Studying the Effect of Wind Loads on a 16 Story RC Building Using Nonlinear Static Analysis (Dual System)

Dr. Gandhi JAHJAH[*]
Dr. Bassam HWAIJA[**]
Ahmad NASSER[***]

(Received 10 / 1 / 2025. Accepted 26 / 1 / 2025)

□ ABSTRACT □

This research aims to evaluate wind effect on high-rise RC-buildings using nonlinear static analysis, and to compare performance objectives with acceptance criteria, with the aim of improving their structural design resulted under severe wind loads.

A model of a 16-storey RC Dual System (Frame-Shear Wall) building was studied. Designed according to the Syrian Arab Code and its Appendixes, to evaluate the nonlinear structural response under the influence of wind loads.

The 3D model was created and analyzed using finite element software (ETABS 2018), taking into account the nonlinear behavior of the concrete and rebar and the geometric nonlinearity through P-Δ effects.

Results shows that Demand/Capacity Ratio (DCR) values for some structural frame elements (columns and beams) have exceeded the acceptance criteria limits. In this paper structural modifications were made to achieve required response.

Keywords: Tall Buildings; Performance-based design; Wind Load; Non-linear Static analysis.

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

[*] **Professor, Department Of Structural Engineering, Latakia University, Latakia, Syria.**
**** Professor, Department Of Structural Engineering, Latakia University, Latakia, Syria.**
***** Postgraduate student (Ph.D.) , Department Of Civil Engineering, Latakia University, Latakia, Syria.**

دراسة تأثير أحمال الرياح على بناء مكون من 16 طابق من البيتون المسلح باستخدام التحليل الستاتيكي اللاخطي (جمل ثنائية)

د. **غاندي جحجاح** [*]

د. بسام حويجة [**]

أحمد ناصر [***]

(تاريخ الإيداع 10 / 1 / 2025. قُبِل للنشر في 26/ 1 / 2025)

□ ملخّص □

يهدف هذا البحث إلى تقييم تأثير الرياح على المباني العالية من البيتون المسلح باستخدام التحليل الستاتيكي اللاخطي، ومقارنة أهداف الأداء مع حدود معايير القبول، بغرض تحسين تصميمها وتقليل المخاطر الناجمة عن أحمال الرياح الشديدة.

تمت دراسة نموذج لبناء مؤلف من 16 طابق ذو جملة ثنائية (إطارات – جدران قص) من البيتون المسلح، والمصممة وفق الكود العربي السوري وملحقاته، لتقييم الاستجابة الانشائية اللاخطية تحت تأثير أحمال الرياح.

تمت النمذجة باستخدام برنامج العناصر المنتهية (ETABS 2018) حيث تم إنشاء نموذج ثلاثي الأبعاد، والتي تأخذ بعين الاعتبار السلوك اللاخطي للبيتون وحديد التسليح واللاخطية الهندسية من خلال تأثيرات P–Δ.

أظهرت النتائج أن نسب (الطلب / استطاعة) لبعض العناصر الإنشائية من الأعمدة والجوائز قد تجاوزت حدود معايير القبول، وتم إجراء تعديلات إنشائية لتحقيق الاستجابة المطلوبة.

الكلمات المفتاحية: المباني العالية – التصميم القائم على الأداء – أحمال الرياح – التحليل الستاتيكي اللاخطي.

حقوق النشر : مجلة جامعة تشرين– سورية، يحتفظ المؤلفون بحقوق النشر بموجب الترخيص CC BY–NC–SA 04

[*] **أستاذ – قسم الهندسة الإنشائية – كلية الهندسة المدنية – جامعة اللاذقية – اللاذقية – سورية.**

[**] **أستاذ – قسم الهندسة الإنشائية – كلية الهندسة المدنية – جامعة اللاذقية – اللاذقية – سورية.**

[***] **طالب دراسات عليا (دكتوراه)– قسم الهندسة الإنشائية– كلية الهندسة المدنية– جامعة اللاذقية– اللاذقية– سورية.**

مقدمة:

تؤثر الرياح على المنشآت من خلال قوى ضغط ديناميكية تتغير وفقاً لحجم الدوامات وسرعة الهبات. حيث تُطبق الدوامات الكبيرة التي تقترب من المنشأة ضغطاً متوازناً على المنشأة، بينما تؤثر الدوامات الأصغر بشكل غير متوازن حسب مواقع تأثيرها على السطح الكلي. وهذا يشكل خطراً كبيراً خاصة على المنشآت الطويلة والنحيفة التي تستجيب ديناميكياً لأحمال الرياح [1].

في بدايات تصميم المباني العالية، كانت حمولات الرياح تُعتبر عنصراً ثانوياً مقارنة بالحمولات الشاقولية مما جعلها تحتل الصدارة في الدراسات. ولكن مع تقدم العلم والتقنيات أصبح من الواضح أن حمولات الرياح تحمل أهمية كبيرة [2].

إن الأخذ بالحسبان لتأثير كل من الرياح والزلازل أمراً أساسياً لتحسين استدامة واستقرار المباني البيتونية المسلحة. كما تُظهر الدراسات أن تصميم المباني غير المنتظمة يتطلب تحليلاً دقيقاً لتأثير الرياح، مما يساعد في تحسين توزيع الأحمال عبر المنشأة وتقليل التشوهات [4-3].

يعد تصميم المباني العالية للتأثيرات الناجمة عن الرياح مهمة صعبة للمهندسين. تشمل بعض الأسباب الرئيسية مواجهة ضغط الرياح الشديد الذي يؤثر على نظام الواجهة والاهتزازات الديناميكية الكبيرة المرافقة. بالإضافة إلى ذلك، تكون الهياكل الطويلة والنحيفة أكثر عرضة لتأثيرات الرياح مثل الاهتزاز المتزامن بقوة. علاوة على ذلك، هناك قلق يتعلق بالقدرة غير المرنة للمنشأة إذا كان حمل الرياح أكبر من الحمل الزلزالي. وبما أن العناصر يجب أن تكون مصممة لقوى أكبر، فقد يؤثر ذلك سلباً على المرونة [5].

من الناحية العملية، هناك العديد من الحلول للتغلب على هذه التحديات وتخفيف الاهتزازات الناجمة عن الرياح والتي يمكن تصنيفها بشكل أساسي على أنها تعديل التصميم الإنشائي، واستخدام أنظمة التخميد المساعدة [6].

هناك بعض المعايير المهمة التي يجب مراعاتها عند تصميم المباني لمقاومة الرياح [7]:

1. المقاومة والاستقرار.
2. التعب في العناصر الإنشائية الناجم عن تردد حمولات الرياح.
3. الانتقال الجانبي المفرط، الذي يمكن أن يسبب تشقق القواطع الداخلية والاكساءات الخارجية، وتشوهات دائمة في العناصر غير الإنشائية.
4. التواتر والسعة للانتقالات التي يمكن أن تسبب إزعاج الشاغلين للمباني العالية.
5. احتمال تشكل صدمة عنيفة تعمل على زيادة سعة سرعات الرياح على المباني المتاخمة.
6. تشكل ظاهرة الطنين لاهتزازات المبنى مع اهتزازات المصاعد.

أهمية البحث وأهدافه:

تعد الرياح أحد العوامل البيئية المؤثرة بشكل كبير على المباني العالية، وبالتالي فإن فهم تأثيرها على الاستجابة الديناميكية لهذه المباني يساعد في تحسين استقرارها وسلامتها.

يهدف هذا البحث إلى تقييم تأثير الرياح على المباني العالية من البيتون المسلح (جمل ثنائية) باستخدام التحليل الستاتيكي اللاخطي، ومقارنة أهداف الأداء مع حدود معايير القبول المتوفرة، بغرض تحسين تصميمها وتقليل المخاطر الناجمة عن أحمال الرياح الشديدة.

طرائق البحث ومواده:

تم في هذا البحث الاعتماد على التحليل العددي بطريقة العناصر المنتهية كأداة لبلوغ أهداف بحثنا، وتم إجراء التحليل الستاتيكي اللاخطي الذي يأخذ بعين الاعتبار اللاخطية المادية والهندسية باستخدام برنامج التحليل الانشائي ETABS 2018.

في حين تستمر قواعد البناء الحالية في استخدام مناهج "قائمة على الكودات"، فهناك اهتمام واضح بالتحول إلى مناهج التصميم القائم على الأداء لتحمل المخاطر الطبيعية[8] .

1- التصميم القائم على الأداء (PBD, Performance Based Design):

تم استخدام تطبيقات المبادئ الأساسية لأساليب التصميم القائم على الأداء (PBD) في الأصل في تصميم المباني لتحمل الزلازل ثم تبعها أحمال الرياح. تستند إجراءات تصميم المباني النموذجية على اختيار العناصر وتقسيمها وتفصيلها لتلبية المعايير الوصفية المحددة التي تم تعريفها في كودات البناء. في الأساس تم تعيين العديد من بارامترات هذه المعايير لتقديم مستوى معين من الأداء عند تعرضها للأحمال. ومع ذلك غالباً ما تكون مستويات الأداء المتوقعة غير محددة، ولا يزال من غير الواضح ما إذا كانت التصميمات النهائية قادرة على تقديم الأداء المطلوب أم لا [8].

- تقسم أهداف الأداء إلى ثلاثة أهداف رئيسية هي [9]:

- **راحة الشاغلين (Occupant Comfort):** في هذا الهدف يجب أن يبقى النظام الإنشائي مرناً، بحيث لا تسبب أفعال الرياح بإزعاج ساكني المبنى.
- **التشغيلي (Operational):** في هذا الهدف يجب أن يبقى النظام الإنشائي مرناً، بحيث لا تؤثر أفعال الرياح على الوظيفة التشغيلية للمبنى.
- **الإشغال المستمر – مقاطعة محدودة (Continuous Occupancy, Limited Interruption):** في هذه الحالة يسمح بحدوث تأثيرات لاخطية لبعض العناصر المحددة من النظام الإنشائي، دون أن يتسبب ذلك بانهيار هذه العناصر (ومستوى الأداء هذا قيد الاهتمام في هذه الدراسة).

ويبين الجدول (1) تراكبات الأحمال اللازمة لكل هدف من أهداف الأداء:

الجدول (1): التراكبات اللازمة لكل هدف من أهداف الأداء[9]

هدف الأداء	التراكب
راحة الشاغلين و التشغيلي	$1.0D_L + L_{ex}+1.0W$
الإشغال المستمر – مقاطعة محدودة	$1.2D_L + L + 0.5(L_r \text{ or } S \text{ or } R) + 1.0W$ $0.9D_L + 1.0W$

D_L: الحمولة الميتة W: حمولة الرياح L_r: حمولة السقف L_{ex}: الحمل المباشر المتوقع أثناء الخدمة

L: الحمولة الحية R: حمولة المطر S: حمولة الثلج

أما متطلبات الأداء فتختلف تبعا للهدف وطريقة التحليل وتشمل بشكل عام السرعات، التسارعات، الانتقالات، الانزياحات العظمى والنسبية بالإضافة إلى قوى العناصر.

ونبين فيما يلي خطوات تصميم الرياح القائم على الأداء للمباني:

1. تحديد فئة الخطر، وأهداف الأداء، ومتطلبات الأداء ومعايير القبول.
2. تحديد أحمال الرياح.
3. التصميم الأولي.
4. تطوير نموذج تحليل لنظام مقاومة قوة الرياح الرئيسي.
5. تقييم معايير القبول الخاصة بنظام مقاومة قوة الرياح الرئيسي.

2- أفعال سيطرة القوة أو سيطرة التشوه [10]:

يشير الكود الأمريكي ASCE 41-13 إلى ضرورة تصنيف الأفعال التي تتعرض لها العناصر والسلوك الناتج عنها إلى أفعال تتحكم بها التشوهات (Deformation Controlled Action) أو أفعال تتحكم بها القوى (Force Controlled Action) ، ويظهر الجدول (2) سلوك العناصر الإنشائية التي تتحكم بسلوكها القوة أو التشوه في الجمل الأكثر شيوعاً.

الجدول (2): سلوك العناصر الإنشائية التي تتحكم بسلوكها القوة أو التشوه [10]

العنصر	أفعال تتحكم بها التشوهات	أفعال تتحكم بها القوى
إطارات مقاومة للعزم		
الجوائز	العزم M	القص V
الأعمدة	—	القوة المحورية P,V
العقد	—	V
جدران القص	M,V	P
الإطارات المربطة		
التربيط	P	—
الجوائز	—	P
الأعمدة	—	P
روابط القص	V	P,M
الوصلات	P,V,M	P,V,M
الديافرامات	M,V	P,V,M
1-القص يمكن أن يكون فعل يتحكم به التشوه في المنشآت ذات الإطارات العزمية الفولاذية.		
2- القوى المحورية، القص، العزم يمكن أن تكون أفعال تتحكم بها التشوهات لبعض الوصلات الفولاذية والخشبية.		
3- إذا كان الديافرام يتلقى الأحمال الأفقية من العناصر المقاومة للقوى الشاقولية أعلى مستوي الديافرام وبالتالي فإن العزم والقص يمكن اعتبارها أفعال تتحكم بها القوى.		

3- تحديد نسبة طلب / استطاعة (DCR, Demand/Capacity Ratio) [10]:

تعرف الاستطاعة الكلية للمبنى **Capacity** بأنها استطاعة العناصر الإنشائية المكونة له من حيث المقاومة وقدرة التحمل والتي تم تحديدها مسبقاً بعد إجراء تحليل مرن للمبنى تحت تأثير مختلف الأفعال وفق الكود العربي السوري الأساس وملحقاته.

أما الطلب **Demand** فهو الأفعال والحالة الإجهادية المرافقة وذلك بعد إجراء تحليل ستاتيكي لا خطي تحت تأثير أفعال الرياح وفق تراكب الأحمال الموصى بها والواردة في الجدول (1).

إن نسبة الطلب / استطاعة (D/C) تمثل القيمة التي سيتم مقارنتها مع الحدود ومعايير القبول الموصى بها.

اما معايير القبول فهي تقسم حسب Prestandard إلى [9]:

1- أفعال تتحكم بها القوى (Force Controlled Action):

يجب ألا تتجاوز نسبه الطلب إلى الاستطاعة 1 حيث أن الطلب يتم حسابة بناء على حالة التحليل اللاخطية المستخدمة في الرياح والمعتمدة في هذه الدراسة.

2- أفعال تتحكم بها التشوهات (Deformation Controlled Action):

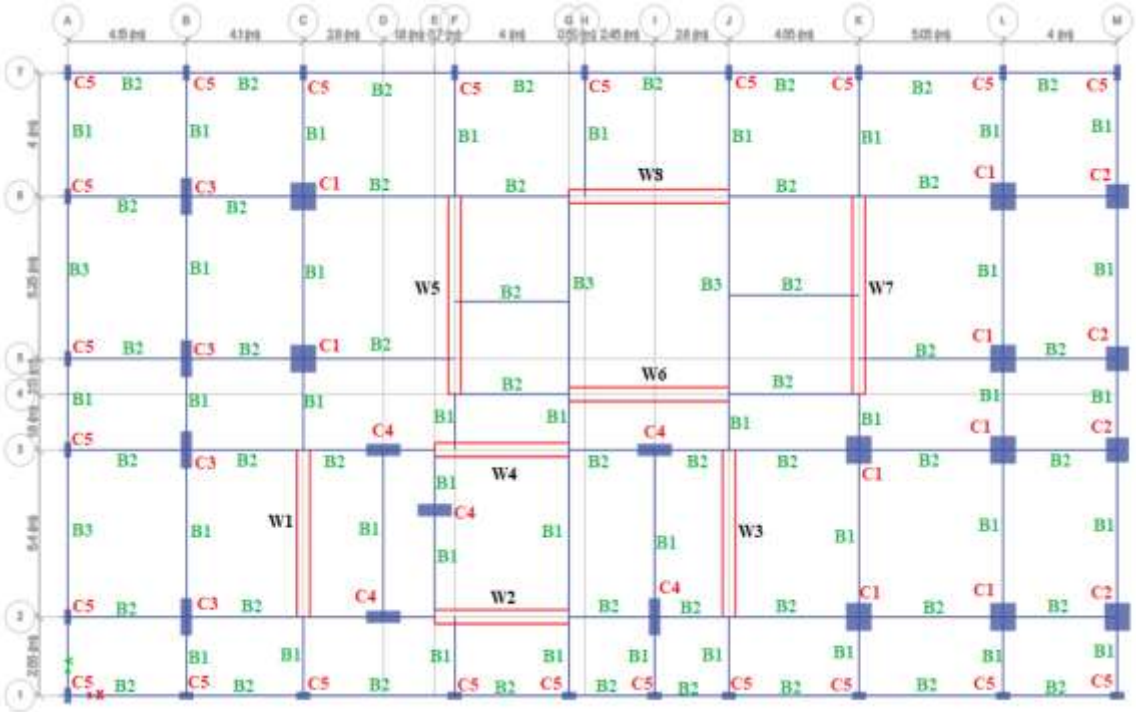
يجب ألا تتجاوز نسبة الطلب إلى الاستطاعة 1.25 حيث أن الطلب يتم حسابة بناء على حالة التحليل اللاخطية المستخدمة في الرياح والمعتمدة في هذه الدراسة.

- توصيف النموذج الإنشائي للمبنى المدروس:

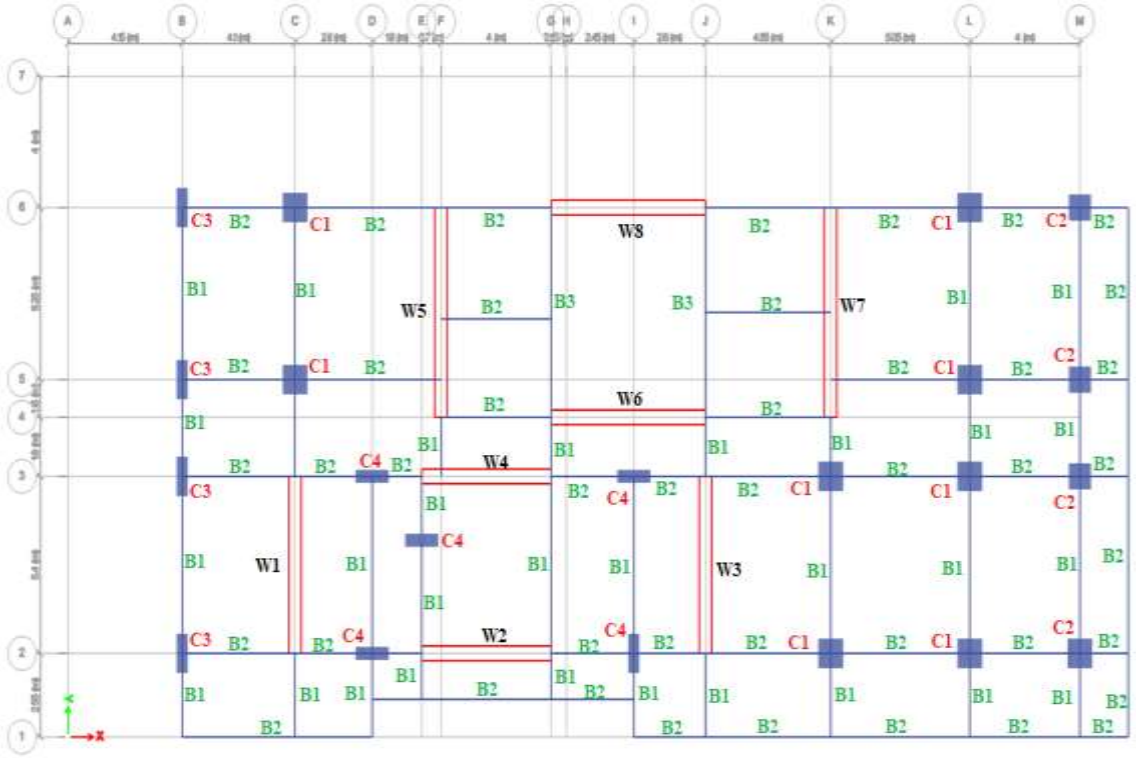
- المبنى هو عبارة عن مبنى سكني وتجاري في المنطقة الساحلية يتكون من 16 طابق.
- المساحة الطابقية: الأرضي 557 m²، الطوابق من 2 حتى 14 375 m²، والطابقين 15 و16 203m².
- ارتفاع الطوابق الأرضي 4.4 m، والطوابق من 2 حتى 8 3.5 m، والطوابق من 9 حتى 16 3.2 m.
- الحمولات الميتة والحية بحسب الكود العربي السوري.

تمت دراسة النموذج وفق الكود العربي السوري الأساس لعام 2012 وملحقاته [11]، تم اعتماد بلاطات مصمتة عاملة بالاتجاهين سماكتها 16 cm، وتبين الأشكال (2-3-4) مساقط محاور الأعمدة للنموذج المدروس، والجدول (3) معطيات أحمال الرياح، والجدول (4) أبعاد جدران القص ، والجدول (5) أبعاد الجوائز، والجدول (6) أبعاد الأعمدة.

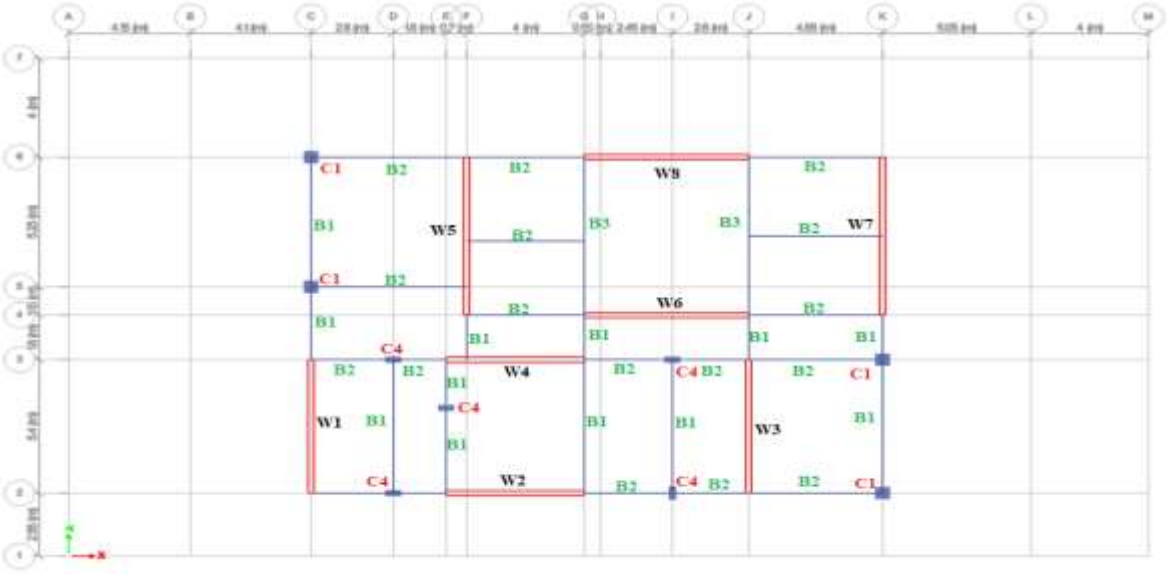
في هذه الدراسة كانت القيم المميزة لمقاومة البيتون $f'_c = 20\ MPa$ واجهاد الخضوع لفولاذ التسليح الرئيسي الطولي $f_y = 360\ MPa$ والتسليح العرضي $f_{ys} = 240\ MPa$.



الشكل (2): مسقط محاور الأعمدة للطابق الأرضي للمبنى المدروس



الشكل (3): مسقط محاور الأعمدة من الطابق 2 حتى 14 للمبنى المدروس



الشكل (4): مسقط محاور الأعمدة للطابقين 15 و16 للمبنى المدروس

الجدول (3): معطيات أحمال الرياح

سرعة الرياح الأساسية	(58 m/sec) = 129.69 mph MRI=50 years
صنف التعرض	**C:** ريف مكتظ بالأشجار، قرى، الأطراف البعيدة للمدن، المناطق المفتوحة
عامل الاتجاهية	$K_d = 0.85$ (أبنية: لتصميم الجملة المقاومة لأحمال الرياح الأساسية)

عامل مستوى سطح الأرض	$K_e = 1$
العامل الطبوغرافي	$K_{zt} = 1$
عامل تأثير الهبة القصوى	G =1.26

الجدول (5): أبعاد جدران القص وتسليحها

الموقع	الجدار	الطول cm	السماكة cm	التسليح الرئيسي	التسليح الأفقي
Story 1~4	W1-W2-W3-W4	540	35	2×6H16/m	2×5H14/m
Story 5~10	W1-W2-W3-W4	540	30	2×5H16/m	2×5H12/m
Story 11~18	W1-W2-W3-W4	540	25	2×5H14/m	2×5H10/m
Story 1~4	W5-W7	640	35	2×6H16/m	2×5H14/m
Story 5~10	W5-W7	640	30	2×5H16/m	2×5H12/m
Story 11~18	W5-W7	640	25	2×5H14/m	2×5H10/m
Story 1~4	W6-W8	560	35	2×6H16/m	2×5H14/m
Story 5~10	W6-W8	560	30	2×5H16/m	2×5H12/m
Story 11~18	W6-W8	560	25	2×5H14/m	2×5H10/m

الجدول (4): أبعاد الجوائز وتسليحها

الموقع	الجائز	h (cm)	b (cm)	التسليح السفلي	التسليح العلوي	عند المساند	الأساور
All stories	B1	60	40	6H16	4H14	2H16	2Ø8/15cm
All stories	B2	50	30	4H16	4H12	2H12	2Ø8/15cm
All stories	B3	80	30	8H16	4H14	-	2Ø8/15cm

الجدول (5): أبعاد الأعمدة وتسليحها

الموقع	العمود	الأبعاد		التسليح	
		a (cm)	b (cm)	التسليح الطولي	الأساور
Story 1	C1	90	90	32H20	6ø8/15cm
	C2	80	80	28H18	6ø8/15cm
	C3+ C4	120	40	4H20+20H16	4ø8/15cm
	C5	50	25	12H12	2ø6/15cm
Story 2	C1	90	90	32H20	6ø8/15cm
	C2	80	80	28H18	6ø8/15cm
	C3+ C4	120	40	4H20+20H16	4ø8/15cm
Story 3&4	C1	85	85	4H20+24H18	6ø8/15cm
	C2	70	70	4H18+20H16	6ø8/15cm
	C3+ C4	120	30	20H16	3ø8/15cm
Story 5&6	C1	80	80	28H18	6ø8/15cm
	C2	65	65	24H16	4ø8/15cm
	C3+ C4	120	25	16H16	3ø8/15cm
Story 7&8	C1	75	75	28H16	6ø8/15cm
	C2	60	60	20H16	4ø8/15cm

	C3+ C4	110	25	16H16	3ø8/15cm
Story 9&10	C1	70	70	4H18+20H16	6ø8/15cm
	C2	55	55	16H16	4ø6/15cm
	C3+ C4	100	25	4H16+12H14	3ø6/15cm
Story 11&12	C1	65	65	24H16	4ø8/15cm
	C2	50	50	4H16+12H14	4ø6/15cm
	C3+ C4	90	25	16H14	2ø6/15cm
Story 13&14	C1	60	60	20H16	4ø8/15cm
	C2	45	45	16H14	4ø6/15cm
	C3+ C4	75	25	14H14	2ø6/15cm
Story 15&16	C1	50	50	4H16+12H14	4ø6/15cm
	C2	40	40	12H14	4ø6/15cm
	C3+ C4	60	25	14H12	2ø6/15cm

❖ **مراحل وخطوات تنفيذ التحليل الستاتيكي اللاخطي باستخدام برنامج Etabs:**

1- إنشاء نموذج رياضي (3D) للمبنى المدروس، والموضح في الشكل (5).

2- تصميم العناصر الإنشائية بحسب الحمولات واشتراطات الكود وتعريف المقاطع بأبعادها ونسب التسليح النهائية والتحقق منها في البرنامج.

3- تعريف خواص المفصل اللدن واسنادها.

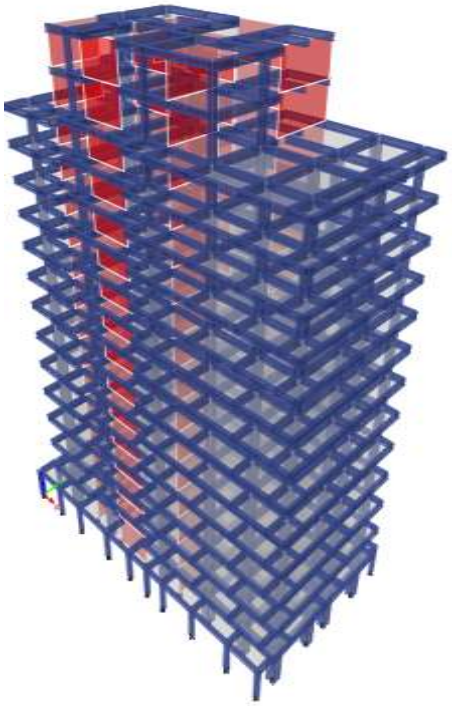
تم اعتبار العزم في الجوائز (M_3) فعل يتحكم به التشوه تم اسناد مفصل لدن يتناسب مع قدرة تحمل الجائز من حيث الأبعاد والتسليح، أما القص في الجوائز (V_3) فعل تتحكم به القوة تم تعريف مفصل لدن يأخذ بعين الاعتبار قوة القص وإسناده في طرفي كل جائز بعد إدخال قدرة تحمل القص الحدية لكل جائز على حدى، أما بالنسبة للأعمدة من البيتون المسلح تم اعتبار القوة المحورية (P) فعل تتحكم به القوة حيث يتيح البرنامج اسناد مفاصل لدنة تأخذ بعين الاعتبار عوامل تخفيض المقاومة 0.65 في حالة الضغط البسيط، و0.9 في حالة الضغط بلا مركزية كبيرة، وذلك بعد إدخال تفاصيل تسليح الأعمدة بشكل دقيق، والقوة القاصة بالاتجاهين (V_2) و(V_3) هي أفعال تتحكم بها القوة تم اسناد مفصل لدن لكلا طرفي العمود بالاعتماد على قدره تحمل القص الحدية للعمود بالاتجاهين، أما جدران القص تم دراسة تأثير القوى الناظمية المتوافقة مع عزوم الانعطاف$(P-M_3)$ ضمن المستوي وهو فعل يتحكم به التشوه حيث تم اسناد مفصل لدن بعد إدخال تفاصيل التسليح الخاصة بجدران القص.

4- تعيين بارامترات التحليل الستاتيكي اللاخطي:

- ❖ تم استخدام نمطين للتحكم بالحمولة:
1. الحمولات الشاقولية للمبنى.
2. الحمولات الجانبية التي تطبق على المبنى بشكل تدريجي انطلاقاً من الحالة الأولى (الحمولات الشاقولية المطبقة).

- ❖ تعريف اللاخطية الهندسية (من خلال تأثيرات P-Δ).
- ❖ تم استخدام التحكم بالانتقال وتحديد قيمة الانتقال الهدف للمبنى، وفرض انتقال العقدة بالاتجاهين X و Y (قيمة الانتقال الهدف من $\frac{H}{200} \sim \frac{H}{300}$ [9]).

$$\boldsymbol{\delta = \frac{H}{200} = \frac{54.1}{200} = 0.271\ m}$$



الشكل (5): النموذج التحليلي للمبنى المدروس المؤلف من 16 طابق

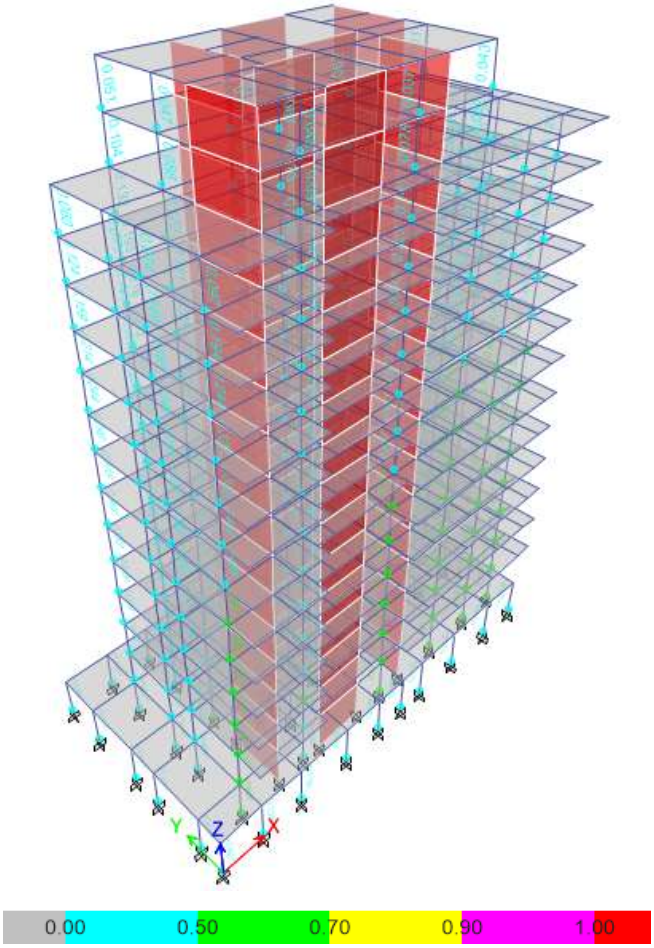
5- إجراء التحليل اللاخطي والحصول على نتائج التحليل والشكل المتشوه، وأماكن تشكل المفاصل اللدنة، ونسبة الطلب/الاستطاعة، ومستويات الأداء التي وصلت إليها.

النتائج والمناقشة:

تبين الأشكال من (6 حتى 15) نتائج تحقيق الأداء للمبنى من خلال النسبة D/C نسبة (طلب / استطاعة) لحالة الطلب الأعظمي Maximum Demand باستخدام التحليل الستاتيكي اللاخطي، حيث تم تطبيق أحمال الرياح على المبنى حسب الكود الأمريكي ASCE 7-16 [12]، مع اعتبار سرعة الرياح هي أقصى سرعة مسجلة في سجلات الأرصاد الجوية في الجمهورية العربية السورية.

القوة المحورية P في الأعمدة:

يظهر الشكل (6) نسبة (طلب / استطاعة) في الأعمدة عند إجراء التحليل الستاتيكي اللاخطي حيث أن جميع الأعمدة بقيت ضمن النسب المسموحة.



الشكل (6): نسبة الطلب/استطاعة في الأعمدة

قوة القص (V3–V2) في الأعمدة:

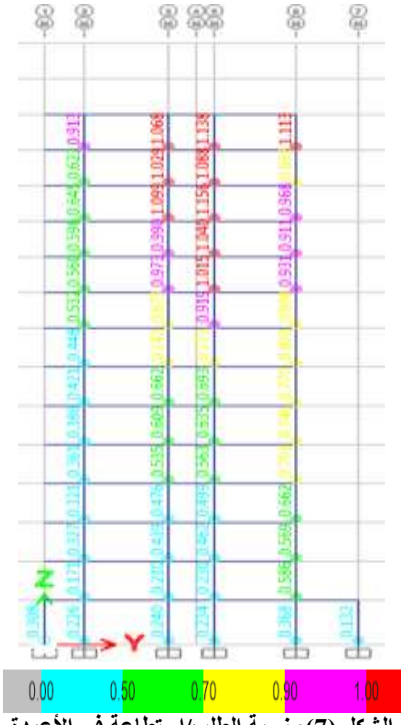
يظهر الشكل (7) نسبة (طلب / استطاعة) في الأعمدة **(V3)** وفق المحور M حيث تجاوزت النسب المسموحة في:

- الطابق 12 حتى 14 على المحور M-3.
- الطابق 10 حتى 14 على المحور M-5.
- الطابق 14 على المحور M-6.

أما الأشكال من (8 حتى 11) تظهر نسبة (طلب / استطاعة) في الأعمدة **(V2)** وذلك وفق المحاور 12 و3 و5 و6.

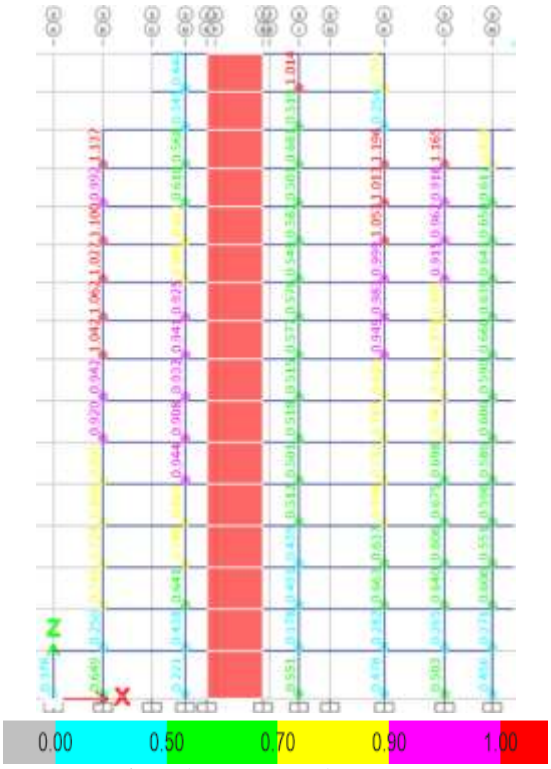
نلاحظ تجاوز نسبة (طلب / استطاعة) النسبة المسموحة وهي 1 وذلك في:

- الطابق 9 حتى 12 على المحور 2-B.
- الطابق 16 على المحور 2-I.
- الطابق 12 حتى 14 على المحور 2-K.
- الطابق 14 على المحورين 2-L و5-L.

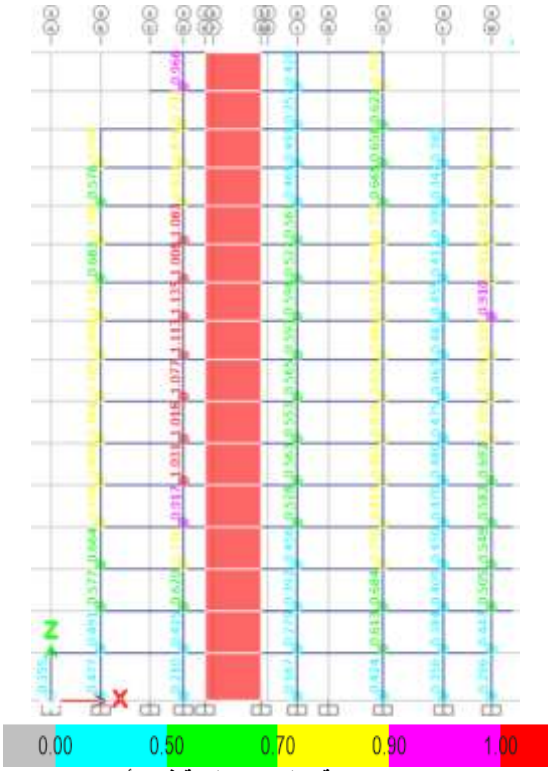


الشكل (7): نسبة الطلب/استطاعة في الأعمدة وفق المحور 3 (V3)

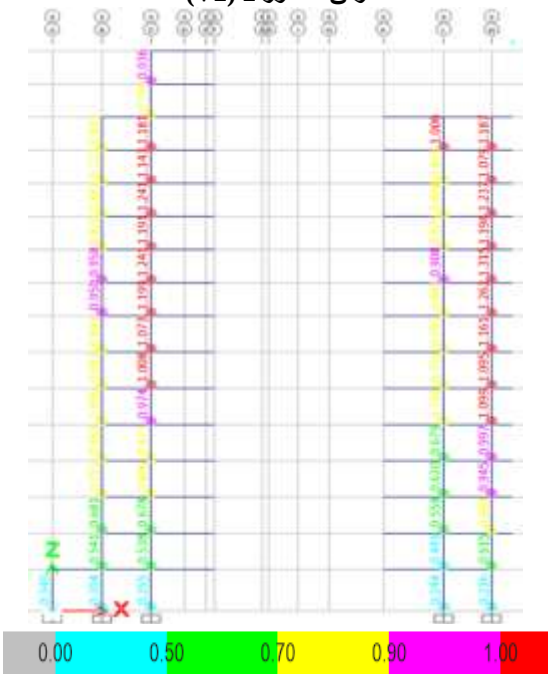
- الطابق 6 حتى 12 على المحور 3-D.
- الطابق 7 حتى 14 على المحور 5-C.
- الطابق 6 حتى 14 على المحور 5-M.



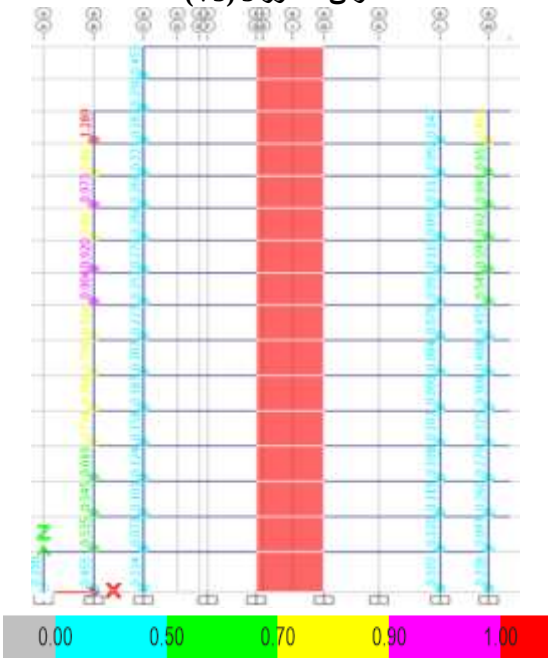
الشكل (8): نسبة الطلب/استطاعة في الأعمدة وفق المحور 2 (V2)



الشكل (9): نسبة الطلب/استطاعة في الأعمدة وفق المحور 3 (V3)



الشكل (10): نسبة الطلب/استطاعة في الأعمدة وفق المحور 5 (V2)



الشكل (11): نسبة الطلب/استطاعة في الأعمدة وفق المحور 6 (V3)

القص في الجوائز V2:

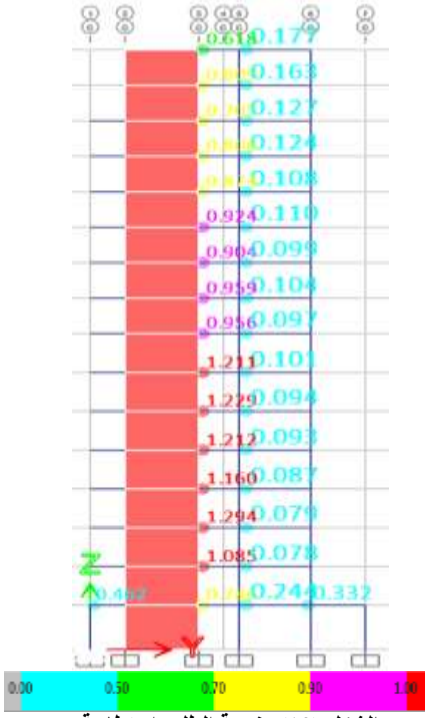
يظهر الشكل (12) نسبة (طلب / استطاعة) في جوائز الإطارات البيتونية عند التحليل اللاخطي وفق المحور 1.

نلاحظ تجاوز نسبة (طلب / استطاعة) عن النسبة المسموحة 1 وفق المحاور C-3 وC-5 وذلك في مستوي الطوابق من 2 حتى 7.

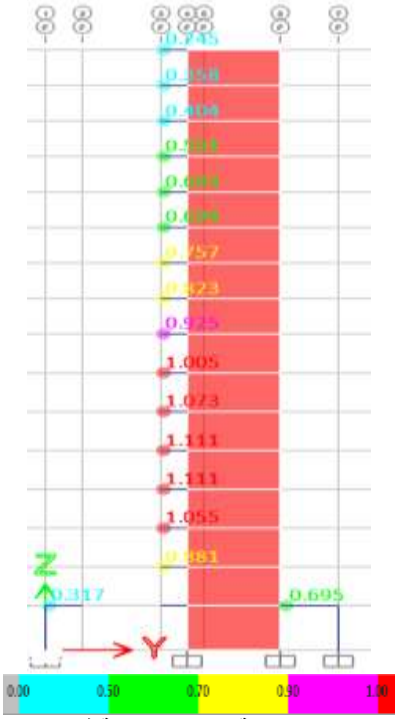
أما الأشكال (13–14–15) تظهر نسبة (طلب / استطاعة) وفق المحاور F وG وK.

نلاحظ تجاوز نسبة (طلب / استطاعة) في:

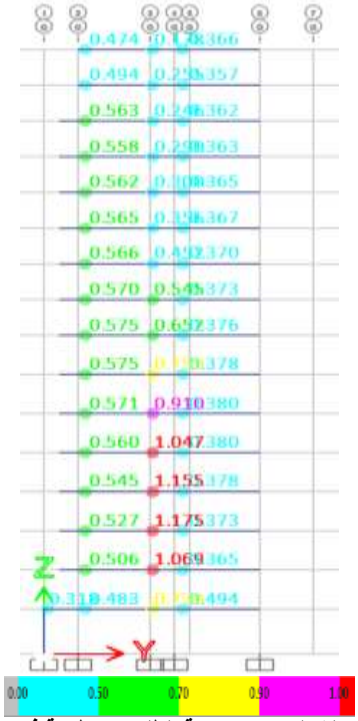
- الطابق 3 حتى 7 بين المحورين F-1 وF-4.
- الطابق 2 حتى 5 بين المحورين G-3 وG-4.
- الطابق 3 حتى 6 بين المحورين K-3 وK-4.



الشكل (12): نسبة الطلب/استطاعة في الجوائز وفق المحور C



الشكل (13): نسبة الطلب/استطاعة في الجوائز وفق المحور F



الشكل (14): نسبة الطلب/استطاعة في الجوائز وفق المحور G

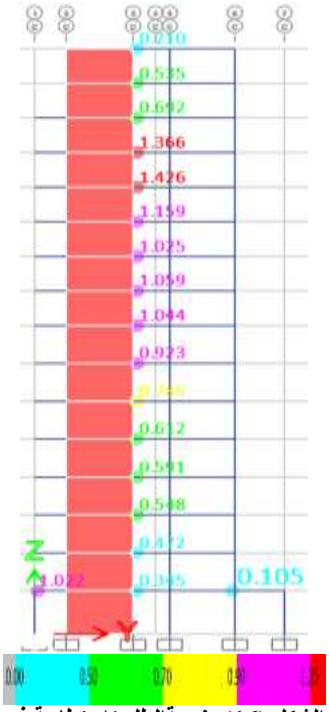
الشكل (15): نسبة الطلب/استطاعة في الجوائز وفق المحور k

العزم في الجوائز M3:

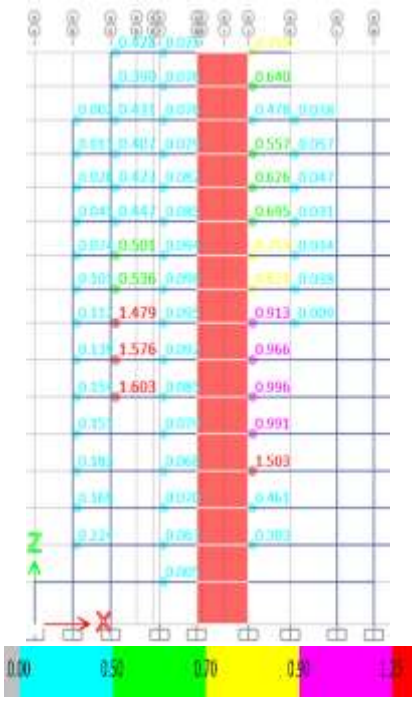
يظهر الشكلين (16-17) نسبة (طلب / استطاعة) في جوائز الإطارات البيتونية عند التحليل اللاخطي وفق المحورين C و1.

نلاحظ تجاوز نسبة (طلب / استطاعة) عن النسبة المسموحة 1.25 وفق المحاور:

- C-3&5 في الطابق 12 و13.
- J&K-6 في الطابق 4.
- C&F-6 في الطوابق من 6 حتى 8.



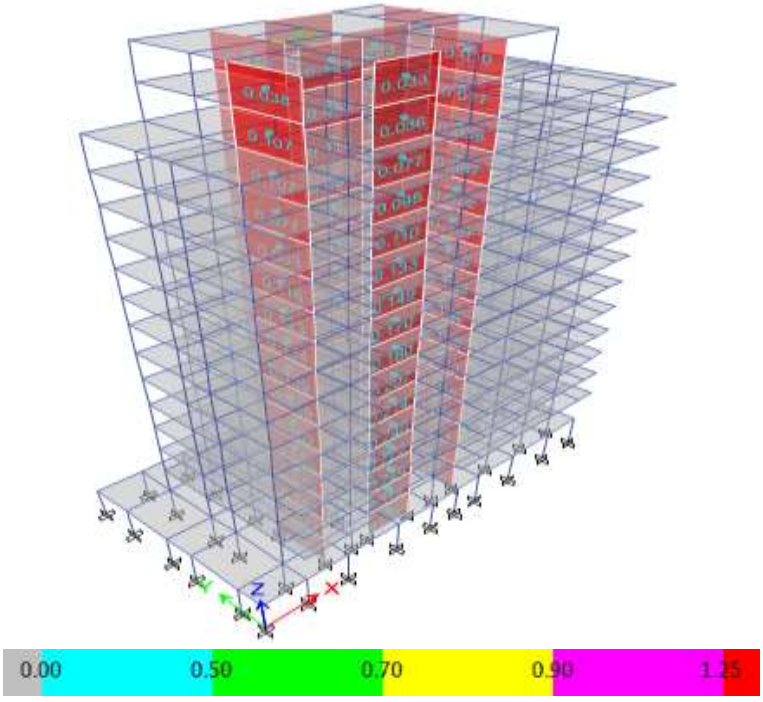
الشكل (16): نسبةالطلب/استطاعة في الجوائز وفق المحور C



الشكل (17): نسبة الطلب/استطاعة في الجوائز وفق المحور 6

العزم في جدران القص M3:

يظهر الشكل (18) نسبة (طلب / استطاعة) في جدران القص عند إجراء التحليل الستاتيكي اللاخطي حيث أن جميع الجدران بقيت ضمن النسب المسموحة وهي 1.25.



الشكل (18): نسبة الطلب/استطاعة في جدران القص

❖ وبهدف تحسين قدرة تحمل الأعمدة على القص في العناصر التي تجاوزت فيها نسبة (طلب / استطاعة) عن النسبة المسموحة تم تعديل أبعاد الأعمدة كما هو مبين في الجدول (7)، حيث تظهر النتائج الأشكال (19 حتى 23) أن زيادة مقاطع الأعمدة قد أدت إلى تحسن ملحوظ في مقاومة هذه العناصر وأصبحت ضمن القيم المسموحة.

❖ وبهدف تحسين قدرة تحمل الجوائز على الانعطاف والقص في العناصر التي تجاوزت فيها نسبة (طلب / استطاعة) عن النسبة المسموحة تم تعديل أبعاد الجوائز البيتونية الواقعة كما هو مبين في الجدول (8)، كما يبين الجدول قيم DCR في الجوائز قبل وبعد تعديل الأبعاد، حيث تظهر النتائج الأشكال (24 حتى 29) أن زيادة مقاطع الجوائز قد أدت إلى تحسن ملحوظ في مقاومة هذه العناصر وأصبحت ضمن القيم المسموحة.

الجدول (7) قيم DCR في الأعمدة قبل وبعد تعديل الأبعاد

نوع القوة	الطابق	المحور	أبعاد العمود قبل التعديل cm	نسبة الطلب/استطاعة	أبعاد العمود بعد التعديل cm	نسبة الطلب/استطاعة
V2	9	2-B	100*25	**1.042**	25*110	**0.93**
V2	10	2-B	100*25	**1.062**	25*110	**0.971**
V2	11	2-B	90*25	**1.027**	25*100	**0.95**
V2	12	2-B	90*25	**1.1**	25*100	**0.98**
V2	14	2-B	75*25	**1.137**	25*100	**0.986**
V2	16	2-I	60*25	**1.014**	75*25	**0.971**
V2	12	2-K	65*65	**1.053**	70*70	**0.925**
V2	13	2-K	60*60	**1.013**	70*70	**0.854**
V2	14	2-K	60*60	**1.269**	70*70	**0.903**
V2	14	2-L	60*60	**1.168**	65*65	**0.907**
V2	6	3-D	120*25	**1.031**	130*25	**0.867**
V2	7	3-D	110*25	**1.018**	120*25	**0.955**
V2	8	3-D	110*25	**1.077**	120*25	**0.994**
V2	9	3-D	100*25	**1.113**	110*25	**0.941**
V2	10	3-D	100*25	**1.135**	110*25	**0.942**
V2	11	3-D	90*25	**1.008**	100*25	**0.909**
V2	12	3-D	90*25	**1.083**	100*25	**0.955**
V2	7	5-C	75*75	1.008	85*85	**0.893**
V2	8	5-C	75*75	**1.073**	85*85	**0.865**
V2	9	5-C	70*70	**1.199**	80*80	**0.946**
V2	10	5-C	70*70	**1.241**	85*85	**0.919**

V2	11	5-C	65−65	**1.191**	80*80	**0.9**
V2	12	5-C	65−65	**1.241**	80*80	**0.916**
V2	13	5-C	60*60	**1.143**	75*75	**0.853**
V2	14	5-C	60*60	**1.181**	75*75	**0.957**
V2	14	5-L	60*60	**1.006**	65*65	**0.969**
V2	6	5-M	65*65	**1.099**	70*70	**0.893**
V2	7	5-M	60*60	**1.095**	70*70	**0.926**
V2	8	5-M	60*60	**1.161**	70*70	**0.98**
V2	9	5-M	55*55	**1.262**	65*65	**0.925**
V2	10	5-M	55*55	**1.315**	65*65	**0.945**
V2	11	5-M	50*50	**1.196**	60*60	**0.968**
V2	12	5-M	50*50	**1.237**	60*60	**0.988**
V2	13	5-M	45*45	**1.079**	55*55	**0.948**
V2	14	5-M	45*45	**1.187**	55*55	**0.943**
V2	14	B-6	75*25	**1.289**	90*25	**0.922**
V3	12	3-M	50*50	**1.099**	55*55	**0.916**
V3	13	3-M	45*45	**1.029**	55*55	**0.86**
V3	14	3-M	45*45	**1.068**	55*55	**0.968**
V3	10	5-M	55*55	**1.015**	60*60	**0.916**
V3	11	5-M	50*50	**1.040**	55*55	**0.931**
V3	12	5-M	50*50	**1.156**	55*55	**0.973**
V3	13	5-M	45*45	**1.088**	50*50	**0.91**
V3	14	5-M	45*45	**1.138**	50*50	**0.969**
V3	14	M-6	45*45	**1.113**	50*50	**0.976**

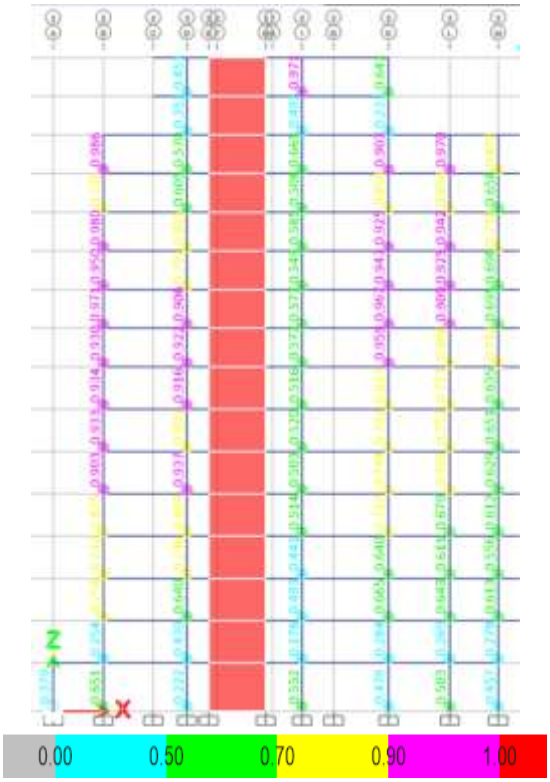
الجدول (8): قيم DCR في الجوائز قبل وبعد تعديل الأبعاد

نوع القوة	الطابق	المحور	أبعاد الجائز قبل التعديل cm	نسبة الطلب/استطاعة	أبعاد الجائز بعد التعديل cm	نسبة الطلب/استطاعة
V2	2	3&5-C	40*60	**1.08**	40*80	**0.991**
V2	3	3&5-C	40*60	**1.294**	40*80	**0.997**
V2	4	3&5-C	40*60	**1.16**	40*80	**0.935**
V2	5	3&5-C	40*60	**1.212**	40*80	**0.969**

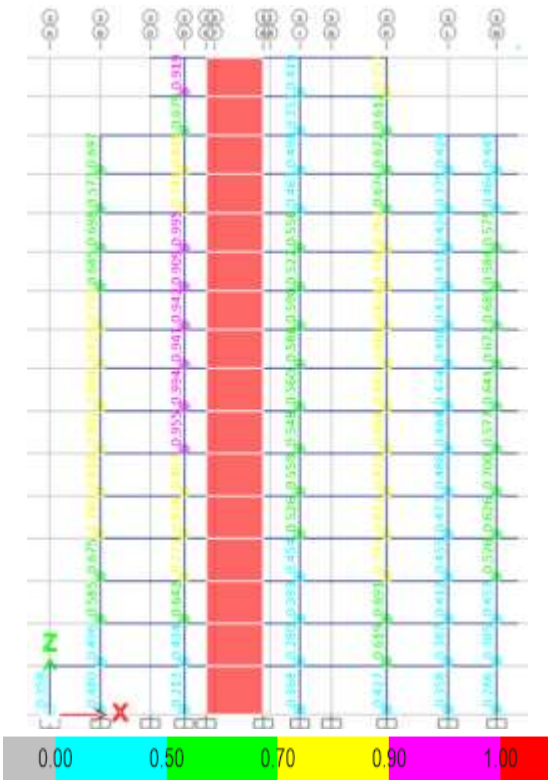
V2	6	3&5-C	40*60	**1.229**	40*80	**0.989**
V2	7	3&5-C	40*60	**1.211**	40*80	**0.978**
V2	3	1&4-F	40*60	**1.055**	40*80	**0.97**
V2	4	1&4-F	40*60	**1.111**	40*80	**0.997**
V2	5	1&4-F	40*60	**1.111**	40*80	**0.979**
V2	6	1&4-F	40*60	**1.073**	40*80	**0.95**
V2	7	1&4-F	40*60	**1.005**	40*80	**0.903**
V2	2	3&4-G	40*60	**1.069**	40*80	**0.966**
V2	3	3&4-G	40*60	**1.175**	40*80	**0.984**
V2	4	3&4-G	40*60	**1.155**	40*80	**0.948**
V2	5	3&4-G	40*60	**1.047**	40*80	**0.966**
V2	3	3&4-K	40*60	**1.109**	40*80	**0.939**
V2	4	3&4-K	40*60	**1.117**	40*80	**0.945**
V2	5	3&4-K	40*60	**1.138**	40*80	**0.963**
V2	6	3&4-K	40*60	**1.034**	40*80	**0.959**
M3	12	3&5-C	40*60	**1.366**	45*70	**0.884**
M3	13	3&5-C	40*60	**1.426**	45*70	**0.803**
M3	4	J&K-6	35*70	**1.503**	35*70	**0.938**
M3	6	C&F-6	35*70	**1.603**	35*70	**0.635**
M3	7	C&F-6	35*70	**1.576**	35*70	**0.595**
M3	8	C&F-6	35*70	**1.479**	35*70	**0.545**

قوة القص (V2–V3) في الأعمدة:

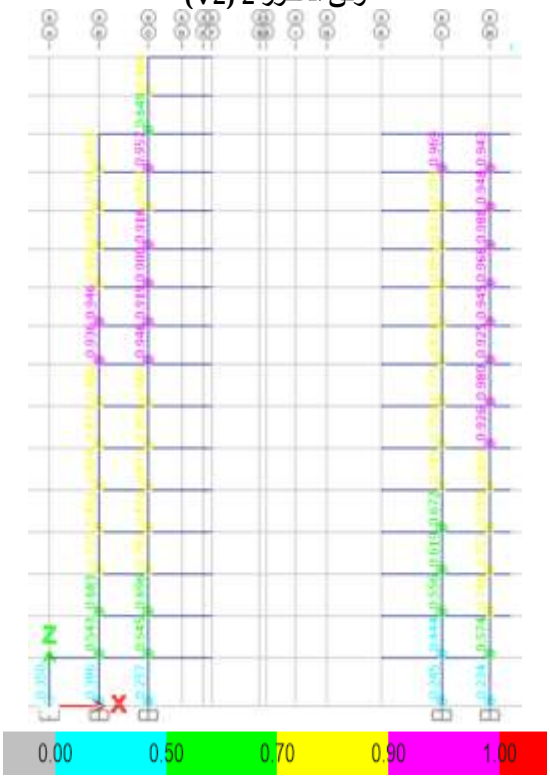
❖ تظهر الأشكال (من 19 حتى 23) تغير نسبة (طلب / استطاعة) في الأعمدة بعد إجراء التعديلات الإنشائية على أبعاد العناصر المنهارة، حيث أصبحت جميع القيم محققة.



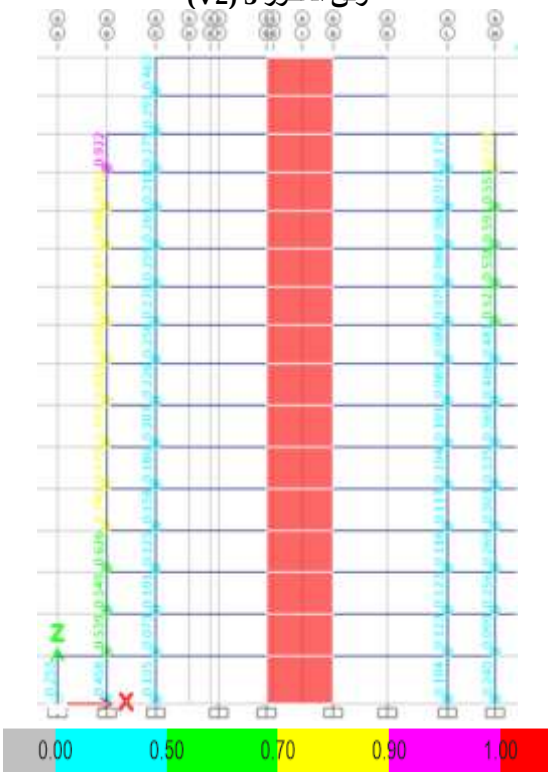
الشكل (19): نسبة الطلب/استطاعة في الأعمدة وفق المحور 2 (V2)



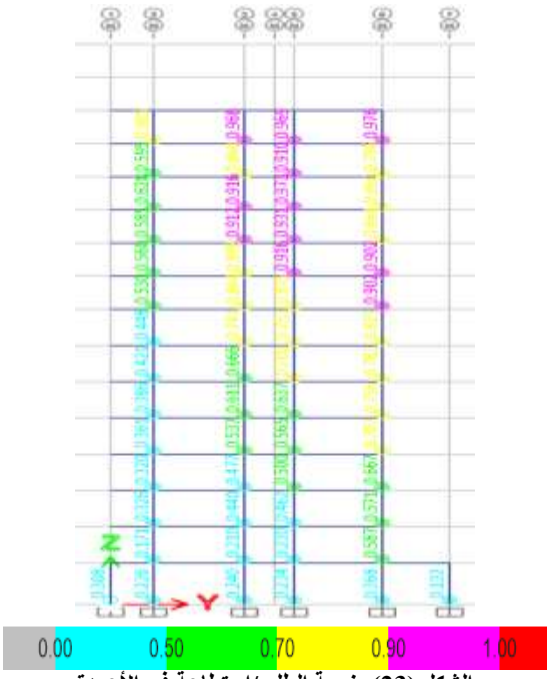
الشكل (20): نسبة الطلب/استطاعة في الأعمدة وفق المحور 3 (V2)



الشكل (21): نسبة الطلب/استطاعة في الجوائز وفق المحور 5 (V2)



الشكل (22): نسبة الطلب/استطاعة في الجوائز وفق المحور 6 (V2)

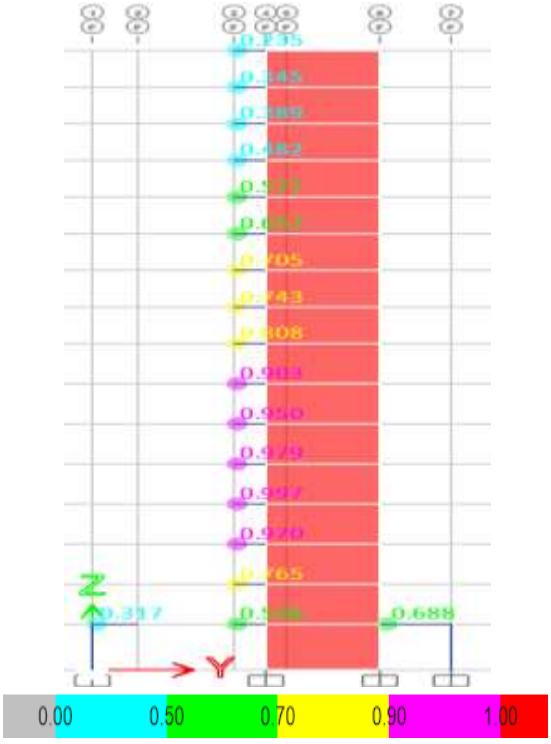


الشكل (23): نسبة الطلب/استطاعة في الأعمدة وفق المحور M (V3)

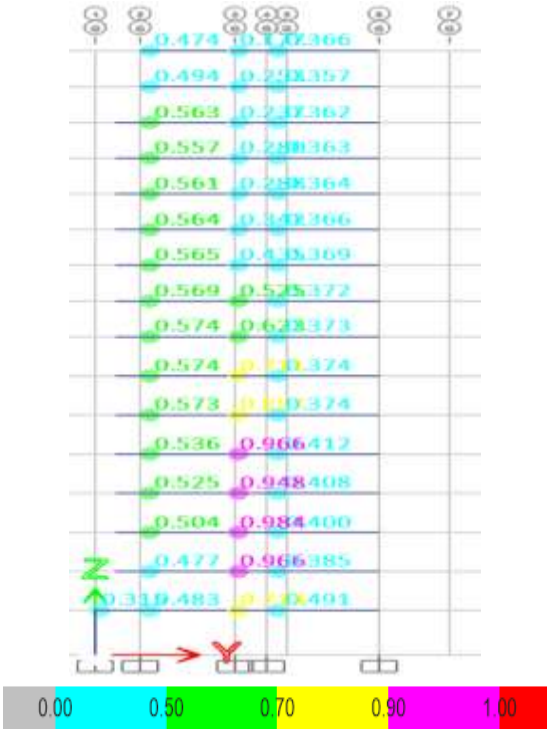
القص في الجوائز V2:

❖ تظهر الأشكال (من 24 حتى 29) تغير نسبة (طلب / استطاعة) في الجوائز بعد إجراء التعديلات الإنشائية على أبعاد العناصر المنهارة، حيث أصبحت جميع القيم محققة لمعايير القبول.

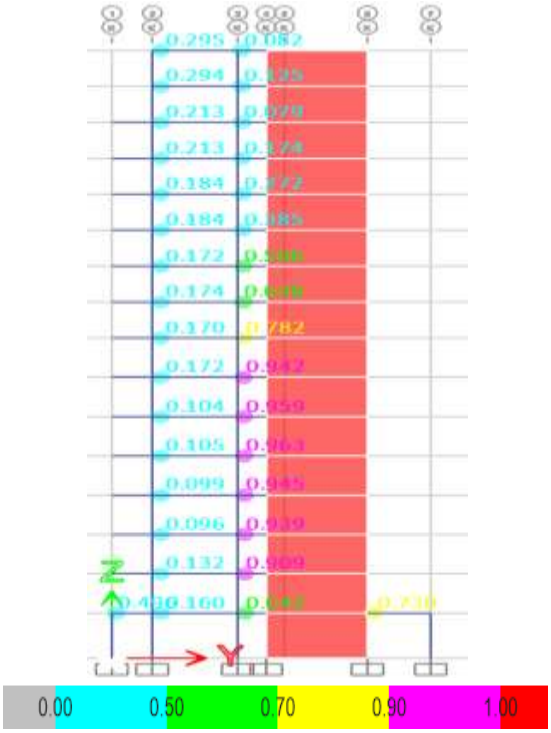
الشكل (24): نسبة الطلب/استطاعة في الجوائز وفق المحور C (V2)



الشكل (25): نسبة الطلب/استطاعة في الجوائز وفق المحور F (V2)

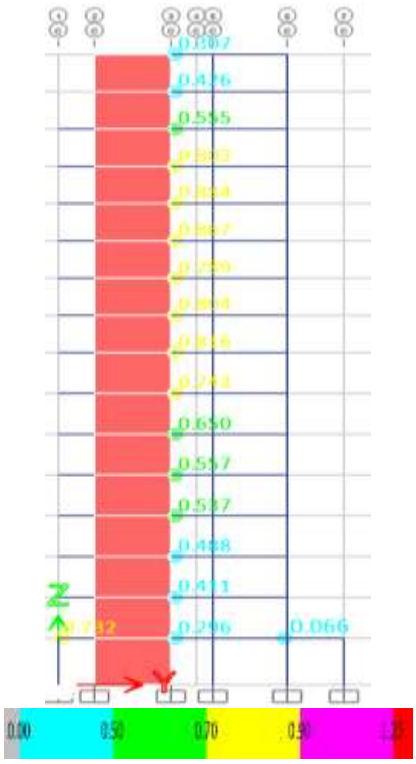


الشكل (26): نسبة الطلب/استطاعة في الجوائز وفق المحور G (V2)

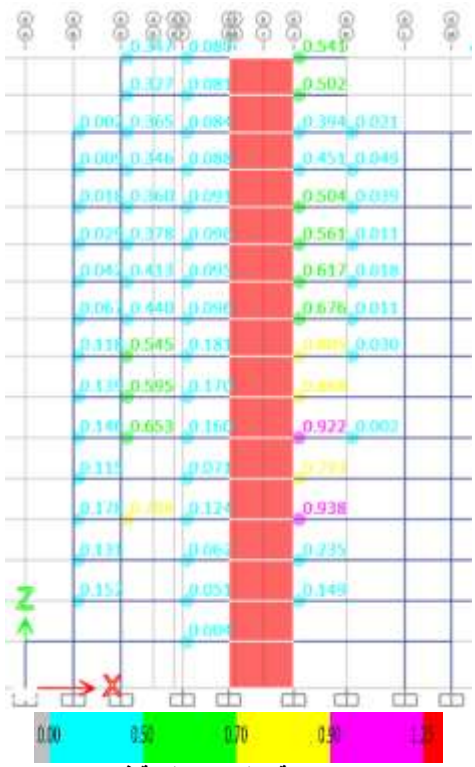


الشكل (27): نسبة الطلب/استطاعة في الجوائز وفق المحور K (V2)

العزم في الجوائز M3:



الشكل (28): نسبة الطلب/استطاعة في الجوائز وفق المحور C



الشكل (29): نسبة الطلب/استطاعة في الجوائز وفق المحور 1

الاستنتاجات والتوصيات:

الاستنتاجات:

عند دراسة القوى المحورية كانت جميع القيم ترضي معايير القبول، ولكن عند دراسة تأثير القص في الأعمدة في الاتجاهين تجاوزت قيم نسبة (طلب / استطاعة) عن الحد الموصى به وفق معايير القبول لحالة (Force Controlled Action) (حيث كانت أكبر من الواحد) وتزداد قيم القص من الأسفل إلى الأعلى، وبناءً عليه فإن السلوك الحاكم للأعمدة في الجمل الثنائية تحت تأثير التحليل اللاخطي لأفعال الرياح يتحكم به أفعال القص مما يتطلب زيادة أبعاد الأعمدة والاهتمام بتفاصيل التسليح العرضي، ولتحقيق الاستجابة المطلوبة تم زيادة أبعاد مقاطع الأعمدة بمقدار 10 cm لتحقيق الهدف المطلوب.

عند دراسة أفعال القص في الجوائز كانت بعض الجوائز التي تستند على جدران القص هي العناصر الأكثر حرجاً حيث تجاوزت قيم نسبة (طلب / استطاعة) قيمة واحد، حيث أنها تتأثر مباشرةً بإجهادات القص المتشكلة في الجدران مما استدعى إجراء التعديل الإنشائي المناسب، وتم زيادة أبعاد المقطع العرضي (زيادة ارتفاع الجائز) بحدود 10 cm.

بالنسبة للعزوم في الجوائز كانت جميعها ترضي معايير القبول وسلوكها جيد إنشائياً، باستثناء عدد محدد جداً من الجوائز المتصلة مع جدران القص حيث تجاوزت نسبة (طلب / استطاعة) حدود معايير القبول.

عند دراسة جدران القص كانت قيم نسبة (طلب / استطاعة) في الطابق الأول هي الأعلى وتتناقص بشكل كبير مع الارتفاع، أي أن جدران القص لا تحتاج إلى تعديل إنشائي، ولكن تؤثر بشكل مباشر على سلوك الجوائز المتصلة بها تحت تأثير القص والانعطاف.

التوصيات:

إجراء المزيد من الدراسات على الجمل الثنائية لبيان تأثير اختلاف توزيع جدران القص على استجابة المبنى عند إجراء التحليل الستاتيكي اللاخطي لأحمال الرياح.

دراسة سلوك جدران القص الحاوية على فتحات في الجمل الثنائية تحت تأثير التحليل اللاخطي لأفعال الرياح.

References:

1- Taranath, S. "Wind and Earthquake Resistant Buildings: Structural Analysis and Design", (Civil and Environmental Engineering). 2005.

2- Moon, K. Dynamic Interrelationship between Technology and Architecture in Tall Buildings. Unpublished PhD Dissertation, Massachusetts Institute of Technology. (2005).

3- Verma, M. Wind Loadings Analysis of a Reinforced Concrete Multistory Building under Seismic Zone's. 2023, VOLUME 19 ISSUE 02.

4- Muffassir, S. Kalurkar, L, G. Study of Wind Analysis of Multi-Story Composite Structure for Plan Irregularity. 2016. International Journal of Engineering and Innovative Technology (IJEIT), V. N_0 4, ISSU N_o 09 ,pp.36-45.

5- Jeong, S. Y., H. Alinejad, and T. H.-K. Kang. "Performance-based wind design of high-rise buildings using generated time-history wind loads". 2021. *J. Struct. Eng.* 147 (9): 04021134. https://doi.org/10.1061/(ASCE)ST.1943-541X.0003077.

6- Ghaffary, A., and M. A. Moustafa. "Performance-based assessment and structural response of 20-story sac building under wind hazards through collapse". 2021. *J. Struct. Eng.* 147 (3): 04020346. https://doi.org/10.1061/(ASCE)ST.1943-541X.0002911.

7− Hwayja, Bassam. Horizontal Structures and Actions. Publications of Books Directorate at Tishreen University. 2012
8- Ghazal, T, et al. 'Performance-based wind design for tall buildings: Review and comparative study'. Journal of Building Engineering Volume 68, 1 June 2023, 106103.
9- American Society of Civil Engineers (ASCE). Prestandard for Performance-Based Wind Design. 2019.
10- American Society of Civil Engineers (ASCE). Seismic Evaluation and Retrofit of Existing Building (41-13), Reston, Virginia, (2014), 20191-4382.
11- Syrian Arab Code to Implement And Design the Reinforced Structures and their Accessories, Fourth Edition, Engineers Syndicate, Damascus, 2012.
12- American Society of Civil Engineers (ASCE). Minimum design loads and associated criteria for buildings and other structures (7-16), Reston, Virginia, (2017), 20191-4382.