

تقييم فعالية نموذج تصميمي وتجريبي لمقطر شمسي عمودي انتشاري أحادي التأثير

وداد أسعد^١، إيهاب جناد^٢، أمينة فارس^٣

^١ طالبة دكتوراه، كلية الزراعة في جامعة دمشق، هندسة ريفية،
wedad.asaad@damascusuniversity.edu.sy

^٢ أستاذ مساعد، كلية الزراعة في جامعة دمشق

^٣ أستاذ مساعد، كلية الهندسة الكهربائية والميكانيكية في جامعة دمشق.

الملخص:

تم في هذا البحث تصميم وتقييم مقطر شمسي عمودي انتشاري أحادي التأثير تبلغ إنتاجيته التصميمية $5 \text{ [L/m}^2\text{]}$ مزود بلاقط شمسي مسطح، وتم تقييم أدائه من خلال مقارنة كمية المياه المقطرة المقاسة مع القيم النظرية المحسوبة في فترات مختلفة من العامين ٢٠٢٠ - ٢٠٢١، حيث أظهرت نتائج الدراسة النظرية أن حجم المقطر الشمسي العمودي الانتشاري أحادي التأثير هو $0.25 \text{ [m}^3\text{]}$ ومساحة اللاقط الشمسي المسطح $0.64 \text{ [m}^2\text{]}$ ، وسجلت أعلى قيمة لكمية المياه المقطرة خلال شهر تموز بمتوسط $4.8 \text{ [L/m}^2\text{]}$ وهذا يعادل ٩٦٪ من القيمة التصميمية، وبلغ متوسط إنتاجيته خلال شهري حزيران وآب قيمة $4.2 \text{ [L/m}^2\text{]}$ وهذا يعادل ٨٤٪ من القيمة التصميمية، وقد بلغ معامل ارتباط بيرسون (r) ٠.٩٩ ومعامل كفاءة النموذج ناش ساتكليف (EF) ٠.٩٥ وهذا يدل على تقارب كبير بين كمية المياه المحسوبة نظرياً وكمية المياه المقاسة تجريبياً، حيث يشير ذلك إلى أن محاكاة النموذج النظري التصميمي مع النموذج التجريبي عالية الدقة، لذلك يعتبر حجم المقطر الشمسي العمودي الانتشاري أحادي التأثير المصمم لهذا البحث وسيلة مناسبة للحصول على كمية المياه المراد الحصول عليها.

الكلمات المفتاحية: مقطر شمسي انتشاري، لاقط شمسي مسطح، كمية المياه المقطرة، حجم المقطر، المؤشرات الإحصائية.

تاريخ الإيداع: ٢٠٢٣/٥/٢٢

تاريخ القبول: ٢٠٢٣/٨/١



حقوق النشر: جامعة دمشق - سوريا،

يرتخص المؤلفون بحقوق النشر بموجب

الترخيص CC BY-NC-SA 04

Evaluation of Effectiveness of Design Model for a Single-Effect Vertical Diffusive Solar Still

Wedad Asaad^{*1} Ihab Jnad² Amina Fares³

¹ PhD student, Faculty of Agriculture, Damascus University, Rural Engineering, wedad.asaad@damascusuniversity.edu.sy

² Associate Professor, Faculty of Agriculture, Department of Rural Engineering, Damascus University,

³ Associate Professor, Faculty of Electrical and Mechanical Engineering, Damascus University, dramina-

Abstract:

In this research, a single-effect vertical diffusive solar still was designed and evaluated with a design productivity of 5 [L/m²] equipped with a flat solar collector. Its performance was evaluated by comparing the amount of measured distilled water with theoretical values calculated in different periods of years 2020-2021, as the results of the theoretical study showed that volume of the single-effect diffuse vertical solar distiller was 0.25 [m³] and area of the flat solar collector was 0.64 [m²]. The highest value for quantity of distilled water was recorded during July, with an average of 4.8 [L/m²], which was equivalent to 96% of the design value. Its average productivity during June and August was 4.2 [L/m²], which was equivalent to 84% of the design value. Pearson correlation coefficient (*r*) was 0.99 and Nash-Sutcliffe model efficiency coefficient (*EF*) 0.95, this indicates a great convergence between the amount of water calculated theoretically and the amount of water measured experimentally. Where this indicates that simulating the design theoretical model with the experimental model was of high accuracy, Therefore, the size of the single-effect vertical diffusive solar distiller designed for this research was considered an appropriate means to obtain the amount of water to be obtained.

Keywords: Diffusive Solar Still, Flat Solar Collector, Amount Of Distilled Water; Volume Of Still, Statistical Indicators.

Received: 22/5/2023
Accepted: 1/8/2023



Copyright: Damascus University- Syria, The authors retain the copyright under a CC BY- NC-SA

المقدمة:

تعد سورياً بلاداً محدودة الموارد المائية وتقع معظم أراضيه ضمن المناطق الجافة وبشهي الجافة والتي تعاني من انخفاض معدلات الهطول المطري وقلة تسرب المياه للتربيه وتغذية المياه الجوفية والضخ المتزايد الذي يؤدي لانخفاض منسوب المياه الجوفية وازدياد ملوحتها (جبور، 2001، 43)، لذلك لابد من البحث عن مصادر مياه بديلة كاستخدام تحلية المياه المالحة بهدف الحصول على مياه صالحة للاستخدام. تتعدد طرائق التحلية وأكثرها انتشاراً التحلية بالتقشير التي تعد من أقدم الطرائق المستخدمة في تحلية المياه، ويوجد عدة تقنيات للتقشير منها التقشير الشمسي، الذي تمتاز أجهزته ببساطة التصميم وانخفاض تكاليف الصيانة وتاثيرها العكسي الأقل على البيئة مقارنة بالوقود الأحفوري (أكساد، ٢٠٠٢، ١٧١). تم التوجه لاستخدام المقطرات الشمسية العمودية الانتشارية التي تشغّل مساحة أقل مقارنة بالمقطرات الصندوقية، وأهم مزايا هذه المقطرات العمل عند درجات حرارة منخفضة نسبياً، الأمر الذي يقلل من تشكّل الأملاح على سطح المبخرات، ويقلل من احتمال التآكل بالصداً ويقلل من معدل فقدان الحرارة إلى الوسط المحيط حيث نقل ضياعات الطاقة بالحمل في هذه المقطرات (فارس، ٢٠٢١، ١٨٤). الهدف من هذا البحث تصميم وتقدير فعالية مقطر شمسي عمودي انتشاري أحادي التأثير مزود بمصدر حرارة خارجي هو لاقط شمسي مسطح تبلغ إنتاجيته الافتراضية $5 \text{ L/m}^2 \text{ }^{\circ}\text{C}$ حيث لا توجد دراسات كافية حول تصميم هذا النوع من المقطرات.

الدراسات المرجعية:

المقطر الشمسي العمودي الانتشاري أحادي التأثير عبارة عن صندوق معزول بداخله صفيحتين هما المبخر والمكثف حيث يعتبر كلاهما تأثير واحد، يتم تسخين مياه التغذية الجارية على السطح الخلفي للمبخر من خلال وسيط التسخين القادر من اللاقط الشمسي، الأمر الذي يساعد على تبخير جزء من مياه التغذية مقداره D عند درجة الحرارة T_1 ، ويتجه البخار الناتج بالانتشار إلى السطح الأمامي للمكثف حيث يكتشف بملامسة سطح الصفيحة عند درجة حرارة T_2 أقل من T_1 . يُجمع ناتج التكثيف خارج المقطر لنحصل على ماء مقطر (فارس، ٢٠٢١، ١٨٢).

درس El-Sebaii (2000) تأثير سرعة الرياح على إنتاجية المقطر الشمسي الصندوقي والعمودي في مصر، ووجد أن الإنتاجية تزداد بزيادة سرعة الرياح وأن القيمة المثالية لسرعة الرياح هي 10 m/s صيفاً و 8 m/s شتاءً (523)، وقدم Nakatake and Tanak (٢٠٠٤) دراسة لمقطر شمسي عمودي انتشاري يتكون من (٤) تأثيرات بينها فجوات بسماكة 5 mm ، وتم وصل المقطر مع مجمع شمسي أنبوبي، بلغ معدل الإنتاجية $21.8-19.2 \text{ kg/m}^2$ ، وكان متوسط شدة الإشعاع الشمسي في التجربة 22.4 MJ/m^2 ، لكن واجه الجهاز مشكلة في إمكانية الخلط بين الماء المالح والمقطر لاستخدامه الصناعي بشكل مائل الأمر الذي سبب مشكلة ترسب الأملاح (١٩٥)، كما درس Huang *et al.* (2014) مقطر شمسي عمودي انتشاري متعدد التأثيرات مزود بمجمع شمسي أنبوبي مفرغ بلغت مساحة امتصاصه 0.92 m^2 ، بلغت المسافة بين التأثيرات 6 mm واستمرت فترة التجربة مدة ٦ ساعات في تايوان، حيث كانت إنتاجية مقطر ذو ٢٠ تأثير أعلى من مقطر ذو ١٠ تأثيرات بنسبة ٤٩٪ (٣٢)، وقد قام حبيب (٢٠١٦) بدراسة نظرية وتجريبية في ريف جبلة في سوريا لتحديد القيم المثلثة لسماكة الفجوة للمقطر العمودي الشمسي، حيث زود المقطر بغطاء زجاجي لامتصاص الإشعاع الشمسي مباشرة واستمرت التجارب من شهر تموز حتى شهر تشرين الثاني، وتوصل من خلال دراسته إلى أن البعد المثالي بين الصفيحة الماصة والغطاء الزجاجي هي 7 mm حيث يكون عندها الإنتاج جيد والمشاكل التصميمية قليلة (٦٥).

مواد البحث وطريقه:

يتأثر أداء المقطر الشمسي العمودي الانتشاري أحادي التأثير بعدة متغيرات تتعلق بالتصميم والتشغيل والظروف الجوية، لذلك فإن حسابات انتقال الحرارة تكون ضرورية لتحديد حجم المقطر، ومن ناحية أخرى لتحديد مساحة اللاقط الشمسي المستخدم لتأمين كمية الطاقة الحرارية المطلوبة للمقطر المستخدم في البحث.

تم حساب زاوية الورود اليومية θ للحصول على زاوية ميلان اللاقط الشمسي من المعادلين رقم [٢-١] (فارس، ٢٠١٦، ٣٩):

$$\sin(\theta) = \cos(\phi)\cos(\delta)\cos(\omega) + \sin(\phi)\sin(\delta) \quad [1]$$

$$\delta = 23.45\sin\left(\frac{360}{365}(284 + N)\right) \quad [2]$$

حيث أن ϕ : زاوية خط العرض، ω : زاوية ارتفاع الشمس، δ : زاوية الانحراف، N : اليوم. وتقدر الطاقة المفيدة Q_u من أجل واحدة المساحة للاقط الشمسي من المعادلة رقم [٣] (فارس، ٢٠١٦، ٧٣):

$$Q_u = (\tau\alpha)I_T - U_L(T_c - T_a) \quad [3]$$

حيث أن τ ، α : نفوذية وامتصاصية الغطاء الشفاف على التالى ، I_T : الإشعاع الشمسي الساقط على سطح الامتصاص $[W/m^2]$ ، U_L : معامل انتقال الحرارة الكلي $[W/m^2 \cdot C^\circ]$ ، T_c درجة حرارة السطح الماصل $[C^\circ]$ ، T_a درجة حرارة الوسط المحيط $[C^\circ]$. يتم حساب معدل انتقال الحرارة بالتوصيل بين صفيحة المبخر وصفيحة المكثف وفق قانون فورييه (المعادلة رقم ٤) (حبيب، ٢٠١٦، ٤٣):

$$q_{cd} = \frac{K}{\Delta Y} \Delta T \quad [4]$$

حيث أن: K معامل التوصيل الحراري لخلط بخار الماء مع الهواء في الفراغ بين صفيحتي المبخر والمكثف $[W/m \cdot C^\circ]$ ، ΔY : البعد بين صفيحتي المبخر والمكثف $[m]$ ، ΔT : فرق درجات الحرارة بين صفيحتي المبخر والمكثف $[C^\circ]$.

كما يتم حساب معدل انتقال الحرارة المسحوبة من صفيحة المبخر نتيجة تبخير المياه من سطحها الأمامي من المعادلة رقم [٥]

: (Tiwari *et al.*, 2016, 111)

$$q_e = D \cdot L \quad [5]$$

حيث: L الحرارة الكامنة لتبخير الماء $[KJ/Kg]$ ، D : معدل الكتلة المنتشرة على السطح $[kg/m^2 \cdot s]$ ، ويتم حسابها من قانون ستيفن وفقاً للمعادلة رقم [٦] (Sleem, 2016, 28)

$$D = \frac{10^6 \zeta M_w}{R(T + 273)} \frac{P_T}{\Delta Y} \ln \left| \frac{P_T - P_{w+1}}{P_T - P_w} \right| \quad [6]$$

حيث: P_T الضغط الكلي داخل المقطر $[MN/m^2]$ ، P_w و P_{w+1} : ضغط بخار الماء عند درجة الحرارة T و T_{w+1} على التالى، M_w : الوزن الجزيئي للماء، R : ثابت الغازات العام، أمّا انتشارية بخار الماء في الهواء ζ تحسب من المعادلة رقم [٧] (فارس، ٢٠٢١، ٢٠٢١) :

$$\zeta = \frac{0.911 \times 10^{-9}}{P_T} \times \frac{(T + 273)^{2.5}}{T + 518} \quad [7]$$

يتم حساب معدل انتقال الحرارة بالتكثيف على سطح صفيحة المكثف من المعادلة [٨] (السيد وأخرون، ١٩٩٤، ٥٧٣):

$$q_{cn} = q_e + D \cdot c_p \cdot \Delta T \quad [8]$$

حيث c_p : السعة الحرارية $[C^\circ/W/Kg]$ ، ΔT : يمثل فرق درجات الحرارة $[C^\circ]$.

كما يتم حساب معدل انتقال الحرارة بالإشعاع بين صفيحة المبخر وصفحة المكثف من المعادلة رقم [٩] (Tiwari *et al.*, 2016, 2016) :

$$q_r = \frac{\sigma(T_1^4 - T_2^4)}{\frac{1}{\varepsilon_1} + \frac{1}{\varepsilon_2} - 1} \quad [٩]$$

حيث أن: σ ثابت ستيفان وبولتنيزان، ε_1 و ε_2 اشعاعية سطح صفيحي المبخر والمكثف على التالى. تم حساب مساحة صفيحة المبخر والمكثف من العلاقة رقم [١٠]:

$$A = \frac{Q \cdot \Delta T}{U} \quad [١٠]$$

حيث أن: U معامل انتقال الحرارة الكلى ويحسب من المعادلة رقم [١١] (Tiwari *et al.*, 2016, 117)

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_{out}} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{h_{in}}} \quad [١١]$$

حيث أن: δ سماكة صفيحي المبخر والمكثف ومواصليتهم الحرارية على التالى، h_{out} : معامل انتقال الحرارة الخارجى، h_{in} : معامل انتقال الحرارة الداخلى.

وقد تم الاعتماد على رقم رينولدز Re ورقم براندل Pr ورقم نوسلت Nu في حساب h_{out} و h_{in} ، وتحسب هذه الأعداد وفقاً للمعادلات [١٢، ١٣، ١٤، ١٥] (Tiwari *et al.*, 2016, 98-106)

$$Re = \frac{p \cdot v \cdot d}{\mu} \quad [١٢]$$

$$Pr = \frac{Cp \cdot \mu}{K} \quad [١٣]$$

$$Nu = \frac{h_c \cdot d}{k} \quad [١٤]$$

$$h_c = 5.7 + 3.8v \rightarrow (for 0 < v < 5 m.s^{-1}) \quad [١٥]$$

حيث أن: ρ كثافة وسيط التسخين والتبريد [Kg/m³]
، U : سرعة التدفق [m/s]
، μ : سرعة الزوجة [N.s/m²]
، K : التوصيل الحراري [W/m.C°]
، d : البعد المميز [m]
، v : سرعة الرياح [m/s]

تم إجراء محاكاة رياضية لحساب حجم المقطر الشمسي العمودي الانتشاري أحادي التأثير من خلال برنامج EXCEL، حيث تم حساب مساحة صفيحي المبخر والمكثف وتحديد حجم خزان الماء المالح والماء المقطر داخل المقطر ومعدل الإنتاجية النظرية ومقارنتها مع القيم المقاسة، وقد تم الاعتماد على المعطيات الافتراضية في التصميم النظري الموضحة ضمن الجدول رقم (١).

الجدول رقم (١) المعطيات الافتراضية لتصميم المقطر الشمسي العمودي الانتشاري أحادي التأثير

القيمة	الواحدة	المعطيات
25	C°	درجة حرارة الوسط المحيط
٢	m/s	سرعة الرياح
5	hr	زمن التقطير الكلى
5	Liter	كمية المياه المالحة
5	L/m ²	الإنتاجية التصميمية
1.5	Cm	المسافة بين صفيحي المبخر والمكثف
٧٠	C°	درجة حرارة اللاقط
60	C°	درجة حرارة التبخر

٣٠	C°	درجة حرارة التكافث
----	----	--------------------

يتم حساب نسبة الأداء الحراري للمقطر PR التي تعبر عن نسبة الحرارة المستخدمة في التبخير في التأثير إلى الحرارة المستخدمة من مصدر خارجي من المعادلة رقم [١٦] (السيد وأخرون، ١٩٩٤، ٥٧٥).

$$PR = \frac{\sum q_e}{M C_p (T_{C,i} - T_{C,o})} \quad [16]$$

حيث أن: M كمية مياه التغذية [Kg]، $T_{C,i}, T_{C,o}$: درجة حرارة مخرج ودخل المقطر الشمسي [C°].

تم استخدام عدة مؤشرات إحصائية لتقدير كفاءة النموذج المقترن تصميمه من خلال مقارنة كمية المياه المحسوبة نظرياً مع كمية المياه الفعلية، وهذه المؤشرات هي معامل ارتباط بيرسون (r)، جذر متوسط مربع الخطأ ($RMSE$)، جذر متوسط مربع الخطأ المعاير ($NRMSE$)، معامل كفاءة النموذج ناش سانكليف (EF)، ومؤشر يلموت (d) ويتم حسابها من خلال المعادلات [١٧، ١٨، ١٩، ٢٠، ٢١] :

$$r = \frac{\sum (O_i - \bar{O})(P_i - \bar{P})}{\sqrt{\sum (O_i - \bar{O})^2 \sum (P_i - \bar{P})^2}} \quad [17]$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum (P_i - O_i)^2}{n}} \quad [18]$$

$$NRMSE = \frac{1}{\bar{O}} \sqrt{\frac{\sum (P_i - O_i)^2}{n}} \times 100 \quad [19]$$

$$EF = 1 - \frac{\sum (P_i - O_i)^2}{\sum (O_i - \bar{O})^2} \quad [20]$$

$$d = 1 - \frac{\sum (P_i - O_i)^2}{\sum (|P_i - \bar{O}| + |O_i - \bar{O}|)^2} \quad [21]$$

حيث O_i القيمة المقاسة، P_i القيمة النظرية، \bar{P} و \bar{O} متوسط القيم النظرية والمقاسة على التالى، n عدد القيم.

النتائج والمناقشة:

تصميم اللاقط الشمسي المسطح:

يبين الجدول رقم (٢) نتائج الحسابات النظرية التصميمية لللاقط الشمسي المسطح، حيث بلغت كمية الطاقة الحرارية المفيدة اللازمة لرفع درجة الحرارة في المقطر الشمسي ٦٩٠ [W/m²، وقد بلغت مساحة اللاقط الشمسي المسطح التي تؤمن هذه الطاقة ٠٠٦٤ m² وعلى أساس هذه القيمة تم تصميم اللاقط الشمسي المسطح بأبعاد ٦٤×١٠٠ [cm]، باستخدام هيكل خارجي من الخشب مزود ببغاء زجاجي سماكته ٣ [mm]، كما تم استخدام صفيحة ماصة من الألミニوم سماكتها ٠٥ [mm] تم طلائها باللون الأسود غير اللامع، وتم تثبيت مبادل حراري من الألミニوم على الصفيحة، ثم عزلت جوانب اللاقط الشمسي بالستريپور كما تم عزله من الأسفل، ويوضح الشكل رقم (١) اللاقط الشمسي المسطح المستخدم في التجربة.

الجدول رقم (2) نتائج الحسابات النظرية التصميمية للاقط الشمسي المسطح

البيانات	الوحدة	القيمة المحسوبة
U_L	$W/m^2.C^\circ$	١٠٧.٨١
Q_u	W/m^2	٦٩٠
A	m^2	0.64



الشكل رقم (١) اللاقط الشمسي المسطح المستخدم في التجربة

الحسابات الحرارية ل المقطر الشمسي العمودي الانتشاري أحادي التأثير :

يبين الجدول رقم (٣) نتائج الحسابات النظرية التصميمية لكميات الطاقة الحرارية وفقاً للمعادلات السابقة، حيث بلغت كمية الطاقة الحرارية اللازمة للتبخير $656 [W/m^2]$ بينما بلغت كمية الطاقة الحرارية اللازمة للتكافف $656.13 [W/m^2]$ ، وعلى أساس هذه القيم تم تصميم مساحة صفيحة المكثف والمبخر وذلك من أجل حساب حجم المقطر الشمسي العمودي الانتشاري أحادي التأثير.

الجدول رقم (٣) نتائج الحسابات النظرية لكميات الطاقة الحرارية

البيانات	الوحدة	القيمة المحسوبة
q_{cd}	W/m^2	٢٠
L	KJ/Kg	2358.33
Z	m^2/s	1981×10^{-7}
D	$kg/m^2.s$	0.000278
q_e	W/m^2	٦٥٦
q_r	W/m^2	٨٠
q_{cn}	W/m^2	٦٥٦.١٣

تصميم صفيحة المبخر :

يبين الجدول رقم (٤) نتائج الحسابات النظرية لتصميم صفيحة المبخر، حيث نلاحظ أن أبعاد صفيحة المبخر D_e هي $0.45 \times 0.45 [m]$ وفقاً للطاقة المطلوبة للتبخير، لذلك تم اختيار مبادل حراري مصنوع من الألミニوم تم تثبيته بحيث يركب فوقه الأنبوب المتقوب الذي يمر خلاه الماء المالح المراد تقطيره بحيث ينساب على سطح المبادل الحراري، وقد تم حساب حجم الخزان

بناء على مساحة الصفيحة والكمية المطلوب تقطيرها، لذلك كانت أبعاد الخزان $90 \times 10 \times 5$ [Cm] مصنوع من الصاج المطلي من الداخل بمادة مقاومة للصدأ، وزود الخزان بفتحة تصريف للماء المالح.

الجدول رقم (٤) نتائج الحسابات النظرية لتصميم صفيحة المبخر

الرمز	الوحدة	القيمة
<i>M</i>	L/s	٠٠٠٠٢٨٥
<i>h_i</i>	W/m ² .C°	101.08
<i>h_o</i>	W/m ² .C°°	1922.2
<i>U</i>	W/m ² .C°	80.56
<i>D_e</i>	M	0.45
<i>A</i>	m ²	0.2٠

تصميم صفيحة المكثف:

يبين الجدول رقم (٥) نتائج الحسابات النظرية لتصميم صفيحة المكثف، حيث نلاحظ أن مساحة صفيحة المكثف المطلوبة هي 0.73 [m²] وأبعادها D_e هي 0.85×0.85 [m]، لذلك تم اختيار صفيحة مربعة الشكل مصنوعة من الألミニوم تم تثبيتها بحيث يغمر جزء منها في خزان الماء المتكاف، وقد تم حساب حجمه بما يتوافق مع مساحة الصفيحة المحسوبة والكمية المطلوب الحصول عليها، لذلك كانت أبعاد خزان المكثف $10 \times 15 \times 90$ [Cm]، وزُود الخزان بفتحة تصريف للماء المقطر.

الجدول رقم (٥) نتائج الحسابات النظرية لتصميم صفيحة المكثف

الرمز	الوحدة	القيمة
<i>D</i>	Kg/s.m ²	0.0002٧٨
<i>h_i</i>	W/m ² .C°	51.03
<i>h_o</i>	W/m ² .C°	45
<i>U</i>	W/m ² .C°	29.99
<i>D_c</i>	m	0.85
<i>A</i>	m ²	0.73

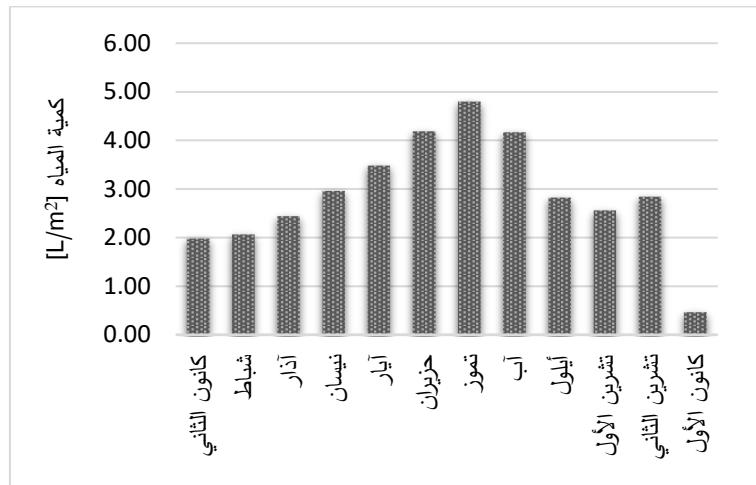
بلغ حجم المقطر الشمسي العمودي الانتشاري أحادي التأثير 0.25 [m³]، تم وصل صفيحة المبخر مع لاقط شمسي مسطح من خلال أنبوب نحاسي معزول بالصوف الزجاجي ويتحكم بعمله ضاغط، ثم تم تركيب هيكل خارجي من الخشب المعزول للمقطر، وقد ثبت المقطر على قاعدة خشبية، حيث يبين الشكل رقم (٢) النموذج التصميمي ل المقطر الشمسي العمودي الانتشاري أحادي التأثير.



الشكل رقم (٢) النموذج التصميمي ل المقطر الشمسي العمودي الانتشاري أحادي التأثير مع اللاقط الشمسي المسطح

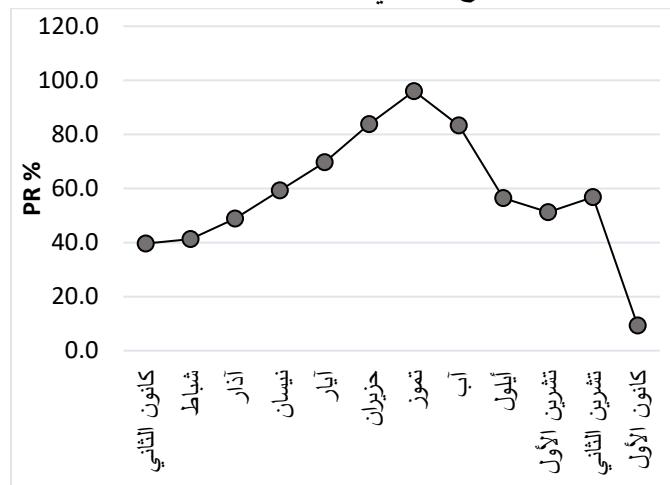
تقييم كفاءة المقطر الشمسي العمودي الانتشاري أحادي التأثير:

تم إجراء تجارب تقييم كفاءة المقطر خلال العامين 2020-2021، بحيث تبدأ كل تجربة من الساعة ٩:٠٠ صباحاً حتى ١٤:٠٠ ظهراً، وقد تم قياس كمية المياه المقطرة بوساطة اسطوانة مدرجة، ويبين الشكل رقم (٣) متوسط كمية المياه المقطرة المقاسة خلال التجارب، حيث نلاحظ أن متوسط أعلى كمية مياه كانت في شهر تموز ٤٠.٨ [L/m²] وهذا يعادل ٩٦٪ من القيمة التصميمية، وبلغ متوسط إنتاجيته خلال شهر حزيران وأب قيمة ٤٠.٢ [L/m²] وهذا يعادل ٨٤٪ من القيمة التصميمية، أما أقل قيمة لكمية المياه المقاسة كانت خلال شهر كانون الأول بمتوسط ٠٠.٤ [L/m²] وذلك نتيجة للعوامل المناخية غير المناسبة.



الشكل رقم (٣) متوسط كمية المياه المقطرة المقاسة

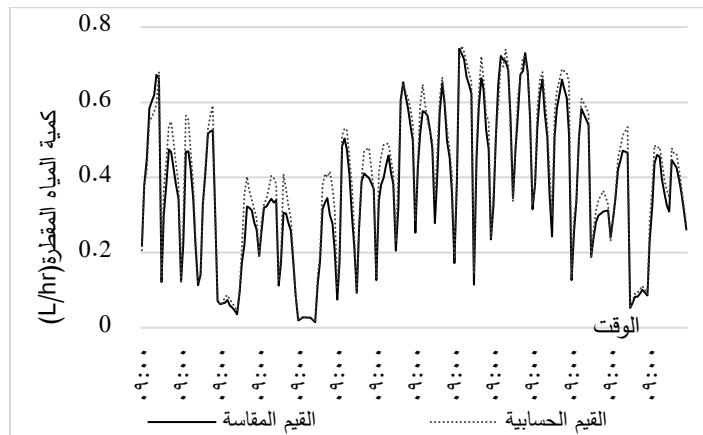
كما يظهر الشكل رقم (٤) نسبة الأداء الحراري للمقطر الشمسي العمودي الانتشاري أحادي التأثير خلال التجارب، حيث كان أفضل أداء للمقطر في شهر تموز بنسبة ٩٦٪، وخلال شهر حزيران وأب بنسبة ٨٣٪، كما بلغت أدنى قيمة خلال شهر كانون الأول بنسبة ٩٠.٣٪، وذلك تبعاً لاختلاف شدة الإشعاع الشمسي ودرجة حرارة الوسط المحيط.



الشكل رقم (٤) نسبة الأداء الحراري المقطر الشمسي العمودي الانتشاري أحادي التأثير

يبين الشكل رقم (٥) مقارنة بين كمية المياه المقطرة المقاسة مع كمية المياه المحسوبة نظرياً، حيث نلاحظ وجود تقارب كبير بين القيم، ويبين الجدول رقم (٦) نتائج التحليل الاحصائي لتقييم النموذج التصميمي مع النموذج التجريبي، حيث بلغ معامل ارتباط بيرسون r ومعامل ناش سانكليف EF ومعامل يلموت d قيمة قريبة من ١ وهذا يدل على توافق تام بين النموذجين، كما بلغ جذر متوسط مربع الخطأ $RMSE$ قيمة قريبة من الصفر ويشير ذلك لأداء جيد للنموذج التصميمي وقد بلغ جذر متوسط مربع الخطأ

المعايير $NRMSE$ قيمة تتراوح بين $0.10-0.20\%$ و يدل ذلك على تقييم جيد للنموذج، ومن خلال هذه النتائج نجد أنَّ محاكاة النموذج النظري التصميمي مع النموذج التجريبي عالية الدقة، لذلك فإنَّ الدراسة التجريبية تتوافق مع الدراسة النظرية التي قدمها البحث، وأنَّ المعطيات المفروضة التي تم تصميم المقطر على أساسها كانت مناسبة للحصول على كمية المياه المطلوبة، لذلك يعتبر حجم المقطر الشمسي العمودي الانتشاري أحادي التأثير المصمم لهذا البحث وسيلة مناسبة للحصول على كمية المياه المراد الحصول عليها.



الشكل رقم (٥) مقارنة بين كمية المياه المقطرة المقاومة مع كمية المياه المحسوبة

الجدول رقم (٦) نتائج التحليل الاحصائي لتقدير النموذج التصميمي مع النموذج التجريبي

المؤشر الاحصائي	القيمة (%)	التقييم
R	0.99	جيد جداً
RMSE	0.04	جيد جداً
NRMSE	11.5	جيد
EF	0.95	جيد جداً
D	0.99	جيد جداً

الاستنتاجات:

- إن المقطر الشمسي العمودي الانتشاري أحادي التأثير المصمم في هذا البحث وسيلة مناسبة وبسيطة التصميم للحصول على الماء المقطر.
- بلغت كفاءة المقطر الشمسي 97.8% في حال كانت الظروف المناخية مناسبة.
- إن اللاقط الشمسي المسطح وسيلة مناسبة لتأمين الطاقة الحرارية اللازمة لرفع درجة الحرارة في مبخر المقطر الشمسي العمودي الانتشاري أحادي التأثير.
- متابعة العمل التجريبي بتزويد المقطر بجهاز تسخين إضافي من أجل استمرارية العمل على مدار العام.

التمويل: هذا البحث ممول من جامعة دمشق وفق رقم التمويل (501100020595).

References:

- اكساد، (2002). الدليل المرجعي لتقانات بديلة لزيادة المياه العذبة في بلدان غرب آسيا العربية. التقرير النهائي، تقانات تحسين نوعية المياه: 193-170.
- جبور، الياس. (2001). الجفاف آثاره في الجمهورية العربية السورية وكيفية الحد منه. الزراعة والمياه بالمناطق الجافة في الوطن العربي، الزراعة والمياه بالمناطق الجافة في الوطن العربي، العدد 21، 28-42.
- حبيب، سومر. (2016). دراسة تجريبية لتحسين أداء المقطر الانتشاري الشمسي، رسالة ماجستير، كلية الهندسة الكهربائية والميكانيكية، جامعة تشرين. اللاذقية، سوريا.
- السيد، مصطفى، فتحي، قدرى، ومجاهد، إبراهيم. (1994). النماذج الحسابية للنظم الحرارية الشمسيّة. مركز النشر العلمي، جامعة الملك عبد العزيز. جدة. ص: 725.
- فارس، أمينة. (2016). أنظمة التسخين الشمسي: منشورات جامعة دمشق، كلية الهندسة الكهربائية والميكانيكية. ص: 295.
- فارس، أمينة. (2021). أنظمة التسخين الشمسي وتوليد الكهرباء. منشورات جامعة دمشق، كلية الهندسة الكهربائية والميكانيكية. ص: ٢٧٥.
- Huang, B.J, Chong, T.L and Chang, H.S (2014). Solar Distillation System Based on Multiple-Effect Diffusion Type Still. *Taiwan Journal of Sustainable Development of Energy, Water and Environment Systems*. 2, (1), 41-50.
- Legates, D and McCabe, G. (1999). Evaluating the Use of “Goodness-of-Fit” Measures in Hydrologic and Hydroclimatic Model Validation. *Water Resources Research*, 35 (1), 233-241. <https://doi.org/10.1029/1998WR900018>.
- Tanaka, H and Nakatake, Y. (2004). A Vertical Multiple-Effect Diffusion-Type Solar Still Coupled With a Heat-Pipe Solar Collector. *Desalination*, Vol. 160, P: 195-205.
- Tiwari G.N., Shyam A. T. (2016). *Handbook of Solar Energy Theory, Analysis and Applications*. p: 761.

