Comprehensive Journal of Science
Volume (10), Issue (37), (NOV. 2025)
SICST2025, www.sicst.ly
ISSN: 3014-6266

مجلة العلوم الشاملة
عدد خاص بالمؤتمر الدولي الثالث للعلوم والتقنية
المجلد (10)، العدد (37)، (نوفمبر2025)
ردمد: 3014-6266

دراسة تأثير الفتحات على البلاطات لبرج خرساني باستخدام التحليل الاستاتيكي غير الخطي بطريقة العناصر المحددة (دراسة مقارنة)

Study of the Effect of Openings on Slabs in a Concrete Tower Using Nonlinear Static Analysis with Finite Element Method (Comparative Study)

م. إلهام العارف[*1]، أ.د حسن عبد الله [2]

[*1] طالبة دراسات عليا بقسم الهندسة المدنية، كلية الهندسة صبراتة، جامعة صبراتة، ليبيا

[2] أستاذ بقسم الهندسة المدنية، كلية الهندسة صبراتة، جامعة صبراتة، ليبيا

[*] **البريد الإلكتروني :** Elhamhassan293@gmail.com

Received: 30-09-2025; Revised: 10-10-2025; Accepted: 31-10-2025; Published: 25-11-2025

الملخص:

تُعد البلاطات الخرسانية المسلحة أحد العناصر الإنشائية الأساسية، التي تلعب دورًا رئيسيًا في نقل الأحمال وتوفير الصلابة الجانبية للمباني الخرسانية. غالبًا ما تحتوي هذه البلاطات على فتحات لخدمة المتطلبات المعمارية والميكانيكية والكهربائية، مما يؤثر على سلوك المنشأ تحت الأحمال الزلزالية. يهدف هذا البحث إلى دراسة تأثير وجود فتحات في البلاطات على السلوك غير الخطي لبرج خرساني باستخدام تحليل الدفع ومقارنة منحنيات السعة. تمثّلت ألية عمل هذه الدراسة في استخدام بيانات لبرج أسطواني مُصمّم سابقًا من قبل المكتب الاستشاري الهندسي التركي نوديوس ومنفّذ في مدينة طرابلس المسمّى ببرج الفندق والمكون من 32 طابق حيث تمّ عمل فتحات في بعض البلاطات، وتمّ تنفيذ أسلوب نمذجة غير خطية باستخدام طريقة العناصر المحددة لكل من البلاطات والجدران، ثمّ أُجري بعد ذلك تحليل الدفع لمقارنة النتائج عند نقطة الأداء، مقارنة البلاطات التي تحتوي على فتحات مع البلاطات بدون فتحات. أظهرت نتائج الدراسة أن تأثير الفتحات على الإزاحة عند نقطة الأداء كان محدودًا مع فروقات طفيفة لقوة القص لكن البلاطات التي بها فتحات أثرت على توزيع العزوم والقص والهبوط محليًا وهذا يدل على أنّ الجدران تتحمل معظم القوى الجانبية لذلك البلاطات حتى مع وجود فتحات بها لا تؤدي إلى انهيار للمبنى وهذا يشير إلى ضرورة مراعاة هذه الفتحات عند تصميم الأبراج لضمان الأداء الأمثل والسلامة الانشائية.

الكلمات المفتاحية: البلاطات الخرسانية، النمذجة غير الخطية، طريقة العناصر المحددة، تحليل الدفع، نقطة الأداء.

Abstract:

Reinforced concrete slabs are one of the basic structural elements, playing a key role in transferring loads and providing lateral stiffness to concrete buildings. These slabs often contain openings to service architectural, mechanical, and electrical requirements, which affect the behavior of the structure under seismic loads. This research aims to study the effect of openings in slabs on the nonlinear behavior of a concrete tower using pushover analysis and comparison of capacity curves. The mechanism of this study consisted of data for a

cylindrical tower previously designed by (NODUS Engineers Consulting CO.LTD.) the Turkish engineering consulting office NODUS, known as the Hotel Tower, consisting of 32 floors. Openings were made in some of the slabs. A nonlinear modeling approach was implemented using the finite element method for both the slabs and walls. A comparative pushover analysis was then conducted to compare the results at the performance point, comparing slabs containing openings with slabs without openings. The results of the study showed that the effect of openings on displacement at the performance point was limited, with slight differences in shear strength. However, slabs with openings affected the distribution of moments, shear, and settlement locally. This indicates that the shear walls resist most of the lateral forces; therefore, the slabs, even with openings, do not lead to the collapse of the building. This highlights the importance of considering these openings in the design of high-rise buildings to ensure optimal performance and structural safety.

Keywords: Reinforced concrete slabs, nonlinear modeling, finite element method, pushover analysis, performance point**.**

مقدمة:

تـلعب البلاطات الخرسانية المسلحة دورًا أساسيًا في الأبراج الخرسانية من حيث نقل الأحمال وتوفير الصلابة الجانبية. ومع ذلك، فإن التصميمات الحديثة غالبًا ما تتطلب وجود فتحات في البلاطات لخدمة الأغراض الميكانيكية والكهربائية وهو ما قد يغير من مسار انتقال الأحمال مما يؤثر على الاستجابة الانشائية للمنشأ تحت الأحمال المختلفة وخاصة الأحمال الزلزالية وهو ما يتطلب تقييمًا دقيقًا لتأثيرها، ويُعد تحليل الدفع من أبرز أدوات التقييم الزلزالي التي تعتمد على منحنى السعة لتحديد نقطة الأداء لأجل الحصول على تمثيل أكثر واقعية لأداء المباني العالية. في هذا البحث، تمّ التركيز على دراسة تأثير الفتحات في البلاطات على السلوك غير الخطي لبرج خرساني مكوّن من 32 طابقًا، وذلك باستخدام تحليل الدفع وقد تمّ اعتماد أسلوب نمذجة غير خطيّة لكل من الـبلاطات والجـدران باستخـدام طـريقـة العنـاصر المحـددة. تهدف هذه الـدراسـة إلى تـحلـيل الفرق في الأداء من حيث الإزاحة الجانبية وقوة القص عند نقطة الأداء بين حالتين (وجـود فتـحات في البلاطات وعدم وجودها) ممـا يسـاهم في تـحسـيـن منهجيـات التصمـيم وتحـقيق مـستويات أعلى من السـلامة والموثوقية في الأبـراج الـخرسانية الـحديـثة.

1.1 مشكلة الدراسة

إنّ معظم الدراسات تقوم بنمذجة البلاطات في المباني الخرسانية المسلحة خطيًا وتتجاهل السلوك غير الخطي للخرسانة والتسليح، وهذا قد يؤثر على دقة التنبؤ بسلوك المباني خاصةً في حالة وجود فتحات كبيرة بالبلاطات.

2.1 أهداف الدراسة

هدفت هذه الدراسة إلى:

1. تحليل السلوك غير الخطي للبلاطات الخرسانية باستخدام نماذج المواد غير الخطية.

2. دراسة تأثير الفتحات في البلاطات على الصلابة والأداء الانشائي للبرج الخرساني عند التحميل الجانبي والرأسي.
3. اقتراح توصيات تحقق أهداف الدراسة.

3.1 دراسات سابقة

في هذا البند نعرض بعض الدراسات السابقة ذات العلاقة بموضوع الدراسة باختصار وذلك على النحو التالي:

دراسة قام بها (Haneef, Vimala;2019) عن تأثير فتحات البلاطات بنسبة 10% إلى 40% على السلوك الزلزالي لمبنى متعدد الطوابق باستخدام تحليل الدفع، المنهجية المتبعة في الدراسة تمّ نمذجة مبنى مكون من 10 طوابق باستخدام برنامج ETABS مع إجراء تحليل الدفع، أظهرت النتائج أنّ فتحات البلاطات تؤثر بشكل كبير على القوى القصوى والانحراف حيث كانت النسبة المثلى للفتحات هي20% وأنّ التحليل الزلزالي باستخدام تحليل الدفع يوفر معلومات قيمة عن سلوك المبنى تحت الأحمال الجانبية [1].

دراسة قام بها (Ayman et al;2023) عن تحليل تأثير أنظمة البلاطات المختلفة (صلبة، بلوك مجوف، بلاطات مسطحة) على السلوك غير الخطي لمباني خرسانية مسلحة متعددة الطوابق تحت تأثير الزلازل، المنهجية المتبعة في الدراسة تمّ تطوير نماذج ثلاثية الأبعاد لمباني بارتفاعات 5 و10 و15 طابق باستخدام برنامج ETABS مع إجراء تحليل ديناميكي وغير خطي، أظهرت النتائج أن البلاطات المسطحة والبلوك المجوف تؤدي إلى زيادة الانحرافات والتشوهات مقارنة بالبلاطات الصلبة [2].

دراسة قام بها (Babita,Sreeja;2015) عن تقييم الأداء الزلزالي لمبنى متعدد الطوابق مع وجود فتحات بالبلاطات باستخدام تحليل الدفع لتحديد تأثير هذه الفتحات على سلوك المبنى تحت الأحمال الجانبية، أظهرت النتائج أن الفتحات تؤثر بشكل كبير على توزيع القوى والانحرافات داخل المبنى [3].

دراسة قام بها (Ozan et al;2025) عن مقارنة سلوك المباني الخرسانية المسلّحة متعددة الطوابق تمّ في هذه الدراسة نمذجة مبنى مكوّن من 6 طوابق باستخدام برنامج ETABS مع إجراء تحليل الدفع وتحليل تاريخ الزمني أظهرت النتائج أن كلا الطريقتين مفيدتان لكن طريقة التحليل الدفع أسرع وأبسط وتعطي فكرة تقريبية عن أداء المبنى في حين طريقة التحليل التاريخ الزمني أدق لأنه يأخذ في الاعتبار التأثيرات الديناميكية والزمنية [4].

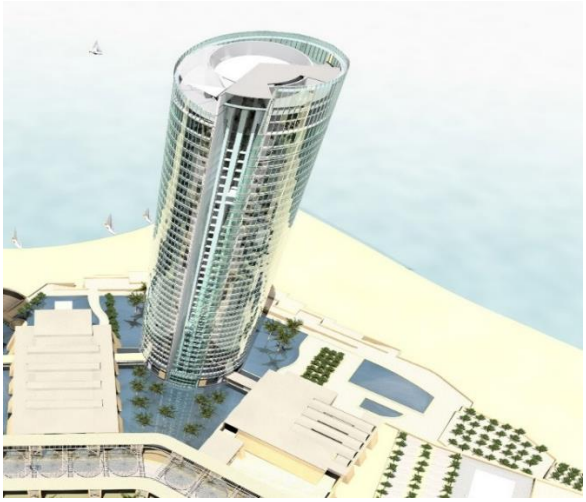
4.1 التعريف بالبرنامج المستخدم

البرنامج المستخدم في هذه الدراسة هو برنامج (ETABS V21.1.0 version)، يُعد من أشهر البرامج الهندسية المتخصصة في تحليل وتصميم المباني متعددة الطوابق. يتميز بقدرته على إجراء التحليل الخطي وغير الخطي، بالإضافة إلى تصميم العناصر الإنشائية وفقًا للعديد من الأكواد العالمية. يوفر

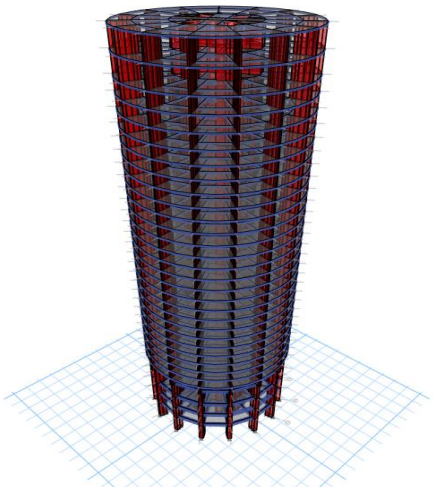
البرنامج بيئة نمذجة ثلاثية الأبعاد دقيقة تشمل الجدران، البلاطات، الأعمدة، الكمرات، الأساسات مع إمكانية إدخال تأثيرات الأحمال المختلفة مثل الأحمال الميتة والحية والرياح والزلازل. كما يدعم تحليل الاستجابة الزلزالية بعدّة طرق، مثل التحليل الاستاتيكي غير الخطي، التحليل الديناميكي غير الخطي. يستخدم ETABS بشكل واسع في المشاريع الهندسية نظرًا لمرونته وسهولة إدخال النماذج المعقدة وإخراج تقارير مفصلة ودقيقة [5].

2. وصف حالة الدراسة

يعرض هذا البند وصف عام لحالة الدراسة وهو برج أسطواني خرساني مسلّح الذي يُسمّى ببُرج الفندق المصمم سابقًا من قبل المكتب الاستشاري الهندسي التركي نوديوس والمنفذ في مدينة طرابلس، حيث يحتوي على 32 طابق وقطره 36 متر وارتفاعه 116 متر، نظام بلاطات الأسقف هي نظام بلاطة مسطّحة بسمك يتراوح من 200 مم إلى 300 مم؛ أمّا الجدران تمّ تصميمها بسمك يتراوح من 250 مم إلى 600 مم ونظام الأساس للمبنى هو أساس حصيري بسمك 200 سم، على عدد من الخوازيق المستطيلة بأبعاد 2م× 1م وبطول 26 متر (Barret). والشكل (1) يوضح بُرج الفندق أمّا الشكل (2) يوضح محاكاة ثلاثية الأبعاد للبُرج [6].



الشكل (1) بُرج الفندق [6]

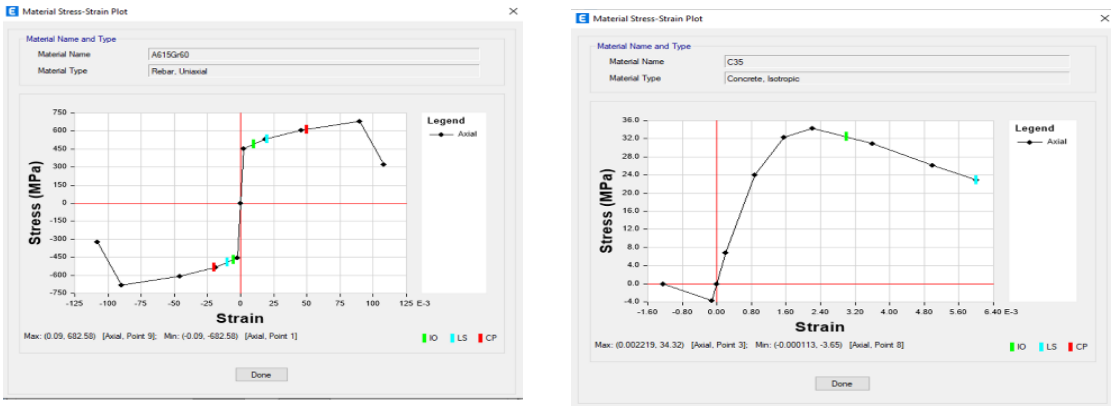


الشكل (2) محاكاة ثلاثية الأبعاد للبُرج [6]

3. ألية عمل الدراسة

تهدف هذه الدراسة إلى تقييم تأثير وجود الفتحات في البلاطات الخرسانية على السلوك غير الخطي للبرج الخرساني وذلك باستخدام تحليل الدفع، أنّ أولى خطوات للنمذجة غير خطيًا هي تمّ تعريف المواد على أنها غير خطية (الخرسانة وحديد التسليح) وذلك من خلال إدخال منحنيات الإجهاد والانفعال التي تبيّن

السلوك غير الخطي للمواد حيث استخدم نموذج ماندر للخرسانة ونموذج القطع المكافئ البسيط لحديد التسليح كما موضح في الشكل (3) ؛ في هذا البند سنعرض ألية عمل هذه الدراسة.



أ. نموذج ماندر للخرسانة

نموذج القطع المكافئ البسيط لحديد التسليح

الشكل (3) منحنيات المواد غير الخطية

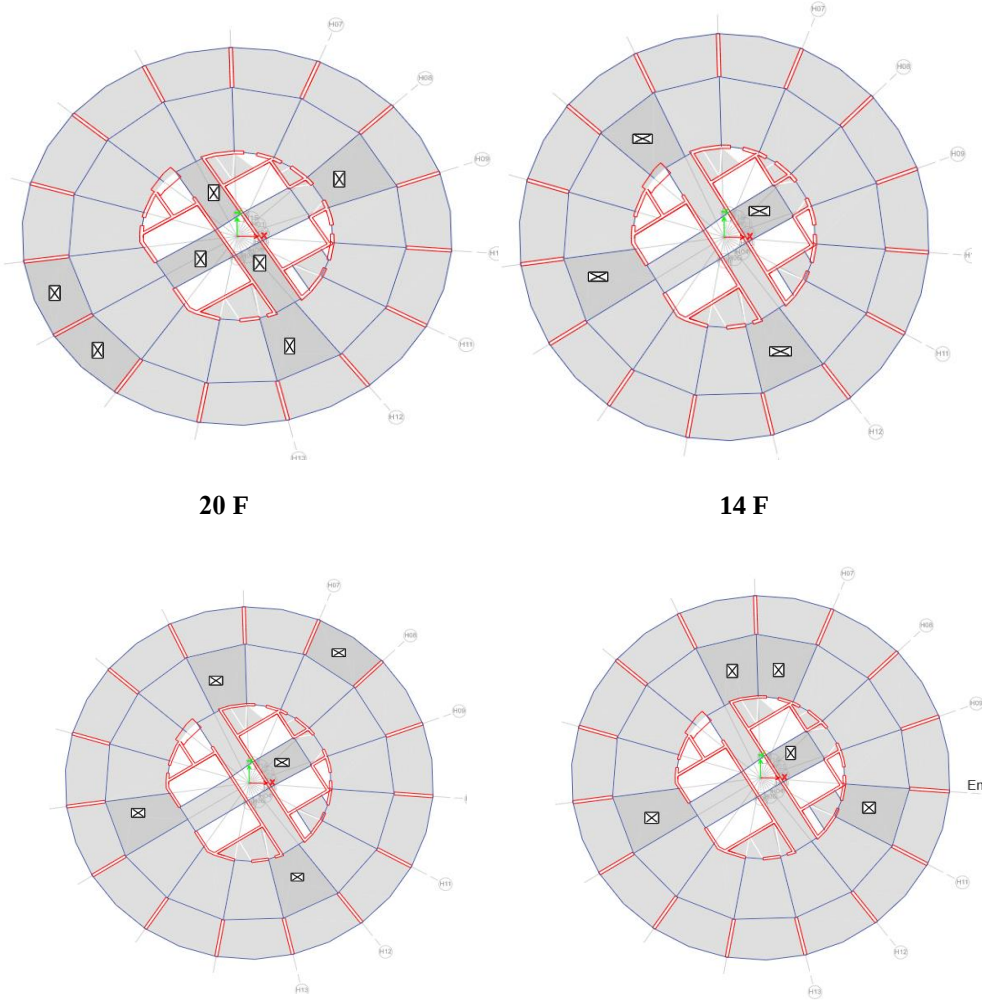
1.3 حالات المقارنة

تمّ اعتماد أسلوب للنمذجة غير خطيّة لكل من البلاطات والجدران باستخدام طريقة العناصر المحددة (بلاطات بدون فتحات وبلاطات بفتحات) لأجل المقارنة بينهما، حيث تمّ عمل فتحات ببلاطات بعض الطوابق بالبرج وهي موضحة بالجدول (1) ، والشكل (4) يوضح بعض البلاطات التي بها فتحات.

الجدول (1) فتحات ببلاطات بعض الطوابق بالبرج

رمز الطابق	عدد الفتحات	أبعاد الفتحات
RF	10	$1.5m \times 1m$
30F	6	$1.5m \times 1m$
26F	5	$0.9m \times 1.3m$
24F	4	$1.2m \times 1m$
23F	5	$1m \times 1.3m$
17F	6	$0.9m \times 1.5m$
16F	4	$1.8m \times 0.8m$
14F	4	$1.8m \times 0.8m$
11F	5	$1.6m \times 0.8m$
9F	6	$1m \times 1.2m$
5F	4	$1.5m \times 1m$

$1.7m \times 0.9m$	2	2F
$1.3m \times 1.3m$	5	1F



20 F **14 F**

الشـكل (4) بعض البلاطات التي بها فتحات

2.3 إجراء التحليل غير الخطي

تمّ اجراء التحليل الاستاتيكي غير الخطي (تحليل الدفع) لتمثيل السلوك الزلزالي للبرج حيث تمّ تطبيق إزاحة متحكمة عند سقف البرج مقدارها 4.632 متر لأجل تمثيل السلوك غير الخطي عندها حيث تمّ تحديد نقطة الأداء لكل حالة بناءً على منحنى السعة الناتج من التحليل، تمّ استخراج قيم أقصى عزوم انحناء M_{max} وأقصى قوة قص V_{max} للبلاطات عند نقطة الأداء لأجل المقارنة وتحقيق هدف الدراسة.

4. النتائج والمناقشة

يعرض هذا البند النتائج المتحصل عليها ومناقشتها لأجل المقارنة بين كل حالتين من حيث تحديد نقطة الأداء على منحنى السعة وتحديد قيم أقصى عزوم انحناء M_{max} وأقصى قوة قص V_{max} وأقصى هبوط حدث للبلاطات عند نقطة الأداء.

1.4 النتائج المتحصل عليها

1.1.4 مقارنة نتائج نقطة الأداء

تبين الجداول (2) و (3) مقارنة نتائج نقطة الأداء في حالة الإزاحة المتحكمة اتجاه x و y.

الجدول (2) مقارنة نتائج نقطة الأداء في حالة الإزاحة المتحكمة اتجاه x

نقطة الأداء	في حالة البلاطات دون فتحات	في حالة البلاطات بالفتحات	الفرق %
إزاحة (m)	0.352768	0.349434	0.945
قوة القص (KN)	42630.0949	42582.148	0.112

الجدول (3) مقارنة نتائج نقطة الأداء في حالة الإزاحة المتحكمة اتجاه y

نقطة الأداء	في حالة البلاطات دون فتحات	في حالة البلاطات بالفتحات	الفرق %
إزاحة (m)	0.349486	0.346800	0.769
قوة القص (KN)	43386.4997	43311.9232	0.172

2.1.4 مقارنة نتائج البلاطات عند نقطة الأداء

الجدول (4) يبين مقارنة نتائج أقصى قوة قص للبلاطات والجدول (5) يبين مقارنة نتائج أقصى عزم للبلاطات.

لجدول (4) مقارنة نتائج أقصى قوة قص للبلاطات عند نقطة الأداء

رمز الطابق	الإزاحة المتحكمة اتجاه y		الإزاحة المتحكمة اتجاه x	
	أقصى قوة قص لبلاطة بدون فتحات KN	أقصى قوة قص لبلاطة بفتحات KN	أقصى قوة قص لبلاطة بدون فتحات KN	أقصى قوة قص لبلاطة بفتحات KN
RF	7.15	8	15.691	35.304
30F	7.15	8	23.536	31.743
26F	8	10	25	25

25	25	16	8	24F
29	29	16	11.8	23F
49	39	16	11.8	17F
49	49	16	14.65	16F
59	49	16	14.65	14F
59	49	20	16.8	11F
59	49	20	16.8	9F
59	49	20	12	5F
80	39	80	39	2F
49	39	49	39	1F

الجدول (5) مقارنة نتائج أقصى عزم للبلاطات عند نقطة الأداء

رمز الطابق	الإزاحة المتحكمة اتجاه y		الإزاحة المتحكمة اتجاه x	
	أقصى عزم لبلاطة بدون فتحات KN m	أقصى عزم لبلاطة بفتحات KN m	أقصى عزم لبلاطة بدون فتحات KN m	أقصى عزم لبلاطة بفتحات KN m
RF	10	15	12.749	14.710
30F	10	15	7.845	11.768
26F	10	15	39	49
24F	10	15	49	49
23F	10	15	59	59
17F	10	15	78	100
16F	10	15	100	100
14F	10	15	100	120
11F	7.8	15	100	120
9F	7.8	12	100	120
5F	15	25	100	120
2F	10	20	120	200
1F	7.8	12	78	150

3.1.4 مقارنة بين نتائج أقصى هبوط في البلاطات

الجدول (6) يبين مقارنة نتائج أقصى هبوط في البلاطات.

الجدول (6) مقارنة نتائج أقصى هبوط في البلاطات

رمز الطابق	أقصى هبوط لبلاطة بدون فتحات (m)	أقصى هبوط لبلاطة بفتحات (m)	الفرق (%)
RF	0.034205	0.034300	0.278
30F	0.013725	0.013763	0.276
26F	0.033549	0.033630	0.241
24F	0.033352	0.033432	0.240
23F	0.036478	0.036571	0.511
17F	0.034329	0.034409	0.233
16F	0.020761	0.020849	0.424
14F	0.032120	0.032187	0.209
11F	0.025997	0.026035	0.146
9F	0.023834	0.023883	0.205
5F	0.006125	0.006146	1.145
2F	0.004180	0.004228	1.148
1F	0.004318	0.004346	0.648

2.4 مناقشة النتائج

1.2.4 مناقشة مقارنة نتائج نقطة الأداء

أظهرت النتائج الاتي:

1. أن التغير في الإزاحة صغير في كل الحالات (تقريبًا أقل من 1%) هذا يعني أن وجود الفتحات في البلاطات لم يؤثر كثيرًا على مرونة المنشأ عند نقطة الأداء.
2. الفرق بين قوة القص قليل وهذا يدل على أن النمذجة بطريقة العناصر المحددة لكل المنشأ تجعل المبنى يتصرف كهيكل واحد.

2.2.4 مناقشة مقارنة نتائج البلاطات عند نقطة الأداء

أظهرت النتائج الاتي:

1. أن الاتجاه x هو المتحكم في الاستجابة الجانبية مما أدى إلى فروقات واضحة بين الحالتين (مع فتحات وبدون فتحات) مقارنة بالاتجاه y الذي أظهر تأثيرًا أقل.

2. زيادة ملحوظة في قيم قوى القصوى في حالة وجود الفتحات بالطوابق العليا وهذا بسبب انخفاض الصلابة وإعادة توزيع القوى أمّا الطوابق السفلى فحافظت على فروق أقل نسبيًا.
3. تأثير الفتحات على العزوم كان أكبر من تأثيرها على القوى القصوى حيث أظهرت النتائج عند الطوابق السفلى زيادة واضحة في العزوم نتيجة تراكم الأحمال وإعادة توزيعها بعد ضعف البلاطات التي بها فتحات.

3.2.4 مناقشة مقارنة نتائج أقصى هبوط في البلاطات

أظهرت النتائج أن وجود فتحات في البلاطات أدى إلى زيادة طفيفة في القيم القصوى للهبوط وهذه الزيادات تعني أن الفتحات أثّرت على صلابة البلاطة لكن التأثير محلي، حيث تتراوح الزيادة النسبية في أقصى هبوط بين حوالي 0.146% و1.148% بينما الزيادة بالقيم صغيرة جدًا مما يعكس هذا السلوك انخفاضًا في الصلابة المحلية حول الفتحات مع إعادة توزيع جزء من الحمل إلى الجدران والكمرات.

5. الاستنتاجات والتوصيات

1.5 الاستنتاجات

من خلال مناقشة النتائج تمّ التوصل إلى الاستنتاجات الآتية :

- أنّ البلاطات التي بها فتحات أثرت على توزيع العزوم والقص والهبوط محليًا لكن المبنى ككل لازال قويًا وهذا يدل على أن البلاطات ليست العنصر الحرج في تحليل الدفع.
- أنّ الجدران تتحمل معظم القوى الجانبية لذلك البلاطات حتى مع وجود فتحات بها لا تؤدي إلى انهيار للمبنى.
- أنّ تحليل الدفع يتوقف عند نقطة الأداء والتي قد تتحقق قبل حدوث انهيار للبلاطات.
- أنّ السيطرة على اتجاه معين للقوى القصوى والعزم الأقصى تعتمد على توزيع الصلابة في المبنى واتجاه وعدد الفتحات في البلاطات وعلى أسلوب النمذجة الذي تمّ استخدامه.

2.5 التوصيات

- إجراء دراسات مستقبلية لمقارنة تأثير أنواع مختلفة من الفتحات (دائرية، مربعة، مستطيلة) على السلوك غير الخطي للمباني.
- دراسة تأثير الفتحات على الأعمدة والكمرات المجاورة لأن إعادة توزيع القوى قد تسبب في زيادة العزوم أو قوى القص على هذه العناصر.
- مقارنة نتائج تحليل الدفع مع التحليل الديناميكي غير الخطي للتحقق من الدقة.

المراجع

[1] Syed Haneef Ali, A Vimala. (2019) "Nonlinear Behavior of Building with Varying Percentages of Slab Opening ". International Journal of Engineering and Advanced Technology (IJEAT) ISSN: 2249-8958 (Online), Volume-9 Issue-1

[2] Ayman Abd-Elhamed, Sayed Mahmoud & Khalid Saqer Alotaibi. (2023) " Nonlinear analysis of reinforced concrete buildings with different heights and floor systems". Scientific reports.

[3] Babita Elizabath Baby, Sreeja S. (2015) " Analysis of Buildings with Slab Discontinuity. International Journal of Science and Research (IJSR) ISSN (Online): 2319-7064

[4] Ozan İnce , Burak Çakı, Ömer F. Taş, Ömer F. Osmanlı, Muhammet Karaton, Erkut Sayın. (2025) " Nonlinear time history and pushover analysis of a multi- storey reinforced concrete building ". 4th International Civil Engineering & Architecture Conference 15-17 May 2025, Trabzon, Türkiye

[5] Hussain, R. R., Wasim, M., & Hasan, S. (2016). Introduction to ETABS. In Computer Aided Seismic and Fire Retrofitting Analysis of Existing High Rise Reinforced Concrete Building. Vol.222, pp.15-21. Springer, Dordrecht.

[6] Nodus engineers consulting co.ltd. ,Burj Al baher Project Tower Hotel, Tripoli Libya 2005