

دراسة عملية للتحقق من الاداء الحرارى لمسخن هواء شمسي يستخدم لتدفئة وتهوية الحيز

عمر محمد حمدون

محمد علي محمد صالح

eng.omar.m.hamdoon@uomosul.edu.iq

جامعة الموصل - كلية الهندسة - قسم الهندسة الميكانيكية

تاريخ القبول: 26/12/2021

تاريخ الاستلام: 30/11/2021

الخلاصة

تضمنت هذه الدراسة، اجراء بحث عملي لغرض تحسين أداء مسخن هواء شمسي تقليدي مزوج الممر وذلك باستبدال الصفيحة الماصة المستوية للنموذج التقليدي بصفيحة مدرجة واطافة الصوف الفولاذي في الممر السفلي لمسخن الهواء مع الابقاء على كافة الابعاد ثابتة للنموذجين. تم تشغيل المنظومتين معا تحت نفس الظروف وعند تدفق ثابت للهواء (0.0416 kg/s). بينت النتائج بأنه يمكن تحسين الكفاءة الحرارية ودرجة حرارة الهواء الخارج من المسخن الشمسي باستخدام التحسينات التي تم الاشارة لها، حيث بلغ أعلى معدل شهري للكفاءة الحرارية في شهر اذار 2020 (67.07%) و (49.7%) للمنظومتين المحسنة والتقليدية على التوالي. بينت النتائج أيضا ان النموذج المحسن يحتفظ بالحرارة المكتسبة من الاشعاع الشمسي لفترة اطول مقارنة بالنموذج التقليدي عند كثافة اشعاع شمسي ثابتة، كما ان هذه التحسينات ساهمت بزيادة واضحة بدرجة حرارة الهواء الخارج من المنظومة، فقد وصل معدل الفرق في درجة حرارة الهواء الداخل والخارج من المنظومة في شهر شباط الى (23.34 °C) و (19.28 °C) للمنظومتين المحسنة والتقليدية على التوالي. اثبتت النتائج أيضا ان التحسينات على المنظومة التقليدية أدت الى تقليل كمية الحرارة المفقودة من المسخن الشمسي.

الكلمات المفتاحية:

مسخن الهواء الشمسي، لوح امتصاص مدرج، الصوف الزجاجي.

This is an open access article under the CC BY 4.0 license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

<https://rengj.mosuljournals.com>

1. المقدمة

القناة 2- مسخنات الهواء الشمسية ثنائية الممر: في هذا النوع من مسخنات الهواء الشمسية هناك قناتان متداخلتان لتدفق الهواء حيث يمر الهواء خلال الممر العلوي ثم يغير اتجاهه في نهاية الممر ليدخل الى الممر السفلي، ويفصل بين الممرين الصفيحة الماصة. رغم العديد من المزايا لمسخن الهواء الشمسي بنوعيه الا ان اهم عيوبه هو انخفاض كفاءته، لذا ركزت العديد من الدراسات على الطرق المثلى لتحسين ادائه. تم اجراء دراسة تجريبية ونظرية عند الظروف المناخية لمدينة بغداد لاختبار الأداء الحراري لسخنات الهواء الشمسية ذات ممر مفرد بخمسة تصاميم مختلفة من قبل Ahmed A. M. S و Taher A. Rashid [2]. التصاميم الخمس للسخنات الشمسية تضمنت: سخان شمسي تقليدي ذو لوح امتصاص مستوي، سخان شمسي ذو لوح امتصاص بزعانف، سخان شمسي ذو لوح امتصاص مموج، سخان شمسي ذو لوح مستوي وشبكة سلكية حديدية، سخان شمسي ذو لوح مستوي وضع عليه وسط مسامي. اجريت الاختبارات عند ثلاث قيم لمعدلات تدفق كتلة الهواء تتراوح بين (0.016-0.027 kg/s). أظهرت النتائج أن سخان الهواء الشمسي ذو الوسط المسامي له أعلى قيمة للكفاءة (56%)، يليه السخان ذو الشبكة السلكية الحديدية وكفاءة (51%). بينما كانت كفاءة السخان الشمسي ذو اللوح الممتوج (34%)، وكفاءة السخان ذو الزعانف (30%). ادنى كفاءة كانت للسخان التقليدي وكفاءة بلغت (26%). قام الباحث

بحول مسخن الهواء الشمسي الطاقة الشمسية إلى طاقة حرارية مفيدة. بشكل عام، يعمل مسخن الهواء الشمسي كمبادل حراري ينقل الحرارة إلى الهواء المار في المنظومة. يتأثر الأداء الحراري لمسخن الهواء الشمسي بعوامل مختلفة، مثل كمية الإشعاع الشمسي الساقط عليه، ومساحة وتصميم منطقة الامتصاص، تصميم واتجاه المسخن، درجة حرارة الهواء الداخل للمسخن، ومعدل تدفق كتلة الهواء خلاله. يتم استخدام مسخن الهواء الشمسي بشكل عام لإنتاج الطاقة في درجات حرارة منخفضة إلى معتدلة. رغم انخفاض كفاءته الا انه له العديد من المزايا مثل رخص ثمنه وسهولة صيانته وقدرته على تحسين جودة الهواء الداخلي. بشكل عام يمكن تقسيم مسخنات الهواء الشمسية الى النوعين الرئيسيين التاليين [1]: 1- مسخنات الهواء الشمسية ذات الممر الواحد: وهي أبسط أنواع مسخنات الهواء الشمسية وتتكون بشكل أساسي من قناة تدفق الهواء، وغطاء شفاف، ولوحة ماصة وهيكل المسخن المغلف بالمادة العازلة. يتم وضع اللوحة الماصة في الجزء السفلي من قناة تدفق الهواء ويتم تغطية الجزء العلوي من القناة بغطاء زجاجي شفاف واحد او اكثر. يمر الإشعاع الشمسي من خلال الغطاء الشفاف ويتم امتصاصه بواسطة لوحة الامتصاص حيث تنتقل الحرارة من لوحة الامتصاص الساخنة إلى الهواء المتدفق عبر

الباحثة Afaq Jasim Mahmood [8]، في دراستها التجريبية تأثير استخدام الحواجز والطبقات السلكية المدمجة من الحواجز على كفاءة ومواصفات مسخن الهواء الشمسي، حيث استخدمت الباحثة ثلاثة حالات للمسخن الشمسي احادي الممر وثنائي الممر بارتفاعات معينة للممرين العلوي والسفلي وقيمتين مختلفتين لكمية الهواء المتدفق، بينت الباحثة بان اعلى كفاءة حرارية كانت لمسخن الهواء المزوج بسبعة حواجز (68.1%) عند تدفق هواء (0.032 kg/s) وعمق (3 cm) للممر السفلي، في حين كان اعلى معدل لفرق درجة الحرارة الهواء 54°C عند تدفق للهواء (0.011 kg/s)، وسبعة طبقات من الحواجز وارتفاع (3 cm) للممر السفلي. تتضمن الدراسة النظرية التي قدمها الباحث Ahmad Fudholi وجماعته [9]، تأثير معدل تدفق كتلة الهواء، وعدد وارتفاع الزعانف المثبتة على اللوح الماص على الكفاءة الحرارية لثلاثة انواع مختلفة من مسخنات الهواء: النوع الاول مسخن هواء شمسي ثنائي الممر بزعانف طولية علوية والنوع الثاني مسخن هواء ثنائي الممر بزعانف طولية سفلية والنوع الثالث مسخن هواء شمسي ثنائي الممر بزعانف طولية علوية وسفلية. توصل الباحثون الى ان كفاءة المسخن تزداد مع زيادة عدد الزعانف وارتفاعها. لمعدل تدفق الكتلة (0.02-0.1 kg/s) ، كما تزداد كفاءة مسخنات الهواء الشمسية بحوالي (36-73 %) عند استخدام زعانف علوية و (35-37 %) عند استخدام زعانف سفلية و (46-74 %) عند استخدام زعانف علوية وسفلية.

نهدف في هذا البحث التجريبي الى دراسة التحسن في اداء مسخن هواء شمسي ثنائي الممر نتيجة لاستعمال صفيحة ماصة مدرجة وكذلك اضافة صوف فولاذي للممر السفلي عند مختلف الظروف كشدة الإشعاع الشمسي الساقط على المسخن ودرجة حرارة المحيط الخارجي وخلال أشهر الشتاء في مدينة الموصل/العراق .

2. التحليل النظري

تعرف الكفاءة الحرارية (η) بأنها نسبة الطاقة المفيدة إلى إجمالي الإشعاع الشمسي الساقط عند وقت معين ، يتم التعبير عنها بواسطة بالمعادلة [10]:

$$\eta = \frac{Q_u}{I.A_c} \dots\dots(1)$$

ان الفرق بين كمية الحرارة المستلمة (الاشعة الساقطة) والحرارة المفقودة للمسخن الشمسي يمثل كمية الحرارة المفيدة المكتسبة من المسخن الشمسي (Q_u) بينما تمثل A_c مساحة المقطع والتي من خلالها يتم استلام الاشعاع الشمسي (I W/m²).

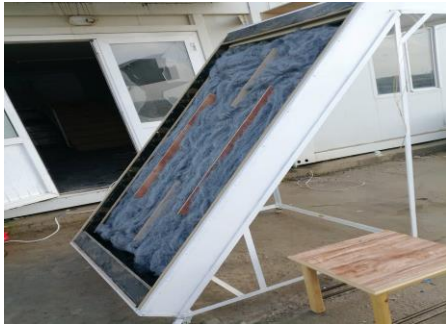
تمثل (Q_i) كمية الحرارة المستلمة من قبل المسخن الشمسي بالمعادلة التالية :

$$Q_i = I . A_c \dots\dots(2)$$

$I . A_c (\tau\alpha)_e$ تمثل كمية الحرارة المُستلمة من المُجمع الشمسي والنافذ الى مجرى الهواء العلوي.

عندما يستلم المسخن الشمسي الطاقة الشمسية، ترتفع درجة حرارة الصفيحة الماصة وتكون اعلى من درجة حرارة المحيط الخارجي ، لذلك فان جزء من الطاقة سيتم فقده الى المحيط. الحرارة المفقودة (Q_o) من المسخن تعتمد على درجة حرارة

Dengjia Wang وجماعته [3]، بدراسة تجريبية تهدف لزيادة كفاءة مسخن الهواء الشمسي ذو ممر مفرد عن طريق عمل اضلاع على الصفيحة الماصة على شكل حرف (S)، مع فجوات لتقليل مقاومة تدفق الهواء، حيث بين الباحثون ان هذا التصميم يعزز من الكفاءة الحرارية لمسخن الهواء الشمسي اذ يوفر انتقال افضل للحرارة بين اللوح الماص والهواء، بينت النتائج مكانية تحسين الكفاءة الحرارية بنسبة (48% - 13 %) تحت ظروف تشغيل مختلفة نتيجة اضافة الاضلاع. قام الباحث A. A. Yousef Bashria وجماعته [4]، بدراسة نظرية لاختبار تأثير عدد من العوامل مثل معدل تدفق كتلة الهواء، عمق قناة التدفق وطول المسخن على الأداء الحراري وهبوط الضغط لمسخنين شمسيين أحدهما أحادي الممر والآخر ذو ممر مزدوج، مع وبدون استخدام وسائط مسامية. بينت نتائج الباحثين أن الكفاءة الحرارية للمسخن مزودج الممر اعلى من الكفاءة الحرارية للمسخن أحادي الممر بمقدار (20%-10%)، كما ان نسبة الزيادة في الكفاءة الحرارية عند استخدام المادة المسامية تبلغ (8 %). قام الباحث M. W. Kareem وجماعته [5]، بعمل مقارنة بين المسخن الشمسي التقليدي أحادي الممر مع مسخن شمسي مزدوج الممر معزز باستخدام مادة مسامية (الحصى، والرقائق المعدنية) في الممر السفلي من المنظومة. بينت نتائج الباحثين ان كفاءة المنظومة المحسنة بإضافة المادة المسامية وصلت الى (67%) في حين كانت كفاءة المنظومة التقليدية (49%) عند نفس ظروف التشغيل. وقد عزا الباحثون هذا التحسن في الكفاءة الى التباين في كمية الحرارة المفقودة من المسخن وبالأخص حول الصفيحة الماصة، حيث ان كمية الحرارة المفقودة في المسخن المزودج اقل بشكل كبير وذلك لوجود الحصى الذي يساعد على الاحتفاظ بالحرارة وبالتالي زيادة كفاءة المنظومة. درس الباحث Sami A. Dhatkar وجماعته [6]، في دراسته التجريبية ثلاثة انواع مختلفة من مسخنات الهواء الشمسية (سخان احادي الممر وسخان ثنائي الممر وسخان ثنائي الممر معزز باضافة مادة مسامية) قام الباحثون بدراسة العديد من العوامل لتحليل أداء سخان الهواء الشمسي مثل كمية الحرارة المنتقلة، وهبوط الضغط، ونوع التدفق. ولاحظ الباحثون أن سخان الهواء الشمسي مزدوج الممر مع وسائط مسامية يعطي اعلى كفاءة حرارية مقارنة بالمسخن بدون وسائط مسامية. فعلى سبيل المثال عند معدل تدفق ثابت لكتلة الهواء بمقدار (0.01625 kg/s) ، وكثافة اشعاع شمسي (1423 W/m²) كانت الكفاءة الحرارية لسخان الهواء الشمسي بدون وسائط مسامية (79.9 %) بينما لسخان الهواء الشمسي مع وسائط مسامية كانت الكفاءة الحرارية (92%) كما وجد الباحثون ان سخان الهواء الشمسي المزودج يظهر زيادة كبيرة في الأداء مقارنة بالنظام التقليدي. تم إجراء دراسة تجريبية من قبل الباحث Bhupendra Gupta وجماعته [7]، لدراسة تأثير الوسائط المسامية (الصوف الزجاجي والصوف الفولاذي) على سخان الهواء الشمسي ثنائي الممر ومقارنته مع سخان الهواء التقليدي احادي الممر. بين الباحثون ان الوسائط المسامية توفر مساحة كبيرة لنقل الحرارة ولها معامل نقل حرارة عالي مما يزيد من الكفاءة الحرارية كما بينت نتائج التجارب أن الكفاءة الحرارية لمسخن الطاقة الشمسية تعتمد على معدل تدفق كتلة الهواء، إذ تزداد الكفاءة الحرارية عندما يزيد معدل تدفق كتلة الهواء. واخيرا اظهرت نتائج الباحثين أن الكفاءة الحرارية لسخان الهواء الشمسي ثنائي الممر تزداد حوالي (40.23 %) مع الصوف الفولاذي و (33.1%) مع الصوف الزجاجي مقارنة مع سخان الهواء الشمسي التقليدي احادي الممر. ناقشت



الشكل (1): الصوف الفولاذي المضاف في الممر السفلي.

لغرض سحب الهواء الى داخل المنظومة تم تركيب ثلاثة مراوح تعمل بالتيار المستمر (0.3 A) للمروحة الواحدة حيث كانت قدرة المروحة الواحدة (3.6 W) ولكل مسخن . يتم التحكم بسرعة دفع المراوح عن طريق ربطها مع جهاز تحكم يمكن من خلاله تغيير قوة دفع المراوح وبالتالي التحكم بسرعة وكمية الهواء الداخل الى المنظومة.

تضمن العمل في الجهازين استخدام اجهزة القياس التالية:

- مزدوج حراري (Type k) أمريكي بقطر (0.4 ملم). تم تثبيت المزدوج الحراري بعد لحام نهايته الخارجية بواسطة ماكينة لحام خاصة على الغطاء الزجاجي للمسخن بثلاث نقاط (النهاية العليا والسفلى وفي المنتصف) ، وكذلك بثلاث نقاط على الصفيحة الماصة وكذلك بالنسبة للممرين العلوي والسفلي. حيث تم استخدام (14 مزدوج حراري) بإضافة مزدوجين حراريين لقياس درجة حرارة الهواء الداخلة والخارجة من المسخن الشمسي وتم تثبيتها باستخدام المواد اللاصقة. والشكل (2) يوضح نقاط تثبيت المزدوجات الحرارية للنموذج التقليدي .
- مقياس كثافة الاشعاع الشمسي (solar meter) نوع (SM 206).
- جهاز الكتروني لقياس سرعة الهواء (Anemometer) نوع (GM 816).
- فولتميتر حديث عدد (2) و ثرموميتر نوع الماني لقياس درجة الحرارة ولغرض اجراء المقارنة مع قراءة المزدوج الحراري وتحديد نسبة الخطأ.
- 28 قطعة الكترونية نوع (Max 6675)، تعمل بمثابة مضخم للفولتية. استخدمت (14) قطعة لكل منظومة لغرض تحويل الفولتية القليلة المتولدة في المزدوج الحراري الى فولتية تتمكن قطعة الاردوينو من قراءتها.
- قطعة المعالج الإلكتروني (الاردوينو) نوع (MEGA 2560) والذي يمكننا من تحويل قراءات درجة الحرارة الى برنامج الاكسيل في الحاسبة . وتم استخدام قطعة لكل جهاز (منظومة) شكل (3) . ربطت المزدوجات الحرارية مع القطع الالكترونية (Max 6675) ومن ثم تم ربطها مع قطعة الاردوينو (Mega 2560) وتوصيلها بالحاسوب ، وباستخدام بطارية (12 فولت) ذات التيار المستمر يتم تشغيل المنظومتين عن طريق زر التشغيل والاطفاء

الهواء الداخل الى المسخن الشمسي ومقدار معامل فقدان (انتقال) الحرارة الكلي U_L .

يمكن تمثيل قيمة Q_o بالمعادلة التالية :

$$Q_o = U_L A_c (T_p - T_a) \quad \dots\dots(3)$$

ومن معادلة التوازن الحراري للحالة المستقرة فان كمية الحرارة المفيدة (Q_u) تمثل الفرق بين كمية الحرارة المستلمة والحرارة المفقودة من المجمع الشمسي

$$Q_u = Q_i - Q_o \quad \dots\dots(4)$$

وبصورة عامة وحسب معادلة (Hottel-Bliss) فان :

$$Q_u = I . A_c (\tau\alpha)_e - U_L A_c (T_p - T_a)$$

$$\dots\dots(5)$$

ومما تقدم اعلاه تكون الكفاءة الحرارية (η) اللحظية (في وقت محدد) كالآتي :

$$\eta = (\tau\alpha)_e - U_L \frac{(T_p - T_a)}{I} \quad \dots\dots(6)$$

وبما ان الحرارة المفيدة المكتسبة من الاشعاع الشمسي تساوي الحرارة التي سيكتسبها الهواء المار خلال المسخن ، لذا يمكن ايضا التعبير عن الكفاءة بالمعادلة التالية:

$$\eta = \frac{\dot{m}_{air} c_{p,air} \Delta T}{I . A_c} \quad \dots\dots(7)$$

بينما يمكن تمثيل معامل فقدان الحرارة المكافئ بالمعادلة:

$$U_L = \frac{Q_o}{I A_c (T_p - T_a)} \quad \dots\dots(8)$$

3. تصنيع المنظومتين

تم في هذا البحث تصميم وتصنيع مسخنين شمسيين للهواء مزدوجي الممر. المسخن الاول هو مسخن شمسي تقليدي، والثاني مسخن شمسي محسن باستعمال صفيحة ماصة موجية على شكل حرف (v) وبزاوية 60° بدل من الصفيحة المستوية المستخدمة في المسخن التقليدي، وكذلك بإضافة الصوف الفولاذي في الممر السفلي. لغرض تصنيع المنظومتين تم استخدام المواد المتوفرة في الاسواق المحلية. استخدم الخشب المضغوط الاملس بسمك (1.8 cm) في بناء هيكل المنظومتين، الزجاج بسمك (6 mm) تم استخدامه كغطاء علوي للمنظومتين. لتقليل الخسائر من الجوانب واسفل المنظومتين تم اضافة مادة عازلة من الفوم بسمك (2 cm). اختيرت سبيكة الالمنيوم (H16-1060) بسمك (0.8 mm) كصفيحة الماصة. تم طلاء الصفيحة الماصة ولكلا المنظومتين في افران حرارية خاصة بأصباغ فحمية سوداء خاصة نوع (ETIKA). بلغت مساحة الصفيحة الماصة المستوية (2 m²) بينما بلغت مساحة الصفيحة المدرجة (3.88 m²). اضيف الصوف الفولاذي بكمية كافية لملاء الممر السفلي (طول 2 م وارتفاع 7.5 سم وعرض 10 سم للصف الواحد)، شكل (1).

حين تم تسجيل قراءات شدة الاشعاع الشمسي يدويا وذلك لعدم توفر مقياس الكتروني يمكن ربطه مع لوحة الاردوينو في الاسواق المحلية. تم إعداد برنامج تسجيل القراءات بحيث تسجل قراءات المزدوجات الحرارية كل (10 دقيقة) وتخزن في الحاسوب لكل نموذج على حده.

4. تحديد نسبة الخطأ

لغرض تحديد نسبة الخطأ المرتبطة بالقياسات العملية قبل التجربة لابد من تحديد المتغيرات التي تؤثر بشكل مباشر على قيمة الكفاءة الحرارية المحسوبة من العلاقة التالية:

$$\eta = \left[\frac{m c_p (T_{out} - T_{in})}{I \cdot A_c} \right]$$

حيث تمثل m كمية الهواء المتدفق داخل مسخن الهواء و c_p السعة الحرارية للهواء T_{in} , T_{out} تمثل درجة حرارة الهواء الداخل والخارج من المسخن الشمسي على التوالي، كما ان I هي كثافة الاشعاع الشمسي و A_c تمثل مساحة المقطع لمجرى الهواء المتدفق. وبما ان كمية الهواء المتدفق m هي دالة من الكثافة وحجم الهواء المتدفق، ولمساحة مقطع ثابتة A_c و على افتراض ثبات خصائص الهواء لمدى تغير درجة حرارة الهواء المقاسة في التجربة تكون كمية الهواء المتدفق دالة من السرعة. الجهاز المستخدم في قياس سرعة الهواء من نوع (GM 816) له نسبة خطأ (5%) والجهاز المستخدم في قياس كثافة الاشعاع الشمسي (SOLAR METER) نوع (SM 206) له نسبة خطأ (5%)، بالإضافة الى ان نسبة الخطأ في قراءة المزدوج الحراري المستخدم في التجربة (TYPE K) هي (± 2.2 °C) او 0.75% لكل °C. باستخدام المعادلة التالية:

$$\frac{\omega_\eta}{\eta} = \left[\left(\frac{\omega_m}{m} \right)^2 + \left(\frac{\omega_{\Delta T}}{\Delta T} \right)^2 + \left(\frac{\omega_I}{I} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}}$$

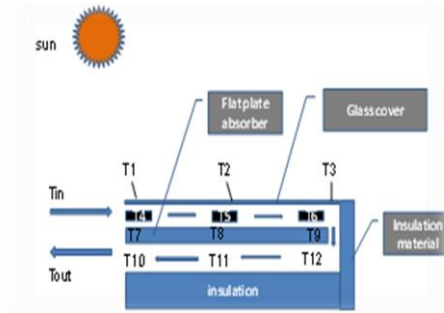
اذ تمثل $\left(\frac{\omega_m}{m} \right)$ نسبة الخطأ الجزئي لكمية الهواء المتدفق و $\left(\frac{\omega_{\Delta T}}{\Delta T} \right)$ نسبة الخطأ الجزئي لفرق درجة حرارة الهواء في حين تمثل $\left(\frac{\omega_I}{I} \right)$ نسبة الخطأ الجزئي في قياس كثافة الاشعاع الشمسي، والجدول (1) يوضح مقدار نسبة الخطأ المتوقعة في القراءات للنموذجين التقليدي والمحسن.

جدول (1) نسبة الخطأ في قراءات مسخن الهواء الشمسي

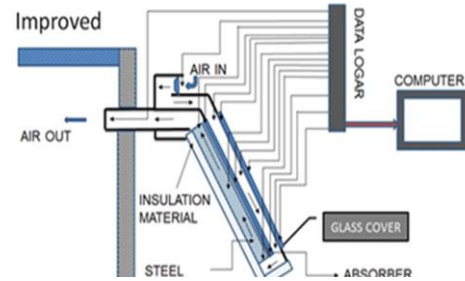
النموذج	ΔT °C	m (kg/s)	I (w/m ²)	% η	ω_m %	ω_η %
التقليدي	20.7	0.02	1098.3	18.7	0.1	1.33
المحسن	32.2	0.02	667	29.1	0.1	2.07
التقليدي	19.2	0.041	892.4	34.3	0.21	1.02
المحسن	31.7	0.041	667.25	74.4	0.21	0.99

وبما ان معدل الخطأ أقل من 7% لذا فإن القراءات مقبولة هندسياً.

المربوط على دائرة التشغيل. والشكل (4) يوضح التصميم النهائي للمنظومتين قيد التشغيل.



الشكل (2): نقاط تثبيت المزدوجات الحرارية.



الشكل (3): مخطط التصميم النهائي لمسخن الهواء الشمسي



الشكل (4): المنظومتين الشمسيتين التقليدية والمحسنة.

تم توجيه المنظومتين الى جهة الجنوب التام باستخدام بوصلة تحديد الاتجاهات وذلك بعد وضعهما على القاعدة (المحمل) المصمم بزاوية ميلان (55°) للأشهر (كانون الاول وكانون الثاني وشباط واذار) للاستفادة القصوى من كمية الاشعاع الشمسي الساقط على المسخن الشمسي. وباستخدام برنامج مناسب (كود) تم كتابته باستخدام تقنية الاردوينو، لغرض تسجيل قراءات المزدوجات الحرارية داخل الحاسوب مباشرة كما تمت الاستفادة من برنامج ربط (QLX DAQ) والذي يمكننا من خزن القراءات مباشرة داخل برنامج الاكسيل، و تم تسجيل كافة قراءات المزدوجات الحرارية بهذه الطريقة، في

في حين كانت قيمة الإشعاع العظمى لليومين 15 و 21 كانون الثاني (833.05 W/m^2) و (697 W/m^2) على التوالي .

ان كثافة الإشعاع الشمسي لأيام 6 و 12 و 23 اذار كما يوضحها الشكل (8) تشير الى تذبذب الإشعاع الشمسي في يوم 6 اذار وذلك لظهور بعض الغيوم المتقطعة التي ادت الى تقليل كثافة الإشعاع الشمسي الساقط على مسخن الهواء وبالتالي انخفاض معدل كثافة الإشعاع الشمسي اليومي وان اعلى اشعاع شمسي سجل ليوم 23 اذار (1187.48 W/m^2) عند الساعة 13:00 في حين كانت القيمة العظمى للإشعاع لليومين 6 و 3 اذار (1063.54 W/m^2) عند الساعة 12:40 و (1006.9 W/m^2) عند الساعة 12:00 .

2.5 تغير درجة حرارة المحيط خلال ساعات النهار للأشهر الاربعة

تتأثر درجة حرارة المحيط بكثافة الإشعاع الشمسي ويتباين هذا التأثير خلال ساعات النهار ويختلف من يوم الى اخر تبعاً لاختلاف كثافة الإشعاع فنلاحظ من الاشكال التي تم رسمها لأيام مشمسة مختلفة من كل شهر ان درجة حرارة المحيط تبدأ بالارتفاع التدريجي من بعد وقت الشروق الى ان تصل الى قيمتها العظمى عند منتصف النهار ثم تبدأ بالانخفاض التدريجي البطيء بعد الساعة 12:00 ثم تبدأ بالانخفاض بصورة واضحة بعد الساعة 14:00 لتصل الى اقل قيمة لها خلال فترة تسجيل القراءات عند الساعة 16:00 أي عند اخر قراءة للإشعاع الشمسي الاشكال (9، 10، 11، 12).

ان التغير في شدة الإشعاع الشمسي يؤثر بشكل مباشر على درجة حرارة الهواء الداخل الى المسخن الشمسي فنلاحظ من الشكل (10)، والذي يوضح تغير درجة حرارة المحيط ليومي 27 و 25 كانون الثاني ان درجة حرارة المحيط تبدأ بالازدياد مع زيادة شدة الإشعاع الشمسي خلال النهار ثم تبدأ بالانخفاض بعد الساعة 13:00 نتيجة للانخفاض في قيمة الإشعاع الشمسي ولكن هذا التغير يكون قليل جداً حيث نلاحظ من قراءات يوم 27 كانون الاول ان مقدار التغير يتراوح بين ($0.25-0.5 \text{ }^\circ\text{C}$) وبعد هذا الوقت يكون التغير طفيف ايضاً الى ان تصل الى اقل قيمة لها ($16.5 \text{ }^\circ\text{C}$) عند انتهاء وقت القراءة في الساعة 16:20.

3.5 الفرق بين درجة حرارة الهواء الداخل والخارج خلال ساعات النهار

يوضح الشكل (13)، الفرق بين درجة حرارة الهواء الداخل والخارج من المسخن الشمسي ليوم 26 كانون الاول حيث نلاحظ ان اعلى فرق وصل الى ($26 \text{ }^\circ\text{C}$) للنموذج المحسن عند الساعة 12:40 في حين كان اعلى فرق للنموذج التقليدي (23 $^\circ\text{C}$) عند الساعة 12:20 وتكون قيمة الفرق متقاربة عند بداية التشغيل في الساعة 8:00 ثم يبدأ هذا الفرق بالازدياد مع زيادة كثافة الإشعاع الشمسي بعد الساعة 9:30 لكلا النموذجين المحسن والتقليدي كما يبقى هذا الفرق للنموذج المحسن اعلى من النموذج التقليدي حتى بعد منتصف النهار وذلك لان كمية الحرارة الممتصة من قبل الصفيحة الماصة المدرجة تكون اعلى منها للصفيحة المستوية بالإضافة الى وجود الصوف الفولاذي في الممر السفلي والذي يعزز من كمية الحرارة المنتقلة الى الهواء الخارج من المسخن بواسطة الحمل.

يوضح الشكل (14)، الفرق بين درجة حرارة الهواء خلال ساعات النهار للنموذجين المحسن والتقليدي ليوم 27 كانون

5. النتائج والمناقشة

تم اجراء التجارب على المسخنين (التقليدي والمحسن) واختبار ادائهم في اجواء مدينة الموصل خلال الأشهر (كانون الاول ، كانون الثاني ، شباط و اذار)، لفترة قراءة يومية من الساعة 8:00 صباحاً لغاية الساعة 4:00 بعد الظهر. الجدول التالي يبين عدد الايام التي تم تسجيل القراءات فيها لكل شهر.

جدول (2) : عدد ايام تسجيل القراءات

الشهر	الايام	المجموع
كانون الاول	7,13,26,28	4
كانون الثاني	1,2,3,7,11,12,14,17,25,27,28	11
شباط	2,5,7,8,10,11,12,15,21	9
اذار	6,10,12,13,15,16,23,24	8

جميع التجارب اجريت عند تدفق ثابت لكثافة الهواء يبلغ (0.0416 kg/s). الفقرات التالية تعرض لاهم نتائج التجارب التي تم الحصول عليها.

1.5 تغير الإشعاع الشمسي خلال ساعات النهار للأشهر الاربعة

بصورة عامة تعتبر كثافة الإشعاع الشمسي العنصر الاساسي والمؤثر على كفاءة ومواصفات مسخن الهواء الشمسي بالإضافة الى تأثيره على درجة حرارة المحيط، تعرض الاشكال (5، 6، 7، 8) التغير اليومي في الإشعاع الشمسي لأيام المختارة خلال الأشهر الاربعة. الشكل (5)، يبين تغير كثافة الإشعاع الشمسي لأيام 16 ، 26 ، و 28 كانون الاول حيث نلاحظ ان القيم العظمى لكثافة الإشعاع تتحصر بين الساعة 12:00 والساعة 12:50 في الاجواء الصافية الخالية من الغيوم اذ تكون الشمس متعامدة تقريباً على سطح مسخن الهواء الشمسي الذي يميل بزواوية 55 درجة عن الافق فقد كانت القيمة العظمى لكثافة الإشعاع الشمسي (923.78 W/m^2) في يوم 16 كانون الاول عند الساعة 12:30 في حين كانت القيمة العظمى لكثافة الإشعاع لليومين 26 و 28 كانون الاول (788.8 W/m^2) و (910.7 W/m^2) عند الساعة 12:50 و 12:40 على التوالي، وهذا التغير في كثافة الإشعاع الشمسي وقيمته العظمى والصغرى يختلف من يوم لآخر وكذلك يختلف خلال ساعات النهار حتى في الايام المتقاربة تبعاً لتأثيرات الغيوم والأتربة .

من ملاحظة الشكل (6)، والذي يمثل مقدار التغير في كثافة الإشعاع الشمسي لأيام 2 و 14 و 27 كانون الثاني نجد ان اعلى قيمة للإشعاع الشمسي ليوم 27 كانون الثاني (1117.04 W/m^2) كانت عند الساعة 12:40 بينما سجلت اعلى قيم لكثافة الإشعاع لليومين 2 و 14 كانون الثاني (1077.7 W/m^2) و (1069.0 W/m^2) على التوالي عند الساعة 12:40 ايضاً. وهذا يبين لنا انه من الصعب التكهون بكمية الإشعاع الشمسي وذلك لتغيره بحسب تغير الظروف الجوية وزاوية سقوط الإشعاع على السطح الخارجي (الغطاء الزجاجي) لمسخن الهواء الشمسي .

يوضح الشكل (7) تغير كثافة الإشعاع الشمسي خلال ساعات النهار لأيام 11 و 15 و 21 شباط حيث نلاحظ ان اعلى معدل للإشعاع الشمسي من بين هذه الايام الثلاثة كان في يوم 11 شباط

لذا فان الكفاءة تعتمد على شدة الاشعاع الشمسي ودرجة حرارة الهواء الداخل والخارج من مسخن الهواء لمساحة سطحية ثابتة للغطاء الزجاجي عند (2 m^2) فقد كان معدل الكفاءة الحرارية في هذا اليوم (57.49%) للنموذج المحسن في حين كان معدل الكفاءة الحرارية للنموذج التقليدي (34.96%) أي ان الكفاءة الحرارية لمسخن الهواء الشمسي المحسن تزيد عن الكفاءة الحرارية لمسخن الهواء التقليدي بمقدار (22.53%) لهذا اليوم ويعزى ذلك الى التحسينات التي تم ادخالها على النموذج التقليدي.

الشكل (19) يبين تغير الكفاءة الحرارية للنموذجين المحسن والتقليدي مع الوقت ليوم 21 شباط 2020، حيث يبين الشكل الفرق الواضح بين كفاءة المسخن الشمسي المحسن والتقليدي فكانت اعظم كفاءة للمسخن المحسن (78.67%) عند الساعة 3:50 في حين اعظم كفاءة للمسخن التقليدي كانت (38.23%) عند الساعة 14:30، واذا اخذنا بنظر الاعتبار حساب معدل الكفاءة الحرارية اليومي لكلا النموذجين نجد ان معدل الكفاءة الحرارية اليومي للنموذج المحسن (50.57%) وللنموذج التقليدي (28.26%) فيكون معدل نسبة الزيادة في الكفاءة الحرارية (44.11%) ليوم 21 شباط. هذه النسبة ليست ثابتة للمسخن الشمسي وتختلف من يوم الى اخر باختلاف درجة حرارة الهواء الداخل والخارج من المسخن وكذلك باختلاف شدة الاشعاع الشمسي لتدفق ثابت لكمية الهواء.

الشكل (20) يوضح تغير الكفاءة الحرارية مع شدة الاشعاع الشمسي للنموذجين المحسن والتقليدي ليوم 12 اذار حيث يبين المخطط ارتفاع الكفاءة الحرارية للنموذجين في هذا الشهر وذلك بسبب الزيادة الواضحة في كثافة الاشعاع الشمسي التي ادت الى ارتفاع واضح ايضا في درجة حرارة هواء المحيط فقد كان معدل الكفاءة الحرارية لهذا اليوم (66.78%) للنموذج المحسن و (30.35%) للنموذج التقليدي. كما نلاحظ من المخطط تغير شكل المنحنى في هذا الشهر حيث تستمر الكفاءة الحرارية للمسخن الشمسي المحسن بالازدياد حتى بعد بدأ الانخفاض التدريجي في شدة الاشعاع الشمسي بعد الساعة 13:20، وذلك لان كمية الحرارة المخزنة داخل المسخن تكون عالية جدا بسبب الاشعاع الشمسي خلال فترة الذروة وان الانخفاض في درجة حرارة الهواء الخارج يكون قليل جدا بالمقارنة مع مسخن الهواء الشمسي الاعتيادي لتدفق ثابت للهواء، كما ان ارتفاع درجة حرارة الهواء الداخل الى المسخن الشمسي يقلل من كمية الطاقة المفقودة ومن معامل فقدان الحرارة الكلي.

5.5 تغير كمية الحرارة النافعة خلال ساعات النهار للأشهر الأربعة

يوضح الشكل (21)، تغير كمية الحرارة النافعة Q_{II} لمسخن الهواء الشمسي بنوعيه التقليدي والمحسن مع كثافة الاشعاع الشمسي الساقط I ليوم 26 كانون الاول 2020، حيث وصل معدل كمية الحرارة النافعة في هذا اليوم الى (23.59 kW.hr) و (36.35 kW.hr) للنموذجين التقليدي والمحسن على التوالي. وبذلك تكون نسبة الزيادة في تحسين كمية الحرارة النافعة في هذا اليوم (35.1%) عند معدل تدفق ثابت لكمية الهواء وعلى طول فترة القراء والبالغة 8 ساعات.

يوضح الشكل (22)، تغير كمية الحرارة النافعة Q_{II} لمسخن الهواء الشمسي بنوعيه التقليدي والمحسن مع كثافة الاشعاع الشمسي الساقط I ليوم 27 كانون الثاني 2020، حيث نلاحظ ان كمية الحرارة النافعة للنموذج المحسن اعلى من كمية الحرارة النافعة للنموذج التقليدي على طول فترة القراء والبالغة

الثاني، حيث كان اعلى فرق في درجة حرارة الهواء للنموذج المحسن (28.25°C) عند الساعة 12:50 بينما سجل اعلى فرق درجة حرارة للهواء (18.75°C) للنموذج التقليدي عند الساعة 12:40، ان طبيعة الطقس والتي تمثلها كثافة الاشعاع الشمسي ووجود الغيوم والأتربة تؤثر على قيمة هذا الفرق ففي الايام المشمسة يكون هذا الفرق عالي نسبيا مقارنة مع الطقس الغائم جزئي او في حالة وجود الغبار والرياح القوية. وبكل تأكيد يكون الفرق بين درجات الحرارة للنموذج المحسن اعلى منه للنموذج التقليدي.

الشكل (15) يبين الفرق بين درجة حرارة الهواء ليوم 21 شباط، حيث وصلت القيمة العظمى للفرق بين درجة حرارة الهواء للنموذج المحسن الى (28.75°C) عند الساعة 12:20 عند كثافة اشعاع شمسي (960.6 W/m^2) في حين سجلت القيمة العظمى للفرق للنموذج التقليدي (16.75°C)، عند الساعة 12:40 عند كثافة اشعاع شمسي (936.16 W/m^2)، ويمكن تفسير هذا الاختلاف في الفرق بين درجة حرارة الهواء للنموذجين بان الصفيحة الماصة المستوية للنموذج التقليدي تمتص كمية حرارة من الاشعاع النافذ اليها اقل منه بالنسبة للنموذج المحسن وبذلك تكون الاستجابة لتغير درجة حرارة الهواء المرتبطة بكثافة الاشعاع الشمسي اقل منها للنموذج المحسن بالإضافة الى ان كمية الحرارة المفقودة من النموذج التقليدي تكون اكبر مقارنة مع النموذج المحسن. سجل اعلى فرق في درجة حرارة الهواء للنموذج المحسن ليوم 12 اذار (31.75°C) عند الساعة 12:30 شكل (16)، في حين ان اعلى فرق في درجة حرارة الهواء للنموذج التقليدي كان (18.5°C) عند الساعة 12:30 ايضا، نلاحظ من دراسة الشكل (16) ارتفاع الفرق في درجة حرارة الهواء خلال شهر اذار للنموذجين المحسن والتقليدي وذلك بسبب الزيادة في كثافة الاشعاع الشمسي مع ملاحظة استقرار هذا الفرق في فترة ذروة الاشعاع عند الساعة 12:30 لغاية الساعة 12:50 وقد يحدث تغير ضئيل خلال هذه الفترة وذلك يعزى الى ثبات او تغير ضئيل في كثافة الاشعاع خلال هذه الفترة وبالتالي استقرار الفرق لفترة وجيزة ثم ينخفض هذا التغير بعد الساعة 13:00.

4.5 تغير الكفاءة الحرارية خلال ساعات النهار للأشهر الأربعة

تتغير الكفاءة الحرارية خلال ساعات النهار مع تغير كثافة الاشعاع الشمسي وبالتالي تغير الفرق بين درجة حرارة الهواء الداخل والخارج من المسخن الشمسي للنموذجين التقليدي والمحسن مع ثبات كمية تدفق الهواء والمساحة السطحية للغطاء الزجاجي، والاشكال التالية توضح الفرق بين قيم الكفاءة الحرارية ليوم من كل شهر خلال فترة تسجيل القراءات ونلاحظ ان افضل قيم للكفاءة الحرارية سجلت للمسخن الشمسي المحسن خلال شهر اذار في حين تتفاوت قيم الكفاءة الحرارية للأشهر الاخرى تبعا لكثافة الاشعاع الشمسي الساقط على الغطاء الزجاجي وبالتالي اختلاف كمية الحرارة الممتصة من قبل الصفيحة الماصة لكلا النموذجين، شكل (17).

يوضح الشكل (18)، معدل تغير الكفاءة الحرارية للنموذجين التقليدي والمحسن مع الوقت ليوم 27 كانون الثاني، من المخطط يتضح ان الكفاءة الحرارية للمسخن الشمسي تتأثر بكمية الاشعاع الشمسي الساقط على الغطاء الزجاجي للمسخن وكمية الهواء المتدفق والفرق بين درجة حرارة الهواء الداخل والخارج من المسخن وبما ان شدة الاشعاع الشمسي متغيرة مع الوقت فان الكفاءة الحرارية تتغير مع الوقت ايضا وبما ان تدفق الهواء ثابت

(، ووجود الصوف الفولاذي الذي يعمل على خزن الحرارة في الممر السفلي للمسخن الشمسي.

يوضح الشكل (26)، تغير معامل فقدان الحرارة الكلي للنموذجين التقليدي والمحسن خلال ساعات النهار ليوم 27 كانون الثاني 2020 فقد كانت قيمة المعدل اليومي لمعامل فقدان الحرارة الكلي للنموذج التقليدي ($0.0237 \text{ kW/m}^2 \cdot \text{C}$) وهي اعلى من معدل معامل فقدان الحرارة الكلي اليومي للنموذج المحسن والتي وصلت الى ($0.0128 \text{ kW/m}^2 \cdot \text{C}$) وبحساب الفرق بين المعاملين نجد ان مقدار الفرق هو ($0.0109 \text{ kW/m}^2 \cdot \text{C}$) لقراءات هذا اليوم، كما نلاحظ ان لدرجة حرارة الصفحة الماصة تأثير مباشر على قيمة معامل فقدان الحرارة الكلي حيث تتخفف قيمة المعامل مع ارتفاع درجة حرارة الصفحة الماصة.

يوضح الشكل (27)، تغير معامل فقدان الحرارة الكلي للنموذجين التقليدي والمحسن خلال ساعات النهار ليوم 21 شباط 2020، من دراسة الشكل نجد ان نسبة الانخفاض في معامل فقدان الحرارة الكلي بالنسبة للنموذج المحسن عن قيمته بالنسبة للنموذج التقليدي وصلت الى (69.06%) حيث كانت قيمة المعدل اليومي لمعامل فقدان الحرارة الكلي للنموذجين التقليدي والمحسن ($0.049444 \text{ kW/m}^2 \cdot \text{C}$) ، ($0.015309 \text{ kW/m}^2 \cdot \text{C}$) على التوالي.

من دراسة الشكل (28)، والذي يوضح تغير قيم معامل فقدان الحرارة الكلي للنموذجين التقليدي والمحسن ليوم 12 اذار 2020 نجد ان هناك انخفاض في قيمة معامل فقدان الحرارة للنموذجين في هذا اليوم وذلك لارتفاع درجة حرارة الصفحة الماصة وارتفاع درجة حرارة المحيط لكلا النموذجين في هذا اليوم من شهر اذار حيث كان المعدل اليومي لقيمة معامل فقدان الحرارة الكلي للنموذجين المحسن والتقليدي ($0.020163 \text{ kW/m}^2 \cdot \text{C}$) ، ($0.020198 \text{ kW/m}^2 \cdot \text{C}$) على التوالي.

6. الاستنتاجات

تضمنت هذه الدراسة العملية تصميم نموذجين من مسخنات الهواء الشمسية مزدوجة الممر متمماتين في الابعاد والشكل والاجزاء وتم عمل تعديل واطافة على النموذج الاول (التقليدي) باستخدام صفحة ماصة مدرجة على شكل حرف (v) عوضا عن الصفحة المستوية واطافة الصوف الفولاذي في الممر السفلي للنموذج الثاني (المحسن) ، وتم تشغيل النموذجين معا تحت نفس الظروف الجوية لغرض اجراء المقارنة بينهما من حيث الاداء والكفاءة. ومن اهم الاستنتاجات التي تم التوصل اليها م ايلي:

1- أن الكفاءة الحرارية لمسخن الهواء الشمسي المحسن أعلى من كفاءة المسخن التقليدي فقد اثبتت النتائج التي تم التوصل اليها ان نسبة التحسين في معدل الكفاءة الحرارية اليومية بلغت 54.55% في يوم 12 اذار 2020، حيث كان معدل الكفاءة اليومية (66.78%) و (30.35%) للنموذجين المحسن والتقليدي على التوالي، وان نسبة التحسين غير ثابتة فهي تختلف من شهر الى اخر وتختلف خلال الشهر نفسه تبعا للعوامل المؤثرة والمتغيرة مثل: كثافة الاشعاع ودرجة حرارة المحيط وغيرها من العوامل والتي تمت الاشارة اليها في الفصل الخامس من هذا البحث.

2- ان زيادة المساحة السطحية للصفحة الماصة باستخدام الصفحة المدرجة واستخدام الصوف الفولاذي في الممر

8 ساعات وبما ان النموذجين يسقط عليهما كمية اشعاع واحدة ومعدل تدفق هواء ثابت ودرجة حرارة الهواء الداخل الى المسخن الشمسي هي نفسها للنموذجين فيمكن ان نستنتج ان الزيادة الحاصلة في كمية الحرارة النافعة للمسخن الهوائي المحسن هو بسبب الاضافات (الصفحة المدرجة، الصوف الفولاذي) التي عززت من كفاءة ومواصفات المسخن التقليدي حيث ساهمت الصفحة الماصة بزيادة المساحة السطحية الماصة للأشعة النافذة من خلال الغطاء الزجاجي وساهم الصوف الفولاذي برفع درجة حرارة الهواء في الممر السفلي للمسخن الشمسي حيث كان معدل الحرارة النافعة للمسخن التقليدي (36.31 kW.hr) في حين كانت الحرارة النافعة للمسخن الشمسي المحسن (45.57 kW.hr) وهذا يقودنا الى معدل زيادة في كمية الحرارة النافعة بمقدار (9.2 kW.hr) خلال فترة القراءات لهذا اليوم .

يوضح الشكل (23) العلاقة بين كمية الحرارة النافعة وكثافة الاشعاع الشمسي الساقط مع الوقت ليوم 21 شباط 2020 حيث كانت اعلى قيمة لشدة الاشعاع في هذا اليوم (960.6 W/m^2) عند الساعة 12:20 وفي هذا التوقيت نلاحظ ان الفرق في درجة حرارة الهواء الداخل والخارج من المسخن المحسن وصلت الى (28.5 C) في حين كان الفرق بين درجات الحرارة للمسخن التقليدي (15.5 C) وهذا يفسر لنا الزيادة الحاصلة في كمية الحرارة النافعة للمسخن المحسن مع الاخذ بنظر الاعتبار الفرضيات التي تم اعتمادها في هذه الدراسة كثبات معدل تدفق كتلة الهواء عند (0.0416 kg/s). ومن ملاحظة الشكل ايضا نجد ان مسار المنحني لكمية الحرارة النافعة للمسخن المحسن يتماثل مع مسار المنحني للاشعاع الشمسي في اغلب الاوقات وان مسار المنحني لكمية الحرارة للمسخن التقليدي يختلف في نقاط عديدة عن المسار الخاص بالاشعاع وذلك لان كمية الحرارة المفقودة من المسخن التقليدي تكون اعلى منها للمسخن المحسن ، لذا بلغت كمية الحرارة النافعة لهذا اليوم (38.3 kW.hr) و (20.62 kW.hr) لمسخني الهواء المحسن والتقليدي على التوالي .

يوضح الشكل (24) تغير كمية الحرارة النافعة للنموذجين التقليدي والمحسن مع تغير كثافة الاشعاع الشمسي الساقط مع الوقت ليوم 12 اذار 2020، ومن دراسة المخطط نستنتج انه بما ان كثافة الاشعاع الشمسي في شهر اذار تعتبر عالية بالمقارنة مع كثافته في اشهر تسجيل القراءات الاخرى فان كمية الحرارة النافعة للمسخن تكون عالية نسبيا فقد كان معدل كمية الحرارة النافعة للمسخن (18.99 kW.hr) و (40.68 kW.hr) لمعدل قراءة يومية 8 ساعة للنموذجين التقليدي والمحسن على التوالي ، أي ان معدل الزيادة (التحسين) في كمية الحرارة النافعة بلغ (53.31%) وهي قيمة عالية بالمقارنة مع قراءات يوم 27 كانون الثاني و 21 شباط

6.5 تغير معامل الحرارة الكلي U_L للنموذجين خلال ساعات النهار للأشهر الأربعة

يوضح الشكل (25)، معامل فقدان الحرارة الكلي خلال ساعات النهار ليوم 26 كانون الاول 2019 حيث وصل معامل فقدان الحرارة الى اعلى قيمة له ($0.020163 \text{ kW/m}^2 \cdot \text{C}$) ، ($0.01252 \text{ kW/m}^2 \cdot \text{C}$) للنموذجين التقليدي والمحسن على التوالي عند الساعة 12:40 بعد الظهر، حيث نلاحظ من هذه القيم ان معامل فقدان الحرارة الكلي للنموذج المحسن اقل منه للنموذج التقليدي وذلك بسبب احتفاظ النموذج المحسن بالحرارة المستلمة لزيادة مساحة سطح الامتصاص (الصفحة المدرجة

قائمة الرموز الإغريقية

η	الكفاءة الحرارية.
$(\tau\alpha)_e$	مكافئ الانتقال والامتصاص.

المصادر

- [1] A.E.Kabeel, Mofreh H.Hamed, Z.M.Omara, A.W.Kandeal, 2017. Solar air heaters: Design configurations, improvement methods and applications – A detailed review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 70, pp. 1189-1206.
- [2] Rashid, T.A. and Saleh, A.A.M., 2016. Experimental and theoretical study for performance enhancement of air solar collectors by using different absorbers. *Al-Khwarizmi Engineering Journal*, 12(3), pp.110-120.
- [3] Wang, D., Liu, J., Liu, Y., Wang, Y., Li, B. and Liu, J., 2020. Evaluation of the performance of an improved solar air heater with "S" shaped ribs with gap. *Solar Energy*, 195, pp.89-101.
- [4] Bashria, A., Yousef, A., Adam, N.M., Sopian, K., Zaharim, A. and Alghoul, M., 2007. Analysis of single and double passes V-grooves solar collector with and without porous media. *Int. J. Energy Environ*, 2(1), pp.109-114.
- [5] Kumar, C. and Singh, H., 2014. Experimental performance analysis of solar air heater with three different modifications in absorber plate. *Int. J. Adv. Technol. Eng*, 2(6), pp.79-86.
- [6] Dhatkar, S.A., Khandelwal, A.C. and Kanase-Patil, A.B., 2015. A Review of Solar Air Heaters using wire Mesh Absorber. *International Journal on Theoretical and Applied Research in Mechanical Engineering (IJTARME)*, ISSN, pp.2319-3182.
- [7] Gupta, B., Waiker, J.K., Manikpuri, G.P. and Bhalavi, B.S., 2013. Experimental analysis of single and double pass smooth plate solar air collector with and without porous media. *American Journal of Engineering Research*, 2(12), pp.144-149.

السفلي للنموذج المحسن أدى الى تقليل كمية الحرارة المفقودة وزيادة كمية الحرارة المفيدة، فقد وصل المعدل اليومي لنسبة التحسين في كمية الحرارة المفيدة الى (53.31 %) في يوم 12 اذار 2020، اذ بلغ معدل كمية الحرارة المفيدة في هذا اليوم (40.68 kW/hr) و (18.99 kW/hr) للنموذجين المحسن والتقليدي على التوالي في حين كان معدل التحسين الشهري للحرارة المفيدة لشهر اذار (25.91 %).

3- ان درجة حرارة الهواء الخارج من النموذج المحسن اعلى من درجة حرارة الهواء الخارج للنموذج التقليدي وبما ان ظروف التشغيل متماثلة للنموذجين فقد وصل معدل الفرق بين درجة حرارة الهواء الداخل والخارج الى اعلى قيمة له في يوم 12 اذار 2020 (31.75 °C) و (18.5 °C) للنموذجين المحسن والتقليدي على التوالي.

4- لقيمة ثابتة من كمية الهواء المتدفق وظروف تشغيل ثابتة لكلا النموذجين تبين ان الكفاءة الحرارية و فرق درجة حرارة الهواء للنموذج المحسن عالية نسبيا بالمقارنة مع النموذج التقليدي، وهذا يدل على نجاح التحسين الذي ادخلناه على المنظومة التقليدية، واذا اخذنا بالحسبان كمية الحرارة المفيدة التي تم الحصول عليها نتيجة للتغيرات التي ادخلناها على المنظومة التقليدية على سبيل المثال ليوم 27 كانون الثاني نجد كمية الحرارة النافعة في هذا اليوم وصل الى (26.49 kW.hr) و (45.8 kW.hr) للنموذجين التقليدي والمحسن على التوالي لذا فان مقدار كمية الحرارة الموفرة (19.31 kW.hr).

قائمة الرموز والمصطلحات

A_c	مساحة غطاء مسخن الهواء الشمسي (m^2).
C_p	الحرارة النوعية للهواء ($kJ/kg \cdot ^\circ C$).
I	كثافة الإشعاع الشمسي (W/m^2).
\dot{m}	كمية الهواء المتدفق (kg/s).
Q_i	كمية الحرارة المستلمة على شكل إشعاع (kW).
Q_L	كمية الحرارة المفقودة (kW).
Q_o	الفرق بين الحرارة المستلمة والنافعة (kW).
Q_u	كمية الطاقة الحرارية النافعة (kW).
T	درجة الحرارة ($^\circ C$).
U_L	معامل انتقال الحرارة الكلي ($W/m^2 \cdot ^\circ C$).
ΔT	الفرق بين درجة حرارة الهواء الداخل والخارج ($^\circ C$).

قائمة اللواحق السفلية

im.	مسخن الهواء الشمسي المحسن
in.	دخول الهواء للمسخن الشمسي
out	خروج الهواء من المسخن الشمسي
p	الصفحة الماصة

- [8] Mahmood, A.J., 2015. Experimental Study of a Solar Air Heater with New Arrangement of Transverse Longitudinal Baffles and Wire Mesh Layers.
- [9] Fudholi, A., Sopian, K., Ruslan, M.H., Othman, M.Y. and Yahya, M., 2011. Thermal efficiency of double pass solar collector with longitudinal fins absorbers. *American Journal of Applied Sciences*, 8(3), p.254.
- [10] Duffie, J.A. and Beckman, W.A., 1991. Solar engineering of thermal processes., New York. *Chichester, Brisbane, Toronto, Singapore*.

An Experimental Study to Verify the Thermal Performance of a Solar Air Heater Used for Space Heating and Ventilation

Mohammed Ali Mohammed Saleh

Omar Mohammed Hamdoon

eng.omar.m.hamdoon@uomosul.edu.iq

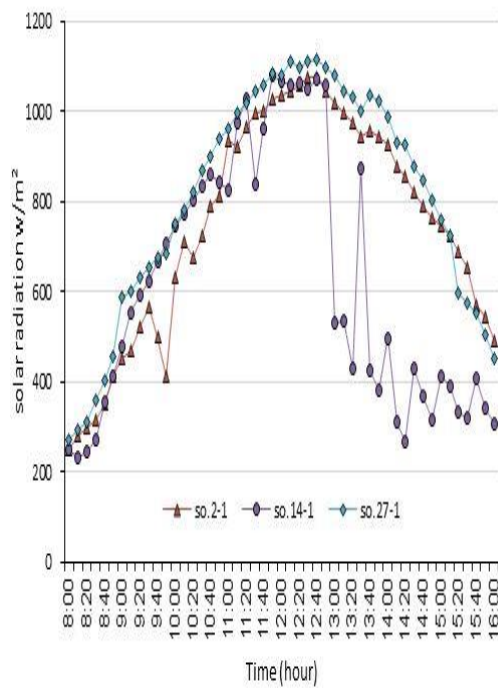
Mechatronics Engineering Department, Collage of Engineering, University of Mosul

Abstract

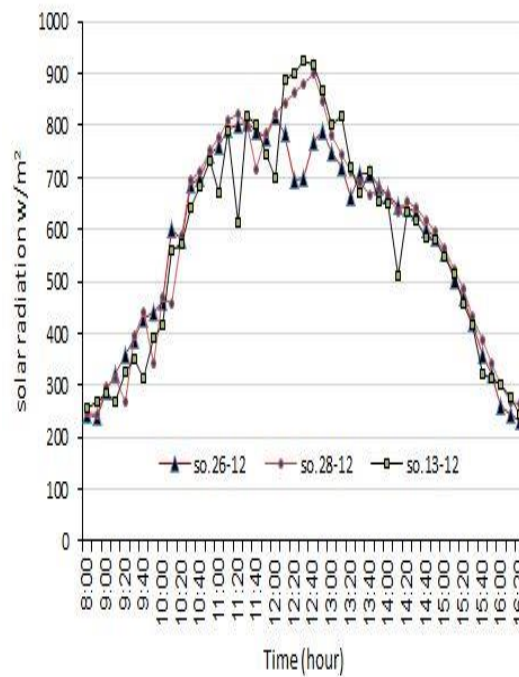
This study included an experimental analysis for the purpose of improving the performance of a conventional double-pass solar air heater by replacing the flat absorber plate of the conventional model with a corrugated plate and adding steel wool in the lower passage of the air heater while keeping all dimensions constant for the two models. The two systems were operated together under the same conditions and at a constant airflow (0.0416 kg/s). The results showed that the thermal efficiency and the temperature of the air exiting from the solar heater can be improved using the improvements that have been indicated, as the highest monthly average of thermal efficiency in March 2020 was (67.07%) and (49.7%) for the improved and conventional systems, respectively. The results also showed that the improved model retains the heat gained from solar radiation for a longer period compared to the conventional model at a constant solar radiation intensity. These improvements also contributed to a clear increase in the temperature of the air leaving the system, as the average difference in the temperature of the air entering and leaving the system reached in February to (23.34°C) and (19.28°C) for the improved and conventional systems, respectively. The results also proved that the improvements over the conventional system led to a reduction in the amount of heat lost from the solar air heater.

Keywords:

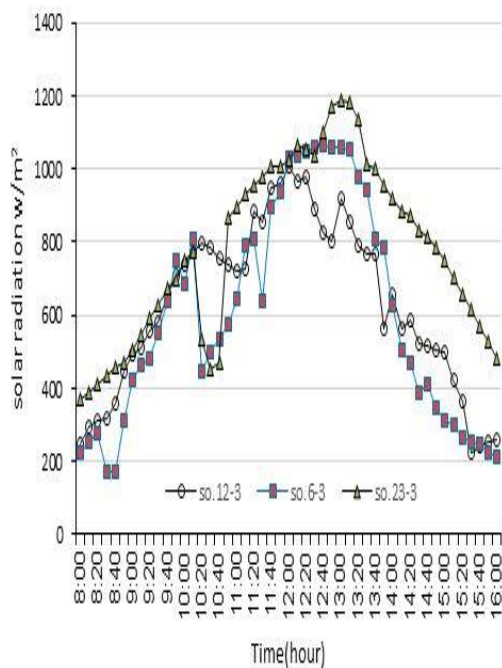
Solar Air Heater, Absorber corrugated plate, Steel Wool.



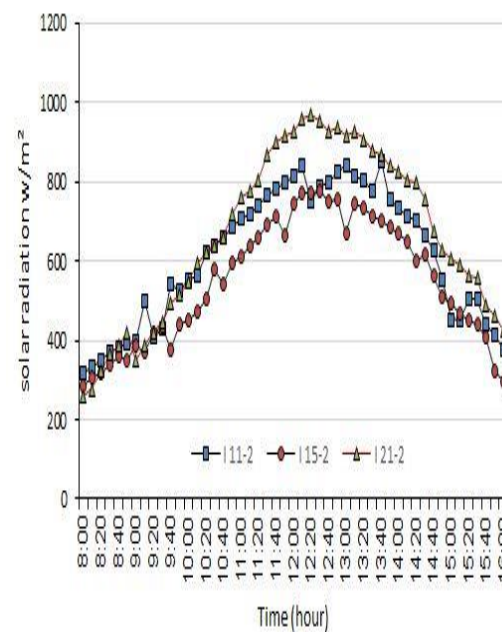
الشكل (6): تغير الاشعاع الشمسي ليوم (2، 14، 27) كانون الثاني.



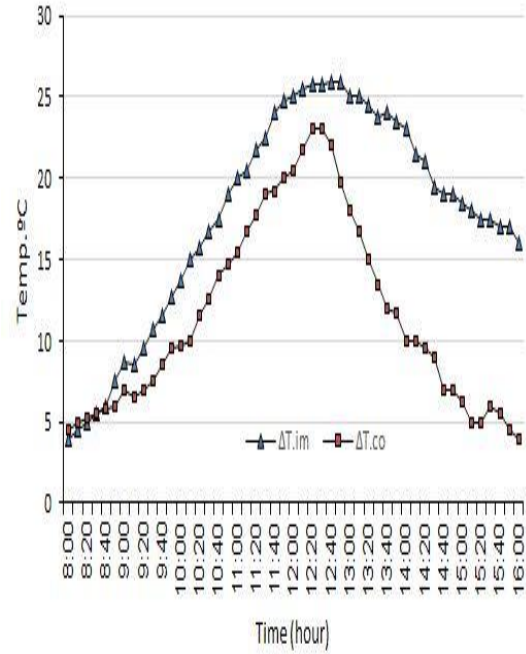
الشكل (5): تغير الاشعاع الشمسي ليوم (16، 26، 28) كانون الاول.



الشكل (7): تغير الاشعاع الشمسي ليوم (11، 51، 21) شباط.

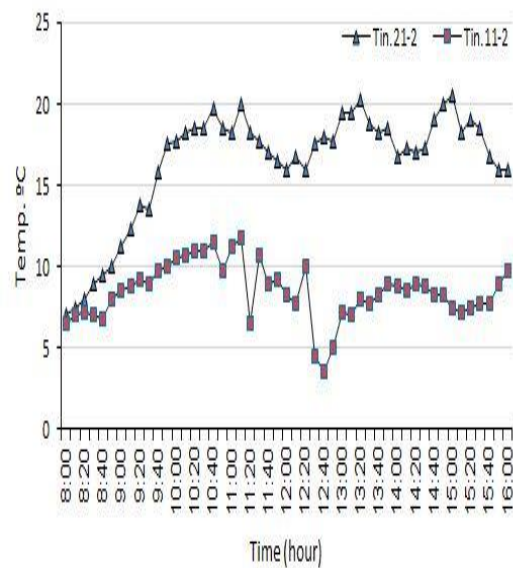
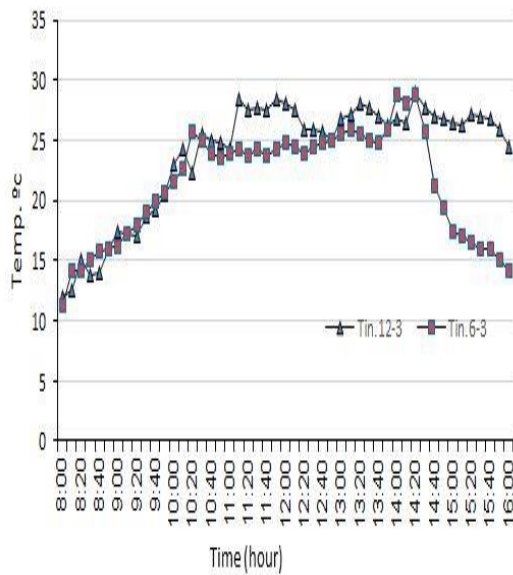


الشكل (8): تغير الاشعاع الشمسي ليوم (6، 12، 23) اذار.



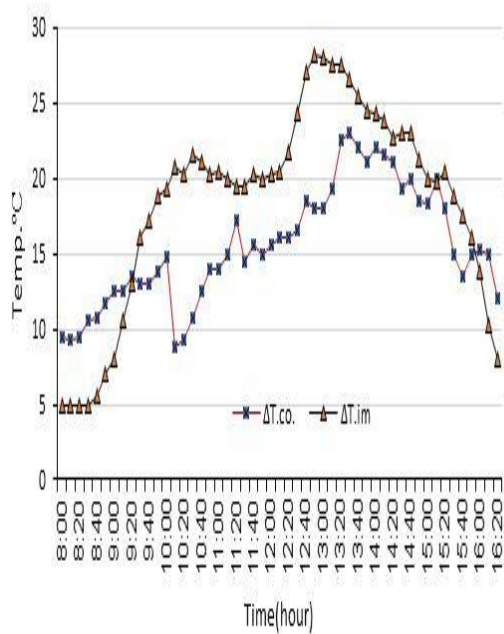
الشكل (10): تغير درجة حرارة المحيط ليوم (25، 27) كانون الثاني.

الشكل (9): تغير درجة حرارة المحيط ليوم (16 ، 26) كانون الاول.

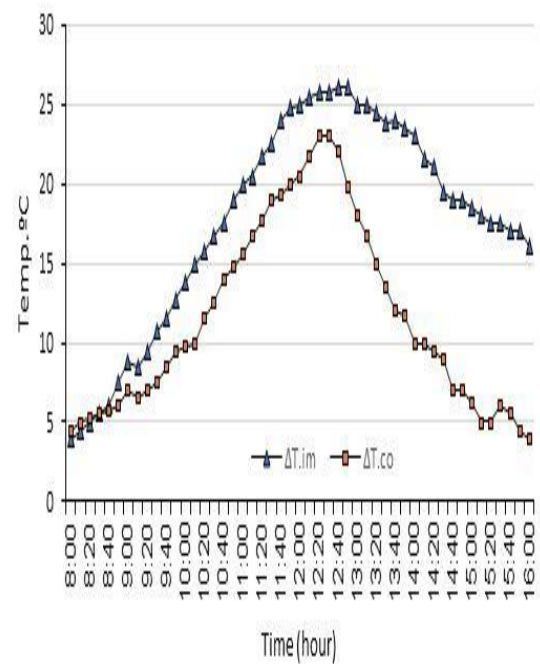


الشكل (12): تغير درجة حرارة المحيط ليوم (6، 12) اذار.

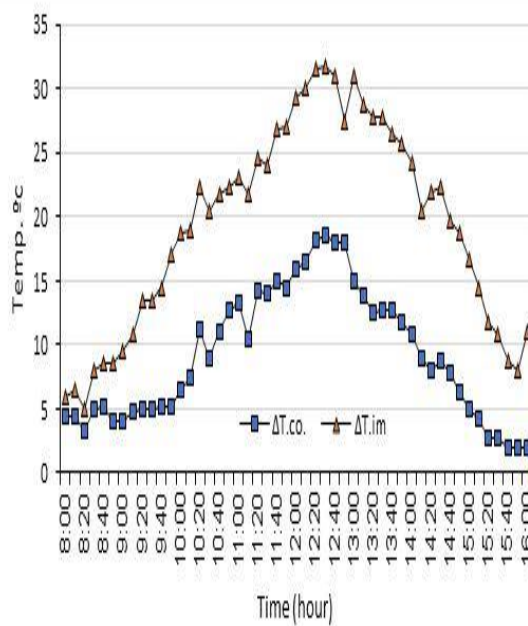
الشكل (11): تغير درجة حرارة المحيط ليوم (11، 21) شباط.



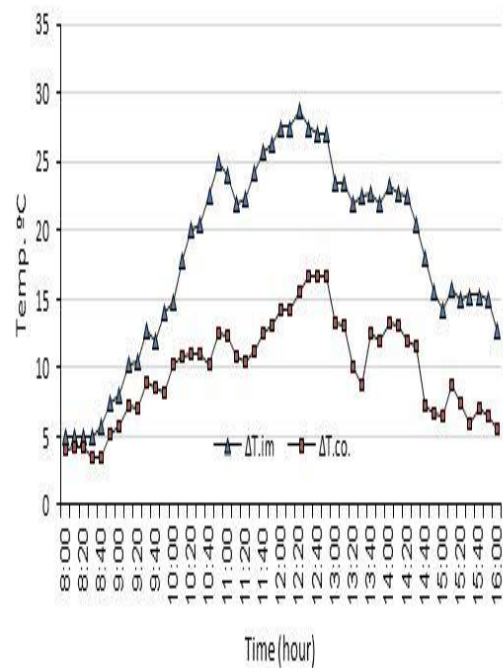
الشكل (14): الفرق بين درجة حرارة الهواء للنموذجين ليوم 2020-1-27.



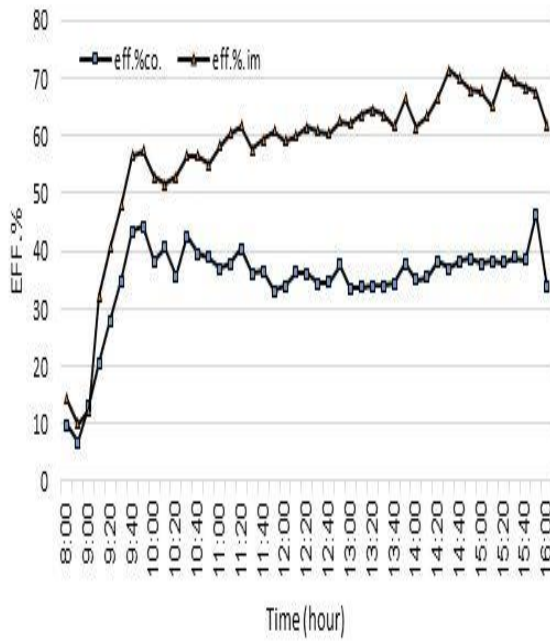
الشكل (13): الفرق بين درجة حرارة الهواء للنموذجين ليوم 2019-12-26.



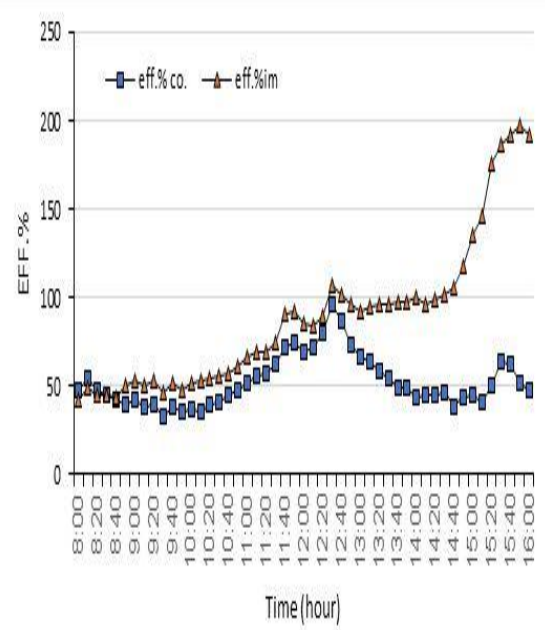
الشكل (16): الفرق بين درجة حرارة الهواء للنموذجين ليوم 2020-3-12.



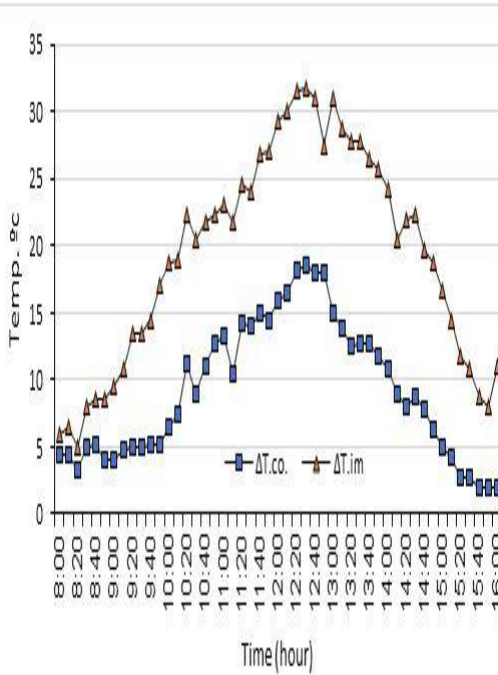
الشكل (15): الفرق بين درجة حرارة الهواء للنموذجين ليوم 2020-2-21.



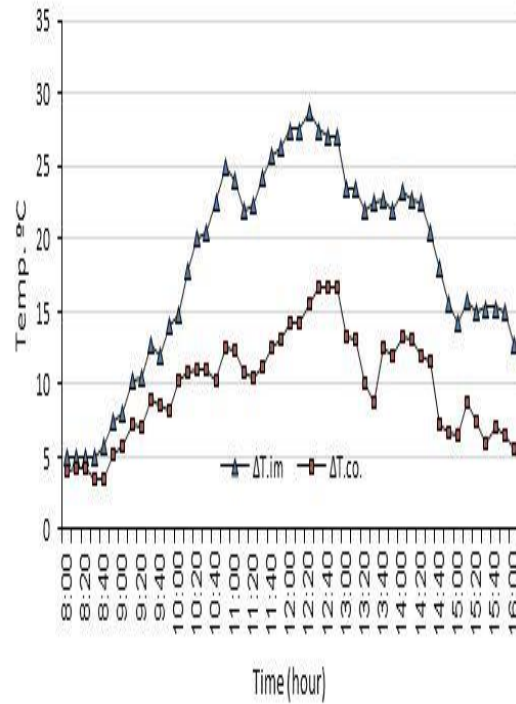
الشكل (18): الفرق بين الكفاءة الحرارية للنموذجين ليوم 2020-1-27.



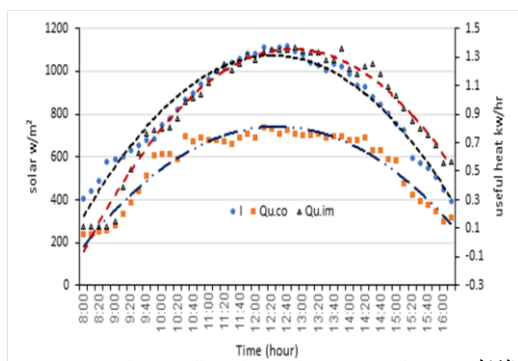
الشكل (17): الفرق بين الكفاءة الحرارية للنموذجين ليوم 2019-12-26.



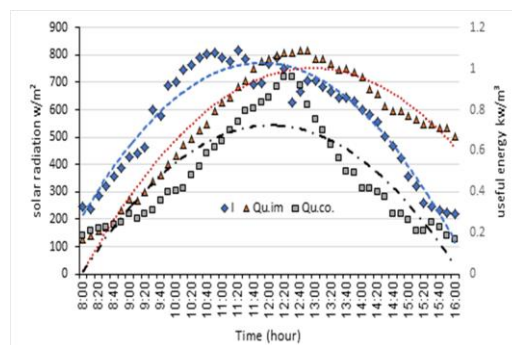
الشكل (20): الفرق بين الكفاءة الحرارية للنموذجين ليوم 2020-3-12.



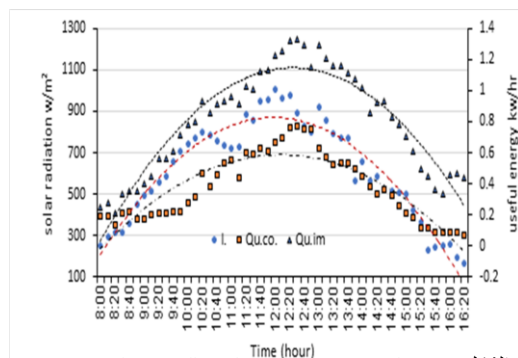
الشكل (19): الفرق بين الكفاءة الحرارية للنموذجين ليوم 2020-2-21.



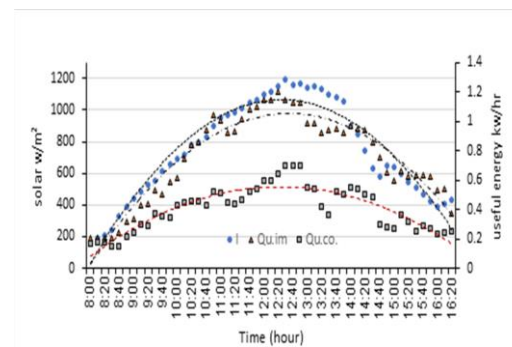
الشكل (22): الفرق بين كمية الحرارة النافعة للنموذجين ليوم 2020-1-27.



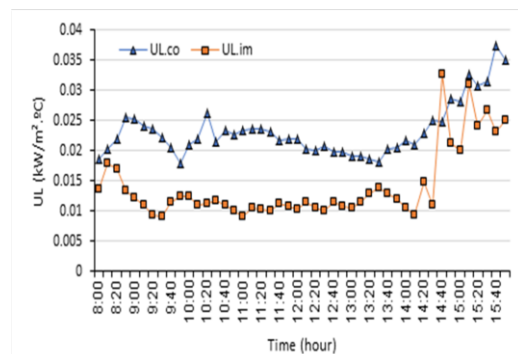
الشكل (21): الفرق بين كمية الحرارة النافعة للنموذجين ليوم 2019-12-26.



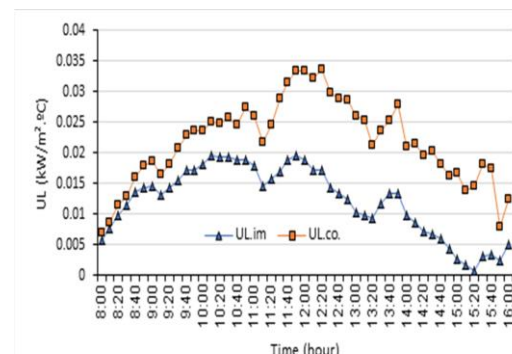
الشكل (24): الفرق بين كمية الحرارة النافعة للنموذجين ليوم 2020-3-12.



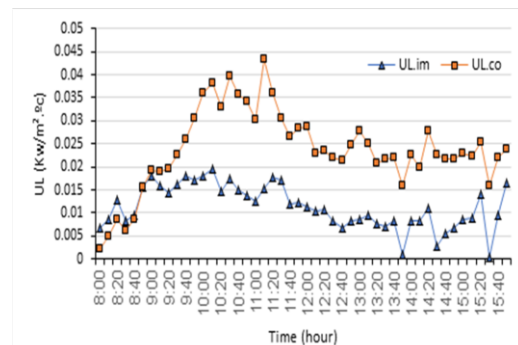
الشكل (23): الفرق في كمية الحرارة النافعة للنموذجين ليوم 2020-2-21.



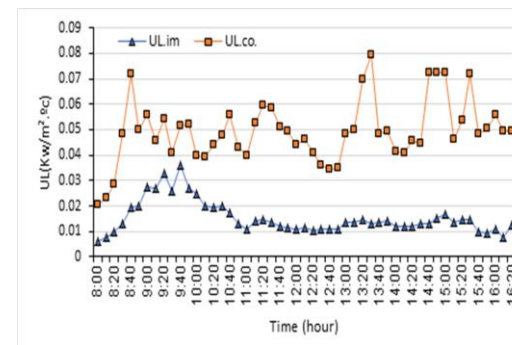
الشكل (26): تغير معامل انتقال الحرارة الكلي للنموذجين ليوم 2020-1-27.



الشكل (25): تغير معامل انتقال الحرارة الكلي للنموذجين ليوم 2020-12-26.



الشكل (28): تغير معامل فقدان الحرارة الكلي للنموذجين ليوم 2020-3-12.



الشكل (27): تغير معامل فقدان الحرارة الكلي للنموذجين ليوم 2020-2-21.