

A Contribution to Studying the Effect of Wind Loads on RC Tall Buildings Using Performance-Based Analysis (Framed Systems)

Dr. Gandhi JAHJAH*
Dr. Bassam HWAJJA**
Ahmad NASSER***

(Received 24 / 6 / 2024. Accepted 1 / 8 / 2024)

□ ABSTRACT □

This paper aims to evaluate the inelastic behavior of tall concrete buildings exposed to wind loads, and to compare the performance objectives with the limits of acceptance standards available in international codes, using nonlinear static analysis.

Two models were studied: the first model (A) consists of 14 floors, while the second model (B) consists of 10 floors. The structural systems of the selected models is a group of reinforced concrete frames, designed according to the Syrian Arab Code, to evaluate the nonlinear structural response under the influence of Wind loads.

The modeling was done using ETABS 2018 software where 3D models were created, which takes into account the nonlinear behavior of the concrete and rebar and the geometric nonlinearity through P- Δ effects.

The results showed that some structural elements (columns and beams) had non-linear behavior to different degrees between the two models, with collapse occurring in some of the ground floor columns of the 14-storey model (A) in different load cases studied.

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, Tishreen University, Latakia, Syria.

** Professor, Department Of Structural Engineering, Tishreen University, Latakia, Syria.

*** Ph.D. Student , Department Of Civil Engineering, Tishreen University, Latakia, Syria, ahmadnasser@gmail.com.

مساهمة في دراسة تأثير أحمال الرياح على المباني العالية من البيتون المسلح باستخدام التحليل القائم على الأداء (جمل إطارية)

د. غاندي ججاج*

د. بسام حويجة**

أحمد ناصر***

(تاريخ الإيداع 24 / 6 / 2024. قُبِلَ للنشر في 1 / 8 / 2024)

□ ملخّص □

يهدف هذا البحث إلى تقييم السلوك اللامرّن الذي تتعرض له المباني البيتونية العالية المعرضة لأحمال الرياح، ومقارنة أهداف الأداء مع حدود معايير القبول المتوفرة في الكودات العالمية، وذلك باستخدام التحليل الستاتيكي اللاخطي. تمت دراسة نموذجين النموذج الأول (A) مؤلف من 14 طابق، أما النموذج الثاني (B) مؤلف من 10 طوابق، الجملة الإنشائية للنماذج المختارة هي جملة من الإطارات البيتونية المسلحة، والمصممة وفق الكود العربي السوري وملحقاته، لتقييم الاستجابة الإنشائية اللاخطية تحت تأثير أحمال الرياح. تمت النمذجة باستخدام برنامج ETABS 2018 حيث تم إنشاء النماذج ثلاثية الأبعاد، والتي تأخذ بعين الاعتبار السلوك اللاخطي للبيتون وحديد التسليح واللاخطية الهندسية من خلال تأثيرات $P-\Delta$. أظهرت النتائج أن بعض العناصر الإنشائية (أعمدة وجوائز) كان سلوكها لاخطي ودرجات مختلفة بين النموذجين، مع حدوث انهيار في بعض أعمدة الطابق الأرضي للنموذج (A) المؤلف من 14 طابق في حالات تحميل مختلفة.

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 تشرين - اللاذقية - سورية.

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

*** طالب دراسات عليا (دكتوراه) - قسم الهندسة الإنشائية - كلية الهندسة المدنية - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية.

ahmadnasser@gmail.com

مقدمة:

يعد الأداء الإنشائي للمباني العالية أثناء حدوث الزلازل أو الرياح القوية مصدر قلق كبير سواء من حيث الأضرار الإنشائية أو السلامة العامة [1].

يتطلب التطور العمراني من مجتمع الهندسة الإنشائية إيجاد الحلول التصميمية للمباني ذات الارتفاعات العالية أو غير المنتظمة من وجهة النظر الإنشائية، ولذلك تم استخدام التصميم القائم على الأداء تحت تأثير أحمال الرياح كخطوة ضرورية لضمان سلامة واستقرار هذه المباني. قد تتعرض المباني العالية في المناطق المعرضة للرياح لمخاطر عدة، مثل التضرر الجزئي أو الكلي للعناصر الإنشائية وغير الإنشائية، وبالتالي قد تبدأ بإزعاج لشاغلي المبنى، وتوقف للوظيفة التشغيلية، ومن الممكن أن تنتهي بفشل إنشائي يهدد سلامة الحياة [2].

يوفر النهج الحديث للهندسة القائمة على الأداء إطاراً تصميمياً منطقياً لاتخاذ قرارات التصميم من خلال تقييم المخاطر المناسبة وتلبية أهداف الأداء المختلفة للمرافق الهندسية التي تتعرض لمخاطر طبيعية [3].

تم تطوير المفهوم الهندسي القائم على الأداء وتنفيذه لأول مرة في مجال الهندسة الزلزالية في منتصف التسعينيات وهو الآن مقبول جداً في الممارسة المهنية لتصميم وتقييم المباني المعرضة للزلازل. مع تطور الهندسة القائمة على الأداء في مجال الزلازل بدأت تأخذ منحى آخر وهو تأثير الرياح على أداء المباني العالية وهنا ظهرت هندسة الرياح القائمة على الأداء [4].

تتطلب الإجراءات الحالية لتصميم المباني المعرضة للرياح تحليلاً مرناً للتحقق من بقاء العناصر الإنشائية في النطاق المرن، وهذا على عكس النهج القائم على المطاوعة المستخدم في التصميم الزلزالي، والذي يسمح بتنفيذ الإجراءات اللامرنة في المنشأة في ظل الأحداث الزلزالية الشديدة [5].

أهمية البحث و أهدافه:

تشهد الجمهورية العربية السورية في الآونة الأخيرة تطوراً ملحوظاً في مجال الأبنية العالية نظراً للزيادة الكبيرة في كثافة السكان وصعوبة التوسع الأفقي لذلك أصبح من الواجب إدخال تأثير الرياح عند دراسة هذه المنشآت وذلك وفقاً لطرائق دقيقة وأقرب إلى الواقع وذلك لضمان الأمان وتقليل الكلفة الاقتصادية عند التنفيذ.

يهدف هذا البحث إلى تطوير النهج القائم على المطاوعة المستخدم في التصميم الزلزالي على المباني العالية المعرضة لأحمال الرياح الشديدة، ثم تقييم السلوك اللامرّن التي تتعرض له الجمل الإنشائية المدروسة (جمل إطارية)، ومقارنة أهداف الأداء مع حدود معايير القبول المتوفرة في الكودات العالمية.

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 الإنشائي ETABS 2018.

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

يمثل التصميم القائم على الأداء (PBD) الطريقة الأكثر تقدماً وعقلانية لمعالجة الحاجة المجتمعية للسلامة عند تصميم المنشآت المدنية. في عملية التصميم التقليدية القائمة على الكود يضمن المهندس استيفاء المعايير الأساسية

التي على الرغم من أنها تستند إلى مستوى معين من الأداء المتوقع فإنها لا تضمن التقييم الصحيح وفهم الموثوقية الفعلية التي يتم تحقيقها [6].

من ناحية أخرى في حالة التصميم القائم على الأداء يرتبط أداء المنشأة ارتباطاً مباشراً باحتمال مواجهة أنواع مختلفة من الخسائر، والتي يمكن أن تنتج عن مخاطر طبيعية أو من صنع الإنسان على مدى عمر المنشأة بالكامل [4].

تتلخص خطوات التصميم المبني على الأداء وفقاً لما يلي:

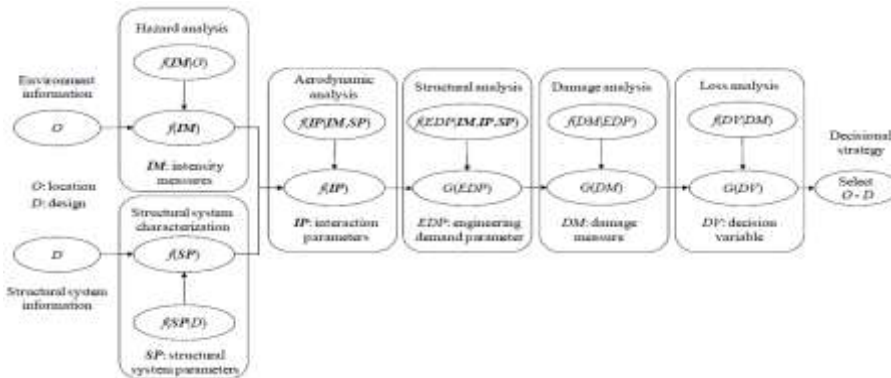
1. وضع هدف معين لسلوك المنشأة.
2. إجراء التصميم الأولي.
3. التحقق من الأداء.

2- تصميم الرياح القائم على الأداء (PBWD, Performance Based Wind Design):

بدأ التصميم القائم على الأداء بالتوسع ليشمل حالات أخرى غير الزلازل وعلى وجه الخصوص الرياح حيث ظهر تعريف "هندسة الرياح القائمة على الأداء" (PBWE) للمرة الأولى في عام 2004 [4].

يتيح نهج تصميم الرياح القائم على الأداء للمهندسين تصميم مباني بكفاءة وفقاً للأداء المطلوب عند مستويات خطر مختلفة، ولذلك قام مجموعة من الباحثين [7] بتطوير نهج تصميم الزلازل القائم على الأداء ليحاكي حالات أخرى ومنها تصميم الرياح القائم على الأداء، حيث قاموا باقتراح الإطار المبين في الشكل (1) والذي يتكون من خمس مراحل تحليل:

1. تحليل المخاطر
2. تحليل ديناميكية الهواء
3. التحليل الإنشائي
4. تحليل الضرر
5. تحليل الخسارة



الشكل (1): الإطار المقترح لـ PBWD [7]

- تقسيم أهداف الأداء إلى ثلاثة أهداف رئيسية هي [8]:

◀ **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 لخطية لبعض العناصر المحددة من النظام الإنشائي، دون أن يتسبب ذلك بانهياب هذه العناصر (ومستوي 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

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

أما متطلبات الأداء فتختلف تبعاً 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.

3- التحليل الستاتيكي اللاخطي (NSA, Nonlinear Static Analysis) [10,9]:

يمثل التحليل الستاتيكي اللاخطي نهجاً أكثر موثوقية من الإجراءات الخطية لتوصيف أداء المنشأة، ويسمح برنامج ETABS بإدخال التأثير اللاخطي في تحليل النموذج من خلال لاخطية المادة (من خلال المفاصل اللدنة)، واللاخطية الهندسية (من خلال تأثيرات P-Δ).

وتتلخص خطوات إجراء التحليل الستاتيكي اللاخطي بـ:

- 1- إنشاء نموذج رياضي للمبنى المدروس (3D).
- 2- تصميم العناصر الإنشائية وفق الكود العربي السوري لعام 2012 وملحقاته [11] للوقوف على الأبعاد النهائية للعناصر الإنشائية، وفولاذ التسليح.
- 3- تعريف السلوك اللاخطي لمادتي البيتون وفولاذ التسليح، وإسناد معايير القبول ذات الصلة.
- 4- إجراء التحليل الستاتيكي اللاخطي بعد إدخال حالات التحميل وبارامترات التحكم بالتحليل (التحكم بالانتقال.....).
- 5- مراقبة الاستجابة الإنشائية لجميع العناصر في المبنى، ومستويات الأداء التي وصلت إليها.

1- المفصل اللدن:

يمثل المنطقة من العنصر الإنشائي التي تصل فيها الإجهادات إلى قيمة أكبر من إجهاد الخضوع لمادة العنصر، وتؤدي أية حمولة بعد تلك القيمة إلى دخول العنصر في مجال السلوك اللاخطي، حيث تبدأ التشوهات اللدنة بالظهور الأمر الذي يتسبب في تغير مصفوفة القساوة المحلية للعنصر وبالتالي تغير مصفوفة القساوة العامة للمنشأ، وبالتالي دخول المنشأ في مرحلة السلوك اللاخطي [9].

يعرف المفصل اللدن بعلاقة (قوة-انتقال) أو (عزم-دوران)، ويوجد عدة أنواع للمفاصل اللدنة مفصل القوة المحورية P، العزم M، القص V، الفتل T، أو مفصل ترابط القوة المحورية والعزم PMM و PM.

3-2- حالات التحميل:

يتطلب إجراء التحليل الستاتيكي اللاخطي تعريف مجموعتين من الحمولات:

- a- الحمولات الشاقولية المؤثرة على المبنى في حالته البدائية قبل تطبيق أي دفع جانبي.
- b- الحمولات الجانبية التي تطبق على المبنى بشكل تدريجي انطلاقاً من الحالة الأولى (الحمولات الشاقولية المطبقة).

يوفر برنامج ETABS خيارين للتحكم بتطبيق الحمولات (Load Application) [10]:

- التحكم بالحمولة (Full Load):

يتم استخدام التحكم بالحمولة عندما يكون مقدار الحمولة المطبقة معروفاً، حيث يبدأ البرنامج بتطبيق الحمولة بشكل تدريجي بدءاً من الصفر حتى الوصول إلى مقدار الحمولة المعروفة كاملاً.

- التحكم بالانتقال (Displace Control):

يستخدم التحكم بالانتقال عندما يكون المقدار المطلوب للانتقال المبنى معروفاً، أما مقدار الحمولة فهو غير معروف. في هذه الحالة يتم تعريف مقدار للانتقال يحاول البرنامج الوصول إليه خلال تطبيق الحمولة، وخلال قيام البرنامج بالتحليل يمكن أن تتزايد الحمولة أو تتناقص. (تم تطبيق خيار التحكم بالانتقال في دراستنا).

نماذج الحمولات الجانبية: يمكن اختيار أحد النماذج التالية:

- 1- حمولة تسارع منتظمة (Accel).
- 2- حمولة جانبية نمطية (Modal).
- 3- حمولة ستاتيكية كيفية (Load Patteren):

- في دراستنا قمنا بتعريف أحمال الرياح كأحمال ستاتيكية كيفية (Load Patteren) حسب ASCE 7-16 حيث يقوم البرنامج بشكل اوتوماتيكي بتعريف 12 حالة تحميل وهي [12]:

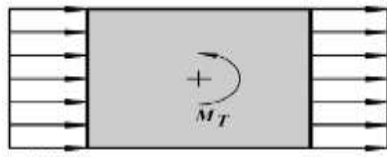
الحالة (1): يتم تطبيق ضغط الرياح التصميمي على **الحالة (2):** يتم تطبيق ضغط الرياح التصميمي على كامل المساحة المتعامدة مع المحور y (باتجاه المحور x). المساحة المتعامدة مع المحور x (باتجاه المحور y).



P_{wx}, P_{wy}: الضغط التصميمي للوجه المقابل لهبوب الرياح المطبق باتجاه المحاور الرئيسية

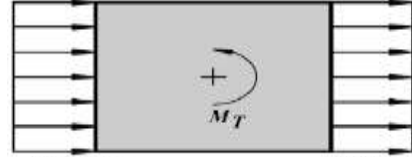
P_{lx}, P_{ly}: الضغط التصميمي للوجه المعاكس لهبوب الرياح المطبق باتجاه المحاور الرئيسية

الحالة (3): يطبق 75% من ضغط الرياح التصميمي **الحالة (4):** يطبق 75% من ضغط الرياح التصميمي على المساحة المسقطية المتعامدة مع المحور y (باتجاه المحور x) بالترافق مع عزم قتل (لامركزية موجبة). بالترافق مع عزم قتل (لامركزية سالبة).



$$M_T = 0.75 (P_{WX} + P_{LX}) B_X e_X$$

$$e_X = -0.15 B_X$$

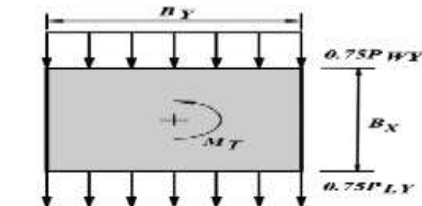


$$M_T = 0.75 (P_{WX} + P_{LX}) B_X e_X$$

$$e_X = +0.15 B_X$$

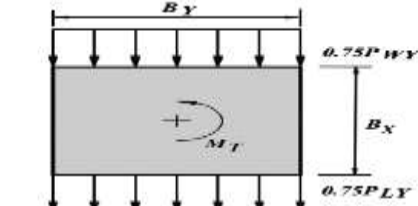
ex: اللامركزية من أجل المحور x :Mt عزم الفتل لكل واحدة طول ومطبق حول المحور الراسي للبناء.

الحالة (5): يطبق 75% من ضغط الرياح التصميمي على المساحة المسقطية المتعامدة مع المحور X (باتجاه المحور y) بالتوافق مع عزم فتل (لا مركزية موجبة).
الحالة (6): يطبق 75% من ضغط الرياح التصميمي على المساحة المسقطية المتعامدة مع المحور X (باتجاه المحور y) بالتوافق مع عزم فتل (لا مركزية سالبة).



$$M_T = 0.75 (P_{WY} + P_{LY}) B_Y e_Y$$

$$e_Y = -0.15 B_Y$$

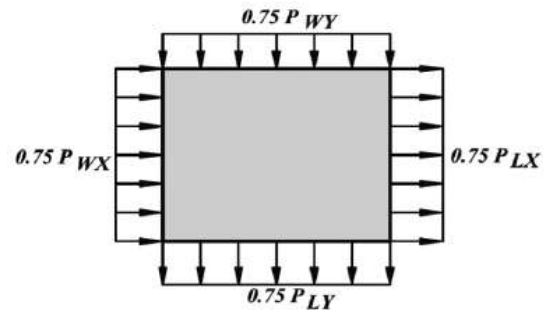
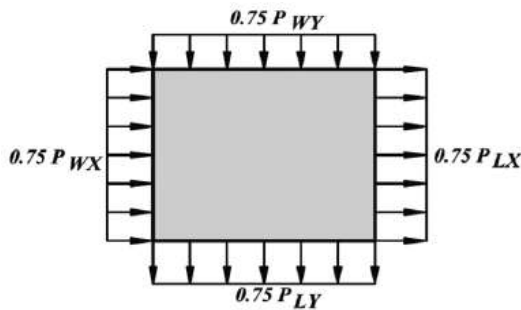


$$M_T = 0.75 (P_{WY} + P_{LY}) B_Y e_Y$$

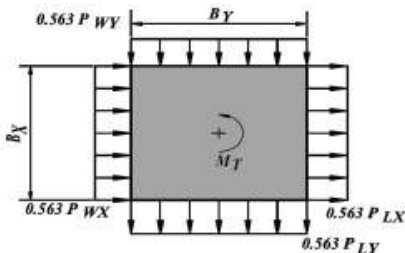
$$e_Y = +0.15 B_Y$$

ey: اللامركزية من أجل المحور y - Mt :عزم الفتل لكل واحدة طول ومطبق حول المحور الراسي للبناء.

الحالة (7): تحميل الرياح كما هو معرف في الحالة 1 و2، إلا أنه يعتبر مطبق بشكل متزامن ونسبة 75% من القيمة المحددة (x+y).
الحالة (8): تحميل الرياح كما هو معرف في الحالة 1 و2، إلا أنه يعتبر مطبق بشكل متزامن ونسبة 75% من القيمة المحددة (x-y).

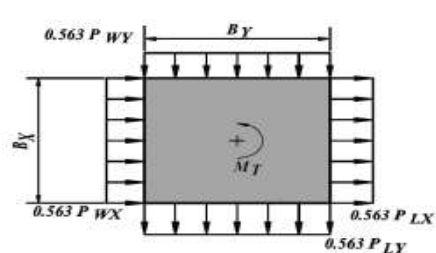


الحالة (9): يطبق 75% من ضغط الرياح التصميمي على المساحة المسقطية المتعامدة مع المحورين X,y بالتوافق مع عزم فتل (لا مركزية موجبة).
الحالة (10): يطبق 75% من ضغط الرياح التصميمي على المساحة المسقطية المتعامدة مع المحورين X,y بالتوافق مع عزم فتل (لا مركزية سالبة).



$$M_T = 0.563 (P_{WX} + P_{LX}) B_X e_X + 0.563 (P_{WY} + P_{LY}) B_Y e_Y$$

$$e_X = -0.15 B_X \quad e_Y = -0.15 B_Y$$



$$M_T = 0.563 (P_{WX} + P_{LX}) B_X e_X + 0.563 (P_{WY} + P_{LY}) B_Y e_Y$$

$$e_X = +0.15 B_X \quad e_Y = +0.15 B_Y$$

الحالة (11): يطبق 56.3% من ضغط الرياح التصميمي على المساحة المسقطة المتعامدة مع المحورين X,Y بالتوافق مع عزم قتل (لا مركزية موجبة).

الحالة (12): يطبق 56.3% من ضغط الرياح التصميمي على المساحة المسقطة المتعامدة مع المحورين X,Y بالتوافق مع عزم قتل (لا مركزية سالبة).

$$M_T = 0.563 (P_{WX} + P_{LY}) B_X e_X - 0.563 (P_{WY} + P_{LX}) B_Y e_Y$$

$$e_X = -0.15 B_X \quad e_Y = -0.15 B_Y$$

$$M_T = 0.563 (P_{WX} + P_{LY}) B_X e_X - 0.563 (P_{WY} + P_{LX}) B_Y e_Y$$

$$e_X = +0.15 B_X \quad e_Y = +0.15 B_Y$$

- بعد ذلك نقوم بتحديد عدد من البارامترات الهامة لأحمال الرياح [12]:

- سرعة الرياح الأساسية (V).
- صنف التعرض: تقسم إلى ثلاثة اصناف:
- **الصنف B:** المدن الكبيرة، والضواحي، والمناطق الحضرية التي تشكل مراكز حيوية في البلاد.
- **الصنف C:** الريف المليء بالأشجار، والقرى والأطراف البعيدة للمدن، والمناطق المفتوحة.
- **الصنف D:** الريف المستوي المفتوح، الأحزمة الساحلية المستوية، والمناطق الخالية من أي عوائق لحركة الرياح.
- عامل مستوى سطح الأرض (*Ground Elevation Factor, K_e*): يهتم هذا العامل بضبط تأثير كثافة الهواء.
- العامل الطبوغرافي (*Topographical Factor, K_{zt}*): يأخذ في الاعتبار تأثيرات تسارع الرياح عند الهضاب والتلال المنفصلة.
- عامل تأثير الهبة القصوى (*Topographical Factor, G*): يأخذ هذا العامل في الاعتبار تأثير زيادة الأحمال الديناميكية نتيجة لتأثير هبوب الرياح والاضطرابات الناجمة عنها، وكذلك التأثير المتبادل مع البناء.
- عامل اتجاهية الرياح (*Wind Directionality Factor, K_d*): تشير الاتجاهية إلى أن الرياح نادراً ما تهب في الاتجاه الذي يعتبر الأكثر حرجاً للبناء.

3-3- بارامترات هامة للتحكم بالتحليل [10]:

يتيح برنامج ETABS استراتيجية (Step by Step) في إجراء التحليل الدفعي من حيث تطبيق الحملات الجانبية بشكل متزايد وفق عدد معين من الخطوات محافظاً على التوازن العام للنموذج. ويتم حل المعادلات اللاخطية بالتقريب المتتالي عند كل خطوة التحميل، وهذا يتطلب إعادة تشكيل حل مصفوفة الصلابة وتكرار الحل حتى الوصول إلى التقارب المطلوب (Convergence) ونبين فيما يلي بعض البارامترات الهامة التي تتحكم بمراحل التحليل:

- **العدد الأعظمي والعدد الأصغري للحالات المحفوظة (Min and Max Number of Saved States):**

يمكن لهذا الاختيار أن يعرض نتائج التحليل في كل خطوة ويتيح التحكم في الحد الأدنى والحد الأقصى لعدد الخطوات المحفوظة. يتم حفظ الخطوات التي تؤدي إلى تغيير واضح في شكل منحنى الاستطاعة، ويقوم البرنامج بحساب الحد

الأقصى لطول الخطوة المستخدم في التحليل ويسميه "الانتقال المستهدف" أو "الحمولة المستهدفة" بناءً على الحد الأدنى لعدد الخطوات المحفوظة. حيث يبدأ التحليل باستخدام هذا الطول.

– عدد الخطوات الكلية الأعظمي (Max total Step):

تشمل الخطوات المحفوظة والغير محفوظة جميعاً، مما يسمح بالتحكم في المدة الزمنية المطلوبة لإتمام التحليل.

– عدد الخطوات الصفرية (Max Null Step):

عندما نقوم بتحليل ورفع التحميل عن مفصل ما، يمكن أن تظهر صعوبة في التقارب أو حدوث انهيار مفاجئ. وإذا كنا لا نرغب في أن يتوقف التحليل بسبب الخطوات الصفرية، فيجب أن نضع عدد الخطوات الصفرية مساوياً لعدد الخطوات الكلية الأعظمية.

– عدد التكرارات الأعظمي في كل خطوة (Max Iterations per step):

يقوم البرنامج بتكرار الحسابات باستخدام طريقة الصلابة الثابتة لتحقيق التوازن في كل خطوة. إذا لم تكن الطريقة السابقة ناجحة، يتم التحول إلى طريقة نيوتن رافسن.

– مقدار التسامح في التقارب (Iteration Convergence Tolerance):

وهي قيمة نسبية تستخدم لمقارنة مقدار الخطأ في القوة مع مقدار القوة المطبقة على المنشأ عند كل تكرار.

– الخطو من حدث إلى حدث (Event to Event Stepping):

يستخدم لتجميع عدة أحداث متقاربة واعتبارها حدثاً واحداً يحدث في نفس الزمان، ضمن نطاق تسامح محدد.

– رفع التحميل عن المفصل (Hinge Unloading): ويتم ذلك بثلاث طرق:

1- رفع التحميل عن كامل المنشأ: عند وصول التشوه في المفصل إلى مجال سالب، يتم رفع الحمولة بالتدرج من المنشأ بالكامل. يستمر البرنامج في هذا العمل حتى يتم رفع التحميل بشكل كامل عن المفصل وعودته إلى المجال السابق للمجال السالب. بعد ذلك، يبدأ البرنامج من جديد في زيادة الحمولات المطبقة على المنشأ، وبالتالي يتم نقل الحمولة المرفوعة عن المفصل إلى أجزاء أخرى.

2- إعادة توزيع محلي: تشابه هذه الطريقة الطريقة السابقة إلى حد ما، باستثناء أنها ترفع الحمولة فقط عن العنصر الذي يحمل المفصل المتلدن. وتنتقل الحمولة إلى العناصر المجاورة، مما يجعلها طريقة فعالة لإعادة توزيع قوى العطالة بشكل أكبر، ولكنها تتطلب خطوات صغيرة وعدداً أكبر من الخطوات.

3- إعادة الحل باستخدام الصلابة المماسية:

هذه الطريقة تختلف عن الطريقتين السابقتين، حيث أنه عند وصول مفصل إلى مجال سالب في منحنى السلوك يتم إعادة حساب خواص المفاصل التي بدأت بالتلدن باستخدام الصلابة المماسية وإعادة الحل من جديد.

النماذج الإنشائية للمباني المدروسة:

النموذج (A) هو بناء من البيتون المسلح جملته إطارية مؤلف من 14 طابق، ارتفاع المبنى كاملاً 56 m، وتبلغ أبعاد النموذج (10*25)m، ومسقطه عبارة عن مستطيل، وتبلغ مساحته الطابقية 250 m².

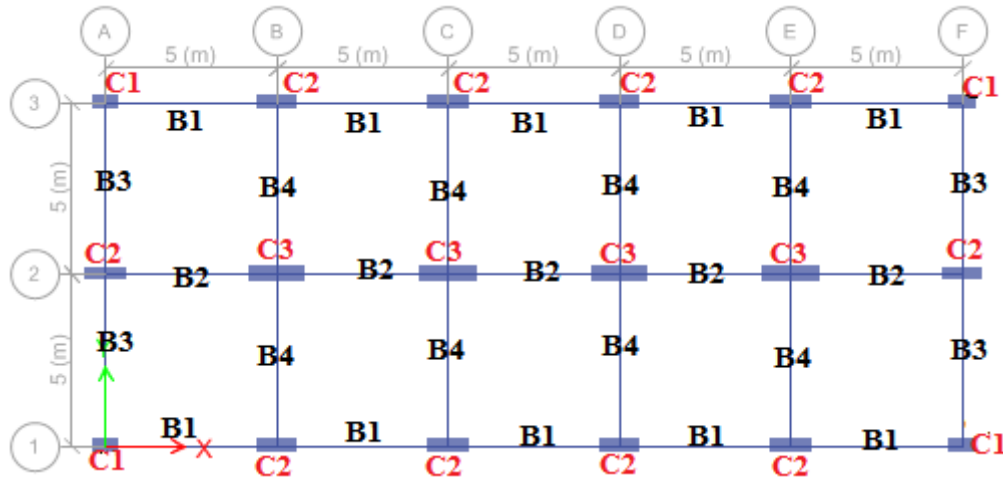
النموذج (B) هو بناء من البيتون المسلح جملته إطارية مؤلف من 10 طوابق، ارتفاع المبنى كاملاً 40 m، وتبلغ أبعاد النموذج (10*25)m، ومسقطه عبارة عن مستطيل، وتبلغ مساحته الطابقية 250 m².

تمت دراسة النموذجين وفق الكود العربي السوري الأساس لعام 2012 وملحقاته [11]، مع اعتبار سرعة الرياح هي أقصى سرعة مسجلة في سجلات الأرصاد الجوية في الجمهورية العربية السورية، تم اعتماد بلاطات مصممة عاملة

بالاتجاهين سماكتها 16 cm وذلك في كلا النموذجين، ويبين الشكل (2) المسقط الأفقي للنموذجين A و B، والجدول (2) معطيات أحمال الرياح من أجل النموذجين، والجدول (3) أبعاد الجوائز، والجدول (4) أبعاد الأعمدة.

في هذه الدراسة كانت القيم المميزة لمقاومة البيتون واجهاد الخضوع لفلواذ التسليح الرئيسي كما يلي:

$$f_{ys} = 240 \text{ MPa} \quad f_y = 360 \text{ MPa} \quad f'_c = 20 \text{ MPa}$$



الشكل (2): المسقط الأفقي لكلا المبنىين A و B.

الجدول (2): معطيات أحمال الرياح من أجل النموذجين A و B

سرعة الرياح الأساسية	$(58 \text{ m/sec}) = 129.69 \text{ mph}$ 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	النموذج A: $G = 1.13$ النموذج B: $G = 1.017$

والجدول (3): أبعاد الجوائز وتسليحها

الأساور	عند المساند	التسليح العلوي	التسليح السفلي	b (cm)	h (cm)	موقع الجائز
2Ø8/20cm	2H12	4H12	4H14	30	40	B1
2Ø8/20cm	2H12	4H12	5H14	30	40	B2
2Ø8/20cm	2H12	4H12	4H14	30	40	B3
2Ø8/20cm	3H16	4H16	6H16	30	40	B4

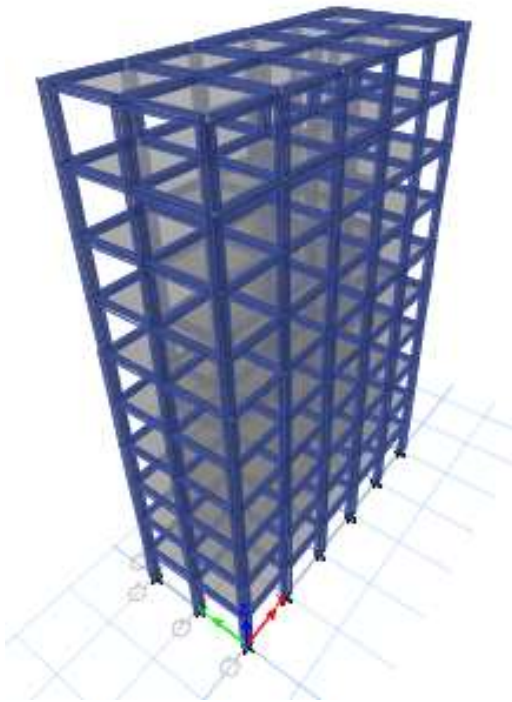
الجدول (4): أبعاد الأعمدة وتسليحها

الموقع	العمود	النموذج A			النموذج B		
		a (cm)	b (cm)	التسليح الطولي	a (cm)	b (cm)	التسليح الطولي
				الأساور			الأساور

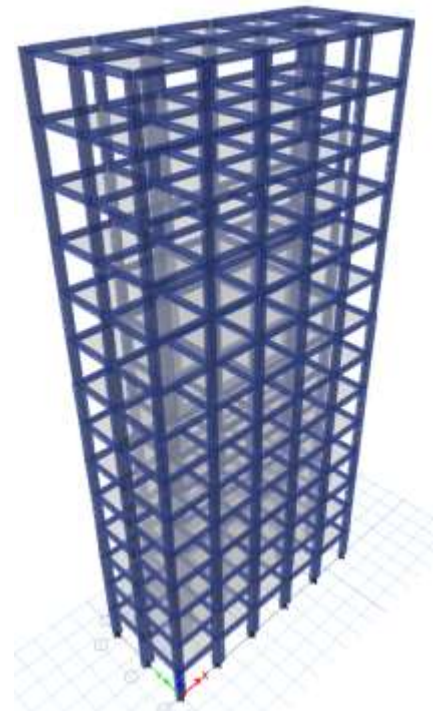
Story 1&2	C1	40	80	22H14	4Ø8/15cm	40	70	18H14	3Ø6/15cm
	C2	40	120	20H18	4Ø8/15cm	40	80	22H14	4Ø8/15cm
	C3	50	165	22H22	4Ø10/15cm	40	150	20H20	4Ø8/15cm
Story 3&4	C1	40	80	22H14	4Ø8/15cm	40	70	18H14	3Ø8/15cm
	C2	40	100	20H16	4Ø8/15cm	40	70	18H14	3Ø8/15cm
	C3	45	160	20H22	4Ø10/15cm	40	120	20H18	4Ø8/15cm
Story 5&6	C1	40	70	18H14	3Ø6/15cm	30	70	14H14	2Ø6/15cm
	C2	40	80	20H14	4Ø8/15cm	40	70	18H14	3Ø8/15cm
	C3	40	150	20H20	4Ø8/15cm	40	100	20H16	4Ø8/15cm
Story 7&8	C1	40	70	18H14	3Ø6/15cm	30	70	14H14	2Ø6/15cm
	C2	40	70	18H14	3Ø8/15cm	30	70	14H14	2Ø6/15cm
	C3	40	120	20H18	4Ø8/15cm	40	70	18H14	3Ø8/15cm
Story 9&10	C1	30	70	14H14	2Ø6/15cm	30	70	14H14	2Ø6/15cm
	C2	40	70	18H14	3Ø8/15cm	30	70	14H14	2Ø6/15cm
	C3	40	90	18H16	3Ø8/15cm	30	70	14H14	2Ø6/15cm
Story 11&12	C1	30	70	14H14	2Ø6/15cm	-	-	-	-
	C2	30	70	14H14	2Ø6/15cm	-	-	-	-
	C3	40	70	18H14	3Ø8/15cm	-	-	-	-
Story 13&14	C1	30	70	14H14	2Ø6/15cm	-	-	-	-
	C2	30	70	14H14	2Ø6/15cm	-	-	-	-
	C3	30	70	14H14	2Ø6/15cm	-	-	-	-

مراحل وخطوات تنفيذ التحليل الستاتيكي والستاتيكي اللاخطي باستخدام برنامج Etabs:

- 1- إنشاء نموذج رياضي (3D) للمبنى المدروس، والموضح في الشكلين (3) و(4).
 - 2- تصميم العناصر الإنشائية بحسب الحمولات واشتراطات الكود وتعريف المقاطع بأبعادها ونسب التسليح النهائية والتحقق منها في البرنامج.
 - 3- تعريف خواص المفصل اللدن واسنادها.
- قمنا في دراستنا باستخدام مفصل عزم M3 في نهايتي كل جائر، ومفاصل P-M2-M3 في بداية ونهاية كل عمود وتعريف خصائص هذه المفاصل أوتوماتيكياً حسب FEMA 356 [13].



الشكل (4): النموذج التحليلي للمبنى (B) 10 طوابق



الشكل (3): النموذج التحليلي للمبنى (A) 14 طابق

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 $P-\Delta$).
 - ❖ تم استخدام التحكم بالانتقال وتحديد قيمة الانتقال الهدف لكلا المبنىين، وفرض انتقال العقدة إما بالاتجاه X أو Y (قيمة الانتقال الهدف من $\frac{H}{300} \sim \frac{H}{200}$ [8]).
- $\delta = \frac{H}{300} = \frac{56}{300} = 0.187 \text{ m}$ النموذج A
 $\delta = \frac{H}{300} = \frac{40}{300} = 0.133 \text{ m}$ النموذج B
- 5- إجراء التحليل اللاخطي والحصول على نتائج التحليل والشكل المتشوه، وأماكن تشكل المفاصل اللدنة ومستويات الأداء التي وصلت إليها.

النتائج والمناقشة:

تبين الأشكال (من 5 حتى 34) تشكل المفاصل اللدنة في المبنى نتيجة استخدام التحليل الستاتيكي اللاخطي، حيث تم تطبيق أحمال الرياح على المبنى حسب الكود الأمريكي ASCE 7-16. يلاحظ تشكل المفاصل اللدنة في أغلب حالات التحميل في الطوابق السفلية باستثناء ثلاث حالات تحميل لم يتشكل فيها أي مفاصل لدنة.

المبنى A:

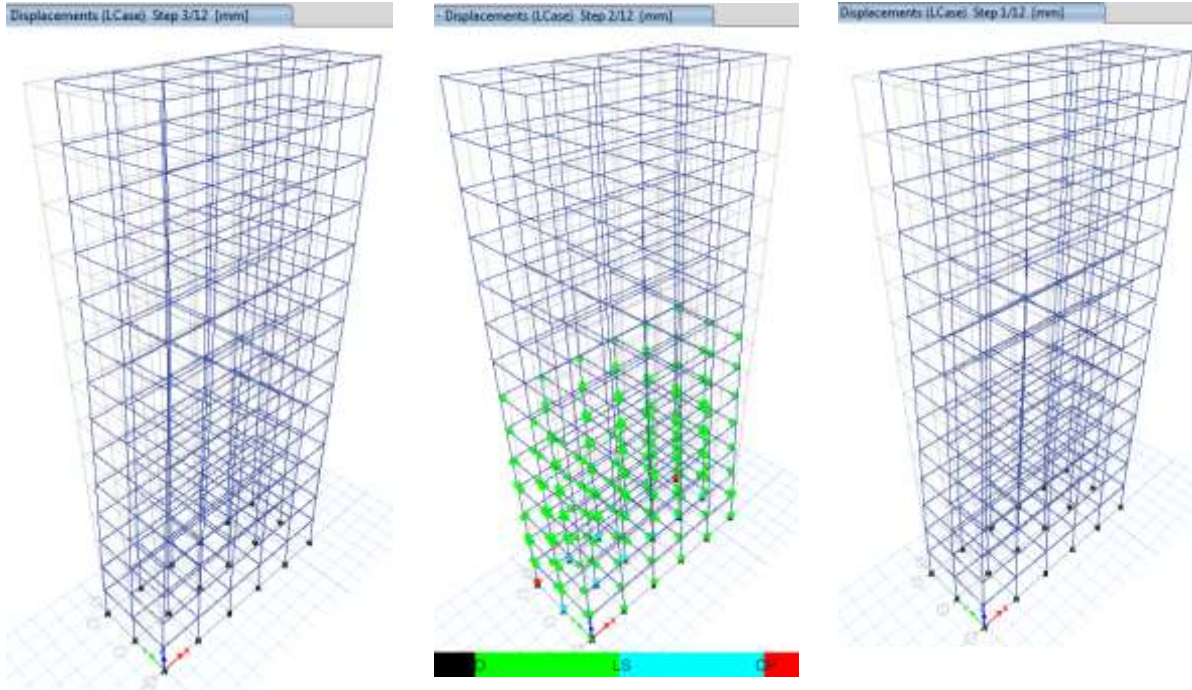
حالة التحميل (2): في الطابق الأرضي وصل مفصلين لمستوي منع الانهيار (CP) Collapse Prevention في عمودين ركنيين على المحاور 3-A و 3-F، كما وصل عدد من المفاصل في الأعمدة لمستوي سلامة الحياه Life Safety (LS)، أما بقية المفاصل المتشكلة في الجوائز والأعمدة في جميع الطوابق كانت ضمن مستوي الأشغال الفوري (IO) Immediate Occupancy.

حالة التحميل (5): في الطابق الأرضي وصل مفصلين لمستوي منع الانهيار (CP) Collapse Prevention في عمود ركني على المحور 3-F وعمود طرفي على المحور 3-E، كما وصل مفصل في عمود طرفي لمستوي سلامة الحياه Life Safety (LS) على المحور 3-D، أما بقية المفاصل المتشكلة في الجوائز والأعمدة في جميع الطوابق كانت ضمن مستوي الأشغال الفوري (IO) Immediate Occupancy.

حالة التحميل (6): في الطابق الأرضي وصل مفصلين لمستوي منع الانهيار (CP) Collapse Prevention في عمود ركني على المحور 3-A وعمود طرفي على المحور 3-B، كما وصل مفصل في عمود طرفي لمستوي سلامة الحياه Life Safety (LS) على المحور 3-C، أما بقية المفاصل المتشكلة في الجوائز والأعمدة في جميع الطوابق كانت ضمن مستوي الأشغال الفوري (IO) Immediate Occupancy.

حالة التحميل (7): تشكل عدد من المفاصل اللدنة في أعمدة الطابق الأرضي فقط، وجميعها ضمن مستوي الأشغال الفوري (IO) Immediate Occupancy.

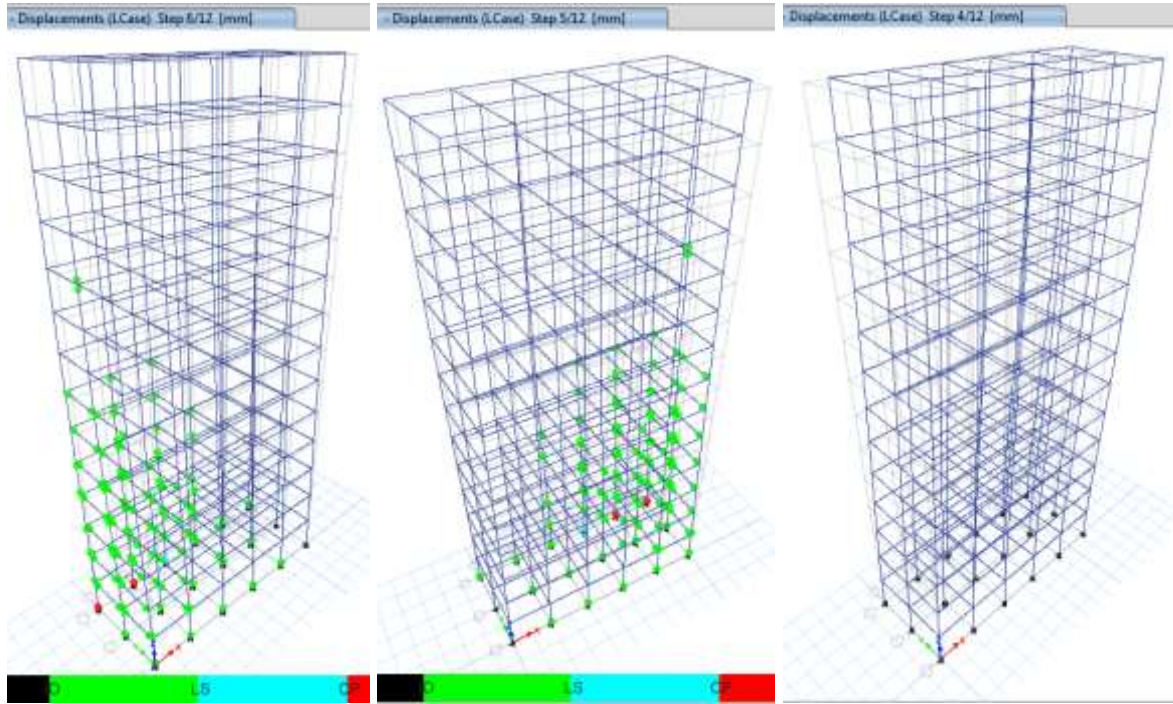
حالات التحميل (8-9-10-11-12): تشكل عدد من المفاصل اللدنة في الجوائز والأعمدة في جميع الطوابق، وجميعها ضمن مستوي الأشغال الفوري (IO) Immediate Occupancy.



الشكل (7): تشكل المفاصل اللدنة في النموذج A (حالة التحميل 3)

الشكل (6): تشكل المفاصل اللدنة في النموذج A (حالة التحميل 2)

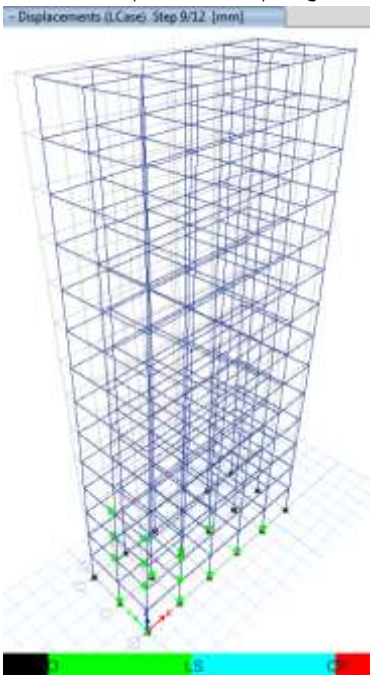
الشكل (5): تشكل المفاصل اللدنة في النموذج A (حالة التحميل 1)



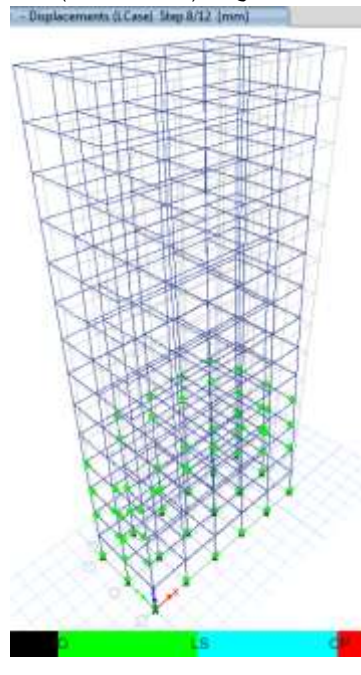
الشكل (10): تشكل المفاصل اللدنة في النموذج A (حالة التحميل 6)

الشكل (9): تشكل المفاصل اللدنة في النموذج A (حالة التحميل 5)

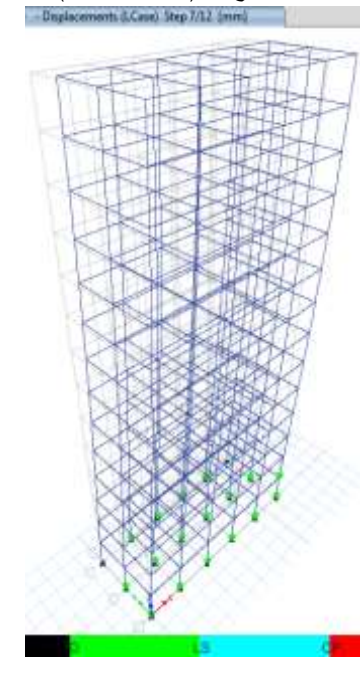
الشكل (8): تشكل المفاصل اللدنة في النموذج A (حالة التحميل 4)



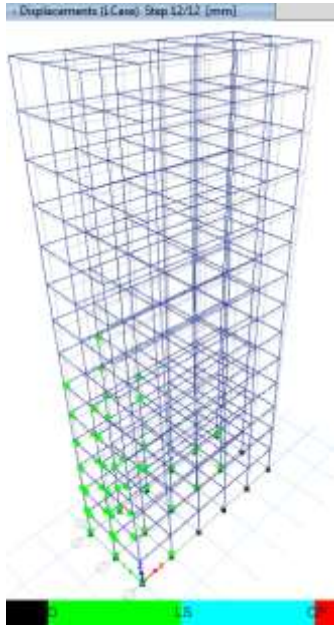
الشكل (13): تشكل المفاصل اللدنة في النموذج A (حالة التحميل 9)



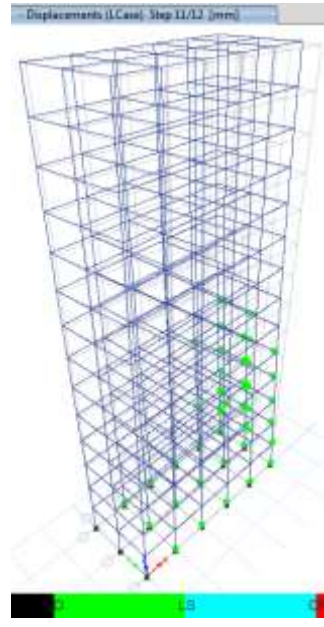
الشكل (12): تشكل المفاصل اللدنة في النموذج A (حالة التحميل 8)



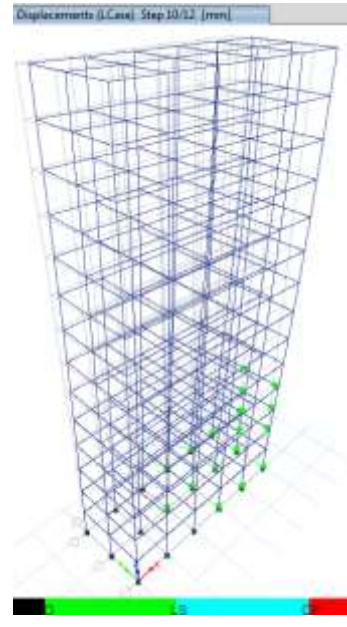
الشكل (11): تشكل المفاصل اللدنة في النموذج A (حالة التحميل 7)



الشكل (16): تشكل المفاصل اللدنة في النموذج A (حالة التحميل 12)

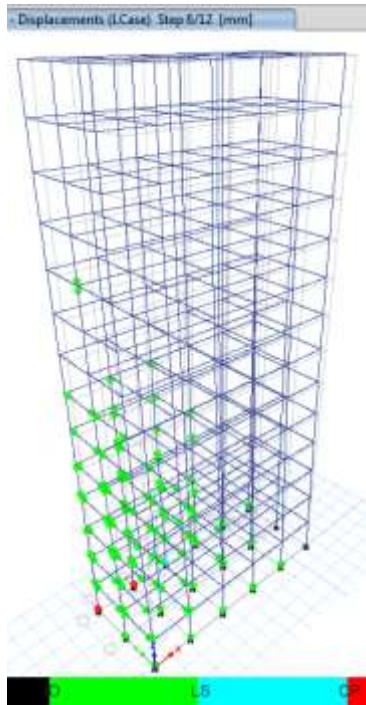


الشكل (15): تشكل المفاصل اللدنة في النموذج A (حالة التحميل 11)

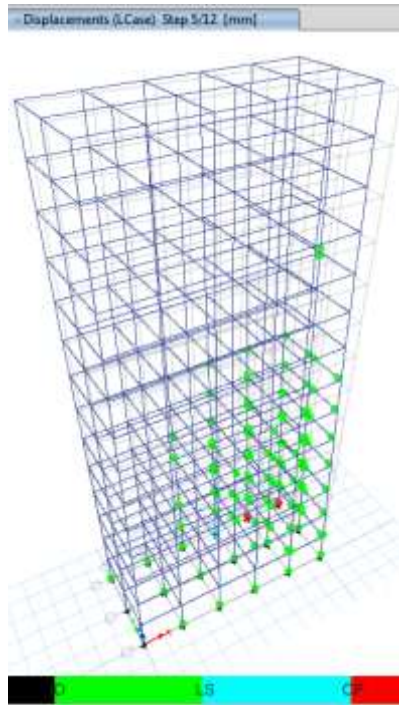


الشكل (14): تشكل المفاصل اللدنة في النموذج A (حالة التحميل 10)

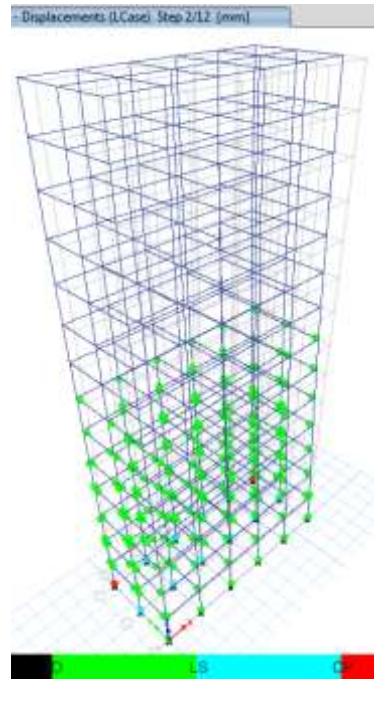
- بما أن المفاصل المنهارة كانت محصورة في الأعمدة في مستوي الطابق الأرضي للمبنى A سيتم زيادة المقاومة المميزة للبيتون المسلح لهذه الأعمدة فقط بمقدار 25% لتصبح $f'_c = 25 \text{ MPa}$ ، وإعادة التحليل ومقارنة النتائج كما هو مبين في الأشكال (من 17 حتى 22).



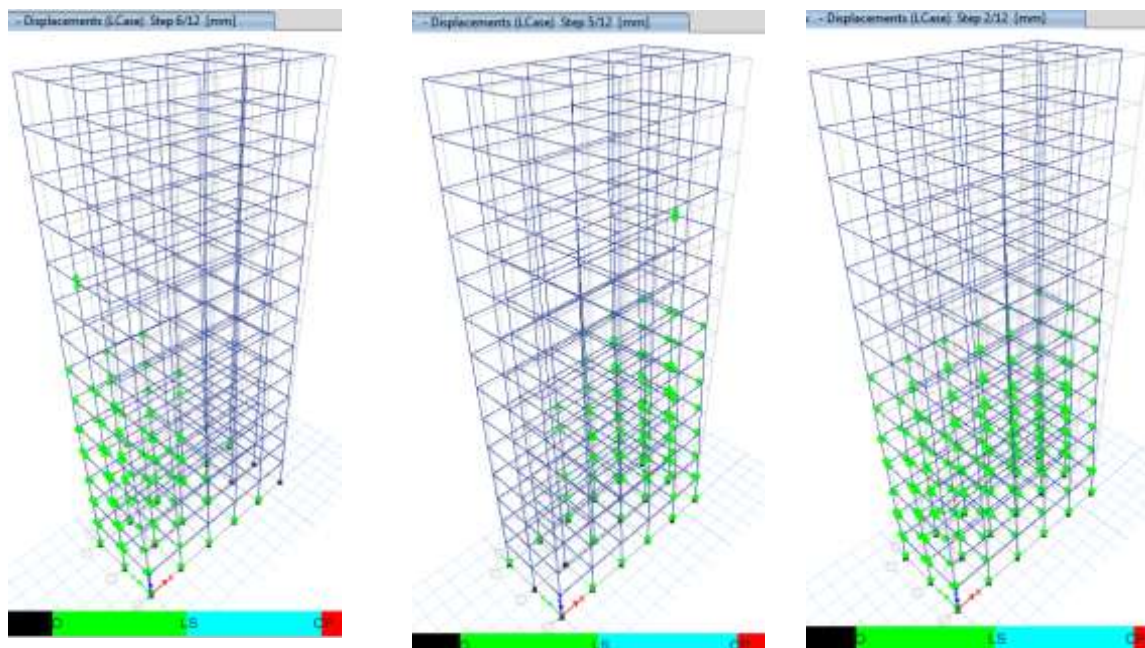
الشكل (19): تشكل المفاصل اللدنة في النموذج A (حالة التحميل 6)
 $f'_c = 20 \text{ MPa}$



الشكل (18): تشكل المفاصل اللدنة في النموذج A (حالة التحميل 5)
 $f'_c = 20 \text{ MPa}$



الشكل (17): تشكل المفاصل اللدنة في النموذج A (حالة التحميل 2)
 $f'_c = 20 \text{ MPa}$



الشكل (22): تشكل المفاصل اللدنة في النموذج A (حالة التحميل 6) $f'_c = 25 \text{ MPa}$

الشكل (21): تشكل المفاصل اللدنة في النموذج A (حالة التحميل 5) $f'_c = 25 \text{ MPa}$

الشكل (20): تشكل المفاصل اللدنة في النموذج A (حالة التحميل 2) $f'_c = 25 \text{ MPa}$

- أظهرت نتائج التحليل أن زيادة المقاومة المميزة للبيتون أدى إلى تحسن في الاستجابة الإنشائية للمبنى، حيث أن جميع المفاصل المتشكلة في أعمدة الطابق الأرضي بقيت ضمن مستوي الأشتغال الفوري (IO).

المبنى B:

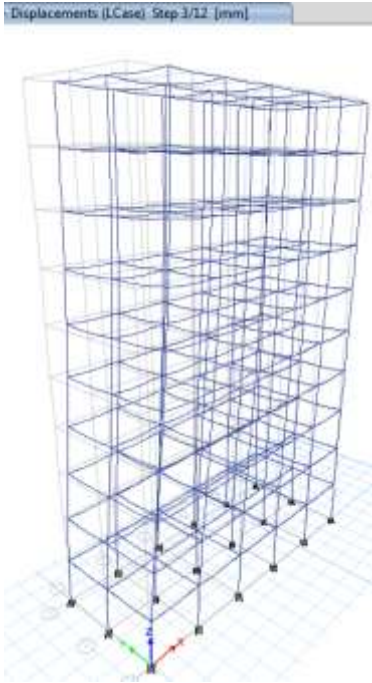
حالة التحميل (2): في الطابق الأرضي وصل عدد من المفاصل في الأعمدة لمستوي سلامة الحياه Life Safety (LS)، أما بقية المفاصل المتشكلة في الجوائز والأعمدة في جميع الطوابق كانت ضمن مستوي الأشتغال الفوري (IO) Immediate Occupancy.

حالة التحميل (5): في الطابق الأرضي وصل عدد من المفاصل في الأعمدة لمستوي سلامة الحياه Life Safety (LS)، أما بقية المفاصل المتشكلة في الجوائز والأعمدة في جميع الطوابق كانت ضمن مستوي الأشتغال الفوري (IO) Immediate Occupancy.

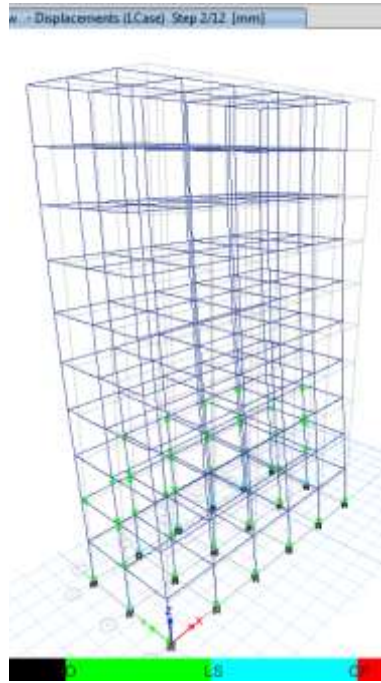
حالة التحميل (6): في الطابق الأرضي وصل عدد من المفاصل في الأعمدة لمستوي سلامة الحياه Life Safety (LS)، أما بقية المفاصل المتشكلة في الجوائز والأعمدة في جميع الطوابق كانت ضمن مستوي الأشتغال الفوري (IO) Immediate Occupancy.

حالة التحميل (7): تشكل عدد من المفاصل اللدنة في أعمدة الطابق الأرضي فقط، وجميعها ضمن مستوي الأشتغال الفوري (IO) Immediate Occupancy.

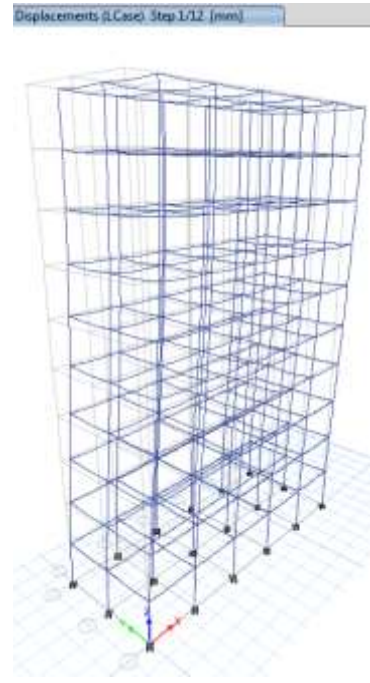
حالات التحميل (8-9-10-11-12): تشكل عدد من المفاصل اللدنة في الجوائز والأعمدة في جميع الطوابق، وجميعها ضمن مستوي الأشتغال الفوري (IO) Immediate Occupancy.



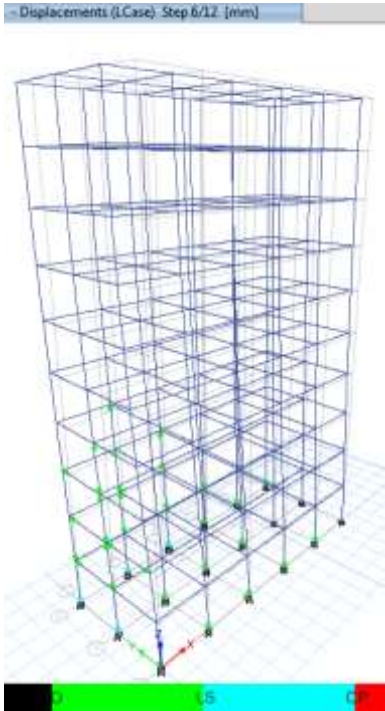
الشكل (25): تشكل المفاصل اللدنة في النموذج B (حالة التحميل 3)



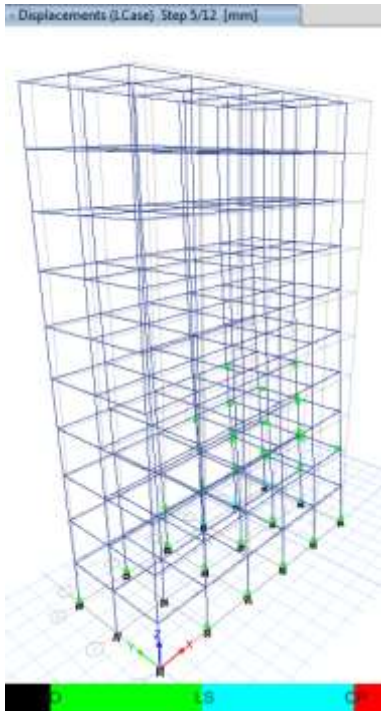
الشكل (24): تشكل المفاصل اللدنة في النموذج B (حالة التحميل 2)



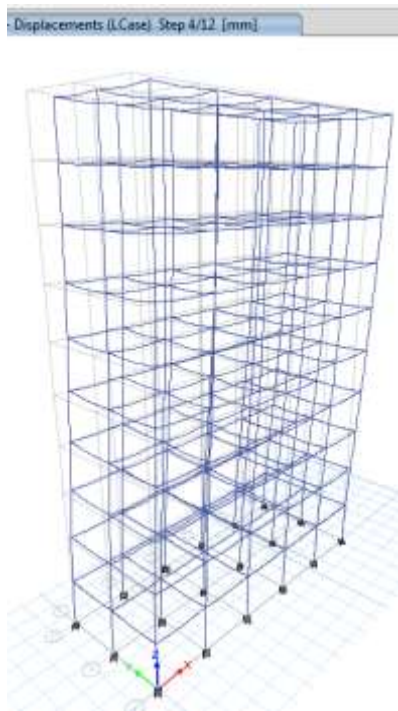
الشكل (23): تشكل المفاصل اللدنة في النموذج B (حالة التحميل 1)



الشكل (28): تشكل المفاصل اللدنة في النموذج B (حالة التحميل 6)

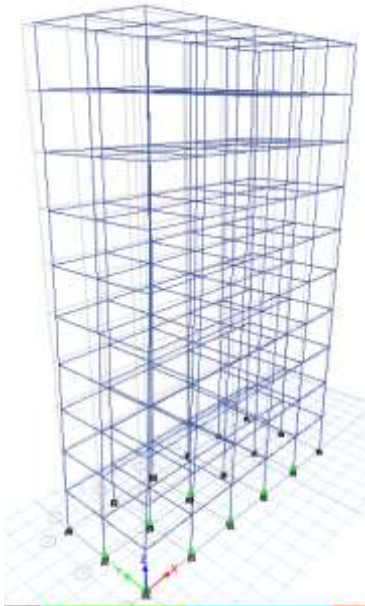


الشكل (27): تشكل المفاصل اللدنة في النموذج B (حالة التحميل 5)



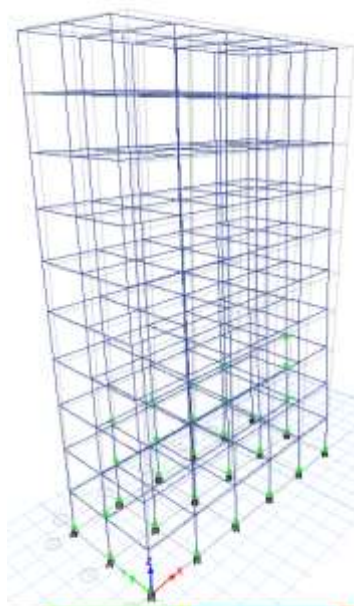
الشكل (26): تشكل المفاصل اللدنة في النموذج B (حالة التحميل 4)

Displacements (LCASE) Step 9/12 (mm)



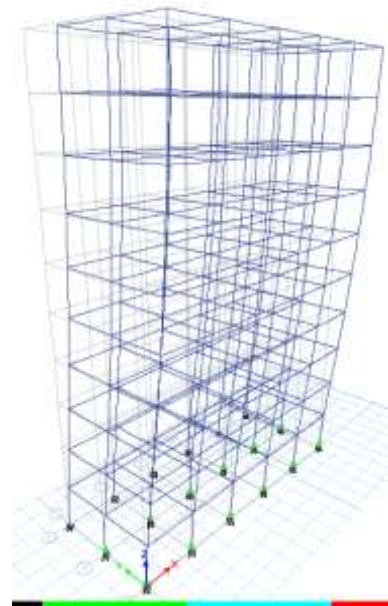
الشكل (31): تشكل المفاصل اللدنة في النموذج B (حالة التحميل 9)

Displacements (LCASE) Step 8/12 (mm)



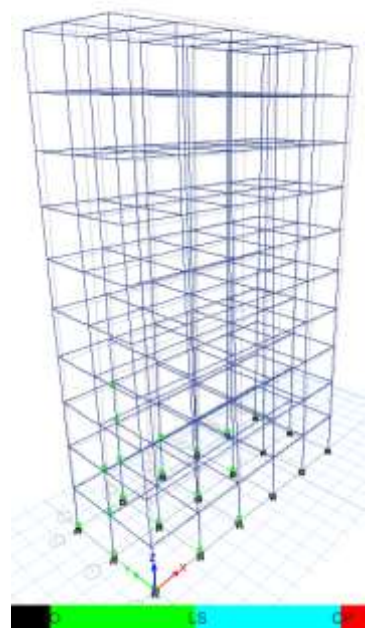
الشكل (30): تشكل المفاصل اللدنة في النموذج B (حالة التحميل 8)

Displacements (LCASE) Step 7/12 (mm)



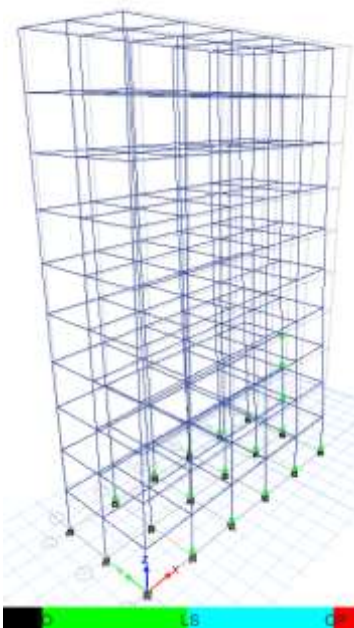
الشكل (29): تشكل المفاصل اللدنة في النموذج B (حالة التحميل 7)

Displacements (LCASE) Step 12/12 (mm)



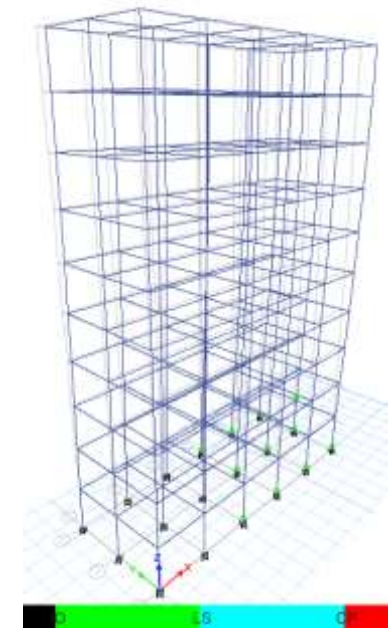
الشكل (34): تشكل المفاصل اللدنة في النموذج B (حالة التحميل 12)

Displacements (LCASE) Step 11/12 (mm)



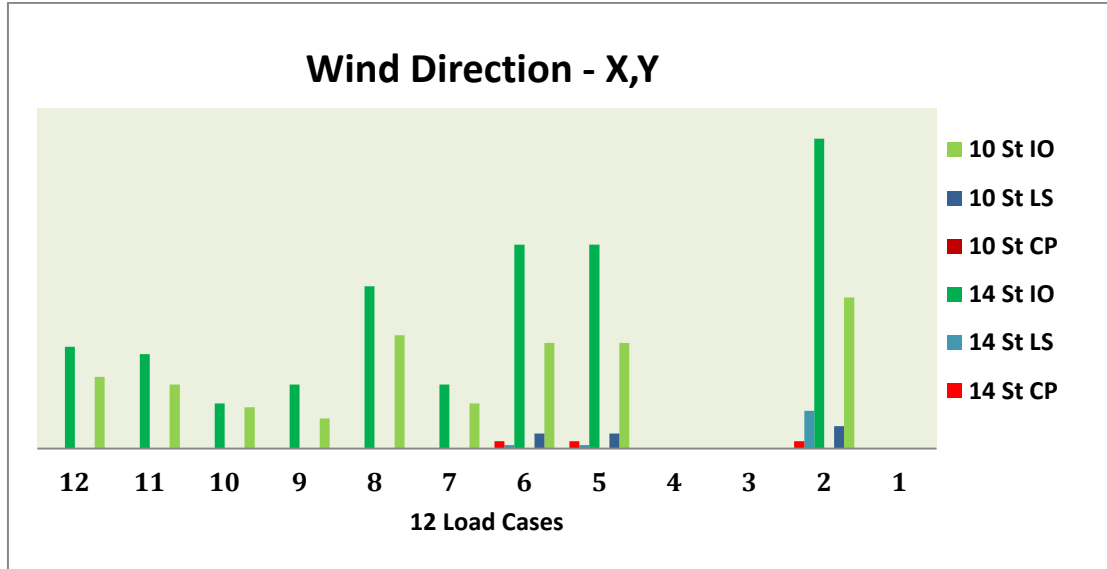
الشكل (33): تشكل المفاصل اللدنة في النموذج B (حالة التحميل 11)

Displacements (LCASE) Step 10/12 (mm)

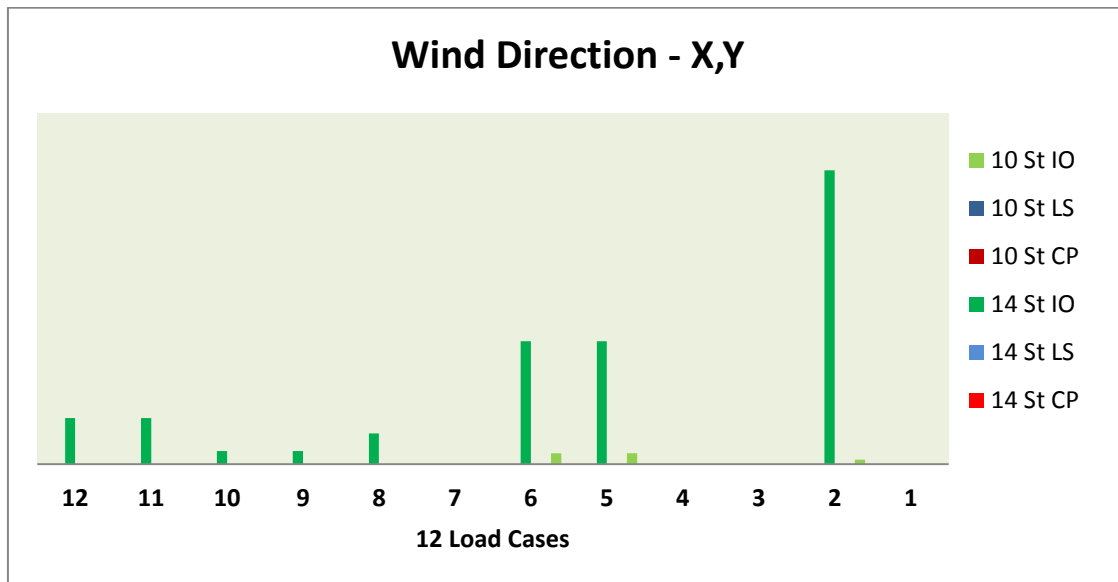


الشكل (32): تشكل المفاصل اللدنة في النموذج B (حالة التحميل 10)

- وتبين الأشكال (35-36) مقارنة بين عدد المفاصل المتشكلة في كل من الأعمدة والجوائز للنموذجين A و B.



الشكل (35): مقارنة بين عدد المفاصل المتشكلة في الأعمدة للنموذجين A و B.



الشكل (36): مقارنة بين عدد المفاصل المتشكلة في الجوائز للنموذجين A و B.

الاستنتاجات والتوصيات:

الاستنتاجات:

- عند تطبيق أحمال الرياح بالاتجاه الطويل للنموذجين A و B، وفي جميع حالات التحميل ذات الصلة لم يتشكل مفاصل منهارة، وإنما بقيت جميعها ضمن مستوي الأفعال الفوري (IO).
- عند تطبيق أحمال الرياح بالاتجاه الطويل والقصير لكلا النموذجين A و B، وبمختلف حالات التحميل كانت المفاصل المتشكلة في الجوائز ضمن مستوي الأفعال الفوري (IO).

- عند تطبيق أحمال الرياح بالاتجاه القصير للمبنى A، تشكل عدد من المفاصل المنهارة في الأعمدة، والتي لا ترضي معايير القبول (حيث يجب أن تبقى جميع المفاصل ضمن مستوي الأثغال الفوري)، وكانت محصورة في الأعمدة الطرفية في مستوي الطابق الأرضي في حالات التحميل (2-5-6).
- عند تطبيق أحمال الرياح بالاتجاه القصير للمبنى B، تشكل عدد من المفاصل ضمن مستوي (LS) في الأعمدة.
- أدت زيادة المقاومة المميزة للبيتون بمقدار 25% في النموذج A المؤلف من 14 طابق إلى تحسن الاستجابة الإنشائية للأعمدة المنهارة في الطابق الأرضي.

التوصيات:

- دراسة تأثير مختلف أنواع البلاطات على سلوك المباني العالية تحت تأثير أحمال الرياح.
- دراسة تأثير الجمل الثنائية اللاخطية تحت تأثير أحمال الرياح.

- 1- Anwar, N. " Case Studies for Performance Based Design Review of Tall Buildings". International Conference on Earthquake Engineering & Seismology (ICEES-2011) National University of Sciences and Technology (NUST). Islamabad, Pakistan 25-26 April 2011.
- 2- Foley, C. M. Optimized performance-based design for buildings. Recent Adv. Opt. Struct. Des. 2002,169–240.
- 3- Huang, F. et al. "Journal of Wind Engineering Performance-Based Design Optimization of Tall Concrete Framed Structures Subject to Wind Excitations. 2015 " 139: 70–81.
- 4- Paulotto C, Ciampoli M, Augusti G. Some proposals for a first step towards a performance based wind engineering. In: Proceedings of the IFED international forum in engineering decision making; First Forum, December, 5–9, Stoos, Switzerland; 2004. <<http://www.ifed.ethz.ch>>.
- 5- Elezaby, F. Y. A performance based design approach for tall buildings under wind loading. Masters thesis, Western University, Canada. 2017.
- 6- FEMA (2012a). *Seismic performance assessment of buildings, Volume 1 – Methodology*, FEMA P-58-1, prepared by the Applied Technology Council for the Federal Emergency Management Agency, Washington, DC. 2012.
- 7- Ciampoli, M., Petrini, F., Augusti, G.. "Performance-Based Wind Engineering: Towards a general procedure".Eng.8 (10), 2011, 954–966.
- 8- American Society of Civil Engineers (ASCE). Prestandard for Performance-Based Wind Design. (41-13), Reston, VA. 2020.
- 9- Badoura, Muhammad Karama. "Modern methods in designing and rehabilitating tall buildings to resist earthquakes." Conference on modern technologies in the design and construction of engineering facilities - Al-Baath University. 2017.
- 10- Debbane, Nabil. Nazih, Mansour. Abu Asali, Zeina. "A contribution to studying the effect of vibration patterns on simplified nonlinear static analysis in high-rise buildings made of reinforced concrete." Master's thesis - Tishreen University. 2016.
- 11- The Syrian Arab Code for the Design and Implementation of Reinforced Concrete Structures and its Appendixes, 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.
- 13- FEMA 356, "Prestandard and Commentary for the Seismic Rehabilitation of Buildings", American Society of Civil Engineers, USA, 2000.