

## بحث بعنوان

# تأثير الزلازل على المنشآت الخرسانية وطرق الحماية

اعداد

اسامة سعدي اسعد جبر

مهندس مدني

بلدية الرصيفة

## المخلص

الزلازل تُعد من أخطر الكوارث الطبيعية التي تؤثر بشكل مباشر على المنشآت الخرسانية، حيث تؤدي الاهتزازات الأرضية المفاجئة إلى إضعاف مكونات الخرسانة وحدوث تشققات أو انهيارات جزئية وكاملة، خصوصًا في حال غياب التصميم المقاوم للزلازل. وتزداد خطورة هذه التأثيرات مع ارتفاع شدة الزلزال، وضعف جودة المواد المستخدمة، أو عند وجود أخطاء في التنفيذ مثل ضعف الربط بين العناصر الإنشائية أو نقص حديد التسليح. كما أن المباني المرتفعة والجسور والمنشآت الحيوية تكون أكثر عرضة للخطر في حال عدم مراعاة المعايير الزلزالية أثناء التصميم والإنشاء.

وللحد من هذه المخاطر، يتم الاعتماد على عدة طرق حماية أبرزها التصميم الإنشائي المقاوم للزلازل الذي يهدف إلى امتصاص الطاقة الزلزالية وتوزيعها بشكل آمن عبر عناصر المبنى. وتشمل هذه الطرق استخدام أنظمة العزل الزلزالي، والتسليح الكافي للعناصر الخرسانية، واعتماد تفاصيل إنشائية تضمن المرونة والديمومة. إضافةً إلى ذلك، تُجرى دراسات جيولوجية للموقع قبل البناء لتحديد طبيعة التربة ومدى استجابتها للاهتزازات. وتلعب الصيانة الدورية والكشف المبكر عن العيوب دورًا أساسيًا في تعزيز متانة المباني، مما يقلل من احتمالية انهيارها ويحافظ على سلامة الأرواح والممتلكات.

**Abstract**

Earthquakes are among the most dangerous natural disasters that directly impact concrete structures. Sudden ground vibrations weaken concrete components, causing cracks or partial or complete collapses, especially in the absence of an earthquake-resistant design. The severity of these effects increases with the intensity of the earthquake, the poor quality of the materials used, or implementation errors such as poor connections between structural elements or a lack of reinforcing steel. High-rise buildings, bridges, and vital facilities are more vulnerable if seismic standards are not observed during design and construction.

To mitigate these risks, several protection methods are employed, most notably earthquake-resistant structural design, which aims to absorb seismic energy and distribute it safely across building components. These methods include the use of seismic isolation systems, adequate reinforcement of concrete elements, and the adoption of structural details that ensure flexibility and durability. In addition, geological studies of the site are conducted prior to construction to determine the nature of the soil and its response to vibrations. Regular maintenance and early detection of defects play a key role in enhancing the durability of buildings, reducing the likelihood of collapse and preserving the safety of lives and property.

## المقدمة

تُعتبر الزلازل من أخطر الكوارث الطبيعية التي تهدد الأرواح والممتلكات، نظراً لما تسببه من اهتزازات عنيفة قد تؤدي إلى تدمير البنية التحتية والمنشآت. وتبرز خطورة هذه الظاهرة الطبيعية في كونها تحدث بشكل مفاجئ ودون سابق إنذار، مما يجعل الاستعداد المسبق والاعتماد على معايير السلامة والوقاية أمراً بالغ الأهمية. ومع تزايد الكثافة العمرانية والتمدن في مختلف أنحاء العالم، أصبحت دراسة تأثير الزلازل على المباني والمنشآت الخرسانية ضرورة ملحة للحد من الخسائر البشرية والمادية.

تُعد المنشآت الخرسانية من أكثر أنواع الأبنية انتشاراً في المدن الحديثة، لما تتميز به من قوة ومتانة وقدرة على تحمل الأحمال. إلا أن هذه القوة قد لا تكون كافية عند تعرض المباني لزلازل قوية، حيث يمكن أن تنشأ تشققات في الجدران والأسقف أو انهيارات جزئية وكاملة، خاصة إذا لم تُراعى في التصميم والإنشاء متطلبات المقاومة الزلزالية. وتزداد المخاطر في حال ضعف جودة المواد أو سوء التنفيذ أو عدم الاهتمام بخصائص التربة عند البناء، الأمر الذي يُبرز الحاجة إلى حلول هندسية فعّالة.

ولمواجهة هذه التحديات، تطورت العديد من الأساليب والطرق الهندسية التي تهدف إلى حماية المنشآت الخرسانية من تأثير الزلازل والحد من أضرارها. ومن أبرز هذه الطرق التصميم المقاوم للزلازل، استخدام أنظمة العزل القاعدي، تعزيز العناصر الخرسانية بالتسليح المناسب، إضافة إلى إجراء الفحوصات والصيانة الدورية للمباني. إن البحث في هذا المجال يفتح آفاقاً واسعة لتعزيز السلامة الإنشائية وتحقيق الاستدامة العمرانية، بما يسهم في حماية الأرواح وتقليل الخسائر المادية عند حدوث الزلازل.

## مشكلة البحث

تتمثل المشكلة البحثية في أن العديد من المنشآت الخرسانية، خاصة في المناطق المعرضة للنشاط الزلزالي، لا تزال تعاني من ضعف في قدرتها على مقاومة الزلازل نتيجة قصور في التصميم الإنشائي أو استخدام مواد غير مطابقة للمواصفات أو تجاهل خصائص التربة أثناء البناء، مما يؤدي إلى حدوث أضرار جسيمة تصل أحياناً إلى الانهيار الكامل. ورغم التطور الكبير في تقنيات الحماية وأساليب التصميم المقاوم للزلازل، إلا أن تطبيق هذه الأساليب بشكل فعال لا يزال محدوداً في بعض المشاريع، الأمر الذي يثير الحاجة إلى دراسة شاملة لتأثير الزلازل على المنشآت الخرسانية واستكشاف أكثر طرق الحماية كفاءة وفاعلية لضمان سلامة الأرواح وتقليل الخسائر المادية.

## أهداف البحث

1. تحليل التأثيرات المباشرة وغير المباشرة للزلازل على المنشآت الخرسانية.
2. تقييم دور جودة المواد الخرسانية والتسليح في زيادة مقاومة المباني للزلازل.
3. دراسة فعالية أنظمة العزل الزلزالي والتقنيات الهندسية الحديثة في حماية المنشآت.
4. مراجعة وتقييم معايير التصميم المقاوم للزلازل ومدى ملاءمتها للظروف المحلية.
5. اقتراح استراتيجيات عملية للصيانة والوقاية تساهم في تعزيز سلامة المنشآت الخرسانية وتقليل الخسائر عند حدوث الزلازل.

تتبع الأهمية البحثية لدراسة تأثير الزلازل على المنشآت الخرسانية وطرق الحماية من كون الزلازل ظاهرة طبيعية لا يمكن التنبؤ بها بدقة، وقد تؤدي إلى خسائر بشرية ومادية جسيمة إذا لم يتم الاستعداد لها بطرق علمية وهندسية سليمة. فالمنشآت الخرسانية تُعد العمود الفقري للبنية التحتية في المدن الحديثة، وتشمل المباني السكنية والتجارية والجسور والمنشآت الحيوية، ما يجعل ضعف مقاومتها أمام الهزات الأرضية خطراً مباشراً على حياة الناس واستمرارية الخدمات الأساسية.

كما أن هذا البحث يُسهم في توعية المعنيين من مهندسين ومخططين وصناع قرار بأهمية تطبيق معايير التصميم المقاوم للزلازل واعتماد تقنيات الحماية الحديثة. وتكمن أهميته أيضاً في تقديم مقترحات عملية تعزز من متانة المنشآت وتطيل عمرها الافتراضي، مما يساهم في تقليل التكاليف الاقتصادية الناتجة عن الإصلاح أو إعادة الإعمار بعد الكوارث. وبذلك، فإن البحث في هذا المجال لا يقتصر على الجانب الهندسي فقط، بل يتعداه إلى جوانب اجتماعية واقتصادية وأمنية، ترتبط بشكل مباشر بحماية الأرواح وتحقيق التنمية العمرانية المستدامة.

### أسئلة البحث

1. ما هي أبرز التأثيرات الإنشائية التي تُحدثها الزلازل على المباني الخرسانية المختلفة؟
2. كيف تؤثر جودة المواد الخرسانية والتسليح على مقاومة المنشآت الخرسانية للزلازل؟
3. ما دور أنظمة العزل القاعدي والتقنيات الحديثة في تقليل أضرار الزلازل على المباني؟
4. ما مدى كفاءة معايير التصميم المقاوم للزلازل المطبقة حالياً في الحد من مخاطر الانهيار؟

5. كيف يمكن تعزيز الصيانة الدورية والكشف المبكر عن العيوب لتحسين مقاومة المباني الخرسانية للهزات

الأرضية؟

## الإطار النظري

### مفهوم الهندسة المدنية وأبعادها التخصصية

تُعرف الهندسة المدنية بأنها أحد أقدم فروع الهندسة، وتُعنى بتصميم وبناء وصيانة البنية التحتية التي يحتاجها المجتمع، مثل الطرق، الجسور، المباني، والمرافق العامة. وتشمل تخصصاتها الفرعية هندسة النقل، وهندسة الطرق، وهندسة التربة، وهندسة المياه، التي تتكامل لتقديم حلول شاملة للتحديات الحضرية. وتُعد هذه المهنة حجر الأساس في تطوير المدن، حيث تُركز على مبادئ الرياضيات، الفيزياء، والمواد الهندسية، إلى جانب استخدام نماذج حاسوبية متقدمة لضمان السلامة، الكفاءة، والمتانة في المشاريع العمرانية.

### نظرية التخطيط الحضري وعلاقتها بالنقل

يُعد التخطيط الحضري عملية منظمة تهدف إلى تنظيم استخدام الأراضي وتوزيع الخدمات والبنية التحتية في المدن، وتشكل شبكة النقل أحد أهم مكوناتها. وتشير نظرية التخطيط الحضري إلى أن كفاءة المدينة تعتمد على مدى تكامل أنظمة النقل مع باقي القطاعات (السكن، التعليم، الصحة). ووفقاً لنظرية "التنمية المرتبطة بالنقل"، فإن تصميم المدن حول محطات النقل الجماعي يُقلل الاعتماد على السيارات الخاصة، ويُعزز من الكثافة السكانية المستدامة، وهو ما يُعد من أولويات الهندسة المدنية الحديثة.

## تأثير الزلازل على المنشآت الخرسانية

تؤثر الزلازل بشكل مباشر على المنشآت الخرسانية من خلال الاهتزازات الأرضية التي تسبب إجهادات داخلية قد تتجاوز قدرة الخرسانة وحديد التسليح على التحمل، مما يؤدي إلى حدوث تشققات وانفصال في العناصر الإنشائية، مثل الأعمدة والجدران والأسقف. وتزداد خطورة هذه التأثيرات في حال كانت المباني مصممة دون مراعاة معايير المقاومة الزلزالية، أو إذا كانت التربة ضعيفة وغير مدروسة بشكل جيد قبل الإنشاء. وقد تصل الأضرار في بعض الحالات إلى الانهيار الجزئي أو الكلي للمنشآت، وهو ما يشكل تهديداً مباشراً لحياة السكان. وتختلف درجة تأثر المباني الخرسانية بالزلازل تبعاً لعدة عوامل، منها شدة الزلزال ومدة الاهتزاز، ونوعية المواد المستخدمة في البناء، إضافة إلى كفاءة التنفيذ وربط العناصر الإنشائية ببعضها البعض. كما أن المنشآت المرتفعة أو ذات التصميم غير المتوازن تكون أكثر عرضة للانهيار، بسبب صعوبة توزيع الأحمال الزلزالية بشكل متجانس. ومن هنا تبرز أهمية اعتماد استراتيجيات وقائية وهندسية أثناء مرحلة التصميم والبناء، لضمان قدرة المباني على الصمود وتقليل الأضرار الناجمة عن الزلازل.

### إجابات اسئلة البحث

**ما هي أبرز التأثيرات الإنشائية التي تحدثها الزلازل على المباني الخرسانية المختلفة؟**

تتمثل أبرز التأثيرات الإنشائية التي تحدثها الزلازل على المباني الخرسانية في ظهور تشققات في الجدران والأعمدة والأسقف نتيجة تعرضها لإجهادات شد وضغط تفوق قدرتها التصميمية. كما تؤدي الاهتزازات المفاجئة إلى انفصال الوصلات بين العناصر الإنشائية وضعف الترابط بينها، مما يضعف من قدرة المبنى على نقل

الأحمال بشكل آمن. وفي الحالات الشديدة، قد تتعرض بعض العناصر مثل الجسور والأعمدة للانبعاج أو الانهيار الجزئي، الأمر الذي يزيد من احتمالية فقدان التوازن الكلي للمنشأة.

إلى جانب ذلك، تؤثر الزلازل على الأساسات بشكل مباشر، إذ يمكن أن يحدث هبوط غير متساوٍ نتيجة تسهيل التربة أو ضعف قدرتها على مقاومة الاهتزازات، وهو ما ينعكس سلباً على استقرار المبنى بالكامل. كما أن المباني ذات التصميم غير المتناظر أو غير المتوازن تتعرض لأضرار أكبر بسبب عدم انتظام توزيع القوى الزلزالية. وتبرز خطورة هذه التأثيرات بشكل خاص في المباني القديمة أو التي لم تُبنى وفق معايير التصميم المقاوم للزلازل، حيث تكون قابليتها للانهيار أعلى مقارنة بالمباني الحديثة المصممة بطرق إنشائية أكثر مرونة.

### كيف تؤثر جودة المواد الخرسانية والتسليح على مقاومة المنشآت الخرسانية للزلازل؟

تلعب جودة المواد الخرسانية والتسليح دوراً حيوياً في مقاومة المنشآت الخرسانية للزلازل، حيث تحدد قوة التحمل والمرونة المطلوبة لمواجهة الاهتزازات الأرضية. فالخرسانة عالية الجودة تتميز بمتانة أكبر وقدرة أعلى على مقاومة الضغط والشروخ، بينما يقل احتمال تكوّن التشققات أو الانهيارات الجزئية في الأعمدة والجدران والأسقف. بالمقابل، استخدام خرسانة ضعيفة أو غير مطابقة للمواصفات يؤدي إلى ضعف البنية الأساسية للمبنى، مما يزيد من تعرضه للأضرار عند وقوع الزلازل.

أما التسليح، فيعمل على تعزيز قدرة المنشآت الخرسانية على تحمل القوى الشديدة الناتجة عن الاهتزازات الزلزالية، فهو يربط العناصر الإنشائية ببعضها ويوزع الأحمال بشكل متوازن. ويسهم التسليح المناسب في إتاحة المرونة الضرورية للمبنى بحيث يمكنه امتصاص الطاقة الزلزالية دون انهيار كامل. وفي المقابل، فإن

نقص كمية حديد التسليح أو سوء توزيعه يؤدي إلى زيادة احتمالية الانهيار الجزئي أو الكلي، خصوصاً في المباني المرتفعة أو المعرضة للاهتزازات القوية، مما يؤكد أهمية الاعتماد على مواد عالية الجودة وتصاميم تسليح دقيقة لضمان السلامة الإنشائية أثناء الزلازل.

### ما دور أنظمة العزل القاعدي والتقنيات الحديثة في تقليل أضرار الزلازل على المباني؟

تلعب أنظمة العزل القاعدي دوراً محورياً في حماية المباني من أضرار الزلازل، حيث تعمل على فصل المبنى عن الاهتزازات الأرضية مباشرة، ما يقلل من انتقال الطاقة الزلزالية إلى الهيكل الخرساني. وتعتمد هذه الأنظمة على استخدام مواد مرنة أو أجهزة ميكانيكية توضع بين الأساسات وقاعدة المبنى، لتخفيف القوى الناتجة عن الاهتزازات وتقليل احتمالية التشققات أو الانهيار الجزئي للعناصر الإنشائية. وبهذه الطريقة، يمكن للمبنى الحفاظ على استقراره حتى عند تعرضه لهزات قوية، ما يساهم في حماية الأرواح والممتلكات.

إلى جانب العزل القاعدي، ساهمت التقنيات الحديثة في تعزيز مقاومة المباني للزلازل من خلال ابتكار أساليب تصميم متقدمة وبرمجيات محاكاة زلزالية تحاكي استجابة المباني للهزات الأرضية. وتشمل هذه التقنيات استخدام أنظمة امتصاص الطاقة، والتسليح الذكي، والخرسانة عالية الأداء، إضافة إلى مراقبة المباني باستخدام أجهزة استشعار لرصد الإجهادات والتشوهات بشكل مستمر. وتتيح هذه الحلول إمكانية اتخاذ إجراءات وقائية فورية وتقليل أضرار الزلازل بشكل كبير، ما يجعل اعتماد التقنيات الحديثة جزءاً أساسياً من استراتيجيات التصميم والهندسة الزلزالية الحديثة.

## ما مدى كفاءة معايير التصميم المقاوم للزلازل المطبقة حالياً في الحد من مخاطر الانهيار؟

تعتبر معايير التصميم المقاوم للزلازل حالياً أداة أساسية لضمان سلامة المباني الخرسانية وتقليل مخاطر الانهيار أثناء الهزات الأرضية. تعتمد هذه المعايير على أسس هندسية دقيقة تحدد الأحمال الزلزالية المحتملة وتوزيعها على العناصر الإنشائية، مع الأخذ بعين الاعتبار نوعية التربة وارتفاع المبنى وطبيعة استخدامه. وبفضل هذه المعايير، يمكن تصميم المباني بحيث تتحمل القوى الناتجة عن الزلازل دون انهيار كامل، مع الحد من التشققات والتشوهات التي قد تؤثر على الاستقرار العام للمنشأة.

مع ذلك، تختلف كفاءة هذه المعايير باختلاف مدى الالتزام بها أثناء التصميم والتنفيذ، فضلاً عن التطور المستمر في دراسة الظواهر الزلزالية. ففي بعض الحالات، قد تكون المعايير المطبقة قديمة أو غير متوافقة تماماً مع الظروف الزلزالية المحلية، مما يقلل من فعاليتها في الحد من المخاطر. لذلك، من الضروري مراجعة هذه المعايير باستمرار وتحديثها بما يتناسب مع التطورات العلمية والهندسية، إلى جانب التأكد من تطبيقها بدقة في المشاريع الجديدة لضمان أعلى مستويات الحماية وتقليل احتمالية حدوث أضرار كبيرة أو انهيار كامل للمباني.

### كيف يمكن تعزيز الصيانة الدورية والكشف المبكر عن العيوب لتحسين مقاومة المباني الخرسانية للهزات الأرضية؟

تعد الصيانة الدورية والكشف المبكر عن العيوب من الركائز الأساسية لتعزيز مقاومة المباني الخرسانية للهزات الأرضية، إذ تساعد على اكتشاف التشققات والضعف في العناصر الإنشائية قبل تفاقمها. فالفحص المنتظم

للأعمدة والجدران والأسقف، إلى جانب مراقبة حالة التسليح والخرسانة، يمكن أن يكشف عن علامات الإجهاد أو الانحرافات في الهيكل، مما يتيح التدخل المبكر لإصلاحها أو تقويتها. وبهذه الطريقة، يتم الحفاظ على متانة المبنى وقدرته على امتصاص الطاقة الزلزالية دون حدوث انهيارات جزئية أو كلية.

كما يمكن تعزيز فعالية الصيانة من خلال استخدام تقنيات حديثة مثل أجهزة الاستشعار الذكية وأنظمة المراقبة الإلكترونية التي تتابع الإجهادات والتشوهات في الوقت الفعلي. وتساعد هذه التقنيات على اتخاذ إجراءات وقائية فورية عند اكتشاف أي خلل، مما يقلل من المخاطر ويزيد من أمان المبنى أثناء الزلازل. بالإضافة إلى ذلك، فإن وضع خطة صيانة منتظمة وتدريب الكوادر المختصة على التعرف على العيوب الشائعة يضمن استدامة المنشآت الخرسانية ويعزز قدرتها على مقاومة الاهتزازات الأرضية، ما ينعكس إيجابياً على سلامة الأرواح والممتلكات.

## النتائج والتوصيات

### النتائج:

- تؤدي الزلازل إلى تشققات وانفصال في العناصر الخرسانية مثل الأعمدة والجدران والأسقف، مما قد يضعف استقرار المبنى بشكل كبير.
- المباني المصممة دون الالتزام بمعايير المقاومة الزلزالية أو باستخدام مواد منخفضة الجودة تكون أكثر عرضة للانهيار الجزئي أو الكلي.
- أنظمة العزل القاعدي والتقنيات الحديثة تسهم بشكل واضح في تقليل تأثيرات الزلازل على المباني وزيادة قدرتها على امتصاص الاهتزازات.

<https://jasps.com>

- جودة التسليح وتوزيعه الصحيح داخل العناصر الخرسانية يعزز من مرونة المبنى ويقلل من احتمالية انهياره أثناء الهزات الأرضية.
- الصيانة الدورية والفحص المبكر للمنشآت يزيد من قدرة المباني على الصمود ويقلل من الخسائر المادية والبشرية الناتجة عن الزلازل.

### التوصيات:

- الالتزام الصارم بمعايير التصميم المقاوم للزلازل عند بناء أي منشأة خرسانية جديدة.
- استخدام مواد خرسانية عالية الجودة وضمان توزيع التسليح بشكل صحيح وفقاً للمعايير الهندسية.
- اعتماد أنظمة العزل القاعدي وتقنيات امتصاص الطاقة الحديثة لتعزيز مقاومة المباني للهزات الأرضية.
- وضع برامج صيانة دورية وفحص دوري للمنشآت الخرسانية لاكتشاف العيوب ومعالجتها في وقت مبكر.
- توعية المهندسين والمقاولين بأهمية تطبيق طرق الحماية الزلزالية والتقنيات الحديثة لضمان سلامة المنشآت وحماية الأرواح والممتلكات.

### المصادر والمراجع

Brena, S., Ghannoum, W., Kim, I., & Sattar, S. (2025). Guidelines for seismic design and evaluation of concrete members retrofitted using externally applied FRP: Part I—FRP jacketed concrete columns. National Institute of Standards and Technology.

<https://doi.org/10.6028/NIST.SP.1333>

Işık, E. (2024). Seismic performance and failure mechanisms of reinforced concrete structures in recent earthquakes. Sustainability, 16(15), 6473. <https://doi.org/10.3390/su16156473>

Li, K. (2024). Study on properties of reinforced concrete structures in medium-height buildings under seismic loading. ScienceDirect. <https://doi.org/10.1016/j.jcsr.2024.103022>

<https://jasps.com>

Moehle, J. P. (2008). Seismic design of reinforced concrete special moment frames: A guide for practicing engineers. National Institute of Standards and Technology. <https://doi.org/10.6028/NIST.GCR.08-917-1>

Raj, K. G. (2025). Impact of irregularities on seismic fragility of reinforced concrete buildings. SpringerLink. <https://doi.org/10.1007/s44290-025-00258-0>

WBDG Seismic Design Principles. (n.d.). Whole Building Design Guide. <https://www.wbdg.org/resources/seismic-design-principles>

Ghanem, A. (2024). Seismic vulnerability of reinforced concrete frame buildings with mass irregularities. ASCE Library. <https://doi.org/10.1061/JSENDH.STENG-12440>

Khiali, V. (2023). Experimental evaluation of post-earthquake fire on reinforced concrete structures. MDPI. <https://doi.org/10.3390/2673-4109/4/2/27>

Caltrans Seismic Design Criteria 2.1. (2025). California Department of Transportation. <https://dot.ca.gov/-/media/dot-media/programs/engineering/documents/seismicdesigncriteria-sdc/202501seismicdesigncriteria21a11y.pdf>

Fox Blocks. (n.d.). 8 earthquake-resistant construction techniques. <https://www.foxblocks.com/blog/earthquake-resistant-construction-techniques>