

Studying the thickness effect of brick lining, concrete wall and air gap on the thermal moments in the chimneys walls

Dr. Zokai Traifi⁽¹⁾

Yara Rostom⁽²⁾

(Received 20 / 12 / 2017. Accepted 22 / 2 / 2018)

□ ABSTRACT □

The concrete industrial chimneys are considered one of most important structures in regard to industrial as well as environmental fields to get rid of detrimental gases which are produced according to industrial operations. they are also considered a first instruments to send these undesired gases to higher atmosphere levels, that lead to mitigate their pollution. In this paper we have studied the effects of changing the thickness of brick lining and concrete wall in addition to the air gap effect on the thermal moments in chimneys wall and we recommended an optimal thickness for all of them that achieve best effectiveness in order to mitigate thermal effect in chimneys walls . we have used one of Baniyas refineries as primary model for this research. We concluded that air gap existence give a big effect on thermal moments reduction and increasing the gap thickness will not give any marked effect. But increasing the concrete wall thickness will play a negative role on the concrete wall thermal moments . Brick layer has a positive effect but in just a particular ranges that achieves optimal insulation and economic benefit.

Key words: Concrete industrial Chimneys, Design dimensions, Thermal moments, Sap2000 software program

⁽¹⁾ Professor in civil engineering, structural department. Tishreen University, Lattakia, Syria.

⁽²⁾ Master student in civil engineering, structural department, Tishreen University, Lattakia, Syria.

دراسة أثر سماكة البطانة القرميدية و الفراغ الهوائي و القشرية البيتونية على العزوم الناجمة عن التأثيرات الحرارية في جدران المداخل البيتونية الصناعية

- (1) الدكتور زكائي طريفي
(2) يارا رستم

(تاريخ الإيداع 20 / 12 / 2017. قَبْلَ للنشر في 22 / 2 / 2018)

□ ملخص □

تعد المداخل البيتونية الصناعية من المنشآت الهامة من الناحية الصناعية والبيئية للتخلص من الغازات الضارة الناجمة عن العمليات الصناعية حيث تعد الوسيلة الأولى لتصريف هذه الغازات الى طبقات الجو العليا مما يؤدي إلى تخفيف التلوث الناجم عن هذه الغازات. تم في هذا البحث دراسة أثر تغيير سماكة البطانة القرميدية و سماكة القشرية البيتونية بالإضافة إلى إيجاد أثر الفراغ الهوائي في المدخنة على العزوم الحرارية في جدران المدخنة و اقتراح السماكة الأمثل لكل منها التي تحقق الفعالية الأكبر في تخفيف الأثر الحراري في جدار المدخنة، حيث تم الاستفادة من مدخنة مصفاة بانبياس كنموذج افتراضي للدراسة. تم الاستنتاج أن وجود الفراغ الهوائي يعطي أثر كبير في انخفاض العزم الحراري في جدار المدخنة و أن زيادة سماكة هذا الفراغ لا تعطي أثر ملحوظ في حين أن لزيادة سماكة القشرية أثر سلبي على العزم الحراري في الجدران، أما البطانة القرميدية فلها أثر إيجابي ضمن حدود معينة تحقق العزل الأمثل و الوفرة الاقتصادي.

الكلمات المفتاحية: المداخل البيتونية الصناعية، الأبعاد التصميمية، العزوم الحرارية، برنامج SAP2000

(1) أستاذ ، كلية الهندسة المدنية، قسم الهندسة الانشائية، جامعة تشرين، اللاذقية، سورية.
(2) طالبة ماجستير ، كلية الهندسة المدنية، قسم الهندسة الانشائية، جامعة تشرين، اللاذقية، سورية.

مقدمة:

الوصف العام للمداخن هي أنها منشآت شاقوليه بسيطة، لكن في الواقع هي منشآت معقدة في سلوكها و متطلبات تصميمها نظرا للعوامل و الأحمال المتعددة التي تتعرض لها.

إن المداخن المشادة قديما كانت عبارة عن مداخن من القرميد بارتفاعات منخفضة (لا تتجاوز 50m)، و لكن مع ازدياد القلق من تلوث الهواء أصبحت المداخن العالية مطلوبة بشدة وذلك بهدف تشتيت الغازات فوق مناطق أوسع لتصبح المداخن ذات الارتفاع (80-200m) وحتى 300m مستخدمة بشكل واسع.

لحماية البيتون من الحرارة العالية و الأثر الضار للغازات المنبعثة يتم عادة تبطين المداخن بطبقة من القرميد مع لحظ فراغ هوائي بين القشرية البيتونية و البطانة القرميدية في بعض المداخن و ذلك لزيادة فعالية العزل.

تتراوح سماكة القشرية البيتونية بين (120-300mm) و المقطع العرضي للمدخنة يمكن أن يكون بعدة أشكال ولكن عادة تكون بمقطع عرضي دائري.

تتراوح سماكة البطانة القرميدية (100-150mm) تتوضع داخل المدخنة مع فراغ هوائي يتراوح بين (80-150mm) وذلك لتقليل الميل الحراري من الوجه الداخلي للبطانة القرميدية إلى الوجه الخارجي للقشرية البيتونية.

تصنف المداخن الى عدة أنواع :

• مداخن غير مبطنة.

• مداخن مبطنة مع وجود فراغ هوائي بين البطانة و جدار المدخنة.

• مداخن مبطنة دون وجود فراغ هوائي بين البطانة و جدار المدخنة.

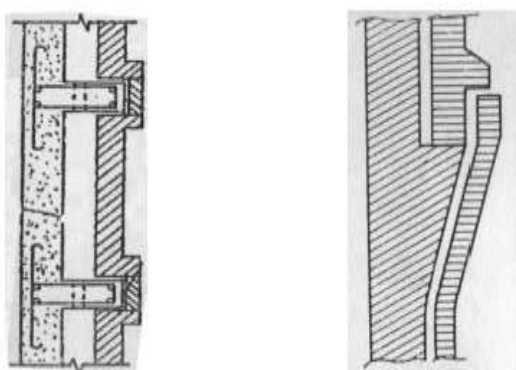
• مداخن مبطنة مع وجود مادة عزل بين البطانة و جدار المدخنة.

كما يمكن أن تصنف المداخن تبعا لمادة الإنشاء إلى مداخن بيتونية و مداخن معدنية بالإضافة إلى المداخن

القرميدية، أو تقسم بحسب شكلها إلى اسطوانية و مخروطية و مركبة.

يظهر الشكل التالي مقطع طولي في مداخن بيتونية مبطنة بقرميد آجري مع لحظ فراغ هوائي بين البطانة و

القشرية البيتونية و ذلك لتخفيف درجة الحرارة المنقولة إلى الوجه الداخلي للقشرية البيتونية.



الشكل (1): مقطع طولي لأشكال تبطين المداخن [1]

أهمية البحث و أهدافه :

خلال العقود الماضية أصبح استخدام المداخن البيتونية المسلحة بدلا من المداخن القرميدية أو تلك المعدنية

شائعا بشكل كبير نظرا للكلف المنخفضة و الديمومة الجيدة لها، حيث أن المواد المختلطة من البيتون و الفولاذ مناسبة

للمداخن بشكل كبير. فالمداخن القرميدية تتطلب أساسات كبيرة نظرا لوزنها الذاتي الكبير مما يعني كلف كبيرة كذلك فإن كلف صيانة المداخن البيتونية صغيرة إذا ما قورنت مع المداخن المعدنية.

و حيث أن المداخن الصناعية هي المنشأة الأهم في منظومة التخلص من التلوث بفعل الغازات الناجمة عن العمليات الصناعية فإن هذه الدراسة تساعد في فهم سلوك البيتون و استجابته للأثر الحراري الناجم عن التعرض لدرجات مرتفعة من الحرارة و بالتالي الوصول لتصميم آمن لهذه المنشآت الخاصة والذي يعد هدفا هاما من كافة النواحي الهندسية و البيئية لذا تعد دراسة العوامل المذكورة من أهم الجوانب الواجب دراستها ومعرفة مدى تأثيرها على الإجهادات الحرارية في جدران المدخنة.

تم إجراء العديد من الدراسات التي تعنى بكيفية انتقال الحرارة عبر جدار يتعرض لفروق حرارية كبيرة بين الوجه الداخلي المعرض لدرجات حرارة كبيرة و الوجه الخارجي المعرض لدرجة حرارة الجو.

درس Gurfinkel [2] تزايد العزوم الحاصلة في جدار حاوية نووية بيتونية مسلحة. و قدم Kar [3] طريقة لتحليل العناصر البيتونية المسلحة ذات المقامات المتساوية و تتعرض لدرجات حرارة مختلفة من وجه إلى آخر، باعتبار العناصر تتعرض لنوعين من الأحمال المختلفة، عزوم فقط أو تراكب عزوم مع قوى محورية.

و كذلك صنف Mentis [4] طرق التحليل الحراري إلى ثلاث مجموعات:

- قساوة انحناء منخفضة
- قساوة انحناء متوسطة
- قساوة انحناء متغيرة

هذا و قد أكد على ضرورة أخذ الشقوق بعين الاعتبار من أجل إيجاد و تقييم العزوم الحرارية درس Freskakis [5] سلوك مقاطع البيتون المسلح المعرض لثلاث أنواع من الميول الحرارية و قدم النتائج في منحنى عزم - قوة محورية.

اقترح Vecchio [6] تحليل مقطعي اقترب من توقع استجابة العنصر البيتوني المسلح المعرض لتراكب أحمال ميكانيكية و حرارية مستخدما التكرار و مفهوم المقطع المتطبق.

قدم Lee [7] تحليل لاختي للإجهادات الحرارية لمخزن نفايات بيتونية باستخدام برنامج العناصر المنتهية ABAQUS و قارن النتائج مع تلك المحسوبة باستخدام تحليل مقطعي خطي و لاختي.

قام Khali J. Al-Horan [8] في جامعة الأنبار - العراق عام 2007 بدراسة توزع الإجهادات الحرارية في جدار مدخنة لمحطة توليد طاقة وذلك لنوعي المداخن المبطنة و غير المبطنة بهدف تحليل الإجهادات الحرارية لتخمين هذه الإجهادات (القطرية ، الحلقية ، الطولية) و توزع هذه الإجهادات في جدار المدخنة من خلال بناء برنامج بلغة فورتران.

طرائق البحث و مواد:

تمت الدراسة على مدخنة بيتونية مكافئة لأخرى منفذة في الواقع العملي في مصفاة بانباس و لها الشكل المخروطي وفق المعطيات التالية :

- ارتفاع المدخنة 110m
- قطر المدخنة عند القاعدة 8m و سماكة الجدار 35cm

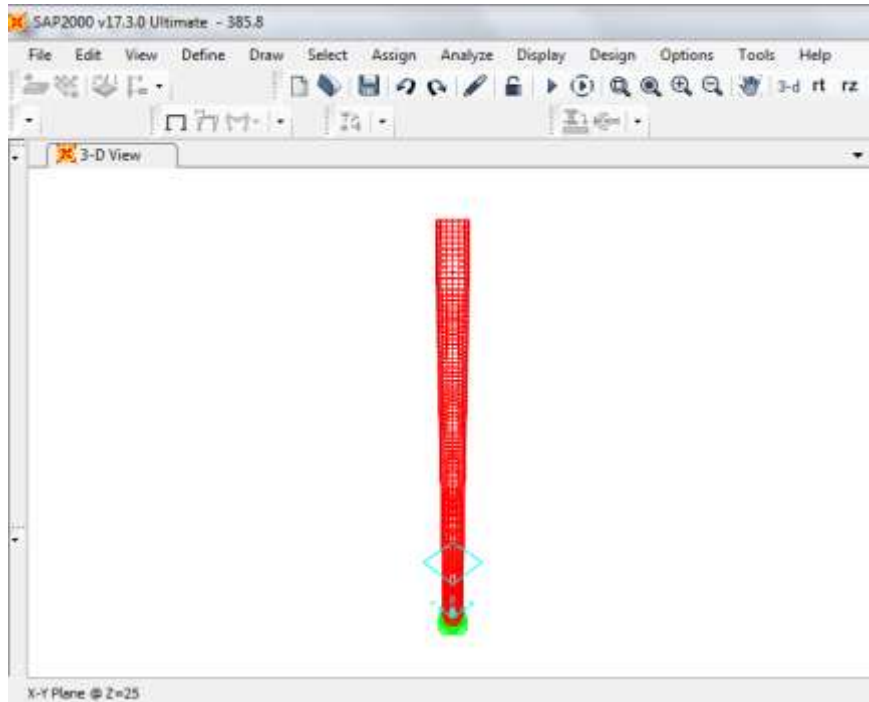
- قطر المدخنة الخارجي عند القمة 4m و سماكة الجدار 12.5cm
 - المقاومة المميزة للبيتون $f_c=35\text{N/mm}^2$ والوزن الحجمي للبيتون 25KN/m^3
 - المدخنة مبطنه بطبقة من الأجر القرميدي مع لحظ فراغ هوائي بين جدار المدخنة البيتونية و طبقة الأجر القرميدي و ذلك لزيادة فعالية العزل الحراري بمقدار 10cm
 - سماكة الأجر القرميدي 102mm
 - الوزن الحجمي للأجر القرميدي 18KN/m^3
- اعتمد للدراسة مدخنة مكافئة للمدخنة السابقة وفق المعطيات الظاهرة في الجدول (1)، وذلك باتخاذ أبعاد وسطية معدلة عن أبعاد المدخنة الواقعية المخروطية، و قد تمت الدراسة على مدخنة أسطوانية نظراً لكون الشكل الأسطواني يعطي نتائج أدق عند استخدام علاقات الكود الأمريكي التي تم اعتمادها عند حساب الميل الحراري عبر جدار المدخنة.
- اعتمدنا في الدراسة على برنامج SAP2000 حيث تم وضع نمذجة حاسوبية للمدخنة الأسطوانية و أخضعت لفروقات حرارية مختلفة تغيرت نتيجة تغير السماكات المدروسة.
- تمت الدراسة عند ثلاث درجات محتملة للغاز هي 1000، 600، 300 درجة مئوية في حين أن درجة حرارة الجو المحيط 18 درجة مئوية.



الشكل (2): صورة واقعية للمدخنة المدروسة

جدول(1): المعطيات الهندسية للمدخنة المخروطية والأسطوانية المدروسة

المدخنة الأسطوانية المكافئة	المدخنة الواقعية	
ارتفاع المدخنة: 110m قطر المدخنة: $d = 4 + \frac{8 - 4}{2} = 6m$ سماكة جدار المدخنة: $mt = 125 + \frac{350 - 125}{2} = 237.5m$	ارتفاع المدخنة: 110m قطر المدخنة: عند القاعدة 8m عند القمة: 4m سماكة جدار المدخنة: عند القاعدة: 350mm عند القمة: 125mm	الأبعاد الهندسية
صنف البيتون C35 أي أن المقاومة المميزة للبيتون: $f_c = 35 \text{ N/mm}^2$ المدخنة مبطنة بطبقة من الأجر القرميدي يبعد عن جدار المدخنة بمقدار 100mm سماكة الأجر القرميدي 102mm الوزن الحجمي للأجر القرميدي 18 KN/m^3		مواد الإنشاء



الشكل(3): نموذج المدخنة المدروسة في برنامج SAP2000

انطلاقاً من أن قياس الفرق الحراري على وجهي القشرية البيتونية ضمن الطرق البرمجية هو أمر معقد نظراً لكونها تقريبية من جهة و لتعدد المتغيرات الداخلة في العلاقة من جهة أخرى إضافة إلى تأثير العوامل الميكانيكية مثل تدفق الغاز وحركة الهواء داخل الفراغ الهوائي و طرق الانتشار الحراري مثل (الانتشار بالإشعاع ، الحمل الحراري ..) لذا من الأفضل الاعتماد على نتائج تجريبية موثقة من مراكز بحثية عالمية لذا ففي هذا المقال تم اعتماد علاقات الكود الأمريكي الخاص بالمداخن [9] ACI-307-08 كأساس لدراستنا الحالية.

من أجل المداخل المبطنة ومع وجود فراغ هوائي:

$$T_x = \frac{td_{bi}}{C_c d_c} \left(\frac{T_i - T_o}{\frac{1}{r_q K_i} + \frac{t_b d_{bi}}{r_q C_b d_b} + \frac{d_{bi}}{K_s d_s} + \frac{td_{bi}}{C_c d_c} + \frac{d_{bi}}{K_o d_{co}}} \right) \quad (1)$$

أما من أجل مداخل مبطنة دون وجود فراغ هوائي تستخدم العلاقة التالية:

$$T_x = \frac{td_{bi}}{C_c d_c} \left(\frac{T_i - T_o}{\frac{1}{K_i} + \frac{t_b d_{bi}}{C_b d_b} + \frac{d_{bi}}{K_r d_b} + \frac{td_{bi}}{C_c d_c} + \frac{d_{bi}}{K_o d_{co}}} \right) \quad (2)$$

حيث أن :

r_q : نسبة انتقال الحرارة عبر جدار المدخنة إلى انتقال الحرارة عبر البطانة و ذلك للمداخل الحاوية على فراغ هوائي

t : سماكة جدار المدخنة (m)

t_b : سماكة البطانة غير المعزولة أو العزل حول فولاذ البطانة (m)

t_s : سماكة الفراغ الهوائي أو العزل المائي للفراغ بين البطانة و الجدار (m)

T_i : درجة الحرارة التصميمية العظمى للغاز داخل المدخنة (C)

T_o : درجة الحرارة الدنيا للهواء الخارجي المحيط بالمدخنة (C)

C_b : عامل الناقلية الحرارية للمدخنة المبطنة غير المعزولة أو العزل حول فولاذ البطانة Btu/ft²/in

C_c : عامل الناقلية الحراري لجدار المدخنة

C_s : عامل الناقلية الحرارية للمادة العازلة.

K_i : عامل الانتقال الحراري من الغاز إلى الوجه الداخلي لبطانة المدخنة عندما تكون مبطنة أو إلى الوجه

الداخلي لجدار المدخنة في حال عدم التبتين

K_o : عامل انتقال الحرارة من الوجه الخارجي لقشرية المدخنة إلى الهواء

K_r : عامل انتقال الحرارة بالإشعاع بين الوجه الخارجي للبطانة و الوجه الداخلي لقشرية المدخنة.

d_{bi} : القطر الداخلي للبطانة.

d_b : القطر الوسطي للبطانة غير المعزولة.

d_s : القطر الوسطي للفراغ بين البطانة و القشرية.

d_c : القطر الوسطي لقشرية المدخنة.

d_{ci} : القطر الداخلي لجدار المدخنة.

d_{co} : القطر الخارجي لقشرية المدخنة.

في حال لم تكن دراسات التوازن الحراري كاملة من أجل مداخل محددة فإنه من الممكن استخدام القيم التقريبية

التالية الذكر.

$$rq = 0.5$$

$$Cc = 12 \text{ (or } 1.73 \text{ watt/(meter Kelvin))}$$

Cs = تفرض تبعا لمادة الإنشاء المستخدمة

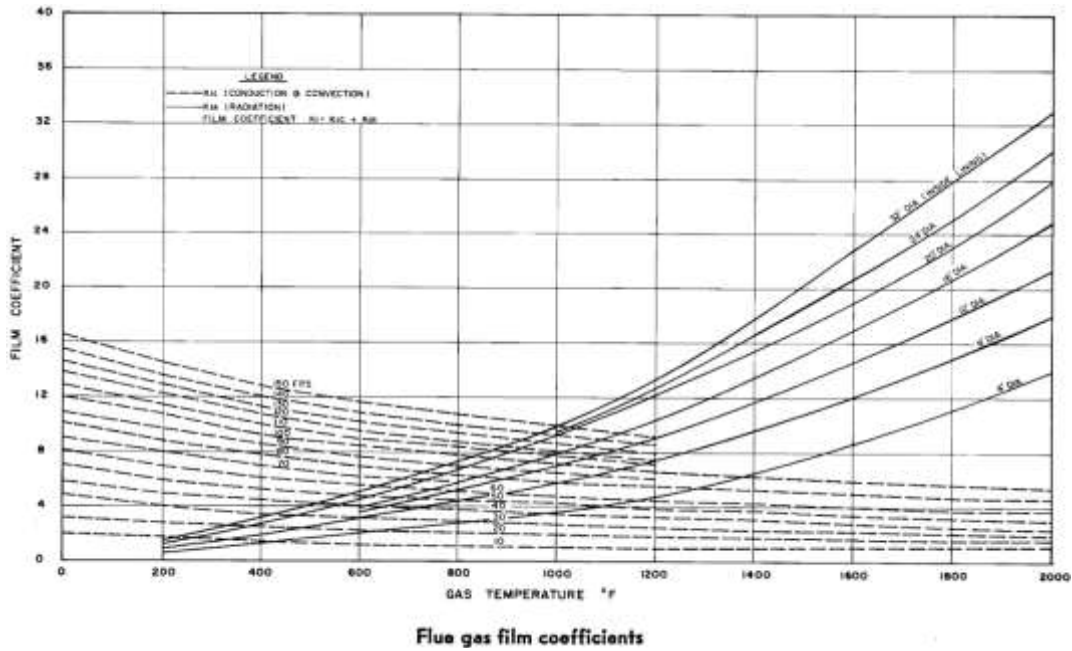
Cb = تفرض تبعا لمادة الإنشاء المستخدمة

Ki = (4) نحصل عليها من الشكل

$$Ko = 12 \text{ Btu/(ft}^2 \cdot \text{hr.F) [68 watts/(m}^2 \cdot \text{Kelvin)]}$$

$$Kr = Ti / 120 \text{ (or } Ti / 9.75 \text{ in metric)}$$

$$Ks = Ti / 150 \text{ (or } Ti / 9.75 \text{ in metric)}$$

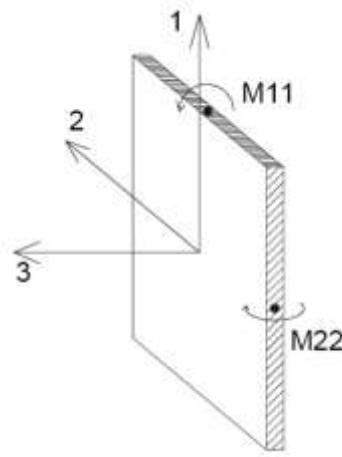


الشكل(4): مخطط ايجاد المعامل Ki [9]

عند إدخال هذه الثوابت في المعادلة لحساب قيمة الفرق الحراري عبر جدار المدخنة T_x سوف نحصل على قيم دقيقة مع البقاء ضمن فرضيات التصميم الأساسية.

اعتمدنا في منهجية البحث على تثبيت جميع عوامل المعادلة وفق قيم المدخنة المكافئة ما عدا البعد التصميمي المراد حساب مدى تأثيره على العلاقة ومن ثم تم التحليل وفق برنامج SAP2000.V17 (شكل 3) بغرض حساب العزم الحراري الموافق.

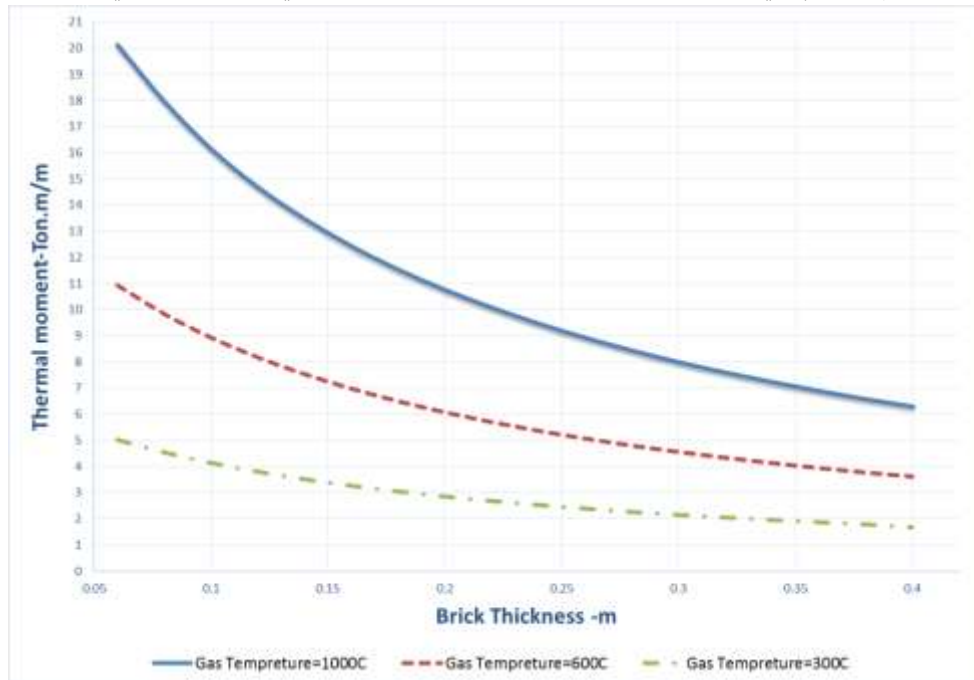
وهنا تجدر الإشارة أنه تم اعتبار حرارة ثابتة للعوامل الغازية على طول المدخنة حيث لوحظ ثبات للعزم الحلقي والطولي M11 و M22 (شكل 5) (المتساويين بالقيم أصلاً) على الجزء الأعظمي من طول المدخنة المعيارية بينما لوحظ تغير مهم على هذا العزم في الجزء القريب من فوهة المدخنة. وبناء عليه تم اعتماد العزم الغالب على ارتفاع المدخنة على أنه العزم التصميمي المراد حسابه.



الشكل (5): توزيع العزمين M_{11} , M_{22} على جدار المدخنة

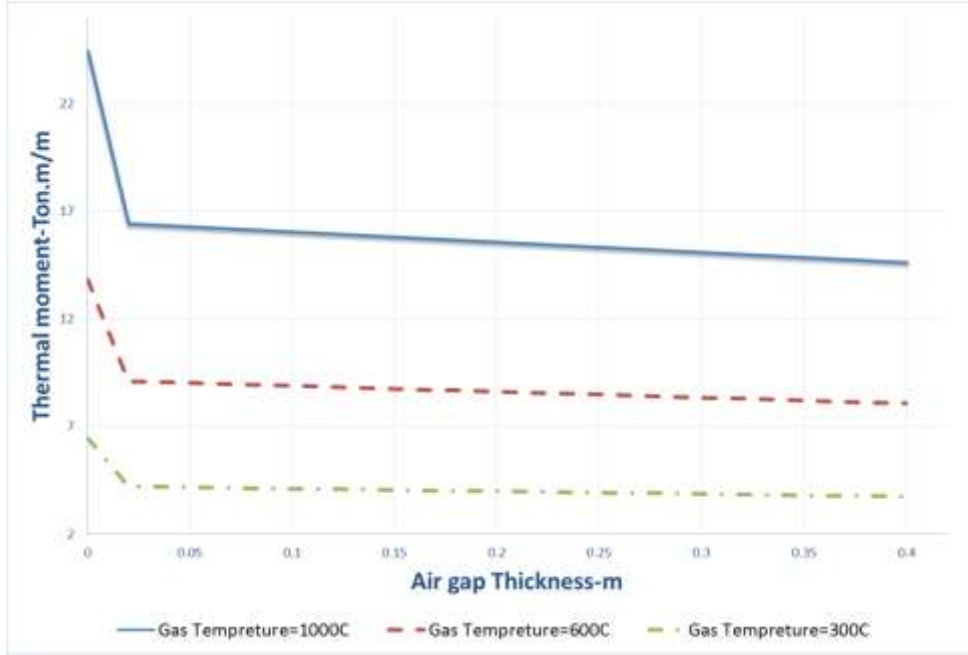
النتائج و المناقشة:

تم رسم منحنى (سماكة البطانة-عزم) ضمن المجال (6-40)cm، لنحصل على منحنيات تربط بين سماكة البطانة القرميدية و العزم الحراري في جدار المدخنة عند ثلاث درجات حرارة للغاز في المدخنة كما يلي:



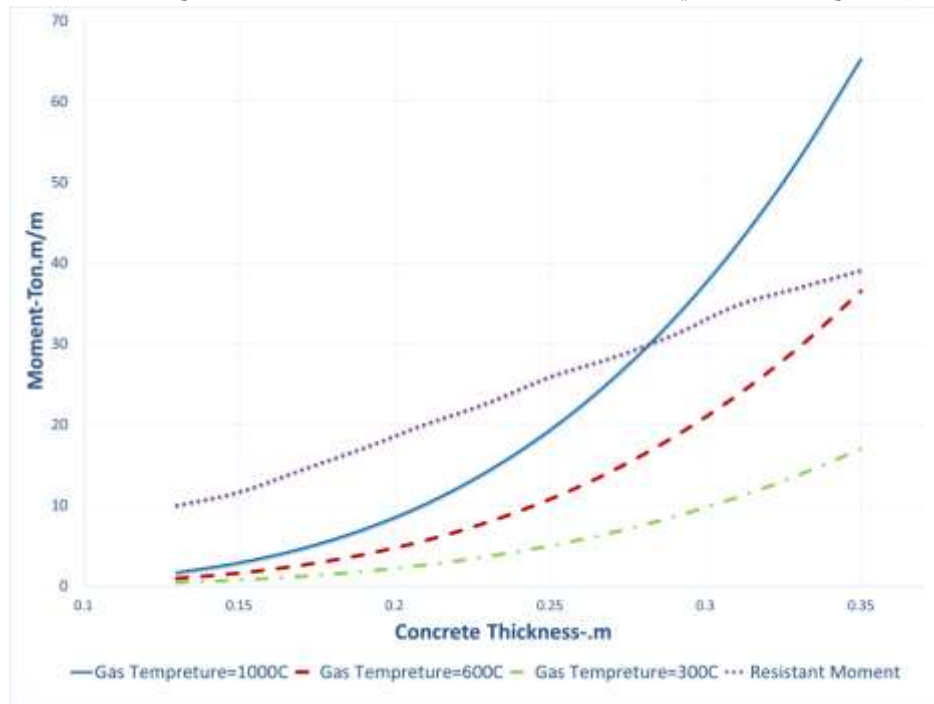
الشكل (6): علاقة العزم الحراري الأعظمي مع سماكة البطانة القرميدية

منحنى (سماكة الفراغ الهوائي- عزم) رسم بتغيير سماكة الفراغ الهوائي ضمن المجال (0-40)cm



الشكل (7): علاقة العزم الحراري الأعظمي مع الفراغ الهوائي

منحني (سماكة القشرية - عزم) ضمن المجال (13-35)cm. من الجدير ذكره أنه في حالة زيادة سماكة القشرية لا يمكننا إغفال فكرة ازدياد العزم المقاوم للمقطع كونه أمر يلعب دور أساسي في التصميم و لذلك تم رسم منحني (سماكة قشريه- العزم المقاوم) لشريحة مترية من القشرية بافتراض وجود تسليح ثنائي (14Φ25) و دمج منحني العزم المقاوم للمقطع ضمن المنحني الأخير لغرض دراسة مدى التفاوت الحاصل كتابع للسماكة.



الشكل (8): علاقة العزم الحراري والعزم المقاوم مع سماكة القشرية البيتونية

من الشكل (6) نلاحظ ما يلي :

- في المجال الأول (6-26cm) يرتبط العزم مع سماكة البطانة القرميدية بعلاقة لا خطية تكون ذات فعالية واضحة خصوصاً في المجال (6-10cm).
- المخطط يشير إلى علاقة خطية تقريباً بين قيمة العزم وسماكة القرميد ضمن مجال السماكة (26-40cm) .
- يمكن استنتاج أن الفعالية المتوسطة هي في المجال (10-26cm) لسماكة البطانة والتي يمكن اعتبارها سماكة مثالية.

• نلاحظ أن فعالية العزل الحراري للقرميد تزداد بارتفاع الحرارة الداخلية للغاز خاصة في حالة السماكات الصغيرة للبطانة القرميدية.

- من الشكل (7) نلاحظ ما يلي :

- يظهر بشكل واضح الانكسار الحاد بقيمة العزم الحراري عند وجود الحد الأدنى من الفراغ الهوائي بين البطانة و القشرية البيتونية حيث ينخفض العزم بمقدار 33% وهذا الانخفاض الحاد مبرر منطقياً نظراً إلى أن الفراغ الهوائي يسمح بمرور تيار هوائي يزيد من الفقد الحراري في البطانة و بالتالي عازليه أكبر للقشرية البيتونية.
- من ثم نلاحظ تناقص ضئيل جداً للعزم الحراري مع زيادة الفراغ الهوائي.
- نلاحظ أن الحد الأدنى من الفراغ الهوائي يملك فعالية عزل أكبر كلما ازدادت الحرارة الداخلية للغاز بينما لا تتغير هذه الفعالية مع تغير حرارة الغاز الداخلية عند زيادة سماكة هذا الفراغ .

- من الشكل (8) نلاحظ ما يلي :

- علاقة زيادة سماكة القشرية البيتونية مع زيادة العزم الحراري علاقة خطية بميل خفيف حتى سماكة 15cm تقريباً
- تأخذ شكل لا خطي بميل كبير في السماكات اكبر من 15cm.
- علاقة العزم المقاوم للمقطع البيتوني يتناسب تقريباً بشكل خطي مع سماكة القشرية البيتونية ولا يتبع هذا الانحراف للأعلى كلما زادت السماكة كما في حالة العزم الحراري السابق لذا يمكننا أن نستنتج أن زيادة سماكة القشرية ذات أثر سلبي على التصميم في العزوم الحرارية لذا نقترح قدر الإمكان المحافظة على سماكة منخفضة للقشرية البيتونية.
- تزداد فعالية زيادة سماكة القشرية على خفض العزم الحراري مع ارتفاع حرارة الغاز الداخلية.

الاستنتاجات والتوصيات :

بينت لنا نتائج الحساب والتحليل أهمية وجود فراغ هوائي بين القشرية البيتونية و البطانة القرميدية ذلك من خلال الانخفاض الكبير للعزم الحراري عند وجود الحد الأدنى من هذا الفراغ. كما تبين أن الفعالية المثالية والأكثر اقتصادية للقرميد يُقترح أن تؤخذ ما بين 10 إلى 16 سم كقيمة معقولة و خارج هذا المجال قد يصبح القرميد غير اقتصادي، أما زيادة سماكة مقطع المدخنة فهي ذات أثر سلبي على التصميم بحيث أنه من الفعال تقليل سماكة القشرية إلى الحد الأدنى الممكن عندما تسمح الشروط الإنشائية الأخرى بذلك.

المراجع:

- [1] طريفي، زكائي. مقارنة السلوك الزلزالي للمداخن البيتونية المسلحة الصناعية الأسطوانية و المخروطية. مجلة جامعة تشرين للبحوث والدراسات العلمية، المجلد (36) - العدد (3)، 2014، 113-117.
- [2] GURFINKEL, G. *Thermal effects in walls of nuclear containments – elastic and inelastic behavior*. 1st conference on structure mechanics in reactor technology, Germany, 1971, 277-285.
- [3] KAR, A. *Thermal effects in reinforced concrete structures*. 4th conference on structure mechanics in reactor technology, U.S.A, 1977.
- [4] MENTES, G. *Thermal effects in reinforced concrete structures*. ASCE conference on civil engineering and nuclear power, Tennessee, vol. 1, 1980, 3-5.
- [5] FRESKAKIS, G. *Behavior of reinforced concrete at elevated temperature*. ASCE conference on civil engineering and nuclear power, Tennessee, vol. 1, 1980, 3-4.
- [6] VECCHIO, F. *Nonlinear analysis of reinforced concrete frames subjected to thermal and mechanical loads*. ACI Structural journal J,U.S.A, 1987, 492-501.
- [7] LEE, H. *Thermal stress analyses of a waste storage container*. Computers & Structures Journal, Volume 61, Issue 2, 1995, 197-224.
- [8] KHALID J. *Thermal Stresses Distribution Induced in a Chimney Shell*. Anbar Journal for Engineering Sciences, Iraq, 2007, 1-7.
- [9] ACI 307-08, “*Design and Construction of Reinforced Concrete Chimneys*. American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, USA, 2008, 34.