

دراسة تصنيع مادة عازلة من الورق المستعمل لعزل خزانات المياه المنزلية⁺

عصام جندي حسن*

المستخلص:

في البحث الحالي تم دراسة إمكانية استخدام الورق المستعمل في تصنيع مادة عازلة ودراسة انتقال الحرارة العابر خلال خزان اسطوانتي يحتوي على ماء ساخن يتم عزله بالمادة الورقية المصنعة بعد حساب الخواص الحرارية لتلك المادة (معامل التوصيل الحراري) عملياً، ومقارنته مع العزل باستخدام الصوف الزجاجي. تم تصنيع المادة الورقية العازلة عن طريق تحويل الورق المستعمل الى عجينة عن طريق تقطيعها وتفتيتها وعجنها بالماء، ومن ثم تغليف الخزان بطبقات مختلفة السمك ومن ثم تجفيفها.

تم تحديد مقدار الانخفاض في درجات الحرارة مع الزمن عملياً ونظرياً باستخدام طريقة العناصر المحددة (*FEM*) عن طريق استخدام البرنامج الجاهز (*ANSYS*) لخمس حالات مختلفة، حالة عدم العزل، حالة العزل بالصوف الزجاجي، وحالة العزل باستخدام المادة الورقية بثلاثة طبقات مختلفة السمك (1، 2، و 3 سم) على التوالي. تم الحصول على مقدار الانخفاض في درجات الحرارة خلال فترة زمنية محددة، ومن خلال النتائج تم التوصل الى إمكانية استخدام الورق المستعمل في تصنيع مادة عازلة، وحققت المادة الورقية بسمك (3 سم) عزلاً حرارياً مقارباً للعزل بالصوف الزجاجي بسمك (1 سم). وكانت نسبة الفرق قليلة جداً ما بين النتائج العددية التي تم الحصول عليه باستخدام طريقة العناصر المحددة باستخدام البرنامج الجاهز والنتائج العملية، وهذا يؤكد إمكانية الاعتماد عليها في اجراء التحليل الهندسي بشكل عام، والحراري بشكل خاص.

الكلمات الدالة: اعادة تصنيع الورق، الورق المستعمل، العزل الحراري.

STUDY MANUFACTURING INSULATING MATERIAL FROM THE PAPER USER TO ISOLATE DOMESTIC WATER TANKS

Iesam Jondi Hasan

Abstract:

In present study the ability to using the used paper to produce insulation material were studied for transient heat transfer through cylindrical tank containing hot water, and compared with fiber glass insulation. The material of paper insulation produced by changing the gathering used paper to dough by cutting, crumbling and dough it in water, then covering the tank by the produced dough with different thickness layers, and finally drying.

The dropping of the temperature with time were obtained experimentally and theoretically by finite Element method (*FEM*) by using the (*ANSYS*) software for five different cases, without insulation, insulation by fiber glass, and insulation by paper in

⁺ تاريخ إستلام البحث 2015/5/19 ، تاريخ قبول النشر 2016/2/22
^{*} مدرس مساعد / الكلية التقنية / كركوك / الجامعة التقنية الشمالية

three different thicknesses (1, 2 and 3 cm) respectively. The dropping in temperature in certain time were obtained, the results showed that the materials made from used paper give a good ability in insulation, the paper material with (3 cm) thickness have approximately the same insulation behavior of fiber glass insulation with (1 cm) thickness. The different ratios between the numerical results by (FEM) by using the software was very small, and this prove that the dependence ability to use (FEM) by using the software generally in engineering analysis, and especially in thermal analysis.

Keywords: Paper Recycling, Used Paper, Thermal Insulation.

المقدمة:

إن دراسة وتحليل مختلف الظواهر الهندسية الفيزيائية تعد من الأمور الضرورية والمهمة لغرض التوصل إلى أفضل أداء للمنظومات المستخدمة في مختلف المجالات وتحقيق الغرض الذي تم تصميم وتصنيع تلك المنظومات من أجله. إحدى هذه المنظومات والتي ترتبط ارتباطاً مباشراً بحياتنا اليومية والتي لها تأثير مباشر على الإنسان وراحته هي منظومات تسخين الموائع أو تبريدها، هذه المنظومات يتم تصميمها ودراستها اعتماداً على مجموعة من الظواهر الفيزيائية، وتعد ظاهرة انتقال الحرارة من أهم هذه الظواهر. ويعد الحصول على أفضل أداء لهذه المنظومات تظهر مسألة مهمة جداً ألا وهي مسألة كيفية المحافظة على درجة الحرارة التي تم الحصول عليها أطول فترة ممكنة. وعملية الحفاظ على درجة الحرارة ترتبط ارتباطاً مباشراً وأساسياً مع ما يسمى بالمواد العازلة (*Insulation Materials*).

إن المسألة الاقتصادية تعد من المسائل المهمة التي تم اعتمادها بشكل واسع ومتسارع في القرن العشرين بسبب الاستهلاك الكبير للثروات والموارد من قبل الإنسان وخصوصاً بعد الثورة الصناعية. هذا الاستهلاك أدى إلى استنزاف الموارد والثروات الطبيعية الموجودة في الدول المنتجة لهذه المواد والثروات. وبسبب هذا الأمر ظهر ما يسمى بتدوير المواد، الذي يعتمد على مبدأ إعادة إنتاج واستخدام المواد المستعملة التالفة أو المستهلكة واستخدامها في تصنيع وإنتاج إما نفس المادة الأساسية التي كانت جزءاً منها، أو إنتاج منتج آخر مختلف.

في البحث الحالي تم الاستفادة من المخلفات الورقية في تصنيع مادة عازلة وتحديد مدى إمكانية الاعتماد عليها وبالذات في الاستخدامات المنزلية عن طريق تصنيعها بشكل بسيط قدر الإمكان بحيث يكون بالإمكان تصنيعها منزلياً من قبل أي شخص وبسهولة. وهنا يتحقق أمران، الأول تحقيق جدوى اقتصادية حيث أن الكلفة تكون قليلة جداً كون المواد الأولية المستخدمة هي مواد كان من المفروض أن ترمى ويتخلص منها، والأمر الثاني تقليل القمامة المتراكمة التي يجب التخلص منها وبدلاً من ذلك يتم إعادة استخدامها بأمر مفيد الأمر الذي يؤدي إلى تقليل التلوث من جهة أخرى.

هناك ثلاث أنواع من أساليب انتقال الحرارة، التوصيل (*Conduction*)، الحمل (*Convection*)، والإشعاع (*Radiation*). انتقال الحرارة في الأنظمة الهندسية يحصل بإحدى هذه الأساليب أو يمكن أن يجتمع أكثر من أسلوب لانتقال الحرارة في نفس النظام. لكل أسلوب من أساليب انتقال الحرارة تم التوصل إلى قوانين حاكمة له وسلوك يختلف عن الأساليب الأخرى [1,2]. البحث الحالي اختص بانتقال الحرارة بالتوصيل العابر (المتغير مع الزمن)، وبالأخص التوصيل الحراري خلال جدار خزان معدني يستخدم لتخزين المياه الساخنة، مع استخدام مادة عازلة تقليدية ومن ثم استخدام المادة قيد الدراسة والتي هي الورق المستعمل. إن دراسة انتقال الحرارة العابر بالتوصيل له أهمية كبيرة في العديد من التطبيقات الهندسية. ولن تكون هناك صعوبة في التعرف على بعض هذه التطبيقات من حولنا، مثل المحركات بصورة عامة،

ومحركات الاحتراق الداخلي بشكل خاص، المبادلات الحرارية (*Heat Exchangers*)، الأفران ومداخنها بمختلف أنواعها، انتقال الحرارة خلال الجدران بصورة عامة وبالأخص جدران البنايات، بالإضافة إلى انتقال الحرارة خلال المواد العازلة. في مثل هذه الدراسات هناك نوعين مختلفين من الأهداف التي يريد الباحث أن يتوصل إليها، فإما أن يكون الهدف هو الحصول على تغير في درجة الحرارة بأقصر وقت ممكن (مثل تسريب درجة الحرارة العالية داخل المحركات إلى المحيط الخارجي، والمبادلات الحرارية) وهذا يتم عن طريق استخدام مواد ذات معامل توصيل حراري عالي، أو يكون الهدف الحفاظ على درجة الحرارة لأطول فترة ممكنة (مثل سخانات المياه المنزلية التي يراد من خلالها الحفاظ على درجة حرارة المياه العالية، والبرادات التي تستخدم لحفظ الاطعمة والمنتجات الغذائية والمستلزمات الطبية والتي يراد الحفاظ على درجة الحرارة المنخفضة) وفي مثل هذه الحالة يتم استخدام مواد ذات معامل توصيل حراري منخفض والتي يطلق عليها تسمية المواد العازلة. في البحث الحالي سوف يتم دراسة النوع الثاني من الأهداف عن طريق دراسة استخدام مواد عازلة تقليدية ومقارنة النتائج التي يتم التوصل إليها مع مواد عازلة يتم تصنيعها من المخلفات الورقية، وتحديد مدى الاعتمادية التي يمكن تحقيقها مع هذه المواد.

هناك العديد من البحوث والدراسات السابقة التي تطرقت إلى دراسة وتحليل تصنيع مواد عازلة من مخلفات المواد المستعملة، سواءً كانت هذه المخلفات ناتجة من الاستخدام المنزلي أو الصناعي. جميع هذه الدراسات كان الهدف منها تحقيق الجدوى الاقتصادية والبيئية عن طريق إعادة تدوير المخلفات والمواد المستعملة بما يحقق اقتصاداً في المواد الأولية وكذلك تقليل كميات النفايات. هناك العديد من الدراسات التي تطرقت إلى عملية إعادة تدوير المواد الورقية المستعملة، مثل ورق التغليف وورق الصحف والمجلات وغيرها، معظم الدراسات قامت بمحاولة إعادة تصنيع الورق المستعمل واستغلال مادة السليلوز (*Cellulose*) المكون له لغرض الحصول على مادة عازلة تستخدم في مجالات العزل المستخدم في البناء، سواءً عن طريق تغليف مواد البناء التقليدية بهذه المادة، أو تصنيع مواد بناء من السليلوز بعد إجراء بعض المعالجات وإضافة بعض المواد إليه للحصول على المتانة المطلوبة لهذا الغرض.

حيث قام (*Sigitas, et al*) [3] باستخدام السليلوز المنتج من خلال إعادة تصنيع ورق الجرائد المستعملة لغرض عزل البنايات، حيث تم استخدام المادة المنتجة مع جدار مزدوج من الطابوق يتم وضع طبقة السليلوز بينهما، وتم حساب العزل الحراري للمادة ضمن فترات مختلفة من أشهر السنة. تم تصنيع المادة السليلوزية على شكل شعيرات ودراسة المحتوى الرطوبي لها في مختلف الجدران ومدى قابليتها على سحب الرطوبة. وقام (*Ana Briga-Sa, et al*) [4] باستخدام النفايات الورقية كبديل لمواد العزل التقليدية، حيث قام بعمل نسيج من هذه النفايات واستخدامه مع جدران خارجية مزدوجة تم ملأ الفراغ الذي بينها بهذا النسيج. وتم التوصل إلى أن سلوك العزل الحراري لهذا النسيج مشابه لسلوك العزل باستخدام البوليستر (*Polystyrene*) والصوف المعدني وحبيبات الطين. وبالتالي فإن استخدام النسيج قدم حلاً كافياً للعزل بالإضافة إلى كونه غير ضار للبيئة ويحقق فائدة اقتصادية كبيرة. أما (*Son T. Nguyen, et al*) [5] فقد قام باستخدام النفايات الورقية للحصول على مادة سليولوزية هلامية لها قابلية عالية على إمتصاص الزيوت والماء وذات عزل حراري جيد. هذه المادة تم تصنيعها من خلال استخدام مادة قلووية بسيطة وتقنية التجميد الجاف. هذه المادة لها قابلية امتصاص زيوت وماء عالية مقارنة بوزنها وبالإمكان إعادة استخدامها بعد إجراء عملية عصر وإخراج السوائل الممتصة منها. وقام (*S.H. Ibrahim, et al*) [6] بدراسة الأداء الحراري لليف المستخرج من النخيل واللب الورقي المستعمل كمادة عازلة. حيث تم إضافة اللب الورقي إلى الواح العزل التقليدية الأمر الذي حقق إلى انخفاض التوصيل الحراري بنسبة جيدة. واستخدام هذه المادة أدى إلى تقليل استهلاك الطاقة وتحسين نوعية الظروف داخل البنايات، وكذلك فإن المادة المصنعة تعتبر صديقة للبيئة كونها قابلة للتحلل من غير ترك فضلات مضرّة بالبيئة. أما (*Claudio Aciu, et al*) [7] فقد قام باستخدام النفايات

الورقية وإعادة تدويرها لغرض تصنيع مواد بناء مختلفة ذات عزل حراري جيد بالإضافة الى متانتها. حيث تم تصنيع ملاط بلاستيكي اساسه النفايات الورقية. الملاط المصنع حقق عزل حراري ومتانة اعلى من الملاط التقليدي. ووجد ان افضل نسبة للمادة الورقية في الملاط هي (40%). وان المادة المصنعة لها مقاومة جيدة للحريق. وان العزل الحراري لهذه المادة يعود الى ان المادة الورقية تحيط بجزيئات المادة الاساسية وتؤدي الى عزلها عن الحرارة.

في البحث الحالي تم تصنيع مادة عازلة سليولوزية من غير معالجة من خلال استخدام الورق المستعمل بعد تحويله الى عجينة من خلال تقنيته في الماء وتشكيله بالشكل المطلوب ومن ثم تجفيفه، ثم قياس معامل التوصيل الحراري للمادة الناتجة مختبرياً. تم استخدام هذه المادة في تغليف خزان يحتوي على ماء ساخن وحساب فقدان الحرارة في فترة زمنية معينة، وتم استخدام المادة بسمك (1 ، 2 و 3 سم) على التوالي، وتمت مقارنة النتائج نظرياً باستخدام برنامج (ANSYS) وعملياً مع نفس الخزان في حالة عدم تغليفه باي مادة وفي حالة تغليفه بمادة عازلة تقليدية (الصوف الزجاجي) لغرض التوصل الى مدى الجدوى المتحققة من خلال استخدام المادة السليولوزية في عزل الخزانات المستخدمة في حفظ السوائل الساخنة.

الجانِب العملي:

تصنيع وفحص المادة الورقية العازلة:

عملية تصنيع المادة العازلة من الورق المستعمل تمت على ثلاث مراحل، المرحلة الاولى هي مرحلة اختيار نوعية الورق وجمعه، حيث تم اختيار نوعية محددة من الورق لضمان تجانس التركيب قدر الامكان، حيث تم اختيار الورق الابيض ذو القياس (A4) المستخدم في الطباعة والكتابة بشكل كبير ضمن المجال الاكاديمي في الكليات والمدارس. المرحلة الثانية تتضمن عملية تحويل الورق المجموع الى عجينة عن طريق تقطيعه وتقنيته في الماء وتحويله الى عجينة متجانسة وكما موضح في الشكل (1).



شكل (1): الورق المستعمل بعد تحويله الى عجينة متجانسة.

المرحلة الثالثة تتضمن اجراء فحص للمادة الورقية لغرض قياس معامل التوصيل الحراري (Thermal Conductivity)، حيث تم تصنيع نماذج اسطوانية قياسية (Standard) ذات قطر (25 ملم) وطول (100 ملم) كما

موضح في الشكل (2) لغرض أن تكون ملائمة لوضعها في الجهاز الخاص بقياس معامل التوصيل الحراري الموضح في الشكل (3) وقد تم تثبيت العينة داخل الجهاز .

العينة الورقية داخل جهاز
قياس معامل التوصيل



شكل (2): العينات الورقية المستخدمة في فحص معامل التوصيل الحراري.

شكل (3): الجهاز المستخدم في قياس معامل التوصيل الحراري
موضحاً فيه طريقة وضع العينة.

الجهاز المستخدم يعتمد على مقدار الطاقة الحرارية التي يكتسبها ماء جاري بتصريف معين عند مروره بسخان يكتسب حرارته من مصدر حراري من خلال مادة وسطية والتي في هذه الحالة تمثل العينة المصنعة من المادة الورقية. يتم وضع محارير على سطح العينة الورقية ضمن مسافات محددة، وكذلك محارير على نقطة دخول الماء ونقطة خروجه. ولغرض حساب الطاقة الحرارية التي اكتسبها الماء نستخدم العلاقة التالية[1]:

$$q = \dot{m} \times c_p \times \Delta T \dots\dots\dots (1)$$

حيث إن (\dot{m}) تمثل التصريف، و (c_p) تمثل الحرارة النوعية للماء، و (ΔT) تمثل فرق درجتي الحرارة بين دخول الماء وخروجه. أما الطاقة الحرارية المفقودة من العينة الورقية فيمكن حسابها من خلال المعادلة التالية[1]:

$$q = k \times A \times \frac{\Delta T}{\Delta x} \dots\dots\dots (2)$$

حيث أن (k) تمثل معامل التوصيل الحراري للعينة الورقية، و (A) مساحة مقطع العينة الورقية و $(\frac{\Delta T}{\Delta x})$ تمثل التغير الحاصل في درجة الحرارة مع المسافة. وبما أن الطاقة الحرارية المكتسبة من قبل الماء تساوي الطاقة الحرارية المفقودة من العينة الورقية، فيمكن حساب معامل التوصيل الحراري من خلال مساواة المعادلتين (1) و (2) اعلاه. لغرض الحصول على نتائج دقيقة قدر الامكان تم تصنيع عشرة نماذج وفحصها في الجهاز بالطريقة السابقة الذكر. وقدر لوحظ أن التغير الحاصل في درجات حرارة الماء بين الدخول والخروج كان قليلاً جداً، حيث تراوح مقدار التغير في درجات الحرارة ما بين (0 و 0.2 م⁰). وهذا إن دل على شيء فهو يدل على أن مقدار الحرارة المنتقلة خلال العينات الورقية كان قليلاً جداً، أي

أن معامل التوصيل الحراري قليل نسبياً. وعند اجراء الحسابات بالقوانين اعلاه تراوحت قيمة معامل التوصيل الحراري للعينات ما بين (0.048 و 0.052 واط/ م. م⁰)، وعند أخذ معدل هذه القيم كان يساوي (0.05 واط/ م. م⁰). ولغرض حساب كثافة المادة الورقية تم استخدام طريقة حساب الوزن مقارنة للحجم، حيث تم قياس حجم ووزن عينات معينة، حيث تم أخذ عينتين عشوائيتين بقياس (8×7×1.3 سم) و (10×10×1.15 سم) على التوالي، فكان وزن العينتين على التوالي (0.022 و 0.04 كغم) على التوالي، وعند تقسيم الكتلة على الحجم نحصل على قيمتين للكثافة تساوي (302.1978 و 347.826 كغم/م³) على التوالي، وتم اخذ القيمة الوسطية التي تساوي (325 كغم/م³)، الجدول (1) يوضح خواص بعض المواد المستخدمة في العزل مقارنة مع المادة الحالية المصنعة من الورق المستعمل بالإضافة الى خواص الحديد المستعمل في تصنيع خزانات المياه وكذلك خواص الماء [1]. ومن خلال مقارنة بسيطة نلاحظ أن معامل التوصيل الحراري للمادة الورقية قريب من معامل التوصيل الحراري للمواد العازلة التقليدية، وهذا يعطي انطباع أولي على إمكانية استخدام المادة الورقية في العزل الحراري، بينما كثافة المادة الورقية كانت أعلى من كثافة المواد العازلة التقليدية.

جدول (1): خواص بعض المواد المستعملة في العزل الحراري مقارنة مع المادة المصنعة من الورق المستعمل وخواص الحديد المستعمل في تصنيع خزانات المياه وخواص الماء [1].

ت	المادة	معامل التوصيل الحراري (K) (واط/م.م ⁰)	الكثافة (ρ) (كغم/م ³)	الحرارة النوعية (C) (كج/كغم.م ⁰)
1	الماء	0.58	1000	4.186
2	الحديد	48	7830	0.46
3	الورق	0.05 (عملياً)	325 (عملياً)	1.2
4	الصوف الزجاجي	0.04	240	0.84
6	الفلين	0.045	120-45	1.88
5	البوليسترين	0.04038	16	1.214

تصنيع وتغليف الخزانات بالمادة الورقية واجراء القياسات:

لغرض اجراء الجانب العملي تم تصنيع خزان بقطر (250 ملم) وارتفاع (400 ملم) من صفائح من فولاذ مغلون المستخدم في تصنيع خزانات المياه المنزلية ذات سمك (2 ملم). ومن ثم وبعد تحويل الورق المستعمل الى عجينة متجانسة، تم تغليف الخزانات بطبقات مختلفة السمك لغرض التوصل الى تأثير السمك على إمكانية العزل. حيث تم تغليف الخزانات بسمك (1، 2، و 3 سم) على التوالي، الشكل (4) يوضح تغليف الخزانات بطبقات مختلفة السمك من العجينة الورقية. ولغرض الحصول على قوة تماسك للمادة الورقية بعد أن تجف تم استخدام شبكة سلكية (PRC) توضع بين طبقة العجين قبل أن تجف وكما هو موضح في الشكل (5).

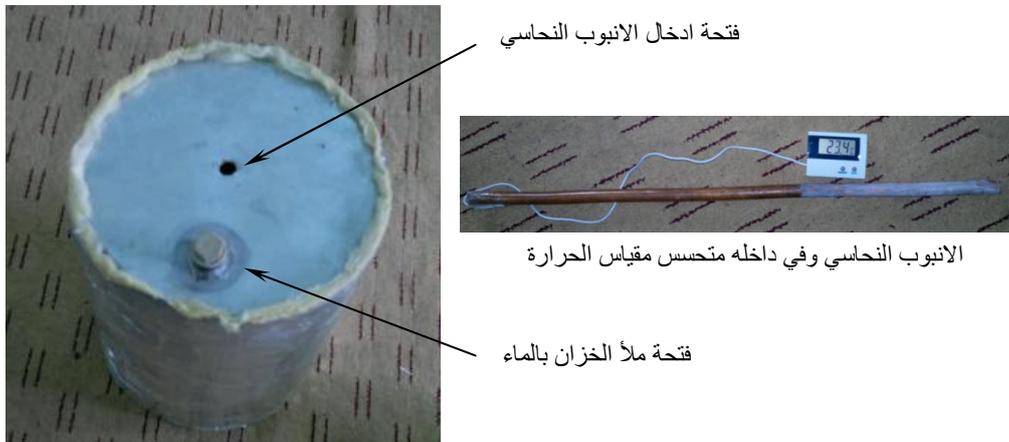


شكل (4): ثلاث خزانات مغلقة بثلاثة طبقات مختلفة السمك من العجينة الورقية.



شكل (5): طبقة من شبكة سلكية موضوعة بين طبقتي العجينة الورقية لزيادة قوة تماسك العجينة.

لغرض تركيب مقياس الحرارة تم عمل ثقب في أعلى الخزان وإدخال انبوب نحاسي لعمق مساوي لنصف عمق الخزان. في داخل هذا الانبوب يتم ادخال متحسس مقياس درجة الحرارة لغرض ان يقيس درجة الحرارة في منتصف الخزان قدر الامكان. الشكل (6) يوضح الخزان مع الثقب بالاضافة الى الانبوب النحاسي ومقياس الحرارة مع المتحسس.



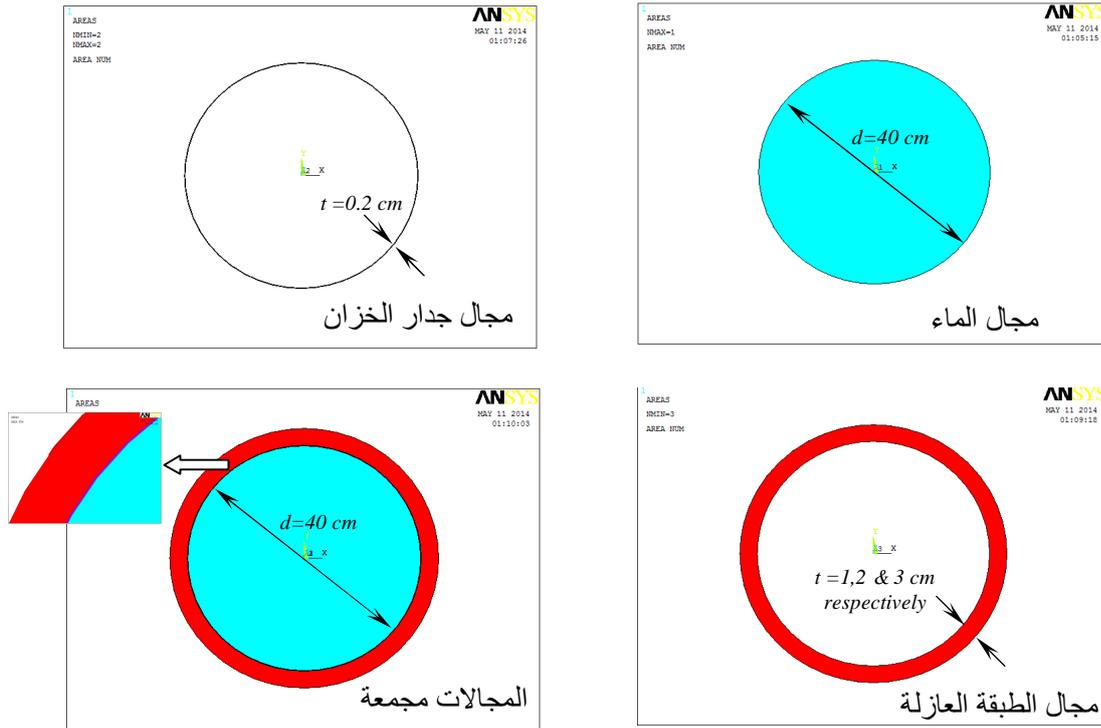
شكل (6): الخزان مع الثقب بالاضافة الى الانبوب النحاسي ومقياس الحرارة مع المتحسس.

ولغرض الحصول على انتقال الحرارة من خلال الجدران الجانبية فقط قدر الامكان فقد تم تغليف القاعدتين العليا والسفلى بطبقة من الفلين العازل[1].

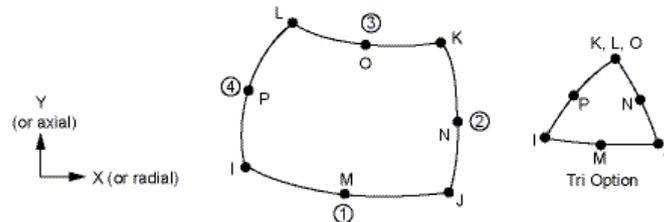
في جميع القراءات سواء في حالة الخزان غير المعزول والخزان المعزول بمختلف انواعه تم ملأ الخزان بماء ساخن بنفس درجة الحرارة قدر الامكان، وكانت درجة حرارة الماء في جميع الحالات تتراوح ما بين (87.8 - 87.9 م⁰). وفي نفس الوقت تم الحرص على ان تكون درجة حرارة المحيط الخارجي (الغرفة) متساوية قدر الامكان في جميع الحالات لضمان عدم حصول فرق في الشروط الحدودية وبالتالي الحصول على نتائج غير دقيقة. وكانت درجة حرارة الغرفة في جميع الحالات تتراوح ما بين (19.7 - 22.7 م⁰). ومن ثم تم قياس انخفاض درجات الحرارة خلال ساعتين وتم أخذ القراءات كل عشرة دقائق، اي تم الحصول على ثلاثة عشر قراءة لكل حالة.

الجانب النظري (التحليل العددي):

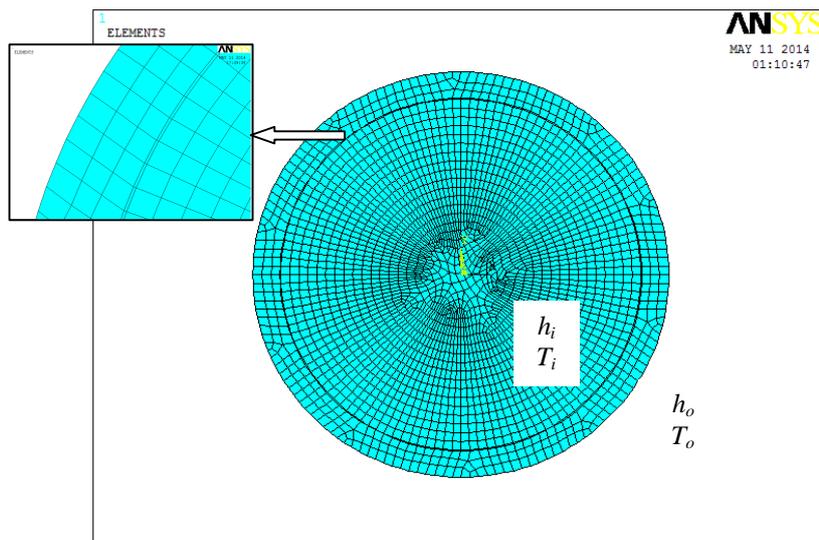
لغرض اجراء التحليلي العددي ومقارنة نتائجه مع النتائج العملية تم استخدام البرنامج الجاهز (ANSYS-14) في البحث الحالي تم اعداد البرنامج باستخدام طريقة (Graphic User Interface GUI). برنامج الـ(ANSYS) يعتمد على طريقة العناصر المحددة (Finite Element Method FEM) في التحليل، وهذه الطريقة تعتمد على مبدأ تقسيم الانظمة قيد التحليل الى مجموعة من الانظمة الجزئية (عناصر elements) والتي تشبه من ناحية السلوك النظام الكلي، ومن ثم يتم جمع سلوك هذه الانظمة الجزئية والحصول على سلوك النظام الكلي. في هذه الحالة تم انشاء نموذج ثنائي الابعاد للخزان كون انتقال الحرارة يحصل باتجاه واحد من خلال الجدران الجانبية فقط، الشكل (7) يوضح محاكاة طبقات الخزان والماء والطبقة العازلة. وتم تقسيم (mesh) كل مجال من مجالات الخزان (الماء، جدار الخزان وطبقة المادة العازلة) حسب خواص كل مجال وباستخدام عنصر ذو ثمانية عقد من نوع (PLANE77) هذا العنصر يتكون من ثمانية عقد، عقدة في كل زاوية وعقدة في منتصف كل ضلع، وكل عقدة لها درجة حرية واحدة فقط وكما هو موضح في الشكل (8)، اما عملية تقسيم كل مجال من مجالات الخزان باستخدام هذا العنصر فهي موضحة في الشكل (9). جميع العناصر المتجاورة المكونة للمجال قيد التحليل تترايط فيما بينها من خلال العقد المتجاورة مع بعضها. ومن ثم يتم تعريف الشروط الحدودية للنظام من درجة حرارة الماء ودرجة حرارة المحيط الخارجي، وبعدها يتم تحديد نوعية التحليل والذي هو تحليل عابر (transient) اي متغير مع الزمن، وتحديد الفترة الزمنية اللازمة لغرض اخذ كل قراءة والتي تساوي عشرة دقائق. الشكل (10) يوضح توزيع درجات الحرارة ضمن مختلف طبقات الخزان والماء والمادة العازلة بعد إجراء التحليل العابر باستخدام برنامج (ANSYS)[8].



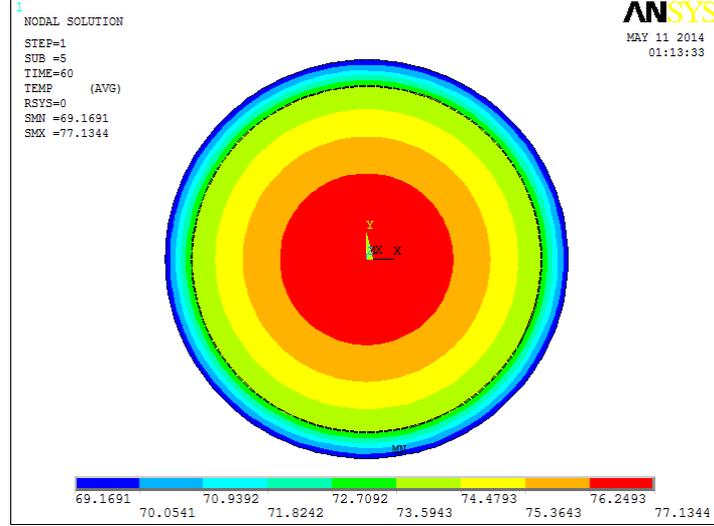
شكل (7): محاكاة طبقات الخزان والماء والطبقة العازلة وتجميعها باستخدام برنامج (ANSYS).



شكل (8): عنصر من نوع (PLANE77) موضحاً فيه عدد العقد وعدد الاضلاع.



شكل (9): نموذج الخزان بمختلف مجالاته بعد تقسيمه الى عدد من العناصر وربطها ربطاً شبكياً مع الشروط الحدودية.



شكل (10): توزيع درجات الحرارة ضمن طبقات الخزان باستخدام برنامج (ANSYS).

النتائج والمناقشة:

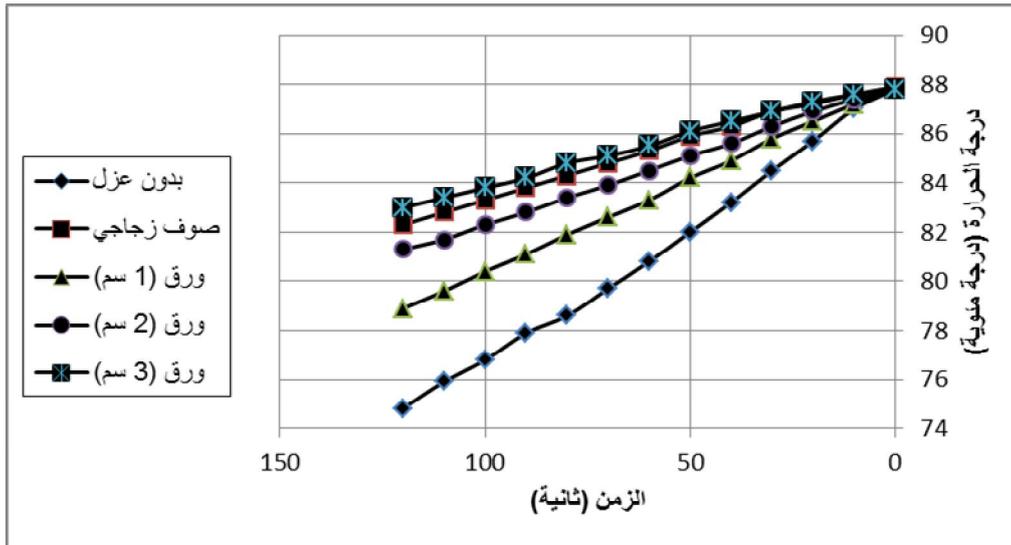
تم قياس الانخفاض في درجة حرارة الماء داخل الخزان خلال ساعتين لخمس حالات، حالة عدم العزل وحالة العزل باستخدام الصوف الزجاجي وثلاثة حالات عزل باستخدام الورق بسمك مختلف (1، 2، 3 سم)، وتم اخذ القراءات كل عشرة دقائق عملياً ونظرياً. من خلال النتائج تم ملاحظة أن استخدام الورق في عمليات العزل قد حقق نتائج عزل تتحسن مع زيادة السمك المستخدم. فعند استخدام سمك (1 سم) كان مقدار الانخفاض الكلي في درجة الحرارة بعد مرور ساعتين يساوي (8.9 م°)، وعند مقارنة هذه القيمة مع حالة عدم وجود مادة عازلة فإنها حققت درجة واضحة من العزل، حيث ان الانخفاض في حالة عدم العزل كان (13 م°)، ولكن عند مقارنة العزل بالورق بسمك (1 سم) مع العزل باستخدام الصوف الزجاجي بنفس السمك نجد ان الصوف الزجاجي حقق عزل افضل حيث انخفضت درجة الحرارة بمقدار (5.6 م°) فقط. وعند استخدام عازل ورقي بسمك (2 سم) كان مقدار الانخفاض يساوي (6.5 م°)، ويظهر بوضوح التحسن الحاصل في العزل ولكنه لا يزال اقل من العزل بالصوف الزجاجي. وعند استخدام عازل ورقي بسمك (3 سم) كان مقدار الانخفاض يساوي (4.8 م°)، ويمكن ملاحظة ان هذا السمك قد حقق نتائج افضل من الصوف الزجاجي ولكن بفرق قليل نسبياً. وهنا يمكن اجراء مقارنة بسيطة بين ظروف العمل في حالة الصوف الزجاجي وحالة العازل الورقي بسمك (3 سم) حيث يمكن ملاحظة الامور التالية، كانت درجة الحرارة الابتدائية في الحالتين تساوي (87.9 و 87.8 م°) على التوالي وهما درجتين متطابقتين تقريباً، ولكن درجة حرارة المحيط في الحالتين كانت حوالي (21.2 و 22.3 م°) على التوالي، أي أن العزل بالصوف الزجاجي كان في درجة حرارة محيط اوطأ بمقدار (1.1 م°) من العزل الورقي (3 سم)، وبالتالي فمن البديهي أن يكون هذا الفرق حتى ولو كان قليلاً جداً. وبهذا يمكن التوصل الى أن العزل الورقي بسمك (3 سم) يكون مشابه ومكافئ الى حد بعيد للعزل باستخدام الصوف الزجاجي بسمك (1 سم).

ولغرض اعطاء صورة واضحة عن سلوك العزل في كل الحالات تم رسم العلاقة ما بين الانخفاض في درجات الحرارة مع الزمن في كل الحالات في مخطط واحد للنتائج العملية والنظرية وكما هو موضح في المخططين (1-2)، حيث يظهر بوضوح الفرق في مقدار الانخفاض في درجات الحرارة في الحالات المختلفة من العزل، ويمكن ملاحظة التطابق الكبير ما بين العزل باستخدام الصوف الزجاجي والعزل باستخدام المادة الورقية بسمك (3 سم). ويظهر كذلك كيف أن زيادة سمك

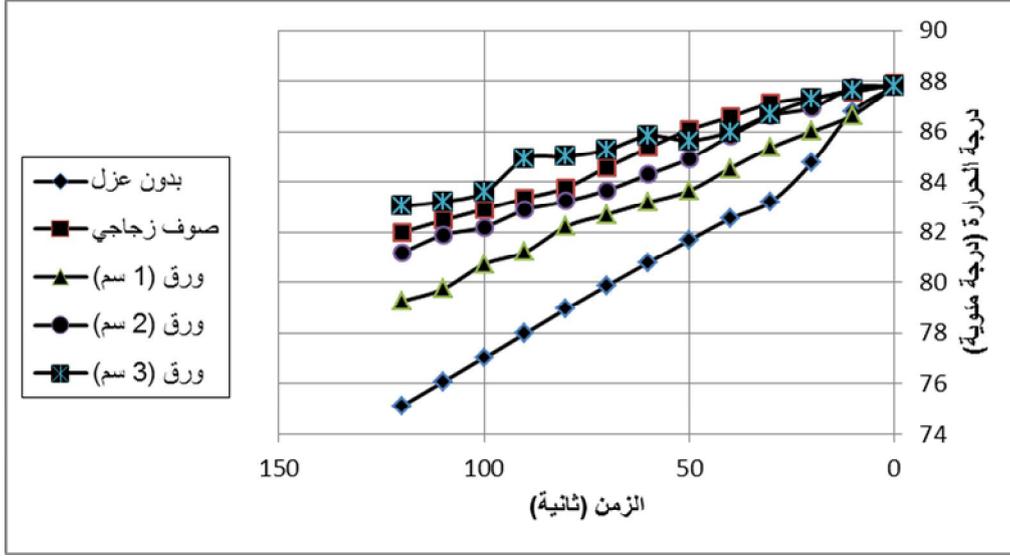
الطبقة للمادة الورقية العازلة أدى إلى تقليل الانخفاض في درجات الحرارة مع الزمن. وكذلك يظهر التأثير الواضح للعزل باستخدام الورق من خلال التغير الكبير في ميل منحنى انخفاض درجات الحرارة عند استخدام الورق بسمك (1 سم) بالمقارنة مع ميل منحنى انخفاض درجات الحرارة في حالة عدم استخدام مادة عازلة. ومن نفس المخططات يمكن المقارنة ما بين النتائج النظرية والعملية يمكن ملاحظة التقارب الكبير ما بين النتائج النظرية والعملية، حيث تراوحت نسبة الفرق في النتائج في الحالات المختلفة ما بين (0.0247 - 1.5148 %) لحالة عدم العزل، (0.0343 - 0.6287 %) لحالة العزل بالصوف الزجاجي، (0.132 - 0.6193 %) للعزل بالورق بسمك (1 سم)، (0.05754 - 0.4119 %) للعزل بالورق بسمك (2 سم)، واخيراً (0.011455 - 0.8551 %) في حالة العزل بالورق بسمك (3 سم)، ونسب الفرق هذه مقبولة الى حد كبير، وهذا يؤكد امكانية الاعتماد على الطرق العددية والبرامج الجاهزة التي تعمل بها في تحليل ودراسة النظم الهندسية وبالاخص النظم الحرارية، مع التأكيد على وجوب اجراء الفحوصات العملية واعتماد الطرق العددية باستخدام البرامج الجاهزة للمقارنة.

الاستنتاجات:

ان الورق المستعمل يمكن ان يعاد استخدامه في تصنيع مادة عازلة باقل التكاليف وبما يحقق فائدة اقتصادية كبيرة، وكذلك فإن هذا الامر يؤدي الى التخلص من النفايات الورقية بشكل صحي لا يؤثر على صحة البشر، لاسيما وأن المادة العازلة المصنعة تكون غير مضره صحياً. ان المادة العازلة المصنعة حققت نسبة عزل جيدة مقارنة بالعزل التقليدي باستخدام الصوف الزجاجي، حيث ان العزل الورقي بسمك (3 سم) حقق قابلية عزل مقارنة للعزل باستخدام الصوف الزجاجي بسمك (1 سم)، أي بنسبة عزل تساوي تقريباً ($\frac{1}{3}$) من عزل الصوف الزجاجي ولكن بكلفة اقل. ان استخدام الطرق العددية في التحليل الحراري العابر يحقق نتائج بنسب فرق مقبولة مقارنة بالطرق التحليلية الدقيقة وبالتالي يمكن الاعتماد على الطرق العددية في التحليل.



مخطط (1): العلاقة ما بين الانخفاض في درجات الحرارة والزمن للنتائج العملية.



مخطط (2): العلاقة ما بين الانخفاض في درجات الحرارة والزمن للنتائج النظرية.

المصادر:

1. J. B. Holman, "Heat Transfer", 10th edition, Mc Graw Hill, 2010.
2. R. W. Lewis, P. Nithiarasu, K. N. Seetharamu, "Fundamentals of the Finite Element Method for Heat and Fluid Flow", 1st edition, John Wiley & Sons, Ltd, 2004.
3. Sigita Vejelis, Ivanas Gnipas, Vladislovas Kersulis. "Performance of Loose-Fill Cellulose Insulation" *Journal of Material Science (Medziagotyra)*, Vol. 12, No. 4, pp. 338-340, 2006.
4. Ana Briga-Sa', David Nascimento, Nuno Teixeira, Jorge Pinto, Fernando Calderia. "Textile Waste as an Alternative Thermal Insulation Building Material Solution" *Journal of Construction and Building Materials, Elsevier*, Vol. 38, pp. 155-160, 2013.
5. Son T. Nguyen. Jingduo Feng, Shao Kai Ng, Janet P.W. Wong. "Advanced Thermal Insulation and Absorption Properties of Recycled Cellulose Aerogels" *Journal of Colloids and Surface A: Physicochem. Eng. Aspects, Elsevier*, Vol. 445, pp. 128-134, 2014.
6. S.H. Ibrahim, Sia, W.K., A. Baharum, M.N.M. Nawi and R. Affandi. "Thermal Performance of Oil Palm Fibre and paper Pulp as the Insulation materials" *UNIMAS e-Journal of Civil Engineering*, pp. 22-28, 2014.
7. Claudiu Aciu, Dana Adriana Ilutiu – Varvara, Nicoleta Cobirzan, Anca balog. "Recycling of paper Waste in the Composition of Plastering Mortars" *Journal of Procedia Technology, Elsevier*, Vol. 12, pp. 295-300, 2014.
8. Erdogan Madenci, Ibrahim Guven. "The Finite Element Method and Applications in Engineering Using ANSYS", 1st edition, Springer, 2006.