

Study of the Effect of the Spherical Shell Angle on the Buckling Coefficient Values

Dr. Akram Sakour*
Ali Alhayek**

(Received 3 / 6 / 2024. Accepted 7 / 8 / 2024)

□ ABSTRACT □

Among the most prominent structural structures that can be used in public buildings are shells, as they allow the designer to reach large dimensions, and the spherical shell is one of these structures. Through this research, the effect of changing the shell angle on the buckling coefficient in the spherical shell was studied, as four types of angles were studied (30° , 45° , 60° , 90°) for different thicknesses (8cm , 10cm , 12cm) and with the effect of dead and live loads on the surface of the shell and with two types of reliable and detailed support. It was found that the buckling coefficient is inversely proportional to the angle of the shell. For the two cases of support, the thickness of the shell is inversely proportional to The buckling coefficient for the same angle. The largest drop in the buckling coefficient values in the case of reliable support between the two angles is 60° , 90° . The similarity in the buckling shapes for the same angle cannot be generalized, and the shape of the buckling differs depending on the angle.

Keywords: Buckling, spherical shell, Angle of shell

Copyright



:Tishreen University journal-Syria, The authors retain the copyright under a CC BY-NC-SA 04

*

Professor, Department of Structural Engineering, Faculty of Civil Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.

** PhD Student, Department of Structural Engineering, Faculty of Civil Engineering, Tishreen University, Tishreen University, Lattakia, ali.alhayek@tishreen.edu.sy

دراسة تأثير زاوية القشرية الكروية على قيم معامل الانبعاج

د. أكرم صفور*

علي الحايك**

(تاريخ الإيداع 3 / 6 / 2024. قُبِلَ للنشر في 7 / 8 / 2024)

□ ملخص □

من أبرز الهياكل الإنشائية التي من الممكن أن تستخدم في المنشآت العامة هي القشريات حيث تسمح للمصمم بالوصول لمجازات كبيرة والقشرية الكروية هي أحد هذه المنشآت من خلال هذا البحث تم دراسة تأثير تغيير زاوية القشرية على معامل الانبعاج في القشرية الكروية حيث تم دراسة أربعة أنواع من الزوايا ($30^0, 45^0, 60^0, 90^0$) من أجل سماكات مختلفة ($8cm, 10cm, 12cm$) وتأثير حمولات ميتة وحية على سطح القشرية وبنوعي استناد موثوق ومتفصل وتم التوصل إلى أن معامل الانبعاج يتناسب عكساً مع زاوية القشرية من أجل حالتي الاستناد تتناسب سماكة القشرية عكساً مع معامل الانبعاج من أجل الزاوية نفسها أكبر هبوط لقيم معامل الانبعاج في حالة الاستناد الموثوق بين الزاويتين $60^0, 90^0$ ، لا يمكن تعميم التشابه في أشكال الانبعاج من أجل الزاوية نفسها، وكذلك شكل الانبعاج يختلف باختلاف الزاوية.

الكلمات المفتاحية: معامل الانبعاج، القشرية الكروية، زاوية القشرية

مجلة جامعة تشرين- سورية، يحتفظ المؤلفون بحقوق النشر بموجب الترخيص



حقوق النشر

CC BY-NC-SA 04

* أستاذ، قسم الهندسة الإنشائية، كلية الهندسة المدنية، جامعة تشرين، اللاذقية، سورية.

** طالب دكتوراه، قسم الهندسة الإنشائية، كلية الهندسة المدنية، جامعة تشرين، اللاذقية، سورية. ali.alhayek@tishreen.edu.sy

مقدمة:

تعد القشريات ذات استخدام واسع في مختلف أنواع المنشآت كونها تستطيع تغطية مساحات كبيرة دون الحاجة لاستخدام عناصر إنشائية حاملة كالأعمدة والجدران بمجازات قصيرة حيث من الممكن أن يصل المسافة فيما بينها عند استخدام القشريات لمسافات كبيرة تصل لعشرات الأمتار مما يسمح لها بتغطية مساحات كبيرة وواسعة تفيد في تغطية الصالات والقاعات الكبيرة مثل صالات المطارات وصلات المعارض بالإضافة للجوامع والكنائس وغيرها من المنشآت. تختلف أنواع القشريات حيث هناك القشريات الاسطوانية و الكلتوتويدية وغيرها وتعد القشريات الدورانية هي أبرز هذه القشريات كونها ذات انتشار واسع نذكر منها القشرية الكروية والتي تنتج من دوران قوس من دائرة حول محور شاقولي لتشكل ما يعرف بالقبة، وتكمن ميزة القباب هو في صلابتها وقوتها حيث من الممكن أن تكون من دون أعمدة أو أن تنفذ بمجازات كبيرة وهي متينة وقوية ومن الممكن أن تصل لقدرات تحمل أكبر من عدة أنواع من الهياكل التقليدية ، ويكمن قلة تنفيذها بسبب تعقيد عملية تحليلها وتصميمها وكذلك عملية تنفيذها (Soedel,2004)، وتكون الحمولة الأساسية للقبة هي وزنها الذاتي لذلك فإن الذي يحكم وظيفتها هو شكلها وهندستها لحد كبير، وهي تخضع لتركيبات أحمال مختلفة ذات تعقيد هندسي ثلاثي الأبعاد بالإضافة لسلوكيات غير خطية ثلاثية الأبعاد لها و لموادها هذه الظروف المعقدة تجعل تحليل السلوك الهيكلي لها غير دقيق (Hejazi,2003). من أشهر القشريات المنفذة وأقدمها هي في مبنى الـ Pantheon في روما والذي بني في العام 169AD وقد كان بناءه من قبل الامبراطور هادريان وتدعى بقبة البانثيون انترادوس وهي واحدة من أكبر القباب في العالم بقطر 43.3m وهي محاطة بجدران حجرية سميكة وثمانية أعمدة كبيرة يتوزع عليها وزن القبة النصف كروية وتضم في قمته فتحة دائرية تدعى (أوكلوس) تسمح بإضاءة البيئة الداخلية من خلال مرور ضوء الشمس وهي موضحة بالشكل (1)(Makowski, 1984).



الشكل (1) مبنى البانثيون روتوندا انترادوس روما (Makowski, 1984)

تخضع القشريات الكروية للحمولات الحية والميتة والتي من الممكن أن تؤدي لحصول حادثة الانبعاج فيها في هذا البحث سوف نركز على دور زاوية القشرية على معامل الانبعاج وعلى شكل الانبعاج الحاصل في القشرية.

الدراسات المرجعية :

أول مشكلة لحالة الاستقرار في العناصر المضغوطة حلت قبل حوالي 200 عام من قبل EULER حيث كان مبدأ العمل هو الخشب والأحجار، الحل النظري لـ EULER طور من أجل الأقواس الاسطوانية لكنه بقي وقتاً طويلاً دون استثمار، في بدايات القرن العشرين أصبحت منشآت البيتون المسلح الرقيقة ذات انتشار واسع في أوروبا حيث القشريات الاسطوانية كانت بمجازات (3 – 5)m كانت تبنى بين جوائز قوسية تعطي الشكل للسقف، هذه الأقواس لديها جائر موثوق لمقاومة قوى الدفع لذلك تنتج فقط ردود فعل محورية في هذه الفترة كان يعتبر البيتون مادة مرنة وخطية (قانون هوك) وكانت الأقواس تحلل على هذا الأساس.

يعرف معامل الانبعاج بأنه النسبة بين الحمل المطبق على القشرية إلى الحمولة الحرجة والتي تسبب الانبعاج أي هو بمثابة عامل أمان للقشرية على الانبعاج. حيث

عندما يكون لدينا: $q > q_{cr}$ تكون القشرية غير مستقر.

$q = q_{cr}$ تكون القشرية في حالة توازن.

$q < q_{cr}$ تكون القشرية في حالة استقرار.

بحيث q هي الحمولة المطبقة على القشرية ، و q_{cr} هي الحمولة الحرجة التي يمكن للقشرية أن تتحملها (Billington, 1982).

وجد (Abdi et al, 2011) من خلال دراسة تحليلية أن حمولة الانبعاج تتعلق بمجاز القشرية وكذلك بسماكة هذه القشرية من خلال دراسته لثلاث نماذج من القشريات بطريقة العناصر المنتهية أما (Rotter, 2016) وجد الباحث أن حمولة الانبعاج تختلف باختلاف نسبة نصف قطر القشرية بالنسبة إلى سماكتها درس الباحث (Nayak et al, 2020) من خلال دراسة عديدة على قشرية معصبة أن حمولة الانبعاج في هذه القشرية تختلف مع اختلاف ارتفاع القشرية مع سماكتها. أن (Alkhrdaji, 2018) أجرى دراسة لسلوك القشريات القطعية المكافئة تحت تأثير الحمولات الحية والميتة باستخدام طريقة العناصر المنتهية ، استخدم نموذج بمجاز 10م وبارتفاع 2.5م. أظهرت النتائج أنه كان هناك تأثير للحمولات الميتة والحية على حمولة الانبعاج الحرجة وأن حمولة الانبعاج الحرجة تناقصت مع ازدياد الحمولة الميتة. الباحث (Bilir et al, 2021) [3] درس سلوك القشريات القطعية المكافئة تحت تأثير الحمولات الحية والحمولات الميتة استخدم نموذج فيه نسبة الارتفاع للمجاز بمقدار $\frac{1}{8}$ أو وضحت النتائج أن حمولة الانبعاج تناقصت مع ازدياد الحمولات الحية كما لاحظ الباحث أن تأثير الحمولات الحية يكون أوضح في القشريات ذات المجازات القصيرة.

من خلال استعراض بعض الدراسات المرجعية السابقة ومن خلال بعض الدراسات التي ركزت على اختلاف ارتفاع القشرية مع نصف قطرها و أهمية اختلاف زاوية القشرية ولكن لم تتطرق لموضوع اختلاف الاستناد مع اختلاف زاوية القشرية لذلك من خلال هذه المقالة سوف نعمل لدراسة اختلاف زاوية القشرية واختلاف الاستناد لفهم آلية تأثير معامل الانبعاج وكذلك شكل الانبعاج الحاصل في القشرية.

الدراسة العملية:

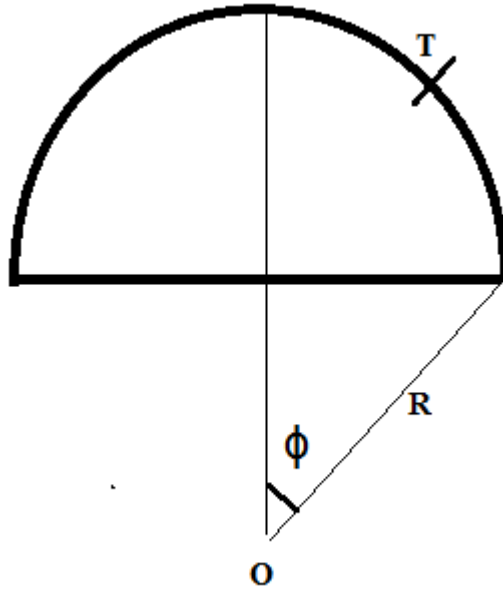
التحليل المستخدم هو تحليل LINEAR BUCKLING ANALYSIS بواسطة برنامج الـ SAP2000، الذي يمكننا من إنشاء عدة أنواع من التراكبات للحمولات عادية أو تسارعات تشكل مع بعضها شعاع الحمولة (r) ، ونحدد عدد

الأنماط المتوجب دراستها يستخدم البرنامج مصفوفة الصلابة للمنشأ ، يقوم البرنامج بتوليد أنماط الانبعاج ويبدأ بحل المعادلة التالية:

$$[k - \lambda G(r)]\psi = 0$$

بحيث : K هي مصفوفة الصلابة ، $G(r)$ تأثير الأبعاد الهندسية من خلال تابع الحمولة r ، λ هي مصفوفة قطرية لقيمة eigen ، ψ هي مصفوفة الأنماط وتعرف الأنماط بأرقام من 1 إلى n .

λ هي عامل الانبعاج وهي عبارة عن المقياس الذي يجب أن تضاعف له الحمولة لكي تسبب الانبعاج ويمكن اعتباره بمثابة عامل أمان لهذه المنشأة بوجه الحمولات الحالية ، يمكن أن تكون قيمته أكبر من الواحد أو أصغر من الواحد ، عندما تكون أكبر من الواحد فهو بمثابة عامل أمان، أي يجب أن تتضاعف الحمولة بمقداره ليحصل الانبعاج، أما عندما يكون أصغر من الواحد فإنه يجب تخفيض الحمولة لكي لا يحصل الانبعاج، ويجب ألا يقل عدد الأنماط عن 6 ، وهذه الأنماط هي أنماط الاهتزاز الطبيعية للمنشأة.



الشكل (2) نموذج القشرية الكروية

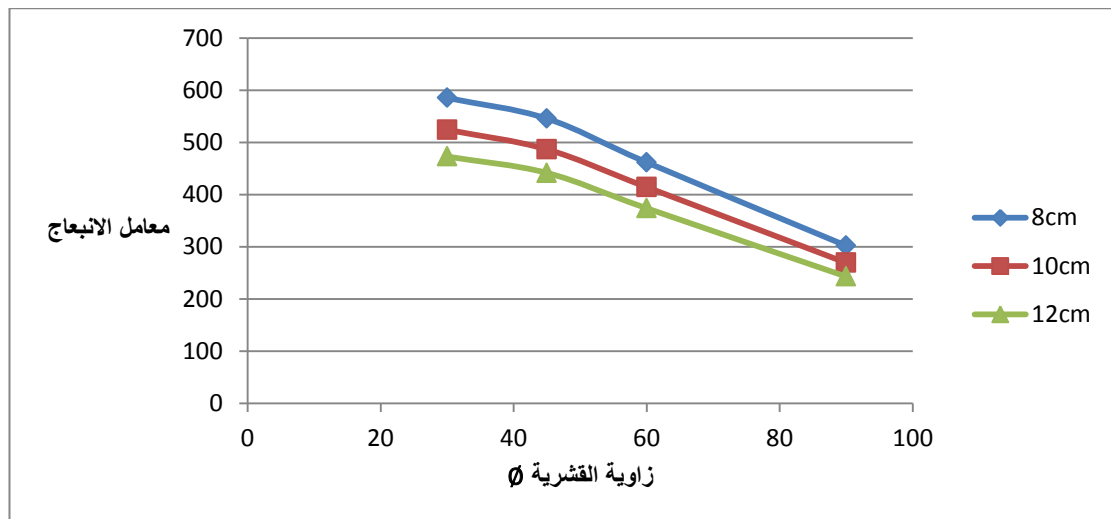
من أجل دراسة تأثير اختلاف زاوية القشرية على معامل الانبعاج تم اعتماد عدة قيم لزاوية القشرية وهي $(30^{\circ}, 40^{\circ}, 60^{\circ}, 90^{\circ})$ وتم تحليل النماذج وفق نفس حالات التحميل القشرية تحت تأثير الحمولات الميتة والحية وفق الكود ACI318-14 تم اعتماد النسبة R/t ثابتة ومساوية لـ 100. ومن خلال اعتماد تراكيب للحمولات وهما:

$$1.4D \dots (1)$$

$$1.2D + 1.6L \dots (2)$$

وكانت النتائج موضحة بالجدول (1).

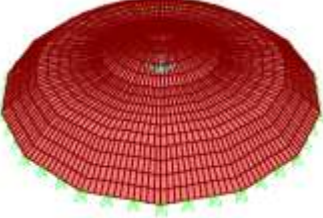
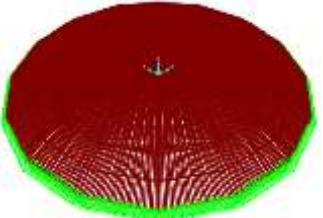
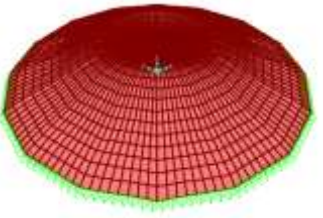
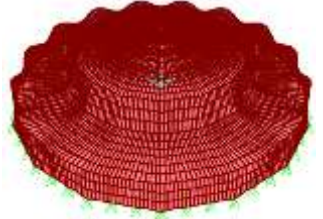
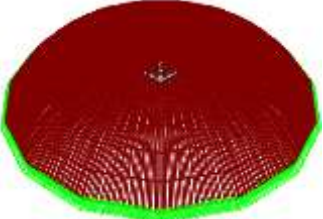
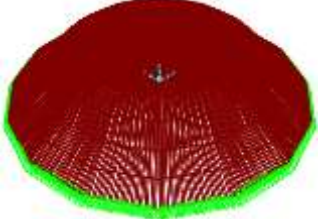
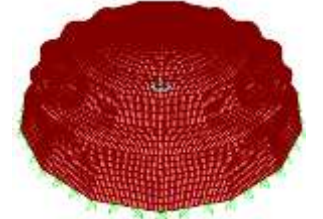
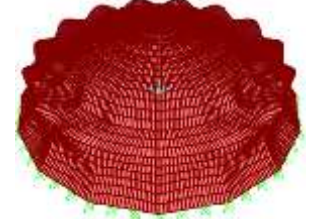
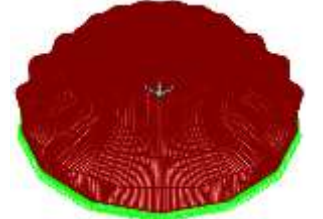



الجدول(1) نماذج القشرية الكروية بتغير قيمة الزاوية						
حالة الاستناد الموثوق						
معامل الانبعاج		الزاوية ϕ	قيمة (r)	النسبة R/t	السماكة cm	العينة
1.2D+1.6L	1.4D					
404.8	585.2	30	8	100	8	1
377.46	545.6	45	8	100	8	2
319.48	461.8	60	8	100	8	3
209.04	302.16	90	8	100	8	4
379.39	524.25	30	10	100	10	5
352.1	486.6	45	10	100	10	6
299.9	414.4	60	10	100	10	7
194.97	269.42	90	10	100	10	8
355.4	472.9	30	12	100	12	9
331.84	441.56	45	12	100	12	10
281.04	373.95	60	12	100	12	11
182.75	243.17	90	12	100	12	12

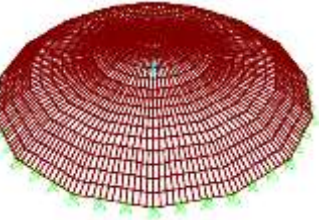
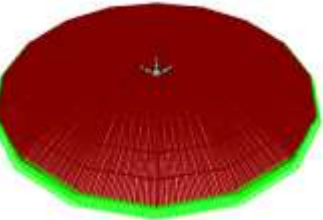
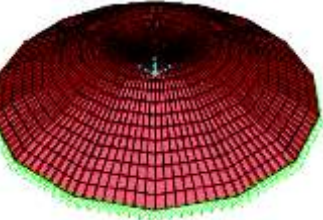
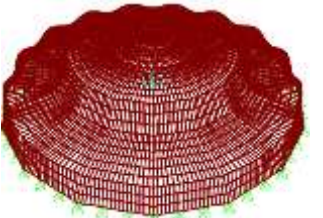
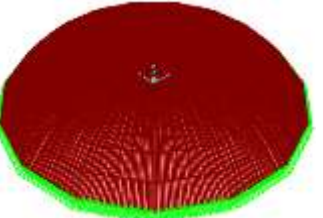
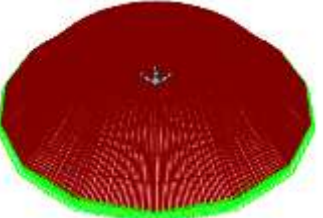


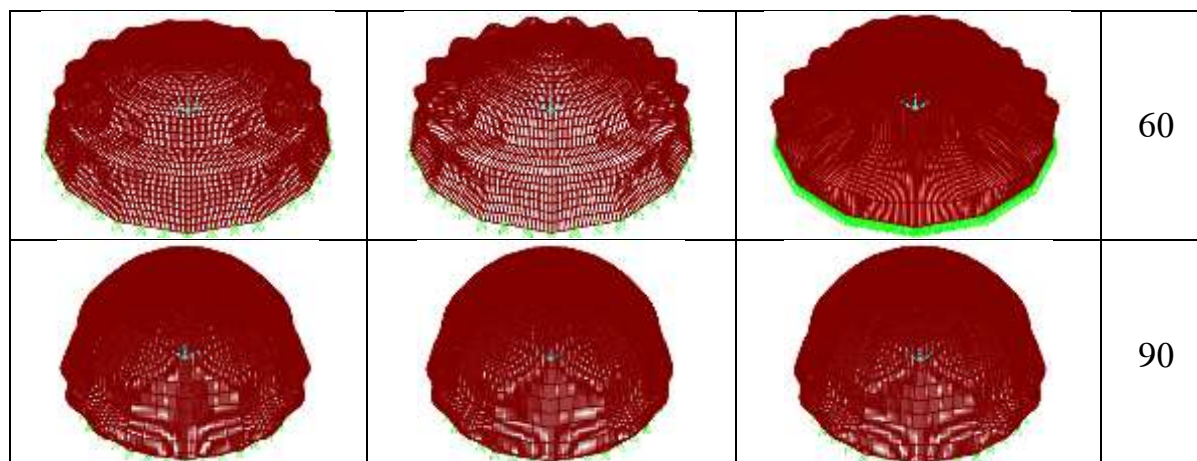
الشكل(3) التغير بين معامل الانبعاج مع زاوية القشرية

نلاحظ من خلال الشكل (3) أن قيم معامل الانبعاج تتناقص مع زيادة الزاوية لكن النقصان الأكبر يكون بين الزاوية 60 والزاوية 90 أي إن العلاقة بين الزاوية ومعامل الانبعاج هي علاقة عكسية

من أجل الزاوية نفسها نلاحظ من خلال الشكل أيضاً أن مع ازدياد السماكة فإن قيمة معامل الانبعاث تتناقص يمكن تفسير ذلك من خلال ازدياد قيمة الوزن الذاتي في القشرية.

الجدول (2) أشكال الانبعاث بتأثير 1.2D+1.6L			
12cm	10cm	8cm	الزاوية
			30
			45
			60
			90

الجدول (3) أشكال الانبعاث بتأثير 1.4D			
12cm	10cm	8cm	الزاوية
			30
			45

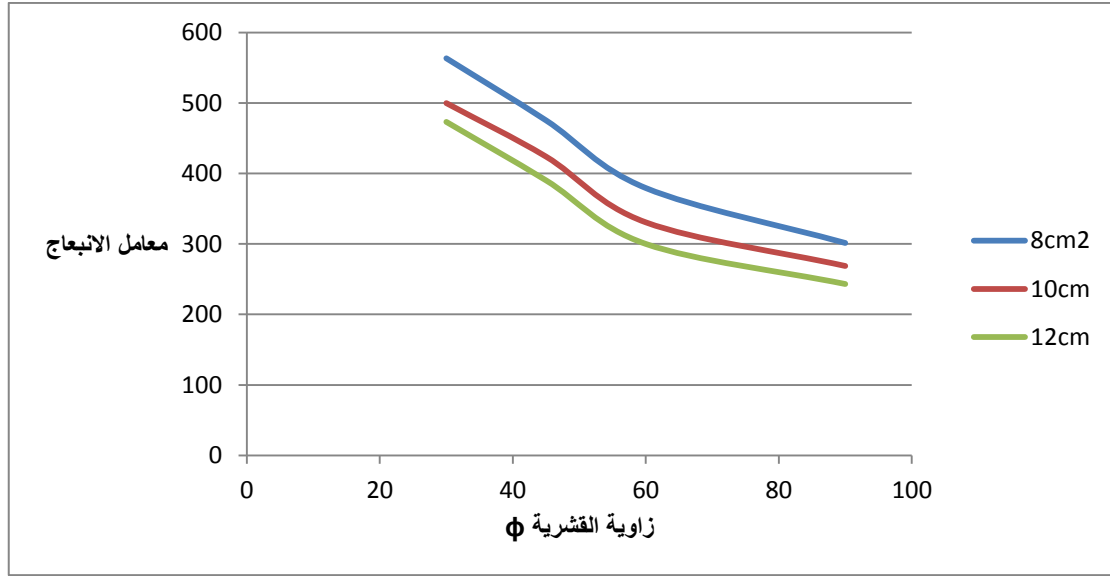


النتائج التي تم التوصل لها:

- 1- معامل الانبعاج يتناسب عكساً مع زاوية القشرية حيث بازدياد زاوية القشرية تتناقص قيمة معامل الانبعاج وكان التناقص الأكبر بين الزاويتين 60 و 90 درجة.
 - 2- تتناسب سماكة القشرية عكساً مع قيمة معامل الانبعاج من أجل الزاوية نفسها يمكن تفسير ذلك من خلال ازدياد الوزن الذاتي للقشرية مع زيادة السماكة
 - 3- من أجل أشكال الانبعاج الحاصلة من أجل الزاوية نفسها لا يمكن تعميم تشابهها على الرغم من تشابهها في بعض الحالات ويجب دراستها لكل حالة على حدى
- بتغيير نوع الاستناد للقشرية إلى النوع المتمفصل وإعادة دراسة النماذج السابقة من أجل نفس حالة التحميل فإن النتائج هي موضحة بالجدول (3) وذلك من أجل حالتها التحميل.

الجدول(3) نماذج القشرية الكروية بتغير قيمة الزاوية						
حالة الاستناد المتمفصل						
معامل الانبعاج		الزاوية ϕ	قيمة (r)	النسبة	السماكة cm	العينة
1.2D+1.6L	1.4D					
389.7	563.3	30	8	100	8	1
328.7	475.2	45	8	100	8	2
262.39	379.29	60	8	100	8	3
208.44	301.30	90	8	100	8	4
361.63	499.71	30	10	100	10	5
306.7	423.8	45	10	100	10	6
230.8	330.6	60	10	100	10	7
194.45	268.70	90	10	100	10	8
294.37	473.1	30	12	100	12	9

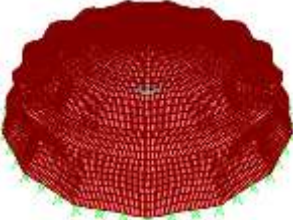
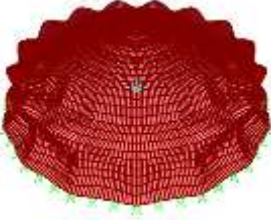
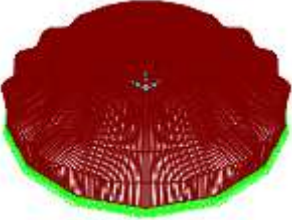



188.74	390.1	45	12	100	12	10
153.48	300	60	12	100	12	11
182.23	243.1	90	12	100	12	12

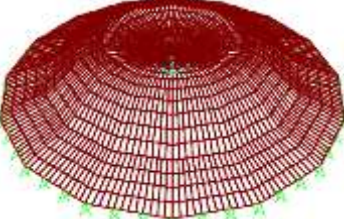
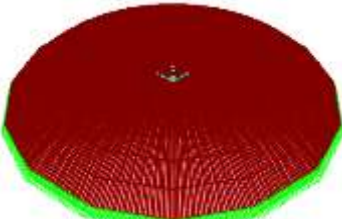
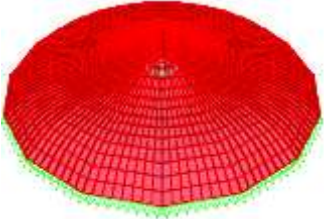
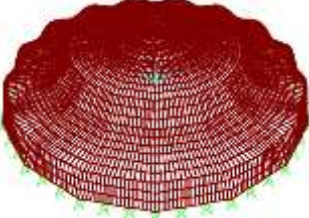
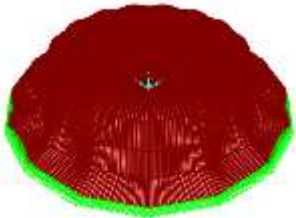
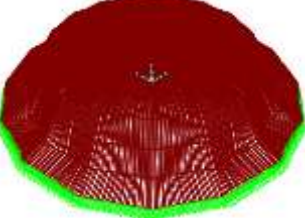
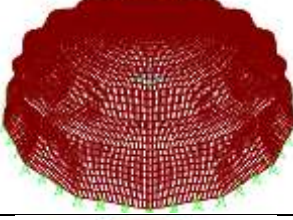
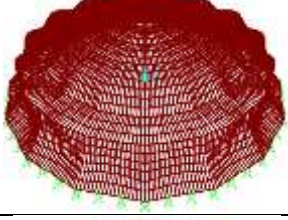
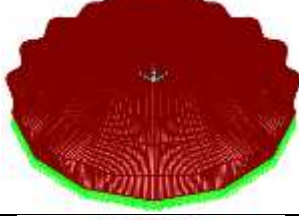
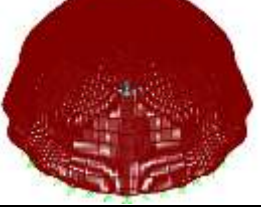
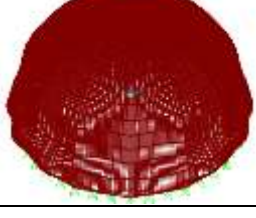
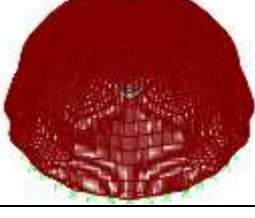


الشكل (4) العلاقة بين معامل الانبعاج وزاوية القشرية من أجل حالة الاستناد المتمفصل

نلاحظ من خلال الشكل (4) أن قيم معامل الانبعاج تتناقص مع زيادة الزاوية لكن النقصان الأكبر يكون بين الزاوية 30 والزاوية 90 أي إن العلاقة بين الزاوية ومعامل الانبعاج هي علاقة عكسية من أجل الزاوية نفسها نلاحظ من خلال الشكل أيضاً أن مع ازدياد السماكة فإن قيمة معامل الانبعاج تتناقص يمكن تفسير ذلك من خلال ازدياد قيمة الوزن الذاتي في القشرية.

الجدول (5) أشكال الانبعاج بتأثير 1.2D+1.6L			
12cm	10cm	8cm	الزاوية
			30
			45

			60
			90

الجدول (6) أشكال الانبعاج بتأثير 1.4D			
12cm	10cm	8cm	الزاوية
			30
			45
			60
			90

النتائج التي تم التوصل لها:

1- معامل الانبعاج يتناسب عكساً مع زاوية القشرية حيث بازدياد زاوية القشرية تتناقص قيمة معامل الانبعاج.

2- تتناسب سماكة القشرية عكساً مع قيمة معامل الانبعاج من أجل الزاوية نفسها يمكن تفسير ذلك من خلال ازدياد الوزن الذاتي للقشرية مع زيادة السماكة من أجل أشكال الانبعاج الحاصلة من أجل الزاوية نفسها لا يمكن تعميم تشابهها على الرغم من تشابهها في بعض الحالات ويجب دراستها لكل حالة على حدى

الاستنتاجات والتوصيات :

من خلال هذه الدراسة والتي شملت 24 نموذج من القشريات الكروية بنوعي استناد موثوق وكذلك متمفصل تم التوصل للنتائج التالية:

- 1- في حالة القشرية الموثوقة و المتمفصلة معامل الانبعاج يتناسب عكساً مع زاوية القشرية حيث بازدياد زاوية القشرية تتناقص قيمة معامل الانبعاج وكان التناقص الأكبر في حالة القشرية الموثوقة بين الزاويتين 60 و 90 درجة.
 - 2- تتناسب سماكة القشرية عكساً مع قيمة معامل الانبعاج من أجل الزاوية نفسها يمكن تفسير ذلك من خلال ازدياد الوزن الذاتي للقشرية مع زيادة السماكة وذلك من أجل نوعي الاستناد.
 - 3- إن قيم معامل الانبعاج من أجل حالة الاستناد الموثوق تكون أكبر من حالة الاستناد المتمفصل
 - 4- من أجل أشكال الانبعاج الحاصلة من أجل الزاوية نفسها لا يمكن تعميم تشابهها على الرغم من تشابهها في بعض الحالات ويجب دراستها لكل حالة على حدى.
 - 5- شكل الانبعاج الحاصل يختلف باختلاف زاوية القشرية وذلك من أجل حالتي الاستناد الموثوق و المتمفصل.
- التوصيات:

- 1- دراسة أنواع أخرى من القشريات بتأثير حمولة الانبعاج وتغير اشكال الانبعاج.
- 2- دراسة تأثير الحمولات الديناميكية على الانبعاج الحاصل في القشرية.

References:

- [1]Soedel, W. (2004). Vibration of Shells and Plates. Third Edition, Marcel Dekker, Inc., New York
- [2]Hejazi, M. (2003). Seismic vulnerability of Iranian historical domes. Advances in Earthquake Engineering, Earthquake Resistant Engineering Structures IV, Editor, G. Latini and C. A. Brebbia, WIT Press, pp. 157-165.
- [3]Makowski, Z.S. "A History of the Development of Domes and a Review of Recent Achievements World-Wide" *Analysis, Design and Construction of Braced Domes*. Ed. Z.S.Makowski. Granada: London, 1984
- [4]Billington D.P thin shell Concrete structures.Second Edition . , Mc Graw-Hill , New York –Toronto ,1982
- [5]Behzad Abdi et al " Buckling Behavior of General Dome Ends Under External Pressure, using Finite Elements Analysis" *Key Engineering Materials Vols. 471-472(2011)* pp 833-838.
- [6]J. Michael Rotter et al "Spherical Dome Buckling With Edge Ring Support " *Structures* 8 (2016) 264-274.
- [7]C. B. Nayak et al "Parametric Study of Dome With and Without Opening " *J. Inst. Eng. India Ser. A* <https://doi.org/10.1007/s40030-02000447-3>.
- [8]Alkhrdaji, T., & Alkhrdaji, T. (2018). Buckling behavior of reinforced concrete parabolic shells under dead and live loads. *Journal of Building Engineering*, 20, 234-241.

- [9] Sintek, M., & Bilir, T. (2021). Buckling analysis of reinforced concrete parabolic shells under dead and live loads. *Journal of Civil Engineering and Management*, 27(4), 1-14.
- [10] ACI318-14 Building Code Requirements for Structural Concrete Commentary, 2014.