

A Contribution to Evaluate Seismic Response Modification Factor for Structural Base Isolated Systems

Dr . Bassam Hwaija*

Dr. Nazih Mansour**

Tony Zaki Tayar***

(Received 10 / 12 / 2022. Accepted 18 / 5 / 2023)

□ ABSTRACT □

In recent years, structural engineering has witnessed many modern technologies that helped improve the performance of buildings against natural loads such as winds and earthquakes. This large spread in the use of this technology forced us, as structural engineers, to know the methods of designing this type of buildings and to expand in their analysis methods.

And in considering the seismic response modification factor or the so-called inelastic behavior coefficient (R factor) as one of the important parameters in the structural design process of buildings exposed to seismic risk, the aim of this research was to study the values of the RI factor for the isolated buildings and compare them with what is stipulated in the international codes that are related with this kind of structural systems , which we found that it shows a kind of reservation towards the values of the RI factor, which in turn reflects on the economical design.

In order to reach the goal of the research, we used static nonlinear pushover analysis on a group of building models and studied the effect of changing some parameters such as the number of floors, damping ratios, and stiffness on the behavior of these models, in addition to conducting a dynamic nonlinear analysis of the models based on the time record of the Centro earthquake, and Reaching values for the RI factor, which were in turn different from what was stated in international codes such as ASCE 7-16, IBC2000.

Keywords: Base Isolation , Response Modification Factor , Pushover Analysis , Lead Rubber Bearings , Overstrength , Ductility, Damping .

Copyright



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

* Professor, Department of Structural Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.

e-mail: h.bassam65@yahoo.com

**Assistant Professor, Department of Structural Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.

e-mail: dr.nazih.mansour@tishreen.edu.sy

***Postgraduate Student (Master), Department of Structural Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria. **e-mail:** tony.tayar94@gmail.com

مساهمة في تقييم عامل تعديل الاستجابة الزلزالية للجمل الإنشائية المعزولة قاعدياً

د. بسام حويجة*

د. نزيه منصور**

طوني ذكي طيار***

(تاريخ الإيداع 10 / 12 / 2022. قُبِلَ للنشر في 18 / 5 / 2023)

□ ملخص □

شهدت الهندسة الإنشائية في السنوات الأخيرة العديد من التقنيات الحديثة التي ساعدت على تحسين أداء المباني في مواجهة أحمال الطبيعة كالرياح والزلازل ولعلّ من أبرزها تقنية العزل الزلزالي القاعدي والتي انتشرت بدورها بشكل واسع واستخدمت في العديد من دول العالم. هذا الانتشار الكبير في استخدام هذه التقنية فرض علينا كمهندسين إنشائيين الإلمام بطرق تصميم هكذا نوع من المباني والتوسع في طرق التحليل الخاصة بها.

وباعتبار عامل تعديل الاستجابة الزلزالية أو ما يسمى بمعامل السلوك اللامرن (**العامل R**) من البارامترات الهامة في عملية التصميم الإنشائي للمباني المعرضة للخطر الزلزالي كان الهدف من هذا البحث دراسة قيم العامل RI لجمل المباني المعزولة قاعدياً ومقارنتها مع ما تنص عليها الكودات العالمية التي تعنى بهذا نوع من الجمل الإنشائية والتي وجدنا أنها تبدي نوعاً من التحفظ تجاه قيم العامل RI والذي ينعكس بدوره على اقتصادية التصميم.

ومن أجل الوصول لغاية البحث قمنا باستخدام التحليل الاستاتيكي اللاخطي **Pushover Analysis** على مجموعة من نماذج المباني ودراسة تأثير تغيير بعض البارامترات مثل عدد الطوابق ونسب التخامد والصلابة على سلوك هذه النماذج بالإضافة إلى إجراء تحليل ديناميكي لاخطي للنماذج باعتماد السجل الزمني لزلزال السينترو، والتوصل إلى قيم للعامل RI والتي كانت بدورها تختلف عما ورد عليه في الكودات العالمية مثل **IBC2000** , **ASCE 7-16** .

الكلمات المفتاحية: العزل القاعدي ، عامل تعديل الاستجابة ، التحليل الاستاتيكي اللاخطي ، وحدات العزل المطاطية المزود بنواة رصاص ، المقاومة الزائدة ، المطاوعة ، التخامد .

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. h.bassam65@yahoo.com

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

dr.nazih.mansour@tishreen.edu.sy

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

e-mail: tonv.tavar94@gmail.com

مقدمة :

تبنى المنشآت لتقوم بأغراض متعددة تتعلق بوظيفتها المطلوبة سواءً كانت خدمية تعليمية صحية رياضية أو حتى المنشآت التي تستخدم في مجالات النقل أو التخزين. هذه المنشآت يجب أن تكون قادرة على تحمل القوى المعرضة لها خلال فترة استخدامها وذلك من خلال امتلاكها للمقاومة والصلابة الكافيتين للحد من التشوهات والانتقالات. تتحدد مقاومة المنشأ من خلال المقاطع الهندسية لعناصره والمباني متعددة الطوابق تتأثر إلى حد كبير بالقوى الجانبية كالزلازل والرياح والتي تلعب دوراً مهماً في عملية تصميمها. يحدث الزلزال نتيجة اهتزاز سطح الأرض وذلك بسبب تحرر مفاجئ للطاقة داخل القشرة الأرضية والذي بدوره يسبب أمواج سيسمائية (زلزالية) وبالتالي فإن السبب الرئيسي للزلازل يكون بتحريك الصفائح التكتونية وتصادمها مع بعضها ويمكن أن يكون بسبب عوامل أخرى طبيعية أو صناعية من يد البشر. تؤدي الزلازل إلى خسائر عديدة في الأرواح والممتلكات وذلك بسبب خطورة انهيار المباني بشكل أساسي بالإضافة إلى التأثيرات الجانبية الأخرى التي تلي الزلازل كانهيار التربة والحرائق والفيضانات. إن التقدم في مواد البناء المستخدمة والأنظمة الإنشائية، بالإضافة إلى تطور البرمجيات الحاسوبية وطرق التصميم خلال القرن الماضي جعل من إنشاء الأبنية العالية أمراً متاحاً.

على الرغم من ذلك لا تزال الأحمال الاستثنائية (البيئية) كالزلازل والرياح تشكل خطراً وتحدياً جدياً يقع على عاتق المهندس الإنشائي، حيث يمكن أن تسبب الضرر أو حتى تدمير المنشآت كما أن إنشاء بناء تقليدي مقاوم للأحمال الديناميكية من الممكن أن يكون في كثير من الأحيان غير اقتصادي وحتى غير عملي حيث أنه مع حركات أرضية قوية وإن لم تسبب بأضرار إنشائية في المنشأ فقد تؤثر على العناصر غير الإنشائية وتسبب أضراراً فيها وتعرض مستخدمي المنشأ للإصابات مما ينعكس سلباً على قابلية استثمار المنشأ، لذلك برزت في السنوات الأخيرة تقنية العزل القاعدي كإحدى الوسائل لتحسين الاستجابة الديناميكية للأبنية، طورت هذه التقنية في أواسط السبعينات من القرن العشرين واستخدمت بشكل واسع عالمياً للتخفيف من الضرر للمنشآت المعرضة لحركات أرضية قوية .

تسمح أغلب الكودات الزلزالية بتخفيض في الأحمال الزلزالية مستفيدة من حقيقة أن المنشآت تملك مقاومة احتياطية تدعى زيادة المقاومة (Overstrength) وقدرة على تبديد الطاقة تدعى المطاوعة (Ductility). ويتم تضمين زيادة المقاومة والمطاوعة في التصميم الإنشائي من خلال عامل تخفيض القوة المسمى عامل تعديل الاستجابة الزلزالية R في الكودات الأمريكية أو بعامل السلوك في الكود الأوروبي q. إن الهدف من العامل R هو تبسيط عملية التصميم الإنشائي بحيث يتم الاكتفاء بالتحليل الاستاتيكي المرن من أجل تصميم معظم الأبنية.

وبالنظر إلى الانتشار الواسع لتطبيق تقنية العزل الزلزالي والاهتمام المتزايد بها عالمياً، كان من واجبنا كمهندسين إنشائيين الإلمام بطرق تصميم المنشآت المعزولة قاعدياً والتوسع بها. وباعتبار أن عامل الاستجابة يلعب دوراً هاماً في عملية التصميم الزلزالي كان من الضروري التركيز على دراسة تغيرات هذا العامل حيث لا يوجد بارامتر آخر في معادلة القص القاعدي التصميمي يؤثر في تصميم النظام الإنشائي كما يفعل العامل R.

أهمية البحث و أهدافه:

إن فلسفة تصميم المنشآت المعزولة قاعدياً تفرض بقاء جزء المبنى فوق وحدات العزل صلباً مرناً خلال الحدث الزلزالي فيما يستجيب نظام العزل متمثلاً بوحدات العزل القاعدية بشكل لا مرن وهذا ما يعرف بالاستجابة ثنائية الخطية

Bilinear والتي هي أساس تصميم المباني المعزولة قاعدياً، لكن بنفس الوقت إن سلوك المنشآت المعزولة قاعدياً عندما يدخل الجزء العلوي من المبنى في مجال الاستجابة غير المرنة لا يزال غير مفهوم، هكذا سلوك يمكن ألا يكون نظرياً فقط وإنما من الممكن أن يحدث عملياً على سبيل المثال أن تكون القوى الزلزالية المطبقة على الجزء العلوي لمبنى معزول قاعدياً أكبر من القوى التصميمية بسبب حركات أرضية أقوى من مستوى الزلزال التصميمي أو حتى أن جرى المبنى العلوي يمكن أن يكون أضعف من المتوقع بسبب نمط استجابة من الأنماط العليا غير محسوب أثناء التصميم أو أخطاء حدثت خلال البناء، ويمكن أن يكون جزء المبنى العلوي لمنشأ معزول قاعدياً صمم عمداً ليُدخل ضمن نطاق السلوك غير المرن وذلك للتقليل من التكلفة الاقتصادية والتعويض عن كلف إنشاء نظام العزل الباهظة الثمن. بالرغم من الدور الأساس الذي يلعبه عامل الاستجابة في عمليات التصميم الزلزالي وفي الأداء الزلزالي للمباني، نلاحظ غياب الركيزة العلمية التي تبرر قيم هذا العامل، إذ لاحظنا من خلال دراستنا المرجعية أنه يوجد بعض التحفظ على قيمة هذا العامل لأسباب تتعلق بفلسفة التصميم السائدة لهذا النوع من الجمل والتي تبرر هذا التحفظ بنقص الطلب على المطاوعة (Ductility Demand)، إلا أن هذا التبرير من شأنه أن ينعكس سلباً على اقتصادية التصميم لجزء المبنى الواقع فوق مستوى العزل.

لذلك يمكن تلخيص الهدف من بحثنا بالنقاط التالية:

- سوف نساهم في تقدير القيم الواقعية لعامل تعديل الاستجابة الزلزالية R_I للجمل المعزولة قاعدياً باستخدام التحليل الاستاتيكي اللاخطي بطريقة ال PushOver .
 - مقارنة القيم التي نتوصل إليها مع المنصوص عليها في الكودات المختصة.
- 1- الدراسة المرجعية :

- إن فلسفة تصميم المنشآت المعزولة قاعدياً تفرض بقاء المبنى فوق مستوى العزل دون أضرار في العناصر الإنشائية وحتى غير الإنشائية وبالتالي اعتبار المبنى كجسم صلب يتحرك أفقياً عند أي إثارة زلزالية (Naeim & Bolt) [1] ولعلّ الفضل في ذلك يعود إلى التناقص الكبير في الإزاحة الطابقية والتسارع الطابقي للذاتن يسببان الضرر الأكبر في حالة المباني الموثوقة بالقاعدة. وبالتالي إن الحاجة إلى تبديد الطاقة عن طريق تشكل مفاصل لدنة لا داعي له كما في حالة التصميم التقليدي للأبنية أي أن الطلب على المطاوعة يتناقص أو يكاد يكون معدوم في بعض الأحيان وهذا يتوافق مع تناقص كبير في القوى الجانبية (القصر الطابقي) مقارنة بالأبنية الموثوقة. وبالرجوع إلى الكود ASCE/SEI 7-10 والذي يعتبر مرجعاً أساسياً في التصميم الزلزالي للمنشآت المعزولة، تحدد قوة القصر في مستوى العزل والعناصر الواقعة أسفله بالعلاقة [2]:

$$V_b = k_D \max D_D \quad (1)$$

حيث:

$k_D \max$: هي الصلابة الفعالة الأعظمية لنظام العزل عند انتقال تصميمي في الاتجاه الأفقي تحت تأثير معين . (kN/mm)

D_D : الانتقال التصميمي في مركز صلابة نظام العزل في اتجاه ما تحت تأثير معين (mm).

وتعطى قوة القصر التي تستخدم في التصميم (قوة القصر المخفضة) لجزء المبنى الواقع أعلى مستوى العزل:

$$V_s = \frac{V_b}{R_I} \quad (2)$$

حيث:

R_I : عامل تعديل الاستجابة وهو يتعلق بعامل الاستجابة الزلزالية للنظام الإنشائي فوق نظام العزل بحيث يكون:

$$1 \leq R_I = \frac{3}{8} R \leq 2 \quad (3)$$

• في حين أن الـ ASCE7-16 أعطي استثناء لاستخدام قيم أكبر للعامل R_I شريطة أن تحقق مقاومة المبنى فوق مستوى العزل عند استخدام تحليل استاتيكي لاخطي الشرط $V_s \geq 1.1V_b$ و ذلك عند انتقال للسطح الأخير Roof Displacement يوافق الأقل من القيم التالية [3]:

❖ الإزاحة عند استخدام طيف استجابة تصميمي أعظمي MCER

❖ إزاحة بمقدار $0.015h_{sx}$

قام D.Pietra [4] بمراجعة نظرية لتصميم الأبنية المعزولة قاعدياً حسب الكودات (الأمريكي والأوروبي والياباني) وإجراء مقارنة لمتطلبات التصميم واجراءات التحليل وشروط الاختبارات ودعم ذلك كله من خلال مثال حسابي وذلك بهدف تطوير مرجع محدد لتصميم هكذا نوع من المباني في New Zealand .
يحدد الكود الياباني القص القاعدي التصميمي للمباني المعزولة قاعدياً بالعلاقة:

$$1.3 * K_{eff} * \Delta_{ELFM} \quad (4)$$

حيث:

Δ_{ELFM} : هي الانتقال المرن التصميمي حسب الطريقة الاستاتيكية

K_{eff} : الصلابة الفعالة لنظام العزل عند الانتقال التصميمي

يفرض الكود الياباني عامل أهمية حسب نوع المنشأة ($IF = 1.25$ or 1.5)

أما الكود الأمريكي ACSE 7-10 يحدد القص التصميمي القاعدي بالعلاقة:

$$\frac{K_D * D_D}{R_I} \quad (5)$$

حيث:

K_D : الصلابة التصميمية الفعالة لوحدة العزل القاعدية عند الانتقال التصميمي.

D_D : الانتقال التصميمي في مركز نظام العزل تحت تأثير اتجاه أفقي معين.

R_I : عامل تخفيض الاستجابة للمبنى المعزول قاعدياً ويتعلق بعامل تعديل الاستجابة R للنظام الإنشائي للمبنى فوق

وحدات العزل حيث:

$$1 \leq R_I = \frac{3}{8} R \leq 2 \quad (6)$$

يفرض الكود الأمريكي قيمة واحدة لعامل الأهمية بغض النظر عن نوع المنشأة ($IF = 1$)

يحدد الكود الأوروبي EC8 القص القاعدي التصميمي بالعلاقة:

$$\frac{K_{eff} * \Delta_{ELFM}}{q} \quad (7)$$

حيث:

K_{eff} : الصلابة الفعالة لنظام العزل عند الانتقال التصميمي .

Δ_{ELFM} : هي الانتقال المرن التصميمي حسب الطريقة الاستاتيكية .

q : عامل تخفيض المقاومة (عامل السلوك) و يفرض الكود الأوروبي قيمة ثابتة له تساوي 1.5

يفرض الكود الأوروبي قيمة عامل أهمية حسب نوع المنشأة و تتراوح ($IF = 0.8$ to 1.4) يختلف الكود الأمريكي عن الأوروبي من جهة و عن الياباني من جهة أخرى حيث أن الأخير يفرض نظام أكثر مرونة (Flexible) وذلك بفضل مجموعة من الحدود الصغرى للدوار الفعالة وبدون شروط أو متطلبات على النمذجة الخطية (Linear Modeling).

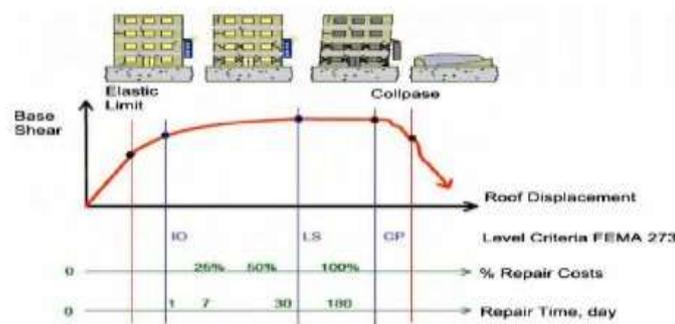
- تبين FEMA (Federal Emergency Management Agency) [5] أن عامل تعديل الاستجابة المحسوب على أساس قيمة تساوي ($R_I = 2$) يجعل سلوك المنشأ بين مستوى القوة التصميمي ومستوى الخضوع الفعلي. بالتالي ترى الـ FEMA أنّ استخدام عامل ($R_I = 2$) هو مناسب من أجل ضمان بقاء المنشأ مرناً خلال الزلزال. وبالتالي الطلب على اللدونة يقل عن المنشآت ذات التصميم التقليدي.

- بالإضافة إلى أسباب تتعلق بالقابلية الكبيرة لتبديد الطاقة وزيادة التخماد يرى Chopra [6] أن السبب الأساسي وراء فعالية أنظمة العزل القاعدي في تخفيض القوى الناتجة عن الزلازل يعود إلى إطالة دور الاهتزاز الخاص بالنمط الأول.

إلا أنه في الحالة التي يصبح فيها دور المبنى الناتج عن العزل T_b أكبر بكثير من دور المبنى في حالة الموثوق مع القاعدة T_f أي ($T_b \gg T_f$) ، يلاحظ أن المبنى لا يحافظ على سلوكه الصلب المعتاد، كما يلاحظ ازدياد مساهمة الأنماط الأعلى **Structural modes** وبالتالي لا يمكن إهمال تأثير هذه الأنماط على الاستجابة وعلى القوى الناتجة عن الزلزال.

- قام Tavio [7] بدراسة تحليلية لمبنى بيتوني مكون من 12 طابق مزود بوحدة عزل قاعدية من النوع المطاطي النوع High Damping Rubber Bearing (HDR) باستخدام التحليل الديناميكي اللاخطي معتمداً طريقة التاريخ الزمني لسبع حركات أرضية لزلزال سابقة.

وعلى الرغم من أن الكودات العالمية تفرض قيمة لا يجب تجاوزها لعامل الاستجابة للجمل المعزولة قاعدياً إلا أن الباحثين اعتمدوا في دراستهم قيم مختلفة للعامل ($R = 2.5-3.5-5.5-8$)، وذلك بهدف تقييم أداء المبنى عن طريق التصميم الزلزالي المعتمد على الأداء PBSD آخذين الأهمية الاقتصادية بعين الاعتبار (كلفة وزمن الإصلاح) كما هو موضح في (الشكل 1). اعتمدت الدراسة بارامترات للمقارنة وهي الانتقالات والإزاحات الطابقية في الاتجاهين.



الشكل (1): توضيح لمعايير التصميم الزلزالي المعتمد على الأداء PBSD [7]

أظهرت النتائج أن اعتماد قيم العامل R (2.5-3.5) أعطت استجابة ضمن المجال المرن وبمستوى "Performance Level" الإشغال الفوري IO وتقدر عندها كلفة إصلاح الأضرار بحدود 25% من كلفة البناء وبمدة زمنية تعادل يوم واحد، في حين أن قيم R (5.5-8) أعطت استجابة غير مرنة ومستوى أداء ما قبل الانهيار CP ويكون عندها كلفة إصلاح الأضرار الإنشائية غير مجدياً ويعادل حوالي 75% من كلفة المبنى ويستغرق حوالي 7 إلى 30 يوم.

• قام A.Tslavos [8] بدراسة تستهدف إيجاد علاقات تربط بين الدور والمطاوعة وعامل الاستجابة (R_y, μ, T_n) لجزء المبنى فوق وحدات العزل Superstructure عندما تعمل بشكل لا مرن بشكل مشابه للعلاقات الموضوعية للمباني التقليدية الموثوقة بالقاعدة، هذه العلاقات تعكس الاستجابة اللامرنة للمنشآت عند تعرضها لحركات أرضية قوية، ولتحقيق هذا الهدف تمت دراسة مبنى بدرجتي حرية مع سلوك لا مرن للعوازل و لجزء المبنى فوق وحدات العزل Superstructure مع تعريضه لـ 160 سجل زلزالي مختلف بالمقدار والقرب من المصدر الزلزالي، توصل الباحثون إلى نتائج مهمة :

❖ المنشآت فوق العزل Superstructures التي تسلك ضمن المجال اللدن (اللامرن) تبدي طلب على المطاوعة (Ductility Demand) أكبر من المتوقع لمثيلاتها من المباني الموثوقة بالقاعدة مع نفس القيمة لدور الاهتزاز وعامل تخفيض المقاومة.

❖ البارامتر الأكثر تأثيراً على قيمة عامل تخفيض المقاومة من خصائص العازل هو مقاومته.

❖ من أجل الوصول لقيمة $\mu = 4$ مع بقاء دور المبنى فوق العزل ثابت أجريت مجموعة من التحاليل الديناميكية المنكرة باستخدام السجلات الزمنية Time History لتحديد مقاومة الخضوع الأعظمية للمنشأ اللامرن فوق العزل وبالتالي حساب عامل تعديل الاستجابة، توصل الباحثون إلى قيمة نهائية $R_y = 2.71$

• قام A.Jalali and P.Narjabadifam [9] بدراسة تأثير تغيير خصائص المبنى فوق وحدات العزل القاعدية Superstructure على أداء المباني المعزولة قاعدياً باستخدام عوازل من النوع LRB حيث قاموا بدراسة ديناميكية لخطية على مجموعة نماذج مباني تختلف فيما بينها بعدد الطوابق (2-5-9-14-20) طابق وذلك بتغيير خصائص كالكتلة القاعدية والتخامد والصلابة لجزء المبنى فوق العزل.

أعد الباحثون لهذا الغرض 85 نموذج مختلفاً و توصلوا إلى نتائج هامة منها أن خصائص المبنى فوق العزل لها تأثير مهم على أداء العزل الزلزالي حيث أن استخدام خصائص مناسبة يؤدي إلى تحسين أداء هذه الأنظمة و لكن ذلك بشكل متفاوت حسب الارتفاع الطابقي .هذه النتائج توصل إليها الباحثون باعتماد بارمترات هامة للمقارنة كالعصر القاعدي والدور الخاص بالنمط الأول ونسبة مساهمة أنماط العزل إلى الأنماط الإنشائية في الاستجابة الزلزالية.

• قام S.Tolani and A.Sharma [10] بمقارنة أداء مباني معزولة قاعدياً باستخدام ثلاثة أنواع مختلفة من العوازل القاعدية منها LRB مع تغيير خصائص العازل ودراسة تأثير هذه التغييرات على استجابة المبنى تحت تأثير الزلازل وقد لاحظ الباحثون أن :

❖ دور العزل لم يؤثر كثيراً على الاستجابة لكن زيادته أدت إلى زيادة انتقال وحدات العزل القاعدية والتخفيض من تسارع المبنى فوق وحدات العزل.

❖ زيادة تخامد العازل تنقص كلاً من انتقال العازل وتسارع المبنى فوق العزل.

❖ زيادة مقاومة الخضوع الاسمية للعازل F_0 تنقص انتقال العازل لكنها تزيد من تسارع المبنى فوق وحدات العزل حيث : $F_0 = \frac{F_y}{M * g}$ حيث :

F_y : مقاومة الخضوع للعازل

M : وزن العازل

g : تسارع الجاذبية الأرضية

إن استخدام الكودات الأمريكية والأوروبية لقيم منخفضة لعامل تعديل الاستجابة هو أمر مبرر للحفاظ على سلوك مرن للمبنى فوق العزل لكن بنفس الوقت يمكن أن نرى من وجهة نظر الدراسات السابقة نفسها أنه من الممكن التفاوض بتصميم مبنى معزول قاعدياً لا مرناً بغير أكبر لعامل تعديل الاستجابة. حيث نلاحظ أن الكود ASCE يفرض قيمة لعامل تعديل الاستجابة تتعلق بنوع النظام الإنشائي المقاوم للزلازل للمبنى فوق العزل وكأنه يعتبر أن هذا النظام هو المسؤول الوحيد عن تغيير استجابة وسلوك المبنى تحت تأثير الزلزال وهذا يعترض مع ما توصلنا إليه في الدراسات المرجعية المذكورة أعلاه، حيث توضح لنا أن بارامترات كثيرة منها يتعلق بخصائص نظام العزل ذاته ومنها يتعلق بخصائص المبنى فوق العزل تؤثر على سلوك المبنى واستجابته.

طرائق البحث ومواده:

قمنا في البداية بإعداد ثلاث نماذج لجمل من الإطارات البيتونية الموثوقة بالقاعدة ودراستها باستخدام برنامج ETABS والحصول على قيم القص القاعدي والدور المسيطر بهدف مقارنة هذه النتائج لاحقاً مع مثيلاتها من الأبنية المعزولة قاعدياً والتأكد من فعالية العزل القاعدي المستخدم. بعد ذلك يمكننا إجراء التحليل الاستاتيكي اللاخطي PushOver وحساب قيم عامل تعديل الاستجابة ومن ثم إجراء بعض التعديلات على خصائص الأبنية المعزولة ودراسة تغيير قيم العامل RI مع هذه التعديلات.

1- مراحل العمل :

1-1 إعداد النماذج :

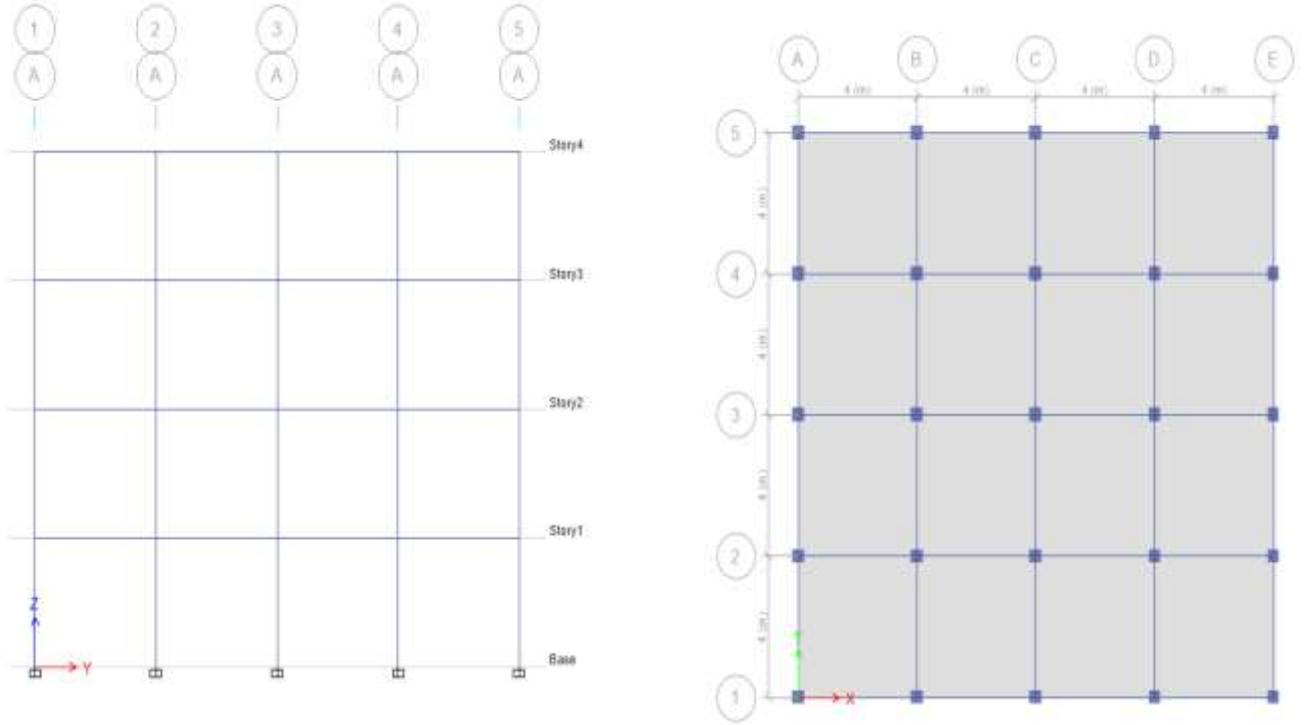
قمنا كمرحلة أولى بإعداد ستة نماذج لأبنية جملتها المقاومة للزلازل هي إطارات من البيتون المسلح تحقق اشتراطات ومواصفات الموقع المدروس من حيث نوع الإطار وأبعاد المقاطع (جوائز و أعمدة) واعتبرنا خطوة أولى ثلاثة من هذه النماذج موثوقة بالقاعدة Fixed Base هذه النماذج تختلف فيما بينها بعدد الطوابق حيث اخترنا عدد طوابق (2 ، 4 ، 6) للنماذج الموثوقة (F1 ، F2 ، F3) على الترتيب و مثلها للنماذج المعزولة قاعدياً (B11,BI2,BI3) .
تتوضع النماذج السابقة كلها على تربة تحقق شروط الصنف SD .
تم افتراض أن البناء متوضع في منطقة ذات قيم للتسارعات كالتالي :

$$S_s = 1.538 \% g \quad \& \quad S_1 = 0.384 \% g$$

هذه القيم توافق بارامترات الحركة الأرضية الخاصة بمدينة اللاذقية .

وباعتبار الدور الانتقالي (TL = 8 sec) حسب ما نص عليه الملحق 2 من الكود السوري وذلك لحين توفر بيانات أكثر دقة في المستقبل [11].

1-2 مواصفات النماذج المدروسة



الشكل (2) : مسقط أفقي و مقطع شاقولي للنموذج F2

قمنا بدراسة ثلاثة نماذج مختلفة لأبنية من الإطارات البيتونية المسلحة (F1,F2,F3) بعدد طوابق (2,4,6) على الترتيب و بارتفاع طابقي ($h=3.5m$) والمجازات بين الأعمدة ثابتة في كل النماذج ($L=4m$) النماذج السابقة ذات جملة إنشائية موثوقة بالقاعدة، الشكل (2) .

مقاطع الأعمدة ($40*40$ cm) ثابتة في كل الطوابق و على جميع النماذج.
مقاطع الجوائز ($b=25cm$, $h=50cm$) وهي أيضا ثابتة لكل الطوابق و على جميع النماذج.

1-3 نتائج التحليل الإنشائي للنماذج الموثوقة بالقاعدة:

من أجل التأكد من فعالية العزل القاعدي في تخفيف الخطر الزلزالي قمنا بالبداية بالتحليل الإنشائي للنماذج السابقة الموثوقة بالقاعدة والحصول على قوى القص القاعدي والدور الخاص للنمط الاول المسيطر وذلك بهدف المقارنة لاحقاً بين القيم التي سنحصل عليها مع تلك القيم الخاصة بالنماذج المعزولة قاعدياً.

أجريت عمليات النمذجة والتحليل والتصميم ضمن برنامج **ETABS Version 16.2.1** [12] وكانت النتائج كما موضح في الجدول (1) :

الجدول (1) : قيم الدور والقص القاعدي للنماذج الموثوقة بالقاعدة

النموذج	عدد الطوابق	دور النمط الأول (sec)	القص القاعدي (kN)
F1	2	0.842	1266.28
F2	4	1.128	1463.57
F3	6	1.702	1528.65

1-4 تصميم وحدات العزل القاعدية و إجراء التحليل الاستاتيكي :

قبل الدخول بعملية التصميم كان من الواجب الاطلاع على طرق التحليل المتبعة لهذا نوع من الجمل سواء الاستاتيكية أو الديناميكية الخطية منها أو اللاخطية، وفي هذا المجال تم الاستعانة بالكود **ASCE7-16** . يحدد الكود ASCE مجموعة من الاشتراطات الواجب تحقيقها لاعتماد التحليل الاستاتيكي وهي :

- أن يقع المنشأ في منطقة ذات تصنيف زلزالي A,B,C or D .
- ألا يزيد الدور الفعال للمنشأ المعزول قاعدياً عند الانتقال الأعظمي عن 5 ثانية .
- ألا يزيد ارتفاع المنشأ فوق مستوي العزل عن (19.8m) (65ft) .
- ألا يزيد التخامد الفعال لنظام العزل عند الانتقال الأعظمي عن 30% .
- أن يكون الدور الفعال للمنشأ المعزول قاعدياً T_M أكبر بثلاث مرات على الأقل من الدور الخاص بالمنشأ ذاته فيما لو كان موثوقاً بالقاعدة.

- ألا يحتوي المنشأ فوق مستوي العزل على حالات عدم انتظام إنشائي .
- أن يكون نظام العزل المستخدم قادراً على تشكيل قوة إرجاع للمبنى بعد نهاية الزلزال.
- أن يكون نظام العزل المستخدم قادراً على الحد من الإزاحة القصوى المسببة من الزلزال إلى قيم أقل من الانتقال الأعظمي المسموح D_{TM} .

حسب توصيات الكود الأمريكي يجب كخطوة أولية اعتماد التحليل الاستاتيكي الخطي. وانطلاقاً من الشرط السابق ($T_M \geq 3 T_F$) بدأنا عملية التصميم بتحديد قيم الدور التصميمي T_M لكل من النماذج الثلاثة كما موضح بالجدول (2)، وتعطى قيمة T_F بالعلاقة :

$$T_F = C_t h_n^x \quad (8)$$

C_t, x بارمترات الفترة التقريبية و تؤخذ من الجداول الكودية [11].

الجدول (2) : نسبة دور المبنى المعزول إلى المبنى الموثوق بالقاعدة

T_M / T_F	T_M (الدور في حالة Base Isolation)	T_F (الدور في حالة Fixed Base)	عدد الطوابق	النموذج
5.37	1.45	0.27	2	BI1
3.99	2	0.501	4	BI2
3.32	2.4	0.722	6	BI3

نوضح فيما يلي العلاقات المستخدمة في تصميم وحدات العزل من النوع LRB حسب ما نص عليه الكود **ASCE7-16** مع دلالات الرموز المستخدمة [23] :

$$K_M : \text{الصلابة الفعالة لنظام العزل في الاتجاه الأفقي (kN/m)}$$

$$K_M = \frac{W}{g} \left(\frac{2\pi}{T_M} \right)^2 \quad (9)$$

W : الوزن الزلزالي الفعال للمنشأ فوق نظام العزل (kN)

g : تسارع الجاذبية الأرضية (9.81 m/sec^2)

D_M : الانتقال الأعظمي في مركز صلابة نظام العزل (m)

$$D_M = \frac{gS_{M1}T_M}{4\pi^2 B_M} \quad (10)$$

S_{M1} : بارامتر تسارع الاستجابة الطيفي الأعظمي المعتمدة للزلازل وفقاً للخطر المستهدف (MCE_R).

B_M : عامل التخامد و يعتمد على قيمة التخامد الحرج الفعال لنظام العزل المستخدم كما موضح بالجدول (3)

الجدول (3): قيم العامل B_M حسب نسب التخامد الحرج

Table 17.5-1 Damping Factor, B_M

Effective Damping, β_M (percentage of critical) ^{a,b}	B_M Factor
≤ 2	0.8
5	1.0
10	1.2
20	1.5
30	1.7
40	1.9
≥ 50	2.0

W_D : مساحة الحلقة الهيسترية ($kN - m$)

$$W_D = 2\pi K_{eff} D_M^2 B_{eff} \quad (11)$$

Q : المقاومة الاسمية عند الانتقال الأعظمي (kN)

$$Q = \frac{W_D}{4D_M} \quad (12)$$

K_2 : Pre Yield Stiffness in Rubber (kN/m)

K_1 : Post Yield Stiffness in Rubber (kN/m)

تعطى K_1 كنسبة من K_2 و عادة تكون $n=10$

$$K_2 = K_{eff} - \frac{Q}{D_M} \quad (13)$$

$$K_1 = nK_2 \quad (14)$$

D_y : انتقال الخضوع (m)

$$D_y = \frac{Q}{K_1 - K_2} \quad (15)$$

نعيد حساب المقاومة التصميمية:

$$Q_R = \frac{W_D}{4(D_M - D_y)} \quad (16)$$

تكون مساحة نواة الرصاص (mm^2):

$$A_{pd} = \frac{Q_R}{f_y^{pd} * 10^3} \quad (17)$$

f_y^{pd} : إجهاد الخضوع لنواة الرصاص و يعطى بالقيمة $10MPa$

نعيد حساب الصلابة الفعالة للمطاط:

$$K_{eff(R)} = K_{eff} - \frac{Q_R}{D_M} \quad (18)$$

t_r : السماكة الكلية لطبقات المطاط (mm)

$$t_r = \frac{DM}{\gamma} \quad (19)$$

γ : إجهاد القص الأعظمي للمطاط كنسبة مئوية و يؤخذ عادة 100%

A_{LRB} : المساحة الكلية لوحدة العزل (m^2)

$$A_{LRB} = \frac{K_{eff(R)} t_r}{G} \quad (20)$$

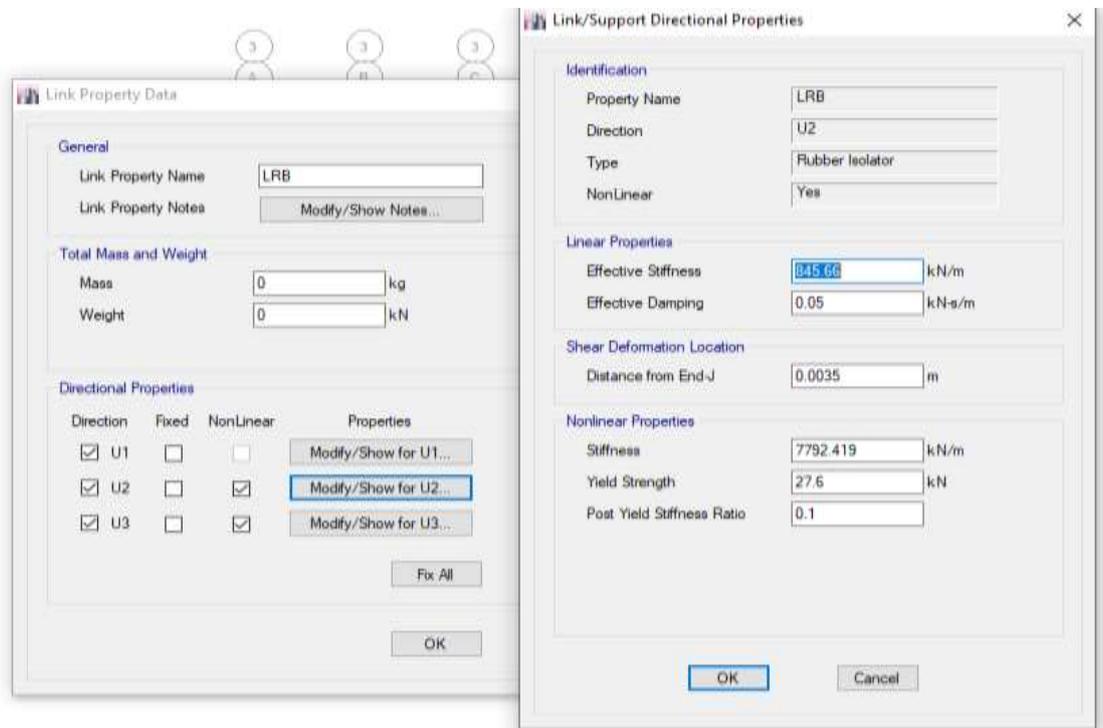
t : سماكة طبقة المطاط الواحدة (mm)

$$t = \frac{\phi_{LRB}}{4S} \quad (21)$$

S : معامل الشكل و تؤخذ قيمته عادة 10

و بالتالي يكون عدد طبقات المطاط الكلي:

$$N = \frac{t_r}{t} \quad (22)$$



الشكل (3) : إدخال المواصفات التصميمية لوحدات العزل ضمن برنامج ETABS [12]

يفصل بين طبقات المطاط شرائح فولاذية رقيقة جدا تكون سماكتها عادة 2.8mm

و أخيرا يعطى إجهاد الخضوع لوحدة العزل (kN) بالعلاقة :

$$F_y = Q + (K_2 D_y) \quad (23)$$

فيما يلي الجدول (4) يلخص أهم الخصائص المستخدمة في عملية النمذجة الحاسوبية و التي تم حسابها للنماذج الثلاثة السابقة :

الجدول (4) : الخصائص التصميمية المحسوبة لوحدة العزل القاعدية

النموذج	K_M (kN/m)	D_M (m)	W_D (kN)	K_2 (kN/m)	K_1 (kN/m)	D_Y (m)	A_{pd} (mm ²)	A_{LRB} (m ²)	F_Y (kN)
BI1	741.5	0.226	11.9	683.27	6832.7	0.00214	1390	0.220	14.6
BI2	791.38	0.312	24.2	729.2	7292	0.00296	2000	0.324	21.52
BI3	845.66	0.374	37.16	779.24	7792.4	0.00354	2552	0.415	27.6

الآن وبعد حساب خصائص وحدات العزل للنماذج الثلاثة و إدخالها ضمن برنامج ETABS أصبح بالإمكان إجراء عملية التحليل الاستاتيكي و تنظيم النتائج في الجدول (5) :

الجدول (5) : قيم الدور و القص القاعدي للمباني المعزولة قاعدياً

النموذج	عدد الطوابق	دور النمط الأول (sec)	القص القاعدي (kN)
BI1	2	1.605	447.54
BI2	4	2.307	887.18
BI3	6	3.196	1334.72

بمقارنة نتائج الجدول 5 مع الجدول 1 نجد أن قيم الدور الخاصة بالنمط الأول للنماذج المعزولة أكبر من مثيلاتها للنماذج السابقة الموثوقة بالقاعدة، كما أن قيم القص القاعدي في المباني المعزولة قاعدياً أقل مما هو عليه في المباني التقليدية الموثوقة بالقاعدة. هذا الأمر يتطابق مع مبدأ عمل العزل القاعدي وبالتالي تحققنا من كفاءة وحدات العزل القاعدية المستخدمة في ضحل الأثر الزلزالي.

1-5 التحليل الاستاتيكي اللاخطي و حساب قيمة عامل تعديل الاستجابة :

نجري عملية التحليل الاستاتيكي اللاخطي PushOver على النماذج BI1, BI2 & BI3 وذلك وفق الخطوات التالية:

أولاً: تعريف خصائص المفصل اللدن

قمنا بتعريف مفاصل M في نهايات الجيزان و مفاصل من النوع PMM في نهايات الأعمدة. يعرف طول منطقة التلدن (طول المفصل) عادة كنسبة من الطول الكلي للعنصر، في حساباتنا كانت هذه النسبة 10% من طول العنصر [13]

ثانياً: تحديد حالات التحميل:

في البداية قمنا بتحديد حالة التحميل للحمولات الشاقولية DEAD التي تؤثر على المبنى قبل أي عملية دفع جانبي استخدمنا فيها في دراستنا الحمولات الميتة فقط.

ثم حددنا حالات التحميل الجانبية PAX, PAY التي تطبق على المبنى ابتداء من الحالة النهائية لحالة التحميل الشاقولية السابقة.

بعد ذلك يمكن دفع المبنى باختيار نموذج أو أكثر للحمولات الجانبية حيث يحدد برنامج ETABS خيارات عدة للتحكم بتطبيق الحمولات استخدمنا منها :

حالة التحكم بالحمولة (Full Load) : يتم وقفه تطبيق الحمولة بالتدرج من الصفر حتى الوصول إلى مقدارها الكامل استخدمنا هذا الخيار لحالة الحمولات الشاقولية .

حالة التحكم بالانتقال (Displacement Control): يستخدم هذا الخيار عندما يكون المقدار المطلوب للانتقال المبنى معلوم لكن مقدار الحمولة المطلوبة لذلك غير معروف ، يتم تعريف مقدار انتقال للمبنى يسعى البرنامج للوصول إليه أثناء التحليل (في دراستنا استخدمنا المقدار 4% من الارتفاع الكلي للمبنى) [13] . لاستخدام هذه الطريقة بشكل صحيح يجب تحديد موقع من المبنى لرصد انتقاله (في دراستنا حددنا عقدة من السطح الأخير).

ملاحظة: باعتبار المنشأ متناظر في الاتجاهين فإن نتائج تحليل الحمولتان PAX, PAY متساوية و بالتالي اعتمدنا في الحسابات القادمة على نتائج تحليل الحمولة الجانبية PAX فقط .

ثالثاً : تعريف طيف الاستجابة (منحني الطلب)

يسمح برنامج ETABS بتعريف طيف استجابة تصميمي. قمنا بداية بتعريف طيف استجابة تصميمي DBE حسب الكود الأمريكي ASCE7-16 و بشروط موقع تطابق القيم السابقة المستخدمة.

لكن الكود ASCE7-16 ينص على استخدام طيف استجابة أعظمي عند دراسة الأبنية المعزولة قاعدياً لذلك عرفنا طيف استجابة جديد MCE هو عبارة عن 1.5 مرة من الطيف السابق DBE. هذا الطيف الجديد MCE يعبر عن منحني الطلب.

رابعاً: تحديد نقطة الأداء

بعد إجراء التحليل الاستاتيكي اللاخطي و رسم منحني الاستطاعة يمكن الحصول على نقطة الأداء حسب الطلب الزلزالي المعروف ، وبهذا المجال استخدمنا **طريقة عوامل الانتقال** [13].

تم إجراء تحليل PushOver للنماذج و رسم منحنيات الاستطاعة و حساب البارامترات اللازمة لحساب قيم العامل RI ونظمت جميع النتائج في جداول مناسبة. وقد لوحظ أن جميع النقاط التي توافق Target Displacement تقع ضمن المجال (Immediate Occupancy –Life Safety) وهو مجال مقبول لمستوى الأداء المنتظر من عمل المباني المعزولة قاعدياً .

خامساً: حساب قيمة عامل تعديل الاستجابة :

الحالة الأولى :

بعد الانتهاء من عملية التحليل الاستاتيكي اللاخطي والحصول على النتائج اللازمة أصبح بإمكاننا حساب قيمة العامل RI حسب العلاقة:

$$R_I = R_S * R_{\mu} * R_{\epsilon} * R_R \quad (24)$$

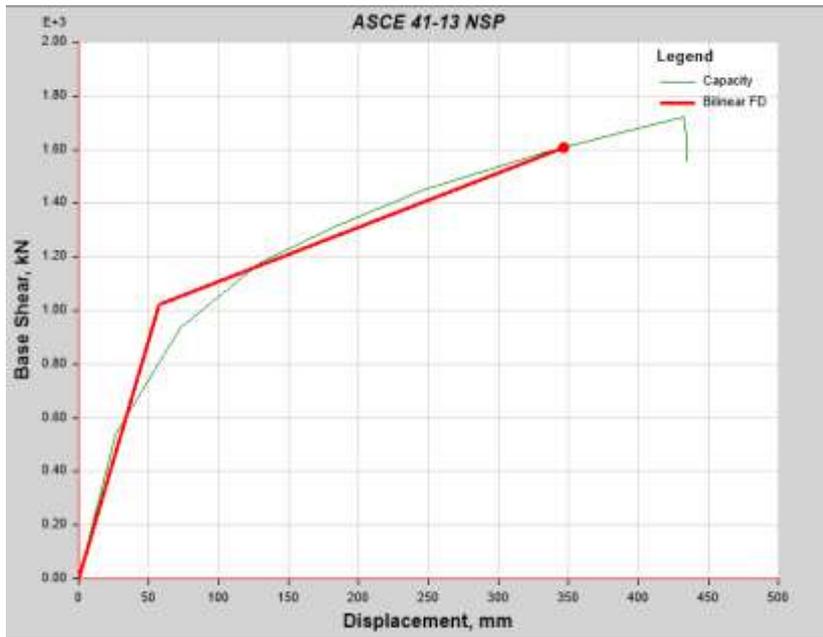
ننظم النتائج في الجدولين (6) و (7) :

الجدول (6): معاملات حساب قيم معامل تعديل الاستجابة لنماذج الحالة الأولى

μ	$\Delta_y(mm)$	$\delta_t(mm)$	Ω_0	$V_d(kN)$	$V_y(kN)$	النموذج
3.193	83.73	267.32	2.45	447.54	1097	BI1
6.014	57.6	346.38	1.15	887.18	1020.81	BI2
7.189	59.02	424.28	0.75	1334.72	1495.57	BI3

الجدول (7) : قيم عامل تعديل الاستجابة لنماذج الحالة الأولى

R_I	R_R	R_ε	R_μ	R_S	النموذج
7.825	1	1	3.193	2.45	BI1
6.919	1	1	6.014	1.15	BI2
5.402	1	1	7.189	0.75	BI3



الشكل (4) : منحنى الـ PushOver للنموذج BI2

الحالة الثانية :

سوف نقوم بتغيير قيم التخماد الخاصة بوحدات العزل القاعدية للنموذج BI3 باعتماد ثلاث قيم مختلفة ودراسة تأثير هذا التغيير على عامل تعديل الاستجابة R_I سنعتمد القيم التالية للتخماد (10%, 15%, 20%) للنماذج (BI4-BI5-BI6) على الترتيب ونقوم بحساب قيمة العامل R_I ، نظمت النتائج في الجدولين (8) و(9) :

الجدول (8) : معاملات حساب قيم معامل تعديل الاستجابة لنماذج الحالة الثانية

النموذج	$V_y(kN)$	$V_d(kN)$	Ω_0	$\delta_t(mm)$	$\Delta_y(mm)$	μ
B14	1092.3	1334.72	0.82	421.13	62.97	6.688
B15	1146.75	1334.72	0.86	426.68	66.88	6.38
B16	1333.36	1334.72	0.99	434.27	81.17	5.35

الجدول (9) : قيم عامل تعديل الاستجابة لنماذج الحالة الثانية

النموذج	R_S	R_μ	R_ε	R_R	R_I
B14	0.82	6.688	0.83	1	<u>4.55</u>
B15	0.86	6.38	0.75	1	<u>4.12</u>
B16	0.99	5.35	0.67	1	<u>3.55</u>

الحالة الثالثة :

سوف نقوم بتغيير قيم الصلابة الفعالة لوحدة العزل القاعدية للنموذج B13 باعتماد ثلاث قيم مختلفة ودراسة تأثير هذا التغيير على عامل تعديل الاستجابة R_I سنستخدم القيم التالية للصلابة (0.75K-0.5K-0.25K) للنماذج (B17-B18-B19) على الترتيب حيث $(K=845.6 \text{ kN/m})$ وهي الصلابة الفعالة لوحدة العزل القاعدية للنموذج B13 السابق دراسته ، نقوم بحساب قيمة العامل R_I وتنظيم النتائج في الجدولين (10) و(11):

الجدول (10) : معاملات حساب قيم معامل تعديل الاستجابة لنماذج الحالة الثالثة

النموذج	$V_y(kN)$	$V_d(kN)$	Ω_0	$\delta_t(mm)$	$\Delta_y(mm)$	μ
B17	959.35	1334.72	0.72	459.223	66.45	6.91
B18	836.15	1334.72	0.63	475.758	65.71	7.24
B19	729.18	1334.72	0.55	678.31	121.192	5.59

الجدول (11) : قيم عامل تعديل الاستجابة لنماذج الحالة الثالثة

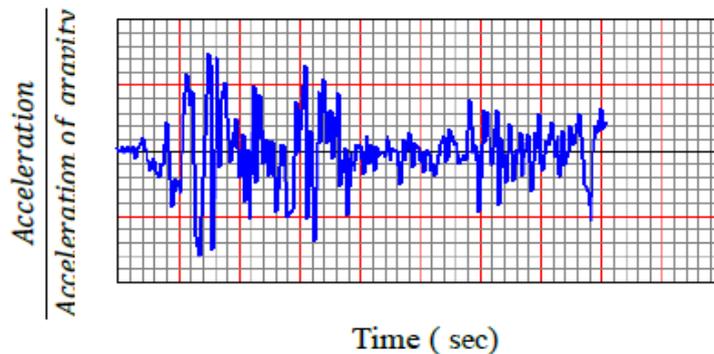
النموذج	R_S	R_μ	R_ε	R_R	R_I
BI7	0.72	6.91	1	1	4.967
BI8	0.63	7.24	1	1	4.536
BI9	0.55	5.59	1	1	3.060

نجد من النتائج الواردة في الجداول السابقة ما يلي :

- قيم العامل RI الناتجة في الجداول السابقة جميعها أكبر من القيمة المنصوص عليها لعامل تعديل الاستجابة للجمل المعزولة قاعدياً ($RI \leq 2$) في الكود ASCE7-16 .
- قيم العامل RI في الجدول (7) تتأثر بتغير عدد الطوابق حيث نلاحظ أنها تتناقص بازدياد عدد الطوابق أي يمكننا القول أن زيادة ارتفاع المبنى تنقص من قيمة العامل RI.
- قيم العامل RI في الجدول (9) لم تتأثر بشكل كبير بتغيير قيم التخماد لوحداث العزل القاعدية وإن لوحظ تناقص بسيط لقيم عامل تعديل الاستجابة بزيادة قيم التخماد .
- قيم العامل RI في الجدول (11) تتناقص مع تناقص الصلابة الفعالة لوحداث العزل وهذا الأمر ناتج عن تناقص قيم عامل زيادة المقاومة R_S .
- يمكن اعتبار قيمة وسطية للعامل RI لمبنى مكون من 6 طوابق إلى قيمة تساوي ($RI=4$) و لمبنى مكون من 4 طوابق إلى قيمة تساوي ($RI=5.2$) أما بالنسبة لمبنى مكون من طابقين فهي تساوي إلى ($RI=5.8$) وبالتالي جميع القيم السابقة تدفعنا إلى ضرورة إعادة النظر في قيمة الكود ASCE7-16 .

1-6 نتائج التحليل وفق السجل الزمني Time History

تم تحليل كل من النماذج BI1 , BI2 , BI3 تحليلاً ديناميكياً لاخطياً باستخدام السجل الزمني لزلزال السينترو ELCENTRO و الذي حدث عام 1940 جنوب شرق كاليفورنيا الجنوبية بالقرب من الحدود بين الولايات المتحدة الأمريكية و المكسيك ، و الذي أدى إلى ضحايا بشرية و خسائر مادية و كانت قوة الهزة الرئيسية فيه 7.1 على مقياس ريختر بشدة زلزالية 0.32g ، الشكل (5) .



الشكل (5) مخطط تسارع زلزال السينترو بالنسبة للزمن

يتم الاعتماد على العلاقة $R = \frac{PGA_m}{PGA_y} * \frac{V_y}{V_d}$ لحساب العامل R بنتيجة التحليل الديناميكي اللاخطي بأخذ قيمة التسارع الموافقة لأكبر انتقال PGA_m عند أعلى المنشأ خلال الهزة الأرضية وبمعرفة PGA_y التسارع الموافق لانتقال بدء الخضوع ، وتم تحديد انتقال بدء الخضوع من منحنى PushOver و من ثم معرفة PGA_y من نتائج التحليل بالسجل الزمني . تم حساب قيم المعامل RI للنماذج BI1 , BI2 , BI3 فكانت النتائج كما في الجدول (12) :

الجدول (12) : معاملات التحليل الديناميكي و قيم عامل تعديل الاستجابة الزلزالية

النموذج	$V_y(kN)$	$V_d(kN)$	PGA_m	PGA_y	R_I
BI1	1097	447.54	830.8	235	8.67
BI2	1020.81	887.18	337.5	52.5	7.4
BI3	1495.58	1334.72	688.4	185	4.16

- نجد من النتائج الواردة في الجدول السابق ما يلي :
- كما هو الحال في التحليل الاستاتيكي اللاخطي ، أعطت نتائج التحليل الديناميكي قيم لعامل تعديل الاستجابة RI أكبر مما هو منصوص عليه في الكود **ASCE7-16**.
 - قيم العامل RI للنماذج BI1 , BI2 الناتجة من التحليل الديناميكي أكبر من مثيلاتها الناتجة عن التحليل الاستاتيكي اللاخطي في الجدول (7).
 - قيم العامل RI للنموذج BI3 الناتجة من التحليل الديناميكي أصغر من القيمة الناتجة عن التحليل الاستاتيكي اللاخطي في الجدول (7).

الاستنتاجات و التوصيات:

- قيمة العامل RI الناتجة من الدراسة السابقة أكبر من القيم المنصوص عليها في الكودات العالمية .
- إن قيمة العامل RI للجمل المعزولة قاعدياً تتأثر بتغير الخصائص الهندسية للمبنى (ارتفاع المبنى) والخصائص الميكانيكية لوحدة العزل القاعدية (التخامد و الصلابة) .
- تزداد قيم العامل RI مع تناقص ارتفاع المبنى وهذا ما يوضحه الجدول (7) .
- تتخفف قيمة العامل RI بمقدار 21% عند زيادة قيمة التخامد لوحدة العزل القاعدية بمقدار 10% و يمكن أن نعزي ذلك إلى تناقص قيمة عامل السلوك للتخامد R_e كما هو موضح في الجدول (9) .
- تتخفف قيمة العامل RI بمقدار 38% مع تناقص قيم الصلابة الخاصة بوحدة العزل القاعدية لحدود الـ 50% و ذلك عائد لتناقص عامل زيادة المقاومة R_s كما هو موضح بالجدول (11) .

- مهما يكن من زيادة أو نقصان في قيم عامل تعديل الاستجابة RI أو اقتراب القيم من بعضها فإن النتائج في الدراسة السابقة تخالف المنصوص عليه في الكود الأمريكي ASCE7-16 وتدفعنا إلى ضرورة إعادة النظر في قيم هذا العامل لما له من أهمية في التصميم الإنشائي و ينعكس هذا بدوره على اقتصادية التصميم للمباني المعزولة قاعدياً.
- نوصي في الدراسات المستقبلية بما يلي :
- بإجراء دراسات أكثر و أبحاث أوسع في هذا المجال لما للمباني المعزولة قاعدياً من دور هام في الحفاظ على السلامة الإنشائية أثناء الزلازل و نوصي بالتركيز على :
- دراسة نماذج بأنواع أخرى من وحدات العزل القاعدية غير الواردة في الدراسة السابقة وملاحظة سلوكها وحساب معامل الاستجابة لها.
- دراسة نماذج ببارامترات أكثر تنوعاً، حيث من الضروري التركيز على تغيير البارامترات الخاصة بالحركة الأرضية وكذلك تغيير الخصائص الإنشائية كصلابة المبنى وغيره وملاحظة نتائج هذه التغييرات على قيم عامل تعديل الاستجابة.
- التوسع أكثر في مجال التحليل الديناميكي اللاخطي وأخذ عدة سجلات زمنية لحركات أرضية مختلفة مما ينعكس علينا بنتائج أكثر دقة.

References:

- [1] F. Naeim and Bruce A.Bolt. “The Seismic Design Handbook”. Springer Science + Business Media, LLC, USA 2001.
- [2] American Society of Civil Engineering (ASCE 2010). Minimum Design Loads and Associated Criteria for Buildings and Other Structures, ASCE/SEI 7-10, Reston, Virginia.
- [3] American Society of Civil Engineering (ASCE 2017). Minimum Design Loads and Associated Criteria for Buildings and Other Structures, ASCE/SEI 7-16, Reston, Virginia.
- [4] D.Pietra,S.Pampanin,R.Mayes ,N.Wetzel and D.Feng “ Design of Base-Isolated Buildings : an Overview of International Codes” Bulletin of the New Zealand Society for Earthquake Engineering, Vol. 48, No. 2, June 2015.
- [5] Federal Emergency Management Agency. “NEHRP Recommended Seismic Provision for New Buildings and Other Structures (FEMA P-750)”. Building Seismic Safety Council Washington D.C 2009.
- [6] A.K.Chopra. “Dynamics of Structures”. Theory and Applications to Earthquake Engineering 4th Edition, Pearson Education, Inc, Prentice Hall, 2012.
- [7] Tavio, R.Soegiarso and U.Wijaya. “ Seismic Performance Evaluation of a Base-Isolated Building” .International Journal of Civil Engineering and Technology , Vol 10, Issue 1, January 2019 .
- [8] A.Tslavos,K.Mackie, B.Stojadinovic and M.Vassilliou “Dynamics of inelastic base-isolated structures subjected to recorded ground motions” Bulletin of Earthquake Engineering, October 2016 .
- [9] A.Jalali and P.Narjabadifam “ Optimum Modal Characteristics for Multi-Story Buildings Isolated with LRBS” .4th International Conference on Earthquake Engineering, Paper NO 187, October 2016 .
- [10] S.Tolani and A.Sharma “ Effectiveness of Base Isolation Technique and Influence of Isolator Characteristics on Response of a Base Isolated Building” American Journal of Engineering Research Volume-5, Issue-5 ,2016.
- [11] The second appendix to the Syrian Arab Code for the Design and Implementation of Reinforced Concrete Structures, second edition, Damascus, 2015.

[12] CSI Analysis Reference Manual For ETABS 2016, Computers and Structures, Inc. University Avenue, Berkeley, California.

[13] Abu Asali. Zeina, "A Contribution to the Study of the Effect of Vibration Patterns on Simplified Nonlinear Static Analysis in High Buildings of Reinforced Concrete," a study prepared for a Master's degree in Civil Engineering, Syrian Arab Republic, Tishreen University, 2015-2016.