

مقارنة السلوك الزلزالي للمداخن البيتونية المسلحة الصناعية الأسطوانية والمخروطية

الدكتور زكائي طريفي*

تاريخ الإيداع 27 / 4 / 2014. قُبل للنشر في 19 / 6 / 2014

□ ملخص □

تُعدُّ المداخن البيتونية المسلحة من المنشآت الصناعية المهمة، وتأخذ أشكالاً هندسية مختلفة في المقطع الطولي. تم في البحث مقارنة السلوك الزلزالي بين المداخن الأسطوانية والمخروطية، حيث تم اعتماد مدخنتين متطابقتين في الارتفاع، ومتكافئتين في القطر وسماكة الجدار. تمت النمذجة بالاعتماد على برنامج SAP 2000 . طبقت الحمولة الزلزالية بشكل استاتيكي مكافئ، وبطريقة طيف الاستجابة، ومن ثم بطريقة السجل الزمني؛ حيث تم حساب قوى القص والعزوم على ارتفاع المداخن . تم الاستنتاج بأن قوى المقطع المتشكلة نتيجة الزلازل أكبر في حالة المدخنة المخروطية منها في حالة المدخنة الاسطوانية المكافئة لها، حيث زادت قيم قوى القص والعزوم بحوالي 33% عند اعتماد طريقة طيف الاستجابة . وتم الاستنتاج في ختام البحث بأنه للتخفيف من القوى الناجمة عن الزلازل ينصح باعتماد المداخن البيتونية الاسطوانية في المقطع الطولي .

الكلمات المفتاحية: المداخن الصناعية، المداخن البيتونية المسلحة، أثر الزلازل، أطيف الاستجابة، الطرق الستاتيكية المكافئة ، برنامج SAP 2000 .

* أستاذ مساعد - قسم الهندسة الإنشائية - كلية الهندسة المدنية - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية

Comparison of Seismic behavior of Industrial Reinforced Concrete cylindrical and conical Chimneys

Dr. Zakai Tarifi*

(Received 27 / 4 / 2014. Accepted 19 / 6 / 2014)

□ ABSTRACT □

It is considered that reinforced concrete chimneys are very important industrial Structures. Concrete Chimneys take different geometric shapes in Longitudinal section. In these Paper we compared the seismic behavior between cylindrical and conical chimneys. Where was adopted cylinder chimney other conical identical to rise, and equivalent in diameter and wall thickness. Modeling has bin done for two chimneys according to Program SAP 2000 . Seismic load applied as equivalent static, response spectrum method, and as time history, were was calculated shear forces and moments over the high of both chimneys.

It was conclusion that the cross section resulted by effect of earthquakes in the case of conical chimney is greater than case of equivalent cylindrical chimney. Where increased the values of shear forces and moments about 33% by using the response spectrum method.

It was concluded at the end of the research as to mitigate the forces caused by earthquakes advised the adoption of concrete cylindrical chimneys in longitudinal section.

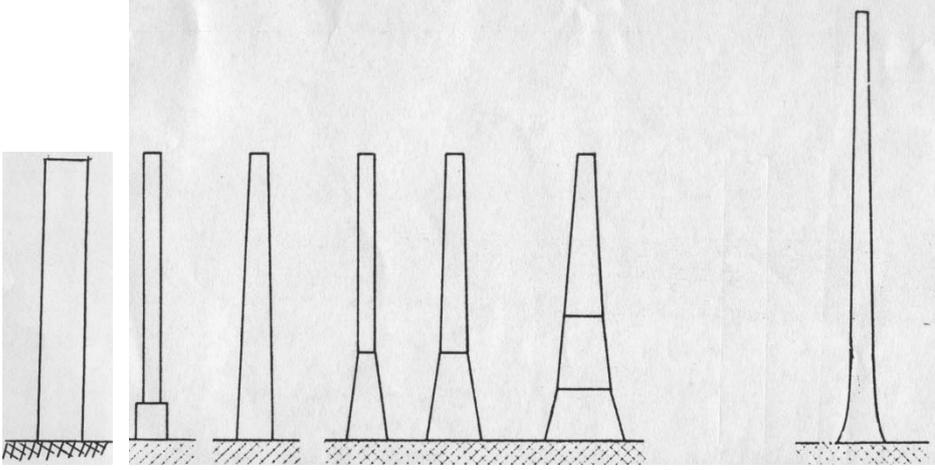
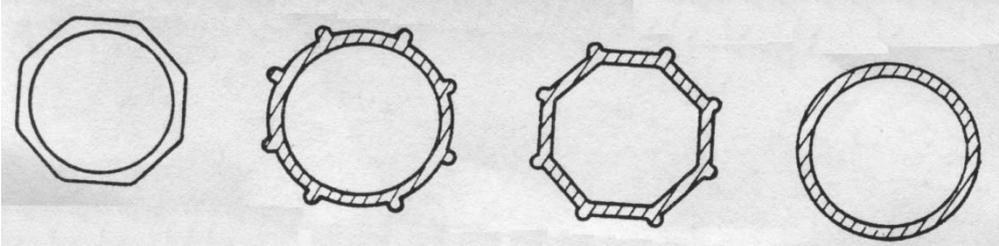
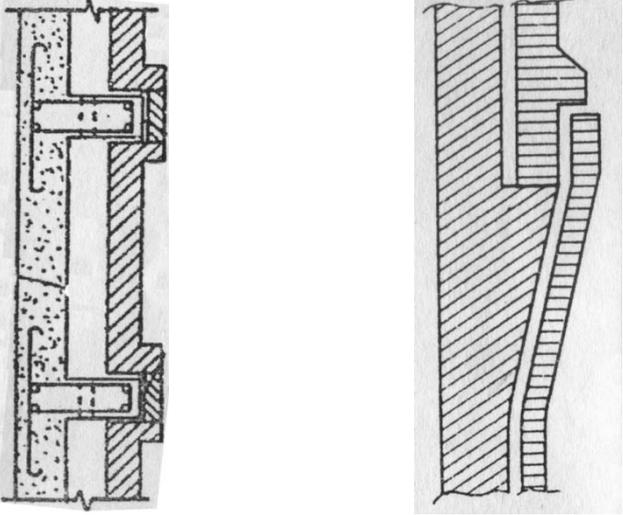
Keywords: Industrial chimneys, Reinforced concrete chimneys, earthquake performance, response spectrum, equivalent Static method, SAP 2000 Software .

*Associate Professor at the Department of Structural Engineering, Faculty of Civil Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.

مقدمة:

تتطلب العمليات الصناعية طرح الغازات والعوادم إلى الجو. و المداخل البيتونية المسلحة الصناعية مفيدة لطرح الغازات الملوثة الناجمة عن عمليات الاحتراق الصناعية إلى طبقات الجو العليا وللتخفيف من التلوث الهوائي. وتختلف أشكال المداخل في المقطع الشاقولي (انظر الشكل (1)). ويمكن التمييز بين الأنواع الآتية:

- المداخل الأسطوانية
- المداخل ذات جذع المخروط، بميل طولي حوالي % 2.5 - 2
- مداخل ذات جذع مخروط من الأسفل وبميل طولي حوالي % 10 - 15 ، ومن ثم بشكل اسطوانة
- مداخل ذات ميل طولي منتظم من القمة إلى القاعدة يرتبط شكل المدخنة بالمقطع الشاقولي ارتباطاً وثيقاً بطريقة التنفيذ، حيث يميز بين عدة طرق وهي:
- المداخل المصبوبة في المكان
- المداخل المشكلة من عناصر مسبقة الصنع بطبقات متتالية، يرتبط بعضها ببعض بفولاذ ربط وملاط إسمنتي
- المداخل المصبوبة المكان بواسطة القالب المنزلق، وهي الطريقة الأكثر انتشاراً في الحياة العملية.
- إن شكل المقطع العرضي للمداخل متنوعاً (انظر الشكل (1))، ويمكن أن يأخذ أحد الأشكال الآتية:
- دائري أملس
- متعدد الأضلاع أملس
- دائري ذو نتوءات بارزة من الخارج
- متعدد الأضلاع مع نتوءات بارزة من الخارج
- يتعلق ارتفاع المدخنة وقطرها بكمية الغازات المطروحة وبالمعطيات الحرارية والتجهيزات الصناعية للمعمل. وتتعلق سماكة جدار المدخنة بارتفاعها ، وكذلك بتأمين الحماية والتغليف لقضبان تسليح جدار المدخنة، ومن المفضل في المداخل المرتفعة اعتماد سماكة متدرجة تبعا للارتفاع .
- يلجأ عادة لتبطين جدران المدخنة الداخلية بالقرميد الحراري وهو يفيد في الآتي:
- حماية جدار المدخنة البيتوني من حرارة غازات العوادم المرتفعة
- حماية جدار المدخنة البيتوني من التأثيرات الكيميائية لغازات العوادم والذي قد يحوي مركبات حامضية وكبريتية.
- يترك عادة فراغ هوائي بحدود 80 - 150 mm بين جدار المدخنة البيتوني وطبقة العزل القرميدي وذلك لزيادة فعالية العزل الحراري .
- يمكن أن تنفذ طبقة القرميد العازل وفق الموضح في الشكل (1) .

أشكال توضيحية		
	<p>أشكال المداخن في المقطع الشاقولي</p>	
	<p>أشكال المقاطع العرضية للمداخن</p>	
	<p>أشكال تبطين المداخن بالقرميد الحراري</p>	
<p>الشكل (1) : أشكال المداخن البيتونية المسلحة الصناعية في المقطع الشاقولي، وفي المقطع الأفقي ، مع توضيح أشكال التبطين بالقرميد الحراري .</p>		

أهمية البحث وأهدافه:

تخضع المداخل البيتونية الصناعية لأنواع مختلفة من الأحمال ومنها الزلازل، وأوضح مثال على ذلك ما حدث في زلزال تشيلي في شباط عام 2010، حيث كانت الشدة الزلزالية 8.8، ويعد هذا الزلزال من أكبر خمسة زلازل مسجلة خلال 100 سنة [1] . صادف أن تأثرت أربع مداخل بيتونية صناعية بهذا الزلزال وهي مدخنة campiche ومدخنة ventanas بارتفاع لكل منها 95 m، حيث خضعت كل منهما لحمولة زلزالية PGV تعادل 100mm/sec ومدخنة Bocamina بارتفاع 100 m، ومدخنة colbun بارتفاع 130 m، حيث خضعت المدخنتان لسرعة زلزالية PGV تعادل 200-250mm/sec، وذلك بسبب قربها من بؤرة الزلزال. جميع هذه المداخل مبطنة من الداخل بطبقة من القرميد بهدف العزل الحراري، ومدروسة وفق الكود الخاص بالمدخل البيتونية المسلحة الصناعية CICIND [7]، أي أنها تحقق المطاوعة اللازمة للمداخل البيتونية العالية. أبدت المداخل الأربع سلوكا جيدا ومقاوما للزلزال، ولوحظ حدوث شقوق حلقيه نتيجة الزلزال بعرض حوالي 0.2 mm في مدخنة Bocamina [1] .

ناقش Reddy وآخرون في [2] تحليل المداخل البيتونية تحت تأثير الزلازل اعتمادا على الكود IS1893 (2005)، وتحت تأثير الرياح على الكود IS 4998 (1992)، وتمت المقارنة بين تأثير الزلازل وتأثير الرياح على المداخل البيتونية. بحث كذلك Shaikh و Khan في [3] التأثير الديناميكي للرياح والزلازل على المداخل البيتونية الصناعية العالية، حيث تمت الدراسة على مدخنة مخروطية بارتفاع 220 m، وبقطر خارجي عند القاعدة 18.36 m وسماكة جدار 0.5 m، وقطر خارجي عند القمة مقداره 6.08 m وسماكة جدار 0.27 m وأجرى مقارنة بين تأثير الحملتين على المداخل .

وقد طور SUBRAMANI و SHANMUGAM في [4] طريقة تقريبية مبسطة لحساب دور الاهتزاز وقوى المقطع في المداخل الصناعية، أجرى الباحثان تطبيقا على تسع مداخل (أربع مداخل فولاذية وخمس مداخل من البيتون المسلح) حيث استنتج بأن اعتبار الكتل مستمرة على ارتفاع المدخنة هو أفضل من تركيز الكتل في مستويات محددة، كما وضع نسبيا للأبعاد الهندسية للمداخل مثل نسبة النخافة أي نسبة ارتفاع المدخنة إلى قطرها، وغيرها. اعتمد الباحثان على برنامج STAAD Pro. لنمذجة مدخنة من البيتون المسلح .

وأجرى الباحث Wilson في [5] برنامجا تجريبيا على المداخل البيتونية الصناعية العالية واستفاد منه في التقييم والتحليل الديناميكي اللاخطي، حيث طبق الدراسة على عشر مداخل بيتونية صناعية بارتفاعات تتراوح بين 301 - 115 m واستطاع الباحث تقدير مطاوعة المداخل البيتونية المسلحة وذلك بهدف تجنب التشوهات والانهيال المفاجئ . استفاد من نتائج هذا البحث بوضع قواعد تصميمية للمداخل البيتونية المسلحة وذلك بهدف زيادة مطاوعتها وتحسين سلوكها الزلزالي .

درس الباحثان Spyrakos, Nikolettos في [6] موضوع ثبات وانقلاب المنشآت الهندسية النحيفة مثل المداخل والأبراج، حيث اعتمدت الدراسات السابقة على مبدأ الجسم الصلب للمنشأة، تميز البحث باعتماد مبدأ مرونة المنشأة، حيث اعتبر في الموديل المدروس تشوه المنشأة، والخصائص الهندسية، إضافة للطيف الزلزالي .

إننا نظرا لوجود أشكال مختلفة للمداخل البيتونية الصناعية في المقطع الطولي، لم نلاحظ من خلال المراجع المتعلقة بهذا الموضوع أي دراسة لتأثير الشكل الهندسي للمدخنة على توليد القوى الناجمة عن الزلازل، ومن هنا تأتي أهمية هذا البحث في مساعدة المصمم لاعتماد المقطع الطولي للمداخل في التخفيف من أثر الحمولة الزلزالية .

طرائق البحث ومواده:

تمت الدراسة على مدخنة بيتونية منفذة في الواقع العملي في مصفاة بانياس ولها الشكل المخروطي وفق المعطيات الآتية:

1. ارتفاع المدخنة 110 m

2. قطر المدخنة الخارجي عند القاعدة 8 m ، وسماكة الجدار 35 cm

3. قطر المدخنة الخارجي عند القمة 4 m ، وسماكة الجدار 12.5 cm

4. المقاومة المميزة للبيتون $f_c = 35 \text{ N/mm}^2$ ، والوزن الحجمي للبيتون 25 KN/m^3

المدخنة مبطنة بطبقة من الآجر القرميدي مع لحظ فراغ هوائي بين جدار المدخنة البيتوني وطبقة الآجر القرميدي وذلك لزيادة فعالية العزل الحراري بمقدار 10 cm ، ويبدأ التبطين اعتباراً من منسوب (+9.0 m) ، وفق المعطيين الآتيين:

• سماكة الآجر القرميدي: 102 mm

• الوزن الحجمي ل الآجر القرميدي: 18 KN/m^3

و اعتمدت مدخنة اسطوانية مكافئة للمدخنة المخروطية السابقة ، وفق المعطيات الآتية:

1. ارتفاع المدخنة 110 m

2. قطر المدخنة الخارجي المكافئ يساوي 6 m ، تم اعتماده بشكل وسطي :

$$d = 4 + \frac{8-4}{2} = 6 \text{ m}$$

3. سماكة جدار المدخنة المكافئ يساوي 237.5 mm ، تم اعتماده بشكل وسطي :

$$t = 125 + \frac{350-125}{2} = 237.5 \text{ mm}$$

4. المقاومة المميزة للبيتون $f_c = 35 \text{ N/mm}^2$ ، والوزن الحجمي للبيتون 25 KN/m^3

5. اعتمدنا طبقة التبطين بالآجر القرميدي ضمن المعطيات للمدخنة المخروطية نفسها.

يوضح الشكل (2) المعطيات الهندسية للمدخنة المخروطية والأسطوانية المدروسة في البحث .

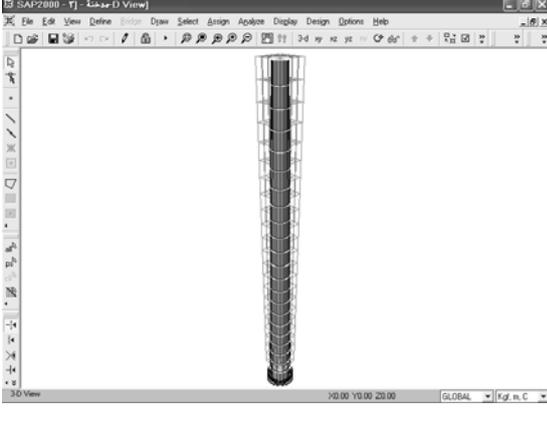
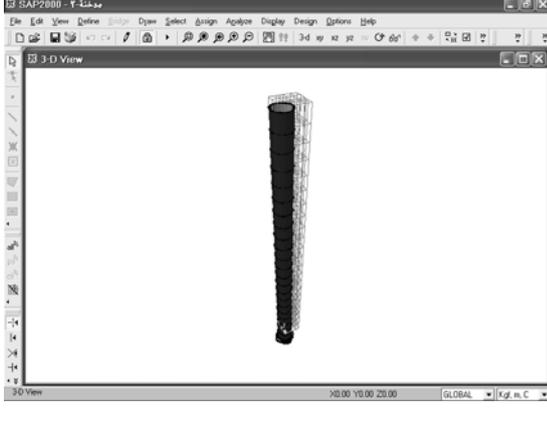
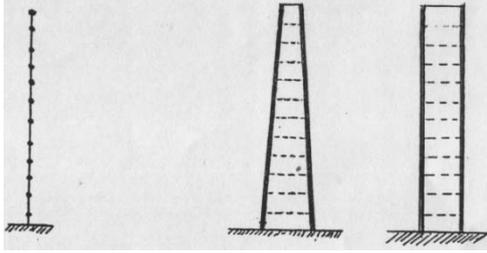
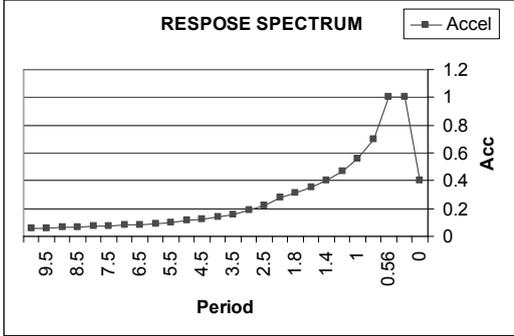
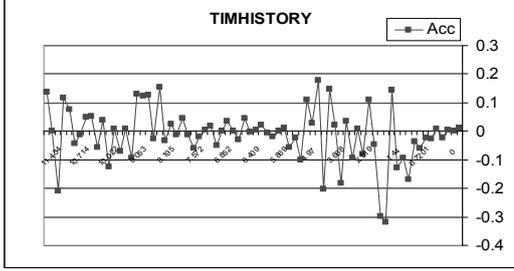
واعتمدت الحمولة الزلزالية بشكل استاتيكي مكافئ ، وطيف الاستجابة ، والسجل الزمني وفق الشكل (3) .

واعتمدنا في الدراسة على برنامج CSI-SAP 2000 [9]، حيث تم وضع نمذجة حاسوبية للمدخنتين

المخروطية والأسطوانية، وأخضعت لحالة تحميل الحمولات الدائمة، وتشمل الوزن الذاتي وطبقة العزل من الآجر

القرميدي، إضافة إلى الحمولات الزلزالية . وتم اعتماد تراكب الحمولات وفق الكود [8] ACI 307-08 .

المدخنة الأسطوانية	المدخنة المخروطية	
		<p>المداخن في الواقع العملي</p>
<ul style="list-style-type: none"> • ارتفاع المدخنة: 110 m • قطر المدخنة: $d' = 4 + \frac{8 - 4}{2} = 6 \text{ m}$ <ul style="list-style-type: none"> • سماكة جدار المدخنة $t = 125 + \frac{350 - 125}{2} = 237.5 \text{ mm}$	<ul style="list-style-type: none"> • ارتفاع المدخنة: 110 m • قطر المدخنة: <p>عند القاعدة: 8 m عند القمة: 4 m</p> <ul style="list-style-type: none"> • سماكة جدار المدخنة: <p>عند القاعدة: 350 mm عند القمة: 125 mm</p>	<p>الأبعاد الهندسية</p>
<ul style="list-style-type: none"> • صنف الببتون C35 أي أن المقاومة المميزة للببتون : $f_c = 35 \text{ N/mm}^2$ • المدخنة مبطنة بطبقة من الآجر القرميدي يبعد عن جدار المدخنة بمقدار: 100 mm • سماكة الآجر القرميدي: 102 mm • الوزن الحجمي ل الآجر القرميدي: 18 KN/m^3 		
<p>الشكل (2) : المعطيات الهندسية للمدخنة المخروطية والأسطوانية المدروسة في البحث .</p>		

المدخنة المخروطية	المدخنة الأسطوانية	
		<p>نمذجة المداخن</p>
<p>استاتيكي مكافئ</p> 		
<p>طيف الإجابة (Response Spectrum)</p> 		<p>الحمولة الزلزالية</p>
<p>السجل الزمني (Time History)</p> 		
<p>الشكل (3) : نمذجة المدخنة الأسطوانية والمخروطية مع معطيات الحمولة الزلزالية.</p>		

النتائج والمناقشة:

تمت نمذجة المدخنة الأسطوانية وذلك بتقسيمها لشرائح بارتفاعات 5 m ، وكذلك المدخنة المخروطية حيث اعتمدنا سماكة جدار المدخنة الوسطية بارتفاع 5 m . بينت نتائج التحليل الحاسوبية أدوار الاهتزاز للمدخنتين كما هو موضح في الشكل (4) ، حيث حصلنا على دور الاهتزاز للنمط الأول والثاني للمدخنة الاسطوانية بمقدار 3.13 Sec. مقابل 1.64 Sec. للمدخنة المخروطية ، بينما تقاربت قيم أدوار الاهتزاز الأعلى للمدخنتين .

حسبت قيم قوى القص وعزوم الانعطاف على ارتفاع المدخنة الأسطوانية بالطريقة الستاتيكية المكافئة وبطريقة أطياف الاستجابة وقورنت القيم الناتجة وفق الشكل (5) . حسبت أيضا قيم قوى القص وعزوم الانعطاف على ارتفاع المدخنة المخروطية بالطريقة الستاتيكية المكافئة وبطريقة أطياف الاستجابة وفق الموضح في الشكل (6) . بينت نتائج الحساب مايلي:

1. قيم قوى القص الأعظمية المحسوبة بطريقة أطياف الاستجابة هي أكبر من القيم المحسوبة بالطريقة الستاتيكية المكافئة للمدخنتين بحوالي ثلاثة أضعاف .

2. قيم عزوم الانعطاف الأعظمية المحسوبة بطريقة أطياف الاستجابة هي أكبر من القيم المحسوبة بالطريقة الستاتيكية المكافئة للمدخنة الاسطوانية بحوالي 70% ، بينما في حالة المدخنة المخروطية فقد تجاوزت الضعفين ونصف .

3. لوحظ علاقة قيم قوى القص المحسوبة على ارتفاع المدخنة تأخذ شكل تابع متزايد طردا مع ارتفاع المدخنتين الأسطوانية والمخروطية بالطريقة الستاتيكية، بينما يأخذ شكل تابع متناقص بطريقة أطياف الاستجابة. يمكن تفسير ذلك بنتيجة أدوار الاهتزاز الأكبر من الدور الأول.

4. قيم قوى القص الأعظمية المحسوبة بالطريقة الستاتيكية المكافئة للمدخنة المخروطية هي أكبر من القيم المحسوبة للمدخنة الاسطوانية بمقدار 11% .

5. قيم قوى القص الأعظمية المحسوبة بطريقة أطياف الاستجابة للمدخنة المخروطية هي أكبر من القيم المحسوبة للمدخنة الأسطوانية بمقدار 36% .

6. قيم عزوم الانعطاف الأعظمية المحسوبة بالطريقة الستاتيكية المكافئة للمدخنة الاسطوانية هي أكبر من القيم المحسوبة للمدخنة المخروطية بمقدار 16% .

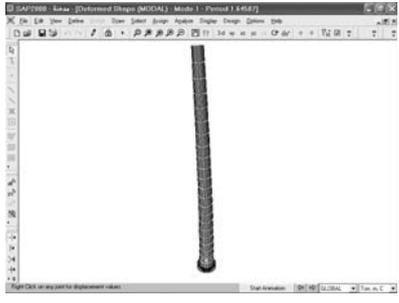
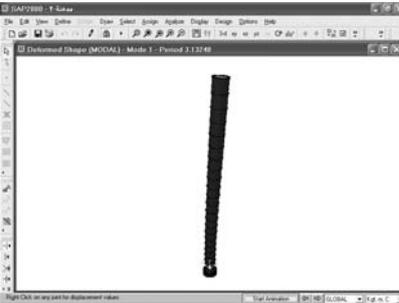
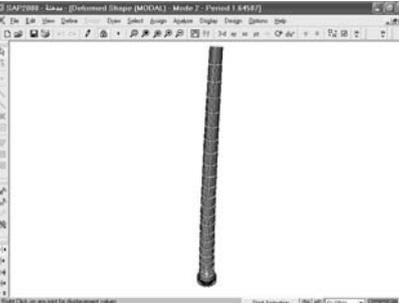
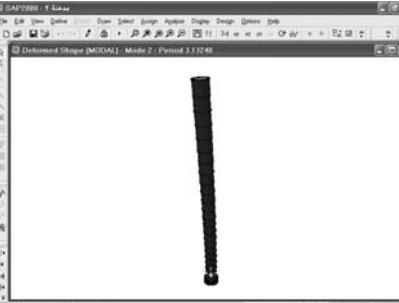
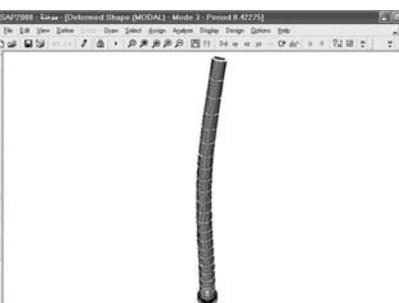
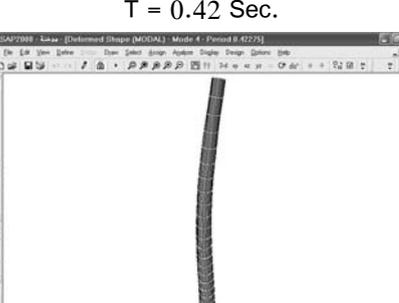
7. قيم عزوم الانعطاف الأعظمية المحسوبة بطريقة أطياف الاستجابة للمدخنة المخروطية هي أكبر من القيم المحسوبة للمدخنة الاسطوانية بمقدار 33% .

يوضح الشكل (7) قيم قوى القص وعزوم الانعطاف على ارتفاع المدخنة المخروطية بطريقة السجل الزمني، حيث تتقارب القيم الناجمة عن الحساب بالقيم المحسوبة بطريقة أطياف الاستجابة.

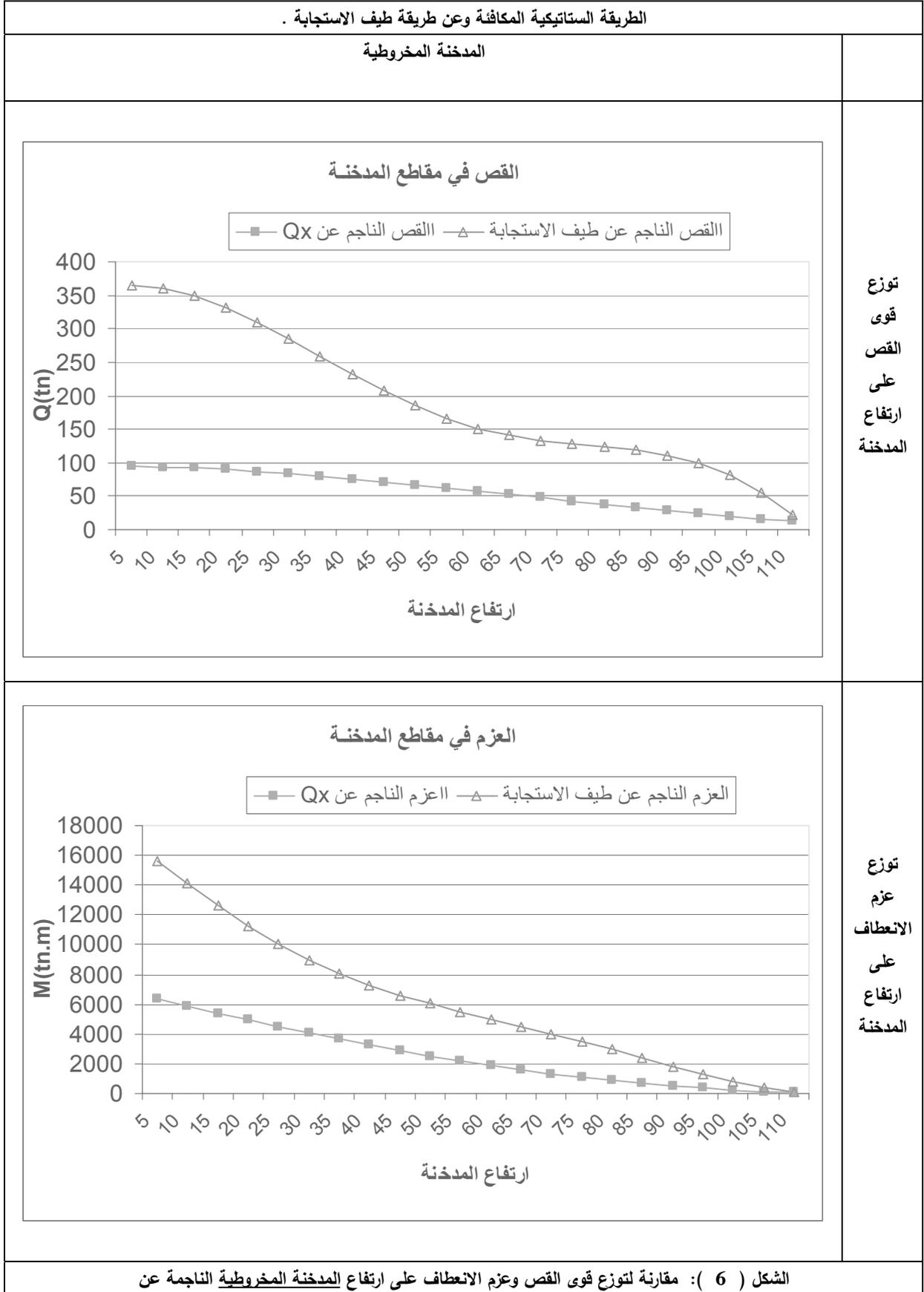
يقارن الشكل (8) شكل توزع الاجهادات في جدران المدخنة الأسطوانية والمخروطية الناجمة عن تراكب الحمولة الدائمة مع الحمولة الزلزالية وفق التراكب الآتي اعتمادا على الكود [8] :

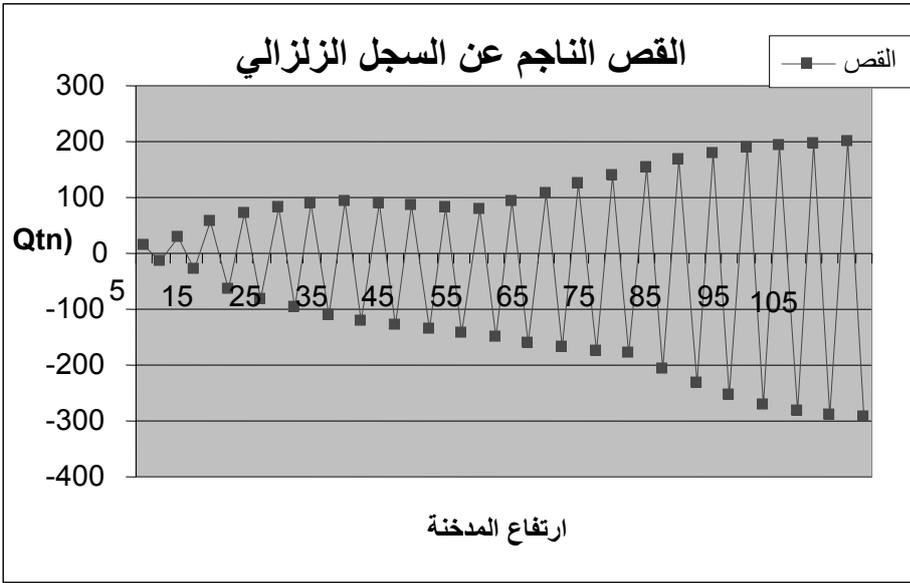
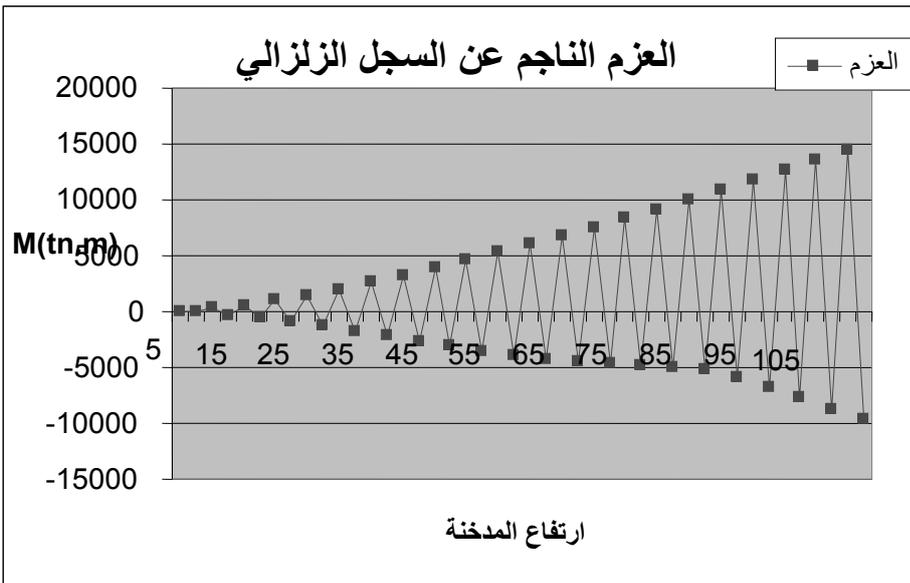
$$U = 1.1G + 1.7(1.1E)$$

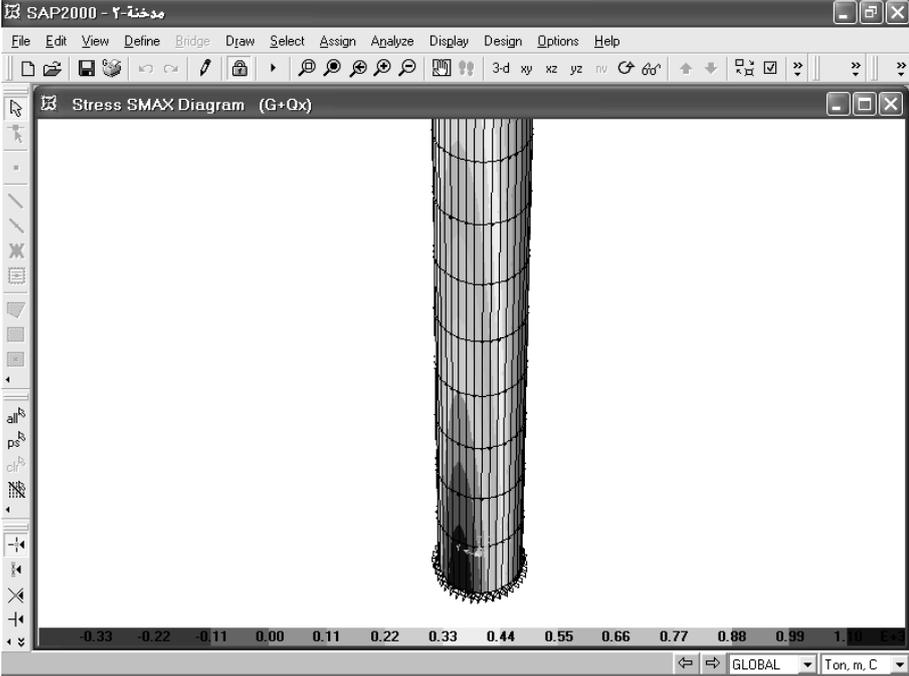
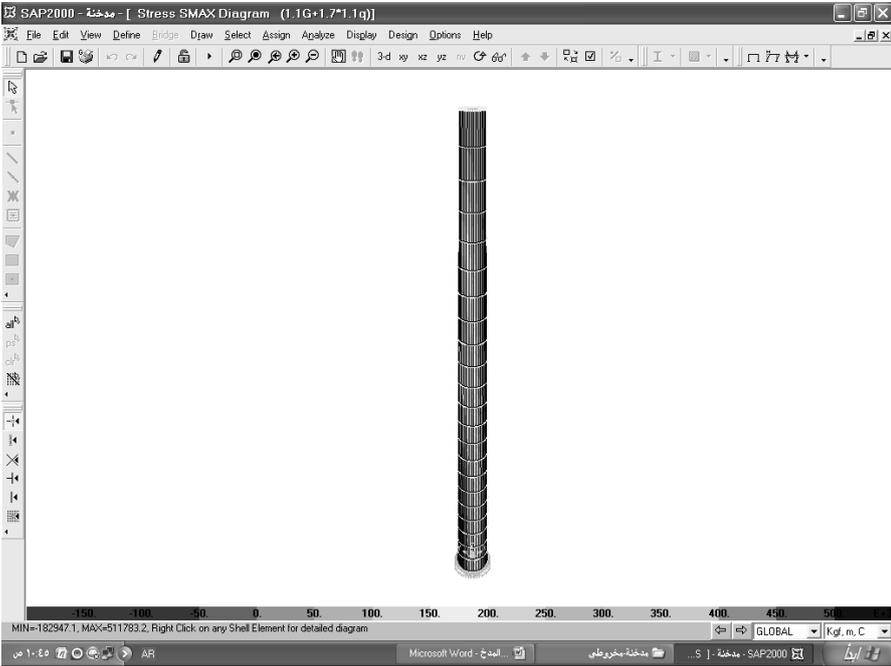
حيث تمثل G الأحمال الدائمة في المدخنة، و E الحمولة الزلزالية .

المدخنة المخروطية	المدخنة الأسطوانية	
<p>T = 1.64 Sec.</p> 	<p>T = 3.13 Sec.</p> 	<p>النمط الأول</p>
<p>T = 1.64 Sec.</p> 	<p>T = 3.13 Sec.</p> 	<p>النمط الثاني</p>
<p>T = 0.42 Sec.</p> 	<p>T = 0.51 Sec.</p> 	<p>النمط الثالث</p>
<p>T = 0.42 Sec.</p> 	<p>T = 0.51 Sec.</p> 	<p>النمط الرابع</p>
<p>الشكل (4) : مقارنة أنماط الاهتزاز للمدخنة الأسطوانية والمخروطية .</p>		

المدخنة الأسطوانية	
<p style="text-align: center;">القص في المقاطع</p> <p style="text-align: center;">ارتفاع المدخنة</p>	<p>توزيع قوى القص على ارتفاع المدخنة</p>
<p style="text-align: center;">العزم في المقاطع</p> <p style="text-align: center;">ارتفاع المدخنة</p>	<p>توزيع عزم الانعطاف على ارتفاع المدخنة</p>
<p>الشكل (5) : مقارنة لتوزيع قوى القص وعزم الانعطاف على ارتفاع المدخنة الأسطوانية الناتجة عن</p>	



الطريقة الستاتيكية المكافئة وعن طريقة طيف الاستجابة .	
توزع قوى المقطع على ارتفاع المدخنة	
 <p style="text-align: center;">القص الناتج عن السجل الزلزالي</p> <p style="text-align: center;">ارتفاع المدخنة</p>	<p>قوى القص</p> <p>بطريقة السجل الزمني</p>
 <p style="text-align: center;">العزم الناتج عن السجل الزلزالي</p> <p style="text-align: center;">ارتفاع المدخنة</p>	<p>عزوم الانعطاف</p> <p>بطريقة السجل الزمني</p>
<p>الشكل (7) : توزع قوى القص وعزم الانعطاف على ارتفاع المدخنة المخروطية الناجمة عن طريقة السجل الزمني .</p>	

توزع الاجهادات في جدران المدخنة	شكل المدخنة
	<p>المدخنة الأسطوانية</p>
	<p>المدخنة المخروطية</p>
<p>الشكل (8) : مقارنة لتوزع الاجهادات في جدران المدخنة الأسطوانية والمخروطية الناجمة عن تراكم الحمولة الدائمة مع الزلازل .</p>	

الاستنتاجات والتوصيات:

بينت لدينا نتائج تحليل المدخنتين المخروطية والأسطوانية المكافئتين بالارتفاع وبالأبعاد الهندسية بأن قيم قوى المقطع في المدخنة المخروطية هي أكبر من قيم قوى المقطع المتولدة في المدخنة الاسطوانية والمحسوبة بالطريقة الستاتيكية المكافئة وبطريقة أطياف الاستجابة وبطريقة السجل الزمني .
واعتمادا على الحسابات السابقة يمكننا الاستنتاج بأنه للتخفيف من القوى الناجمة عن الزلازل وبمقارنة المداخل الاسطوانية مع المداخل المخروطية فإنه ينصح باعتماد المداخل البيتونية الاسطوانية في المقطع الطولي .
يمكن التوسع بالبحث وذلك بإجراء مقارنات مع أشكال أخرى للمداخل بالمقطع الطولي .

المراجع العلمية:

- [1] Wilson, John : *Performance of Tall Reinforced Concrete Chimney Structures in the 2010 Chilean Earthquake* .- Australian Earthquake Engineering Society Conference, Perth, Western Australia; 2010 .
- [2] Reddy, K. ; Jaiswal, O. ; Godbole, P. : *Wind and Earthquake Analysis of Tall RC Chimneys* .- International Journal of Earth Sciences and Engineering. Vol. 04, No. 6, PP. 508 – 511; October 2011 .
- [3] Shaikh, M. G. ; Khan, H. : *Governing Loads for Design of A tall RCC Chimney*.- In: Journal of Mechanical and Civil Engineering (IOSR-JMCE), PP: 12-19 ; 2010 .
- [4] SUBRAMANI, T. ; SHANMUGAM, P.: *SEISMIC ANALYSIS AND DESIGN OF INDUSTRIAL CHIMNEYS BY USING STAAD PRO*.- In: International Journal of Engineering Research and Applications (IJERA) , Vol. 2, Issue 4, pp.154-161, July-August 2012 .
- [5] Wilson, J. : *Earthquake response of tall reinforced concrete chimneys* .- In: Engineering Structures , Elsevier Science Ltd., 25 , pp. 11 – 24 , 2003 .
- [6] Spyrakos, M.; Nikolettos, G. S : *Overtuning Stability Criteria for Flexible Structures to Earthquakes*.- In: JOURNAL OF ENGINEERING MECHANICS , ASCE . pp. 349 – 358 , 2005 .
- [7] CICIND, “*Model code for concrete chimneys – Part A: The shell*”, International Committee on Industrial Chimneys, Switzerland, 2001 .
- [8] ACI 307-08, “*Design and Construction of Reinforced Concrete Chimneys*”, American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, USA, 2008 .
- [9] SAP2000 , *Integrated Software for Structural Analysis & Design*, Computer and Structures Inc, Berkeley, CA, USA, 2013 .