

الأثر البيئي والاقتصادي لتطبيق تكنولوجيا البلاطات المشعة في سورية

د. عماد الدين كنجو*

أماني أبو علي**

(تاريخ الإيداع 8 / 6 / 2021. قُبل للنشر في 3 / 10 / 2021)

□ ملخص □

تفتقر غالبية المباني في سورية للتصميم الحراري، ولمنظومة التدفئة والتكييف، ويُستعاض عنها بحلول لا تُؤمن الراحة الحرارية وتلحق أضراراً بالبيئة.

السعي لتأمين الراحة الحرارية، إضافة لارتفاع أسعار الوقود وازدياد الوعي بتأثيره السلبي على البيئة هي أسباب دفعت للتفكير بحلول تُسبب ضرراً أقل للبيئة، وتُؤمن الراحة الحرارية المطلوبة وبأقل تكلفة ممكنة.

تم في هذا البحث دراسة التأثير الاقتصادي والبيئي لتطبيق تكنولوجيا البلاطات المشعة في سورية عبر إجراء مقارنة بدائل بينها وبين الحالة التقليدية (بلاطات الهوردي ونظام المُشعات) من حيث تكاليف دورة الحياة ومقدار انبعاث الغازات الضارة بالبيئة.

بيّنت الدراسة أنّ استخدام البلاطات المُشعة بدلاً من الحالة التقليدية سيقود إلى انخفاض في التكاليف الإجمالية خلال دورة حياة المباني المدروسة بقيمة سنوية وسطية بلغت حوالي: 860 Sp/m^2 وذلك بسعر صرف $400 \text{ Sp}/\text{\$}$ ، بينما سيقود إلى ارتفاع ضئيل في مقدار انبعاث الغازات الضارة بالبيئة بقيمة سنوية وسطية بلغت حوالي: 2.4 kg/m^2 ، وعلى التوالي لكل من الغازات التالية: $(\text{CO}_2, \text{CO}, \text{SO}_2, \text{NO}_x)$.

الكلمات المفتاحية : البلاطة المشعة ، التدفئة الأرضية ، الاستدامة ، الراحة الحرارية .

*مدرس_قسم هندسة وإدارة التشييد_ كلية الهندسة المدنية_ جامعة تشرين_ اللاذقية _ سورية. imadkinjo@tishreen.edu.sy

**طالبة ماجستير_قسم هندسة وإدارة التشييد_ كلية الهندسة المدنية_ جامعة تشرين_ اللاذقية _ سورية .

amaniaboali@tishreen.edu.sy

The Environmental and Economic Impact of Applying Radiant Slabs Technology in Syria

Dr. Imad Aldin Kinjo *

Amani Abu Ali **

(Received 8 / 6 / 2021. Accepted 3 / 10 / 2021)

□ ABSTRACT □

In Syria, buildings often lack thermal design and Heating, Ventilating, and Air Conditioning systems, and they are being replaced by solutions that do not provide thermal comfort and damage the environment.

The pursuit of thermal comfort, the high price of fuel and the increased awareness of its negative impact on the environment are guide reasons for considering solutions that cause less environmental damage, and provide the required thermal comfort at the lowest cost.

In this research, the radiant slabs technology was studied as an alternative that will be compared with traditional case in Syria (Hourdi slabs and the radiators system) in terms of the costs during the building life cycle and the emission of harmful gases to the environment.

The study proved that the radiant slabs in comparison with traditional case were able to reduce the life cycle costs of studied buildings by an annual average of about 860 Sp/m^2 at an exchange rate 400 Sp/\$, while they increased the amount of harmful gases that emitted to the environment slightly by annual averages of about: (2.4, 0.0003, 0.03, 0.006) kg/m^2 for each of the following gases: (CO_2 , CO, SO_2 , NO_x), respectively.

Keywords : radiant slab, floor heating, sustainability, thermal comfort .

* Assistant Professor, Department of Construction Engineering And Management, Faculty of civil Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria. imadkinjo@tishreen.edu.sy .

** Postgraduate Student (Master) , Department of Construction Engineering And Management, Faculty of civil Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria. amaniaboali@tishreen.edu.sy .

مقدمة:

المباني هي الحاضن الأساسي للناس يقضون غالبية وقتهم فيها، لذا فإنّ العمل على جعلها بيئة مريحة يُعد هدف أساسي لضمان حياة صحيّة ومنتجة لهم. ولتأمين البيئة المريحة من الناحية الحراريّة أي تحقيق ما يُسمّى الارتياح الحراري لا بدّ من التّكامل ما بين التّصميم الحراري الجيّد لمغلف المبنى، وبين استخدام منظومة التّدفئة والتّكييف المناسبة .

حدد كود العزل الحراري السوري (Syrian Thermal Insulation Code, 2007) أهداف التّصميم الحراري الجيّد لمغلف المبنى بما يلي :

1. توفير الطّاقة المستخدمة لأغراض التّدفئة والتّكييف .
2. تخفيض الضّياع الحراري .
3. تخفيض الكلفة التّأسيسية والصيانة لأجهزة وتمديدات أنظمة التّدفئة والتّكييف .
4. تأمين شروط الارتياح الحراري والأجواء الصحيّة لشاغلي المبنى .
5. تجنب حدوث التّكاثف أو التّقليل منه على السّطوح الداخليّة للمباني في المناطق الباردة عند استخدام التّدفئة وتجنّب الأضرار النّاجمة عن ذلك .
6. تخفيض كلفة الصيانة الدّوريّة النّاجمة عن الإجهادات الحراريّة للمبنى .
7. إطالة العمر الاستثماري للمنشأ .

تتمثّل منظومة التّدفئة والتّكييف بالمعدّات التي تسمح بالتحكم في الطّروف الداخليّة الحراريّة لتلبية احتياجات شاغلي المبنى، وقد أظهرت الدّراسات أنّ حوالي (35-40%) من إجمالي استهلاك الطّاقة في البلدان المتقدّمة كان سببه المباني، كما تبيّن أنّ أنظمة Heating, Ventilating, and Air Conditioning (HVAC) تشكّل نسبة تزيد عن 60% من إجمالي استهلاك الطّاقة في المباني (Mardiana, A ; Riffat, SB, 2015). انطلاقاً من ذلك، وخاصة بعد تقاوم المشاكل المتعلّقة بنقص الطّاقة وتغيّر المناخ كان لا بد من البحث عن حلول لتخفيض هذه الآثار، وتحقيق الكفاءة في استخدام الطاقة لذا بُدلت الكثير من الجهود على النّطاق العالمي لجعل المباني قادرة على توفير البيئات الداخليّة المرغوبة حراريّاً مع الحد الأدنى من استهلاك الطاقة، وقد استُخدمت لتحقيق ذلك تقنيّات عدّة كان منها ما يُعرف بتقنيّات التّدفئة والتّكييف المشعّة Radiant heating and cooling technologies ، وقد لاقت هذه التقنيّات رواجاً على نطاق واسع عالمياً لقدرتها في وقت واحد على تحقيق الرّاحة الحراريّة لساكني المبنى، وكفاءة استخدام الطّاقة .

يمكن تبويب الدّراسات السّابقة التي تناولت التقنيّات المشعّة وفق ثلاثة محاور أساسيّة:

1. الدّراسات التي قارنت الأنظمة المشعّة مع الأنظمة التي تستخدم الهواء كوسيط ناقل للحرارة وقد أثبتت هذه الأبحاث بمجمّلها أفضليّة الأنظمة المشعّة من حيث الرّاحة الحراريّة وكفاءة استخدام الطّاقة.
2. الدّراسات التي قارنت الأنظمة المشعّة مع نظام المُشعّات التّقليدي وقد تباينت نتائج هذه الدّراسات.
3. الدّراسات التي أثبتت أهميّة مكاملة التقنيّات المشعّة مع مصادر الطّاقة المُتجدّدة خاصّة فيما يتعلّق بكفاءة استخدام الطّاقة والتّأثير على البيئة.

نستعرض فيما يلي بعضاً من هذه الدّراسات:

(Sastry,G and Rumsey,P , 2014) قاموا بإجراء اختبار على مبنى Software Development (SDB) في حيدرآباد في الهند بحيث تم تقسيم المبنى إلى نصفين متماثلتي الخواص من حيث كل البارامترات باستثناء نظام HVAC حيث زُوّد القسم الأول بنظام تكييف (VAV system) variable air volume بينما زود القسم الآخر

بنظام تكييف مشع، أظهرت الدراسة أن النظام المشع أكثر كفاءة من نظام VAV فهو يحسن الراحة ويقلل استخدام الطاقة ويوفر تكاليف التركيب لأنظمة HVAC .

(Tian,Z and Love,J , 2009) قاموا بإجراء مقارنة لأداء الطاقة بين أنظمة الهواء التقليدية (VAV) والأنظمة المشعة radiant slab cooling باستخدام برنامج محاكاة EnergyPlus وذلك بالنسبة لمناخات مختلفة من البارد والجاف إلى الرطب والحار. أظهرت نتائج المحاكاة أن الأنظمة المشعة تؤمن أداء أفضل للطاقة وينسب تتراوح بين (10-40%) بالمقارنة مع نظام (VAV) التقليدي اعتماداً على نوع المناخ في الـ 16 منطقة مناخية المدروسة .

(Erol,N , 2013) أجرى مقارنة بين نظام الأرضية المشعة ونظام المشعات في شرق قبرص من حيث كفاءة استخدام الطاقة وتأمين الراحة الحرارية، حيث قام بحساب تكاليف التشغيل السنوية وفترة الاسترداد لكل نظام في حالات استخدام: مضخة حرارية heat pump، ديزل Diesel oil، غاز مُسال Liquefied petroleum gas، وقد تبين أن نظام التدفئة الأرضية أكثر اقتصادية، وأفضل حالة من حيث كفاءة الطاقة تتحقق باستخدام نظام التدفئة الأرضية مع مضخة حرارية، كما تبين أن نظام التدفئة الأرضية أفضل من حيث الراحة الحرارية وبعيد تكاليف التركيب خلال سنة ونصف إلى سنتين .

(Laukyte,G , 2014) أجرى محاكاة باستخدام أحد برامج الكمبيوتر من أجل المقارنة بين عدة أنظمة لتدفئة المكاتب في فنلندا من بينها: نظام المشعات، ونظام التدفئة الأرضية. بالنتيجة تبين أن نظام التدفئة الأرضية يحتاج طاقة أكبر من أجل توفير التدفئة سنوياً لكنه الأفضل من حيث توفير الراحة الحرارية.

(Larsson,J , 2016) أجرى دراسة على عدة مبانٍ في السويد تم فيها توزيع استبيانات لتقييم رضا السكان عن المناخ الداخلي وعن استهلاك الطاقة ضمن هذه المباني، كما قام بإجراء محاكاة للتحقق من كون استهلاك الطاقة في الأبنية الحاوية على نظام التدفئة الأرضية أقل من الأبنية الحاوية على نظام المشعات، ودرس تأثير عزل المبنى ونوعية مواد إكساء الأرضية على استخدام الطاقة. تبين أن الأبنية مع تدفئة أرضية تُحقق رضا أكبر لدى السكان من حيث كفاءة الطاقة وتأمين الراحة الحرارية، وبالمحاكاة تبين أن المباني ذات العزل الجيد والحواوية على نظام تدفئة أرضية وتستخدم البلاط كإكساء للأرضية هي الأفضل من حيث كفاءة استخدام الطاقة ولكن بفارق ضئيل عن تلك التي تحوي نظام مشعات.

(Kazanci,O , 2016) أجرى دراسة على أحد المنازل في الدنمارك لمدة سنة واحدة، تم فيها مقارنة استراتيجيات مختلفة للتدفئة والتكييف بهدف تقييم البيئة الداخلية الحرارية وأداء الطاقة ضمن هذا المبنى. تم بالقياس والمحاكاة إثبات صحة فرضية البحث القائلة أن أنظمة التدفئة بدرجة حرارة منخفضة والتكييف بدرجة حرارة مرتفعة (LTH & HTC Low temperature heating and High temperature cooling) هي الخيار الأمثل لتدفئة وتكييف المساحات الداخلية وأنها تملك أداءً أفضل بالمقارنة مع الأنظمة الأخرى، وأثبتت الدراسة أن أنظمة LTH & HTC التي تستخدم المياه يمكن أن تحقق وفورات كبيرة بالطاقة خاصة عند دمج هذه الأنظمة مع مصادر الطاقة المتجددة، كما أظهرت نتائج المحاكاة وجود تأثير ضئيل على إجمالي استهلاك الطاقة عند تطبيق استراتيجية استبدال المشعات بالتدفئة الأرضية وذلك في حال استخدام المرجل كمصدر حرارة لكل منهما.

(Chuduk,S , 2010) درس استخدام المضخة الحرارية أرضية المصدر GSHP مع نظام التدفئة الأرضية للأبنية المتعددة الطوابق في فنلندا، وقد بين أن استخدام المضخة الحرارية مع نظام التدفئة الأرضية لتسخين السائل الناقل للحرارة هي الحالة المثلى لأن درجة حرارة السائل الناقل تكون قليلة وبالتالي هذا يجعل معامل الأداء COP للمضخة

عالياً كما أن المضخة الحرارية أرضية المصدر هي أكثر كفاءة من المضخة الحرارية هوائية المصدر أو التي تعمل مع مصادر مائية بسبب أن درجة حرارة الأرض أعلى منها بالنسبة للهواء أو الماء في البلدان الاسكندنافية وهي ثابتة تقريباً كل السنة. (Ghali, K, 2007) أجرى دراسة جدوى اقتصادية لنظام تدفئة أرضية لغرفة سكنية في بيروت من خلال مقارنة متطلبات الطاقة لهذا النظام مع نظام التدفئة التقليدي (conventional forced air heating system) باستخدام برنامج TRNSYS للنمذجة. بالنتيجة تبين أنه مع تثبيت متطلبات الراحة في كلا الحالتين يُنقص نظام التدفئة الأرضية استهلاك الطاقة للتدفئة بمقدار 18% عن النظام الآخر ويُحقق إِدْخار سنوي بالطاقة مقداره \$104 وفترة الاسترداد لهذا النظام هي 10 سنوات .

وبمكاملة النظام مع الطاقة الشمسية يزداد إِدْخار الطاقة سنوياً ليصبح \$350 لكن تصبح فترة الاسترداد للنظام 14 سنة وذلك في حال استخدام خزان تجميع ذو كلفة أولية \$100/m². لكن بين أن الكلفة الأولية لنظام التدفئة الأرضية كانت أعلى بالمقارنة مع النظام الآخر بحوالي \$850 في حال استخدام المراحل لكلا النظامين .

مشكلة البحث:

لاتزال غالبية المباني في سورية غير خاضعة للتصميم الحراري، وتُعاني من غياب منظومة التدفئة والتكييف التي يتم التعويض عنها بحلول بعيدة كل البعد عن تأمين الراحة الحرارية، وتُسبب أضراراً بالغة للبيئة لاعتمادها بشكل أساسي على الوقود الأحفوري .

في العقود الأخيرة وفي ظل الاستهلاك العالمي المتزايد لموارد الطاقة غير المتجددة، بدأت المخاوف تزداد شيئاً فشيئاً سواء فيما يتعلق بإمكانية الوصول لحالة الندرة في الموارد وما سترتب على ذلك من ارتفاع أسعار الوقود والتأثير على النواحي الاقتصادية، أو فيما يتعلق بتفاقم المشاكل البيئية كالتلوث وظاهرة الاحتباس الحراري وما سيرافق ذلك من كوارث بيئية وتغيرات في المناخ، لذا انطلقت الأبحاث والدراسات في محاولة لإيجاد حلول تسمح باستخدام الطاقة بطريقة تُلبّي مُتطلبات الوقت الحاضر لكن دون المساس بالمتطلبات المستقبلية، حلول توفر قدر الإمكان من استهلاك الوقود الأحفوري، وتوجّه الاهتمام نحو مصادر الطاقة المتجددة بغرض التقليل من استهلاك المصادر غير المتجددة لتوفير أكبر قدر ممكن منها للأجيال القادمة، إضافة إلى التقليل من الانبعاثات الضارة بالبيئة، ومن هنا ظهر مفهوم الاستدامة وبدأ يتنامى أكثر فأكثر وأصبح العمل به ضرورة ملحة لحماية كوكبنا من الأخطار البيئية التي باتت تُهدّد أشكال الحياة على سطحه .

انطلاقاً من ذلك، وبعد ارتفاع أسعار الوقود في سورية مؤخراً، إضافة إلى الرغبة بجعل المباني قادرة على تأمين الراحة الحرارية المطلوبة دون إلحاق الأذى بالبيئة، بات لا بدّ لنا من الخوض في هذا المجال والاستفادة من حلول تُمكن من تغطية حاجة الأبنية من الطاقة، وتنتج ضرر أقل للبيئة، وتساهم بالحصول على الراحة الحرارية المطلوبة وبأقل تكلفة مُمكنة .

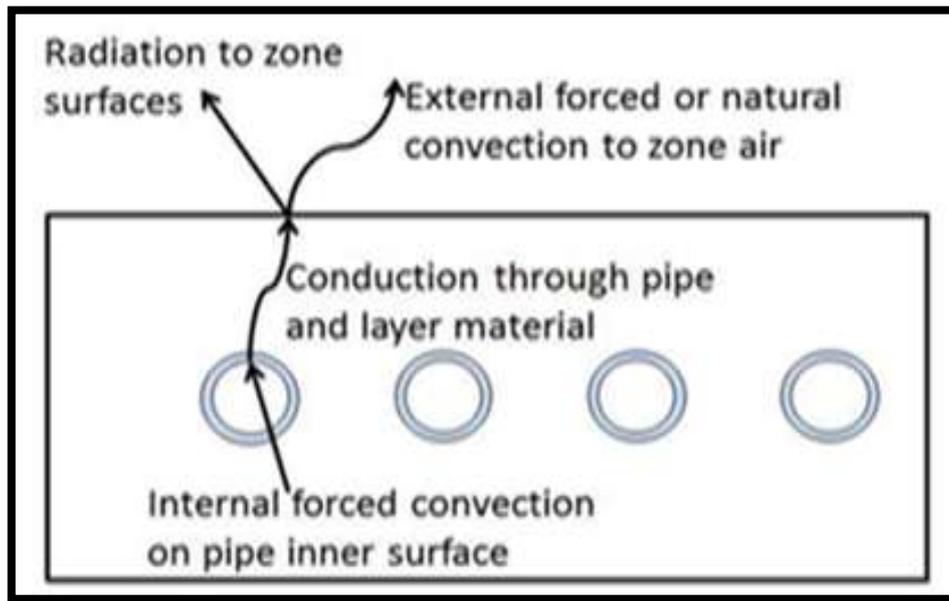
أهمية البحث وأهدافه:

يهدف هذا البحث إلى دراسة الأثر الاقتصادي والبيئي عند تطبيق تقنية البلاطات المشعة Radiant Slabs كحل تكنولوجي يعمل على دمج نظام التدفئة والتكييف ضمن هيكل المبنى بهدف التحكم بالمناخ الداخلي للمباني في سورية، وتأمين الراحة الحرارية المطلوبة لساكنيها، وذلك من خلال القيام بإجراء تقييم لهذه التقنية كبديل ستنم مقارنته مع الحالة التقليدية (بلاطات هوردي + نظام المُشعات) من حيث التكلفة خلال دورة حياة عدّة مبانٍ مأخوذة كحالة دراسة ومن حيث مقدار انبعاث الغازات الناتجة عن استهلاك الطاقة ضمن هذه المباني .

تتبع أهمية البحث من كون البلاطات المشعة تحقق ما يسمّى التدفئة بدرجة حرارة منخفضة والتكثيف بدرجة حرارة مرتفعة بالتالي بالإمكان دمجها مع مصادر الطاقة المتجددة وهي بذلك تتدرج ضمن سياق التنمية المستدامة الذي تم مؤخراً توجيه الاهتمام نحوه بشدة خاصة بعد ظهور المشاكل المتعلقة بشؤون الطاقة والبيئة : كظاهرة الاحتباس الحراري - التلوث البيئي الكبير - التأثيرات الاقتصادية لارتفاع أسعار الوقود - انخفاض الاحتياطي العالمي لمصادر الطاقة، والتي لعب تزايد عدد السكان، والتوسع العمراني المرافق لذلك، بالإضافة إلى ازدياد متطلبات الرفاهية التي فرضها تطوّر الحياة عموماً وقطاع التشييد خصوصاً، والتقدم الصناعي، الدور الأساسي في ظهورها.

طرائق البحث ومواده:

تقنيات التدفئة والتكثيف المشعة: هي أحد أشكال التدفئة/التكثيف المركزية، والتي يحدث فيها انتقال الحرارة بالطرق الثلاثة لنقل الحرارة وهي: التوصيل، الإشعاع، والحمل الحراري (Nielsen, L, 2015)، ويوضح الشكل التالي آلية انتقال الحرارة ضمن البلاطات المشعة :



الشكل (1) : طرق انتقال الحرارة في البلاطات المشعة (Nielsen, L, 2015)

سُميت هذه التقنيات بالمشعة لأن 55 % من انتقال الحرارة فيها يتم عن طريق الإشعاع، وال 45 % المتبقية تنم عن طريق الحمل الحراري (Burešová, A, 2016).

تاريخ تطوّر أنظمة التدفئة الأرضية والبلاطات المشعة:

على الرغم من أنّ التدفئة بالأرضية المشعة والبلاطات المشعة تعتبر تقدماً تقنياً حديثاً يوفر الراحة والرفاهية، إلا أنّها تملك تاريخاً يعود إلى آلاف السنين، فقد استخدمت في الامبراطورية الرومانية القديمة وفي كوريا والصين، وكان نظام التدفئة بالأرضية المشعة لديهم مكوّن من موقد (مكان لإشعال النار فيه)، وقنوات الدخان أي ممزّات يمر خلالها الدخان (البخار الساخن) الناتج عن الاحتراق، حيث قاموا حينها بتمرير الغازات الصادرة عن الموقد في تجاويف أو

أقنية تحت الأرضية الحجرية للمبنى ليتم تسخين الأرضية عن طريق التوصيل، بعدها تنتقل الحرارة إلى الفراغ ضمن الغرفة بواسطة الحمل الحراري والإشعاع .

في التاريخ الأكثر حداثة، تم تطوير نظام التدفئة الأرضية الهيدروليكي الذي يستخدم المرجل والماء كسائل ناقل للحرارة، كما ظهرت الأنظمة المشعة (تدفئة/تكييف) التي تتكوّن من أنابيب مُدمجة مع البلاطات البيتونية المُتوضّعة بين الطوابق في القرن العشرين، بحيث تمّ تركيب نظام مشع مُكوّن من أنابيب فولاذية ملحومة مُدمجة في البلاطة البيتونية، (Johnsson, J and Westerlund, L, 2012), (Weitzmann, P, 2004)، لكن ظهرت عدة مشاكل أعاققت في البداية استخدام هذه الأنظمة منها:

1. التآكل والتسرب نتيجة استخدام الأنابيب الفولاذية أو النحاسية في نظام توزيع الحرارة .
 2. فقدان الكبير للحرارة من المباني نتيجة العزل غير الكافي ، مما يعني أنّ درجة حرارة سطح الأرضية يُفترض أن تكون مرتفعة بشكل غير مقبول .
 3. التكاليف الذي كان يحدث غالباً أثناء تشغيل النظام في وضعية التكييف .
- تمّ التعامل مع هذه المشاكل لاحقاً من خلال العزل الجيد للمغلف الخارجي للمبنى، استخدام الأنابيب البلاستيكية المؤمّنة ضد التسرب، التحكم في درجة حرارة مياه التزويد أو استخدام نظام تهوية لتجنّب التكاليف، مما أدى إلى انتشار تقنيات التدفئة الأرضية والبلاطات المشعة على نطاق واسع حول العالم .

الفرق بين البلاطة المشعة والأرضية المشعة (Radiant slab & Radiant floor) :

البلاطة المشعة : هي عبارة عن بلاطة بيتونية مصممة ممثلة للمكوّن الأفقي لهيكل المنشأ، تحوي على حلقات من الأنابيب المرنة التي يتم تركيبها ضمن البلاطة البيتونية أثناء تنفيذ هذه البلاطة، هنا لا توجد طبقة عازلة تفصل الأنابيب عن الجزء الإنشائي للمبنى المتمثل بالبلاطة البيتونية، بل تكون الأنابيب مدمجة ضمنها .

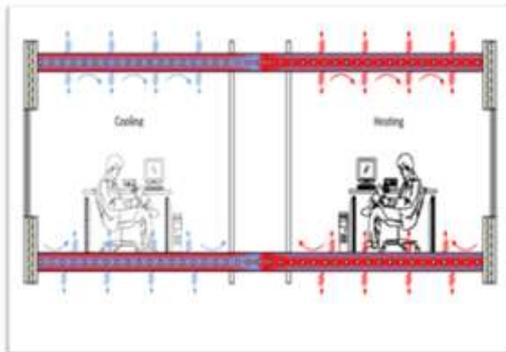
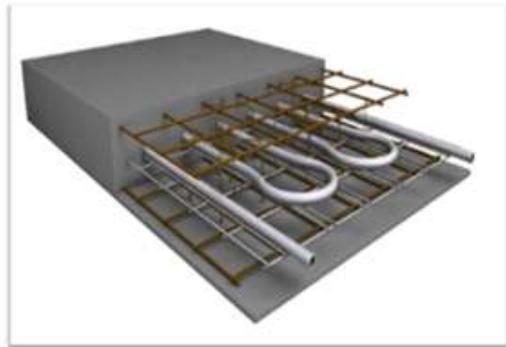
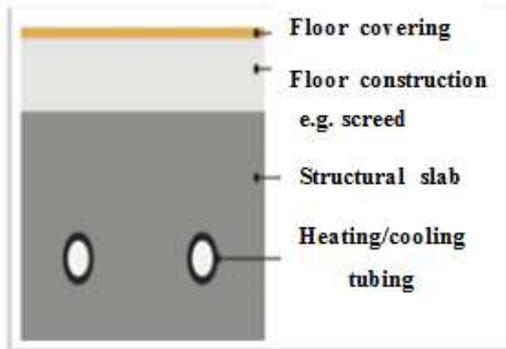
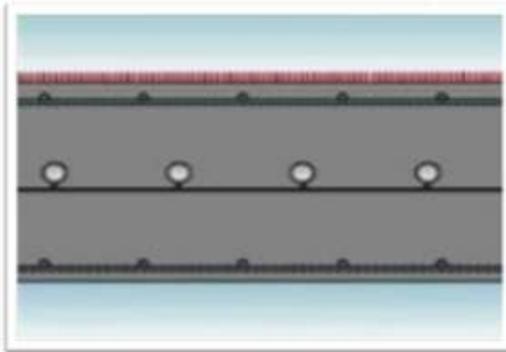
يحدث التبادل الحراري (التدفئة/التكييف) بكلا الاتجاهين للأعلى والأسفل بالنسبة للبلاطة البيتونية، ويكون التبادل الحراري للأرضية أعلى في حالة التدفئة، أما في حالة التكييف فيكون التبادل الحراري للسقف أعلى (Johnsson, J and Westerlund, L, 2012) ، ويُطلق على هذه التقنية أيضاً: Concrete Core Activation (CCA) , Thermally Active Building Systems (TABS) .

الأرضية المشعة : هنا تكون الأنابيب موضوعة في طبقة بيتونية رقيقة معزولة عن هيكل المبنى بعازل للحرارة، ولا بد هنا من وجود عازل يفصل الأنابيب عن البلاطة البيتونية، مما يجعل التبادل الحراري باتجاه واحد، ويُطلق على هذه التقنية أيضاً: Under floor heating and cooling (UFHC) .

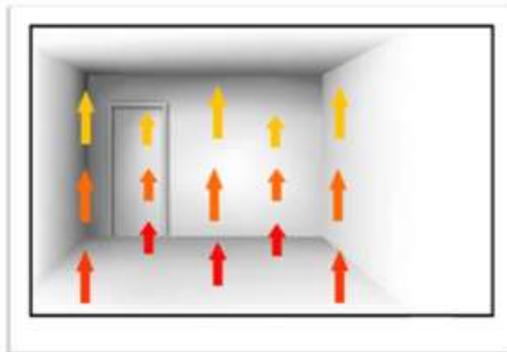
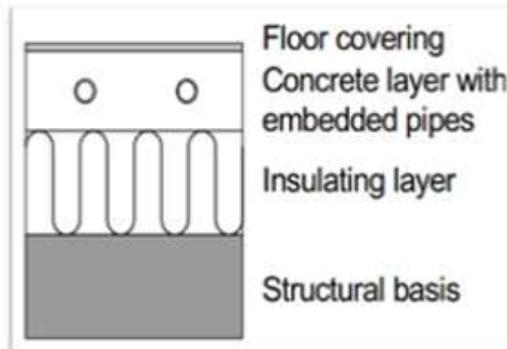
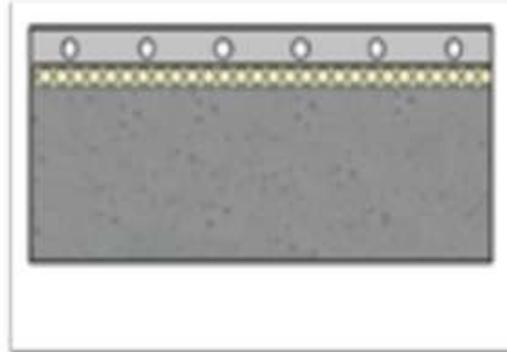
الأنابيب المستخدمة مع هذه التقنيات مصنّعة من البولي إيثيلين المُتشابك Poly Ethylene cross-linked وتُدعى اختصاراً أنابيب PEX، من أهم ميزاتها: المتانة، المرونة العالية، الوزن الخفيف، امتصاص الضجيج، الديمومة فهي مقاومة للتآكل، تحمّل درجات الحرارة العالية والضغط العالي، الموصلية الحرارية الجيدة، كما أنّ السطح الداخلي للأنابيب أملس مما يمنع الترسّب ويوفّر أداء هيدروليكي عالي (احتكاك منخفض) .

يُوضّح الشكل التالي أهم أوجه المقارنة بين البلاطة المشعة والأرضية المشعة:

Radiant Slab



Radiant Floor



الشكل (2) : الفرق بين البلاطة المشعة والأرضية المشعة

أهم مميزات التدفئة الأرضية والبلاطات المشعة (Erol, N, 2013),(Kazanci, O. B, 2016) :

1. تحقيق ما يُسمّى التدفئة بدرجة حرارة منخفضة والتكييف بدرجة حرارة مرتفعة وذلك بسبب سطح التبادل الحراري الكبير مما يسمح للسائل الذي يدور في الأنابيب بأن يكون بدرجة حرارة (30-35 °C) خلال فصل الشتاء، أما خلال فصل الصيف (15-18 °C) .
 2. تحقيق وفورات عالية بالطاقة عند دمج هذه التقنيات مع مصادر الطاقة المتجددة على اعتبارها منابع حرارية ذات درجة حرارة منخفضة متوفرة في الطبيعة (مثل: الطاقة الشمسية ، والطاقة الجيوحرارية)، وهذا بدوره يصب في خانة الاستدامة (Ghali, K, 2007),(Chuduk, S, 2010) .
 3. تأمين أفضل للشروط الصحية، فلا يوجد تجمع للغبار (يوجد كمية أقل من الجسيمات المحمولة جواً لأنه يُفترض أن هناك حركة هوائية أقل) كما أنّ درجة حرارة الأرضية تشكل بيئة سليمة للبكتيريا والفيروسات .
 4. تقليل متطلبات الصيانة، فالأنابيب تتوضع ضمن البيوتن ولا تتطلب صيانة .
 5. عدم التأثير على التصميم الداخلي كون الأنابيب تتوضع ضمن الأرضية فلا يوجد عبات ولا إعاقة (من الناحية المعمارية) .
 6. تخفيض استهلاك الطاقة بسبب الاختلافات الصغيرة نسبياً بين درجة حرارة الماء المستخدم وبين درجة حرارة الغرفة مما يجعل معامل الأداء COP للمبردات والمضخات الحرارية أفضل .
 7. تأمين المزايا الناتجة عن خفض الطلب وقت الذروة بسبب الاختزان الحراري (للسخونة أو البرودة) لعدة ساعات، على سبيل المثال: انخفاض الاستثمار لمعدات التكييف حيث يمكن تقليل حجم مكونات نظام التكييف بما في ذلك المبرد .
 8. تزويد الفراغ الداخلي براحة حرارية أفضل، حيث تؤمن توزيع متجانس (موحد) للحرارة في الغرفة، وتقل الاختلافات العمودية في درجة حرارة الهواء .
- وصف منهجية الدراسة :**

يعتمد البحث المنهج التحليلي حيث تم دراسة عينة مكونة من ثلاثة مبانٍ سكنية طابقيّة واقعة في مدينة اللاذقية: (المبنى A، المبنى B، المبنى C)، تمت المحافظة على المخطط المعماري ومنظومة الأساسات كما وردت في الدراسة الأصلية لهذه المنشآت في حين تم إعادة دراسة المكوّن الأفقي للهيكّل الإنشائي ليتناسب مع البدائل المقترحة لمنظومة التدفئة، إذ تم اعتماد بلاطة هوردي للبدل الأول وبلاطة مُصمّمة للبدل الثاني.

فيما يخص منظومة التدفئة موضوع الدراسة تم تصميم بدليين:

البدل الأول: نظام تدفئة مركزية تقليدي (نظام مشعات تقليدي)، البدل الثاني: نظام البلاطة المشعة.

بعد الانتهاء من دراسة وتحليل المباني الثلاثة تم إجراء مقارنة بين البدليين المقترحين لكل مبنى وذلك بالاعتماد على المعايير الآتية:

1. المعيار الاقتصادي: وقد تم اعتماد التكلفة الإجمالية كمثال.
 - المعيار البيئي: وقد تم اعتماد مقدار انبعاث الغازات الناتجة عن احتراق الوقود في المرجل كمثال.
 - المباني المدروسة بدايةً هي ذات هيكل إنشائي المكوّن الأفقي فيه عبارة عن بلاطات هوردي، لذا تم العمل مباشرةً على تصميم نظام مشعات ميكانيكي (Radiators System) لكل من هذه الأبنية .
 - خطوات التصميم الميكانيكي للبدل الأول (نظام المشعات) لكل مبنى مدروس تمثّلت بالتالي:
1. حساب الحمل الحراري لكامل المبنى Q_{tot} باعتبار أن المبنى من الخارج معزول بالكامل باستخدام عازل من الستيريتور وأن البلاطات البيتونية في المبنى هي بلاطات هوردي.

2. حساب عدد مقاطع المشعات وأطوالها لكل غرفة من غرف المبنى تبعاً للحمل الحراري المحسوب لها .
 3. تمثيل توزع المشعات على المسقط الأفقي لكل طابق من طوابق المبنى المدروس .
 4. إجراء عملية التصميم للأنايبب التي ستصل المشعات بالمرجل .
 5. إجراء عملية التصميم لباقي التجهيزات الميكانيكية المتعلقة بالنظام الميكانيكي: (المرجل، الحراق، خزّان الوقود، خزّان التمدد، مضخة التّدوير، الخ) وسنحصل كذلك على الاستهلاك السنوي للوقود .
- بعد ذلك تمّ العمل على البديل الثاني - الذي ستنمّ مقارنته بالأول- لذا تمّ إعادة تصميم المكوّن الأفقي للهيكّل الإنشائي للمباني الثلاثة السابقة وفقاً للكود العربي السوري (The Syrian Arab Code, 2012) على اعتبارها بلاطات مصممة ثمّ تمّ تصميم النظام الميكانيكي الجديد أي نظام البلاطة المشعة .
- خطوات التصميم الميكانيكي للبديل الثاني (نظام البلاطة المشعة) لكل مبنى تمثّلت بالتّالي :
1. حساب الحمل الحراري لكامل المبنى Q_{tot} باعتبار أن المبنى من الخارج معزول بالكامل باستخدام عازل من الستيروبور وأن البلاطات البيتونية في المبنى هي بلاطات مصممة .
 2. تصميم البلاطات المشعة باعتبار التصميم مكافئ لتصميم التدفئة الأرضية حسب النورم الأوربي EN 1264-4 (EN 1264-4, 2001) .
 3. تمثيل توزع الأنايبب على المسقط الأفقي لكل بلاطة من البلاطات المدروسة .
 4. إجراء عملية التصميم لباقي التجهيزات الميكانيكية المتعلقة بالنظام الميكانيكي : (المرجل، الحراق، خزّان الوقود، خزّان التمدد، مضخة التّدوير، الخ) وسنحصل كذلك على الاستهلاك السنوي للوقود .
- تمّ تنظيم حساب الحمل الحراري لكل غرفة من غرف المباني المدروسة ولكل من البديلين المدروسين في جدول كالتّالي

الجدول (1) : تنظيم حساب الأحمال الحرارية

$\frac{N}{Ti}$	نوع الحاجر	الاتجاه الجغرافي	الارتفاع (m)	المساحة القائمة (m ²)	المساحة المقروحة (m ²)	المساحة الصافية (m ²)	U	Δt	Q_t	$\sum Q_t$	Z_0	D	Z	Z_1	Z_2	$\sum Z_i$	Q_0	n	V	Q_v	Q_{tot}	

U : عامل الانتقال الحراري (w/m².°C) ، ويعطى بالعلاقة :

$$U = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_i} + \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_a} + \frac{1}{\alpha_0}}$$

Δt : فرق درجات الحرارة بين جانبي الحاجر (°C) حيث أن : $\Delta t = t_i - t_0$.

Q_t : كمية الحرارة الضائعة عبر الحاجر (wat) وتحسب بالعلاقة التّالية : $Q_t = A_{net} * U * \Delta t$.

$\sum Q_t$: كمية الحرارة الإجمالية الضائعة عبر الحواجز المختلفة (wat) .

$Z_0\%$: عامل الاتجاه الجغرافي ويؤخذ من جداول خاصة .

$Z\%$: عامل إيقاف التدفئة والسطوح الخارجية ويؤخذ من جداول خاصة .

D : عامل الانتقال الحراري الوسطي الإجمالي ويحسب بالعلاقة :

$$D = \frac{\sum Q_t}{1.163 * A_{tot} * (t_i - t_0)}$$

Z_1 % : عامل الارتفاع وتأثير الرياح ويؤخذ من جداول خاصة .

Z_2 % : عامل يتعلق بارتفاع الطابق ويؤخذ مساوياً للصفر اذا كان ارتفاع الطابق أقل من 4m .

Q_0 : كمية الحرارة الإضافية (wat) ، وتحسب بالعلاقة : $Q_0 = \sum Z_i * \sum Q_t$

n : عامل تغيير الهواء ويؤخذ من جداول خاصة .

V : حجم الغرفة المدروسة (m^3) .

Q_v : كمية الحرارة المتسربة (wat) ، وتحسب بالعلاقة : $Q_v = 0.36 * n * V * (t_i - t_0)$

Q_{tot} : الضياعات الحرارية الاجمالية (wat) ، وتحسب بالعلاقة : $Q_{tot} = \sum Q_t + Q_0 + Q_v$

تم تنظيم حساب عدد مقاطع المشعات وأطوالها (بالنسبة للبدل الأول) في جدول كالتالي :

الجدول (2) : تنظيم حساب عدد مقاطع المشعات وأطوالها

N / t_i	Q_r (Wat)	$\Delta t'$ = $t_r - t_i$	النوع	ارتفاع المشع H (mm)	عدد الأصابع R	استطاعة المقطع الواحد Q_1'	عدد المقاطع n	طول المشع L (mm)	الحمل الحراري الجديد للغرفة

Q_r كمية الحرارة التي يعطيها جهاز التدفئة (wat) : $Q_r = 1.1 * Q_{tot}$

$\Delta t'$: فرق درجة الحرارة الوسطية ($^{\circ}C$) : $\Delta t' = t_r - t_i$

t_1 & t_2 : ثمتلان درجتى حرارة مياه التغذية والعودة .
 $t_r = \frac{t_1 + t_2}{2}$

Q_1' : استطاعة المقطع الواحد : $Q_1' = Q_1 \left(\frac{\Delta t'}{\Delta t_m} \right)^m$

n : عدد مقاطع المشع : $n = \frac{Q_r}{Q_1'}$

L : طول المشع (mm) : $L = n * 60 + 30$ mm

الحمل الجديد للغرفة = عدد المقاطع * استطاعة المقطع الواحد .

تم تنظيم الحسابات المتعلقة بتصميم الأنابيب المعدنية في جدول كالتالي :

الجدول (3) : تنظيم تصميم الأنابيب المعدنية

section	Length L (m)	Heat Required (Wat)	1.25 * heat Required Q (Wat)	Water Flow w (ton/h)	Pipe Size D (Inch)	Velocity V (m/sec)	Friction Loss R (mm/m)

L : : طول الأنبوب المقاس من المسقط .

Q : الحمل الذي سيمر عبر الأنبوب بعد تصعيده بمقدار 25% .

w : التدفق المار عبر الأنبوب وبحسب بالعلاقة : $w = \frac{Q}{C_p \cdot \Delta t}$ ، حيث:

C_p : الحرارة النوعية للماء ، $\Delta t = t_1 - t_2$ &

D, V, R : تؤخذ من جداول خاصة بتصميم الأنابيب المعدنية .

إن كافة مراحل تصميم نظام المشعات والعلاقات المستخدمة ضمنها هي بالاعتماد على (Nahhas, A, 1989).

تم تصميم البلاطات المشعة وفق مايلي وباعتبار التصميم مكافئ لتصميم التدفئة الأرضية حسب النورم الأوربي EN1264-4 2001 :

تحديد المقاومة الحرارية للتغطية ($R_{\lambda,B}$) وفقاً لنوع إكساء الأرضية وبوحدة ($m^2.k/w$) .

اختيار الأنابيب من البلاستيك (البولي إيثيلين التشابكي PEX) بطبقة مانعة لتسرب الأوكسجين ونحدد القطر الخارجي da (m) والتباعد بين الأنابيب T (m) .

تحديد سماكة المادة العازلة المستخدمة S_{ins} (m) ومعامل التوصيل الحراري لها λ_{ins} ($w/m.k$) .

تحديد سماكة الملاط الذي تتوضع ضمنه الأنابيب S_u (m) .

تم حساب كثافة التدفق الحراري q (w/m^2) لكل بلاطة مشعة وفقاً للجدول التالي :

الجدول (4) : تنظيم حساب كثافة التدفق الحراري من البلاطات المشعة

رقم الغرفة	نوع الغرفة	درجة الحرارة الداخلية θ_i ($^{\circ}C$)	المساحة A (m^2)	الحمل الحراري المطلوب من البلاطة Q (wat)	الكثافة المطلوبة من البلاطة $q = \frac{Q}{A}$ (wat / m^2)

تمّ التصميم بدءاً من البلاطة ذات كثافة التدفق الحراري الأعلى (q) وفق ما يلي :

* يتم التأكد من عدم تجاوز التدفق الحراري الأعظمي المسموح (q_{max}) وذلك من مخططات خاصة وبالاعتماد على المقاومة الحرارية للتغطية $R_{\lambda,B}$ بال ($m^2.k/w$) & التباعد بين الأنابيب T بال (m) .

في حال تجاوز قيمة كثافة التدفق الحراري q لقيمة (q_{max}) للمناطق المشغولة والمستتجة من المخطط، فإننا سنحتاج عندها لمنطقة طرفية أي سنقسم البلاطة المدروسة لمنطقتين رئيسية وطرفية، وتحسب المساحة الأولية للمنطقة الطرفية

بحسب العلاقة التالية: $AR = \frac{Q-A.q}{qR-q}$ ، بالتالي ستكون مساحة المنطقة الرئيسية :

$A_L = A - A_R$

* يتم حساب درجة حرارة وسيط التسخين الذاهب (Q_v) والراجع (Q_R) وذلك وفق المراحل التالية :

1. إيجاد درجة الحرارة التفاضلية ($\Delta\theta_H$) من مخططات خاصة .

2. اختيار الفرق بين درجة حرارة وسيط التسخين الذاهب ودرجة حرارة وسيط التسخين الراجع بالتجريب على عدة قيم ($\sigma = Q_v - Q_R$) وحساب q التي تمثل البث الحراري للأرضية الموافق لكل قيمة σ ونختار الأقرب لكثافة التدفق الحراري المطلوب للمكان المدفأ ونعممه على كل الغرف .

ويتم حساب قيمة q وفق العلاقة التالية :

$$q = \beta \cdot \alpha_B \cdot \alpha_T^{mT} \cdot \alpha_u^{mu} \cdot \alpha_D^{mD} \cdot \Delta\theta_H$$

β : معامل يتعلق بنموذج النظام $(w/m^2.k)$.

α_B : عامل يتعلق بطبيعة التغطية السطحية وبطبيعة الملاط ويؤخذ من جدول خاص .

α_T : عامل يتعلق بالمقاومة الحرارية للتغطية الأرضية ويؤخذ من جدول خاص .

α_u : عامل يتعلق بالتباعد بين الأنابيب وبالمقاومة الحرارية للتغطية الأرضية ويؤخذ من جدول خاص .

α_D : عامل القطر الخارجي للأنبوب ويتعلق بالمقاومة الحرارية للتغطية الأرضية وبالتباعد بين الأنابيب ويؤخذ من جدول خاص .

m_T : عامل يتعلق ب T وعندما تتحقق المتراحة : $0.05m \leq T \leq 0.375m$ بحسب العلاقة :

$$m_T = 1 - \frac{T}{0.075}$$

m_U : عامل يتعلق ب S_U وعندما تتحقق المتراحة : $S_U \geq 0.015 m$ بحسب العلاقة :

$$m_U = 100 \cdot (0.045 - S_U)$$

m_D : عامل يتعلق ب da وعند تحقق المتراحة : $0.01m \leq da \leq 0.03m$ بحسب العلاقة :

$$m_D = 250 \cdot (da - 0.02)$$

بعد تحديد قيمة σ نطبق العلاقات التالية لإيجاد Q_R & Q_V :

$$Q_R = Q_V - \sigma \quad \& \quad \Delta\phi H = \frac{Q_V - Q_R}{\ln \frac{Q_V - \phi_i}{Q_R - \phi_i}}$$

* يتم التأكد من عدم تجاوز المنحني الحدي بأن نطبق العلاقة التالية :

$$q_G = \eta \cdot \beta_G \cdot (\Delta\phi_H / \eta)^{ng}$$

η : عامل تحويل درجات الحرارة وبحسب من العلاقة : $\eta = \left[\frac{\phi_{F,max} - \phi_i}{\Delta\phi_0} \right]^{1.1}$

β_G : عامل يؤخذ من جدول خاص بدلالة S_u & T .

n_g : عامل يؤخذ من جدول خاص بدلالة S_u & T .

ويجب ألا تتجاوز القيم الناتجة عن تطبيق العلاقة السابقة للقيم التالية:

($q_{G,max} = 100 w/m^2$) للمناطق المشغولة، و ($q_{G,max} = 175 w/m^2$) للمناطق الطرفية غير المشغولة.

* يتم حساب تدفق وسيط التسخين المطلوب لتغطية الحمل الحراري المطلوب من العلاقة :

$$m = \frac{(A - AR) \cdot q + AR \cdot q_R}{Cw \cdot (Q_V - Q_R)} \cdot \left(1 + \frac{qu}{q_0}\right)$$

و بحسب الكسب الحراري من الأرضية من العلاقة : $q_0 = U_0 \cdot (\phi_m - \phi_i)$

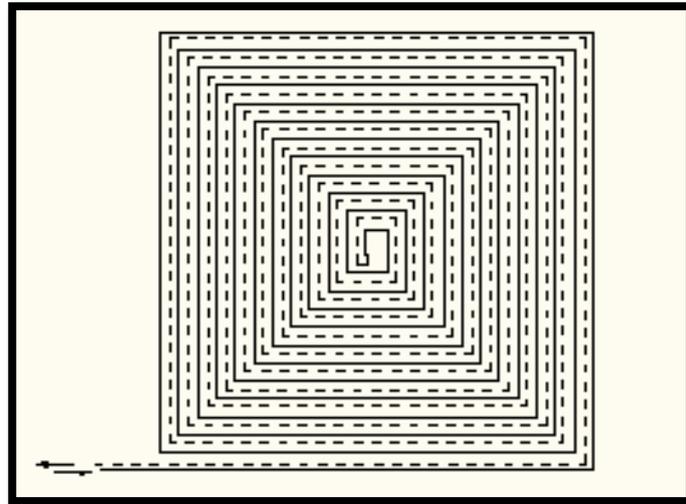
أما الضياع الحراري بحسب من العلاقة : $qu = \frac{1}{R_u} \cdot (\phi_m - \phi_u)$

* يتم حساب طول الأنابيب من العلاقة : $L = L_R + \bar{L}$ ، حيث أن:

$$\bar{L} = \frac{A}{T} \quad \& \quad L_R = \text{طول الأنابيب الواصل بين الغرفة والمجمع} .$$

* يتم حساب كمية الحرارة المأخوذة من كل دائرة من العلاقة : $Q = A \cdot q$ حيث أن : $A = L \cdot T$.

يُستكمل التصميم بتكرار الخطوات السابقة لكل بلاطة. وقد تم اعتماد طريقة التمديد الدائري للأنابيب ضمن البلاطات المشعة كونها تؤمن تجانساً حرارياً جيداً ضمن الفراغ المدفأ وتجعل درجة الحرارة الوسطية للبلاطة متساوية تقريباً على امتداد الفراغ المدفأ، ويوضح الشكل (3) طريقة التمديد الدائري للأنابيب ضمن البلاطة:



الشكل (3) : التمديد الدائري للأنايبب ضمن البلاطات المشعة

تم تصميم التجهيزات الميكانيكية المتعلقة بالنظام الميكانيكي (بالنسبة للبدلين) كما يلي :

تم حساب استطاعة المرجل بالعلاقة التالية : $Q_b = 1.3 \cdot \sum Q_{tot}$ ، وبالاعتماد عليها نحدد طراز المرجل .

تم حساب استطاعة الحرق بالعلاقة التالية : $P = \frac{Q_b \cdot 3600}{\eta_b \cdot C_v}$ ، وبالاعتماد عليها نحدد طراز الحرق .

تم حساب تدفق مضخة التسريع بالعلاقة التالية : $w = \frac{\sum Q_{tot}}{C_p \cdot \Delta t}$.

تم حساب الارتفاع المانومتري للمضخة والذي يُحسب بالنسبة لأبعد وأعلى مشع (في حالة نظام المشعات) وبالنسبة لأبعد وأعلى دارة تدفئة مشعة (في حالة نظام البلاطة المشعة) ويُنظم الحساب في جدول كالتالي :

الجدول (5) : تنظيم حساب الارتفاع المانومتري للمضخة

Sec.	Veloc. V (m/s)	Pipe size D (inch)	Water flow W (ton/h)	fittings		Eq. length one elem. Eq. (m)	Eq. length of pipe fitt. (m)	Pipe length l (m)	Total length L (m)	Friction loss R (mm/m)	Press drop L*R (mm.H ₂ O)
				No. of elem. Eq.							

No. of elem. Eq. : عدد الأنواع المكافئة للمقاومات الخاصة للأنايبب الفولانية وتؤخذ من جداول خاصة .

Eq. length one elem. : طول الأنابيب المكافئ لكوع واحد ويؤخذ من جداول خاصة .

Eq. length of pipe fitt. : الطول المكافئ للوصلات = طول الأنابيب المكافئ لكوع واحد * عدد الأنواع المكافئة .

Pipe length : طول الأنابيب المقاس من المسقط .

Total length : الطول الكلي للأنبوب = طول الأنبوب من المسقط + الطول المكافئ للوصلات .

بتجميع القيم من عمود (L * R) وضربها بمعامل أمان نحصل على الارتفاع المانومتري للمضخة.

تم حساب مقدار الاستهلاك السنوي للوقود لكل من نظام المشعات ونظام البلاطة المشعة وفق العلاقة التالية :

$$\sqrt{=} = 0.93 \frac{\sum Q_{tot} . F . N . 3600 . 24}{\eta b . \varphi f . C_v}$$

φf : كثافة الوقود، F : معامل التدفئة ويُؤخذ من جداول خاصة .

N : عدد أيام التدفئة، وفي المناطق الساحلية: N=120 day .

بعد تصميم البديلين المدروسين لكل مبنى من المباني الثلاثة وفقاً للخطوات السابقة، تم تنظيم جداول كميات مرفقة بالأسعار لكل بند من بنود البلاطات الإنشائية والنظام الميكانيكي المرافق ولكل بديل مدروس، وبعد ذلك تم إجراء مقارنة بين البديلين المدروسين لكل مبنى من الناحية الاقتصادية، حيث تم حساب التكاليف الإجمالية والتي تشمل مجموع تكاليف التأسيس والتشغيل والصيانة لكل بديل.

تمثل تكاليف التأسيس مجموع تكاليف تأسيس البلاطة الإنشائية (البيتون + حديد التسليح)، وعزل المبنى، إضافة إلى تكاليف تأسيس النظام الميكانيكي المرافق. بينما تُؤخذ تكاليف الصيانة كنسبة مئوية من تكلفة تأسيس النظام الميكانيكي، هذه النسبة هي: 35% بالنسبة لنظام المشعات & 30% بالنسبة لنظام البلاطة المشعة وذلك بالاستناد إلى رأي خبراء ضمن مجال التدفئة والتكييف، أما تكاليف التشغيل فتمثل تكاليف الوقود السنوي المستهلك.

بعد حساب تكاليف التأسيس والصيانة تُوزع على عدد سنوات الدراسة (50 عاماً) باستخدام مُعدّل فائدة مقداره (i=11%) وذلك بالاستناد إلى رأي خبراء ضمن مجال الاقتصاد ثم تُضاف إليها تكاليف التشغيل السنوية لنحصل على التكلفة الإجمالية السنوية لكل بديل كما هو موضح في العلاقة الآتية:

$$\text{التكلفة الإجمالية السنوية} = \text{مجموع تكاليف التأسيس والصيانة} * \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} + \text{تكاليف التشغيل السنوية} .$$

تم استكمال الدراسة بإجراء مقارنة من الناحية البيئية بين كمية الملوثات المنبعثة من احتراق الوقود في المرحل لكل من البديلين المدروسين وذلك بالاعتماد على مقدار الوقود السنوي المستهلك وبالاستعانة بالجدول (6):

الجدول (6) : مقدار الملوثات المنبعثة من احتراق كيلوغرام من المازوت مقدراً بال kg

مقدار الملوثات المنبعثة مقدراً بالكيلوغرام لكل كيلوغرام مازوت			
ثاني أكسيد الكربون (CO ₂)	أول أكسيد الكربون (CO)	ثاني أكسيد الكبريت (SO ₂)	أكاسيد النيتروجين (NO _x)
3.16940	0.000400	0.0400	0.005640

المصدر : (Handbook of Inspection of Power Generating Units in Egypt, 2002) .

بعد ذلك تم إجراء المقارنة بين البديلين المدروسين لكل مبنى من الناحيتين الاقتصادية والبيئية لمعرفة البديل ذو القيمة الدنيا لكل من التكلفة الإجمالية السنوية ولمقدار انبعاث الغازات الملوثة للبيئة.

النتائج والمناقشة:

الدراسة الاقتصادية:

بعد حصر الكميات الخاصة بكل بديل ولكل مبنى من المباني الثلاثة، تم التوافق على تسعير بنود الأعمال الإنشائية والميكانيكية باستشارة خبراء عاملين ضمن هذين المجالين وبعتماد سعر صرف \$/Sp 400.

توضّح الجداول (7)، (8)، (9) تكاليف التأسيس للبدلين المدروسين للمباني (A، B، C) على الترتيب:

الجدول (7) : تكاليف التأسيس للبدلين المدروسين للمبنى A مقدّرة بالليرة السوريّة

المبنى A					
البديل الثاني			البديل الأوّل		
تكلفة البند	الكميّة	البند	تكلفة البند	الكميّة	البند
1835200	31 m ³	البيتون لبلاطة المُصمّنة	2736000	48 m ³	البيتون لبلاطة الهوردي
1145520	3182 kg	حديد التّسليح	1567440	4354 kg	حديد التّسليح
425200	328 m ²	عازل الستيروبور	663300	519 m ²	عازل الستيروبور
652400	العدد (1)	المرجل	697500	العدد (1)	المرجل
271000	العدد (1)	حزّاق مازوت	271000	العدد (1)	حزّاق مازوت
1842300	-	نظام التّدفئة المُشعّة	1372500	45 m ²	المُشعّات
90000	العدد (1)	مضخّة التّسريع	80000	العدد (1)	مضخّة التّسريع
31700	العدد (1)	خزّان التّمّد	31700	العدد (1)	خزّان التّمّد
199050	-	الأنايبب الفولاذيّة	503700	-	الأنايبب الفولاذيّة
83300	العدد (1)	خزّان الوقود	83300	العدد (1)	خزّان الوقود

الجدول (8) : تكاليف التأسيس للبدلين المدروسين للمبنى B مقدّرة بالليرة السوريّة

المبنى B					
البديل الثاني			البديل الأوّل		
تكلفة البند	الكميّة	البند	تكلفة البند	الكميّة	البند
1894400	32 m ³	البيتون لبلاطة المُصمّنة	3249000	57 m ³	البيتون لبلاطة الهوردي
1195200	3320 kg	حديد التّسليح	1758240	4884 kg	حديد التّسليح
380600	296 m ²	عازل الستيروبور	667100	523 m ²	عازل الستيروبور
697500	العدد (1)	المرجل	697500	العدد (1)	المرجل
271000	العدد (1)	حزّاق مازوت	271000	العدد (1)	حزّاق مازوت
1970800	-	نظام التّدفئة المُشعّة	1403000	46 m ²	المُشعّات
114600	العدد (1)	مضخّة التّسريع	80000	العدد (1)	مضخّة التّسريع
31700	العدد (1)	خزّان التّمّد	31700	العدد (1)	خزّان التّمّد
206800	-	الأنايبب الفولاذيّة	575100	-	الأنايبب الفولاذيّة
83300	العدد (1)	خزّان الوقود	83300	العدد (1)	خزّان الوقود

الجدول (9) : تكاليف التأسيس للبدلين المدروسين للمبنى C مُقدرة بالليرة السورية

المبنى C					
البدل الثاني			البدل الأول		
تكلفة البند	الكمية	البند	تكلفة البند	الكمية	البند
1894400	32 m ³	البيتون للبلاطة المُصممة	3192000	56 m ³	البيتون لبلاطة الهوردي
1153440	3204 kg	حديد التسليح	1898640	5274 kg	حديد التسليح
438400	342 m ²	عازل الستيروور	721200	565 m ²	عازل الستيروور
697500	العدد (1)	المرجل	697500	العدد (1)	المرجل
271000	العدد (1)	حزاق مازوت	271000	العدد (1)	حزاق مازوت
1972800	-	نظام التدفئة المشعة	1586000	52 m ²	المشعات
400700	العدد (1)	مضخة التسريع	80000	العدد (1)	مضخة التسريع
31700	العدد (1)	خزان التمدد	31700	العدد (1)	خزان التمدد
211400	-	الأنابيب الفولاذية	572400	-	الأنابيب الفولاذية
83300	العدد (1)	خزان الوقود	83300	العدد (1)	خزان الوقود

بعد تسعير بنود أعمال البديلين المدروسين لكل مبنى تم حساب التكاليف الإجمالية وتنظيم النتائج في الجدول (10)

الجدول (10) : التكاليف الإجمالية السنوية (تأسيس + تشغيل + صيانة) لكل بديل مقدر بالليرة السورية

المبنى (C)		المبنى (B)		المبنى (A)		
البدل (1)	البدل (2)	البدل (1)	البدل (2)	البدل (1)	البدل (2)	
5811840	3470200	5674340	3405920	4966740	3486240	تكلفة تنفيذ (البلاطة + العزل)
3321900	3375700	3141600	3169750	3039700	3668400	تكلفة تنفيذ النظام الميكانيكي
1162665	1012710	1099560	950925	1063895	1100520	تكلفة الصيانة
10296405	7858610	9915500	7526595	9070335	8255160	(مجموع تكاليف تأسيس + صيانة)
1138775	869157	1096647	832436	1003173	913015	(التكلفة السنوية تأسيس + صيانة)
860500	798300	754650	735800	734800	889400	التكلفة السنوية للتشغيل
1999275	1667457	1851297	1568236	1737973	1802415	التكلفة الإجمالية السنوية

من الجدول (10): نجد أنّ التكاليف الإجمالية السنوية للبدل الأول المُمثّل بالحالة التقليدية أكبر من التكاليف الإجمالية السنوية للبدل الثاني المُمثّل بالبلاطات المشعة، وقد تمّ حساب الفرق في التكاليف بين البديلين المدروسين خلال دورة حياة كل مبنى وتنظيم النتائج في الجدول (11):

الجدول (11) : الفرق في التكاليف الإجمالية السنوية للبدلين المدروسين لكل مبنى مقدراً بالليرة السورية

المبنى (A)	المبنى (B)	المبنى (C)
169737	183840	196860

وينسب الفرق في التكاليف الإجمالية السنوية إلى مساحة كل مبنى نحصل على النتائج الموضحة في الجدول (12)

الجدول (12) : الفرق في التكاليف الإجمالية السنوية للبدلين المدروسين لكل مبنى مقدراً بال Sp/m^2

المبنى (A)	المبنى (B)	المبنى (C)
885	810	880

الدراسة البيئية:

يوضح الجدول (13) مقدار الاستهلاك السنوي للوقود مقدراً باللتر للبدلين المدروسين لكل مبنى من المباني الثلاثة:

الجدول (13) : استهلاك الوقود للبدلين المدروسين مقدراً بال $l/year$

المبنى (A)	المبنى (B)	المبنى (C)	
5443	5590	6374	البديل الأول
5450	5913	6588	البديل الثاني
7	323	214	الفرق بين البدلين

من الجداول (13): نجد أن نظام البلاطة المشعة يستهلك كمية أكبر من الوقود سنوياً بالمقارنة مع نظام المشعات، وبالتالي سيُسبب انبعاث كمية أكبر من الغازات الملوثة للبيئة. وبالاستعانة بالجدول (6) تم حساب الفرق في مقدار انبعاث الغازات الملوثة للبيئة والناجمة عن احتراق الوقود في المرجل بالنسبة للنظامين الميكانيكيين المدروسين وتنظيم النتائج وفقاً للجدول (14):

الجدول (14) : الفرق في كمية الغازات المنبعثة سنوياً من نظام المشعات بالمقارنة مع نظام البلاطة المشعة مقدراً بال kg

المبنى (A)	المبنى (B)	المبنى (C)	
19	868	575	ثاني أكسيد الكربون
0.003	0.11	0.072	أول أكسيد الكربون
1	11	8	ثاني أكسيد الكبريت
1	2	1	أكاسيد النتروجين

وينسب الفرق في الانبعاثات إلى مساحة كل مبنى نحصل على النتائج الموضحة في الجدول (15) :

الجدول (15) : الفرق في كمية الغازات المنبعثة سنوياً من نظام المشعات بالمقارنة مع نظام البلاطة المشعة مقدراً بال kg/m^2

المبنى (A)	المبنى (B)	المبنى (C)	
0.1	4	3	ثاني أكسيد الكربون
0.00002	0.0005	0.0003	أول أكسيد الكربون
0.005	0.05	0.04	ثاني أكسيد الكبريت
0.005	0.009	0.005	أكاسيد النتروجين

الاستنتاجات والتوصيات:

قدّم هذا البحث دراسة تُبيّن الأثر البيئي والاقتصادي لتطبيق تقنية البلاطات المشعة في سورية كحل تكنولوجي يدمج نظام التدفئة والتكييف ضمن هيكل المبنى بغرض الحصول على الراحة الحرارية المطلوبة، وذلك عبر إجراء مقارنة بين هذه التقنية وبين الحالة التقليدية المتمثلة ببلاطات الهوردي ونظام المشعات التقليدية من حيث التكاليف خلال دورة حياة عدّة مباني في محافظة اللاذقية مأخوذة كحالة دراسة، وكذلك مقدار انبعاث الغازات الناتجة عن استهلاك الطاقة ضمن هذه المباني .

أظهرت نتائج الدراسة أنّ استخدام البلاطات المشعة بدلاً من الحالة التقليدية أدى إلى انخفاض التكاليف الإجمالية خلال دورة حياة المباني المدروسة بقيمة سنوية وسطية بلغت حوالي: 860 Sp/m^2 بسعر صرف $400\text{Sp}/\$$ ، بينما أدى إلى ارتفاع ضئيل في كمية الوقود السنوي المستهلك بقيمة وسطية لم تتجاوز 1 I/m^2 ، هذا بدوره أدى إلى ارتفاع ضئيل في مقدار انبعاث الغازات الضارة بالبيئة الناتجة عن احتراق الوقود في المرحل بقيم سنوية وسطية بلغت حوالي:

$$\text{NO}_x \text{ من } 0.006\text{kg/m}^2 \text{ \& } \text{SO}_2 \text{ من } 0.03\text{kg/m}^2 \text{ \& } \text{CO} \text{ من } 0.0003\text{kg/m}^2 \text{ \& } \text{CO}_2 \text{ من } 2.4\text{kg/m}^2$$

هذه الزيادة في كمية الانبعاثات الضارة بالبيئة التي سببتها البلاطات المشعة بالمقارنة مع الحالة التقليدية تُعزى بشكل أساسي إلى استبدال المكوّن الأفقي للهيكّل الإنشائي من بلاطة هوردي مع البديل الأول إلى بلاطة مُصمّمة مع البديل الثاني، ولأنّ بلاطة الهوردي ذات قدرة على تحقيق العزل الحراري فإن استبدالها ببلاطة مُصمّمة سبّب ازدياد بسيط في مقدار الحمل الحراري ما أدى إلى ارتفاع ضئيل في مقدار الاستهلاك السنوي للوقود وكذلك في مقدار الانبعاث الناتجة عن احتراق الوقود في المرحل. هذا الأمر لم يؤخذ بعين الاعتبار في الدراسات السابقة إذ إنّها ركّزت على إجراء المقارنة من وجهة نظر ميكانيكية فقط أي مقارنة نظام ميكانيكي مع نظام ميكانيكي آخر دون إدخال المكوّن الإنشائي بالحساب.

على الرّغم من ذلك فإنّ إمكانية دمج البلاطات المشعة مع مصادر الطاقة المتجدّدة - الأمر الذي لا يمكن تحقيقه بالنسبة لنظام المشعات - يمكن أن يُسبّب تخفيضاً كبيراً في مقدار استهلاك الوقود وهذا بدوره يمكن أن يعود بمنافع بيئية: ناتجة عن تخفيض الانبعاثات الضارة بالبيئة، واقتصادية: ناتجة عن تخفيض تكاليف التشغيل وبالتالي التكاليف الإجمالية خلال دورة الحياة، لذا فإنّنا نوجّه لإجراء مزيد من الأبحاث بما يخدم هذا الأمر لإكمال الطّريق الذي بدأنا به والخوض أكثر ضمن مجال الاستدامة الذي بات موضع الاهتمام الأول عالمياً عند البدء بأي مشروع.

ولابدّ من الإشارة إلى أنّ البلاطة المشعة هي نظام للتدفئة والتكييف، أي أنّ النظام المستخدم في فصل الشتاء للتدفئة يُمكن استخدامه ذاته في فصل الصيف للتكييف فقط باستبدال المرحل بمبرّد، في هذه الحالة يمكن تحقيق توفير كبير في تكاليف تأسيس نظام التكييف وهذا ما لا يمكن تحقيقه مع نظام المشعات، لذا فإنّنا ندعو لإيلاء الاهتمام بهذا الأمر في أبحاث لاحقة، كما ندعو لتوسيع دراسة الجدوى من هذه التقنية بإدخال معايير إضافية للمقارنة بغية تكوين تصوّر شامل حول هذه الأنظمة التي حققت مؤخراً انتشاراً واسعاً حول العالم.

References :

1. BUREŠOVÁ, A. *Heating System with Renewable Energy Sources*. Bachelors Thesis, Czech Technical University Faculty of Civil Engineering, Czech, 2016, 31.
2. CHUDUK, S. *Heat pumps and under floor heating as a heating system for Finnish low-rise residential buildings*. Bachelors Thesis, Mikkeli University of Applied Sciences, Finland, 2010, 44 .
3. EROL, N. *Comparison of Radiator and Under Floor Heating Systems in North Cyprus*. Master Thesis, Eastern Mediterranean University, North Cyprus, 2013, 103.

4. EN 1264-4 : Floor heating: Systems and components - Part 4: Installation , 2001.
5. GHALI, K. *Economic Viability of Under Floor Heating System: a Case Study in Beirut Climate*. International Conference on Renewable Energy and Power Quality, Sevilla, Spain, 2007.
6. Handbook of Inspection of Power Generating Units, Egyptian Pollution Reduction Project (EPAP) under the supervision of Egyptian Environmental Affairs Agency, Egypt, 2002, 116 .
7. JOHNSON, J; WESTERLUND, L. *Radiant floor cooling systems A measurement and simulation study* . Master Thesis, Chalmers University of Technology Department of Civil and Environmental Engineering, Sweden, 2012, 103.
8. KAZANCI, O. B. *Low Temperature Heating and High Temperature Cooling in Buildings*. PhD Thesis, Technical University of Denmark Department of Civil Engineering, 2016, 230.
9. LARSSON, J. *Under Floor Heating a solution or a problem?*. Master Thesis, Lund University Faculty of Engineering, Sweden, 2016, 67.
10. MARDIANA, A ; RIFFAT, SB. *Building Energy Consumption and Carbon dioxide Emissions: Threat to Climate Change*. Journal of Earth Science & Climatic Change, 2015, doi: 10.4172/2157-7617. S3-001.
11. NAHHAS, A. *Heating and air conditioning*. Directorate of University Books and Publications Aleppo University College of Engineering, Syria, 1989, 568 .
12. NIELSEN, L. *Analysis of the radiant heating and cooling System in the Green Energy Laboratory*. Master Thesis, Norwegian University of Science and Technology Department of Energy and Process Engineering, 2015, 184.
13. Price analysis guide for building and construction works. Ministry of Public Works. Syria, 2016.
14. Syrian Thermal Insulation Code. National Energy Research Center. Syria, 2007,131.
15. SASTRY, G; RUMSEY, P. *VAV vs. Radiant Side-by-Side Comparison*. ASHRAE Journal, Vol.56, No.5 , 2014, 16-24.
16. TIAN, Z ;LOVE, J .*Application of radiant cooling in different climates: assessment of office buildings through simulation*. Eleventh International Building Performance Simulation Association Conference (IBPSA), Scotland, July 27-30, 2009.
17. The Syrian Arab Code for the Design and Implementation of Reinforced Concrete Structures and its appendices. 4th edition, Syrian Engineers Syndicate. Syria, 2012 .
18. WEITZMANN, P. *Modelling building integrated heating and cooling systems*. PhD thesis, Technical University of Denmark Department of Civil Engineering, 2004, 314.