

## دراسة نظام تسخين منزل مقاد بواسطة منظم حرارة، وحساب توزيع درجات الحرارة خلال زمن محدد باستخدام برنامج Matlab\Simulink وبرنامج SolidWorks 2017

د. توفيق أبو شديد<sup>(1)</sup>

### الملخص

تمت دراسة توزيع درجات الحرارة والحرارة المكتسبة والمفقودة داخل بناء والنتيجة عن تدفق هواء ساخن نتيجة مروره عبر مصدر تسخين مقاد بواسطة منظم حرارة للمحافظة على درجة حرارة ثابتة  $T = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$  عند تغير درجة حرارة الوسط الخارجي جيبياً بين القيمتين  $T_{max} = 18\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $T_{min} = 2\text{ }^{\circ}\text{C}$  خلال زمن يصل إلى 48 ساعة.

استخدمت في هذه الدراسة برامج المحاكاة الحاسوبية Matlab\Simulink لدراسة النموذج الرياضي أحادي البعد لانتقال الحرارة، وبرنامج SolidWorks لدراسة السلوك الحراري للنموذج ضمن الأبعاد الثلاثة، وحساب توزيع درجات الحرارة، السرعة، وكثافة الهواء المتدفق إلى البناء.

وُجد أن درجة حرارة الهواء داخل البناء تتأرجح بمقدار  $\pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$  عن الدرجة المطلوبة  $T = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$  وكلما ارتفعت درجة حرارة الوسط الخارجي انخفض تواتر الإشارات الواردة من منظم الحرارة، لانخفاض كمية الحرارة المفقودة من البناء. وصلت كمية الحرارة المكتسبة إلى  $11 \times 10^8\text{ [J]}$  خلال فترة زمنية 48 ساعة، بينما بلغت السرعة العظمى للهواء المتدفق إلى البناء حوالي 1.76 m/s.

**كلمات مفتاحية:** انتقال الحرارة، منظم حرارة، الحرارة المكتسبة، الحرارة المفقودة، برنامج SolidWorks Flow Simulation، محاكاة حاسوبية.

<sup>(1)</sup> قائم بالأعمال في كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية الثانية-جامعة دمشق

## Study of house heating model driven by thermostat and calculation of temperatures distribution during specific time using Matlab\simulink and SolidWorks 2017

Dr. Tawfik Abo Shdeed<sup>(2)</sup>

### Abstract

In this paper, the distribution of temperatures, heat gain, and heat loss from/to building as a function of time, were studied. Where the hot air passing through a heating source driven by a thermostat to keep the room temperature at a constant value  $T = 20\text{ C}^{\circ}$ . When the temperature of the outside changes sinusoidal between the values  $T_{\max} = 18\text{ C}^{\circ}$ ,  $T_{\min} = 2\text{ C}^{\circ}$  over a period of 48 hours.

We used the Matlab \ Simulink simulation software to study the one-dimensional mathematical model of heat transfer, and SolidWorks program to study the thermal behavior of the studied model in three dimensions and calculate the distribution of fluid temperature, velocity, and density.

The temperature of the air inside the room will fluctuate by  $\mp 2\text{ C}^{\circ}$  from the set temperature  $T = 20\text{ C}^{\circ}$ , as the temperature of the outside increase, as the frequency of the signals coming from the thermostat decrease. the amount of gained heat reached  $11 \times 10^8\text{ [J]}$  over a period of 48 hours, while the maximum velocity of air inside the building was about  $1.76\text{ m / s}$ .

**Key words:** Heat transfer, thermostat, heat gain, heat loss, SolidWorks Flow Simulation, computer simulation.

---

<sup>(2)</sup>Academic staff member, Faculty of 2<sup>nd</sup> Mechanical & Electrical Engineering, Damascus University, Syria

## المقدمة

العناصر المنتهية (finite element method FEM) لحل المعادلات التفاضلية ودراسة المسألة. استخدم في هذه الدراسة برنامج SolidWorks Flow Simulation 2017 لدراسة السلوك الحراري وانتقال الحرارة من الأبنية إلى الوسط الخارجي وبالعكس في الفضاء ثلاثي الأبعاد، وهو برنامج تصميم ميكانيكي ثلاثي الأبعاد (التصميم بمساعدة الحاسب) يعمل تحت بيئة Microsoft Windows، تم تطويره من قبل شركة Dassault Systèmes إحدى شركات مجموعة داسو في فرنسا، وهو برنامج معتمد في كثير من الشركات العالمية والوكالات البحثية (وكالة أبحاث الفضاء الأمريكية ناسا) والجامعات [4]. كما استخدم أيضاً برنامج Matlab\Simulink R2016a لمحاكاة النموذج والتعبير عن المعادلات الرياضية التي تصف انتقال الحرارة من أو إلى داخل البناء ومن ثم دراسة تغير درجات الحرارة داخل البناء، مع الزمن. بيئة المحاكاة Simulink هي منهج برمجي يمكن من خلاله نمذجة الأنظمة الديناميكية، ومحاكاتها، وتحليلها، سواء بزمن مستمر أو متقطع، توفر هذه البيئة إمكانية البرمجة البيانية الصندوقية عن طريق بناء التتابع المعبرة عن المعادلات الرياضية للمنظومة للوصول إلى مخطط يعبر عن المسألة المطروحة.

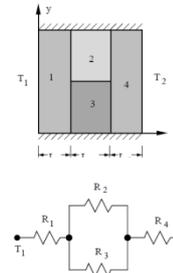
## (2) النموذج الهندسي المدروس:

يبين الشكل (2) النموذج الهندسي لنظام تسخين البناء والمؤلف من المصدر الحراري أو السخان (Heater)، منظم الحرارة (Thermostat) للتحكم بتشغيل المصدر الحراري حسب درجة حرارة الغرفة، والبناء المدروس (Room).

حيث يشمل النموذج المدروس ثلاثة متغيرات وهي:

(Qgain) الطاقة الحرارية المنقلبة من المصدر الحراري للبناء،

يعتمد الاستقرار الحراري داخل الأبنية على كل من الاستقرار الحراري لمواد بناء الجدران، والسعة الحرارية للمعدات الموجودة ضمن البناء [1]. وتعتمد المقاومة الحرارية للأبنية وتتأثر بالعزل الحراري الجيد لجدران البناء، فالعزل الجيد يخفض الحرارة المفقودة شتاءً والتسخين غير المرغوب به أو انتقال الحرارة من الخارج صيفاً. ومن ثم دراسة فعالية الأداء الحراري لمواد البناء تتطلب محاكاة عمليات انتقال الحرارة المختلفة (التوصيل من خلال الجدران والأسقف والأرضية، الحمل، والإشعاع) بين الفراغ الداخلي للبناء والوسط المحيط [2]. معظم الدراسات السابقة لانتقال الحرارة ضمن الأبنية تعتمد على انتقال الحرارة أحادي البعد (one-dimensional heat flow) الشكل (1) [1],[3].



الشكل (1): انتقال الحرارة أحادي البعد مع نموذج الدارة الحرارية المكافئة.

من ثم فالنتائج التي يتم الحصول عليها عند حل المعادلات الرياضية في بعد أحادي لا تعطي التقييم الدقيق لسلوك النموذج المدروس.

نتيجة التطور في البرامج الحاسوبية في الآونة الأخيرة، أضحى بالإمكان دراسة وتقييم السلوك الحراري وانتقال الحرارة، وحل المعادلات الرياضية التفاضلية، الواسفة لمعدل انتقال الحرارة ضمن فضاء ثلاثي الأبعاد، مما يعطي نتائج أكثر دقة وأقرب للسلوك الحقيقي الفعلي للنموذج المدروس، حيث تعتمد هذه البرامج على طريقة

د. توفيق أبو شديد. دراسة نظام تسخين منزل مفاد بواسطة منظم حرارة، وحساب توزع درجات الحرارة خلال زمن محدد باستخدام....

$$\frac{dQ_{loss}}{dt} = k.A. \frac{(T_{room} - T_{outside})}{D} \dots (3)$$

حيث:  $D$  سماكة الجدار أو النافذة،  $A$ : مساحة سطح النافذة أو الجدار،  $k$ : معامل الموصلية الحرارية،  $T_{outside}$ : درجة حرارة الوسط خارج البناء.

يُعطى معدل تغير درجات الحرارة داخل النموذج من خلال العلاقة:

$$\frac{dT_{room}}{dt} = \frac{1}{M_{roomair} \cdot c_{p_{air}}} \left( \frac{dQ_{gain}}{dt} - \frac{dQ_{loss}}{dt} \right) \dots (4)$$

استخدم في الدراسة التصميم الافتراضي للبناء الموضح في الشكل (3) ذي الأبعاد (32m , 14m , 5.6m) المؤلف من 6 نوافذ بمساحة  $1 \text{ m}^2$  لكل نافذة ومصنوعة من fiberglass.

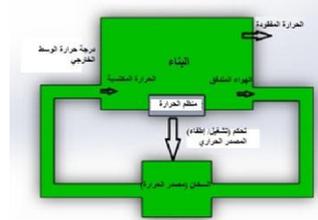
يبين الجدول (1) قيم الثوابت المستخدمة في هذه الدراسة مع الواحدات [1], [5]:

الجدول (1) قيم الثوابت المستخدمة في هذه الدراسة معالوحدات

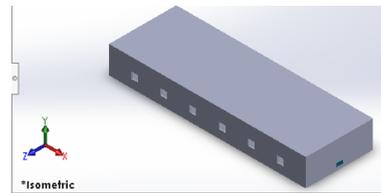
المقدار	القيمة
مساحة الجدران مساحة النوافذ	$A_{wall} = 960.9 \text{ m}^2$ (32m , 14m , 5.6m) $A_{window} = 6 \text{ m}^2$
سماكة الجدران والنوافذ	$D_{wall} = 0.2 \text{ m}$ $D_{window} = 0.01 \text{ m}$
معامل الموصلية الحرارية	$k_{fiberglass} = 0.78 \frac{W}{m.K}$ $k_{wall} = 0.038 \frac{W}{m.K}$
كتلة الهواء في البناء	$M_{roomair} = 1470 \text{ kg}$
معدل تدفق الهواء الساخن	$\dot{m}_{heaterair} = 3600 \frac{kg}{h}$
الحرارة النوعية للهواء	$c_{p_{air}} = 1005.4 \frac{J}{kg.K}$
درجة حرارة المسخن	$T_{heater} = 50 \text{ }^\circ\text{C}$

$(Q_{loss})$  الطاقة الحرارية المنتقلة من البناء إلى الوسط الخارجي،

$(T_{room})$  درجة الحرارة داخل البناء.



الشكل (2) النموذج الهندسي لنظام تسخين بناء والمتضمن ثلاثة مكونات: المصدر الحراري (Heater)، منظم الحرارة (Thermostat)، البناء (Room).



الشكل (3) التصميم الهندسي للبناء المستخدم في هذه الدراسة ذي الأبعاد (32m , 14m , 5.6m) وسماكة جدار 0.2m باستخدام برنامج SolidWorks 2017. تُعطى الطاقة الحرارية المنتقلة بواسطة الحمل من الهواء الساخن القادم من المصدر الحراري إلى الهواء داخل البناء من خلال العلاقة:

$$Q_{gain} = M_{heaterair} \cdot c_{p_{air}} (T_{heater} - T_{room}) \dots (1)$$

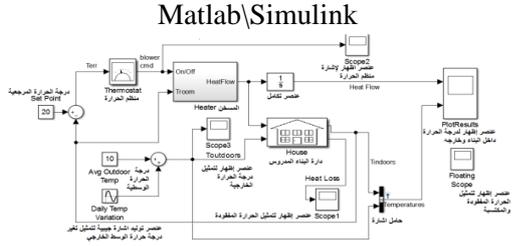
$T_{heater}$ : درجة حرارة الهواء الساخن الوارد إلى البناء،  $M_{heaterair}$ : كتلة الهواء الساخن القادم من المسخن،  $c_{p_{air}}$ : السعة الحرارية النوعية للهواء تحت ضغط ثابت.

ويكون تغير الطاقة الحرارية خلال واحدة الزمن:

$$\frac{dQ_{gain}}{dt} = \dot{m}_{heaterair} \cdot c_{p_{air}} (T_{heater} - T_{room}) \dots (2)$$

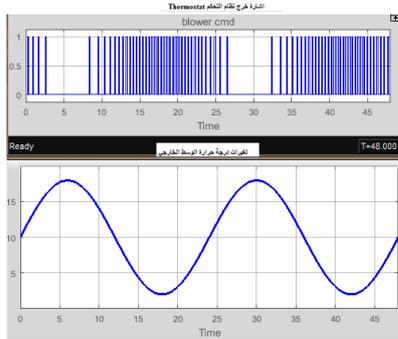
حيث:  $\dot{m}_{heaterair} = \frac{M_{heaterair}}{dt}$  معدل التدفق الكتلي للهواء الساخن.

أما معدل الطاقة المفقودة من البناء بالتوصيل عبر الجدران والنوافذ تعطى بالعلاقة:



الشكل (5) المخطط الصندوقي الذي يصف السلوك الحراري للنموذج المدروس باستخدام برنامج Matlab/Simulink

يتألف هذا المخطط من ثلاثة أنظمة جزئية، وهي: النظام الجزئي Thermostat: منظم الحرارة الذي يعطي إشارة إما 0 أو 1 للمسخن ليعمل، والنظام الجزئي Heater: نظام تسخين الهواء يعطي طاقة حرارية خلال واحدة الزمن إلى البناء عندما تكون الإشارة الواردة إليه من نظام التحكم هي 1 ويعبر عنه بالمعادلة (2)، أما النظام الثالث House: البناء الذي يأخذ الحرارة من الهواء الساخن الوارد إليه من المسخن ليعوض الفاقد الحراري نتيجة الضياعات الحرارية عبر الجدران والنوافذ. يوضح الشكل (6) تغيرات إشارة خرج منظم الحرارة Thermostat مقارنة مع تغير درجة حرارة الوسط الخارجي خلال فترة زمنية 48 ساعة.

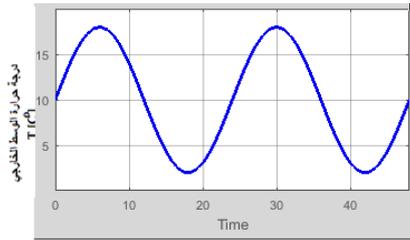


الشكل (6) تغيرات إشارة خرج منظم الحرارة Thermostat مقارنة مع تغير درجة حرارة الوسط الخارجي خلال فترة زمنية 48 ساعة.

بينما يبين الشكل (7) تغيرات درجة الحرارة داخل البناء ودرجة حرارة الوسط الخارجي وكمية الحرارة المقدمة إلى

$T_{roomIC} = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$	درجة حرارة منظم الحرارة
---	-------------------------

تتأرجح درجة حرارة الوسط المحيط بالبناء حول القيمة الوسطية  $T_{Outdoor} = 10\text{ }^{\circ}\text{C}$  خلال فترة زمنية 48 Hour، فهي ترتفع إلى الدرجة 18 ثم تنخفض مجدداً إلى الدرجة 2 وفق منحنى جيبي، كما هو مبين في الشكل (4)، وهو التراوح بين الليل والنهار.



الشكل (4) منحنى تغير درجة حرارة الوسط المحيط بالبناء خلال 48 ساعة.

تحسب المقاومة الحرارية المكافئة لكل من الجدران وزجاج النوافذ من خلال العلاقة الآتية:

$$R_{wall} = \frac{D}{k \cdot A} = \frac{0.2 [m]}{0.038 \left[ \frac{W}{m \cdot K} \right] \times 960.9 [m^2]} = 5.47 \times 10^{-3} \frac{K}{W}$$

$$R_{windows} = \frac{D}{k \cdot A} = \frac{0.01 [m]}{0.78 \left[ \frac{W}{m \cdot K} \right] \times 6 [m^2]} = 2.14 \times 10^{-3} \frac{K}{W}$$

$$R_{eq} = \frac{R_{wall} * R_{windows}}{R_{wall} + R_{windows}} = 1.54 \times 10^{-3} \frac{K}{W}$$

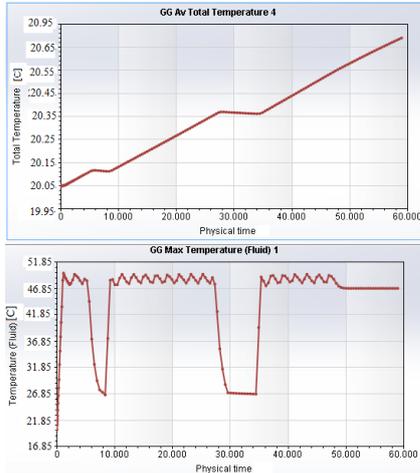
(3) نمذجة ومحاكاة النموذج المدروس باستخدام

Matlab/Simulink

يبين الشكل (5) المخطط الصندوقي الذي يصف السلوك الحراري للنموذج المدروس باستخدام برنامج

د. توفيق أبو شديد. دراسة نظام تسخين منزل مفاد بواسطة منظم حرارة، وحساب توزيع درجات الحرارة خلال زمن محدد باستخدام....

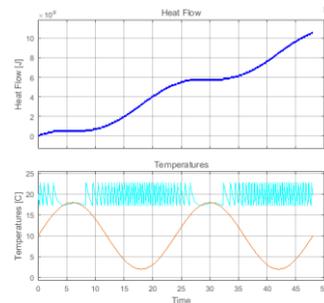
الوسطية للهواء داخل البناء، وبينما الجزء الأسفل من الشكل (9) يوضح تغيرات درجة حرارة الهواء الأعظمية (القادم من المسخن (Heater).



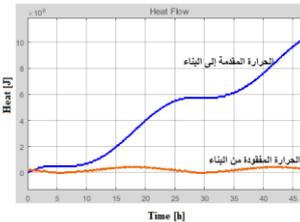
الشكل (9) يمثل الجزء العلوي تغيرات درجة الحرارة الوسطية للهواء داخل البناء، وبينما الجزء الأسفل يوضح تغيرات درجة حرارة العظمى للهواء (القادم من المسخن (Heater) بدلالة الزمن.

تكون درجة الحرارة أعظمية عند منطقة دخول الهواء الساخن للبناء، وهذا موضح في الشكل (10) الذي يمثل تغيرات كل من درجة الحرارة (K)، سرعة الهواء داخل البناء (m/s)، والكتلة الحجمية للهواء  $\frac{kg}{m^3}$  ضمن مقطعين متعامدين داخل البناء والذي تم الحصول عليها باستخدام برنامج SolidWork Flow Simulation.

البناء بدلالة الزمن (مقدراً بالساعات)، ويبين الشكل (8) كمية الحرارة المقدمة للبناء والمفقودة منه بدلالة الزمن.



الشكل (7) تغيرات درجة الحرارة داخل البناء ودرجة حرارة الوسط الخارجي (الشكل في الأسفل) وكمية الحرارة الواردة إلى البناء (الشكل في الأعلى) بدلالة الزمن (مقدراً بالساعات).



الشكل (8) يبين كمية الحرارة المفقودة والمقدمة إلى البناء خلال الفترة الزمنية المدروسة.

#### 4) دراسة السلوك الحراري للنموذج المدروس باستخدام برنامج SolidWork Flow Simulation 2017 :

إن المعادلات الرياضية السابقة التي تصف السلوك الحراري للبناء تمت في بعد واحد، لكن لمعرفة توزيع درجات الحرارة داخل البناء وانتقال الحرارة من وإلى البناء في فضاء ثلاثي الأبعاد، اعتمدنا على دراسة السلوك الحراري للنموذج وفقاً للبارامترات السابقة نفسها والموضحة في الجدول (1) باستخدام برنامج SolidWork Flow Simulation 2017. يبين الشكل (9) تغيرات درجة الحرارة داخل البناء بدلالة الزمن، حيث يمثل الجزء العلوي من الشكل (9) تغيرات درجة الحرارة

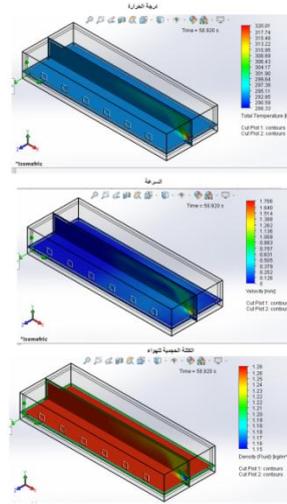
خلال الفترة الزمنية 48 h إلى حوالي  $[J] \times 10^8 \times 11$  ذلك من أجل نموذج لدرجة حرارة الوسط الخارجي الموضح في الشكل (4). كما استُخدم برنامج SolidWorks Flow Simulation لدراسة تغيرات درجة الحرارة للهواء داخل البناء عند الشروط نفسها، حيث يلحظ من الشكل (9) أن درجة الحرارة الوسطية داخل البناء تتراوح بين  $19.95 - 20.95^\circ\text{C}$  وهي ثابتة تقريباً، بينما درجة الحرارة العظمى للهواء الساخن عند الدخول تتأرجح بين القيمتين  $51^\circ\text{C} - 48^\circ\text{C}$  عند عمل منظم الحرارة، وتنخفض حتى درجة حرارة الغرفة  $20^\circ\text{C}$  عندما يكون نظام الحرارة متوقف عن العمل. يلحظ من الشكل (10) أن سرعة الهواء العظمى تصل إلى  $v = 1.76 \frac{\text{m}}{\text{s}}$  وتنخفض تدريجياً بالابتعاد عن منطقة الدخول الهواء إلى البناء.

#### (6) الخلاصة والاستنتاجات:

تمت دراسة كمية الحرارة المفقودة والمكتسبة داخل بناء، محدد الأبعاد، والنااتجة عن تدفق هواء ساخن نتيجة مروره عبر مصدر تسخين مقاد بوساطة منظم حرارة للمحافظة على درجة حرارة ثابتة  $T = 20^\circ\text{C}$  عند تغير درجة حرارة الوسط الخارجي جيبياً بين القيمتين  $T_{\text{max}} = 18^\circ\text{C}$ ،  $T_{\text{min}} = 2^\circ\text{C}$  خلال زمن يصل إلى 48 ساعة.

استخدمنا في هذه المحاكاة برنامج الـ MATLAB، الذي يستخدم طريقة الفروق المنتهية لحل المسائل الهندسية، وبرنامج SolidWorks Flow Simulation الهندسية، الذي يستخدم طرائق العناصر المنتهية وديناميك الموائع الحسابي CFD لحل المسائل الهندسية في فضاء ثنائي أو ثلاثي البعد مع واجهة رسومية تساعد المستخدم في التصميم والمحاكاة.

تشكل النتائج الحالية التي حصلنا عليها القاعدة الأساس من أجل دراسات حرارية مستقبلية في التدفئة والتبريد أكثر تعقيداً تأخذ بعين الاعتبار نوع طبقات الجدران وسماكتها، والنوافذ، والأبواب، للأبنية السكنية أو



الشكل (10) يوضح تغيرات كل من درجة الحرارة (K)، سرعة الهواء داخل البناء (m/s)، والكتلة الحجمية للهواء ضمن مقطعين متعامدين داخل البناء.

#### (5) مناقشة النتائج :

تم في هذا البحث وضع نموذج رياضي لانتقال الحرارة من وإلى بناء محدد بأبعاد هندسية معطاة في الجدول (1)، متصل بمنظم حرارة thermostat للمحافظة على درجة حرارة وسطية ثابتة داخل البناء عند القيمة  $\text{room} = 20^\circ\text{C}$  من خلال إعطاء إشارة للمسخن Heater إما 0 أو 1. ثم استخدم هذا النموذج الرياضي لبناء مخطط صندوقي في برنامج Matlab\Simulink لمحاكاة السلوك الحراري للنموذج. وُجد من خلال الدراسة أنه عند الارتفاع التدريجي لدرجة حرارة الوسط الخارجي (عند  $t < 4$  h) من القيمة 10 وحتى 18 يعمل نظام التسخين وتتأرجح حرارة الهواء داخل البناء حول القيمة  $20^\circ\text{C}$  بمقدار  $\pm 2^\circ\text{C}$ ، ومع ارتفاع درجة حرارة الوسط الخارجي وانخفاض معدل فقدان الحرارة من البناء ينخفض تواتر الإشارات الواردة من منظم الحرارة إلى المسخن الشكل (7)، ومع انخفاض درجة حرارة الوسط الخارجي (عند  $t > 8$  h) يعود نظام التسخين للعمل مجدداً ليزداد تواتر الإشارات الواردة إلى نظام التسخين Heater. تصل كمية الحرارة المقدمة للبناء

تلك المستخدمة في حفظ الفواكه والخضار، ووضع الأسس والمعايير التي تحدد الحرارة المفقودة من تلك الأبنية.

### (7) التوصيات:

بناءً على ما سبق فإن دراسة النموذج الرياضي باستخدام برنامج الماتلاب والنموذج الهندسي باستخدام برنامج SolidWorks أعطى قيمة دقيقة لتغيرات درجات الحرارة داخل البناء، وكمية الحرارة وفق الشروط المدروسة لتغيرات درجة حرارة الوسط الخارجي خلال 48 h، والأبعاد الهندسية للبناء، ويمكن استخدامه في مختلف الدراسات المتعلقة في هذا المجال. ونقترح أن يتم تطوير العمل بحيث يأخذ بعين الاعتبار كافة الشروط الأخرى مثل: مواد العزل للجدران، سماكة ونوعية زجاج النوافذ والأبواب، بحيث تصبح متغيرات يدرس تأثيرها في توزيع درجات الحرارة داخل البناء وكمية الحرارة المفقودة.

## المراجع References

- [1] H. Charvátová, A. Procházka, and et. Al., **Computer Simulation of Temperature Distribution during Cooling of the Thermally Insulated Room, Energies** 2018, **11**, 3205; doi:10.3390/en11113205. (2018)
- [2] M. C. Wendl, **Fundamentals Of Heat Transfer Theory and Applications; Department of Mechanical Engineering and School of Medicine Washington University-Saint Louis, U.S.A-Document Version 2.1 (August 2005),**
- [3] Dassault Systèmes - SolidWorks Corporation, **An Introduction to Flow Analysis Applications with SolidWorks Flow Simulation, [Internet]. Available from: [https://www.solidworks.com/sw/docs/flow\\_sim\\_studentwb\\_2011\\_eng.pdf](https://www.solidworks.com/sw/docs/flow_sim_studentwb_2011_eng.pdf), [accessed 20.01.05].**
- [4] MathWorks: Simulink Getting Started Guide ; The MathWorks, Inc. R2015a, [Internet]. Available from: [www.mathworks.com](http://www.mathworks.com); [accessed 19.12. 20].
- [5] S. Sehnalek, M. Zálešák, **Evaluation of SolidWorks Flow Simulation by ground-coupled heat transfer test cases, Conference Paper· July 2014, [Internet]. Available from: <https://www.researchgate.net/publication/265721265>. [accessed 20.01.03].**

Received	2020/1/6	إيداع البحث
Accepted for Publ.	2020/7/15	قبول البحث للنشر