Meshes and Water Quality with a Novel Fog Collector for High Wind Speeds*. Aerosol and Air Quality Research. Taiwan. Vol. 18, No. 1, 2018, 240-253.
27. 8. September 2020. www.moh.gov.sy/LinkClick.aspx?fileticket=L1cf7p19DA%3D&portalid=0&language=ar-YE.
28. 8. September 2020. www.who.int/water_sanitation_health/dwq/gdwq3rev/ar/.