



تأثير انخفاض النفاذية على أداء المجمع الشمسي المستوي عند زيادة عدد الأغشية باستخدام برنامج "TRNSYS"

*وردة الساكيت^a و قاسم الزين^b

^a قسم الفيزياء، كلية العلوم، جامعة سبها، ليبيا

^b قسم هندسة الطاقات المتجددة، كلية الهندسة، جامعة سبها، ليبيا

الكلمات المفتاحية:

المجمع الشمسي المستوي
نفاذية الأغشية الشفافة
امتصاصية الأغشية الشفافة
انعكاسية الأغشية الشفافة
برنامج "TRNSYS"

الملخص

تنخفض نفاذية المجمع الشمسي المستوي عند زيادة عدد أغظيته، وتتغير معدلات أدائه وفقاً لذلك. تقدم هذه الورقة عملية التحقق من ذلك من خلال مجموعة من المقارنات التي تشمل كفاءة المجمع الشمسي ودرجة حرارة الماء الخارج وكميات الطاقة الحرارية المكتسبة والمفقودة من هذا المجمع عند تزويده بغطاء واحد وغطاءين وثلاثة أغشية شفافة. أجريت المحاكاة الرقمية على نظام بسيط للطاقة الشمسية لتسخين المياه المنزلية باستخدام برنامج "TRNSYS". أثبتت المحاكاة الديناميكية أن زيادة عدد الأغشية الشفافة أدى إلى انخفاض ملحوظ في الكفاءة البصرية لهذا المجمع بسبب انخفاض النفاذية. ورغم أن هذا الإجراء قد حد من إجمالي فقد الحرارة بالإشعاع والحمل والتوصيل الحراري. إلا أنه وبشكل عام، كان هناك اتجاه مستمر لانخفاض الكفاءة الكلية نتيجة لزيادة عدد الأغشية.

Effect of transmittance reduction on performance of flat-plate solar collector when increasing covers number using "TRNSYS" program

*Warda Alsakit^a, Gasseem Azzain^b

^a Sebha University, Faculty of Science, Physics Department

^b Sebha University, Faculty of Engineering, Renewable Energy Engineering Department

Keywords:

The flat-plate solar collector
Transmissivity of transparent covers
Absorptivity of transparent covers
Reflectivity of transparent covers
"trnsys" program.

ABSTRACT

The transmittance of a flat-plate solar collector decreases when the number of its covers are increased, and its performance rates change accordingly. This paper presents the process of verifying this through a set of comparisons that include the efficiency of the solar collector, the temperature of the outlet water, and the amounts of heat energy gained and lost from this collector when it is provided with one cover, two covers, and three transparent covers. The digital simulation was conducted on a simple solar domestic water heating system using TRNSYS software. Dynamic simulations demonstrated that increasing the number of transparent covers resulted in a significant decrease in the optical efficiency of this collector due to the reduction of transmittance. Although this procedure has limited the total heat loss by radiation, convection, and conduction. However, in general, there was a continuing trend of declining overall efficiency as a result of the increase in the number of covers.

المقدمة

الحرارية أو تخزينها لاستخدامها عند الطلب في فترات غياب الشمس [1,2,3,4]. هناك العديد من البحوث التي تناولت موضوع تسخين المياه بالطاقة الشمسية وسيتم ذكر بعض من تلك التي اهتمت بتغير الخواص البصرية لمجمعاتها، كالانعكاسية والامتصاصية والنفاذية والانبعاثية. فقد تم دراسة تأثير الأغشية الزجاجية المتعددة على كفاءة المجمع الحراري الشمسي، ووجد

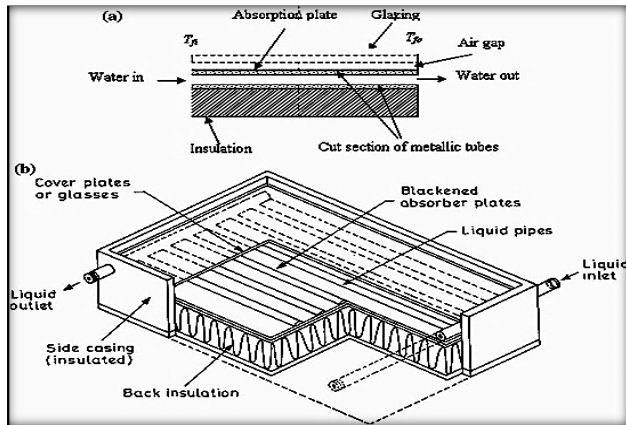
تحويل الطاقة الشمسية إلى طاقة حرارية مفيدة هي المهمة الوحيدة للمجمعات الشمسية الحرارية بجميع أنواعها. والمجمع الشمسي المستوي هو أحد هذه الأجهزة، وهو يمتص طاقة الإشعاع الشمسي الحراري ويحولها إلى طاقة حرارية تنقل إلى مائع ناقل للحرارة يكون غازي كالهواء أو سائلاً كالماء ومن ثم يجري استخدامها مباشرة لتغطية مختلف احتياجات الطاقة

*Corresponding author:

E-mail addresses: ward.alsakit@sebhau.edu.ly, (G. Azzain) gas.azzain@sebhau.edu.ly

Article History : Received 7 April 2023 - Received in revised form 23 July 2023 - Accepted 02 October 2023

للحرارة مصنوع من المعدن ومجموعة الأنابيب الناقلة للحرارة وطبقة سفلية من مادة عازلة للحرارة ويتم تجميع هذه المكونات في صندوق التجميع كما في الشكل (1) [11,10].

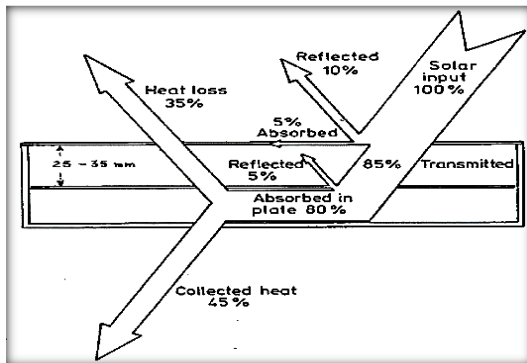


شكل 1: مكونات المجمع الشمسي المستوي [11]

السطح السفلي من لوحة الامتصاص والجوانب المحيطة به تكون معزولة جيداً لتقليل خسائر التوصيل والحمل الحراريين [11,10]، ويتصل الخزان الحراري بأنابيب المجمع الشمسي من الأعلى ومن الأسفل من أجل إعادة تدوير المياه لتسخينها. في كل المجمعات الشمسية الحرارية- باستثناء تلك المستخدمة في تسخين أحواض السباحة والتي تكون بدون أغطية - فإنه يتم استخدام الغطاء الشفاف لتقليل خسائر الحمل الحراري من لوحة الامتصاص بسبب الهواء الخارجي وذلك من خلال حبس طبقة من الهواء وجعلها راكدة بين لوحة الامتصاص والغطاء الشفاف، وأيضا الغطاء الشفاف يقلل من فقد الحرارة بالإشعاع من أعلى المجمع الشمسي لأن الزجاج شفاف لإشعاع الموجات القصيرة القادمة من الشمس ومعتم للإشعاع الحراري طويل الموجة المنبعث من لوحة الامتصاص بسبب درجة حرارتها مقارنة مع درجة الحرارة على سطح الشمس وهذا مشابه لتأثير الاحتباس الحراري [11,10] أو ما يسمى (بظاهرة البيوت الزجاجية).

1.2 التحليل الحراري للمجمع الشمسي المستوي:

1. عندما يسقط الإشعاع الشمسي على سطح الغطاء الشفاف، فإن جزءاً من هذا الإشعاع ينعكس اعتماداً على درجة صقل السطح، أما الباقي فيُمتص جزءاً منه وينفذ جزء آخر على هيئة شعاع مستمر كما في الشكل (2).



شكل 2: تدفق الطاقة الحرارية من خلال المجمع الشمسي المستوي [12]

أن الزجاج المزدوج والثلاثي والرباعي، يقلل من كمية الحرارة التي يمتصها الماء بسبب تغير وانخفاض النفاذية العامة للمجمع الشمسي، حيث أدى التزجيج المزدوج إلى تقليل كفاءة المجمع الشمسي بنسبة 15%، وللزجاج الثلاثي انخفضت هذه الكفاءة بنسبة 29.95%، وللزجاج الرباعي انخفضت هذه الكفاءة بنسبة 45.96% [5].

تم تقديم وصف تفصيلي لمجمع شمسي مستوي ولتحسين الأداء الحراري للوصول إلى الأداء الأمثل عبر تقليل الخسائر من ألواح الامتصاص بواسطة التحكم في نوع التزجيج الذي يمكن أن يكون من طبقة واحدة أو أكثر، ويمكن أيضاً أن تكون مصنوعة من مواد أخرى تتصرف بشفافية تجاه إشعاع الموجة القصيرة ولكنها تمنع إشعاع الموجة الطويلة، لأن مهمة التزجيج تقليل فقد الحمل الحراري وكذلك تقليل خسائر الإشعاع الشمسي الحراري المنبعث. يعتبر الزجاج منخفض الحديد مناسباً لمواد التزجيج بسبب نفاذيته للإشعاع الشمسي التي تتراوح بين 0.85 و 0.87 [6].

وقد تم دراسة تأثير الخصائص البصرية على أداء مجمعات الطاقة الشمسية المستوية، وأظهرت النتائج أن الخواص البصرية للمواد لها تأثير كبير على أداء هذه المجمعات الشمسية، حيث تغيير الخصائص البصرية للمكونات المختلفة لا يغير بالضرورة الكفاءة من خلال علاقة واحد إلى واحد لأن التغيير في أي خاصية بصرية يغير توازن الحمل الحراري في جميع أنحاء النظام مما يتسبب في اختلاف درجات حرارة الغطاء الشفاف، وتغير فقد الحرارة بالحمل الحراري، وعند اختيار المواد عالية الأداء تحدث حالة تناقض النتائج المتوقعة. على سبيل المثال، حيث زيادة انعكاس الأشعة تحت الحمراء لأغطية المجمع مع طلاء انتقائي على لوح الامتصاص يغير الكفاءة بشكل طفيف، وتم توضيح أهمية النفاذية الشمسية للغطاء الشفاف وتأثيرها على كفاءة المجمع الشمسي المستوي حيث يحتوي الزجاج منخفض الحديد وبعض المواد البلاستيكية على نفاذية شمسية تصل إلى 0.85. تؤدي الطلاءات المضادة للانعكاس في مثل هذه الأنظمة إلى زيادة النفاذية، ومن خلال النتائج تبين أن الكفاءة تزداد خطياً مع زيادة النفاذية [7] والعكس صحيح.

إن الهدف من هذه الورقة هو دراسة تأثير زيادة عدد الاغطية الشفافة للمجمع الشمسي المستوي على درجة حرارة خروج ودخول الماء من وإلى المجمع الشمسي وكمية الطاقة الحرارية المكتسبة والمفقودة والكفاءة الكلية لهذا المجمع.

حيث أن الإشعاع الشمسي النافذ من الغطاء الشفاف يصل ويصطدم بسطح اللوح الماص الموجود داخل المجمع الشمسي، ومن خلال عمليتي التوصيل والحمل الحراريين سيتم نقل الحرارة من لوح الامتصاص إلى الماء ليتم تسخينه، وقد تمت محاكاة ذلك من خلال منظومة تسخين المياه بالطاقة الشمسية المتوفرة في برنامج "TRNSYS" الذي هو بيئة للمحاكاة الديناميكية لعمل نطاق واسع من منظومات الطاقة الحرارية [9,8]. وباستخدام هذه المنظومة تم التحقق من مصداقية العمليات الحرارية ومطابقتها للقوانين الفيزيائية المعروفة لعمليات انتقال الحرارة بالإشعاع والحمل والتوصيل الحراريين.

2. وصف المجمع الشمسي المستوي:

يتكون المجمع الشمسي المستوي من غطاء زجاجي شفاف ولوح معتم ماص

وبالنسبة لغطاءين شفافين تُعطى الانعكاسية الفعالة ($\bar{\rho}_{II}$) بالمعادلة (5):

$$\bar{\rho}_{II} = \bar{\rho}_I + \frac{\rho_I \tau_I}{2} \quad (5)$$

وتُعطى النفاذية الفعالة لغطاءين شفافين ($\bar{\tau}_{II}$) بالمعادلة (6):

$$\bar{\tau}_{II} = \frac{\bar{\tau}_I^2}{1 - \bar{\rho}_I^2} \quad (6)$$

وتُعطى الامتصاصية الفعالة لغطاءين شفافين ($\bar{\alpha}_{II}$) بالمعادلة (7):

$$\bar{\alpha}_{II} = 1 - \bar{\tau}_{II} - \bar{\rho}_{II} \quad (7)$$

وبالنسبة لثلاثة أغطية شفافة تُعطى الانعكاسية الفعالة ($\bar{\rho}_{III}$)

بالمعادلة (8):

$$\bar{\rho}_{III} = \bar{\rho}_I + \frac{\bar{\rho}_{II} \bar{\tau}_I^2}{1 - \bar{\rho}_I \bar{\rho}_{II}} \quad (8)$$

وتُعطى النفاذية الفعالة لثلاثة أغطية شفافة ($\bar{\tau}_{III}$) بالمعادلة (9):

$$\bar{\tau}_{III} = \frac{\bar{\tau}_I \bar{\tau}_{II}}{1 - \bar{\rho}_I \bar{\rho}_{II}} \quad (9)$$

وتُعطى الامتصاصية الفعالة لثلاثة أغطية شفافة ($\bar{\alpha}_{III}$) بالمعادلة (10):

$$\bar{\alpha}_{III} = 1 - \bar{\tau}_{III} - \bar{\rho}_{III} \quad (10)$$

2. الكفاءة البصرية للمجمع الشمسي: هي أقصى كفاءة للمجمع الشمسي

[15,14,13,10]، وتُعطى بالمعادلة (11):

$$\begin{aligned} (\tau\alpha)_n &= \alpha\tau \sum_{n=0}^{\infty} [(1-\alpha)\rho_D]^n \\ &= \frac{\tau\alpha}{1 - (1-\alpha)\rho_D} \\ &= (\tau\alpha)_{eff} \end{aligned} \quad (11)$$

3. مقدار ما تمتصه الصفيحة الماصة من الطاقة الشمسية الساقطة على

سطح المجمع الشمسي [15,14,13,10]، تعطى بالمعادلة (12):

$$Q_{abs} = A_c I_T (\tau\alpha)_{eff} \quad (12)$$

4. الطاقة الحرارية المكتسبة من المجمع الشمسي [15,14,13,12,10]، تعطى

بالمعادلة (13) و(14):

$$Q_u = \dot{m} c_p (T_o - T_i) \quad (13)$$

$$Q_u = A_c [I_T (\tau\alpha)_{eff} - U_L (T_i - T_a)] \quad (14)$$

5. الطاقة الحرارية المفقودة من المجمع الشمسي [15,14,13,12,10]، تعطى

بالمعادلة (15):

وذلك اعتماداً على التكوين البلوري لمادة الغطاء. جزءاً من الإشعاع الشمسي النافذ من الغطاء الشفاف والواصل لسطح اللوح الماص ينعكس عن اللوح الماص عائداً إلى الغطاء الشفاف وجزءاً منه ينفذ من خلال الغطاء عائداً باتجاه السماء والباقي يمتصه اللوح الماص، وتستمر وتكرر هذه العمليات بشكل متواصل طوال فترة السطوع الشمسي. ومن خلال تكامل عمليتي التوصيل والحمل الحراريين بين اللوح الماص والأنابيب يتم تسخين الماء المار داخل أنابيب المجمع الشمسي. ووفقاً للقانون الأول لديناميك الحرارة، إذا لم يتغير الطول الموجي للإشعاع الشمسي، فإن مبدأ حفظ الطاقة يحتم أن يُمتص الإشعاع الشمسي الساقط أو ينعكس أو ينفذ [10,1]، كما في المعادلة (1):

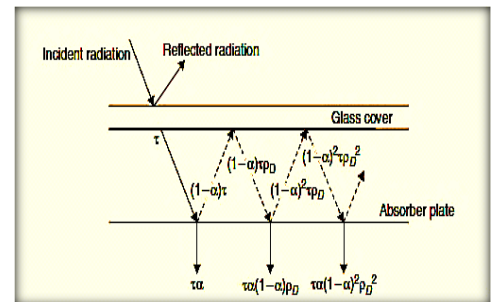
$$\rho_\lambda + \alpha_\lambda + \tau_\lambda = 1 \quad (1)$$

حيث:

الامتصاصية (α_λ): هي نسبة الممتص من طاقة الإشعاع الشمسي الساقط بطول موجي (λ).

النفاذية (τ_λ): هي نسبة النافذ من طاقة الإشعاع الشمسي الساقط بطول موجي (λ).

الانعكاسية (ρ_λ): هي نسبة المنعكس من طاقة الإشعاع الشمسي الساقط بطول موجي (λ).



شكل 3: انتقال الإشعاع الشمسي بين الغطاء الزجاجي ولوح

الامتصاص [15,14,13,10]

يبين الشكل (3) تتبع لحزمة أشعة شمسية تسقط على سطح غطاء زجاجي مفرد، وبسبب تعاقب الانعكاسات الداخلية فإن مركبات الأشعة المنعكسة والنفاذة والممتصة من اللوح الماص، تُعطى بمجموع هذه الانعكاسات المتوالية اللانهائية [15,14,13,10].

وبالنسبة لغطاء واحد شفاف الانعكاسية الفعالة ($\bar{\rho}_I$) (بما في ذلك الانعكاسات من السطح الأمامي والخلفي والامتصاص الداخلي)، تُعطى بالمعادلة (2):

$$\bar{\rho}_I = \rho \left[1 + \frac{(1-\rho)^2 \tau^2}{1 - \rho^2 \tau^2} \right] \quad (2)$$

وتُعطى النفاذية الفعالة لغطاء واحد شفاف ($\bar{\tau}_I$) بالمعادلة (3):

$$\bar{\tau}_I = \tau \left(\frac{1-\rho}{1+\rho} \right) \left(\frac{1-\rho^2}{1-\rho^2 \tau^2} \right) \quad (3)$$

وتُعطى الامتصاصية الفعالة لغطاء واحد شفاف ($\bar{\alpha}_I$) بالمعادلة (4):

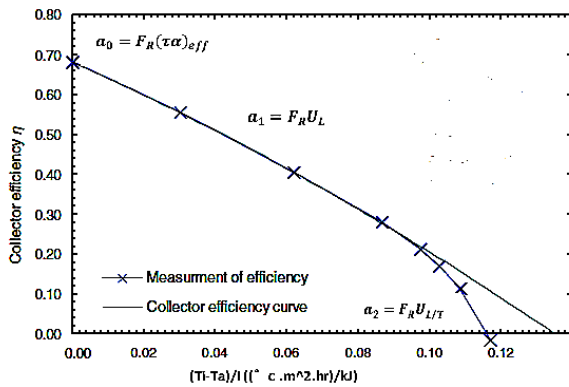
$$\bar{\alpha}_I = 1 - \bar{\tau}_I - \bar{\rho}_I \quad (4)$$

ويتم تحديد الكفاءة الكلية للمجمع الشمسي من خلال ثلاثة معلمات وهي: (a_0, a_1, a_2) كما في الشكل (4) الذي يبين التطابق الكبير بين النتائج العملية ونتائج المحاكاة لقيم الكفاءة الكلية المتوافقة مع التغيرات الحرارية عبر المجمع الشمسي، وتعطى بالمعادلات (22)، (23)، (24):

$$a_0 = F_R(\tau\alpha)_n \quad (22)$$

$$a_1 = F_R U_L \quad (23)$$

$$a_2 = F_R U_L \quad (24)$$



شكل 4: منحى الكفاءة الكلية لمجمع شمسي مستوي، (التجريبية العملية والرقمية) [16]

7. تم حساب مؤشرات عامة توضح تأثير انتقال الحرارة بين المجمع الشمسي والهواء المحيط على عمل وكفاءة المنظومة كما هو موضح بالمعادلات (25)، (26)، (27) و(28):

1. الكفاءة الكلية للمجمع الشمسي: وهي نسبة الطاقة المكتسبة من المجمع الشمسي إلى الطاقة الشمسية الكلية الساقطة على سطح هذا المجمع وتعطى بالمعادلة (25):

$$Efficiency = \frac{Q_{usUM}}{Q_{insUM}} \quad (25)$$

2. العجز في الكفاءة الكلية للمجمع الشمسي: هو مقدار النقص في كفاءة المجمع الشمسي ويعطى بالمعادلتين (26) و(27):

$$Deficiency = 1 - Efficiency \quad (26)$$

بالتعويض بالمعادلة (25) في المعادلة (26) نحصل على المعادلة (27):

$$Deficiency = 1 - (\tau\alpha) + \left(\frac{Q_{lossSUM}}{Q_{insSUM}}\right) \quad (27)$$

3. مقياس نقص الجدوى للمجمع الشمسي: هو نسبة الطاقة المفقودة من المجمع الشمسي إلى الطاقة المكتسبة منه ويعطى بالمعادلة (28):

$$Inefficiency = \frac{Q_{lossSUM}}{Q_{usSUM}} \quad (28)$$

3. طريقة البحث:

اعتمدت إجراءات البحث على العمل ضمن بيئة برنامج محاكاة المنظومات العابرة "TRNSYS". وللعلم فإنه لم يكن من المعتاد في البداية أن يكون

$$Q_{loss} = U_L A_c (T_i - T_a) = Q_{abs} - Q_u \quad (15)$$

6. الكفاءة الكلية للمجمع الشمسي (η) هي نسبة كسب الطاقة المفيدة (\dot{Q}_u) إلى الطاقة الشمسية الكلية الساقطة على المجمع الشمسي ($A_c I_T$) [15,14,13,10]، ويمكن الحصول على الكفاءة الكلية للمجمع الشمسي [13] من المعادلة (16):

$$\eta = \frac{\dot{Q}_u}{A_c I_T} = (\tau\alpha)_{eff} - \frac{\bar{U}_L A_e (\bar{T}_e - T_a)}{I_T A_c} - \frac{\epsilon_{eff} \sigma A_e (\bar{T}_e^4 - T_a^4)}{I_T A_c} \quad (16)$$

ولمجمع شمسي مستوي نسبة تركيزه للإشعاع الشمسي $C_g = \frac{A_c}{A_e}$ تعادل 1 تقريبا، يمكن مقارنة الفقد الحراري بالإشعاع من الصفحة الماصة عند درجة حرارة (T_i) على النحو التالي:

$$U_{L/T} \frac{(T_i - T_a)^2}{I_T} \cong \epsilon_{eff} \sigma A_e \frac{(\bar{T}_e^4 - T_a^4)}{I_T A_c}$$

يمكن الحصول على معادلة الكفاءة الكلية للمجمع الشمسي (η) المكافئة للمعادلة (16) من معادلة Hottel-Whillier وتحويلها [8]، لتصبح في صيغة المعادلة (17):

$$\eta = \frac{Q_u}{A_c I_T} = F_R (\tau\alpha)_n - F_R U_L \frac{(T_i - T_a)}{I_T} - F_R U_{L/T} \frac{(T_i - T_a)^2}{I_T} \quad (17)$$

يعرف F_R بأنه معامل الازالة الحرارية، وهو مقياس نسبة الطاقة الحرارية الفعلية التي يستطيع المائع الناقل للحرارة إزالتها من الطاقة الحرارية المتوفرة له من الصفحة الماصة وفقا لمعدل تدفقه فيما لو افترض حدوث هذه العملية والصفحة بكاملها عند درجة حرارة المائع الداخل إليها (T_i) [13]، لمجمع شمسي مستوي (غير تركيزي) فإن F_R تعطى بالمعادلة (18):

$$F_R = \frac{\left[(\tau\alpha)_{eff} - \bar{U}_L \left(\frac{\bar{T}_e - T_a}{I_T} \right) \right]}{\left[(\tau\alpha)_{eff} - \bar{U}_L \left(\frac{T_i - T_a}{I_T} \right) \right]} \quad (18)$$

U_L : معامل الفقد الحراري الكلي بالتوصيل والحمل الحراريين ويعطى بالمعادلة (19):

$$U_L = \frac{Q_{loss}}{A_c (T_i - T_a)} \quad (19)$$

$U_{L/T}$: مكافئ معامل الفقد الحراري بالإشعاع ويعطى بالمعادلة (20):

$$U_{L/T} = \epsilon_{eff} \sigma (T_i^2 + T_a^2) \quad (20)$$

وبإعادة كتابة المعادلة (17) نحصل على المعادلة (21):

$$\eta = a_0 - a_1 \frac{\Delta T}{I_T} - a_2 \frac{(\Delta T)^2}{I_T} \quad (21)$$

بالمجمع الشمسي المستوي تتغير وفقاً لمحاكاة تغيير عدد الأغشية الشفافة و قد تم إدخالها في منظومة "TRNSYS"، كما في الجدول (3).

جدول 1: قيم المدخلات للمجمع الشمسي المستوي [17]

وحدة القياس	القيمة	المدخلات
°C	20	درجة حرارة دخول المائع بداية التشغيل (T_i)
kg/h	126	أقصى معدل تدفق (\dot{m})
°C	20	درجة حرارة الجو المحيط (T_a) متغيرة
kJ/h.m ²	0	معدل الإشعاع الشمسي الساقط (I_T)
kJ/h.m ²	0	إجمالي معدل الإشعاع الشمسي الأفقي (H)
kJ/h.m ²	0	معدل الإشعاع الشمسي المنتشر الأفقي (H_D)
-	0.2	الانعكاسية الأرضية (ρ_G)
Degrees	27	زاوية السقوط (i_p)
Degrees	27	زاوية ميل المجمع (β)

جدول 2: المعطيات التي تم إدخالها لمنظومة "TRNSYS" [17]

وحدة القياس	القيمة	المعطيات
m ²	5.04	مساحة المجمع (A_c)
kJ/kg.K	4.19	سعة حرارة السوائل النوعية (C_p)
kg/h.m ²	25	معدل التدفق المختبر (\dot{m})
-	95%	امتصاصية الصفيحة (α)
-	5%	انبعاثية الصفيحة (ϵ)
-	1.526	معامل الانكسار (n)
-	0.0026	معامل الاخماد (Extinction)

جدول 3: المعطيات المحسوبة التي تم إدخالها لمنظومة

"TRNSYS" [17]

المعطيات المحسوبة (وحدة القياس)	غطاء واحد	غطاين	ثلاثة أغشية
متوسط النفاذية ($\bar{\tau}$)	91%	83.5%	77.1%
الكفاءة البصرية ($\tau\alpha$)	86.9%	80%	74.1%
معامل الفقد الحراري الكلي (U_L) kJ/h.m ² .K	15.264	13.264	11.764
تقاطع الكفاءة البصرية مع المحور Y (a_0)	0.801	0.714	0.646
ميل منحني الكفاءة (a_1) kJ/h.m ² .K	11.477	9.577	8.258
تقاطع منحني الكفاءة مع المحور X (a_2) kJ/h.m ² .K ²	0.054	0.048	0.043

4. النتائج:

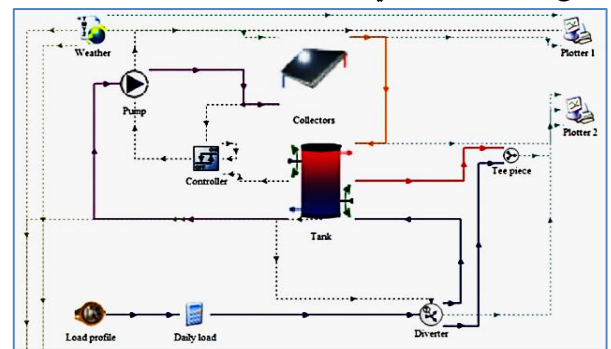
من خلال المحاكاة "TRNSYS" تم تصميم منظومة تسخين المياه بالطاقة الشمسية وادخال البيانات للمجمع الشمسي المستوي وفقاً للجدولين (1) و(2). أما البيانات التي تتغير وفقاً لتغير عدد الأغشية الشفافة فهي موضحة في الجدول (3) [17]. تم تشغيل المنظومة لمدة سنة كاملة نموذجية وسجلت النتائج وفقاً لتغير النفاذية مع تغيير عدد الأغشية الشفافة. تم رسم النتائج المتغيرة مع الزمن ليومين اختياريين، اليوم الأعلى درجة حرارة في السنة واليوم الأقل درجة حرارة في السنة وأيضاً تم رسم النتائج مقابل الزمن لسنة نموذجية وهذه النتائج كالتالي: (درجة حرارة دخول وخروج الماء إلى ومن المجمع الشمسي (T_i), (T_{out}), وكمية الطاقة الحرارية المكتسبة (Q_u), وكمية الطاقة الحرارية المفقودة (Q_{loss}), ومتوسط معامل الفقد الحراري الكلي بالتوصيل والحمل الحراريين (\bar{U}_L), ومكافئ متوسط معامل الفقد

برنامج "TRNSYS" برنامجاً سهل الاستخدام بسبب طابعه الهندسي التخصصي، فقد تم تطويره في الأصل للاستخدام في التطبيقات الهندسية للطاقة الشمسية وتكييف المباني. ولكن مع توالي الإصدارات فقد تم تبسيط طريقة التعامل مع المواصفات الفيزيائية لعناصره المختلفة من خلال عمله في بيئة ذات واجهات رسومية تسمى استوديو المحاكاة، في هذه البيئة يتم سحب رموز المكونات الجاهزة من المكتبة الرقمية وإسقاطها وتوصيلها معاً على سطح العمل بطريقة مشابهة للطريقة التي تربط بها الأسلاك والوصلات والأنابيب كما في النظم الحقيقية [8,9,10]، وكما في الشكل (5).

برنامج "TRNSYS" يحتوي على مكتبة يوجد بها عدد هائل من العناصر التي يمكن استخدامها في العديد من النظم الحرارية ومنها على سبيل المثال لا حصر لمنظومات توليد الحرارة أو الكهرباء من الطاقة الشمسية. ونظم المباني الحرارية وكفاءة الطاقة، في هذا البحث سوف نركز على تغير المعايير الخاصة بمنظومة تسخين المياه بواسطة مجمع شمسي مستوي كالموضحة في الشكل (4) والمبينة معطياتها في الجدول (3) وهي: متوسط النفاذية ($\bar{\tau}$) والتي تم حسابها وفقاً للمعادلات (3)، (6) و(9)، والكفاءة البصرية (η_0) والتي تم حسابها وفقاً للمعادلة (11)، ومعامل الفقد الحراري الكلي (U_L) والذي تم حسابه وفقاً للمعادلة (19)، ومعامل اعتراض الكفاءة (تقاطع الكفاءة البصرية مع المحور Y) (a_0) والذي تم حسابه وفقاً للمعادلة (22)، ومعامل الميل لمماس منحني الكفاءة (a_1) والذي تم حسابه وفقاً للمعادلة (23)، ومعامل انحناء الكفاءة (تقاطع انحناء الكفاءة مع المحور X) (a_2) والذي تم حسابه وفقاً للمعادلة (24)، والتي تعكس التأثير المباشر لتغيير عدد الاغشية الشفافة للمجمع الشمسي.

1.3 اجراءات البحث:

تم ربط العناصر المكونة لمنظومة تسخين المياه بالطاقة الشمسية داخل برنامج "TRNSYS"، كما في الشكل (5).



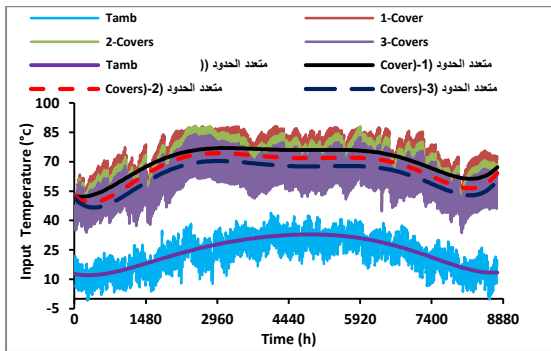
شكل 5: نظام تسخين المياه بالطاقة الشمسية باستخدام "TRNSYS"

تتكون عناصر المنظومة من نموذج لقراءة ملف المناخ (weather) وفي هذه الورقة تم قراءة ملف مناخ مدينة سها، ومجمع شمسي مستوي، وخزان حراري لتخزين الماء، ومضخة لتدوير المائع الناقل للحرارة، بالإضافة إلى ذلك تم ربط عناصر أخرى لتزويد المنظومة بالبيانات واستخلاص وعرض النتائج.

مدخلات بداية تشغيل المنظومة موضحة في الجدول (1). المعايير الخاصة بالمجمع الشمسي المستوي [17]، وقد تم إدخالها في منظومة "TRNSYS"، كما في الجدول (2). وهناك معايير أخرى خاصة

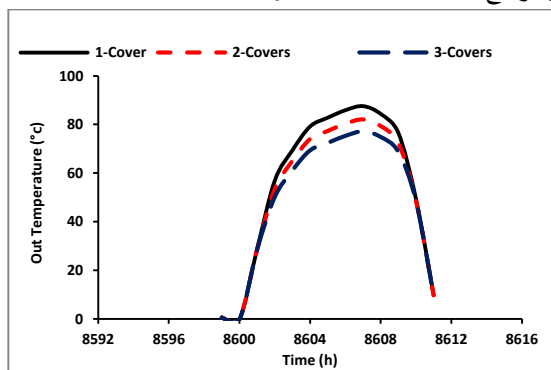
الشفافة

الحراري بالإشعاع $(\bar{U}_{L/T})$ ، والكفاءة الكلية (η)، والعجز في الكفاءة ((Inefficiency)، ومقياس نقص الجدوى للمجمع الشمسي ((Defficiency)، كما هو موضح بالأشكال من (6) إلى (45).

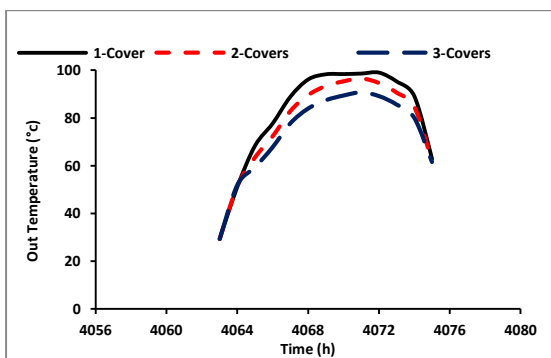


شكل 9: معدلات درجة حرارة الجو وتغير درجة حرارة دخول الماء إلى المجمع الشمسي لسنة نموذجية مع تغيير عدد الأغشية الشفافة

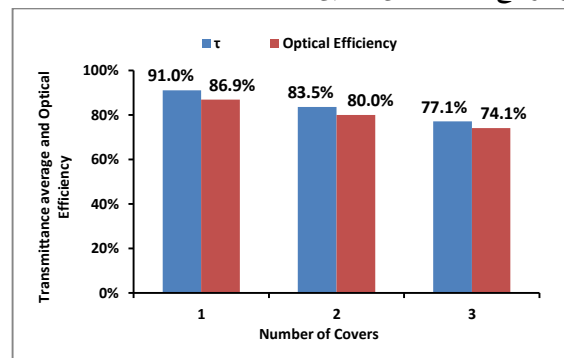
يلاحظ من الأشكال (7)، (8) و(9) أن زيادة عدد الأغشية الشفافة أدى إلى تقليل معدلات درجة حرارة دخول الماء إلى المجمع الشمسي. سجلت درجات حرارة خروج الماء من المجمع الشمسي في حالة استخدام غطاء واحد أو غطائين أو ثلاثة أغشية شفافة وتم رسم النتائج مقابل الزمن كما هو موضح بالأشكال (10)، (11) و(12).



شكل 10: تغير درجة حرارة خروج الماء من المجمع الشمسي عند اليوم الأقل درجة حرارة أثناء فترة التشغيل مع تغيير عدد الأغشية الشفافة



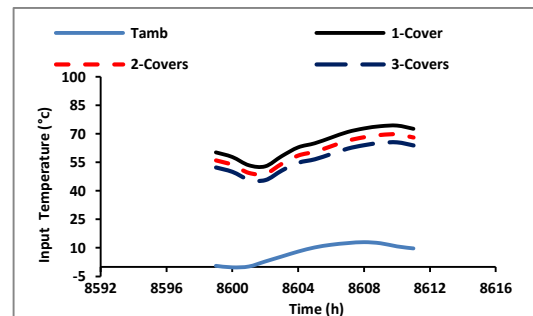
شكل 11: تغير درجة حرارة خروج الماء من المجمع الشمسي عند اليوم الأعلى درجة حرارة أثناء فترة التشغيل مع تغيير عدد الأغشية الشفافة



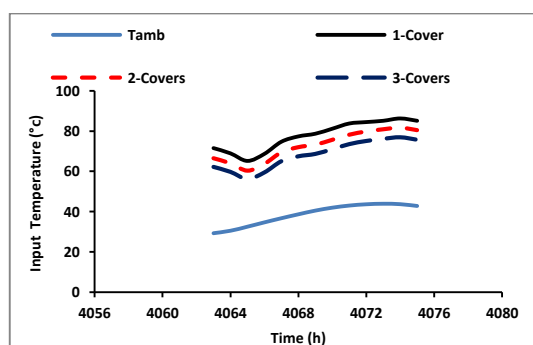
شكل 6: تغير متوسط النفاذية والكفاءة البصرية للمجمع الشمسي مع تغيير عدد الأغشية الشفافة

1. وفقا للمعادلات (3)، (6) و(9) تم حساب متوسط النفاذية $(\bar{\tau})$ ووفقا للمعادلة (11) تم حساب الكفاءة البصرية للمجمع الشمسي في حالة استخدام غطاء واحد أو غطائين أو ثلاثة أغشية شفافة، ووفقا للجدول (3) تم رسم متوسط النفاذية والكفاءة البصرية كما هو موضح بالشكل (6)، حيث يلاحظ زيادة عدد الأغشية الشفافة أدى إلى انخفاض متوسط النفاذية والكفاءة البصرية للمجمع.

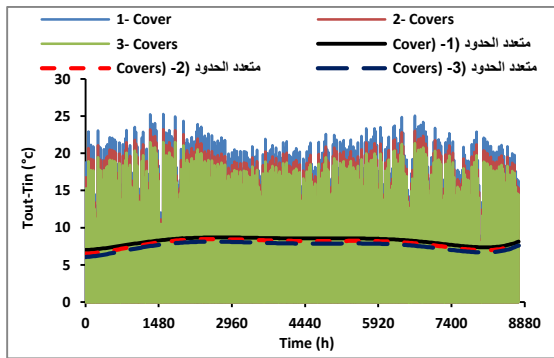
2. سجلت درجات حرارة دخول الماء إلى المجمع الشمسي عند استخدام غطاء واحد أو غطائين أو ثلاثة أغشية شفافة، ورسمت النتائج مقابل الزمن كما في الأشكال (7)، (8) و(9).



شكل 7: درجة حرارة الجو وتغير درجة حرارة دخول الماء إلى المجمع الشمسي عند اليوم الأقل درجة حرارة أثناء فترة التشغيل مع تغيير عدد الأغشية الشفافة

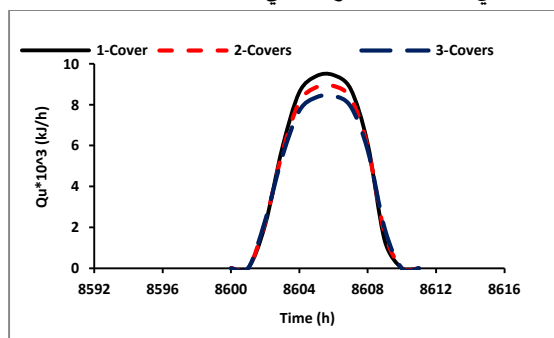


شكل 8: درجة حرارة الجو وتغير درجة حرارة دخول الماء إلى المجمع الشمسي عند اليوم الأعلى درجة حرارة أثناء فترة التشغيل مع تغيير عدد الأغشية الشفافة

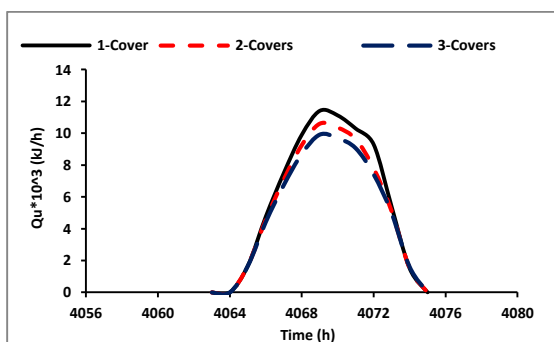


شكل 15: معدلات الفرق بين درجة حرارة خروج ودخول الماء من وإلى المجمع الشمسي لسنة نموذجية مع تغيير عدد الأغشية الشفافة

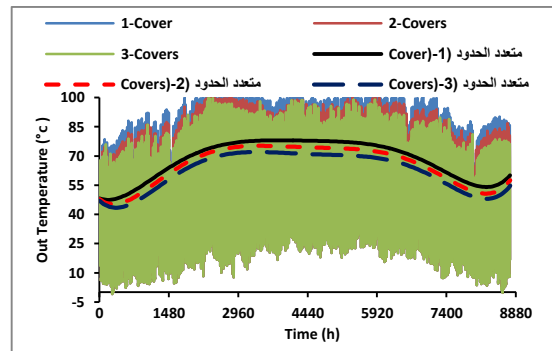
يلاحظ من الأشكال (13)، (14) و(15) أن زيادة عدد الأغشية أدى إلى تناقص معدلات الفرق في درجة حرارة خروج ودخول الماء من وإلى المجمع الشمسي. 5. وفقا للمعادلتين (13) و(14) وبالمحاكاة تم حساب كمية الطاقة الحرارية المكتسبة من المجمع الشمسي في حالة استخدام غطاء واحد أو غطائين أو ثلاثة أغشية شفافة وتم رسم النتائج مقابل الزمن كما هو موضح بالأشكال (16)، (17) و(18). وكميات الطاقة الحرارية المستفادة المتراكمة من المجمع الشمسي خلال السنة موضحة في الشكل (19).



شكل 16: كمية الطاقة الحرارية المكتسبة من المجمع الشمسي عند اليوم الأقل درجة حرارة أثناء فترة التشغيل مع تغيير عدد الأغشية الشفافة

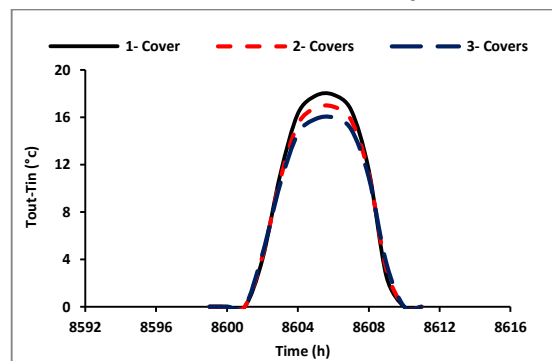


شكل 17: كمية الطاقة الحرارية المكتسبة من المجمع الشمسي عند اليوم الأعلى درجة حرارة أثناء فترة التشغيل مع تغيير عدد الأغشية الشفافة

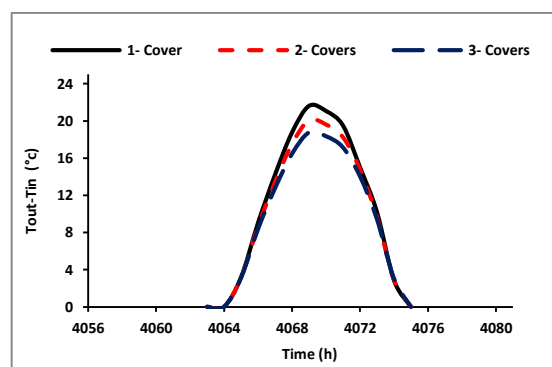


شكل 12: معدلات تغير درجة حرارة خروج الماء من المجمع الشمسي لسنة نموذجية مع تغيير عدد الأغشية الشفافة

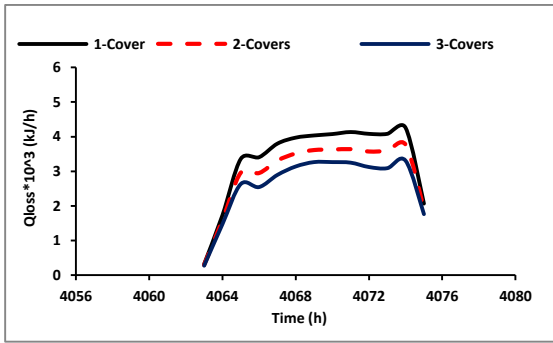
يلاحظ من الأشكال (10)، (11) و(12) أن زيادة عدد الأغشية الشفافة أدى إلى تقليل معدلات درجة حرارة الماء الخارج من المجمع الشمسي، وهذا مؤشر على نقص الحرارة المكتسبة. 4. وبتجوير المعادلة (13) والمحاكاة تم حساب الفرق بين درجة حرارة خروج ودخول الماء من وإلى المجمع الشمسي في حالة استخدام غطاء واحد أو غطائين أو ثلاثة أغشية شفافة وتم رسم النتائج مقابل الزمن كما هو موضح بالأشكال (13)، (14) و(15).



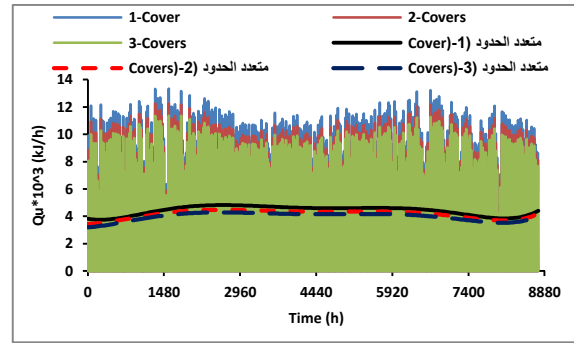
شكل 13: الفرق بين درجة حرارة خروج ودخول الماء من وإلى المجمع الشمسي عند اليوم الأقل درجة حرارة أثناء فترة التشغيل مع تغيير عدد الأغشية الشفافة



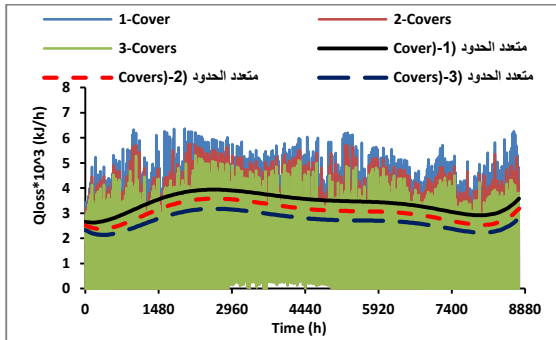
شكل 14: الفرق بين درجة حرارة خروج ودخول الماء من وإلى المجمع الشمسي عند اليوم الأعلى درجة حرارة أثناء فترة التشغيل مع تغيير عدد الأغشية الشفافة



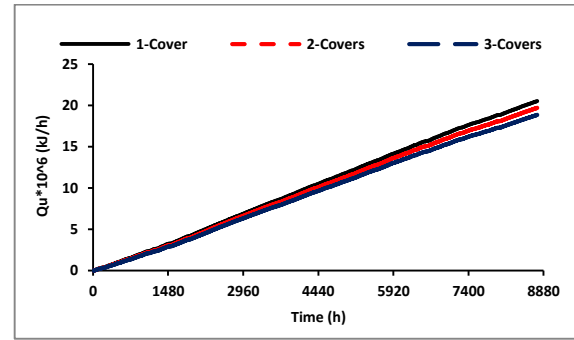
شكل 21: كمية الطاقة الحرارية المفقودة من المجمع الشمسي عند اليوم الأعلى درجة حرارة أثناء فترة التشغيل مع تغيير عدد الأغطية الشفافة



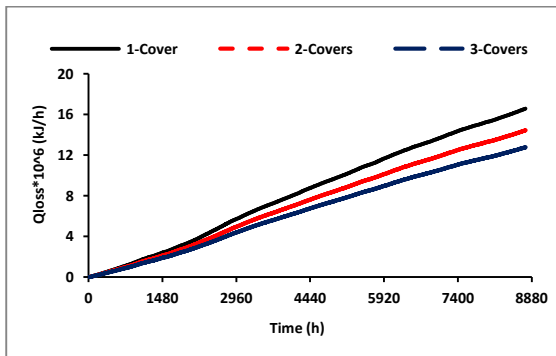
شكل 18: معدلات كمية الطاقة الحرارية المكتسبة من المجمع الشمسي لسنة نموذجية مع تغيير عدد الأغطية الشفافة



شكل 22: معدلات كمية الطاقة الحرارية المفقودة من المجمع الشمسي لسنة نموذجية مع تغيير عدد الأغطية الشفافة

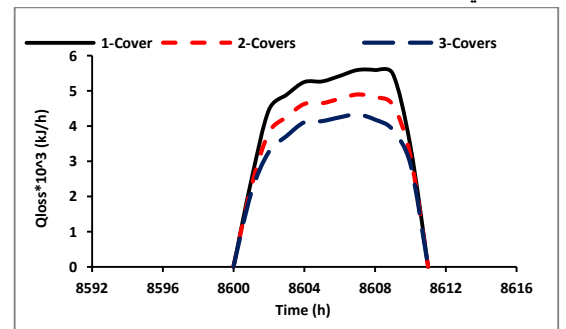


شكل 19: كمية الطاقة الحرارية المستفاد المتراكمة من المجمع الشمسي لسنة نموذجية مع تغيير عدد الأغطية الشفافة



شكل 23: كمية الطاقة الحرارية المفقودة المتراكمة من المجمع الشمسي لسنة نموذجية مع تغيير عدد الأغطية الشفافة

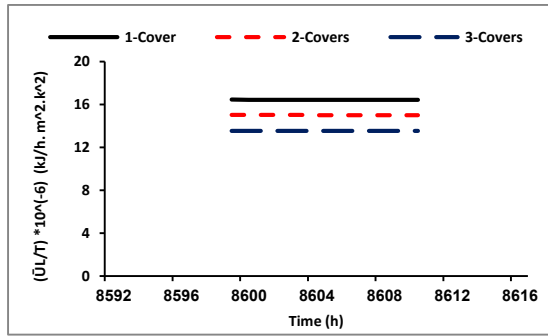
يلاحظ من الأشكال (16)، (17)، (18) و(19) أن زيادة عدد الأغطية الشفافة أدى إلى خفض معدلات كمية الطاقة الحرارية المكتسبة من المجمع الشمسي، وهذا يرجع لنقص الكفاءة البصرية. وفقاً للمعادلة (15) وبالمحاكاة تم حساب كمية الطاقة الحرارية المفقودة من المجمع في حالة استخدام غطاء واحد أو غطائين أو ثلاثة أغطية شفافة وتم رسم النتائج مقابل الزمن كما هو موضح بالأشكال (20)، (21) و(22). وكميات الطاقة الحرارية المفقودة المتراكمة من المجمع الشمسي خلال السنة موضحة في الشكل (23).



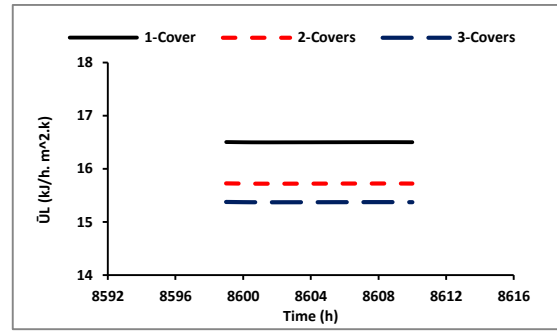
شكل 20: كمية الطاقة الحرارية المفقودة من المجمع الشمسي عند اليوم الأقل درجة حرارة أثناء فترة التشغيل مع تغيير عدد الأغطية الشفافة

يلاحظ من الأشكال (20)، (21)، (22) و(23) أن زيادة عدد الأغطية الشفافة قد أدى إلى خفض معدلات كمية الطاقة الحرارية المفقودة من المجمع الشمسي بالحمل والتوصيل. إلا أن هذا لم يعزز الكفاءة الكلية التحليلية للمجمع نتيجة لتسببه في خفض النفاذية وبالتالي نقص الكفاءة البصرية الأساسية.

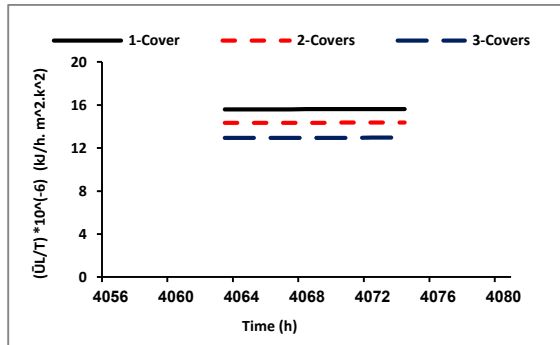
7. وفقاً للمعادلة (19) وبالمحاكاة تم حساب متوسط معامل الفقد الحراري الكلي بالتوصيل والحمل الحراريين من المجمع الشمسي في حالة استخدام غطاء واحد أو غطائين أو ثلاثة أغطية شفافة وتم رسم النتائج مقابل الزمن كما هو موضح بالأشكال (24)، (25) و(26).



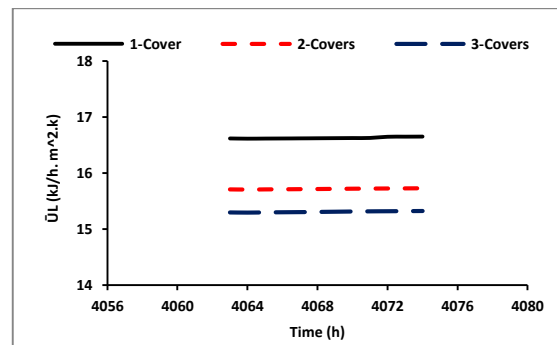
شكل 27: مكافئ متوسط معامل الفقد الحراري التراكمي بالإشعاع عند اليوم الأقل درجة حرارة أثناء فترة التشغيل مع تغيير عدد الأغشية الشفافة



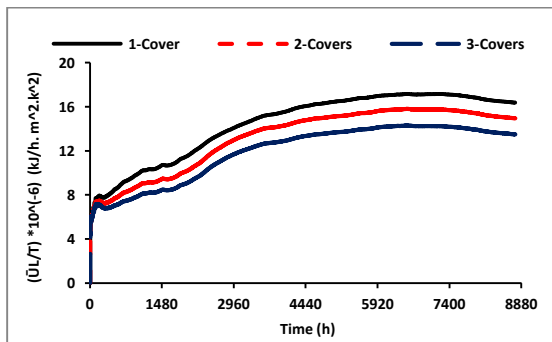
شكل 24: متوسط معامل الفقد الحراري التراكمي الكلي بالتوصيل والحمل الحراريين عند اليوم الأقل درجة حرارة أثناء فترة التشغيل مع تغيير عدد الأغشية الشفافة



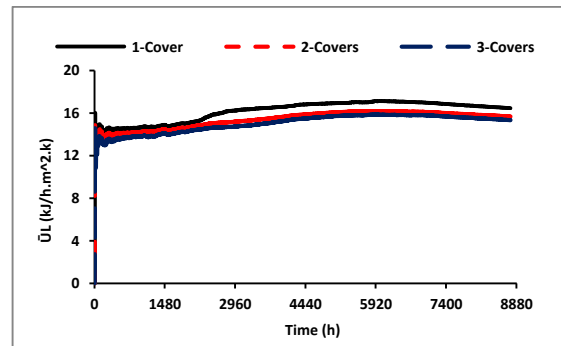
شكل 28: مكافئ متوسط معامل الفقد الحراري التراكمي بالإشعاع عند اليوم الأعلى درجة حرارة أثناء فترة التشغيل مع تغيير عدد الأغشية الشفافة



شكل 25: متوسط معامل الفقد الحراري الكلي التراكمي بالتوصيل والحمل الحراريين عند اليوم الأعلى درجة حرارة أثناء فترة التشغيل مع تغيير عدد الأغشية الشفافة



شكل 29: مكافئ متوسط معامل الفقد الحراري التراكمي بالإشعاع لسنة نموذجية مع تغيير عدد الأغشية الشفافة



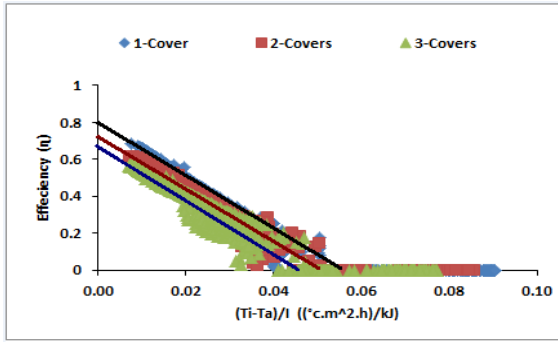
شكل 26: متوسط معامل الفقد الحراري الكلي التراكمي بالتوصيل والحمل الحراريين لسنة نموذجية مع تغيير عدد الأغشية الشفافة

يلاحظ من الأشكال (27)، (28) و(29) أن زيادة عدد الأغشية الشفافة أدى إلى خفض مكافئ متوسط معامل الفقد الحراري التراكمي بالإشعاع من المجمع الشمسي.

9. بالمحاكاة تم حساب متوسط المتوسطات لكل من معامل الفقد الحراري الكلي بالتوصيل والحمل الحراريين ومكافئ معامل الفقد الحراري بالإشعاع من المجمع الشمسي في حالة استخدام غطاء واحد أو غطائين أو ثلاثة أغشية شفافة وتم رسم النتائج كما هو موضح بالشكل (30).

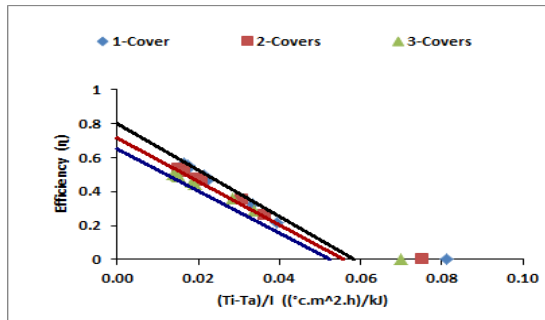
يلاحظ من الأشكال (24)، (25) و(26) أن زيادة عدد الأغشية الشفافة أدى إلى خفض متوسط معامل الفقد الحراري الكلي التراكمي بالتوصيل والحمل الحراريين للمجمع الشمسي.

8. وفقاً للمعادلة (20) وبالمحاكاة تم حساب مكافئ متوسط معامل الفقد الحراري بالإشعاع من المجمع الشمسي في حالة استخدام غطاء واحد أو غطائين أو ثلاثة أغشية شفافة وتم رسم النتائج مقابل الزمن كما هو موضح بالأشكال (27)، (28) و(29).

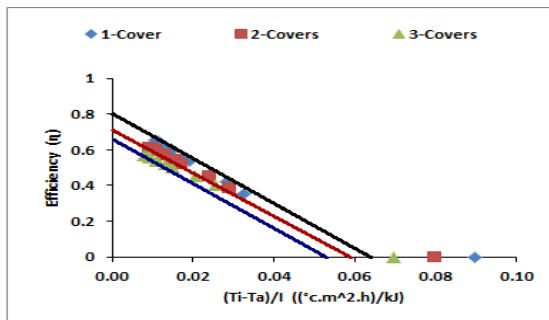


شكل 33: الكفاءة الخطية الكلية التحليلية للمجمع الشمسي لسنة نموذجية مع تغيير عدد الأغشية الشفافة

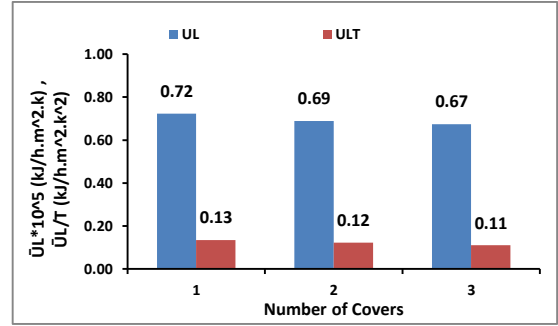
يلاحظ من الأشكال (31)، (32) و(33) انخفاض الكفاءة الخطية الكلية التحليلية للمجمع الشمسي عند زيادة عدد الأغشية الشفافة. 11. بالمحاكاة تم حساب الكفاءة الكلية التحليلية من الدرجة الثانية للمجمع الشمسي وفقاً للمعادلة (21) والتي فيها تم الأخذ باعتبار الفقد الحراري بالإشعاع الحراري وتم رسم النتائج كما هو موضح بالأشكال (34)، (35)، (36).



شكل 34: الكفاءة الكلية التحليلية اليومية للمجمع الشمسي عند اليوم الأقل درجة حرارة أثناء فترة التشغيل مع تغيير عدد الأغشية الشفافة



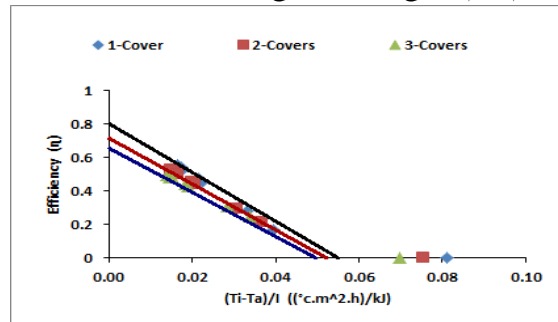
شكل 35: الكفاءة الكلية التحليلية اليومية للمجمع الشمسي عند اليوم الأعلى درجة حرارة أثناء فترة التشغيل مع تغيير عدد الأغشية الشفافة



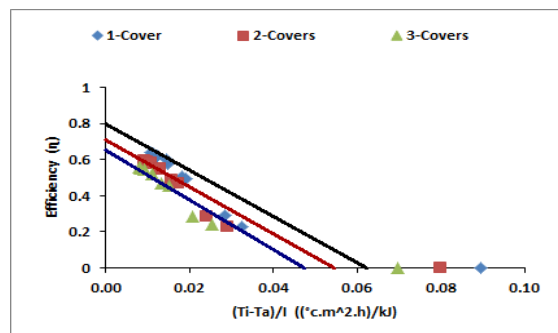
شكل 30: تغير متوسطات معاملات الفقد الحراري للمجمع الشمسي (بالحمل والتوصيل) ومكافئ الإشعاع مع تغيير عدد الأغشية الشفافة

يلاحظ من الشكل (30) أن زيادة عدد الأغشية أدى إلى انخفاض متوسطات معاملات الفقد الحراري بالحمل والتوصيل (\bar{U}_L) ومكافئ متوسط معامل الفقد الحراري بالإشعاع (\bar{U}_L/T) وبالتالي الحد من الفقد الحراري الكلي من المجمع الشمسي.

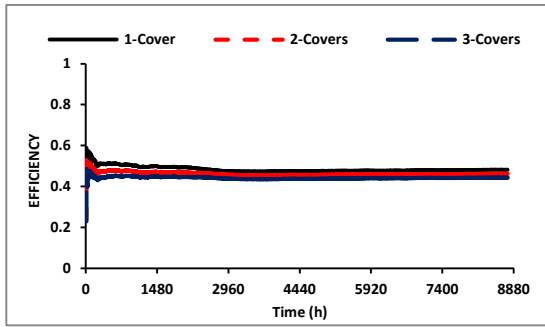
10. وبالمثل وبالمحاكاة تم حساب الكفاءة الخطية الكلية التحليلية للمجمع الشمسي وفقاً للمعادلة (17) والتي فيها تم إهمال الفقد الحراري بالإشعاع الحراري وتم رسم النتائج كما هو موضح بالأشكال (31)، (32)، (33).



شكل 31: الكفاءة الخطية الكلية التحليلية اليومية للمجمع الشمسي عند اليوم الأقل درجة حرارة أثناء فترة التشغيل مع تغيير عدد الأغشية الشفافة

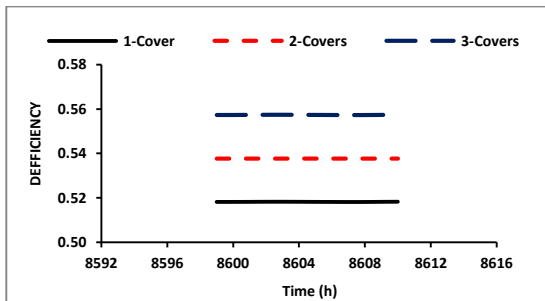


شكل 32: الكفاءة الخطية الكلية التحليلية اليومية للمجمع الشمسي عند اليوم الأعلى درجة حرارة أثناء فترة التشغيل مع تغيير عدد الأغشية الشفافة

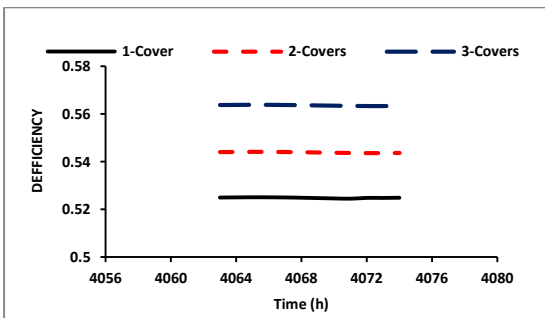


شكل 39: الكفاءة الكلية التراكمية للمجمع الشمسي لسنة نموذجية مع تغيير عدد الأغشية الشفافة

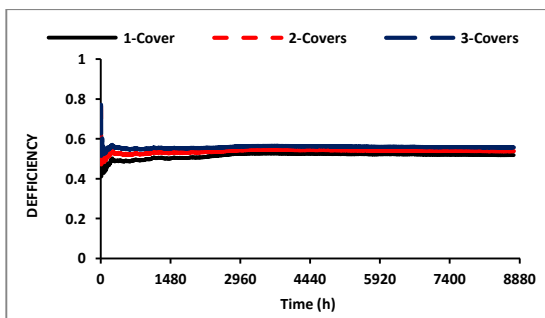
يلاحظ من الأشكال (37)، (38) و(39) أن الكفاءة الكلية التراكمية للمجمع الشمسي قلت مع زيادة عدد الأغشية الشفافة. 13. بالمحاكاة تم حساب العجز في الكفاءة الكلية للمجمع الشمسي وفقاً للمعادلتين (26) و(27)، وتم رسم النتائج مقابل الزمن كما هو موضح بالأشكال (40)، (41) و(42).



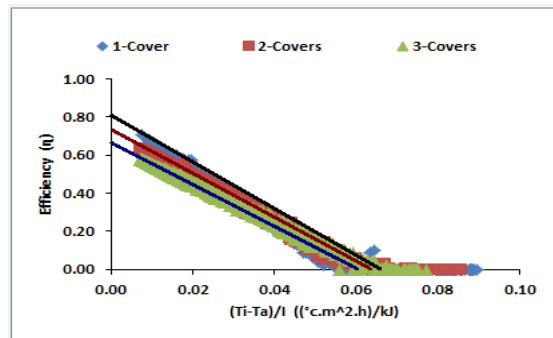
شكل 40: العجز في الكفاءة الكلية التراكمية اليومية للمجمع الشمسي عند اليوم الأقل درجة حرارة أثناء فترة التشغيل مع تغيير عدد الأغشية الشفافة



شكل 41: العجز في الكفاءة الكلية التراكمية اليومية للمجمع الشمسي عند اليوم الأعلى درجة حرارة أثناء فترة التشغيل مع تغيير عدد الأغشية الشفافة



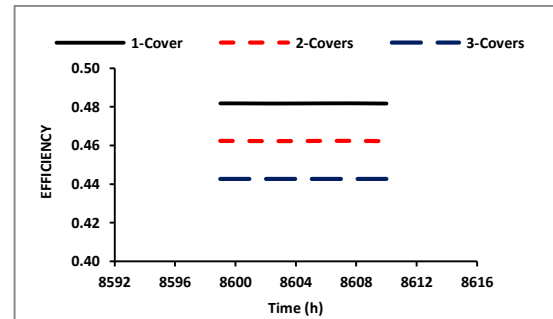
شكل 42: العجز في الكفاءة الكلية التراكمية للمجمع الشمسي لسنة نموذجية مع تغيير عدد الأغشية الشفافة



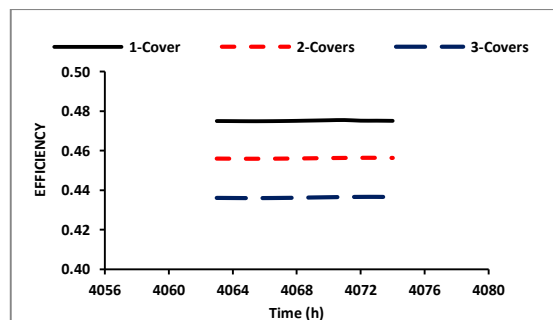
شكل 36: الكفاءة الكلية التحليلية للمجمع الشمسي لسنة نموذجية مع تغيير عدد الأغشية الشفافة

يلاحظ من الأشكال (34)، (35)، (36) عند فترة توفر الاشعاع الشمسي تكون زاوية سقوط الاشعاع الشمسي على سطح المجمع الشمسي ($i_e < 90^\circ$)، وزيادة عدد الأغشية أدى إلى انخفاض الكفاءة الكلية التحليلية للمجمع الشمسي. وتقل الكفاءة لهذا المجمع الشمسي كلما اتجهنا نحو المحور $(\frac{T_i - T_a}{I})$ ، وهذا يرجع إلى أن الاشعاع الشمسي الساقط يكون موازي لسطح المجمع الشمسي وتكون ($i_e = 90^\circ$) وفي هذه الحالة ينعدم متوسط النفاذية لغطاء و غطائين وثلاثة أغشية ($\bar{T}_I = \bar{T}_{II} = \bar{T}_{III} = 0$)، وهذا أدى إلى انعدام الكفاءة البصرية للمجمع الشمسي ونتيجة لذلك تنعدم الكفاءة الكلية التحليلية لهذا المجمع الشمسي.

12. بالمحاكاة تم حساب الكفاءة الكلية للمجمع الشمسي وفقاً للمعادلة (25)، وتم رسم النتائج مقابل الزمن كما هو موضح بالأشكال (37)، (38) و(39).



شكل 37: الكفاءة الكلية التراكمية اليومية للمجمع الشمسي عند اليوم الأقل درجة حرارة أثناء فترة التشغيل مع تغيير عدد الأغشية الشفافة



شكل 38: الكفاءة الكلية التراكمية اليومية للمجمع الشمسي عند اليوم الأعلى درجة حرارة أثناء فترة التشغيل مع تغيير عدد الأغشية الشفافة

أدى تغيير عدد الأغشية الشفافة إلى تغيّر الخواص البصرية (النافذية والامتصاصية والانعكاسية) للغطاء الشفاف، فزيادة عدد الأغشية الشفافة خفض كلاً من نفاذية الغطاء الشفاف للإشعاع الشمسي والكفاءة البصرية للمجمع الشمسي المستوي وزاد كلاً من انعكاسية وامتصاصية الغطاء الشفاف للإشعاع الشمسي، حيث أن الخواص البصرية للمجمع الشمسي بغطاء واحد شفاف هي:

$(\bar{\alpha}_I = 0.3\%$ ، $\bar{\rho}_I = 8.65\%$ ، $\bar{\tau}_I = 91.05\%$) وكفاءته البصرية هي: $((\tau\alpha)_{eff} = 86.9\%)$ والمجمع الشمسي بغطائين شفافين خواصه البصرية هي: $(\bar{\alpha}_{II} = 0.6\%$ ، $\bar{\rho}_{II} = 15.9\%$ ، $\bar{\tau}_{II} = 83.5\%$) وكفاءته البصرية هي: $((\tau\alpha)_{eff} = 80\%)$ والمجمع الشمسي بثلاثة أغشية شفافة خواصه البصرية هي: $(\bar{\alpha}_{III} = 0.9\%$ ، $\bar{\rho}_{III} = 22\%$ ، $\bar{\tau}_{III} = 77.1\%$) وكفاءته البصرية هي: $((\tau\alpha)_{eff} = 74.1\%)$.

ونتيجة لزيادة عدد الأغشية الشفافة قلت درجة حرارة دخول وخروج الماء إلى ومن المجمع الشمسي، وقلت كمية الطاقة الحرارية المكتسبة والمفقودة، وانخفضت الكفاءة الكلية التحليلية للمجمع الشمسي.

وعند رسم الكفاءة لهذا المجمع الشمسي مقابل $(\frac{T_i - T_a}{I})$ فإن الميل لمماس منحنى الكفاءة يمثل معدل الفقد الحراري من المجمع الشمسي، وزيادة عدد الأغشية أدى إلى انخفاض معدل الفقد الحراري من المجمع الشمسي، وعندما يكون الإشعاع الشمسي موازي لسطح المجمع الشمسي تكون زاوية السقوط $(i_e = 90^\circ)$ ونتيجة لذلك ينعدم متوسط النفاذية لغطاء وغطائين وثلاثة أغشية وبناءً عليه تنعدم الكفاءة البصرية للمجمع الشمسي ونتيجة لذلك تنعدم الكفاءة الكلية التحليلية للمجمع الشمسي.

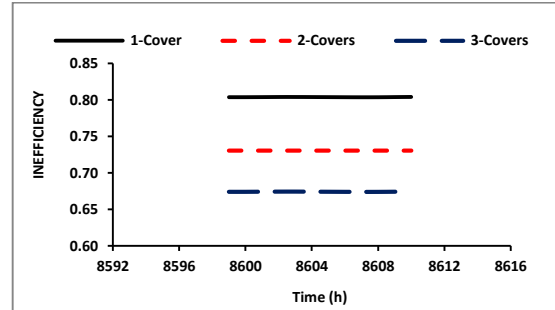
6. الاستنتاج:

تم التحقق من مصداقية عملية المحاكاة عبر منظومة "TRNSYS" ومطابقتها لعمليات الانتقال الحراري بأنماطها الفيزيائية الثلاثة وهي الإشعاع والتوصيل والحمل الحراري ومطابقتها للقوانين الفيزيائية المعروفة في هذا العلم. ومن المنظور الفيزيائي التطبيقي فإن تقليل أو زيادة نفاذية المجمع الشمسي قيد الدراسة قد أدى توافقاً إلى تقليل أو زيادة نسبة الطاقة الشمسية الأساسية المتاحة عند اللوح الماص وأنابيب النقل الحراري وهي الكفاءة البصرية الفعالة لهذا المجمع، وذلك اعتمداً دائماً على معدلات تغير معاملات الفقد الحراري المؤثرة في النقل عبر منظومة المجمع. وبناءً على النتائج التي تم الحصول عليها عند محاكاة منظومة المجمع الشمسي المستوي باستخدام برنامج "TRNSYS" لمدة سنة نموذجية في ظروف التشغيل بمدينة سبها وعلى النحو الذي تم بيانه، فإن زيادة عدد الأغشية الشفافة قد أضر سلباً على عمل المنظومة لأنه خفض من نفاذية الغطاء الشفاف للإشعاع الشمسي وبالتالي قلل من كمية الطاقة الإشعاعية المتاحة عند اللوح الماص. وبرغم التأثير الإيجابي لزيادة عدد الأغشية الشفافة في الحد من الفقد الحراري العلوي بالإشعاع والحمل الحراريين إلا أن ذلك أدى إلى نقص بين الكفاءة البصرية الأساسية للمجمع الشمسي وهذا أدى إلى خفض الكفاءة الكلية التحليلية للمجمع الشمسي في نطاق واسع من فترات التشغيل.

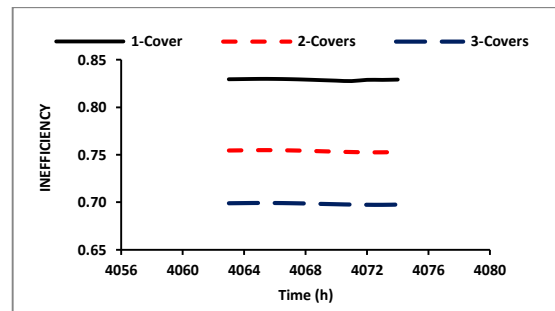
الرموز المستخدمة:

يلاحظ من الأشكال (40)، (41)، (42) أن العجز في الكفاءة الكلية التراكمية للمجمع الشمسي زاد مع زيادة عدد الأغشية الشفافة.

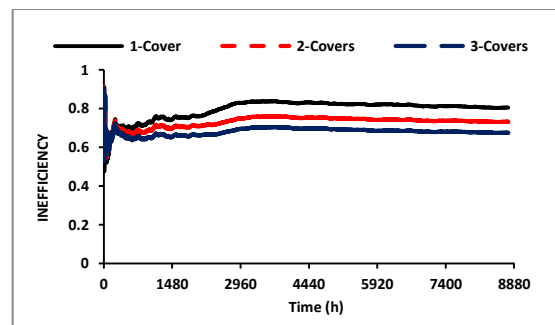
14. بالمحاكاة تم حساب مقياس نقص الجدوى الكلية للمجمع الشمسي وفقاً للمعادلة (28)، وتم رسم النتائج مقابل الزمن كما هو موضح بالأشكال (43)، (44) و(45).



شكل 43: مقياس نقص الجدوى التراكمية للمجمع الشمسي عند اليوم الأقل درجة حرارة أثناء فترة التشغيل مع تغيير عدد الأغشية الشفافة



شكل 44: مقياس نقص الجدوى التراكمية للمجمع الشمسي عند اليوم الأعلى درجة حرارة أثناء فترة التشغيل مع تغيير عدد الأغشية الشفافة



شكل 45: مقياس نقص الجدوى التراكمية للمجمع الشمسي لسنة نموذجية مع تغيير عدد الأغشية الشفافة

يلاحظ من الأشكال (43)، (44) و(45) أن مقياس نقص الجدوى التراكمية للمجمع الشمسي انخفض مع زيادة عدد الأغشية الشفافة وهذا يؤكد أن زيادة عدد الأغشية الشفافة يقلل من الفقد الحراري العلوي بالإشعاع والحمل الحراري وبالتالي نسبة الطاقة الحرارية المفقودة من المجمع الشمسي قيد البحث إلى الطاقة الحرارية المكتسبة من نفس المجمع الشمسي تقل مع زيادة عدد الأغشية الشفافة.

5. المناقشة:

- Intelligent Buildings", The Journal of Sebha University for applied Sciences, Sebha Libya, Oct. 2010.
- [10]- Kalogirou, S.A., "Solar Energy Engineering Processes and Systems", Elsevier Inc. 2009.
- [11]- Foster, R., Ghassemi, M., Cota, A., "Solar Energy Renewable Energy and The Environment", Taylor and Francis Group, LLC, 2010.
- [12]- Struckmann, F., "Analysis of a Flat-plate Solar Collector", Lund Sweden, May 08, 2008.
- [13]- Howell, J.R., Bannerot, R.B., Vliet, G.C., "Solar-Thermal Energy Systems", McGraw-Hill, Inc. 1982.
- [14]- <http://esc.fsu.edu/documents/lectures/SP07/EML4930L7.pdf>
- [15]- [15] نصر، ياسر، "هندسة الطاقة الشمسية التطبيقات الحرارية الفعالة"، (الطبعة الأولى)، دار الكتب الوطنية – بنغازي، 2006.
- [16]- <https://www.researchgate.net/profile/Federico-Giovanetti-2/publication/261290836/figure/fig2/AS:668990980497412@1536511287120/Collector-efficiency-curve-of-the-flat-plate-collector-prototype-with-cut-off-at-higher.png>
- [17]- <https://www.lacaze-energies.com/wp-content/uploads/2017/05/Datasheet-93-CH-Large-flat-plate-collector-SUN-700-1706.pdf>

وحدة القياس	المعنى الفيزيائي	الرمز
m^2	مساحة المجمع الشمسي	A_c
-	معامل اعتراض الكفاءة (تقاطع الكفاءة البصرية مع المحور γ)	a_0
$KJ/h.m^2.K$	معامل الميل لمماس منحني الكفاءة	a_1
$KJ/h.m^2.K^2$	معامل انحناء الكفاءة (تقاطع انحناء الكفاءة مع المحور X)	a_2
$kJ/kg.K$	السعة الحرارية النوعية بثابت الضغط	c_p
-	معامل الإزالة الحرارية	F_R
$kJ/h.m^2$	إجمالي الإشعاع الشمسي الأفقي	H
$kJ/h.m^2$	الإشعاع الشمسي المنتشر الأفقي	H_D
$KJ/h.m^2$	الإشعاع الشمسي الكلي الساقط على سطح المجمع الشمسي المستوي	I_T
Degrees	زاوية السقوط	i_e
kg/h	معدل التدفق الكلي للمائع خلال المجمع الشمسي	\dot{m}
-	معامل الانكسار	n
KJ/h	معدل الطاقة الشمسية الممتصة من قبل الصفيحة الماصة	Q_{abs}
KJ/h	معدل الطاقة المفيدة المكتسبة	Q_u
KJ/h	معدل انتقال الحرارة بين الصفيحة الماصة والوسط المحيط أو الفقد الحراري	Q_{loss}
$^{\circ}C$	درجة حرارة الوسط المحيط	T_a
$^{\circ}C$	متوسط درجة حرارة الصفيحة الماصة	\bar{T}_e
$^{\circ}C$	درجة حرارة دخول المائع إلى المجمع	T_i
$^{\circ}C$	درجة حرارة خروج المائع من المجمع	T_o
$KJ/h.m^2.K$	معامل الفقد الحراري الكلي بالتوصيل والحمل الحراريين	U_L
$KJ/h.m^2.K^2$	معامل الفقد الحراري بالإشعاع الحراري	$U_{L/T}$
-	الامتصاصية	α
-	الانبعاثية	ε
-	الانعكاسية	ρ
-	النفاذية	τ
-	الكفاءة البصرية للمجمع الشمسي المستوي	$(\tau\alpha)$
-	كفاءة المجمع الشمسي المستوي	η
-	الانعكاس الأرضي	ρ_G
Degrees	زاوية ميل المجمع الشمسي المستوي	β

المراجع:

- [1]- Chen, C.J., "Physics of Solar Energy", John Wiley & Sons, Inc. 2011.
- [2]- <https://dspace.univouargla.dz/jspui/bitstream/123456789/21416/1/%D8%A7%D9%84%D8%B3%D8%AE%D8%A7%D9%86%20%D8%A7%D9%84%D8%B4%D9%85%D8%B3%D9%8A.pdf>
- [3]- Domanski, R., Azzain, G., "Design Criteria for Optimum Solar Water-Heating System for Warsaw", Warsaw University of Technology (PW), Institute of Heat Engineering (ITC), proceedings of FUTURESTOCK'2003 9th International Conference on Thermal Energy Storage Warsaw, POLAND September 1-4,2003
- [4]- Azzain, G., Domanski, R., "Simulation and Design Criteria for Solar Domestic Water Heating System at Sebha – Libya", International Conference for Energy and Environment, 14-15 October 2003, Brack – Libya.
- [5]- Ihaddadene, N., and others, "Effect of Glazing Number on the Performance of a Solar Thermal Collector", International Journal of Science and Research (IJSR), Volume 3 Issue 6, June 2014.
- [6]- Saagoto, M.S., Chowdhury, A.S., "A Review of Solar Flat Plate Thermal Collector", ResearchGate, 2021.
- [7]- Wedel, R.K., Marshall, K.N., "Optical Properties of Materials as Applied to Flat Plate Solar Collector Design", SPIE, 2022.
- [8]- A TRAnsient SYstems Simulation Program, TRNSYS, <https://sel.me.wisc.edu/trnsys/>
- [9]- Azzain, G., "TRNSYS' a Complete Digital Experimentation Platform and Simulation Studio for Transient Systems and