دراسة تحليلية لتأثير وجود قبة بيتونية مسلحة على السلوك الزلزالي لمبنى إطاري من البيتون المسلح

*د.م تراث غريب ** أ. د.م عبد الرزاق سالم *** م. بيان الكرم

(الإيداع: 4 تشرين الأول 2021، القبول: 29 آذار 2022)

الملخص:

تعتبر القباب البيتونية المسلحة سمة معمارية ومدنية لعديد من المنشآت البيتونية المسلحة (المراكز الدينية ، صوامع ،خزانات ، صالات) وغيرها من المنشأت، وتنوعت أشكال القبب وطرق بناءها عبر العصور وذلك وفقاً للثقافات والإمكانيات المتاحة لكل عصر. يتناول البحث دراسة تحليلية زلزالية لمبنى إطاري بيتوني مسلح متناظر في المنطقة الزلزالية الثالثة، بوجود قشرية رقيقة في طابقه العلوي وهو عبارة عن قبة كروية بيتونية مسلحة محمولة على أعمدة قصيرة. تم إجراء التحليل الزلزالي وفق طريقة الدفع المتتالي (الطريقة الستاتيكية اللاخطية) باستخدام برنامج التحليل الإنشائي ETABS–2016. تمت مقارنة الخصائص الزلزالية للمنشأ قبل وبعد إضافة القبة البيتونية المسلحة، وهي قوة القص القاعدي للمنشأ V، وقوة القص الطابقية للطابق الحامل للقبة F، الدور الأساسي للاهتزاز T ونسبة مساهمة الكتلة الموافقة له m%، وعدد المفاصل المتشكلة في المبنى عند الانتقال الهدف بالإضافة إلى مراقبة ظهور أول مفصل لدن . بلغ عدد النماذج المدروسة 10 عشرة نماذج عبارة عن خمس مجموعات في كل مجموعة نموذج مرجعي بدون قبة وأخر مع قبة، وتختلف المجموعات عن بعضها بعدد الطوابق حيث تراوحت بين (3–5 – 10– 15 –19) طابقاً. بينت النتائج أن إضافة القبة على المبنى لها فائدة كبيرة بتأخير ظهور أول مفصل لدن في المبنى المرجعي غير الحامل للقبة في حين أن أثر إضافة القبة والعناصر الحاملة لها على المبنى لم يكن كبير على قوة القص القاعدي للمبنى وفق الطريقة المتبعة إلى أن تأثر باقي الخصائص (قوة قص طابقية ، مفاصل لدنة ،ونسبة مساهمة الكتلة ...) كان ملحوظاً ،وبلغت أكبر زيادة في قوة القص الطابقية حوالي7.3% من أجل العينة ذات الـ 15 طابق.

الكلمات المفتاحية: طريقة الدفع المتتالي، إطارات مقاومة للعزوم، قبة بيتونية مسلحة، ارتفاعات مختلفة.

*مدرس في قسم الهندسة الإنشائية – كلية الهندسة المدنية – جامعة البعث

**أستاذ في قسم الهندسة الإنشائية –كلية الهندسة المدنية – جامعة حماه

***طالبة ماجستير في قسم الهندسة المدنية – جامعة البعث

Analytical study of the effect of the presence of a reinforced concrete dome on the seismic behavior of a frame building of reinforced concrete

Dr.En- Torath Gharib*** En.Bayan Alkarma** Dr. En- AbduLrazzak salem*

(Received: 4 October 2021, Accepted: 29 March 2022)

Abstract:

Reinforced concrete domes are an architectural and civil feature of many reinforced concrete structures such as religious centers, silos, tanks, halls, and other facilities. The research deals with a seismic analytical study of a symmetrical reinforced concrete frame building in the third seismic zone, with thin crust on its upper floor consisting of a spherical reinforced concrete dome carried on short columns. The analysis was carried out according to the successive push method (nonlinear static method) using the structural analysis program ETABS-2016. The seismic characteristics of the structure were compared before and after adding the reinforced concrete dome, and these characteristics are the base shear strength of the structure V, the floor shear strength of the bearing floor of the dome F, The main role of vibration T and the corresponding mass contribution ratio m%, the number of joints formed in the building when moving the target in addition to monitoring the appearance of the first plastic joint ز The number of studied models reached 10, ten models, five groups in each group, a reference model without a dome and another with a dome, and the groups differ from each other in the number of floors, which ranged between (3-5-10-19-15) floors. The results showed that adding the dome to the building has a great benefit in delaying the appearance of the first plastic joint in the reference building that is not bearing the dome, while the effect of adding the dome and its bearing elements on the building was not significant on the base shear strength of the building according to the method used until the rest of the characteristics were affected (Strength Floor shear, elastic joints, mass contribution ratio...) was significant, and the largest increase in floor shear strength was about 7.3% for the 15-storey sample.

Key words: pushover method, moment resisting frame, reinforced concrete dome, different high

---

* Lecturer, department of structural Engineering, faculty of civil engineering, AL Baath university.

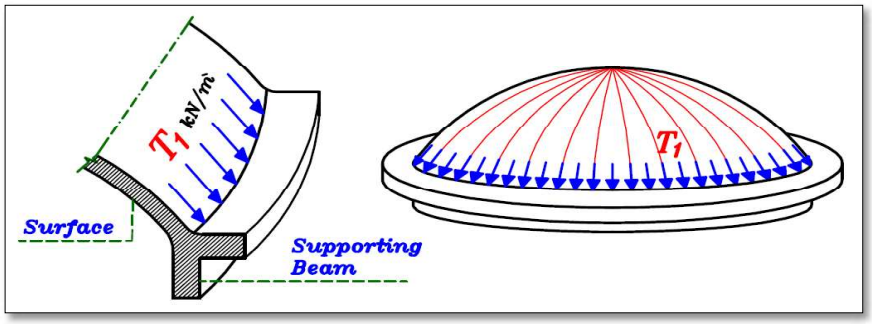
** professor, department of structural Engineering, faculty of civil engineering, Hama university

*** student, department of structural Engineering, faculty of civil engineering, AL Baath university

1. مقدمة:

القبة البيتونية المسلحة واحدة من أكثر الهياكل كفاءة واستقرارًا بطبيعتها بفضل شكلها الهندسي وآلية حملها،القبة أو الغطاء الكروي: عبارة عن هيكل قشري منحني بشكل مزدوج، أقوى وأكثر ثباتًا من الهياكل القشرية الأخرى. فبالإضافة للشكل المستقر، تتحمل الهياكل القشرية عموماً، الأحمال المطبقة عليها بواسطة آلية فعالة تعرف باسم العمل الغشائي، على عكس الهياكل الخطية، ويفرض العمل الغشائي على وجود إجهادات قص ناظميه ومماسيه فقط داخل المستوي، مما يمكّن القشرة بسماكة صغيرة من امتصاص أحمال كبيرة جدًا مع نتائج إجهاد منخفضة نسبيًا داخل المستوي. ونتيجة لذلك تتمتع هياكل القشرية بنسبة قوة إلى وزن عالية مقارنة بالأنظمة الهيكلية الأخرى، وهي قادرة على تغطية الامتدادات الكبيرة بسماكات صغيرة جدًا. [1] وقد تحدث عزوم انعطاف في مناطق من هيكل القشرية لتلبية متطلبات التوازن، ولكنها بشكل عام ذات تأثير محلي، وتقتصر على محيط الاستناد، ولذلك تتطلب القبة عنصرا هيكليا داعماً لامتصاص الدفع الأفقي الكبير عند حدودها. يشار للعضو الداعم عادة باسم حلقة القبة أو الجائز الحلقي.

يوضح الشكل التالي ألية انتقال الحمولات في القباب البيتونية وفق فرضيات النظرية الغشائية.



الشكل رقم (1): يبين طريقة انتقال الحمولات من القشرية إلى الجائز الحلقي.

2. مشكلة البحث:

إلقاء الضوء على واقع المنشأت التي تعلوها قبة بيتونية مسلحة من حيث معرفة الخصائص الزلزالية لإضافة القبة على المنشأ. وهل لوجود القبة التأثير نفسه في حال تغيير ارتفاع المنشأ.

3. هدف البحث:

يهدف هذا البحث لتقييم أثر وجود قبة بيتونية مسلحة على السلوك الزلزالي للمنشأت البيتونية المسلحة باختلاف ارتفاعها، من خلال مقارنة كل من قوة القص القاعدي للمنشأ V، القص الطابقية للطبق الحامل للقبة F ، والدور الأساسي للاهتزاز ونسبة مساهمة الكتلة الموافقة له ، وعدد المفاصل المتشكلة عند الانتقال الهدف وظهور أول مفصل لدن في المنشأ .

4. الدراسة المرجعية:

أظهرت القشريات الخرسانية المسلحة في العقود الماضية قدرتها على مقاومة الحمولات الكبيرة الناتجة عن الكوارث الطبيعية. على سبيل المثال، لملعب ميامي المؤلف من سقف على شكل قبة إهليلجيه تعرض عام 1992م إلى إعصار أندرو من الفئة الـ 5 دون أضرار. ونجت قبة (Pensacola Beach) البيتونية المسلحة من إعصار Ivan عام 2004م و انهارت عدة مباني مجاورة بشكل جزئي أو كلي. وبالمثل صمدت قبة كنيسة Our Miraculousأمام زلزال بقوة 8Mw الذي هز مدينة مكسيكو عام 1985 دون الإبلاغ عن أضرار على الرغم من وقوعها على تربة ضعيفة على ضفة بحيرة.

تصرفت القشريات بشكل مرن أثناء الزلازل وتمكنت من تحملها دون حدوث تشققات في الخرسانة. [1] ووفق المرجع [2] يعود هذا الصمود لكون تردد القشرية قليل نسبياً مقابل التردد الزلزالي، وذلك بسبب الشكل الهندسي للقبة، وخفة وزنها باعتبار الكتلة تتناسب طرداً مع القوى الزلزالية. قام كل من (Abdallah و Mohammed)بدراسة الخصائص الديناميكية لقبة بيتونية مسلحة ذات الشكل البيضوي من خلال النظر إلى أنماط الاهتزاز الطبيعة للقبة وعلاقتها مع ارتفاع القبة وسماكتها باستخدام برنامج SAP2000 تم أجراء الدراسة على 29 عينة أظهرت النتائج تأثر تردد الاهتزاز للقبة بالشكل الهندسي المختار لها.[3] كما بين (Adriaenssens وMichel) بدراسة زلزالية لعناصر قشرية من البيتون المسلح باستخدام برنامج ABQUS. حيث تم استخدام نوعين من القشريات البيتونية المسلحة إحداهما وحيدة الانحناء والأخرى ذات انحناء مزدوج بمسقط مربع، متغيرات الدراسة نسبة قطر القشرية الى ارتفاعها أشار الباحث إلى أن شكل القشرية يلعب دور كبير في مقاومتها الزلزالية إلى أن القرب من المصدر الزلزالي قد يؤدي لأضرار كارثية في القشرية. أظهرت النتائج أن لشكل القشرية دور كبير في مقاومتها الزلزالية. [2]

ركزت معظم الدراسات السابقة على قدرة القشرية على المقاومة الزلزالية إلا أنها لم تلحظ تأثيرها على المبنى الحامل لها بطريقة إيجابية أو سلبية لذلك في هذه الدراسة سننظر إلى الخصائص الزلزالية في المنشأ الحاوي على قبة.

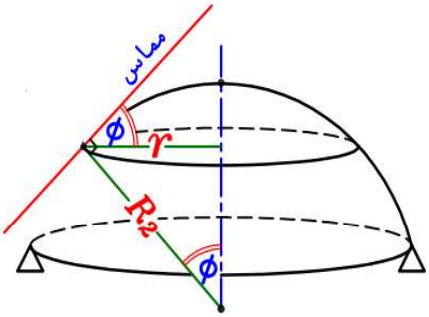
5. فرضيات البحث:

تم استخدام طريقة الدفع المتتالي في التحليل الزلزالي تمت مقارنة النتائج النهائية للعينات وفق هذه الطريقة. ومقارنة صحة نمذجة القبة بعد تحليها في البرنامج المعتمد على طريقة العناصر المحدودة مع نتائج الحل اليدوي وفق النظرية الغشائية بناءً على ما جاءت به الدراسات السابقة [4]. تم اعتماد مسقط متناظر للمنشأ بفتحة مثمنة في الطابق الأخير كما هو موضح في الشكل 3. تستند القبة على المنشأ عبر أعمدة قصيرة كما هو موضح في الشكل 4. يتكون البناء من n طابق الارتفاع الطابقي 3m البناء يقاوم الأحمال الجانبية بجملته الإطارية. أبعاد المسقط المتكرر (14.6m ×14.6) بمساحة 214.44m² والفتحة المثمنة في الطابق الأخير مساحتها (53.05m²) أي ما يعادل 24.75% من مساحة المسقط. وعليه الطابق مطلق الصلابة في مستويه.

خصائص المواد كالتالي: إجهاد الخضوع لفولاذ التسليح fy=400 MPa، المقاومة المميزة للبيتون fc=30MPa.

الجدول رقم (1): عناصر القبة المدروسة

سماكة القشرية	cm 10=t
نصف قطر الدائرة الأفقية	4m=r
ارتفاع القبة	4m=F
نصف قطر الدوران	4m=R2
الزاوية المركزية	Φmax=90



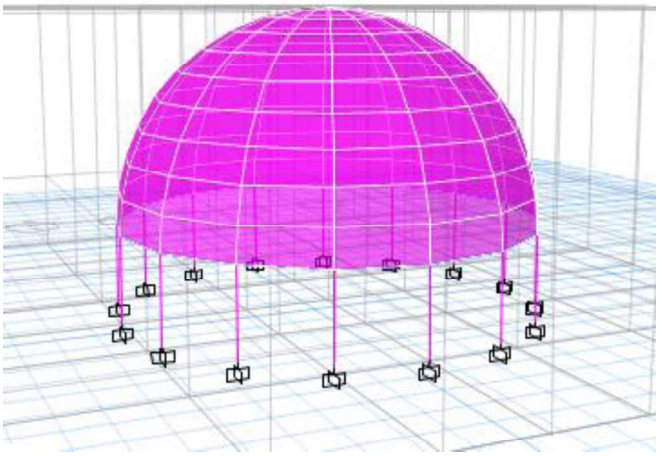
الشكل رقم (2): عناصر القبة

تم تصنيف النماذج المدروسة وفق الجول التالي:

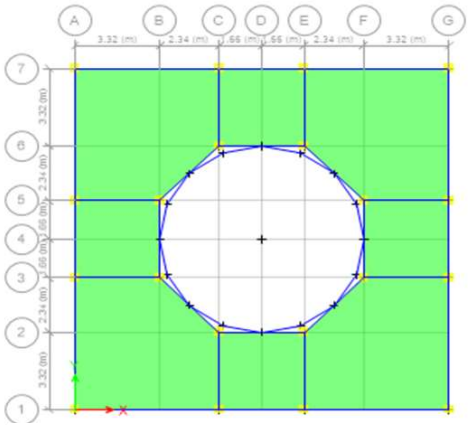
الجدول رقم (2): النماذج المدروسة

عدد الطوابق (n)	B3	B5	B10	B15	B19
النموذج المرجعي بدون قبة جملة إطارية	B3–F	B5–F	B10–F	B15–F	B19–F
النموذج بقبة جملة إطارية	B3–FD	B5–FD	B10–FD	B15–FD	B19–FD

تمت دراسة 5 نماذج مرجعية لمباني لا تحوي قبة باختلاف عدد الطوابق فيها، و تم تصميم كل مبنى مرجعي لمقاومة



الشكل رقم (4): نموذج للقبة على أعمدة قصيرة



الشكل رقم (3): مسقط المبنى

خطوات النمذجة:

تمت النمذجة على برنامج التحليل الإنشائي ETABS وفق الخطوات التالية: تم تعريف الشبكة الرأسية والأفقية للنموذج المدروس، من ثم خصائص المواد الميكانيكية وخصائص العناصر الهندسية من أعمدة وجوائز وبلاطات وجدران، بعد رسم العناصر على محاور الشبكة تم تخصيص الحمولات الساكنة عليها وفق الكود العربي السوري [7] كما تم تعريف الحمولات الزلزالية بالطريقة الستاتيكية المكافئة الثانية بتعريف العوامل الزلزالية للمنطقة المدروسة وفق الكود العربي السوري وقيم عوامل التصميم الزلزالية موجودة في الجدول3.

الجدول رقم (3) العوامل الزلزالية وفق المنطقة والجملة المقاومة للزلازل

Cv	0.38
Ca	0.29
I	1
R	8
Ct	0.073

من ثم تحليل النموذج بشكل أولي وأجراء المعايرات الزلزالية اللازمة (وفق توصيات الكود العربي السوري من حيث تحقيق الفتل والانتقالات المسموحة واللامركزية) كما تم تصميم العناصر بشكل أولي بعد تعريف تراكيب الأحمال الموافقة ووفق

الشروط التصميمية الواردة في ملحق الزلازل. [5] تم إيجاد الانتقال الهدف لكل نموذج حسب عدد الطوابق وفق العلاقة التالية حسب [5] FEMA 356 :

$$\delta_t = C_0 . C_1 . C_2 . C_3 . S_a . \frac{T_e^{\,2}}{4\pi^2}\, g$$

C_0:معامل يتعلق بالعلاقة بين الانتقال الطيفي للجملة SDOF المكافئة وانتقال السقف المحتمل لجملة MDOFويحسب بعدة طرق ، لكن يفضل أخذ القيم الموجودة في الجدول(4).

الجدول رقم (4): إيجاد قيمة المعامل C_0 وفق عدد الطوابق

عدد الطوابق	C_0
1	1
2	1.2
3	1.3
5	1.4
10+	1.5

C_1 : معامل يتعلق بالعلاقة بين الانتقال اللاخطي الاعظمي المتوقع والانتقال المحسوب الناتج عن الاستجابة الخطية المرنة ويحسب كما يأتي:

FOR $T_e \geq T_S \rightarrow C_1 = 1$

FOR $T_e < T_S \rightarrow C_1 = \frac{1+\frac{(R-1)}{T_e}}{R}$

حيث: T_S :الدور المحدد من طيف الاستجابة وهو الدور المقابل للانتقال من قسم ذي التسارع الثابت من الطيف إلى القسم ذي الرعة الثابتة من الطيف (SEC). C_2 : معامل تعديل ، لتمثيل تأثير شكل الحلقة الهيستيرية وانخفاض الصلابة والمقاومة

الجدول رقم (5): إيجاد قيمة المعامل c2 وفق مستوى الأداء

مستويات الأداء	قيم C_2		
مستويات الأداء غير العالية	$C_2 = 1$		
مستويات الأداء العالي	حالة الإشغال الفوري IO	$C_2 = 1$	
	المحافظة على الحياة LS	$FOR\ T \leq 0.1$	$C_2 = 1.3$
		$FOR\ T \geq T_s$	$C_2 = 1.1$
	تجنب الانهيار CP	$FOR\ T \leq 0.1$	$C_2 = 1.5$
		$FOR\ T \geq T_s$	$C_2 = 1.2$

المحتملة على انتقال الاستجابة العظمى ، تؤخذ قيم المعامل من الجدول 5.

C3: معامل تعديل لتمثيل الزيادة في الانتقال نتيجة الأضرار التأثير من الدرجة الثانية أو مايعرف بتأثير P–Δ ويحسب من العلاقة الآتية:

$$C_3 = 1 + \frac{|\alpha|(R-1)^{3/2}}{T_e}$$

$|\alpha|$– نسبة صلابة مابعد الخضوع إلى الصلابة المرنة الغعالة.

R– نسبة مقاومة الطلب اللامرن إلى معامل مقاومة الخضوع المحسوب وتحسب كما يأتي:

$$R = \frac{S_a}{V_y/_W}.C_m$$

S_a تسارع طيف الاستجابة عند الدور الأساسي الفعال باعتبار نسبة التخامد للمبنى.

V_y: قوة الخضوع (KN).

W: وزن المبنى (KN).

C_m:عامل الكتلة الفعالة ويؤخذ 1 إذا كان الدور أكبر من 1 ثانية، وإذا كان غير ذلك يؤخذ من الجدول6.

الجدول رقم (6): إيجاد قيمة العامل C_m وفق الجملة المقاومة للزلازل

عدد الطوابق	إطارات بيتونية مقاومة للعزوم	جدران قص بيتونية	دعائم أو جوائز رابطة
1-2	1.0	1.0	1.0
3 أو أكثر	0.9	0.8	0.8

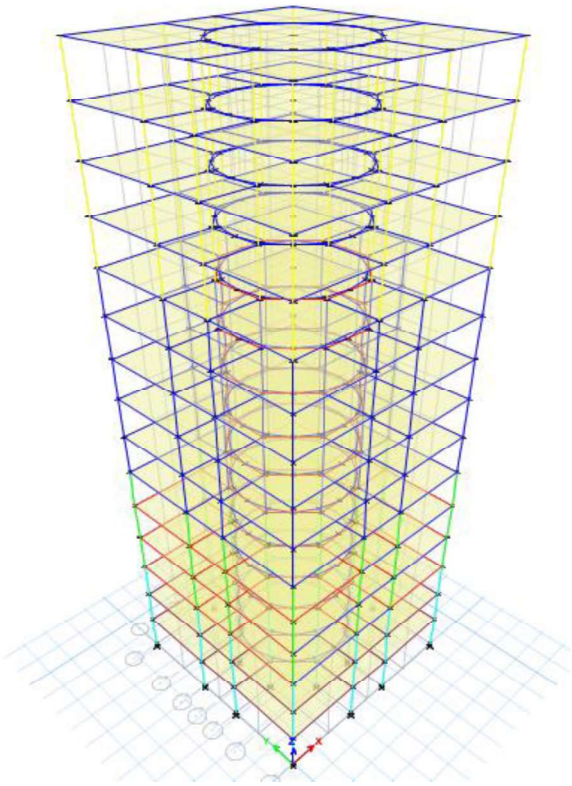
وبالتالي لدينا: لكل نموذج بحسب ارتفاع المبنى والجملة المقاومة للزلازل انتقال هدف معين كالتالي:

الجدول رقم (7): قيمة الانتقال الهدف لك مجموعة باختلاف الارتفاع

	الجملة الإطارية						
عدد الطوابق	3	4	5	6	10	15	19
C0	1.3	1.4	1.4	1.5	1.5	1.5	1.5
C1	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
C2	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.3	1.3
C3	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
Te	0.4	0.5	0.6	0.6	0.9	1.3	1.5
G	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0
Ts	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7
Sa	1.2	0.9	0.8	0.6	0.5	0.3	0.3
Δ	61.1	78.0	95.6	106.8	172.3	276.0	329.6

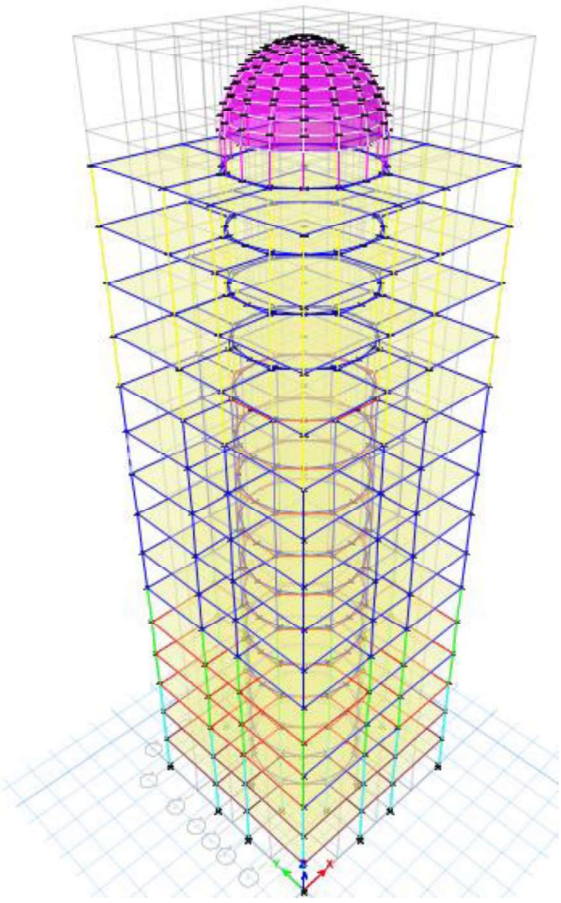
تم تعريف الحمولة الميتة كحمولة لاخطية ومن ثم تم تعريف حمولة جديدة هي حمولة دفع لاخطية ، ومن ثم تم إجراء التحليل و استخلاص النتائج.

مثال عن النماذج المدروسة قبل التحليل:



الشكل رقم (5): B15-F

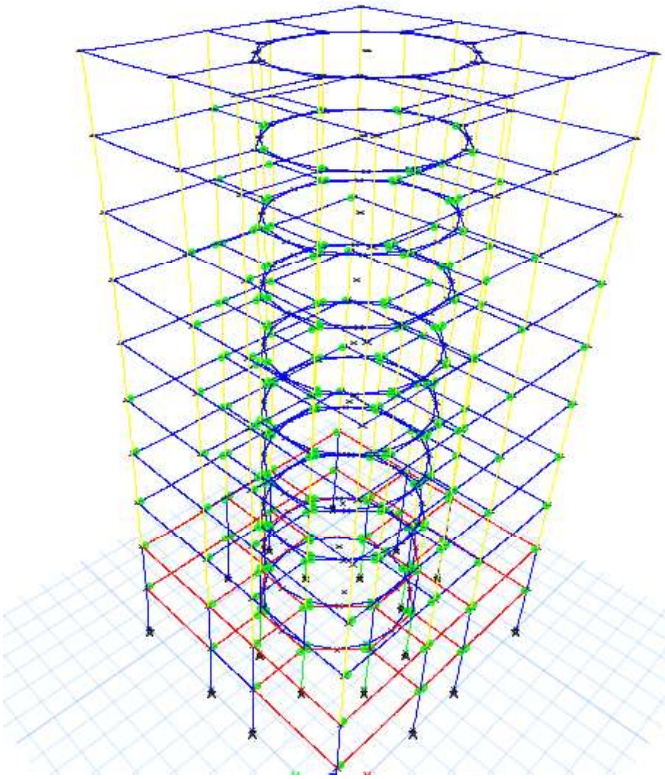
نموذج مرجعي لمبنى خمسة عشر طابقا بجملة إطارية



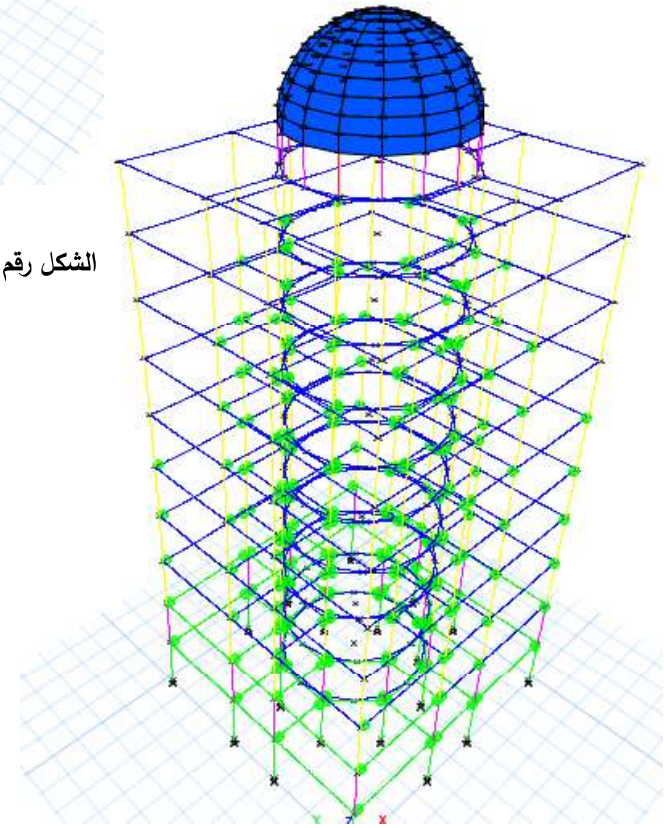
الشكل رقم (6) :نموذج B15-FD

نموذج لمبنى خمسة عشر طابقا بجملة إطارية مع قبة

مثال عن النماذج المدروسة بعد التحليل:



الشكل رقم (7): النموذج المرجعي بعد التحليل عند الانتقال الهدف



الشكل رقم (8): النموذج مع قبة بعد التحليل عند الانتقال الهدف

6. النتائج الأولية

سيتم عرض الخصائص الزلزالية لكل مجموعة بشكل منفرد.

الجدول (8) خطوات الدفع للنموذج (B3–F,B3–FD)

B3–FD					B3–F				
خطوة	الانتقال مم	قوة القص القاعدي KN	عدد المفاصل الكلي	المفاصل المتشكلة	خطوة	الانتقال مم	قوة القص القاعدي KN	عدد المفاصل الكلي	المفاصل المتشكلة
0	0.0	0	416	0	0	0	0	376	0
1	6.0	175	416	0	1	6	175	376	0
2	12.0	350	416	0	2	12	351	376	0
3	18.0	526	416	0	3	18	526	376	0
4	24.0	701	416	0	4	24	701	376	0
5	28.1	820	415	1	5	28	822	373	3
6	34.7	1008	404	12	6	35	1012	362	14
7	41.7	1203	392	24	7	41	1196	350	26
8	48.2	1377	364	52	8	48	1361	324	52
9	54.7	1542	349	67	9	54	1529	306	70
10	60.0	1662	331	85	10	60	1653	288	88

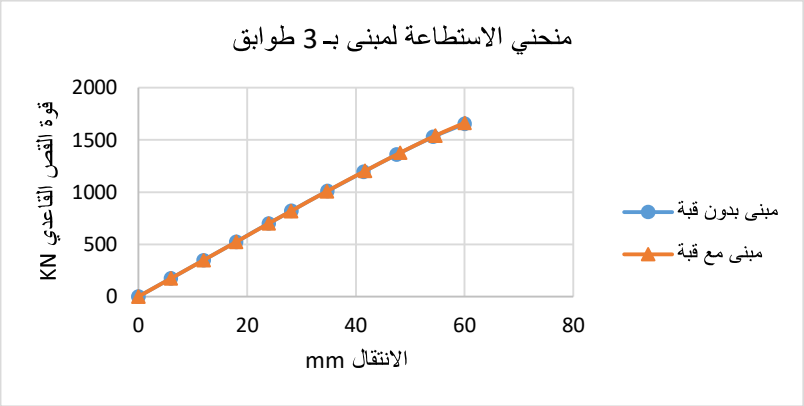
الجدول رقم (9): توزع قوة القص الطابقية (B3–F,B3–FD)

B3-FD		B3-F		Δ
قوة القص الطابقية	الطابق	قوة القص الطابقية	الطابق	
-687.15	3	-679.3213	3	-7.829
-1337.3411	2	-1328.6996	2	-8.642
-1662.4367	1	-1653.3887	1	-9.048

يبين الجدول(8) قوة القص القاعدي والانتقال الموافق وعدد المفاصل اللدنة لكل خوة من خطوات الدفع .كما يبين الجدول (9) قوة القص الطابقية في كل طابق .

- نلاحظ ازدياد قوة القص القاعدي بمقدار KN 9 بعد وضع القبة على المبنى وذلك عند الأخيرة من خطوات الدفع، كما أن وجود القبة أدى إلى تأخير ظهور المفصل اللدن في المبنى، بينما قلت عدد المفاصل المتشكلة في الخطوة الأخيرة عند الانتقال المحدد حوالي 3 مفاصل.

- في حين أدى وجود القبة إلى إعادة توزيع قوة القص الطابقية على الطوابق (انخفضت قوة القص الطابقية للطوابق جميعها).



الشكل رقم (9): (قوة القص القاعدي–الانتقال المقابل)

الشكل رقم (10): قوة القص الطابقية في كل طابق

❖ يبين الجدول(10) قوة القص القاعدي والانتقال الموافق وعدد المفاصل اللدنة لكل خوة من خطوات الدفع .كما يبين الجدول (11) قوة القص الطابقية في كل طابق .

الجدول (10) خطوات الدفع للنموذج (B5–F),(B5–FD))

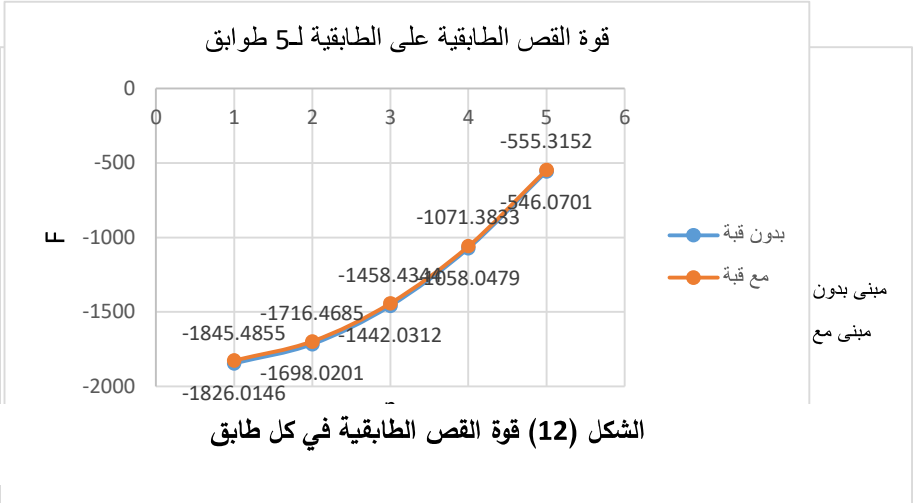
B5–FD					B5–F				
المفاصل المتشكلة	عدد المفاصل الكلي	قوة القص القاعدي KN	الانتقال مم	خطوة	المفاصل المتشكلة	عدد المفاصل الكلي	قوة القص القاعدي KN	الانتقال مم	خطوة
0	672	0	0	0	0	632	0	0.0	0
0	672	196	10	1	0	632	196	9.6	1
0	672	391	19	2	0	632	391	19.2	2
0	672	587	29	3	1	631	492	24.2	3
0	672	783	38	4	12	620	687	33.8	4
1	671	851	42	5	32	600	889	44.0	5
21	651	1063	52	6	49	583	1079	54.0	6
69	603	1273	63	7	86	546	1286	65.1	7
100	572	1472	74	8	94	538	1471	75.3	8
130	542	1671	85	9	115	517	1661	85.9	9
149	523	1833	95	10	139	493	1826	96.0	10
151	521	1845	96	11					

الجدول رقم (11): توزع قوة القص الطابقية B5–F,B5–FD

B5-F		B5-FD		
الطابق	قوة القص الطابقية	الطابق	قوة القص الطابقية	Δ
5	-555.3152	5	-546.0701	9.245
4	-1071.3833	4	-1058.0479	13.34
3	-1458.4344	3	-1442.0312	16.4
2	-1716.4685	2	-1698.0201	18.45
1	-1845.4855	1	-1826.0146	19.47

نلاحظ ازدياد قوة القص القاعدي بمقدار 19.5 KN بعد وضع القبة على المبنى وذلك عند الخطوة الأخيرة من خطوات الدفع، كما أن وجود القبة أدى إلى تأخير ظهور المفصل اللدن في المبنى (ظهر أول مفصل لدن في النموذج الغير حاوي على قبة عند الانتقال 24مم في حين ظهر أول مفصل لدن للمبنى الحاوي على قبة عند الانتقال42مم)، بينما لم يتغير عدد المفاصل المتشكلة عند الانتقال المحدد .

- في حين أدى وجود القبة إلى إعادة توزيع قوة القص الطابقية على الطوابق بحيث زادت قوة قص الطابقية للطوابق جميعها.



الشكل (12) قوة القص الطابقية في كل طابق

الشكل رقم (11): (قوة القص القاعدي–الانتقال المقابل)

❖ يبين الجدول(12) قوة القص القاعدي والانتقال الموافق وعدد المفاصل اللدنة لكل خوة من خطوات الدفع .كما يبين الجدول (13) قوة القص الطابقية في كل طابق

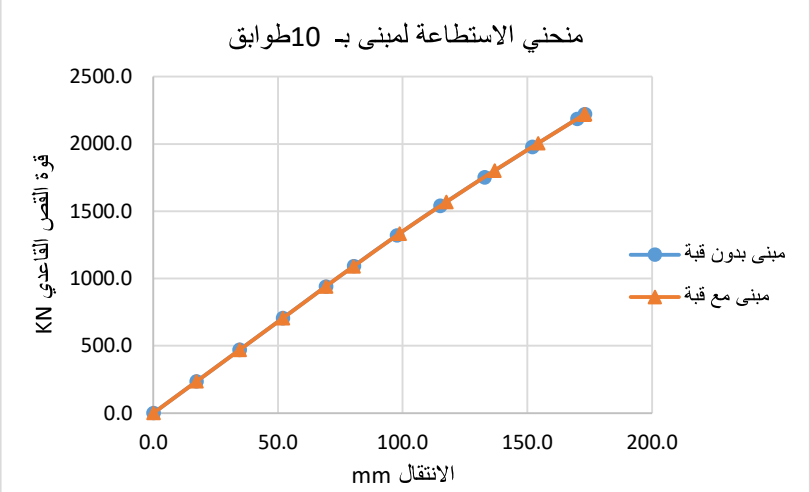
الجدول رقم (12): خطوات الدفع للنموذج (B10–F,B10–FD)

B10-F					B10-FD				
خطوة	الانتقال مم	قوة القص القاعدي KN	عدد المفاصل الكلي	المفاصل المتشكلة	خطوة	الانتقال مم	قوة القص القاعدي KN	عدد المفاصل الكلي	المفاصل المتشكلة
0	0.0	0.0	1272	0	0	0.0	0.0	1312	0
1	17.3	235.1	1272	0	1	17.3	235.1	1312	0
2	34.6	470.2	1272	0	2	34.6	470.1	1312	0
3	51.9	705.3	1272	0	3	51.9	705.2	1312	0
4	69.2	940.4	1272	0	4	69.2	940.2	1312	0
5	80.4	1092.9	1269	3	5	80.3	1091.4	1310	2
6	97.7	1322.0	1220	52	6	98.8	1335.5	1255	57
7	115.1	1539.7	1126	146	7	117.5	1569.8	1154	158
8	132.8	1753.4	1046	226	8	136.8	1801.1	1072	240
9	152.0	1979.5	988	284	9	154.4	2006.4	1023	289
10	170.0	2187.5	956	316	10	172.7	2218.9	990	322
11	173.0	2222.2	951	321	11	173.0	2221.9	990	322

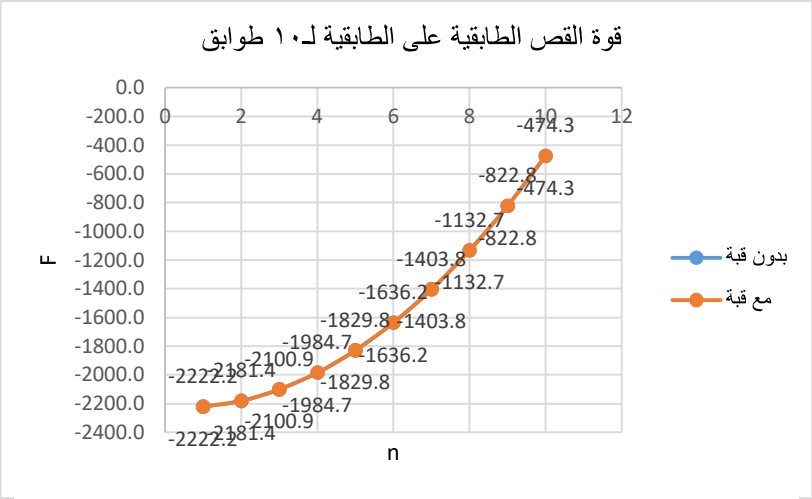
الجدول رقم (13): توزع قوة القص الطابقية (B10-F,B10-FD)

B10-F		B10-FD		
الطابق	قوة القص الطابقية	الطابق	قوة القص الطابقية	Δ
10	-474.3	10	-476.6	-2.3
9	-822.8	9	-824.6	-1.8
8	-1132.7	8	-1134.0	-1.3
7	-1403.8	7	-1404.7	-0.9
6	-1636.2	6	-1636.7	-0.5
5	-1829.8	5	-1830.1	-0.2
4	-1984.7	4	-1984.7	0.0
3	-2100.9	3	-2100.8	0.2
2	-2181.4	2	-2181.1	0.3
1	-2222.2	1	-2221.9	0.4

- نلاحظ لم تتغير قوة القص القاعدي بعد وضع القبة على المبنى وذلك عند الخطوة الأخيرة من خطوات الدفع، في حين أن وجود القبة أدى إلى تأخير ظهور أول مفصل لدن، بينما ازدادت عدد المفاصل المتشكلة عند الانتقال المحدد بمقدار 1 مفصل.في حين أدى وجود القبة إلى إعادة توزيع قوة القص الطابقية على الطوابق بحيث زادت قوة قص الطابقية للطوابق جميعها.يعتبر المبنى ذو العشر طوابق لم يتأثر بعد إضافة القبة سوى بعدد المفاصل .



الشكل رقم (13): (قوة القص القاعدي–الانتقال المقابل)



الشكل رقم (14): قوة القص الطابقية في كل طابق

❖ يبين الجدول(14) قوة القص القاعدي والانتقال الموافق وعدد المفاصل اللدنة لكل خوة من خطوات الدفع .كما يبين الجدول (15) قوة القص الطابقية في كل طابق .

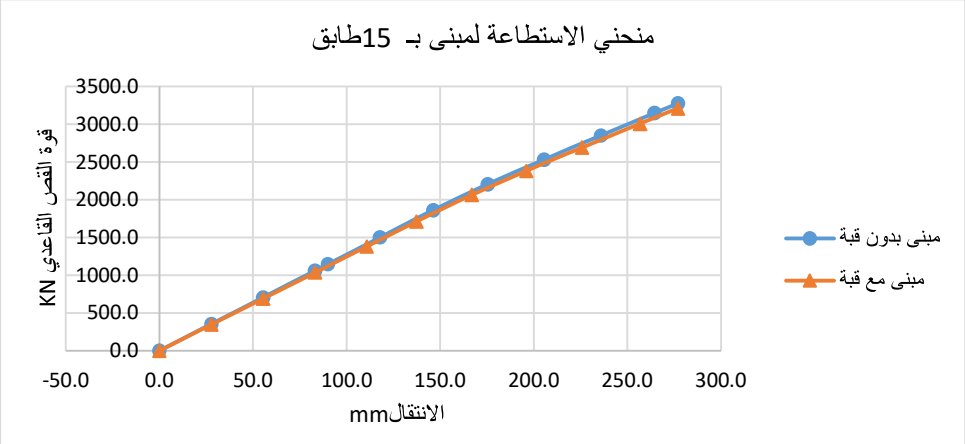
الجدول رقم (14): خطوات الدفع للنموذج (B15–F,B15–FD)

B15–F					B15–FD				
خطوة	الانتقال مم	قوة القص القاعدي KN	عدد المفاصل الكلي	المفاصل المتشكلة	خطوة	الانتقال مم	قوة القص القاعدي KN	عدد المفاصل الكلي	المفاصل المتشكلة
0	0.0	0.0	1920	0	0	0.0	0.0	1952	0
1	27.7	353.1	1920	0	1	27.7	345.1	1952	0
2	55.4	706.2	1920	0	2	55.4	690.3	1952	0
3	83.1	1059.3	1919	1.0	3	83.1	1035.4	1952	0
4	90.1	1148.1	1918	2	4	110.8	1380.5	1952	0
5	117.8	1501.2	1918	2	5	137.3	1710.7	1944	8.0
6	146.3	1863.4	1863	57	6	166.9	2063.9	1776	176
7	175.5	2205.6	1686	234	7	195.9	2380.8	1558	394
8	205.4	2531.1	1479	441	8	225.8	2691.2	1461	491
9	235.9	2852.6	1408	512	9	256.7	3006.5	1388	564
10	264.5	3148.6	1360	560	10	277.0	3210.9	1362	590
11	277.0	3277.3	1348	572					

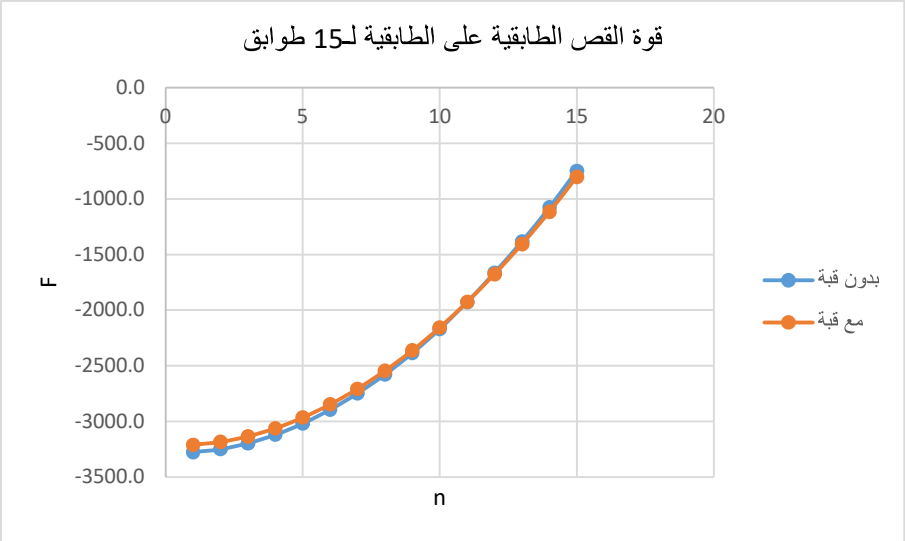
الجدول رقم (15): توزع قوة القص الطابقية (B15-F,B15-FD)

B15-F		B15-FD		
الطابق	قوة القص الطابقية	الطابق	قوة القص الطابقية	Δ
15	-747.5	15	-802.8	-55.3
14	-1076.7	14	-1116.2	-39.5
13	-1382.4	13	-1407.2	-24.8
12	-1664.7	12	-1675.9	-11.2
11	-1927.6	11	-1926.2	1.5
10	-2169.1	10	-2156.0	13.1
9	-2386.4	9	-2362.8	23.5
8	-2579.5	8	-2546.7	32.8
7	-2748.5	7	-2707.6	40.9
6	-2894.7	6	-2846.8	48.0
5	-3020.6	5	-2966.6	54.0
4	-3121.1	4	-3062.2	58.9
3	-3197.3	3	-3134.7	62.5
2	-3250.5	2	-3185.4	65.1
1	-3277.3	1	-3210.9	66.4

- نلاحظ انخفاض قوة القص القاعدي بمقدار 66 KN بعد وضع القبة على المبنى وذلك عند الخطوة الأخيرة من خطوات الدفع، في حين أن وجود القبة أدى إلى تأخير ظهور أول مفصل لدن (بحيث ظهر أول مفصل لدن في المبنى المرجعي عند الانتقال83.1مم في حين ظهر في النموذج الحاوي على قبة عند الانتقال 137مم) ، بينما ازدادت عدد المفاصل المتشكلة عند الانتقال المحدد بمقدار18 مفصل.
- في حين أدى وجود القبة إلى إعادة توزيع قوة القص الطابقية على الطوابق .



الشكل رقم(15) (قوة القص القاعدي–الانتقال المقابل)



الشكل رقم (16): قوة القص الطابقية في كل طابق

❖ يبين الجدول(16) قوة القص القاعدي والانتقال الموافق وعدد المفاصل اللدنة لكل خوة من خطوات الدفع .كما يبين الجدول (17) قوة القص الطابقية في كل طابق .

الجدول رقم (16): خطوات الدفع للنموذج (B19–F,B19–FD)

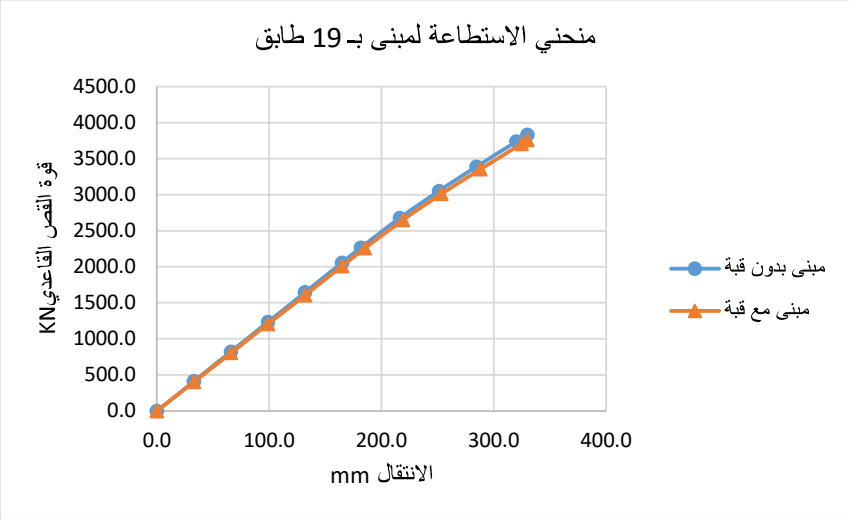
B19-F					B19-FD				
خطوة	الانتقال مم	قوة القص القاعدي KN	عدد المفاصل الكلي	المفاصل المتشكلة	خطوة	الانتقال مم	قوة القص القاعدي KN	عدد المفاصل الكلي	المفاصل المتشكلة
0	0.0	0.0	2432	0	0	0.0	0.0	2464	0
1	33.0	411.5	2432	0	1	33.0	401.9	2464	0
2	66.0	823.1	2432	0	2	66.0	803.8	2464	0
3	99.0	1234.6	2432	0	3	99.0	1205.7	2464	0
4	132.0	1646.1	2432	0	4	132.0	1607.7	2464	0
5	165.0	2057.7	2432	0	5	165.0	2009.6	2464	0
6	181.7	2266.4	2420	12.0	6	185.2	2256.0	2454	10
7	216.3	2676.8	2184	248	7	219.3	2650.9	2220	244
8	251.2	3052.6	1924	508	8	253.5	3011.8	2011	453
9	284.9	3390.8	1769	663	9	288.3	3355.2	1794	670
10	320.2	3737.8	1720	712	10	325.0	3707.4	1728	736
11	330.0	3833.4	1710.0	722	11	330.0	3754.8	1719	745

الجدول رقم (17): توزع قوة القص الطابقية (B19-F,B19-FD)

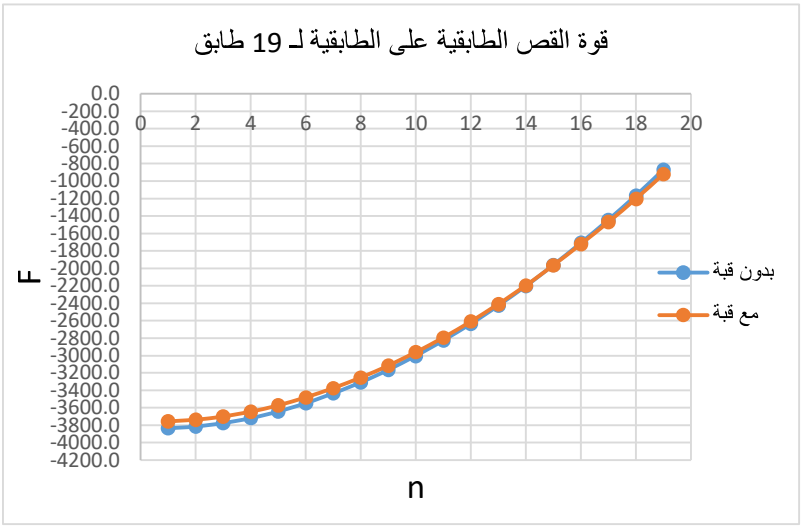
B19-F		B19-FD		
الطابق	قوة القص الطابقية	الطابق	قوة القص الطابقية	Δ
19	-870.0	19	-922.3	-52.3
18	-1165.6	18	-1204.8	-39.3
17	-1444.7	17	-1471.6	-26.9
16	-1707.4	16	-1722.7	-15.3
15	-1962.6	15	-1966.6	-4.0
14	-2203.4	14	-2196.8	6.6
13	-2427.2	13	-2410.8	16.5
12	-2635.8	12	-2610.1	25.7
11	-2827.4	11	-2793.3	34.2
10	-3003.5	10	-2961.6	41.9
9	-3164.4	9	-3115.4	49.0
8	-3307.8	8	-3252.4	55.4
7	-3433.7	7	-3372.8	60.9
6	-3546.5	6	-3480.5	65.9
5	-3641.1	5	-3571.0	70.1
4	-3716.8	4	-3643.3	73.4
3	-3774.2	3	-3698.2	76.0
2	-3812.9	2	-3735.2	77.7
1	-3833.4	1	-3754.8	78.6

- نلاحظ انخفاض قوة القص القاعدي بمقدار 78 KN بعد وضع القبة على المبنى وذلك عند الخطوة الأخيرة من خطوات الدفع، في حين أن وجود القبة أدى إلى تأخير ظهور أول مفصل لدن، بينما ازدادت عدد المفاصل المتشكلة عند الانتقال المحدد بمقدار 18 مفصل.

- أدى وجود القبة إلى إعادة توزيع قوة القص على الطوابق.



الشكل رقم (17):(قوة القص القاعدي–الانتقال المقابل)



الشكل رقم (18): قوة القص الطابقية في كل طابق

يظهر الجدول (18) الدور الأساسي للاهتزاز والكتلة المساهمة الموافقة لكل نموذج من النماذج المدروسة.

كما تم حساب الفرق كنسبة مئوية.

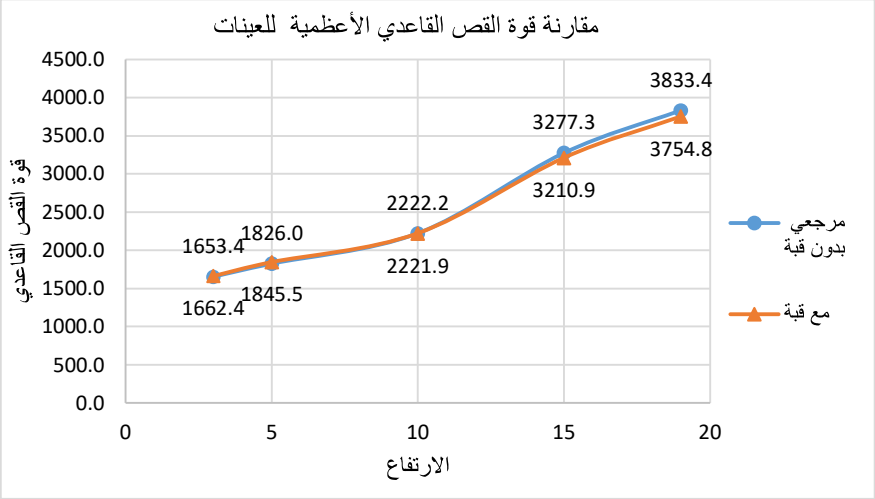
الجدول رقم (18): الدور الأساسي للاهتزاز لكل نموذج ونسبة الكتلة المساهمة الموافقة له.

	الدور الأساسي للاهتزاز	نسبة مساهمة الكتلة الموافقة	ΔT%	Δm%
F–3–ND	0.93	76%		
90F–3–D	0.97	90%	4.3	18.4
F–5–ND	1.41	78%		
90F–5–D	1.45	70%	2.8	−10.3
F–10–ND	2.25	75%		
90F–10–D	2.3	76%	2.2	1.3
F–15–ND	2.95	84%		
90F–15–D	2.97	78%	0.68	−7.14
F–19–ND	3.27	75%		
90F–19–D	3.3	75%	0.92	0

إن وجود القبة أدى إلى زيادة الدور الأساسي للاهتزاز في جميع النماذج وبلغت أقصى زيادة حوالي4.3%

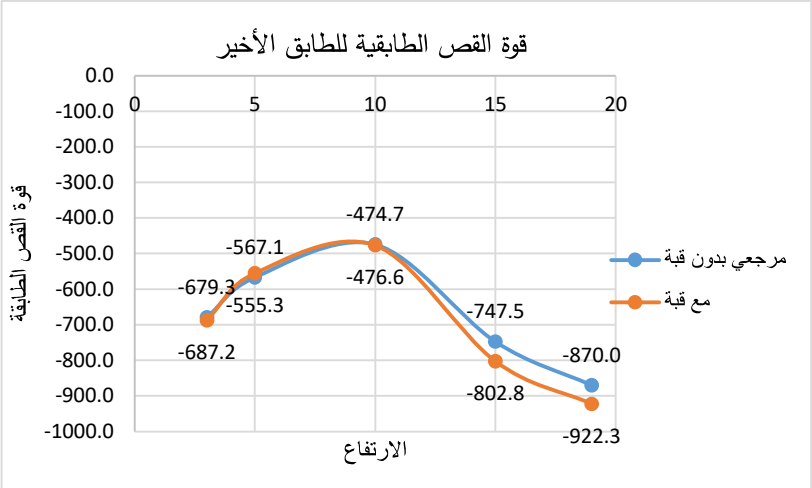
إن نسبة مساهمة الكتلة في الدور الأساسي للاهتزاز بلغت أقصى زيادة لها 18%.

يظهر الشكل (19) مقارنة النتائج النهائية للتحليل(عند الخطوة الأخيرة من الدفع) لجميع العينات ،حيث يظهر المحور الأفقي ارتفاع الطابق الموافق للعينة ، والمحور الشاقولي قيمة قوة القص القاعدي .



الشكل رقم (19): مخطط علاقة (V–n) عند الانتقال الهدف

يظهر الشكل (20) مقارنة النتائج النهائية للتحليل (عند الخطوة الأخيرة من الدفع) لجميع العينات، حيث يظهر المحور الأفقي ارتفاع الطابق الموافق للعينة، والمحور الشاقولي قيمة قوة القص الطابقية للطابق الأخير.



الشكل رقم (20): مخطط علاقة (F–n) عند الانتقال الهدف

7. الاستنتاجات

بمقارنة نتائج المجموعات الكلي نستنتج ما يلي:

1- إن تأثير إضافة القبة على قوة القص القاعدي للمباني ذات الجمل الإطارية يعتبر ضئيل في النماذج المدروسة وهو يزداد مع زيادة الارتفاع، فقد بلغ أكبر فرق 78KN وذلك من أجل النموذج ذو الـ19 طابق وهي حوالي 2.5%.

2- ازدادت قوة القص الطابقية في الطابق الحامل للقبة في جميع النماذج لتبلغ أعلى زيادة في المبنى ذو الـ 15 طابق حيث بلغت نسبة الزيادة حوالي7.3%.

3- ازداد عدد المفاصل المتشكلة في المبنى عند الانتقال الهدف بعد إضافة القبة في جميع النماذج ماعدا النموذج ذو الـ 3 طوابق. في حين أدى وجود القبة إلى تأخير ظهور أول مفصل لدن في المبنى المرجعي من أجل جميع النماذج المدروسة.

4- ازداد الدور الأساسي للاهتزاز في جميع النماذج المدروسة وبلغت أقصى زيادة حوالي 4.3% من أجل العينة بـ 3 طوابق في حين ازدادت نسبة مساهمة الكتلة الموافقة حوالي18%.

9. المراجع:

References

[1] Kenawy, M. (2015). A proposed segmented precast concrete spherical cap: Geometry, structural stability and construction.

[2] Michiels, T., & Adriaenssens, S. (2017). Identification of key design parameters for earthquake resistance of reinforced concrete shell structures. *Engineering Structures*, *153*, 411-420.

[3] Abdalla, J. A., & Mohammed, A. S. (2008, October). Dynamic characteristics of large reinforced concrete domes. In *The 14th World Conference on Earthquake Engineering*.

[4] Ghebreselasie, H. M., & Situ, Y. (2015). *Structural Analysis of Thin Concrete Shells* (Master's thesis, NTNU).

[5] FEMA 356,2000 Prestandard and Commentary for the Rehabilitaion of Building,Federal Emergency Magement Agency.

[6] الكود العربي السوري لتصميم وتنفيذ المنشأت الخرسانية المسلحة 2013 الملحق (2).

[7] الكود العربي السوري لتصميم وتنفيذ المنشأت الخرسانية المسلحة 2012 الكود الأساس.

[8] "تصميم الأبنية البيتونية المسلحة لمقاومة أحمال الرياح والزلازل بالاستعانة ببرنامج ETABS2018"
د.م ربيع الصفدي دمشق 2020.