مجلة جامعة بني وليد للعلوم الإنسانية والتطبيقية
تصدر عن جامعة بني وليد – ليبيا
Website: https://jhas-bwu.com/index.php/bwjhas/index
المجلد التاسع، العدد الثالث الصفحات (559-573) 2024م

مبادئ التصميم والتحليل الزلزالي للمنشآت حسب اشتراطات الجمعية الأمريكية للمهندسين المدنيين *ASCE 7-16* باستخدام طريقة القوة المكافئة

أ. حمزة علي إبراهيم [1] ، عبدالباسط بشير عريبي [2]
[1.2] قسم الهندسة المدنية كلية الهندسة ، جامعة بني وليد ، ليبيا
hamzaali@bwu.edu.ly

Fundamentals of seismic design and analysis of structures due to American society of civil Engineers (ASCE 7-16)Using Equivalent Force Method

Hamza Ali Ibrahim [1] – Abdulbaset Bashir Ariby [2]
Department of civil Engineering, College of Engineering, Bani Waleed University, Libya [1.2]

تاريخ الاستلام:01-08-2024 تاريخ القبول: 18-08-2024 تاريخ النشر: 04-09-2024

الملخص:

في الدول المتقدمة، تُعَد تصاميم البناء المقاومة للزلازل أساسية لتقليل الأضرار الناجمة عن الزلازل. وعلى الرغم من أن الخسائر البشرية والمادية في هذه الدول قليلة نسبيًا، فإنها تظل مرتفعة في الدول النامية. يعود ذلك إلى تطبيق العلوم النظرية في تصميم المباني والمنشآت في الدول المتقدمة، استنادًا إلى المشاهدات الميدانية لتطوير أساليب مختلفة لمقاومة الأضرار الناتجة عن الزلازل.

استندت هذه الدراسة إلى فلسفة طريقة القوة المكافئة وفقًا شتراطات الجمعية الأمريكية للمهندسين المدنيين ASCE 7-16، الذي يشترط في تصميم المباني المقاومة للزلازل الاعتراف بوجود تدمير محتمل نتيجة لنوعية الاهتزازات الأرضية المختلفة (ثانوية، معتدلة، أو قوية). ومع ذلك، يظل الهدف الأساسي هو تجنب التدمير الكلي للمباني، مما يتيح إجلاء السكان وحماية ممتلكاتهم.

كما أظهرت الدراسة أن التدمير الذي يحدث في المباني والمنشآت نتيجة الزلازل يتطلب دراسة مفصلة لفهم الأسباب التي تؤدي إلى هذا التدمير. وأوصت الدراسة بضرورة إيجاد حلول فعالة لتفادي التدمير المحتمل في الزلازل المستقبلية. وينبغي تطوير رموز البناء والاستفادة من الدراسات والتوصيات التي يقدمها العلماء والخبراء في هذا المجال، وتطبيقها عند تصميم وبناء المباني والمنشآت. كما ينبغي إيجاد حلول فعّالة لإعادة بناء المباني والمنشآت بتكاليف أقل، من خلال تحسين أساليب الترميم واستخدام التكنولوجيا المتقدمة.

الكلمات الدالة: الزلازل– القوة المكافئة –تصميم المباني – ASCE 7-16

Abstract

In developed countries, earthquake-resistant building designs are considered essential for minimizing the damage caused by earthquakes. Although human and material losses in these countries are relatively low, they remain high in developing countries. This disparity is attributed to the application of theoretical sciences in the design of buildings and structures in developed countries, based on field observations to develop various methods to resist earthquake-induced damage.

This study was based on the philosophy of the Equivalent Force Method according to the ASCE 7-16 standard, which requires earthquake-resistant building design to acknowledge the potential for damage resulting from different levels of ground shaking (secondary, moderate, or strong). Nonetheless, the primary goal remains to prevent complete destruction of buildings, allowing for the evacuation of occupants and protection of property.

The study also indicated that the destruction occurring in buildings and structures due to earthquakes necessitates a detailed investigation to understand the causes of such damage. It recommended finding effective solutions to avoid potential destruction in future earthquakes. Building codes should be developed and informed by the studies and recommendations of scientists and experts in this field, and these should be applied when designing and constructing buildings and structures. Additionally, effective solutions for rebuilding should be identified, aiming for reduced costs through improved repair methods and advanced technology

Keywords: Design of buildings , Earthquakes, Equivalent force, ASCE7-16

1. المقدمة

هندسة الزلازل هي فرع من فروع الهندسة المدنية يهتم بدراسة الزلازل وتأثيرها على المباني والهياكل. تهدف الهندسة الزلزالية إلى تصميم المباني والهياكل بطريقة تجعلها قادرة على تحمل الزلازل والحفاظ على سلامة الأرواح والممتلكات.،تعد الزلازل نتيجة لاستجابة القشرة الأرضية للقوى والتوترات التي تتكون نتيجة لحركة صفائح التكتونية. عندما يحدث زلزال، ينتشر الاهتزاز عبر الأرض ويمكن أن يتسبب في تلف المباني والبنية التحتية.

تعتمد هندسة الزلازل على مفهوم تصميم المباني لمقاومة الزلازل وتحمل تأثير الاهتزازات. يتضمن ذلك اختيار المواد المناسبة وتطبيق تقنيات البناء الزلزالي الملائمة. يهدف التصميم الزلزالي إلى توجيه القوى الزلزالية بعيدًا عن المباني أو توجيهها عبر الهياكل بطريقة تقلل من الأضرار.

تشمل مبادئ هندسة الزلازل أيضًا دراسة تأثير الأرض والتربة على سلوك المباني خلال الزلازل. فالتربة المختلفة لها تأثير كبير على قدرة المبنى على تحمل الاهتزازات الزلزالية. على سبيل المثال، التربة الرملية تتصرف بشكل مختلف عن التربة الصلبة، وبالتالي فإن تصميم المبنى يجب أن يأخذ في الاعتبار خصائص التربة المحلية.

يعتبر تطوير تصميمات زلزالية آمنة وفعالة تحديًا هندسيًا معقدًا. ولذلك، يعتمد المهندسون الزلزاليون على الدراسات الجيولوجية والزلزالية والتجارب الميدانية والنماذج الرياضية والتكنولوجيا المتقدمة لتحليل وتصميم الهياكل المقاومة للزلازل

2. مشكلة البحث

نظرا لأن هندسة الزلازل من الفروع المهمة في مجال الهندسة المدنية في تأثيرها على المباني ولأن اغلب المواصفات التي يتم دراستها في مجال التحليل والتصميم الإنشائي تشير الى حمل الزلازل ولكن في الغالب لايتم توضيح طريقة حساب هذه الأحمال

ايضا لان قوة الزلازل كبيرة وفي ذات الوقت قليلة الحدوث فبتالي يمكن تضمينها في الحسابات في بعض المنشأت المهمة والتي يتطلب العمل بها في حالات الطوارئ لذالك فإن اهمية هندسة الزلازل تكمن في حالات معينة تم تحديدها من قبل المواصفات سيتم التطرق لها في الفصل الثاني من هذه الدراسة

3. أهداف البحث

الهدف الرئيسي من البحث تأثير الزلازل على المنشآت هو تصميم وبناء المباني والهياكل بطريقة تجعلها قادرة على تحمل الزلازل

والحفاظ على سلامة الأرواح والممتلكات. وتشمل الأهداف الرئيسية لهدا البحث:

- اعطاء فكرة عامة عن هندسة الزلزال من حيث انواع الزلازل حسب شدتها وكيفية تأثيرها على المبنى
- تصميم وبناء المباني والهياكل بطريقة تجعلها قادرة على تحمل الزلازل والحفاظ على سلامة الأرواح والممتلكات.
- إعطاء التوصيات المناسبة لتقليل خطر وقوع إصابات جسدية أو فقدان للأرواح خلال الزلازل..
- منع الانهيار للمنشأ اثناء حدوث الزلزال القوي مع قبول الاضرار للمنشأ في العناصر الإنشائية.
- عدم السماح بالانهيار التام لبعض العناصر الإنشائية في المبنى.
- تقليل الأضرار المادية والتكاليف المرتبطة بإصلاح وتجديد المباني المتضررة.
- قبول بعض الانهيارات الغير الإنشائية او حدوث شقوق في العناصر الإنشائية او اتلاف المبنى بشكل شبه كامل دون حدوث

اضرار بشريه.

4. خطة البحث:

يتضمن هذا البحث جانب نظري يحتوي على مجموعة من المفاهيم المرتبطة بهندسة الزلازل وجانب تطبيقي على حالة دراسة عددية

5. الدراسات السابقة

- اجرى كلا من (لينا علي و وغسان عبود) بحث حول دور المهندس المعماري في تصميم المباني المقاومة للزلازل محليا وكان يهدف الى قياس مدى معرفة المهندسين المعماريين بالاشتراطات والمعايير الزلزالية واستعراض اهم الإعتبارات المعمارية والإنشائية المؤثرة على اداء المبنى وتم اقتراح ضرورة رفع مستوى المعرفة لدى المهندسين بالاعتبارات والاشتراطات الزلزالية وضرورة ادراجها داخل المقررات الدراسية لما لها من اهمية
- أجرى عمر مياس ، بحث (فلسفة تصميم المباني المقاوم لافعال الزلازل والتاثيرات الزلزالية على سلامة المباني والمنشات) في هذا العمل البحثي الدراسة المستفيضة والعميقة لخراب والدمار الحاصل للمباني والمنشات عند حصول الزلازل وتفسير الاسباب التي تؤدي لهذا الدمار، بالاضافة الى ايجاد الحلول المناسبة لتفادي مثل هذا الخراب او

الدمار الذي قد ينتج عن الزلازل المستقبلية. وايجاد الحلول المناسبة لترميم واعادة المباني والمنشات الى وضعيتها الاصلية باقل تكاليف الترميم الممكنة وأوصى بأن يجب ان تصمم المنشات لتقاوم افعال الزلازل مع الاخذ بعين الاعتبار الاحمال الزلزالية، مع وضع عاقبة دمار هذه المباني والمنشات نصب الاعين في مراحل التصميم والانشاء.واخضاع البنايات والمنشات القائمة حاليا لاعمال التدعيم والتقوية الزلزالية المبنية على الحلول الهندسية لتقاوم افعال الزلازل، وخاصة في المناطق المتعرضة لخطورة زلزالية عالية.

- أجرى د.ربيع الصفدي ، بحث (نمذجة و تصميم المنشأت البيتونية المسلحة لمقاومة أحمال الزلازل و الرياح) حيث قام بعمل مقارنة بين المواصفات الامريكية والمواصفات السورية في تحليل وتصميم المنشأت لمقاومة الزلازل وذالك من خلال اجراء نمذجة لمنشأت تحت ظروف مختلفة وتحصل على بعض الخواص التي تؤثر على استخدام المواصفات العالمية والتي تجعل لكل منطقة ظروفها الخاصة

6. فلسفه التصميم الزلزالي للمنشآت

يتم تصميم وتشييد المبنى في موقع المشروع المختار لمقاومه هذا الزلزال النادر الذي قد يأتي مره واحده فقط كل 500 عام او حتى مره واحده كل 2000 عام على الرغم من ان عمر المبنى نفسه قد يكون 50 او 100 عام فقط. نظرا لان تزويد الأبنية بأمان اضافي ضد الزلازل قد يكلف الكثير من المال فعندئذ تنشأ استفسارات عديدة مثلا

هل يجب ان نتخلص من تصميم الأبنية لمقاومه تأثيرات الزلازل ام يجب ان نصمم الأبنية لتكون ضد الزلازل بحيث لا يتسبب بالزلزال الشديد باي ضرر على الرغم من انه نادر؟ من الواضح ان النهج الاول يمكن ان يؤدي الى كارثه كبرى والنهج الثاني مكلف للغاية ومن ثم يجب ان تقع فلسفه التصميم الزلزالي في مكان ما بين هذين النقيضين.

تتعامل المواصفات مع 3 فئات خطورة(أنواع) من الزلازل وهي:

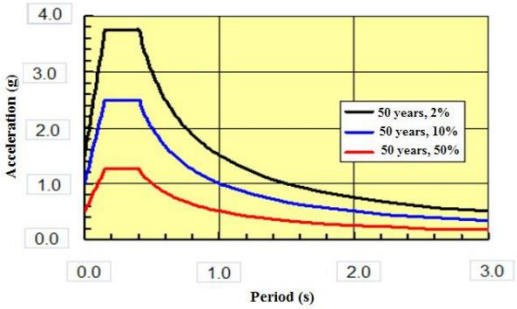
- زلازل متكررة تحدث باستمرار ونسبه حدوثها (10%) خلال 50 سنة.
- زلازل تصميميه احتماليه حدوثها (5%) خلال 50 سنة حيث تكون دوره حدوثه 480 سنة.
- أقصى زلزال اعتباري نسبه حدوثه (2.5%) كل 50 سنة ودوره حدوثه حوالي 2500 سنه.

جدول (1) موثوقية الهدف (احتمال الفشل المشروط) للاستقرار الهيكلي الناجم عن الزلزال وفقًا شتراطات الجمعية الأمريكية للمهندسين المدنيين

Table 1.3-2 Target Reliability (Conditional Probability of Failure) for Structural Stability Caused by Earthquake

Risk Category	Conditional Probability of Failure Caused by the MCE_R Shaking Hazard (%)
I & II	10
III	5
IV	2.5

وبالتالي عند تحديد عوامل التصميم للزلزال نبدأ بأقصى زلزال اعتباري ويتم تحويلها عن طريق معاملات الى الزلزال التصميمي والذي يكون ثلثي قيمه اقصى زلزال محتمل.



شكل (1): فئات خطورة(أنواع) من الزلازل

عند دراسة اداء المنشأة تحت تأثير الزلازل يجب دراسة كل أنواع الزلازل حيث ان المواصفات ليست مهتمة بتصرف المنشأ تحت تأثير النوع الاول من الزلازل الا في حاله اعتبارها في منطقه الخطورة الرابعة وهذا لا يساعد في بعض المشاريع او المنشأة التي يجب ان لا تتوقف عند حدوث اي نوع من الزلازل مثل المستشفيات والملاجئ وبالرغم ان الكود مهتم بتأثير اقصى زلزال اعتباري الا انه من الممكن ان يتضرر المبنى تحت تأثير الهزات المتكررة (النوع الاول) اي هذا لا يمنع تضرر المنشأ ولكن يكون الاهتمام على معامل الامان أكثر من وظيفة المنشأ ، ويتم تصميم المنشآت بحيث تعطي ديمومة عالية وفي حاله التصميم لمقاومه الزلازل يستخدم التحليل الخطي الإستاتيكي والديناميكي.،ويكون اهتمام المصمم بالدرجة الاولى على عدم حدوث انهيار للمنشأ ولكن فلسفه الكود تعطي مجال الى دخول المنشأ في حاله التشوه المرن وإمكانية ان يحدث به تشققات لذلك وضع الكود مجموعة اعتبارات للعناصر الغير إنشائية الموجودة في المبنى بحيث يتم توفير الحماية الغير مباشره من خلال الحد من تشوه المبنى بالكامل.

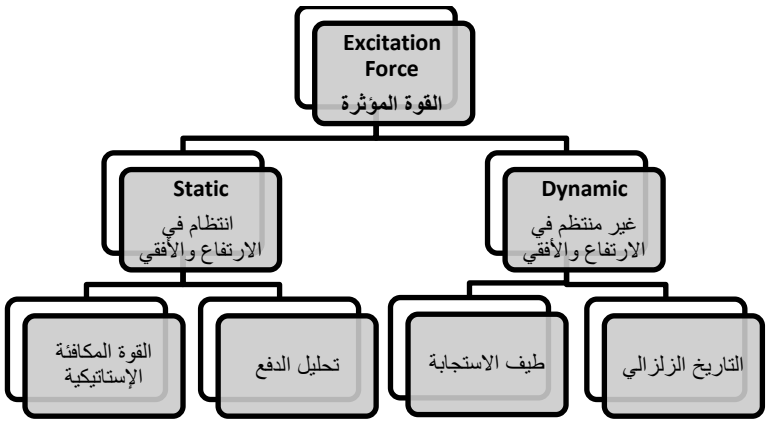
7. مبادئ التصميم الزلزالي:

هناك مجموعة من المبادئ الأساسية التي يجب اخذها بعين الاعتبار عند البدأ في التصميم الزلزالي للمنشأت التي تؤثر على تحديد نوع المنشأ المراد تصميمه والتي توصي المواصفات بضرورة الإلتفات لها عند التصميم

- طريقه التدعيم: ويجب ان يكون المبنى بشكل بسيط ولا يحتوي على هياكل مستمرة ومختلفة
- التماثلية: يجب ان يكون مركز الجساءة الخاص بنظام الانشاء قريب جدا من مركز البلاطة او المبنى لان القوة المكافئة للزلزال تكون موجودة عند مركز البلاطة.وفي حال عدم الانطباق يكون هناك مسافة بين القوة ورد الفعل مما يتولد عنه عزم التواء لها وهذا يسبب مشكله الى كبيره للمبنى.
- الطول في المسقط الافقي: هو النسبة بين الطول والعرض للمبنى حيث تكون مرتبطة بخصائص تربه الموقع لأنه عند بعد المسافة بين الجسات قد تشكل التربة بين الجسات مشكله للمبنى والاساسات عندما تكون التربة غير متجانسة وفي هذه الحالة يمكن عمل تقسيم للمنشأ باستخدام فواصل زلزاليه حسب الكود بالتالي يتم تصميم كل مبنى منفرد ومن ثم ربطها حسب المواصفات
- شكل المبنى في المسقط الراسي: في هذه الحالة تكون النسبة بين الارتفاع والعرض للمبنى لذلك يجب الانتباه للارتداد ويتأثر الارتداد للمبنى بمحيط المبنى والشوارع المطل عليها. حيث ان ارتفاع المبنى يكون 1.5 من عرض الطريق او الشارع فبالتالي عندما تكون الشوارع مختلفة العرض يكون المبنى ارتفاعاته مختلفة مما يسبب ضعف في منطقة تغير ارتفاع المبنى وهنا يجب الانتباه له .

- اختبار مواد الانشاء: في حاله التصميم الزلزالي للمبنى يجب ان تكون المادة مطيلية اي انها يجب ان تكون متجانسة ومقاومتها عالية لان الممطولية للمبنى تمتص جزء كبير من طاقة الزلزال مما يقلل من حركه المبنى.
- توزيع الأعمدة والحوائط والكمرات المنتظم: يجب ان يكون المبنى ذو مركز يقاوم كل القوة المؤثرة عليه، وكذلك ان تكون قوه الأعمدة والكمرات متساوية لان عدم التوزيع المنتظم يقلل من الجساءة للمبنى كاملا.
- جساءة المنشأ:يجب ان تكون جساءة المنشأ مناسبه بحيث يقاوم احمال الزلازل فكلما زاد ارتفاع المبنى تقل جساءة المنشأ بالتالي تزداد الإزاحة في المبنى وايضا الاهتزاز بالمبنى العالي ويكون اعلى من المبنى الاقل للارتفاع لان الزمن الدوري للاهتزاز يزداد مع الارتفاع وايضا احتماليه انهيار المبنى المرتفع تكون اعلى من المبنى الاقل ارتفاع، تؤثر جساءة المبنى على تربه الموقع المستخدم فكلما كانت الجساءة عالية لا تكون الحاجةالى تربه قوية بمعنى اخر كلما قلت جساءة المنشأ نحتاج الى تربه قوية حيث ان التربة الضعيفة تكون جسائتها منخفضة واهتزازاتها عالية جدا اي يؤثر سلبا على المنشأ مما يجعل المنشأ يترنح عند حدوث زلزال.
- التحكم في مكان الانهيار في للمنشأ : عند تحليل المنشأ لمقاومة الزلزال بطريقة الدفع الاستاتيكي يتم تسليط القوة الافقية بشكل تدريجي الى ان يتم الوصول الى قوة الزلزال المتوقعة واثناء تسليط القوة المختلفة يحدث انهيار لبعض الأجزاء عند كل زيادة مما يمكننا من معرفة العناصر الضعيفة او التي تنهار أولا بالتالي يمكننا التحكم في شكل الانهيار في المبنى هن طريق تحسين العناصر خصوصا الاعمدة وجدران القص .

8. طرق لتحليل المنشأت لمقاومة الزلالزل



شكل (2): طرق لتحليل المنشأت لمقاومة الزلالزل

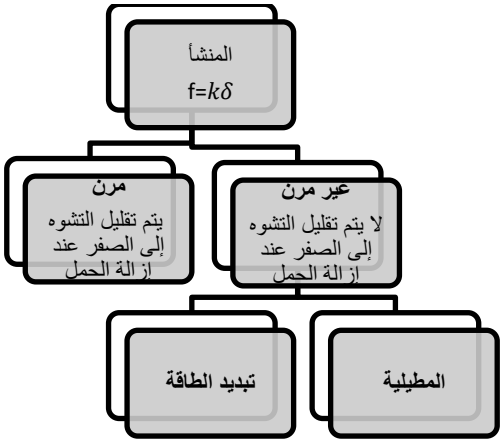
- **طريقة القوة المكافئة الإستاتيكيةEquivalent Static Force:**في هذه الطريقة يتم تحديد القوة التي يمكن ان يتحملها المبنى ضمن اعتبارات تحليلية خاصة بالكود الامريكي ASCE7-16 ويتم توزيعها على ارتفاع المبنى والتي وتكون محصلتها مساوية الى قوة الزلزال ومسلطة على قاعدة المبنى
- **تحليل الدفعPushover Analysis:**في هذه الطريقة يتم تسليط نسب مختلفة من القوة المكافئة على المبنى وتحديد الازاحة والعجلة مع الزمن وذلك لفهم سلوك المبنى تحت تأثير هذه القوى،تعتبر هذه الطريقة اكثر وضوح من حيث سلوك المبنى ولكن يتطلب العمل بها العديد من عمليات التحليل على حسب النسب المقسمة على القوة المكافئة ويتم الجوء عليها في حالة المباني التي تتطلب تحديد شكل الانهيار المحتمل للمبنى عند حدوث الزلزال

- **طريقة طيف الاستجابةResponse Spectrum:**تعتمد هذه الطريقة على علاقة العجلة والزمن لزلزال واحد حيث يتم تحديد الزمن الدوريومختلف لمجموعة من المباني ومعامل التخميد ثابت ويتم من خلالها تحديد منحنى خاص بالزاحة والسرعة والعجلة للمبناني مع الزمن من خلال حل المعادلة التفاضلية الخاصة بعجلة الزلزل وايجاد اقصى ازاحة وايضا ايجاد منحنى العجلة مع الزمن والذي يمكن من خلاله تحديد القوة الزلزالية
- **طريقة التاريخ الزلزاليTime History:**تعتمد هذه الطريقة على علاقة العجلة والزمن لمجموعة من الزلازل تحدث في أخر 50 سنة تقريبا ومنها يتم تحديد علاقة الازاحة والزمن للمبنى عن طريق تحليل معادلة تفاضلية الخاصة بحركة المبنى ،وتعتمد على تقسيم الزمن خلال حدوث الزلزال وقد تتطلب ايجاد قيمة الازاحة مئات المرات لكي يمكن الحصول بعدها على سلوك المبنى وعلاقة الازاحة والزمن له ،تشير المواصفات الى انه يجب استخدام على الاقل ثلاثة سجلات للزلازل واخذ القيمة القصوى لها او استخدام سجلات سبع زلازل واستخدام القيمة المتوسطة لها ،الأمر الذي يزيد من تعقيد الطريقة لانه قد لا يكون حدث هذا العدد في الفترة المحددة وايضا يجعل هذا الأمر هذه الطريقة تقريبية،الا انه في هذه الطريقة يتم الاستعانة بالتطبيقات الهندسية في التحليل للوصول الى هذه العلاقة مثل ETABS

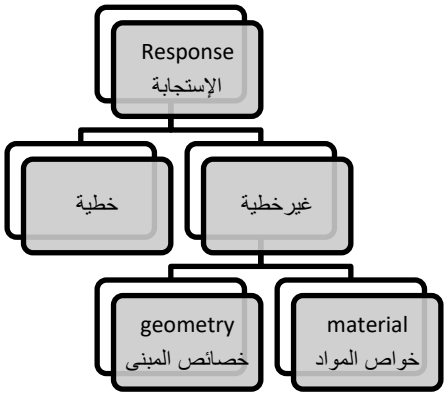
9. سلوك المبنى

كما هو معروف ان المنشأة يمكن ان تكون مرنة او غير مرنة وهذا يعتمد على عدة عوامل منها نوع المبنى والنسبة بين الارتفاع الى العرض ووزن المبنى ولكن في حالات قليلة جدا يكون المبنى مرن او يتطلب الوظيفة ان يكون المبنى مرن مثلا في المفعلات النووية ،الأمر الذي يتطلب تقليل الازاحة وبالتالي زيادة في جساءة المبنى ولكن في الحالات العامة لايمكن الوصل الى هذه المرحلة بشكل بسيط وبالتالي يمكن السماح للمبنى ان يكون غير مرن ضمن حدود معينة الأمر الذي يزيد من قوته وفي نفس الوقت السماح بحركة جانبية ضمن حدود مسموح بها كما يوضح الشكل،في حال تقرر التصميم على القوة المرنة للمنشأ فسيكون ذلك عن طريق القوة V(Elastic) ولكن فعليا لايتم ذلك الا في حالات معينة ولكن يتم تخفيض هذه القوة الى قيمة VDesign عن طريق معامل التخفيض R ولكن في هذه الحالة تكون الازاحة للمبنى قليلة ويتم حسابها عن طريق معامل تضخيم الازاحة Cd ،عند التصميم على هذه القوة فاننا نلاحظ ان هناك مجال قبل وصول المبنى الى نقطة الانهيارVyield هذا المجال تكون مسؤولة عليه عوامل اخرى مثل القوة الاضافية في المبنى والمطيلية الخاصة به وللوصول الى هذه القوة يتم ذلك عن طريق معامل القوة الإضافية وتبديد طاقة الزلزال من خلال مطيلية المبنى التي تسمح بإمكانية الازاحة للمبنى في حد معين ،حيث يتم تخفيض القوة الفعلية للمبنى في الحالة المرنة عن طريق معاملات الاستجابة والتي تعتمد على مطيلية المبنى وايضا الخواص الهندسية للمواد والعناصر الانشائية مثل زيادة مقاومة الضغط للخرسانة عن المقاومة الداخلة في التصميم والتي تمثل مخزون احتياطي لمثل هذه الحالات

قبل البدء في عملية التحليل يجب فهم أن الزلزال هو عبارة عن عجلة تحدث مع الزمن الزلزال ليس قوة بل هو طاقة منبعثة من الأرض نتجت عنه حركة ترددية بعجلة مختلفة معمرور الزمن



شكل (3): مخطط جساءة المبنى



شكل (4): مخطط الإستجابة للمبنى

تنتج هده الطاقة قوة تعمل على حركة المبنى مما يتولد ردفعل للمبنى تكون على شكل إزاحة وسرعة وعجلة للمبنى تكون محسوبة على أعلى نقطة في المبنى،عندما يسبب الحمل تغيرا كبيرا في الصلابة تصبح الاستجابة غير خطية تجدر الإشارة الى ان المبنى يكون تحت تأثير فترة الدروة للزلزال والتي في الغالب لاتتجاوز 15 ثانية،وبالتالي يتم حساب الازاحة والسرعة للمبنى في الفترة الى10ثواني من حدوث الزلزال فقط

10.حالة الدراسة

في هذه الدراسة تم اختيار مبنى مكون من 6 طوابق على تربة صخريةمن التصنيف B والمطلوب تحديد القوة الزلزالية التصميمية وقوة القص الزلزالية لإطار خرساني خاص مقاوم للعزم SMRF مكون من ستة طوابق المبنى خاص بمنشأة تعليمية يقع في منطقة ذات مخاطر زلزالية عالية حيث Ss = 1.5g و S1 = 0.6g هذه القيم يتم استخراجها من خرائط الخطورة الزلزالية Hazard mapsوهي تم افتراضها حسب تشابه مع مناطق صخرية حددها الكود مخصصة للولايات المتحدة الامريكيةتبلغ ارتفاعات (3.65متر) ، وأوزان المسلطة على كل دوركلها (7562كيلونيوتون) التحقق من التشوه الجانبي للهيكل. موضح في الشكل يتم الحصول على δxe من التحليل المرن الساكن باستخدام القوة الزلزالية التصميمية ويتم إعطاؤه على النحو التالي

11.خطوات التحليل

- تحديد المنطقة الزلزالية Risk category

Risk category(III) **ASCE 7−16 Table 1.5−1**

- تحديد معامل الأهمية للمبنى Ie

Ie =1.25 .3 **ASCE 7−16 Table 1.5−1**

- من خرائط الخطورة الزلزالية Hazard mapsيتم تحديد معاملات التعجيل Ss,S1والتي تم فرضها بسبب عدم وجود معلومات عن الموقع الجغرافي للمدينة ،ولان المواصفات الامريكية مخصصة فقط للولايات الامريكية والمناطق التي بها نفس الظروف

$$S_{Ms} = F_a * S_s \quad \textbf{ASCE 7 − 16 (equ 11.4 − 1)}$$
$$S_{M1} = F_v * S_1 \quad \textbf{ASCE 7 − 16 (equ 11.4 − 2)}$$
$$F_a = 0.9g \quad \textbf{ASCE 7 − 16 (Table11.4 − 1)}$$

$F_v = 0.8g$ **ASCE 7 − 16 (Table11.4 − 2)**

$S_{Ms} = 1.35g$ $S_{M1} = 0.48g$

- يتم حساب المعاملات S_{D1},S_{Ds} من المعادلات

$$S_{Ds} = \frac{2}{3} * S_{Ms}$$ **ASCE 7 − 16 (equ 11.4 − 3)**

$$S_{D1} = \frac{2}{3} * S_{M1}$$ **ASCE 7 − 16 (equ 11.4 − 4)**

$S_{Ds} = 0.9g \dots\dots\dots\dots S_{D1} = 0.32g.$

- تحديد فئة الزلزال التصميمة SDC وبناء على S_{D1},S_{Ds} يتم تحديده من الفئة

ASCE 7−16 (Table 11.6−1)1)

D

ASCE 7−16 (Table 11.6−2)2)

- يتم تحديد معامل الاستجابة للمبنىR والذي يعتمد على نوع المنشأ المستخدم SMRF

R = 8 **ASCE 7−16 (Table12.2−1)1)**

- يتم تحديد دورة الاهتزاز التقريبية للمنشأ و هي دالة للكتلة وصلابة الهيكل. إذا لم يتم تصميم المبنى، فلا يمكن تحديد الفترة T بدقة. ومن ناحية أخرى، لتصميم المبنى، يجب معرفة فترة الاهتزاز، وإدراجها في معادلات التصميم. ولهذا السبب توفر قوانين البناء معادلات لحساب الفترات التقريبية للاهتزازات، Ta. الفترات التقريبية المحسوبة أقصر من الفترات الحقيقية للهيكل، مما يؤدي إلى ارتفاع قيم قص القاعدة، ونتيجة لذلك تصميم آمن.،يمكن تحديد الفترة التقريبية للاهتزاز، T، باستخدام المعادلة التالية

$T_a = C_t h_n^x$ **ASCE 7 − 16 (equ 12.8 − 7)7)**

- يتم حساب المعاملات C_t, x

$C_t = 0.0466$

ASCE 7−16 (Table 12.8−2)

5. $x = 0.9$

$h = 6 * 3.65m \dots\dots\dots T_a = 0.75s$

- حساب معامل الاستجابة الزلزالية على النحو التالي، والتحقق من الحدود:

$$C_s = \frac{S_{Ds}}{R/Ie}$$ **ASCE 7 − 16 (equ 12.8 − 2)**

$$T \le T_L \dots\dots C_s max = \frac{S_{D1}}{T\left(R/Ie\right)}$$ **ASCE 7 − 16 (equ 12.8 − 3)**

$$T > T_L \dots\dots C_s = \frac{T_L S_{D1}}{T^2\left(R/Ie\right)}$$ **ASCE 7 − 16 (equ 12.8 − 4)**

$$C_s min \geq 0.044 S_{Ds}\ \mathbf{Ie} \geq \mathbf{0.1} \qquad \mathbf{ASCE\ 7-16\ (equ\ 12.8-5)}$$

$$S_1 \geq 0.6g \ldots\ldots C_s min = \frac{0.5 S_1}{\mathrm{R}/\mathbf{Ie}} \qquad \mathbf{ASCE\ 7-16\ (equ\ 12.8-6)}$$

$$C_s = \frac{S_{Ds}}{\mathrm{R}/\mathbf{Ie}} = \frac{0.9}{8/\mathbf{1.25}} = 0.141$$

$$C_s min = 0.047 \ldots\ldots C_s max = 0.067$$
$$C_s = 0.067$$

- يتم حساب الوزن الزلزالي الإجمالي على النحو التالي

$$W = w_1 + w_2 + w_3 + w_4 + w_5 + w_6$$
$$W = 45372kn$$

- حساب القوة الزلزالية

$$V = C_s W \qquad \mathbf{ASCE\ 7-16\ (equ\ 12.8-1)}$$
$$V = (3040kn)$$

- يجب تحديد القوة الزلزالية الجانبية (Fx) المستحثة عند أي مستوى

$$\mathrm{F}_x = C_{vx} V \qquad \mathbf{ASCE\ 7-16\ (equ\ 12.8-11)}$$
$$C_{vx} = \frac{w_x h_x^k}{\sum_{i=1}^{n} w_i h_i^k} \qquad \mathbf{ASCE\ 7-16\ (equ\ 12.8-11)}$$

k = الأس المتعلق بفترة الهيكل على النحو التالي:

- (k =1) بالنسبة للهياكل التي تبلغ فترة دورتها 0.5 ثانية أو أقل،
- (k =2) بالنسبة للهياكل التي تبلغ فترة دورتها 2.5 ثانية أو أكثر،
- بالنسبة للهياكل التي لها فترة تتراوح بين 0.5 و2.5 ثانية، يجب أن تكون k =2 أو يتم تحديدها عن طريق الاستيفاء الخطيinterpolation بين 1 و2.

جدول (2) حساب القوة الزلزالية

رقم الطابق	$w_x h_x^k$ $k = 1.125 \text{interpolation}$	عامل التوزيع الرأسي C_{vx}	القوة الزلزالية الجانبية $(\mathrm{F}_x = C_{vx} V)$ (kN)
6	243577	0.31	942.4
5	198407	0.25	760
4	154359	0.19	577.6
3	111680	0.14	425.6
2	70774	0.09	273.6
1	32450	0.04	121.6
0	$\sum_{i=1}^{n} w_i h_i^k = 781247$		

- حساب قوة القص وعزم الإنحناء عند أي مستوى

جدول (3) حساب قوة القص وعزم الإنحناء

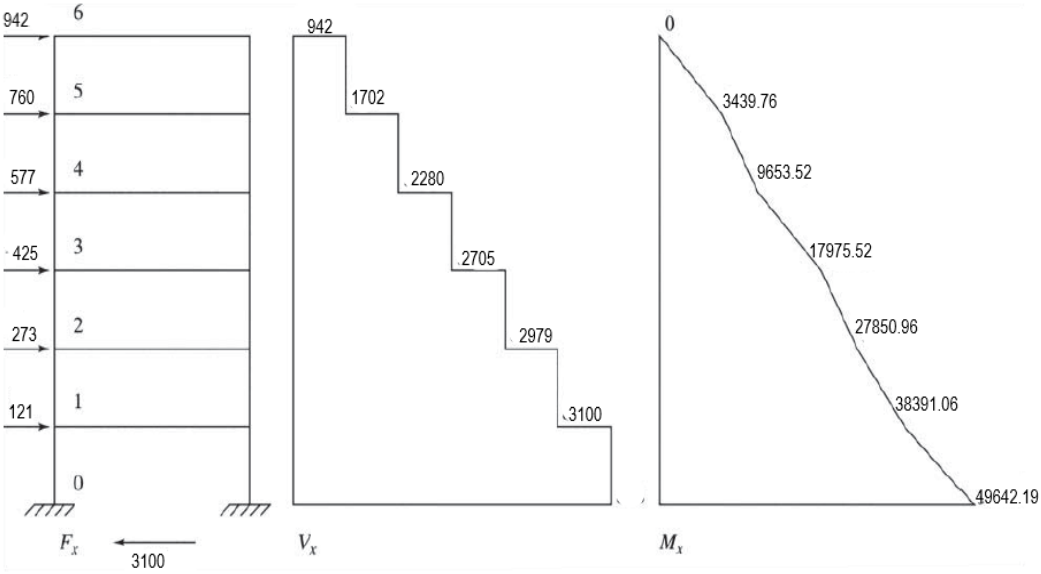
رقم الطابق	القوة الزلزالية الجانبية $(F_x = C_{vx}V)$ (kN)	قوة القص (kN)	عزم الإنحناء (kN.m)
6	942.4	942.4	0
5	760	1702.4	3439.76
4	577.6	2280	9653.52
3	425.6	2705.6	17975.52
2	273.6	2979.2	27850.96
1	121.6	3100.8	38391.06
0		3100.8	49642.19

- تحديد عامل تضخيم الانحراف C_d من الجدول(ASCE 7-16 (Table 12.2-1

$$C_d = 5.5$$

- حساب الانحراف عند أي مستوى δx

$$\delta_x = \frac{C_d \delta xe}{Ie} \dots\dots\dots\dots\dots \text{ASCE } 7-16 \text{ (equ } 12.8-15)$$



شكل (5): مخططات قوة القص وعزم الإنحناء

- حساب تضخيم الإنحراف عند المستويات وما فوقها

$$\Delta = \frac{C_d(\delta_{x2} - \delta_{x1})}{Ie} \dots\dots\dots\dots\dots \text{ASCE } 7-16 \text{ (section 12.8)}$$

- حساب معامل الاستقرار

$$\theta = \frac{P_x \Delta Ie}{V_x h_{sx} C_d} \dots\dots\dots\dots\dots \text{ASCE } 7-16 \text{ (equ } 12.8-16)$$

جدول (4) حساب معامل الاستقرار

رقم الطابق	δxe (mm)	الإنحراف الكلي δ_x(mm)	تضخيم الإنحراف Δ(mm)	P_x kN	V_x kN	θ
6	1.26	5.54	1.232	7562	942.4	0.0006
5	0.98	4.312	1.188	15124	1702.4	0.00065
4	0.71	3.124	1.1	22686	2280	0.00068
3	0.46	2.024	0.88	30248	2705.6	0.00060
2	0.26	1.144	0.8	37810	2979.2	0.00063
1	0.06	0.264	0.264	45372	3100.8	0.00024

$$\theta_{max} = \frac{0.5}{\beta C_d} \leq 0.25 \dots\dots\dots\dots\dots \text{ASCE } 7-16 \text{ (equ } 12.8-17)$$

$$\theta_{max} = \frac{0.5}{\beta C_d} = \frac{0.5}{1 * 5.5} = 0.09 > \theta$$

6. وهو مقبول. وأيضًا $\theta < 0.10$ في كل مستوى طابق، مما يعني أنه يمكن تجاهل تأثير Δ –P.

$$\Delta_a = 0.15 h_{sx} \dots\dots\dots\dots\dots \text{ASCE } 7-16 \text{ (Table } 12.12-1)$$

$$\Delta_a = 0.15(3650mm) = 54.75mm > \Delta$$

12.تأثيرات الحمل الزلزالي ومجموعاته

نظريا تطبق الأحمال الزلزالية عند مراكز كتل الطوابق المختلفة، إلا أن الكود يتطلب أن تطبق القوى الزلزالية الأفقية عند نقطةتبعد عن مركز الكتلة المحسوب مسافة 5 % من بعد البناء المتعامد مع القوة الزلزالية .تدعى هذه المسافة باللامركزية الطارئةو تأخذ هذه اللامركزية بعين الاعتبار مقدار الخطأ المحتمل عند تقدير كافة العوامل المساهمة Accidental eccentricityفي تحديد مراكز كتل الطوابق المختلفة.

1) 1.4D
2) 1.2D + 1.6L + 0.5(L_r or S or R)
3) 1.2D + 1.6(L_r or S or R) + (L or 0.5W)
4) 1.2D + 1.0W + L + 0.5(L_r or S or R)
5) 0.9D + 1.0W
6) 1.2D + E_h + E_v + L + 0.2S } Load Combinations including *E*

7) $0.9D + E_h - E_v$

$$E = E_h \pm E_v$$

$$E = \rho\, Q_E \pm 0.2\, S_{DS}\, D$$

ρ عامل التكرار (ASCE 7 – 16 (section 12.3.4.2

For Load Combination: $1.2D + E_h + E_v + L + 0.2S$

$$(1.2 + 0.2\, S_{DS})\, D + 1.0\, \rho\, Q_E + L + 0.2\, S$$

For Load Combination: $0.9D + E_h - E_v$

$$E_h - E_v = \rho\, Q_E - 0.2\, S_{DS}\, D$$

$$(0.9 - 0.2\, S_{DS})\, D + 1.0\, \rho\, Q_E$$

يجب تحديد الجزء الأفقي من حمل الزلزال، Emh، باستخدام عامل القوة الزائدةΩ_0 المنصوص عليه في مجموعات الأحمال في كود البناء المعمول به1-12.2 ,Table 7-16 ASCE.

For Load Combination: $1.2D + E_h + E_v + L + 0.2S$

$$E_h + E_v = \Omega_o\, Q_E + 0.2\, S_{DS}\, D$$

$$(1.2 + 0.2\, S_{DS})\, D + \Omega_o\, Q_E + L + 0.2S$$

For Load Combination: $0.9D + E_h - E_v$

$$E_h - E_v = \Omega_o\, Q_E - 0.2\, S_{DS}\, D$$

$$(0.9 - 0.2\, S_{DS})\, D + \Omega_o\, Q_E$$

13. الخلاصة

في هذه الدراسة تم استخدام طريقة القوة المكافئة الاستاتيكيةEquivalent Static Force للتحليل الزلزالي للمنشأت حسب الاشتراطات الخاصة بالمواصفات الأمريكية ASCE وتم الحصول على مجموعة من الاستنتاجات يمكن تلخيصها في الآتي:

- التحليل باستخدام القوة المكافئة الاستاتيكية هو الأبسط والأسهل بين طرق التحليل الزلزالي.لأنه لا يتطلب معرفة معقدة بالديناميكيات والتحليل الحركي للمنشأة.
- يتم إجراء التحليل بشكل سريع ودون الحاجة لجهود حسابية كبيرة.وهذا مناسب للمراحل الأولية من التصميم والتقييم السريع للمنشآت.وهي طريقة مقبولة وشائعة الاستخدام في معظم الأكواد والمواصفات الهندسية.ويمكن تطبيقها على مختلف أنواع المنشآت كالمباني والجسور والهياكل الصناعية
- تميل هذه الطريقة إلى تقدير القوى الزلزالية بشكل محافظ (أعلى من الواقع).وهذا يضمن سلامة المنشأة في مواجهة الزلازل حتى لو لم تشمل كافة التفاصيل الديناميكية.

- لا تتطلب هذه الطريقة سوى معلومات أساسية عن المنشأة كالوزن والارتفاع وخصائص التربة.و يمكن تطبيقها بسهولة باستخدام برامج الحاسب الآلي المتوفرة.

بهذه المميزات، تُعد طريقة القوة المكافئة الاستاتيكية خيارًا جيدًا للتحليل الزلزالي في المراحل الأولية للتصميم والتقييم السريع للمنشآت.

14. التوصيات

من نتائج الدراسة المتحصل عليها هناك عدة توصيات ومقترحات هامة للتحليل الزلزالي للمنشآت:

- استخدام نماذج تحليلية دقيقة: يجب استخدام نماذج رياضية وتحليلية متطورة تأخذ في الاعتبار جميع العوامل المؤثرة على سلوك المنشأة تحت تأثير الزلازل، مثل الخصائص الديناميكية للمنشأة، وتفاعل التربة–المنشأة، وتأثيرات الطوابق المرنة.
- إجراء تحليلات شاملة: ينبغي إجراء تحليلات زلزالية شاملة تغطي المراحل المختلفة للزلزال، بدءاً من التحميل الديناميكي وحتى التشوهات النهائية للمنشأة.
- استخدام بيانات موثوقة: يجب الاعتماد على بيانات موثوقة للخصائص الهندسية والمواد المستخدمة في المنشأة، بالإضافة إلى بيانات الزلازل التاريخية والمتوقعة في الموقع.
- إجراء تحليلات حساسية: ينبغي إجراء تحليلات للتعرف على المتغيرات الحرجة والتي لها تأثير كبير على سلوك المنشأة تحت تأثير الزلازل.
- تطبيق معايير التصميم المناسبة: يجب تطبيق معايير التصميم المناسبة والمعتمدة محلياً أو دولياً لضمان توافق المنشأة مع متطلبات الأمان.
- التنسيق مع الخبراء: ينبغي التعاون مع خبراء الزلازل والإنشاءات لضمان إجراء التحليل الزلزالي بطريقة صحيحة وتفسير النتائج بدقة.
- المراجعة الدورية: يجب إجراء مراجعات دورية للتحليل الزلزالي للتأكد من مواكبة أي تغييرات في المعايير أو البيانات المستخدمة.

باتباع هذه التوصيات والمقترحات، يمكن الحصول على تحليل زلزالي فعّال للمنشآت مما يضمن سلامتها وأمانها خلال الزلازل القوية.

15–المراجع

أولا: المراجع العربية

1. عمر مياس.،" فلسفة تصميم المباني المقاوم لافعال الزلازل والتاثيرات الزلزالية على سلامة المباني والمنشات ، سلطة المصادر الطبيعية– مرصد الزلازل الاردني ،2008،.
2. ربيع الصفدي ، "نمذجة و تصميم المنشأت البيتونية المسلحة لمقاومة أحمال الزلازل و الرياح" دمشق ،2012
3. لينا علي و وغسان عبود"" دور المهندس المعماري في تصميم المباني المقاومة للزلازل " دمشق ،2012

ثانياً: المراجع الأجنبية

4. American Society of Civil Engineers (ASCE7-16) " minimum design loads and associated criteria for buildings and other structures " 2017
5. Yousef Bozorgnia and Vitelmo V.Bertero " Earthquake Engineering from Engineering Seismology to performance based engineering " 2004
6. M.Nadim and A.Almanaseer " structural concrete theory and design "7th edition,2020
7. Jack Moehle " seismic Design of Reinforced concrete Buildings " 2015
8. Ishiyama Y. (2006), Earthquake damage to buildings and seismic design, Hokkaido university, Japan..