مقاومة المتدحرجات الكروية البازلتية للأحمال الزلزالية

د.م. طلال ممدوح شرف*

الملخص

عُدَّ الكشف عن عناصر الأبنية القديمة المتبقية ودراستها بحثاً تجريبياً. من تحليل عمل العناصر الإنشائية الحاملة وطريقة تنفيذها، تبيّن أن مقاومة الأبنية للكوارث يعود لتصميم قواعد الجدران من أسطوانات بازلتية متدحرجة تعمل كمحمدات زلزالية. اِقْتُرِحَ تصميم متدحرجات كروية بازلتية بين قواعد المباني الخرسانية المسلحة ومدى تأثيرها في حساب الأبنية الحديثة بما يتوافق مع ظروف المنطقة.

اِسْتُخْدِمَتْ مخمدات زلزالية من الحجر البازلتي بأسس هندسية في الأبنية التاريخية لمقاومة الحمولات الجانبية الناتجة عن الزلازل أوالرياح بعد حساب شدة الضغط لكل منهما على سطح البناء المتمثل بالظفر على شكل شبه منحرف أو مثلث، وقُورِنَتْ بالطرائق الحسابية الحديثة للمخمدات الزلزالية في الأبنية الحديثة، وطُوِّرَت للإفادة منها في تصميم المباني بالمواد الأولية والمحلية للمنطقة بالاعتماد على التجارب المنفذة في دول العالم المهتمة بالمخمدات المذكورة في محتوى البحث.

نتيجة للأهمية الكبيرة لعمل المخمدات الزلزالية في الجملة الإنشائية الحاملة، حُلِّلَ السلوك الإنشائي للمباني التاريخية القائمة في الدول العربية (الآسيوية والأفريقية) نتيجة القوى الزلزالية، وأُفيدَ من طرائق تصميم جدران القص الحجرية في المباني التاريخية المنفذة من مئات السنين، وأُجْرِيَتِ البحوث النظرية والتجريبية من الأفكار القديمة بما يوافق العصر الحديث، لاستنباط حلول نظرية وتجريبية لتنفيذ مخمدات زلزالية من مواد أولية متوافرة في المنطقة، والتخفيف من الكلف الاقتصادية، وتأمين استقرار المباني نتيجة الكوارث الطبيعية الناتجة عن الزلازل أو غيرهما لإطالة زمن استثمارها بالحدود القصوى.

نتيجة مقارنة ظفرتستند قواعده إلى متدحرجات كروية بازلتية أو مبانٍ خرسانية مسلحة الأشكال ,(5),(6),(7) بجدران قلعة بصرى المستندة إلى متدحرجات اسطوانية بازلتية والتجارب المنفذة لقواعد مستندة إلى أسطوانات خرسانية شاقوية برؤوس دائرية [7] و[8]، بين المخمدات الصناعية في العصر الحديث والمخمدات الزلزالية في العصور القديمة، اِقْتُرِحَتْ مخمدات زلزالية من الصخر البازلتي كروية أو بيضوية مشابهة لمخمدات العصور القديمة الشكل (11) باقتراح استخدامها بين سطحي القواعد االعلوية والسفلية للأبنية من الخرسانة المسلحة (يفضل مسبقة الصنع) لمقاومة الأحمال الجانبية من أي نوع كانت، لتوافرها وقاومتها للحرارة العالية وللصقيع، ولعمرها الزمني الطويل الذي يزيد على استخدام المخمدات الصناعية الحديثة بعشرات السنين.

الكلمات الدالة: المخمدات الزلزالية، الأبنية الحجرية، القواعد،الجدران الحجرية، الجدران الحجرية بأقواس، الخراسانة المسلحة، قوى الاحتكاك لكرة بين سطحين، المباني العالية، الحمولات الأفقية (زلازل، رياح).

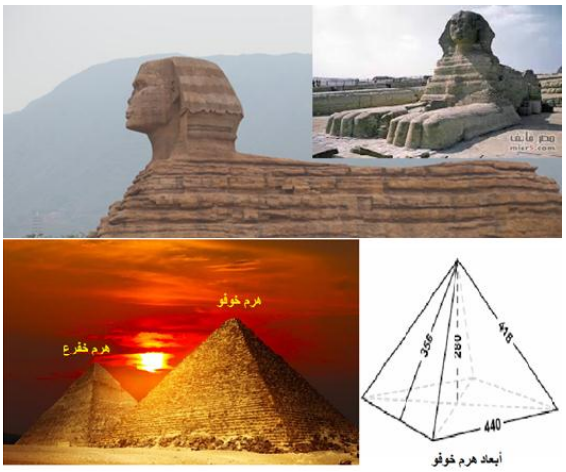
* أستاذ مساعد– شعبة الخرسانة المسلحة أبنية عالية قسم الهندسة الإنشائية – كلية الهندسة المدنية.

1- المقدمة: (Introduction)

تعدُّ المنطقة العربية عاصمة التاريخ عمرانياً وثقافياً في عصور وحقب ممالك قديمة مندثرة لا نعرف منها إلا ما تبقى من الأوابد الاثرية الموجودة في بلادنا، ومن هذا الباب سندخل إلى ثقافتهم وعلومهم الهندسية من خلال تصميم الجمل الإنشائية الحاملة لهذه المباني السكنية وطرائق حسابها، والحفاظ عليها من الجهة الفنية؛ لما لها من أهمية لتأكيد وجودنا بوصفها أمة وتاريخ وحضارة.

مقدمة الدراسة المرجعية:(Introduction Reference Study):

حقبة الآثار الفرعونية: ظهرت في إفريقية، وتتمييز هذه الحقبة بالعمل الهندسي الفريد من نوعة الذي يعدُّ من عجائب الدنيا في مصر الفرعونية، كتمثال أبي الهول المصنع من الحجر البازلتي (ارتفاع تمثال أبو الهول 20م وطوله 73م والعرض الكلي للوجه 4م)، وإهرامات مصر، ولاسيّما هرم خوفو بارتفاع 146م عن سطح الأرض، ومساحة قاعدته440×440م^2، المصمم من أحجار مربعة ومستطيلة تزن 40 طناً، مصقولة بشكل فريد ومحكم مع الأحجار الأخرى بشكل قائم وأملس منقطع النظير، الشكل (1).



الشكل (1): تمثال أبي الهول، وهرم خوفو وخفرع

حقبة الآثار النبطية: تبين من خلال مئات النقوش الكتابية الصفئية في منطقة الصفا، الصفئيون عرب استقروا في المنطقة والبادية، والذين خرجوا من الجزيرة العربية في نهاية القرن الخامس قبل الميلاد، وكانت عاصمتهم البتراء، وامتدوا إلى بصرى وجعلوها خاصرة لهم. عثر على مقابر في مملكة سيع معبد للإله بعلشمين إله الانباط في قنوات، وقبر حمرات في السويداء، الشكل (2).

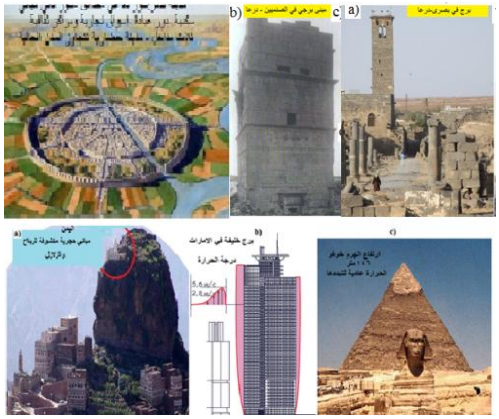
الشكل (2): يبيّن العهد النبطي:1-مدفن همراث في السويداء (حي الدبيسي)؛ 2-مسرح ترفيهي الهمسكل في السويداء.

تدل الجرود الأثرية في منطقة اللجاه على تطور حضاري يبدأ من القرن الرابع ق.م –حتى العصر الإسلامي:

عثر في قرية سحر على وجود معبد ومسرح ومجموعة سكنية من 80 منشأة، يعود بعضها إلى العصر الهلنستي نهاية القرن الأول ق.م. وعثر في موقع المسكية على 57وحدة سكنية وأبنية عامة مرتبطة بساحات أبراج لحراسة رومانية تعود إلى عام 49م. كما عثر على كنائس ومعابد وقلاع ومسارح بيزنطية ورومانية ونبطية في قرى المشنف، وقنوات، وبريكة، والصنميين، وشقا، وشهبا وعتيل للإله الشمس وللإله زفس ومعابد أخرى. أُنْشِئَتْ في عهد الامبراطور السوري كاراكلا والإمبراطور فليب العربي (شهبا) الذي حكم من 244-249م. ولا تزال المسارح والحمامات شاهداً على الطرائق الحسابية للجمل الإنشائية الحاملة في تلك الحقبة، كمسارح بصرى، وشهبا، وقنوات، والسويداء ومسح الحمة، وحمامات قنوات وشهبا التي أنشئت في عهد الأمبراطور فليب العربي، ومازالت واضحة المعالم حتى تاريخه، انظر الشكل(3).

الشكل (3): يبيّن القيمة الفنية والخبرة في تنفيذ المنشأت الهندسية بشكل تعجز التكنلوجيا في العصر الحديث عن تنفيذه.

تتمييز هذه الحقب بصفات مشتركة، وتبيّن مدى التطور العلمي والتقني للعرب في اليمن وإفريقية وبلاد الشام لإشادة المدن المغلقة بأسوار حماية، وأبنية سكنية وخدمية (الطرق والري والصرف وشبكات المياه) ودفاعية تتناسب والعمل الوظيفي لها، الشكل (4).



الشكل (4): a)–مدينة تدمر مصممة بطريقة مدينة نظامية لا تقبل السكن العشوائي،b) برج سكني في الصنمين في درعا بقبو، c)– بناء مع برج في بصري، d) مبانٍ متعددة الطوابق في اليمن منذ مئات السنين، j) ارتفاع درجات الحرارة في أعلى برج خليفة، f)الإهرامات الحجرية في مصر نتيجة الشكل الهرمي يبدد درجات الحرارة.

بلغ ارتفاع المباني السكنية في اليمن والقلاع في بلاد الشام والأهرامات في مصر من 20م حتى 146م، وهذا واضح من مقاومة الجمل الإنشائية الحاملة للمباني للحمولات الجانبية لمئات السنين، وهذا يستحق الاهتمام من جانب التحليل الإنشائي للجمل الإنشائية الحاملة للمباني، للإفادة من الطرائق الحسابية التي اِعْتُمِدَتْ.

صممت الجمل الإنشائية للمباني من بلاطات وأعمدة وجوائز وأظفار بما يتناسب مع صلابة الانحناء، وعزوم الانحناء، وقوى القص والتحنيب لمقاومة الأحمال الشاقولية، وقواعد وأقواس ومخمدات زلزالية لمقاومة الأحمال الجانبية الناتجة عن الزلازل أوالرياح.

مدخل البحث:

ا–المخمدات الزلزالية للأبنية الخرسانية المسلحة:

في العصر الحالي كانت هناك مقترحات كثيرة لاستخدام عناصر العزل الزلزالي في المباني الخرسانية المسلحة[7] و[8]، ولكن استخدامها في تنفيذ المباني لمقاومة الموجات الزلزالية في الوقت الحالي أمر نادر الحدوث، واحدة من الأسباب الرئيسة عدم وجود دراسة سلوك هذه النظم في قواعد المباني المتفصلة عند تأثير الموجات الزلزالية، وخصوصاً خلال مراحل الهيمنة الزلزالية مدة زمنية أطول من 1 ثانية.

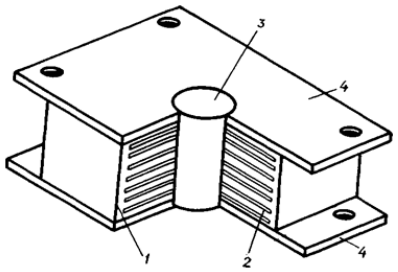
عند تأثير شدة ضغط الموجة الزلزالية الجانبية على بناء مصمم بمساند متفصلة بين قواعد المباني والتربة يمكن الحصول على حيز كبير للعطالة الحركية التي يمكن أن تحدث عند فقدان الاستقرار للمبنى وانهياره الكامل.

مثل هذا النظام للعزل الزلزالي يمكن أن يستخدم في المناطق التي من المتوقع أن يكون حدوث الزلازل بتردد عالٍ، أو إمكانية الزلازل بتردد منخفض، وفي حالات أخرى، تُصَمَّمُ مخمدات للعزل الزلزالي تتناسب وشدة ضغط الموجة الزلزالية والمنطقة الزلزالية.

يوجد بعض الخبرة العملية لهذه الأنظمة في العالم، على سبيل المثال:

1- اهتمام فرنسا والولايات المتحدة الامريكية وبريطانيا ونيوزلاندا منذ عام 1927 بالمخمدات الزلزالية

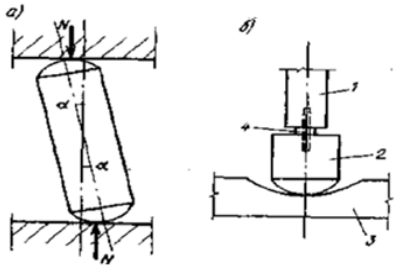
واقتراحهم كثيراً من المساند المخمدة للحمولات الجانبية في أساسات المباني، وأيضاً في الجمل الإطارية والجدارية في مستوى تقاطع الجوائز مع الأعمدة،ومن هذه الاقتراحات كثير من المساند المخمدة للزلازل وخاصة" للأبنية الاستراتيجية الصناعية[4]، وعلى سبيل المثال نبيّن مسنداً لتخميد شدة الموجة الزلزالية صُنِّعَ في نيوزلاندا، انظر الشكل (5).



الشكل (5) مخطط مخمد من الفولاذ والمطاط والرصاص (نيوزيلندا).

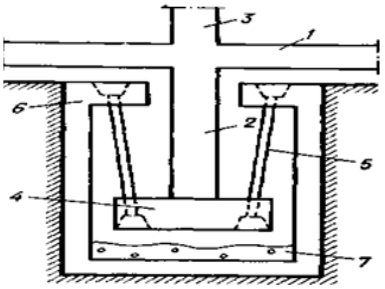
1–مطاط (إطارات مطاطية تغلف الصفائح الفولاذية) عالية المقاومة؛2–صفائح فولاذية محاطة بمادة مطاطية؛ 3–أساس تحت العمود مصنع من الرصاص؛ 4–صفائح فولاذية.

2- نُفِّذَ مبنى من خمسة طوابق بمخمدات زلزالية في روسيا، مدينة سيفاستوبو لعام 1972، وتضم 6500 قطعة موشورية من الخرسانة تقاوم الشدة الزلزالية، التي يبلغ قطرها 6cm وارتفاعه 5,8cm، ونفذت على كامل الأساس لقاعدة المبنى، انظر الشكل (6) والمرجع[7].



الشكل (6): a)–قطع موشورية؛b)–عمود متمفصل مع القاعدة 1– عمود2–قضيب يصل العمود بموشور متمفصل 3–نصف قطعة موشورية دائرية من الأسفل وتستند إلى القعدة بزاوية 6 درجات.

3- نُفِّذَ بناء صومعة خرسانية في روسيا بمخمدات زلزالية في قواعده من مادة رملية يعطي حرية حركة أفقية لمقاومة الشدة الزلزالية بترددات عالية من أجل الحصول على بيانات حول شدة الحركة الديناميكية الحقيقية للبناء من خلال التجارب التي أجريت على بناء الصومعة، واتضح من العمل التجريبي عدم تغيير كبير في الخصائص الديناميكية للمبنى بالمقارنة بمساند متمفصلة بخصائص مشابهة للمباني الشكل (7) المرجع [8].

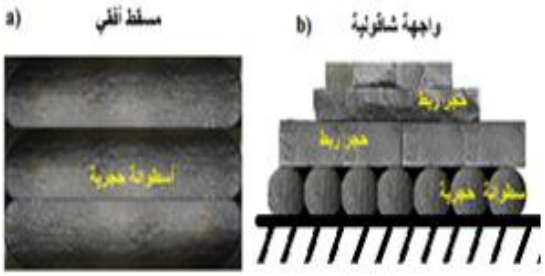


الشكل (7): أساس زلزالي مع مخمد خارجي.

1–جائز من الخرسانة المسلحة؛2–رقبة من الخرسانة المسلحة تحت العمود؛ 3 –العمود؛ 4–بلاطة ثنائية التسليح تحترقبة العمود؛ 5–شداد من الخرسانة المسلحة مسبقة الإجهاد؛ 6–بلاطة من الخرسانة المسلحة أعلى البئر؛ 7–طبقة من الرمل

ب –المخمدات البازلتية للأبنية الحجرية.

بُنِيَتِ الجدران الحجرية على قواعد أسطوانية بازلتية متدحرجة على تربة صخرية بُنِيَتْ عليها جوائز بازلتية موشورية بأطوال متباينة متعامدة مع الاسطوانات البازلتية المتدحرجة، ومن ثم جوائز ربط موشورية عرضية متعامدة مع الجوائز الموشورية السفلية منتظمة الأطوال وموازية للاسطوانات البازلتية المتدحرجة، وهذه الطبقات الثلاث هي قاعدة جدار القص المصمت، أو جدار قص بأقواس لقلعة بصرى الشام في محافظة درعا، وكُشِفَ عنها من قبل بعثة أجنبية وتُوبِعَتْ من قبلنا، الشكل(8).



الشكل (8): (aأسطوانة متدحرجة بازلتية قطر 50cm تعمل كمخمدات للقوى الجانبية.(b يبيّن توضع الأسطوانة البازلتية المتدحرجة وأحجار الربط الطولية والعرضية أعلاها.

نفذت الأساسات بمواد محلية من مجموع متدحرجات أسطوانية بازلتية كمخمدات زلزالية أسفل جدران القص الحجرية لمقاومة الحمولات الأفقية (زلازل أو رياح)، وهذا يفسرمن وجهة نظرنا قيام المنشآت الحجرية كشاهد تارخي بعملها الوظيفي لآلاف السنيين ومقاومتها للكوارث الطبيعية حتى يومنا هذا.

4- نفذت الأقواس من أحجار متداخلة كمخمد زلزالي في جدران القص البازلتية المصمتة لمقاومة الحمولات الجانبية (زلازل أو رياح)، وكان واضحا" من خلال اعتلائها من قبلنا وهزها، وكانت قابلة للاهتزاز بشكل تجريبي وواضح، وهذا معروف من قبل المواطنين حتى أنّ الموقع قُصِفَ عام 1925من قبل الفرنسيين ولم تتأثر، ويمكن زيارة الموقع والتأكد من ذلك ، وهذا يفسر قيام مجموع جدار القص بفتحة وجدران القص المصمتة بالعمل كظفر قاعدته مستندة على متدحرجات أسطوانية بازلتية لمقاومة الكوارث الطبيعية من الحمولات الجانبية، الشكلان (8) و(9).

الشكل (9): a) بناء يستمر بالعمل لآلاف السنين بمخمدات زلزالية.b) أقواس بأحجار بازلتية متداخلة كمخمدات في قرية صما البردان في السويداء.

خلاصة ما تقدم:

لُوحِظَ اعتماد أسس هندسية في الأبنية التاريخية ودراسة خواص المواد المستعملة ،وخاصة" بما يتعلق بدوران المتدحرجات الأسطوانية البازلتية حول محورها، وبإنتقال أفقي صغير جدا" تحت تأثير شدة قوى القص القاعدي، ونتيجة" لاستمرار جدران القص الحجرية المصمتة وجدران القص الحجرية بأقواس في المباني التاريخية ، وعدم ظهور التشققات فيها، وذلك بسبب تركيب عناصر القوس الحجرية بشكل متداخل مع بعضها بعضاً، واستخدام المتدحرجات الأسطوانية البازلتية كمخمدات زلزالية في قواعد البناء لمقاومة محصلة القيم العظمى للحمولات الديناميكية والستاتيكية الناتجة عن الحمولات الجانبية[1]. جرى القيام بزيارات ميدانية لبعض الأبنية والأوابد الأثرية للحقب التاريخية من العصور الهلنستي، والنبطي، والبزنطي، والروماني والفرعوني وغيرها، والإطلاع على الرسوم والصور المنشورة في المجلات والصحف العالمية والشابكة (الإنترنت) كما ورد في مقدمة البحث، ولوحظت

مبادىء مشتركة في تصميم المنشآت الحجرية وحسابها وتنفيذها من عناصر إنشائية حاملة مشتركة كالجدران الحجرية الحاملة بأقواس أو مصمتة، والبلاطات، والأقواس، والقواعد، والأدراج الظفرية والعادية، والجوائز البازلتية الحاملة من المواد الطبيعية المتوافرة في البلاد، وبعد معاينة طريقة تنفيذ الأساسات أسفل الجدران، خرجنا بنتيجة مهمة تتعلق باستمرارية بعض المنشآت حتى الآن، والسبب يعود لاستناد القواعد على متدحرجات بازلتية بشكل إسطوانة كمخمدات زلزالية؛ وهذا يعني معرفتهم بشكل متقدم بأسس الطرائق الحسابية لعناصر الجمل الإنشائية المصنعة محليا" من المواد الأولية، والهندسة المعمارية التي لم يصلنا منها إلا القليل كنظرية فيثاغورس وغيره، وهذا ما قادنا إلى اقتراح تنفيذ مخمدات بازلتية من المواد المحلية من البازلت في القواعد الخرسانية المسلحة، أو ما يوافقها من متدحرجات خرسانية ذات ماركة كبيرة [8] و[10].

هدف البحث:

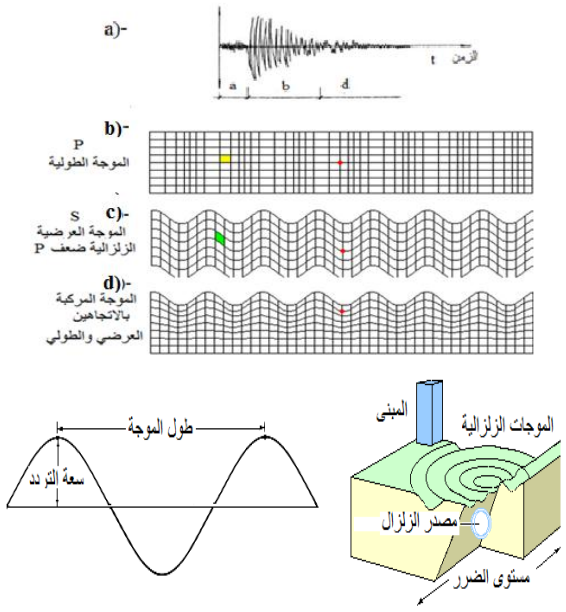
الاهتمام بدور المخمدات الزلزالية من الكرات البازلتية المتدحرجة بشكليها الكروي أو البيضوي أسفل قواعد الأبنية لتخفيض شدة الحمولات الديناميكية والستاتيكية الجانبية q(x) عن المنشآت الخرسانية المهمة، بما يتوافق مع الحلول للمنشآت الحجرية القديمة ويتطابق مع بعض البحوث التجريبية الحديثة في تنفيذ مخمدات زلزالية من قطع خرسانية إسطوانية في قواعد الأبنية الخرسانية المسلحة الشكلان (6) و(7) لمقاومة الحمولات الجانبية الناتجة عن الزلازل أو الرياح أيهما أكبر، وخاصة لتوافر هذه المادة في بلادنا بكلف اقتصادية قليلة.

محتوى البحث:

نبيّن عمل الجملة الإنشائية الحاملة من جدران القص والإطارات للمباني الخرسانية المسلحة كظفر موثوق به من الأسفل وحرمن الأعلى ويتعرض لحمولات جانبية ناتجة عن الزلازل أو الرياح، ونتيجة دوران الكرات البازلتية حول نفسها، وبانزياح أفقي صغير جدا" بين قواعد البناء المسبقة الصنع، يُمتَصُّ جزء كبير من شدة الحمولة الجانبية (شدة الزلزال) في الاتجاهين.

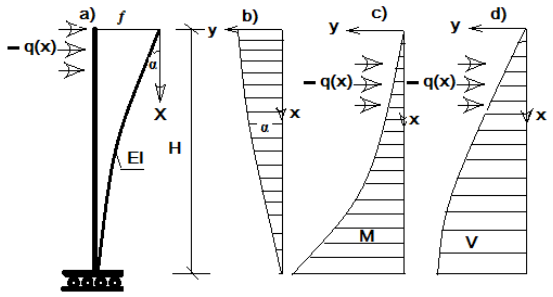
البحث النظري:

تتضرر المباني نتيجة مسافة بعد منبع الهزة الأرضية أو قربها المتعلق بطبقات الأرض، وبدور الموجة الزلزالية وبأهمية شكلها وسعتها بالنسبة إلى الزمن (طولية، وعرضية وشاقولية أو الاثنتين معاً) وشدتها الزلزالية 7,8,9 على مقياس ميركل بالشكل (10)، المرجع[11].



الشكل (10):يبيّن شكل الموجة الزلزالية (الهزة الأرضية) وسعة الموجة الزلزالية بالنسبة إلى الزمن.

تعمل عناصر الجملة الإنشائية للمبنى كظفر حر من الأعلى وبوثاقة من الأسفل، ونتيجة" لتأثير الحمولات الأفقية يحصل سهم وزاوية دوران، وعزم إنحناء، وقوى قص في المبنى الشكل (11).



الشكل (11) يبيّن عمل البناء كظفر، تستند قاعدته على متدحرجات كروية بازلتية كمخمدات زلزالية b، c؛ d يمثل زاوية الدوران (α) والعزم ((M وقوى القص(V).

حُلِّلَتِ الجملة الإنشائية الحاملة نتيجة تأثير الحمولات الجانبية بربط علاقة العزم وقوى القص وزاوية الدوران والسهم وصلابة الانحناء على ارتفاع البناء بالقوة الضاغطة على جسم البناء الناتجة عن الموجه الزلزالية (قوى القص القاعدي) أو الرياح الضاغطة على واجهة المبنى، ونعتمد البناء كظفر ونوزع القوى الجانبية الزلزالية أو الناتجة عن الرياح بشكل مثلث أو شبه منحرف كقوى أفقية ضاغطة على الظفر على مستوى البلاطات وعلى كامل ارتفاع البناء بحسب العلاقة الآتية:

$$V_{S_{(x)}} = -V^{-} = -M^{=} = EI\alpha^{\equiv} = EIf^{IV} \quad (1)$$

إذْ إنَّ:

$V_{S_{(x)}}$: شدة القوى الجانبية على السطح الخارجي للظفر.

V^{-}: المشتق الأول لقوى القص.

$M^{=}$: المشتق الثاني لعزم الانحناء.

$\alpha^{\equiv}$: المشتق الثالث لزاوية الدوران.

f^{IV}: المشتق الرابع للسهم.

H: ارتفاع البناء الكلي.

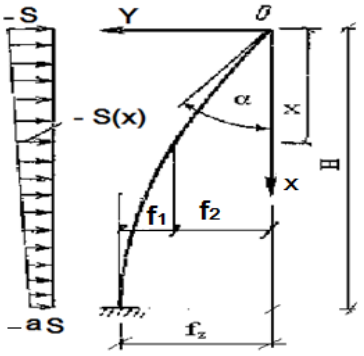
EI: صلابة الانحناء أو عزم الصلابة للظفر.

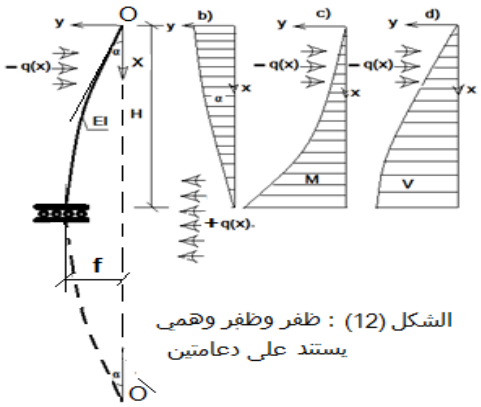
ونظراً إلى أن العزم (M) وقوى القص (V) في مقطع الظفر لا يمكن أن تكون سالبة، عندئذ نعدُّ القوة الخارجية الناتجة عن الزلازل (x) بإشارة سالبة، ومنه تأخذ العلاقة (1) الشكل الآتي:

$$f^{IV} = \alpha^{\equiv} = -\frac{M^{=}}{EI} = -\frac{V^{-}}{EI} = \frac{V_{(x)}}{EI} \quad (2)$$

تحدد شدة القوة $q_{(X)}$ من خلال شدة حمولة الرياح أو قوة القص القاعدية الناتجة من الزلازل على ارتفاع واجهة البناء بحسب الخريطة الزلزالية للمنطقة المدروسة بشكل مثلثي أو شبه منحرف، وتحدد شدة القوة الجانبية كقيمة عظمى لمجموع التأثير الديناميكي والستاتيكي على واجهة البناء بالاتجاهين ومن الضروري حساب عزم الفتل للجمل الإنشائية المعقدة، وعند إجراء الحساب نأخذ بالحسبان قيمة المقطع الافقي بالاتجاهين Y وZ لمجموع العناصر الإنشائية الطولية الحاملة الممثلة بظفر.

ولتوضيح عمل المخمد الزلزالي من الكرات البازلتية المتدحرجة وعملية احتكاكة بين القاعدتين للظفر من الخرسانة المسلحة نتيجة القوى الجانبية، نأخذ ظفراً وظفراً وهمياً يعمل كجائز يستند على دعامتين ونحمله بقوة زلزالية في منطقة تدحرج الكريات البازلتية، كما هو واضح بالشكل (12).





الشكل (12) : ظفر وظفر وهمي يستند على دعامتين

عزم الانحناء للجائز يحدد من تكامل العلاقة (1) و(2) نحصل على التكامل الآتي:

$$\int_0^x \int_x^H \int_0^x \int_x^0 V_{S(x)} dx^4 = \int_0^x \int_x^H M dx^2 = EI \int_0^x \alpha d(x) \qquad (3)$$

$EIf(x)=$

نحدد قيمة شدة ضغط القوى الزلزالية وقوى القص والعزم الناتجة عن الزلازل على ارتفاع الظفر من أعلى البناء عندما x=0 حتى الوثاقة x=H بالعلاقة الآتية للقوى الجانبية الضاغطة على شكل شبه منحرف:

$$V_{(x)} = S(1 + \frac{a-1}{H}x)$$
$$V_h(x) = -Sx\left(1 + \frac{a-1}{2H}x\right) \qquad (4)$$
$$M_h(x) = -S\frac{x^2}{2}\left(1 + \frac{a-1}{3H}x\right)$$

والسهم في أعلى نقطة من البناء

$$f_h(x=0) = -\frac{4a+11}{120\,EI^0} SH^4 \qquad (5)$$
$$S = V_s * H$$

$-V_s$ قوة القص القاعدي على جسم الظفر KN.

$-S$ شدة الحمولة الجانبية المعيارية على وجه الظفر في أعلاه KN/m.

$-a$ معامل يتعلق بتوزع الحمولات بشكل مثلث يساوى الصفر في الوثاقة، وفي حال شبه المنحرف عندئذ نقوم بضرب الضلع السفلي بالمعامل $a=0,25$ بقيمة S.

$-V_h(x)$ قوة القص على مستويات سطح الظفر.

$-M_h(x)$ عزم الانعطاف على مستويات سطح الظفر.

$-f_h(x=0)$ السهم أعلى البناء.

$-H$ ارتفاع المبنى.

$-I^0$ عزم عطالة مقطع الظفرأومجموع الجدران وأعمدة الإطارت.

وتُحسَبُ العزم والقوة الناظمية والأفقية في المقطع العرضي للجدار المصمت نتيجة القوى والعزوم الأفقية الضاغطة على وجه الظفر بالعلاقات الآتية:

$$M_I(X)=EI_i \frac{M_{h(x)}}{EI^0} \qquad (6)$$

$$N_I(X)=EI_i \frac{M_{h(x)}}{bEI^0}$$

وتُحْسَبُ قوى القص في مقطع الجدار على المستوي (x) بالعلاقة الآتية:

$$V_I(X)= EI_i \frac{V_{h(x)h}}{KEI^0}$$

علماً أن دور الأهتزاز الذاتي للبناء يساوي $T=0.021H$ وهذا يحقق الشرط الآتي:

$$0.7 \le \beta \le 3$$

$-EI_i$ صلابة الانحناء للجدار المدروس بالنسبة إلى مجموع صلابة الانحناء للجدران المصمتة الموزعة في مسقط البناء.

$-EI^0$ صلابة الانحناء لمجموع مقاطع جدران القص والإطارات الموزعة في مسقط البناء.

$-b$ المسافة بين محاور أجنحة جدار القص بفتحة الذي يحسب كجدار قص مصمت، عندما تكون $\ge 7H\lambda$.

$-k$ الصلابة النسبية بين جناحي جدار قص بفتحة يعمل كجدار قص من دون فتحة. تُحْسَبُ الجدران والإطارات بشكل تفصيلي على الزلازل من المراجع [6], [3] و[9] بالطريقة الديناميكية للزلازل أو الطريقة الستاتيكية، وما ينطبق على الزلازل ينطبق على الرياح بعد تحويل القوى الزلزالية أو الرياح إلى قوى ضاغطة على شكل شبه منحرف أو مثلث على الجملة الإنشائية الممثلة بظفر، مع

ملاحظة أن العلاقات المستخدمة للزلازل أو الرياح صحيحة لحساب الجملة الإطارية أو الجملة الإطارية الجدارية المشتركة (ملاحظة تهمل صلابة الجملة الإطارية في حال وجود جدران قص لكبر صلابتها بالنسبة إلى الصلابة الصغيرة لأعمدة الجملة الإطارية، ويمكن عَدُّ صلابة الأعمدة معاملَ أمانٍ إضافياً)، مع العلم أن الطرائق الحسابية للإطارات وجدران القص بفتحة وفتحتين وأكثرمفصلة في مقرر خرسانة (3) في جامعة دمشق– كلية الهندسة المدنية.

١–البحث التجريبي:

تعدُّ الأوابد المتبقية بحثا" تجريبيا"، وتبيّن من بقائها حتى يومنا هذا بأنها منشآت مستقرة، وسبب استقرارها يعود إلى تأسيس البناء على مخمدات زلزالية من متدحرجات إسطوانية بازلتية تقاوم شدة الزلازل أو الرياح (أيهما أكبر)، وهذا ما شجعنا على البحث في مخمدات زلزالية من البازلت، أو مواد مشابهة لها؛ مع العلم أن البازلت متوافر في بلادنا بكثرة وبكلف اقتصادية ملائمة بدلا" من المخمدات الصناعية المكلفة جدا" بالنسبة إلينا. اِقْتُرِحَتْ مخمدات كروية أو بيضوية بازلتية، أو ما يكافئها لتقاوم شدة الحمولات الزلزالية أو الرياح الديناميكية أو الستاتيكية من الاتجاهات كلّها.

تضرر المباني نتيجة الهزات الأرضية بأضرار متفاوتة، انهيار تام، وانهيار جزئي، ونصف انقلاب، وظهور تشققات وأبنية من دون أضرار.

1– اختيرت قلعة بصرى للبحث في سبب عدم ظهور الشقوق، وسبب مقاومتها للحمولات الجانبية (زلازل أو رياح)، وبعد الكشف عن طريقة تصميم قواعد القلعة في بصرى الشام (درعا)، والتدقيق في بناء أقواس جدران القص الحجرية بفتحات في قرية صما البرادان (السويداء)، تبيّن ما يأتي:

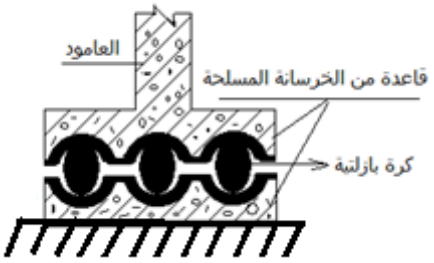
نفذت الأساسات بمواد محلية من مجموع متدحرجات أسطوانية بازلتية كمخمدات زلزالية أسفل جدران القص الحجرية لمقاومة الحمولات الأفقية (زلازل أو رياح)، وهذا ما يفسر استمرار المنشآت التاريخية بقيامها بعملها الوظيفي آلاف السنيين وتحديها للكوارث الطبيعية حتى يومنا هذا. بُنِيَتِ الأقواس الحجرية البازلتية في جدران القص الحجرية، بأحجار متداخلة كمخمد للحمولات الجانبية، وهذا ما يفسر منع جدار القص بفتحة من الانهيار وقيامه بمقاومة الكوارث الطبيعية من الحمولات الجانبية، والانهيار الحاصل للجزء العلوي منه نتيجة الحروب وليس الزلازل أو الرياح.

نفذت المخمدات الزلزالية من قبل المصميمين لقلعة بصرى على أساس اتجاه المنبع الزلزالي من جهة البحر الأبيض المتوسط كفالق زلزالي باتجاه واحد، وهذا ما جعلهم يعتمدون الاسطوانة من الحجر البازلتي الاسطواني المتدحرج باتجاه واحد.

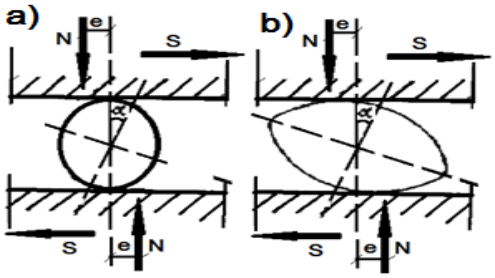
لتجاوز اتجاه الموجة الزلزالية في أي اتجاه اِقْتُرِحَ شكل المخمد الزلزالي من قبلنا لأساسات الجدران وأعمدة الإطارات الخرسانية بشكل كروي أو بيضوي، ومن تركيبة بازلتية كثيفة كبيرة المتانة أو غرانيت أو أي عنصر إنشائي آخر مقاوم للاحتكاك ولدرجات الحرارة العالية، ومقاوماً لنفوذية المياه وذات مواصفات فيزيائية وميكانيكية جيدة، انظر الشكل (11).

عند اختيارنا لمخمدات زلزالية كروية تمتص الشدة الزلزالية وعزم دوران البناء لجملة إنشائية معقدة يجب تأمين استقرر البناء والتقيد بالآتي: يُشْتَرَطُ ألاَّ يزيد الانتقال الأفقي لأعلى المبنى على $f=\frac{H}{1000}$ إذا أخذنا بالحسبان عند تعيين الانتقال لدوران الأساسات (تربة ضعيفة) وتأثير القوى الناظمية اللامركزية على الانتقال، مع العلم أن (H)–ارتفاع البناء، وعن $f=\frac{H}{2000}$ إذا حسب الانتقال تقريبيا" عند عَدِّ عزم

الانعطاف في عناصر المنشأ فقط. ويشترط ألا تزيد زاوية الدوران للطابق الواحد على $\varphi < \frac{1}{4000}$ وينصح ألا يقل عامل الأمان k لعزم التثبيت M_d بالنسبة إلى عزم الانقلاب M_c عن 1,5 بحسب العلاقة الآتية: $(k = \frac{M_d}{M_c} \geq$ 1,5)، الشكل (14).

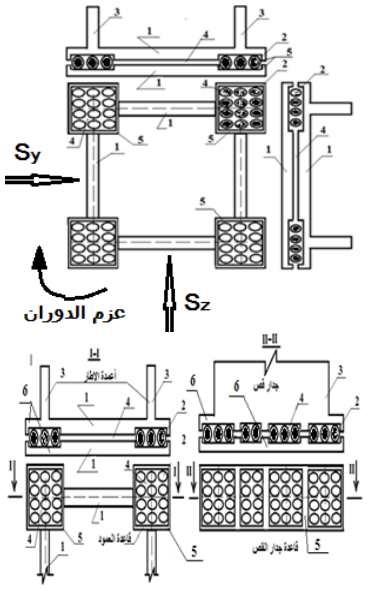


الشكل (11): كرات بازلتية متدحرجة محصورة بقاعدتين سطحهما الداخلي مجوف على شكل قبة من الخرسانة المسلحة.



الشكل (12): a) كرة بازلتية؛ b) كرة بازلتية بيضوية.

وبناءً عليه اِقْتُرِحَ ربط قواعد الخرسانة المسلحة بشدادات بجوائز محيطية للأجزاء العلوية للقاعدة مع بعضها بعضاً، وبالطريقة نفسها للقواعد السفلية، وتتوزع الكرات البازلتية بين القاعدتين السفلية والعلوية مسبقة الصنع المصنعة بشكل متقن الشكل (11)، وتصمم القواعد مسبقة الصنع بماركة كبيرة تتوافق مع متانة الكرات البازلتية أو الغرانيت ولا تقل عن-**M40M80**؛ وذلك بالتوافق مع الخواص الفيزيائية للكرات البازلتية، أو أي نوع آخر بحيث يحقق شرط تحمل درجات الحرارة والموافق لتصنيف المنطقة الزلزالية المقاومة لشدة القوى الجانبية الناتجة عن الهزات الأرضية في أي أتجاه كان، انظر الشكل(13).



الشكل(13): قاعدة منفردة أو شريطية،1-شداد لربط القواعد،2-كرة بازلتية،3-عمود،4-رمل ناعم مقاوم للحرارة،5-جائز محيطي يصمم كشداد من الخرسانة المسلحة،6-قاعدة العمود.

آلية عمل المخمد الزلزالي:

نتيجة قوة القص القاعدي V_S على البناء من أي نوع كان تتشكل في الكرات البازلتية المتدحرجة الكروية أو البيضوية قوة أفقية وقوى شاقولية لا مركزية بين سطحي قواعد البناء بمسافة (e)، وتدور الكرات بزاوية (α)، ويتشكل عزم دوران M وانتقالات δ وقوى احتكاك في السطوح العلوية والسفلية للكرات البازلتية المتدحرجة، كما هو مبيّن في الأشكال (11) و(12) و(13)، ومنه نحدد قيمة عزم الدوران بشكل متناوب، بمعنى أن عزم الدوران يحصل بشكل معاكس وبمدة زمنية لا تتجاوز 0,7 من الثانية في الكرة بالعلاقة الآتية:

$$M=e*N \qquad (1)$$

ونتيجة التجارب التي أجريت من قبل المرجعين [7] و[8] حُدِّدَتْ درجة حرارة الاحتكاك ب 269 درجة مئوية، وبحسب المواصفات العالمية يتحمل البازلت درجة حرارة حتى700 درجة مئوية، وهذا يعني أن استخدام البازلت يتوافق مع نتائج التجارب المنفذة من قبل المرجعين المذكورين أعلاه.

إن ظـاهرة الاحتكـاك تعكـس قـوى الارتبـاط بـين الكـرات الموجـودة بـين سـطحي قاعـدة البنـاء عنـد حـدوث القـوة الزلزاليـة بزمن معين مرتبط بدور الموجـة الزلزاليـة وشـدتها التي ينتج عنها احتكاك حركي يقوم بتحويل الطاقة الحركية إلـى طاقـة داخليـة وإلـى تسـخين الأجسـام المتلامسـة التـي بدورها تؤدي إلى رفع درجـة حرارة الكرات وسطح القواعد العلويـة والسفلية للبنـاء، وللدقـة، خـلال الحركـة تطرأ علـى سـطح القواعـد عنـد دوران الكـرات البازلتيـة تشـوهات إثـر وجـود مركـب حركـي فـي الاحتكـاك، رغـم كـل شـيء، أي تتحرك الأسطح قليلاً الواحد بالنسبة إلى الآخر، وإلا لما ارتفعت درجة حرارة الكرة.

كلمـا كانـت قـوة الـدفع الزلزالـي أكبـر، كانـت قـوة الاحتكـاك السـاكن مسـاوية لـه، حتـى نصـل إلـى قيمـة الاحتكـاك القصوى التي يبدأ الجسم بعدها بالتحرك، في تلك اللحظة يتحول الاحتكاك من احتكاك ساكن إلى احتكاك حركي، مـع ملاحظـة أن قـوة الاحتكـاك الحركـي لا تتعلـق، تقريبـاً، بسرعة الانزلاق، وتبقى ذات قيمة ثابتة تقريباً.

فـي العصـور الحديثـة، أجرى ليونـاردو دي فينشـي تجـارب علميـة أولـى تتعلـق بالاحتكـاك، ونـص الفيزيـائي الفرنسـي غيوم أمونتون(Guillaume Amontons) عام 1699قوانين الاحتكاك الساكن، التي أضاف إليها شارل –أوغستان دي كولون (Charles-Augustin de Coulomb) قانون الاحتكاك الحركـي عـام 1785، ومـع ذلـك، بقيـت القـوانين التـي وضعاها قيد الاستخدام في العديد من الحالات (لكن ليس فـي جميعهـا) حتـى يومنـا هذا، وهـي موجـودة وتـدرس فـي المناهج المدرسية.

إن قيم قوى الاحتكاك تتعلق بقيم الشدة الزلزالية وبعوامل خواص المواد للكرة البازلتية وسطوح قواعد الخرسانة.

نتيجـة مـا تقـدم، لابـدَّ مـن تحديـد معادلـة حسـاب قيمـة الاحتكـاك السـاكن والاحتكـاك الحركـي بإيجـاد معامـل الاحتكـاك السـاكن الأقصـى،ومعامل الاحتكـاك الحركيμ_kعلى الشكل الآتي:

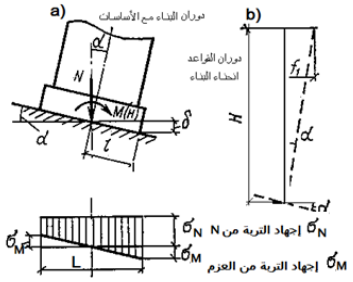
$$V_S \geq p = \mu * N$$

V_S- قـوة القـص القاعـدي وتسـاوي قـوة الاحتكـاك بإشـارة سالبة.

P– قوة الاحتكاك

μ- معامل الاحتكاك.

N– القوة اللامركزية الشاقولية الناتجة عن الموجة الزلزالية.



الشكل (14): a)–دوران قاعدة الظفر. *b)* –دوران الظفر

من الشكل (14) يحْسَبُ الانتقال δ من قيمة زاوية الدوران α بالعلاقة الآتية:

$$\alpha \; f_1 = {}^{*}H = \frac{M(H)}{I_f \, C} \propto = \frac{\delta}{0{,}5L}$$

M (H)– عزم الانحناء في الوثاقة kN.M

I_f – عزم العطالة للقاعدة M^4

C– معامل مسامية التربة

L– الطول من المحور حتى وجه الجدار (M)

H– ارتفاع البناء (M)

يُحَدَّدُ معامل الاحتكاك بحسب المواد التي صنعت منها الكرة البازلتية، أو صخور أخرى عند حركتها بزاوية ميلان صغيرة على السطوح السفلية والعلوية للقواعد بشكل أفقي، ودورانها حول المحور الشاقولي نتيجة شدة القوة الزلزالية. يتعلق المعامل الحركي بحسب كثافة المادة وصقل سطحها وتجانسها، ويختلفان من مادة إلى مادة أخرى. ويؤخذ معامل الاحتكاك للبازلت مع الخرسانة المسلحة موضوع

البحث قيمة =μ0,3، وفي حال صُمِّمَتِ الكرات المتدحرجة من مواد أخرى يمكن إيجاده من الخواص الفيزيائية لمعاملات الاحتكاك الساكن أو الحركية من الكتب الجامعية، أومن كتاب الميكانيكا لسيرسفزمينسكي أو تجريبيا" في مخابر الجامعة.

الخواص الفيزيائية لمعامل الاحتكاك

لبعض الموادّ الاحتكاك السكوني Sì الاحتكاك الحركي μ_k

نوع المادّة	معامل الاحتكاك السّاكن μ_S	معامل الاحتكاك الحركيّ μ_k
فولاذ على فولاذ	0.74	0.57
ألومينيوم على فولاذ	0.61	0.47
نحاس على فولاذ	0.53	0.36
فلز على فولاذ	0.51	0.44
خارصين على حديد مصبوب	0.85	0.21
نحاس على حديد مصبوب	1.05	0.29
زجاج على زجاج	0.94	0.40
نحاس على زجاج	0.68	0.53
تفلون على تفلون	0.04	0.04
تفلون على فولاذ	0.04	0.04

تأخذ قوة الاحتكاك P المؤثرة في حركة الكرات البازلتية دوماً عكس اتجاه قوى القص القاعدي s .

الخلاصة:

نلاحظ من المخمد الزلزالي الذي صُنِّعَ في نيوزلاندا ودول أخرى بتحديد عمره الزمني كحد أقصى 50عام الشكل (5)، أمَّا المخمدات الزلزالية من المواد البازلتية والصخور عالية الكثافة والقساوة فعمرها يتجاوز المخمدات المصنعة بعشرات الأضعاف.

تقوم المخمدات من الكرات البازلتية المتدحرجة بالدوران حول محورها لامتصاص القوة الجانبية الضاغطة على سطح الكرة الجانبية المتحول إلى قوى شاقولية موجبة على السطح الأول وسالبة على السطح الثاني الموافقة لسعة تردد الموجة الزلزالية السالبة والموجبة، الشكل (10) فضلاً عن انزياح أفقي صغير جدا" بزاوية 6 درجات، الشكلان (12)، (11)، وهذا ما يؤدي إلى امتصاص جزء كبير من قوة القص القاعدي، ويخفض من قدرتها التدميرية ويزيد من قدرة عمل عناصر الجملة الإنشائية للمباني.

حُسِبَ نموذجان لجدران قص مصمتة بعلاقات الزلازل على كامل ارتفاع البناء على الإكسل.

نتائج البحث:

تعدُّ المخمدات الزلزالية المنفذة في المنشآت القديمة لقلعة بصرى الشام في درعا دليلاً علمياً وعملياً على مقاومتها للكوارث الطبيعية الحاصلة عبر الزمن، وبناء" على التجارب العلمية بمخمدات زلزالية حديثة من الخرسانة الأشكال (5)،(6) ،(7) ، نخلص إلى النتائج الآتية:

تخفض المخمدات الكروية البازلتية المتدحرجة في القواعد الخرسانية مسبقة الصنع من عزم الانقلاب وتزيد معامل أمان استقرار البناء.

1- استخدام الكرات البازلتية المتدحرجة تخفض من قيمة العزم Mi(x=H) في مستوى التقاء العنصر الشقولي بالقاعدة وتزيد من استقراره، وتقاوم عزم الدوران.
2- يخفض من قيمة قوى القص Vi(x=H) في مستوى التقاء العنصر الشقولي بالقاعدة.
3- تخفض من السهم في أعلى البناء f (x) حتى الوثاقة
4- تخفض من قيمة زاوية الدوران للظفر α بمقدار 25%.
5- تزيد من مقاومة الظفر للحمولات الجانبية S(x) 25%.
6- تخفض الإجهادات في العقد الإطارية والإجهادات في عقد التقاء الجوائز بجدران القص 25%.
7- تزيد من العمر الزمني لعناصر الجملة الإنشائية الحاملة.

References[*]

1. Polyakov .V.S Reinforced concrete and stone structures earthquake-resistant buildings.- Tomsk: Publishing house of the Trace, 2006. - 290 p.
2. 2-High-rise buildings; standing strong against earthquake [03 Sep2013].
3. Drozdov P.F."Design and calculation of multi-storey buildings and civilian elements" .Stroyizdat. 1986.
4. CEN Techn. Comm. 250 SC8 (1995) Eurocode 8: Earthquake Resistant Design of Structures-.
5. Earthquake Resilience of High-Rise Buildings; Case Study of the 2011.Tohoku (Japan) Earthquake: Chapter 2.
6. KanatBurakBozdoganand DuyguOzturk-Department of Civil Engineering, Ege University, ˙Izmir, 35040 Turkey MS received 10 September 2008 received ; revised 21 October 2009; accepted 16 November 2009
7. PolyakovVS,KilishkinLS,CherkashinAVModern methods ofseismic protectionof buildings.-M.:Stroyizdat, 1989. -320C.
8. CasinosGA,LSKilimnikModern methods ofseismic protectionof buildings and structures. -Review. M: VNIIIS, 1987. -65c.
9. Zhunusov .TZ, Fundamentals of Earthquake Engineering (Applied course).ALMATY.Rauan, 1990. - 270C.
10. DBNV1.1.1-12: 2006 Construction in seismic regionsUkrainy.Kiev, 2006. 84p.
11. Dem'yanovichMG,ImayevVSSmekalkinOPDictionary of termsand conceptsofseismology, seismic zoningandseismotectonics. IrkutskNeryungriInstitute of the Earth's Crust, 2008. -73s.

تاريخ ورود البحث إلى مجلة جامعة دمشق2015/6/10