

ندوة الإبداع والتميز في الخدمة الهندسية بالهيئة العامة للغذاء والدواء

■ الإبداع والتميز في الهندسة المدنية والإنشائية

➤ اعتماد مواصفات التصميم الإنشائي لمقاومة الزلازل في المملكة العربية السعودية – لماذا وكيف ؟

د. سعيد بن عبود الغامدي

قسم الهندسة المدنية - جامعة الملك فهد للبترول والمعادن - الظهران

د. عبدالله بن محمد العمري

مركز الدراسات الزلزالية - جامعة الملك سعود - الرياض

الملخص : من المعلوم أن التصميمات المعمارية والإنشائية للمباني تمر بمراحل متعددة قبل اختبار التصميم النهائي. ومع أن التصميم النهائي قد يخضع لاعتبارات جمالية وفنية لتحقيق رغبة المالك، إلا أن السلامة الإنشائية تعتبر مطلباً أساسياً ينبغي تحقيقه في كافة الظروف، وهذا يستلزم من المصمم الإنشائي/المعماري بذل جهد إضافي لتحقيق هذا المطلب لاسيما في الظروف غير الاعتيادية، ومنها الظروف المصاحبة للأنشطة الزلزالية وما ينجم عنها من تأثيرات شديدة على كافة المنشآت، كالمباني، والجسور، وهياكل المصانع وغيرها. ونظرا لتنامي حدوث الحركات الزلزالية في مواقع كثيرة من أنحاء العالم ومنها ما تعرضت له بعض مناطق المملكة في السنتين الماضيتين من بعض هزات زلزالية تركت تأثيرها في بعض المحافظات المحيطة بمنطقة تبوك، فإن هذا البحث يقدم:

(١) استعراضاً موجزاً عن ظاهرة وأنشطة الزلازل في شبه الجزيرة العربية كما يقدم إيجازاً لبعض الدراسات الجارية حول هذا الموضوع؛ (٢) إيضاحاً عن أهمية المواصفات الإنشائية اللازمة لتصميم المباني لمقاومة الزلازل، مع تقديم عرض موجز لبعض الدراسات القائمة حول تقسيم مناطق المملكة حسب مقدار الشدة الزلزالية "seismic zonation"؛ (٣) تفصيلاً موجزاً عن أساسيات التصميم الإنشائي للمباني الخرسانية والحديدية لمقاومة الزلازل، مع تقديم دراسة مقارنة لإحدى حالات التصميم الإنشائي. ثم يقدم الباحثان بعض التوصيات التي يريان أهميتها لاعتماد المواصفات المناسبة لتصميم المباني السكنية المقاومة للزلازل في المملكة العربية السعودية.

١- المقدمة:

لقد عرف الإنسان الزلازل وعانى من آثارها المدمرة من أزمنة تعود إلى ما قبل التاريخ، حيث كان الاعتقاد السائد لتفسير ظاهرة الزلازل مبني على كثير من التبسيط والخرافة في بعض الأحيان، أو الاعتقاد في ارتباط هذه الظاهرة بقوى خارقة للطبيعة. إلا أن تطور المعرفة الإنسانية بهذه الظاهرة من خلال دراسات فيزياء الأرض "Geophysics" ودراسات علم الزلازل "Seismology"، جعل تفسير هذه الظاهرة يعتمد على كثير من الأسس والنظريات العلمية المقبولة والتي منها نظرية حركات الصفائح "Plate Tectonics" وأصبحت عملية قياس شدة الزلازل بل وتوقع حدوثها - في بعض الأحيان - أمرًا ممكنًا. وبالنظر إلى ما قد يعقب بعض الهزات الزلزالية من أضرار بالغة على كافة مقومات الحياة في مناطق شاسعة - قد تمتد أحياناً إلى مئات الكيلومترات من مركز الهزة الأرضية - حتى مع اعتقاد البعض بأن الأخطار الناجمة عن الزلازل تقل كثيراً عن الأخطار الناجمة عما تحدثه بعض الكوارث الطبيعية الأخرى من أضرار، مثل الفيضانات وحوادث الطرق، فإن الزلازل وما ينجم عنها من إزهاق للأرواح وهدم لمقومات الحياة بصورة آنية - قد لا تتجاوز ثوانٍ معدودة - لاسيما في المجتمعات المعاصرة التي تداخلت فيها مقومات الحياة بصورة معقدة، أدى إلى تطوير العديد من الحلول الهندسية لتقليل الآثار التي قد تسببها هذه الهزات الأرضية. ومع أن أي حل هندسي للتقليل من آثار الزلازل يعتمد على: (١) إمكانية تحديد وقت وقوع الزلزال؛ (٢) تصميم المنشآت وتنفيذها بدون إغفال القوى الناجمة عن الهزات الأرضية، فإن خيار التصميم الهندسي المناسب لمقاومة الزلازل يبقى هو الحل الوحيد. نذكر هنا على سبيل المثال حادثين زلزاليين وقعا في الصين، الأول حدث في فبراير ١٩٧٥م وقد تم التنبؤ به وأعطيت التحذيرات للناس قبل حدوثه بحوالي ٢٤ ساعة وكانت الأضرار الناجمة لا تقارن بالأضرار الناجمة عن الزلازل الثاني الذي حدث عام ١٩٧٦م في نفس المنطقة لكن لم يتم التنبؤ به وكانت أثاره مدمرة حيث بلغ عدد الضحايا قرابة ٦٥٠،٠٠٠ شخصاً. وللتأكيد على أهمية الحل الهندسي المبني على اعتماد مواصفات التصميم الهندسي للمباني لمقاومة الزلازل يوضح الجدول -١- مدى نجاح كثير من الدول التي عانت من أضرار الزلازل (مثل: اليابان؛ والولايات المتحدة الأمريكية؛ وإيطاليا؛ ويوغوسلافيا [سابقاً]) في التخفيف من حدة الآثار المدمرة لهذه الهزات الأرضية [١-٣]. ومع أن التصميم الهندسي المقاوم للزلازل هو الخيار الوحيد، فإن إشكالية هذا الخيار تتمثل فيما يلي:

"يعتبر التأثير الزلزالي الشديد على المباني هو الحد الأعلى للقوى التي تتعرض له هذه المنشآت في حين أن احتمالية تعرض مبنى ما لزلزال مدمر تظل قليلة جداً!"

وللتغلب على هذه الإشكالية الهندسية الفريدة فإن الحل الهندسي الأمثل لها يتمثل في اعتماد مواصفات البناء الهندسي الذي يحقق شرطين أساسيين: (١) تفادي انهيار المباني حتى عند وقوع زلزال شديد وبالتالي تفادي وقوع نسبة عالية من الوفيات؛ (٢) القبول بمبدأ السماح بالأضرار الإنشائية التي يمكن إصلاحها بتكلفة تقل بكثير عن التكلفة اللازمة للبناء الإنشائي الذي لا يسمح بأي ضرر عند وقوع زلزال شديد. ولتحقيق هذين الشرطين لا بد أن يبذل المصمم الإنشائي والمعماري جهداً إضافياً لإكمال التصميم مقارنة بالجهد المطلوب لإكمال التصميم بدون اعتبار القوى الزلزالية. فعلى سبيل المثال - لا بد للمصمم من: (١) معرفة اعتماد تأثير القوى الزلزالية على خواص البناء الهندسي؛ (٢) معرفة سلوك الهيكل البنائي وكيفية اختيار الهيكل المناسب (ذو

مرونة عالية) من أجل الحد من مقدار القوى الزلزالية التي تنشأ نتيجة للهزات الأرضية المصاحبة للزلازل [٤].

مما سبق وفي ضوء ما يلاحظ من تنامي أنشطة الزلازل في مواقع كثيرة من العالم ومنها المملكة التي تعرضت في السنتين الماضيتين إلى عدد من الهزات الأرضية التي تركزت أثارها في منطقة تبوك وما حولها، فإن هذا البحث يهدف إلى تبسيط الأمور الهندسية الأساسية اللازمة للمصممين الإنشائيين والمعماريين من أجل فهم ظاهرة الزلازل وحساب القوى الناجمة عنها وطرق تأثيرها على المباني، وكذلك تقديم أساسيات التصميم الإنشائي للمباني لمقاومة الزلازل. ولتحقيق هذه الأهداف فإن البحث يقدم: (١) موجزًا شاملاً عن ظاهرة الأنشطة الزلزالية في شبه الجزيرة العربية بصورة عامة والمملكة العربية السعودية بصفة خاصة؛ (٢) عرضاً موجزاً لنتائج بعض الدراسات القائمة حول تقسيم مناطق المملكة حسب شدة الأنشطة الزلزالية "Seismic Zonation" مع إيضاح أهمية اعتماد المواصفات الإنشائية اللازمة لتصميم المباني لمقاومة الزلازل؛ (٣) تفصيلاً موجزاً عن أساسيات التصميم الإنشائي للمباني الخرسانية والحديدية لمقاومة الزلازل مع دراسة تفصيلية تقارن فيها متطلبات التصميم باعتبار القوى الزلزالية مع متطلبات التصميم الذي يغفل هذه القوى؛ (٤) توصيات تؤكد على أهمية اعتماد مواصفات تصميم المباني السكنية لمقاومة الزلازل (أو لتقليل أضرارها) مع التأكيد على الدور المهم الذي يجب أن يضطلع به المصمم الإنشائي/المعماري في تحقيق هذه المواصفات في مرحلة التصميم والحرص على تنفيذها في مرحلة البناء.

2- دراسات عن تاريخ الزلازل في المملكة:

تقع شبه الجزيرة العربية في نطاق الصفیحة العربية التي تتحرك نحو الشمال الشرقي والتي تحدها ثلاثة حدود حركية نشطة هي: (١) حد زاجروس التقاربي: وهو حد زلزالي نشط نتيجة الاصطدام القاري بين الصفیحة العربية وصفیحة إيران ونشوء حزام على امتداد الجزء الغربي من إيران وشمال شرق العراق؛ (٢) حد البحر الأحمر وخليج عدن التباعدي: وقد تكون نتيجة انفصال الصفیحة العربية عن الصفیحة الأفريقية، ويزداد هذا الانفصال باتجاه الجنوب ويصل إلى ١٢ ملم سنوياً، ونتيجة لهذا الانفصال تكون ما يسمى بمثلث عفار النشط "Triple Junction"؛ (٣) حد خليج العقبة والبحر الميت التحولي: وهو أيضاً حد زلزالي نشط ويقع خليج العقبة في طرفه الجنوبي ويبلغ طوله ١٠٠٠ كم، وترتبط حركته بحركة اتساع البحر الأحمر وحركة تصادم الصفائح في جنوب تركيا وإيران، ولذا يعرف نظام هذا الحد بنظام التحول النافذ "Leaky Transform"، وتبين التركيب البنائية لهذا الأحدود ما قد تعرض له من مراحل تشوه متعددة خلال حقب زمنية متعاقبة ومتزامنة مع مراحل اتساع البحر الأحمر.

١-٢ السجل الزلزالي:

بصورة عامة وبناء على حركة الصفائح يتركز النشاط الزلزالي في شبه الجزيرة العربية على امتداد حدود الصفیحة العربية في المنطقتين التاليتين: (١) منطقة خليج العقبة؛ (٢) منطقة جنوب غرب المملكة وجنوب البحر الأحمر واليمن. أما وسط البحر الأحمر وشماله فهما أقل نشاطاً. وتدل الدراسات الزلزالية بان وسط شبه الجزيرة العربية وشرقها والدرع العربي أقل المناطق نشاطاً.

ويتضح من الشكل ١- توزيع الأنشطة الزلزالية للمنطقة خلال الفترة الزمنية ١١٢-١٩٩٧ م، حيث قد تم رصد أكثر من ٧٨٠٠ هزة تراوحت مقاديرها ما بين ٢,٥ درجة إلى ٧,٠ درجات على مقياس رختير "Richter" المفتوح، ومعظمها في منطقة حدود الصفيحة العربية، ويبين الجدول - ٢ مقارنة بين أعداد الأقدار الزلزالية التي سجلت والأضرار التي نجمت عنها كما يبين تقديراً إحصائياً لما يحتمل أن تتعرض له المنطقة من هزات زلزالية خلال العقود القادمة. وفيما يلي سجلاً تاريخياً لبعض الهزات التي قد تعرضت لها المنطقة:

١-٢ / منطقة جنوب البحر الأحمر واليمن:

تعرضت هذه المنطقة لعدد من الزلازل المدمرة ونتج عنها أضرار جسيمة في الأعوام ١٩٥٥، ١٩٢٤، ١٩٠٩، ١٧٨٨، ١٧٦٤، ١٦٦٧، ١٦٤٧، ١٦٥٥، ١٢٥٩، ١١٥٤، ١١٠٥، ١٠٧٢، ٨٢٧، ٦٤٥، ٧٤٢ م. ويعتبر زلزال ١٩٤١ م الذي بلغ مقداره ٥,٨ درجة في شمال اليمن والجزء الجنوبي من المملكة من أكبر هذه الزلازل ونجم عنه خسائر مادية وبشرية كبيرة. وخلال الفترة ١٩٥٥-١٩٧٥ م تم تسجيل أكثر من ٧٠ هزة في منطقة اليمن وجنوب البحر الأحمر وتراوحت أقدارها ما بين ٤,٥ إلى ٦,٤ درجة على مقياس رختير، كما أن زلزال دمار الذي وقع في ديسمبر من عام ١٩٨٢ م وبمقدار ٦,٠ درجات تسبب في وفاة ١٢٠٠ شخصاً وتدمير ١٥٠٠ قرية إضافة إلى تشريد أكثر من ٢٦٥ ألف شخصاً. وفي عام ١٩٩٣ م شهدت المنطقة زلزال العدين في اليمن بمقدار ٤,٧ درجات ونتج عنه أضرار مادية كبيرة إضافة إلى وفاة ٦ أشخاص.

٢-١ / منطقة خليج العقبة:

توضح الدراسات والسجلات التاريخية أن هذه المنطقة وشمالها قد تعرضت لعدد من الهزات الأرضية العنيفة وبعض النشاطات البركانية. وبالرجوع إلى هذه السجلات أمكن تحديد أكثر من ٣١ زلزالاً تراوحت مقاديرها ما بين ٤,٠-٦,٥ درجة خلال الفترة ٧٤٧-١٩٦٤ م، وهذا يعني حدوث زلزال قوى كل ٢٥ سنة تقريباً، وتبين الدراسات أن حوالي ٧٠% من هذه الزلازل سجلت في منطقة البحر الميت بينما سجل ٧٠% منها في منطقة خليج العقبة. وتعرضت المنطقة في الأعوام ١٥٨٨، ١٢٩٣، ١٢١٢، ١٠٦٨، ٦٤١ م إلى هزات عنيفة نتج عنها أضرار جسيمة، وكان من هذه الهزات زلزال عام ١٠٦٨ م الذي دمر مدينة "أيلة" (شمال خليج العقبة مباشرة) تماماً ونشأت بعده ينابيع مياه في تبوك تعرف حالياً بـ"الكور"، وقد سبب أضراراً عامة في تيماء وخيبر والمدينة المنورة. أما زلزال المدينة المنورة الذي وقع عام ١٢٥٦ م فيعتقد أنه من أصل بركاني حيث أن حممه قد غطت مساحات شاسعة في منطقة بطول ١٩ كم وعرض ٦ كم وعمق يصل إلى ٥,٢ م، وقد استمرت توابعه الزلزالية لمدة تزيد عن ثلاثة أشهر. وفي عام ١٩٢٧ م شهدت المنطقة زلزال وادي الأردن المدمر الذي بلغ قدره ٦,٢ درجة ونتج عن هذا الزلزال أضرار مادية وبشرية نتج عنها وفاة ٣٤٢ شخصاً. وبعد إنشاء محطات الرصد الدولية عام ١٩٥٦ م تحسنت عملية الرصد الزلزالي أمكن رصد ما يزيد عن ١٢٠٠ زلزالاً تراوحت أقدارها ما بين ٣,٥-٦,٠ درجة ومعظمها تم رصده على امتداد أهدود البحر الأحمر وخليج العقبة في فترة الثمانينات والتسعينات الميلادية. كما تم رصد أكثر من ١٣٦ زلزالاً خلال الفترة ١٩٨٣-١٩٩٤ م في خليج العقبة فقط وتراوحت أقدارها ما بين ٤,٠-٦,٠ درجة إضافة إلى بعض التوابع الزلزالية التي بدأت عام ١٩٨٣ م واستمرت لمدة أربعة أشهر وبلغ قدر أعلاها ٥,٢ درجة وتركز نشاطها في الجزء الشمالي من خليج العقبة. كما شهدت هذه المنطقة عاصفة زلزالية بلغ قدر أعلاها ٤,٩ درجة وتبعها ما يزيد عن ٥٠٠ من التوابع

الزلزالية. وفي أبريل من عام ١٩٩٠م ومايو من عام ١٩٩١م تم تسجيل زلزال بقدر ٤,٣ درجات إلى الجنوب من موقع هذه العاصفة الزلزالية، وهذا يدل على أن هذه الزلازل تمثل حدثا تكتونيا ذا اصل واحد وتكون مكملية لبعضها في إطلاق الطاقة الكامنة. أما زلزال يوليو من عام ١٩٩٣م فقد سبقته هزات بسيطة "Foresocks" ثم كان الزلزال العنيف. وفي أغسطس من نفس العام حدث زلزال قدره ٥,٩ درجة وتبعه أكثر من ٤٠٠ هزة لاحقة "Aftershocks". وفي نوفمبر من ١٩٩٥م شهدت منطقة شمال البدع عاصفة زلزالية أخرى بلغ قدر أكبرها ٤,٣ درجة، وكان آخر هذه الهزات ما شهدته عام ١٤١٦هـ الذي سجل فيه زلزال قدره ٥,٨ درجة (بدون سوابق)، ومع أن مركز هذه الهزة كان عند خط عرض ٢٨,٨ شمالا وخط طول ٣٤,٦ شرقا، إلا أن الإحساس بهذا الزلزال وأضراره امتد إلى منطقة خليج العقبة وتبوك والوجه وضباء والمدينة المنورة، وإلى الأردن وسوريا وفلسطين ومصر، وقد رصد بعد ذلك ما يزيد عن ٥٠٠٠ من التوابع الزلزالية وتراوحت أقدارها ما بين ٣,٨-٥,٣ درجة وتركز معظم هذه الهزات حول بؤرة الزلازل الرئيسية بين منخفضي ايلات وارجون داخل خليج العقبة. ولذا يتضح من هذا السجل التاريخي أن النشاط الزلزالي في خليج العقبة يغلب عليه الطابع التتابعي للهزات التي تستمر من شهرين إلى أربعة اشهر تقريبا، وان المنخفض الحركي (ايلات-ارجون-داكار) يمر عبر دورة زلزالية يكون من ضمنها عدد من التوابع الزلزالية التي قد يعقبها حدوث زلزال قوي يجب الاستعداد له.

3- تقييم المخاطر الزلزالية على المنشآت في المملكة:

نظرا إلى أبعاد المخاطر الزلزالية وما قد ينجم عنها من دمار وهلاك، واعتمادا على سجلات الهزات الأرضية في المنطقة فان تقييم هذه المخاطر والاستفادة من هذا التقييم في عملية تصميم المنشآت يعتمد على عاملين رئيسيين هما: (١) الشدة الزلزالية " - Seismic Intensity SI": حيث تحدد هذه الشدة من خلال التحليل الإحصائي للسجل الزلزالي خلال فترة زمنية معينة ومن ثم الحصول على قيم مماثلة لفترات زمنية قادمة مع فرض احتمال زيادة هذه القيم بمقدار ١٠%.

ولهذا الغرض تستخدم الخريطة الكنتورية لتحديد القيمة القصوى لعجلة تسارع الحركة الأرضية [كنسبة مئوية من قيمة عجلة الجاذبية الأرضية: $g = 9.81 \text{ m/sec}^2$] المتوقعة وبالتالي تحديد قيم الشدة الزلزالية في مختلف المناطق كالي:

- 1- مناطق عالية الخطر: $SI < 0,2 g$
- 2- مناطق متوسطة الخطر: $SI > 0,1 g > 0,2 g$
- 3- مناطق منخفضة الخطر: $SI > 0,05 g > 0,1 g$
- 4- مناطق خالية من الخطر: $SI > 0,05 g$.

ويمثل الشكل ٢- التوزيع البياني (الكنتوري) لقيم هذه العجلة المتوقعة حدوثها خلال الخمسين عاما القادمة في مناطق المملكة، حيث يتضح أن مناطق المملكة في عمومها تعد من المناطق منخفضة الخطر باستثناء مناطق شمال غرب المملكة (منطقة خليج العقبة) ومناطق جنوب

غرب المملكة (منطقتي عسير وجيزان) حيث تقع في نطاق المناطق متوسطة الخطر إلى المناطق عالية الخطر، إضافة إلى المناطق الممتدة بمحاذاة ساحل البحر الأحمر التي تعتبر مناطق متوسطة الخطر؛ (٢) تحديد كفاءة المباني لمقاومة الزلازل: يعتبر حساب الكفاءة الزلزالية مطلباً أساسياً لتحديد مدى ملائمة الهيكل البنائي (القائم أو المقترح) لامتناس الطاقة الزلزالية عند حدوثها، ولهذا الغرض تستخدم خريطة العجلة الأرضية [الشكل-٢: الحداد وآخرون ١٩٨٩ م [٧]] لتحديد المعامل الزلزالي (كما يتضح لاحقاً) ولتقدير مدى التلف المتوقع على المنشآت. وقد دلت سجلات التلف الزلزالي أن نسبة تلف المباني الخرسانية المسلحة التي لم تعتمد في تصميماتها على مواصفات البناء المقاوم للزلازل قد تتجاوز ٣٥% عند حدوث زلزال شدته ٨ درجات على مقياس ميركالي العدل، في حين أن نسبة التلف هذه قد لا تتجاوز ١٣% في المباني الخرسانية التي صممت لمقاومة الزلازل. وتدل الدراسات أيضاً على أن التكلفة الإضافية لاعتماد التصميمات الإنشائية المقاومة للزلازل كما أثبتتها تقارير الجمعية التقنية التطبيقية الأمريكية [٢] قد لا تتجاوز ١% من التكلفة الكلية للمبنى الذي تبلغ عدد طوابقه خمسة طوابق، وتتمثل هذه الزيادة في طريقة حساب وتوزيع حديد التسليح حسب مواصفات معينة [١-٥] تضمن تلاحم أجزاء المبنى، أو في زيادة بسيطة في مقاطع بعض العناصر الإنشائية من أجل زيادة التلاحم بينها وبين العناصر غير الإنشائية (مثل: الجدران) حتى يتحقق السلوك الإنشائي المرغوب لنظام الهيكل البنائي عند حدوث الهزة الزلزالية من خلال آلية مرونة الهيكل البنائي التي توضح لاحقاً في هذا البحث.

4- طريقة مبسطة لحساب القوى الزلزالية على المباني:

تتميز القوى الزلزالية عن غيرها من القوى بحدوثها في فترة زمنية قصيرة وبتغير مقاديرها بمعدلات سريعة أيضاً، ولذلك فإن هذه القوى تعتبر قوى ديناميكية ولا يمكن إغفال تأثيراتها الكبيرة على المنشآت نتيجة للمعدل السريع لهذا التغير. ولإيضاح أهمية عدم إغفال تأثير هذا التغير نستدل بطريقة وضع جسيم كتلته كيلوجرام واحد على ميزان مرة بصورة بطيئة ومرة أخرى بصورة سريعة، وسنرى أن القراءة الثانية قد تزيد عن القراءة الأولى بمقدار ١٠٠% وهذا التأثير يشبه التأثير الفجائي للزلازل الذي ينتقل إلى هياكل المباني بواسطة التفاعل التبادلي بين التربة المحيطة والأساسات من جانب وبين الأساسات والهيكل البنائي من جانب آخر. ومع أن حساب هذا التأثير قد يكون أكثر واقعية عندما يُدرس المبنى والأساسات والتربة كوحدة متكاملة [٥]، إلا أن التعقيدات المصاحبة للنمذجة الرياضية لمثل هذه الوحدة المتكاملة، وما يصاحبها من تكاليف باهظة لحساب ذلك التأثير على المباني، أدى إلى تطوير بعض الوسائل المبسطة لتقييم هذه التأثيرات [٨]، وفيما يلي تبسيط موجز لطريقة التحليل الطيفي "Analysis Spectral" والتي يمكن من خلالها حساب التأثيرات الناجمة عن سجل زلزالي محدد [أنظر الشكل - ١/٣] عندما يؤثر على أساسات هيكل بنائي ذو خواص يحددها كل من مؤشر تكرار الحركة الذاتي T ونسبة تلاشي الحركة .

1-4 مؤشر تكرار الحركة T_1 : هو الزمن اللازم لكي تكمل حركة الجسم دورة كاملة "ذبذبة" وبعدها تتكرر الدورة نفسها ويقاس هذا الزمن بالثواني. ويمكن حساب هذا المؤشر بدلالة ارتفاع المبنى (بالأمتار) H باستخدام الصيغة التالية:

$$T_1 = 0.0793 \sqrt{H} \quad \dots (3/4)$$

مع العلم أن الهياكل الحديدية تتميز في اغلب الأحيان بقيمة أعلى قليلاً عن هذه القيمة بينما الهياكل الخرسانية تتميز بقيمة أقل، وفي كلتا الحالتين لا يتجاوز هذا الاختلاف ١٥%.

2-4 نسبة تلاشي الحركة: هذه نسبة تدل على سرعة تلاشي الحركة ويمكن حسابها من خلال قياس تناقص الحد الأعلى لمقدار الحركة "الذبذبة" بعد عدد من الدورات. وحيث أن حساب هذه النسبة بدقة بالغة غير ممكن نظراً لاعتماده أعلى خواص مواد البناء وخواص التربة والأساسات بالإضافة إلى اعتمادها على شكل الهيكل البنائي، فإن التصميم الإنشائي يبني عادة على قيمة تقريبية لا تتجاوز ١٠% من القيمة الحرجة [٩]، ويلاحظ هنا أيضاً أن اعتماد مؤشر تكرار الحركة على قيمة نسبة تلاشي الحركة يغفل غالباً من أجل تبسيط عملية التقييم أما قيم مؤشر تكرار الحركة في معظم الأحيان فتكون في الحدود التالية:

(1) الهياكل البنائية الصلبة: $T_1 > 0.30$ seconds

(2) الهياكل المرنة: $0.70 < T_1 < 1.50$ seconds

(3) الهياكل المرنة جداً: $T_1 < 1.50$ seconds

ومع أن هذه القيم نادراً ما تتجاوز مقدار ثلاث ثواني، إلا أن لها علاقة وثيقة بقيمة مرونة الهيكل البنائي، وبالتالي فإنها تؤثر على قيمة مقدار القوى الزلزالية التي ينبغي استخدامها في حسابات التصميم الإنشائي للمبنى. ٤-٣ طريقة التحليل الطيفي "Analysis Response Spectral": تعتمد هذه الطريقة على مبدأ تبسيط السلوك الهيكلي باعتباره حاصل جمع عدد محدد من الأشكال الوصفية للسلوك الإنشائي للمبنى من خلال فرضية توزيع كتلة المبنى بصورة مقبولة على طوابق الهيكل البنائي كما هو موضح في الشكل -٣. بعد هذا تستخدم طريقة تحليل نموذج البندول "Pendulum Model" [أنظر الشكل - ١/٤] لتحديد سلوك هذا النموذج باستخدام القيم الطيفية لكل من: الإزاحة S_d ؛ السرعة S_v ؛ ومعدل تغير سرعة الحركة "العجلة" S_a ؛ بدلالة مؤشر الحركة T ، ونسبة تلاشي الحركة x ، كما هو موضح في الشكل ٢/٤. يلاحظ هنا أن القيم الطيفية هذه ترتبط فيما بينها من خلال قيمة مؤشر الذبذبة الذاتية "Natural Frequency: w " كما يلي:

$$S_d S_v = w \quad ; \quad S_a = w^2 S_d \quad \dots (2)$$

ولهذا يمكن ربط هذه القيم الثلاث من خلال وصف لوجاريتمي بثلاثة محاور "Tripartite Diagram" يوضحه الشكل - ٤/ب. ويلاحظ أن القيم الطيفية العالية لعجلة الحركة S_a في حالة الهياكل البنائية الصلبة "Rigid Structures" تنتج عن قيم صغرى لمؤشر الحركة T ، بينما هي في حالة الهياكل البنائية المرنة "Structures Slender" تنتج عن قيم عالية لمؤشر الحركة

T، وهما أمران غير مرغوبين من ناحية السلامة الإنشائية لما قد ينجم عن الحالة الأولى من قيم عالية للقوى الزلزالية قد تتنامى تلقائياً "Amplification"، ولما قد ينجم عن الحالة الثانية من تناغم قد يؤدي أيضاً إلى تنامي قيم جميع عناصر السلوك الإنشائي وبالتالي انهيار المبنى بصورة سريعة.

٤-٤ تقييم وتوزيع القوى الزلزالية " Modal Analysis " :

تعتمد هذه الطريقة على حساب القيمة الكلية للقوة الزلزالية على المبنى بدلالة الوزن الكلي للمبنى W ، ومعامل القوة الزلزالية "Coefficient c Seismic" والذي بدوره يعتمد على: (١) معامل الشدة الزلزالية؛ (٢) معامل الموقع؛ (٣) معامل الهيكل البنائي؛ (٤) معامل أهمية المبنى؛ (٥) ومعامل المرونة ودقة تنفيذ مواصفات البناء. ويعرف مجموع القوى الناجمة بأنه قوة قص الأساسات " Base Shear "

Force: V

التي يمكن الحصول عليها بدلالة قيمة c من الصيغتين التاليتين:

(٣)...

$$W V = c$$

(factor) x (ductility factor seismic factor) x (site factor) x (rigidity factor) x (importance) = c

(٤)...

يلاحظ هنا أن قيمة قوة قص الأساسات يجب أن تحسب باستخدام عدد كافي من الأشكال الوصفية " Modal Shapes: f1; f2 ؛ . . . " كل على حدة ومن ثم يتم توزيع القوة V على كافة الطوابق بدلالة كل من: (١) الوزن المفروض في كل طابق Wj؛ (٢) مكونات الشكل الوصفي في كل طابق fij. وبذلك تحدد قيمة القوة الزلزالية Fij في الطابق رقم j باستخدام الشكل الوصفي fj من الصيغة التالية:

(٥)...

$$W_i f_{ij} / f_{ij} = F_{ij}$$

وبتكرار استخدام الصيغة (٥) لحساب القوى Fij لعدد من الأشكال الوصفية يلاحظ أن القيم العظمى لعناصر السلوك الإنشائي "مثلاً: قوة القص؛ وعزم الانحناء؛ وقيم تغير الشكل الهندسي" لا تتوافق آنياً، ولذلك لابد من استخدام طريقة إحصائية تقريبية لحساب العناصر الأساسية للسلوك الإنشائي بدلالة القيم العظمى المحسوبة من كل شكل وصفي باستخدام الصيغة التالية:

(٦)...

$$v_{12} + v_{22} + v_{32} + \dots)^{1/2} = v_{TOT}$$

والتي تمثل فيها vTOT القيمة التقريبية لأي عنصر من عناصر السلوك الإنشائي بينما تمثل فيها vi القيمة العظمى لنفس العنصر لكن فقط باستخدام الشكل الوصفي fi .

٥- أساسيات التصميم الإنشائي للمباني الخرسانية والحديدية:

بادي ذي بدء يجب أن يعلم بأن الاهتزازات الزلزالية ينجم عنها قوى أفقية وأخرى رأسية ولكن في أغلب الأحيان لا تؤخذ هذه القوى الرأسية في الحسبان أثناء التصميم الإنشائي وذلك لأن متانة المباني "Structural Stiffness" في الاتجاه الرأسي تكون دائماً أضعاف المتانة في الاتجاه الأفقي، لهذا تعتبر القوى الناجمة عن الحركة الأفقية المفاجئة للأرض (نتيجة لخاصية الخمول الذاتي للمبنى) هي القوى الأكبر ضرراً على المبنى وينتج عنها تغيرات غير مرنة " Inelastic Deformations" في الشكل الهندسي لمكونات الهيكل البنائي، ويمكن الاستفادة من خاصية التغيرات غير المرنة هذه في امتصاص الطاقة الناجمة عن الهزة الزلزالية. لذلك فإن كافة قوانين تصميم البناء المقاوم للزلازل تتطلب أن يصمم المبنى بمواصفات معينة بحيث يمتلك قدرًا كافيًا من خاصية امتصاص الطاقة. تدعى هذه الخاصية بالمرونة "Ductility:m" ويمكن تعريفها بأنها قدرة الهيكل البنائي على امتصاص الطاقة الزلزالية من خلال التغيرات غير المرنة في العناصر الإنشائية دون أن تفقد هذه العناصر قدرتها على تحمل القوى التي تصل إليها لاحقاً، ويمكن حساب قيمة المرونة m بدلالة القيمة العظمى لتغير الشكل الهندسي للعنصر البنائي D_{max} والقيمة المحسوبة عند بداية التغيرات غير المرنة D_y [كما بينها الشكل -٥] باستخدام الصيغة التالية:

$$D_y \propto D_{max} \quad (٧) \dots$$
$$= m$$

تتضح أهمية هذه الخاصية في حالة جدار القص الإنشائي المحمول على عدد من الأعمدة حيث ينتج عن الحركة الأفقية للأرض قيم عالية من عزم القص وعزم الانحناء في نقطة التقاء الأعمدة مع الجدار [وهو ما يعرف بتركيز القوى نتيجة لعدم استمرارية الشكل الهندسي أو المتانة الإنشائية أو كتلة الجسم Geometric Discontinuity²²]. في هذه الحالة يتطلب التصميم قيمة عالية من معامل المرونة "Requirements Ductility" وهو أمر قد يصعب تحقيقه أثناء عملية التصميم الإنشائي، لذلك ينبغي على المصمم الإنشائي/المعماري الحرص بقدر الإمكان على تفادي التصميمات البنائية التي تتسم بخاصية عدم الانتظام كما هو موضح في الشكل - ١/٦، ولتحقيق هذا المطلوب ينبغي أن تتوفر الشروط التالية:

- (1) ينبغي أن يكون المسقط الأفقي للمبنى بسيط ومنتظم وعند الضرورة يجب فصل مكونات المبنى إلى أشكال بسيطة تتصل ببعضها بمفصلات بسيطة أيضاً.
- (2) ينبغي الحرص على عدم وجود انقطاع في خط عمل تحمل القوى الزلزالية كما يتضح في الشكل - ٢/٦.
- (3) ينبغي الحرص على أن يمتلك المسقط الأفقي لهيكل البناء المقاوم للقوى الزلزالية أكبر قدر من التماثل الأفقي في خواص المتانة "Structural Symmetry" من أجل تفادي نشوء قوى قتل غير مرغوبة "Torsion Structural Effects" والتي تنشأ عادة نتيجة لعدم توافق مركز الثقل مع مركز المتانة.

(4) ينبغي على المصمم أن يحرص على استخدام نظام أساسيات متحد ومتكامل لربط العناصر الإنشائية الرأسية مع بعضها في الاتجاهين الأساسيين لهيكل البناء المقاوم للقوى، مع الحرص على تفادي التصميم الذي تستند فيه الأساسيات على مجموعة من الصخور في أحد جوانب المبني بينما تستند على تربة في بقية جوانب المبني.

(5) ينبغي الحرص على التقليل من الآثار الجانبية التي قد تنشأ نتيجة لعدم انتظام وسائل مقاومة القوى الزلزالية الأفقية (مثل: الجدران الإنشائية، وهياكل مقاومة عزم الانحناء) كما يتضح في الشكل -٦.

١-٥ تصميم المنشآت الحديدية:

تعتبر المواد المعدنية عموماً ومنها المواد الحديدية (الفولاذ الإنشائي: Structural Steel) من أفضل المواد التي يمكن استخدامها في التصميمات الإنشائية لمقاومة الزلازل، حيث تتميز هذه المواد بقدرتها على تقبل أقدار كبيرة من التشوهات غير المرنة "Structural Deformations" ومن ثم امتصاص الطاقة الزلزالية بواسطة تكون عدد من المفصلات غير المرنة في مناطق القيم العظمى لعزم الانحناء من الهيكل الإنشائي. بهذه الآلية تستطيع الهياكل المعدنية غير المحددة "Redundant Frames" مقاومة القوى الزلزالية بفاعلية عالية متى ما عني المصمم بفهم سلوك عناصرها المكونة ومن ثم تصميم هذه العناصر لتحقيق درجة كافية من المرونة. وفيما يلي تلخيصاً للأمور الأساسية التي يجب أن يتنبه لها المصمم عند تصميم أو تقييم هذه المنشآت.

١/١-٥ العتبات "Beams": يتوقع من التصميم الإنشائي السماح بتكون عدد كافي من المفصلات غير المرنة في العتبات ولا يسمح بذلك في الأعمدة الإنشائية، ولذا ينبغي على المصمم مراعاة عدد من الأمور التي لها علاقة بتكون هذه المفصلات ومنها: (١) الانبعاج الجانبي العام؛ (٢) الانبعاج الموضعي، كما بينهما الشكل -٧. وقد دلت الدراسات العملية والنظرية بأن تحقيق كل من شرطي التدعيم الجانبي "Lateral Bracing"، وقيمة نسبة العرض إلى السماكة

"ratio d/t" يجعل التصميم قادرًا على امتصاص الطاقة الزلزالية كما يحد من فشل الهيكل البنائي، ويكون ذلك بعدم تجاوز الحدود المطلوبة الموضحة في الجدول -٣.

٢/١-٥ العتبات ذات الحمل المحوري "Beam-Columns": ينبغي تصميم هذه العتبات حتى تكون قادرة على تحمل عزمي الانحناء على المحورين الرئيسيين للمقطع إضافة إلى تحمل مقدار معين من القوة المحورية في وقت واحد، ولذا فإن صورة الفشل يمكن أن تتكون من صورة واحدة أو أكثر من صور الفشل التالية (L1) الانبعاج الجانبي؛ (٢) الانبعاج حول المحور الضعيف للمقطع؛ (٣) تكون عدد كاف من المفصلات غير المرنة؛ (٤) الانبعاج الجانبي المفتول. ولكي يحقق التصميم الإنشائي متطلبات أي مجموعة من هذه الصور ينبغي أن لا يزيد مجموع قيم الإجهاد عن قيمة الإجهاد المسموح به عند بداية التشوه غير المرن وذلك من خلال الصيغة التالية:

الزلازل التي في بعض دول العالم و الوفيات الناجمة عن :جدول ١-

| Comments | Deaths | Magnitude (Richter) | Year | Country | Area |
|----------------|---------|------------------------|------|------------|------------------|
| San Francisco | 700 | 8.3 | 1906 | USA | North America |
| Alaska | 28 | 8.4 | 1964 | | |
| San Fernando | 65 | 6.5 | 1971 | | |
| Kansu | 100000 | 8.3 | 1960 | China | Asia |
| Yunnan | 6500 | 7.1 | 1925 | | |
| Tangshan | 6500000 | 7.6 7.9 | 1976 | | |
| kanto | 143000 | 7.9 | 1923 | Japan | |
| Tokachi-Oki | 49 | 7.4 | 1968 | | |
| Miyagiken-Oki | 27 | | 1978 | | |
| Northwest Iran | 12000 | 7.3 7.4 | 1962 | Iran | Middle East |
| Northwest Iran | 11000 | | 1968 | | |
| Skopje | 1200 | 6.0 7.3 | 1963 | Yugoslavia | Europe |
| Montenegro | 121 | | 1979 | | |

جدول - ٢: أعداد ومقادير الزلازل المسجلة والمتوقعة

| منطقة شبه الجزيرة العربية | ٤-٦ درجات (محسوس) | ٦ اكر من درجات) (أضرار ملموسة) | اكبر درجة زلزال متوقعة خلال ٥٠ عام قادمة |
|--|-------------------|---------------------------------|--|
| ١. خليج العقبة ٢٨-٣٠ شمالا ٣٣- | ٦٠٠ | ٥ | ٧ |
| ٣٧ شرقا | | | |
| ٢. شمال البحر الأحمر ٢٠-٨٢ شمالا ٣٣- ٣٧ شرقا | ١٨٥ | ٣ | ٦,٩ |
| ٣. وسط البحر الأحمر ٢١-٢٥ شمالا ٣٥- ٤٠ شرقا | ١ | - | ٤,٥ |
| ٤. جنوب البحر الأحمر ١٠-٢١ شمالا واليمين ٣٧-٤٦ شرقا | ٧٠٠ | ٥٦ | ٧,٣ |
| ٥. وسط المملكة ١٠ ٣٢- شمالا والدرع العربي ٤٠-٤٧ شرقا | ٢٣٥ | ١٢ | ٦,٥ |
| ٦. البحر العربي ١٠ - ١٥ شمالا | ٣٠٥ | ١١ | ٧,١ |

| | | | |
|---|------|-----|-----|
| ٤٦ - ٦٠ شرقا | | | |
| ٧. الخليج العربي ٢٣-٣٥ شمالا وغرب إيران ٤٥-٦٠ شرقا | ١٠٥٠ | ٤٧ | ٧٤٥ |
| ٨. البحر الميت ٣٠ ٣٩- شمالا وشرق البحر المتوسط ٣٣-٣٧ شرقا | ١١٠ | ١٢ | ٧٤١ |
| المجموع | ٣١٨٦ | ١٤٦ | - |

جدول ٣- الحدود المسموح بها لنسبة النحافة d/t، وطول العتبة غير المدعوم Lu

| | | max(d/t) Allowable | | | |
|------------------------|--------------------------------|-------------------------|----------------------------|--------|------------------------------|
| max(Lu) Allowable | | Webs | | | |
| M/M _p < ١,٠ | ٠,٥٠- < M/M _p < ١,٠ | P/P _y > 0.27 | P/P _y < 0.27 | Flange | Yield Stress |
| r _y ٣٨,٢ | 63.2 r _y | ٤٢,٨ | 68.7-96.1 P/P _y | ١٧,٠ | ksi (14.8 ٣٦) (٣ kN/cm |
| r _y ٢٧,٥ | 52.5 r _y | 36.6 | 58.3-81.6 P/P _y | ١٤,٠ | ksi (34.5 ٥٠) (٣ kN/cm |
| r _y ٢١,٢ | 46.2 r _y | ٣١,٩ | 51.1-71.5 P/P _y | ١٢,٠ | ksi (44.9 ٦٥) (٣ kN/cm |

Note: P_y= Axial load to cause yield stress; r_y= weak axis radius of gyration:

$$M_p = \text{section plastic moment. } \dots (8) \quad \frac{P}{P_y} + \sum \left[\frac{C_u M}{M_u (1 - P/P_y)} \right] = 10$$

التي تمثل فيها P قيمة الحمل المحوري؛ وتمثل M قيمة عزم الانحناء؛ وتمثل P_e قيمة الحمل المحوري الذي يؤدي إلى الانبعاج المرن؛ وتمثل M_{cr} قيمة عزم الانحناء الذي يؤدي إلى الانبعاج الجانبي؛ بينما تمثل C_m قيمة معامل عزم الانحناء الطرفي المكافئ [١٠، ١١] وقد دلت الدراسات أن سلوك هذه العناصر الإنشائية يتدهور بصورة سريعة في ظروف الأحمال الزلزالية المترددة بزيادة قيمة الحمل المحوري P ، وبزيادة قيمة نسبة النحافة d/t . لذلك ينبغي أن لا تتجاوز قيم الاجهادات في هذه العناصر دائماً حدود النطاق المرن لسلوك المادة "

$$\sigma_{\dots} \leq \sigma_{\dots} ."$$

٣/١-٥ المفصلات الإنشائية "Structural Joints":

تلعب المفصلات الإنشائية دورًا بالغ الأهمية في تمكين الهيكل الإنشائي من امتصاص من امتصاص الطاقة الزلزالية، ولذا ينبغي على المصمم الحرص على اختيار التصميم الذي يحقق لهذه العناصر الإنشائية: (١) القدرة على تحمل القوى الزلزالية التي تصل إليها؛ (٢) القدرة الكافية لتشوه الدوران "Angular Deformations" حتى تتكون المفصلات غير المرنة في النهايات الطرفية للعتبات المتصلة بهذه المفصلات. ولهذا الغرض فإن الشكل ٨-١ يوضح صور انتقال القوى إلى هذه المفصلات كما يوضح بعض صور الفشل غير المرغوبة في منطقة ارتباط الوترات "Panel Webs" ومنها الفشل بتمزق المادة، الفشل بانبعاج الوتر، أو الفشل نتيجة للقص غير المرن. وقد أثبتت التجارب العملية والنظرية أن غالبية صور الفشل هذه يمكن تفاديها عندما يحقق تصميم سماكة الوتر "Web Thickness: t_w " الشرطين التاليين:

$$(1- \quad ٩) \dots \quad (k_c A_f / (t_b + 5 < t_w$$

$$(2- \quad ٩) \dots \quad [\sqrt{\sigma_c} / 150] / d_c < t_w$$

وذلك بدلالة مساحة جناح مقطع العمود A_f ، وبدلالة قيمة عمق مقطع الوتر d_c في العمود.

٢-٥ تصميم المنشآت الخرسانية:

لقد أثبتت التجارب العملية والخبرات السابقة أن المنشآت الخرسانية المسلحة "Structures R/C" تحتاج إلى قدر كبير من المرونة لكي تتمكن من امتصاص الطاقة الزلزالية من خلال عملية التشوه غير المرن لعناصرها [١٢، ١٣]. ولتحديد امتلاك التصميم لهذه الخاصية ينبغي دراسة خواص علاقة الانحناء بالعزم "Moment-Curvature Relationship" كما يوضحها الشكل ٩-٩، وبالتالي تحديد القيمة المثلى لنسبة المرونة "Ductility Ratio : m " التي تحقق التصميم المتوازن "Balanced Design" الذي يجعل العناصر الإنشائية (مثل: العتبات والأعمدة) قادرة على امتصاص الطاقة الزلزالية بواسطة آلية التشوهات غير المرنة في حديد التسليح قبل تهشم وفشل الخرسانة في المقطع بمقدار كاف. ولمزيد من الإيضاح يبين الشكل ١٠-١٠ علاقة الإجهاد بكل من الانفعال

والانحناء: " Stress-Strain-Curvature Relation " لمقطع عتبة ذات تسليح مزدوج. بناءً على هذا - وبمعرفة خاصية التصميم المتوازن (steel)
 $f_y = 0.003 \text{ econc.}$ يمكن تحديد مرونة المقطع mf بدلالة كل من: (١) مرونة المقطع عند بداية التشوه غير المرن في حديد التسليح f_y ؛ (٢) المرونة العظمى للخرسانة f_u ، وذلك باستخدام العلاقات التالية:

$$\rho_p = \frac{(\epsilon)_{max}}{[d(1-k)]} \quad (١٠-١) \dots$$

$$\rho_p = \frac{\epsilon_s A_s}{a} \quad (١٠-٢) \dots$$

$$\rho_p = \frac{\epsilon_s d(1-k)}{f_y A_s} = j_u / j_y = m_j \quad (١٠-٣) \dots$$

ويمكن زيادة مرونة المقطع لخدمة أغراض التصميم بإحدى الطرق التالية: (١) زيادة كمية حديد التسليح في الجانب المضغوط من المقطع؛ (٢) خفض كمية حديد التسليح A_s ؛ (٣) استخدام خرسانة ذات قدرة عالية لتحمل الضغط؛ (٤) استخدام حديد تسليح ذا قدرة منخفضة لتحمل الشد؛ (٥) استخدام الأطواق الحلزونية " Spiral Ties " في مناطق تركيز التشوه غير المرن أو زيادة عدد الأطواق الاعتيادية من أجل زيادة تقييد الخرسانة في المقطع.
 ومع هذا ففي الحالات التي تكون فيها قيمة الحمل المحوري عالية، ينبغي دراسة خواص العلاقة التبادلية بين العزم والحمل المحوري: " P-M relationship " وبالتالي حساب مقدار الزيادة أو النقصان في قيمة المرونة [١٢]. ولأهمية تصميم المفصلات الإنشائية والجدران الإنشائية المسلحة حتى تتحقق درجة كافية من امتصاص الطاقة الزلزالية ومقاومة القوى الزلزالية الأفقية نوضح فيما يلي بعض الأمور الأساسية التي ينبغي على المصمم تحقيقها في التصميم الإنشائي الذي يختاره.

١٠-٥ علاقة مرونة الانحناء بمرونة الإزاحة:

يتضح من الشكل ١١- أن للمفصلات غير المرنة طول محدد l_p ، وقد دلت التجارب المعملية بأن حساب هذا الطول (بصورة تقريبية) يكون بدلالة: (١) المسافة " d " من مركز حديد التسليح إلى الجانب الآخر للمقطع: d؛ (٢) المسافة " z " من المقطع الحرج إلى نقطة تغير اتجاه الانحناء وبحسب استخدام الصيغة التالية:

$$z + 0.05 l_p = l_p \quad (١١) \dots$$

أما أهمية هذا الطول فتتمثل في كونه يدخل في حساب كل من مرونة الانحناء mf ، ومرونة الإزاحة md كما يتضح من الصيغ التالية:

(1- ١٢)...

$$Du/Dy = mD$$

(2- ١٢)...

$$1 + \frac{l^2(\mu_s - 1)}{3l(1 - 0.5l)} = ju/jy = mj$$

إذا فرضنا ضرورة أن تكون قيمة مرونة الإزاحة mD تساوي ϵ ، فإن التصميم الذي يؤدي إلى زيادة طول المفصلية غير المرنة من $0,05$ إلى $0,4$ من طول العنصر الإنشائي يتحول إلى انخفاض المرونة المطلوبة mf من $21,5$ إلى $4,1$ ، وهذا يدل على أهمية اختيار التصميم المناسب وتنفيذه حسب مواصفات دقيقة [١٣].

٢/٢-٥ الجدران الإنشائية المسلحة:

تتميز هذه الجدران بالقدرة على تحمل الأحمال الاعتيادية بالإضافة إلى قدرتها العالية في امتصاص الطاقة الزلزالية من خلال المرونة الكبيرة المتوفرة في المنطقة الحرجة التي تتركز فيها قوى القص والانحناء كما يتضح من الشكل-١/١٢. ونظرًا لاعتماد المرونة على كمية وطريقة توزيع حديد التسليح في الجدران [كما يتضح من الشكل -٢/١٢] يمكن تحقيق الحد الأعلى للانحناء "Limiting Curvature" بواسطة توزيع 75% من حديد التسليح على طرفي الجدار وتوزيع النسبة الباقية بانتظام على طول المتبقي من الجدار. ومع أن هذا الحد يزيد بزيادة نسبة حديد التسليح إلا أن نسبة الزيادة هذه تتلاشى (مقارنة مع زيادة نفس النسبة في حالة التوزيع المنتظم لحديد التسليح) في الحالات التي تقل فيها نسبة حديد التسليح rn عن $0,25\%$.

٣/٢-٥ سلوك وتصميم جدران القص المترابطة "Walls Coupled Shear":

تتميز هذه الجدران بقدرتها العالية على امتصاص الطاقة الزلزالية من خلال آلية قص الانزلاق "Sliding Shear" الذي يتمركز في مناطق الارتباط بين الجدران المتقابلة كما يتضح من الشكل-١٣. فلو افترضنا أن التوازن بين عزم الانقلاب "Overturning Moment: M_o " ومقاومة الجدران لهذا العزم يتحقق من المعادلة التالية:

(١٢)...

$$Tl + M2 + Mo = M1$$

فنبغي تصميم منطقة الارتباط بين جدارين متقابلين وفق مواصفات معينة تتحقق بواسطتها آلية قص الانزلاق. وقد دلت بعض الاختبارات التي أجريت على هذه الجدران على ما يلي: (١) التصميم الأمثل للعتبات الرابطة بين الجدران يتطلب أن تكون قصيرة وعميقة بحيث لا تقل فيها قيمة Tl عن 67% من عزم الانقلاب؛ (٢) آلية قص الانزلاق في العتبات الرابطة لا تتحقق بقدر كافٍ باستخدام الأطواق العادية، ولذا لا بد من استخدام التسليح المائل المزود بأطواق حلزونية [كما يتبين من الشكل -١٤] لكي يحول دون تكون آلية قص الانزلاق الرأسي التي تجعل فائدة هذه العتبات من أجل امتصاص الطاقة الزلزالية غير كافية.

• الحاجة إلى اعتماد مواصفات التصميم الإنشائي المقاوم للزلازل:

لقد شهدت المملكة العربية السعودية في العشرين سنة الماضية اتساعاً عمرانياً غير مسبوق في الإنشاءات المختلفة كما يدل على ذلك اتساع المدن ونشوء تجمعات سكنية جديدة، وانطلاقاً من أهداف هذا البحث لتحقيق السلامة الإنشائية يرى الباحثان أن عدم وجود مواصفات محددة يلزم بها المصممون الإنشائيون والمعماريون، قد أدى إلى كثير من التجاوزات المهنية التي لا تحقق بعض المتطلبات الأساسية واللازمة للتصميم الهندسي، ومنها متطلبات التصميم الإنشائي المقاوم للزلازل! كما يرون أيضاً أن تفشي هذه التجاوزات يعود إلى عدم وجود صيغة ملزمة لتأكيد مراعاة تطبيق وتنفيذ هذه المتطلبات من قبل مكاتب التصميم أو الإشراف. من هذا المنطلق فإن اعتماد مواصفات إنشائية واضحة ومتكاملة وتأكيد تنفيذها من قبل الجهات المسؤولة أصبح يمثل ضرورة ملحة. أما ضرورة اعتماد مواصفات البناء الإنشائي المقاوم للزلازل في المملكة فيرى الباحثان أنها تستمد أهميتها من عدة أسباب ومنها: (١) إن التحليل الإحصائي للسجلات الزلزالية والجيوفيزيائية توضح بأن مناطق المملكة قد شهدت كثيراً من الهزات الزلزالية ويحتمل أن يتكرر حدوث هذه الهزات في المستقبل؛ (٢) أن الدراسات التي أجريت على كثير من حالات الانهيار الإنشائي الناجم عن الزلازل تؤكد على أن التصميم الإنشائي يلعب دوراً كبيراً في تحديد حجم الخسائر البشرية والمادية؛ (٣) إن اعتماد هذه المواصفات سيؤدي حتماً إلى الحرص على تنفيذ كافة متطلبات التصميم الاعتيادي (بدون اعتبار الزلازل!) في مرحلتي الاختيار والتنفيذ؛ (٤) إيمان الباحثين بأن اعتماد هذه المواصفات أصبح ضرورة ملحة (وليس ترفاً هندسياً) يمكن مراعاتها بأقل التكاليف من خلال ما يتوفر للمصممين من وسائل الدراسات والتصميم التي غدت متوفرة وسهلة التطبيق باستخدام برامج الحاسب الآلي التي أصبحت متوفرة في معظم المكاتب الهندسية.

• دراسة مقارنة:

يعتمد نجاح التصميم الهندسي المقاوم للزلازل على دقة تنفيذ تفاصيل التصميم والتأكد من تحقيق الحد الأدنى من المواصفات الموصى بها اعتماداً على نوع العنصر البنائي ونوع المادة الإنشائية المستخدمة [١٢، ٣]. ولأهمية هذا الأمر فإن معظم برامج التصميم باستخدام الحاسب الآلي أصبحت تحوي تفاصيل هذه المواصفات ويمكن طلبها حسب الضرورة؛ بينما يبقى التأكيد على دقة تنفيذ التصميم مرتبطاً بالمهندس المشرف وعليه تقع هذه المسؤولية. وفيما يلي نقدم دراسة متطلبات تصميم هيكل خرساني مكون من عنصرين فقط (عمود وجسر؛ مثبتين في طرفيهما ومتصلين بمفصلية صلبة؛ ويحملان حملاً موزعاً على الجسر بصورة خطية تتدرج بدأً من ١٤ كيلو باوند لكل قدم عند المفصلية إلى ١ كيلو باوند لكل قدم عند نهاية الجسر) حيث تقارن متطلبات التصميم عند استخدام المواصفات الإنشائية لمقاومة الزلازل مع متطلبات نفس التصميم لكن بدون استخدام هذه المواصفات [١٥، ١٤]؛ وكما يتبين في الجدول - ٤ فإن الفرق بين التصميمين في هذه المقارنة يتمثل في: (١) زيادة قدرها ٦٤% في كمية حديد التسليح؛ (٢) زيادة كمية وتفاصيل توزيع حديد مقاومة القص؛ (٣) زيادة طفيفة في مساحة مقطع الجسر وزيادة مقدارها ٤٤% في مساحة مقطع العمود؛ (٤) زيادة تكاليف العمليات الحسابية بمقدار ٢٠%. من هذا يتضح أن عملية التصميم المقاوم للزلازل يتطلب عناية خاصة من المصمم للتأكد من تفاصيل التصميم.

جدول ٤- نموذج مقارنة عددية لمتطلبات التصميم بمواصفات الزلازل [SD] وبدونها [NSD].

| عنصر المقارنة | | تصميم غير مقاوم للزلازل - NSD | تصميم مقاوم للزلازل-SD |
|----------------------------|-----------------|--|--|
| تكاليف حسابية (sec) CPU | | ٥ ثواني | ٦ ثواني |
| الجرس (BEAM)) | مساحة المقطع | ١٢ x 39 square inches | ١٢ x 40 square inches |
| | التسليح الأساسي | ٦ . TOP :NONE - START ؛ 6 - END NO.9; BOTTOM: 7 NO | ٦ NO 6 ؛ 9 6 NO TOP: START – 2 NO 9; END – BOTTOM: 7 NO 6 ؛ 9 6 NO |
| | تسليح القص | ؛ NO.3[START:1@8.5ins;3@17ins END:1@2.5ins;19@5ins;;2@10ins. .;3@17ins.] O.C | .NO.3[START:1@1.5;34@3ins .END:1@1.5ins;43@3ins.]O.C؛ |
| العمود (COLUMN)) | مساحة المقطع | ١٠ x 10 square inches | ١٢ x 12 square inches |
| | التسليح الأساسي | ٤ NO. 5 | ٤ NO. 6 |
| | تسليح القص | [TIES] .O.C .NO. 3 @10 ins | ٤ NO. 3 @1.5ins .O.C . [[HOOPS ١٣ .O.C .NO. 3 @6 ins |
| | | | ١٤ .O.C .ins NO. 3 @1.5 |
| المواد | خرسانة | ٢,٦ ياردة مكعبة | ٢,٨ ياردة مكعبة |
| | حديد | ٠,٢٥ طن | ٠,٤١ طن |

. خاتمة وتوصيات:

نظرًا لأهمية اعتماد مواصفات البناء الإنشائي المقاوم للزلازل في تحقيق السلامة الإنشائية والحد من حجم الخسائر البشرية والمادية عند حدوث الزلازل، فإن هذا البحث يقدم (بصورة موجزة وشاملة): (أ) نبذة عن الدراسات التي تمت حول تقييم الأنشطة الزلزالية في المملكة والاستفادة منها لوضع الأسس الأولية لتطوير مواصفات التصميم الهندسي اللازم لهذا الغرض، (ب) استعراضاً لأساسيات تقييم السلوك الديناميكي للمنشآت الذي يعتبر مطلباً أساسياً لإكمال التصميم الهندسي. ولإيضاح أهمية اعتماد هذه المواصفات فقد أقتصر البحث على دراسة خاصة المرنة الإنشائية

" Ductility: m Structural " وأنواعها وكيفية تحقيقها في المنشآت الحديدية والخرسانية من خلال اختيار الشكل الهندسي للمبنى أو بواسطة استخدام مواصفات محددة لكمية وطريقة توزيع حديد التسليح لتحقيق هذه الخاصية في العناصر الإنشائية مثل العتبات والأعمدة وجدران القص. وبناءً على ما تقدم وتفادياً لما قد ينجم عن الهزات الأرضية "الزلازل" من أضرار بشرية ومادية بالغة، فإن الباحثين يوصيان بما يلي:

(1) أصبحت أهمية اعتماد مواصفات البناء الإنشائي المقاوم للزلازل ضرورة من ضروريات السلامة الإنشائية ولم تعد ترفاً هندسياً يمكن الاستغناء عنه، ولذا ينبغي على الجهات المقننة ومنها اللجنة الهندسية السعودية) والمسئولة تحديد هذه المواصفات وإلزام المهندسين (المصممين، والإنشائيين، والمعماريين) بمراعاة هذه المواصفات.

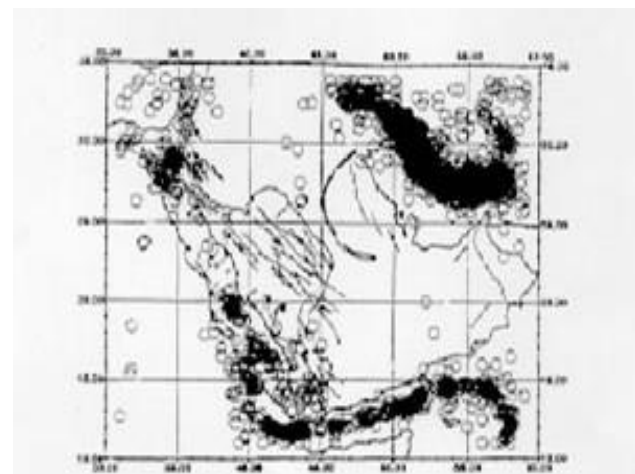
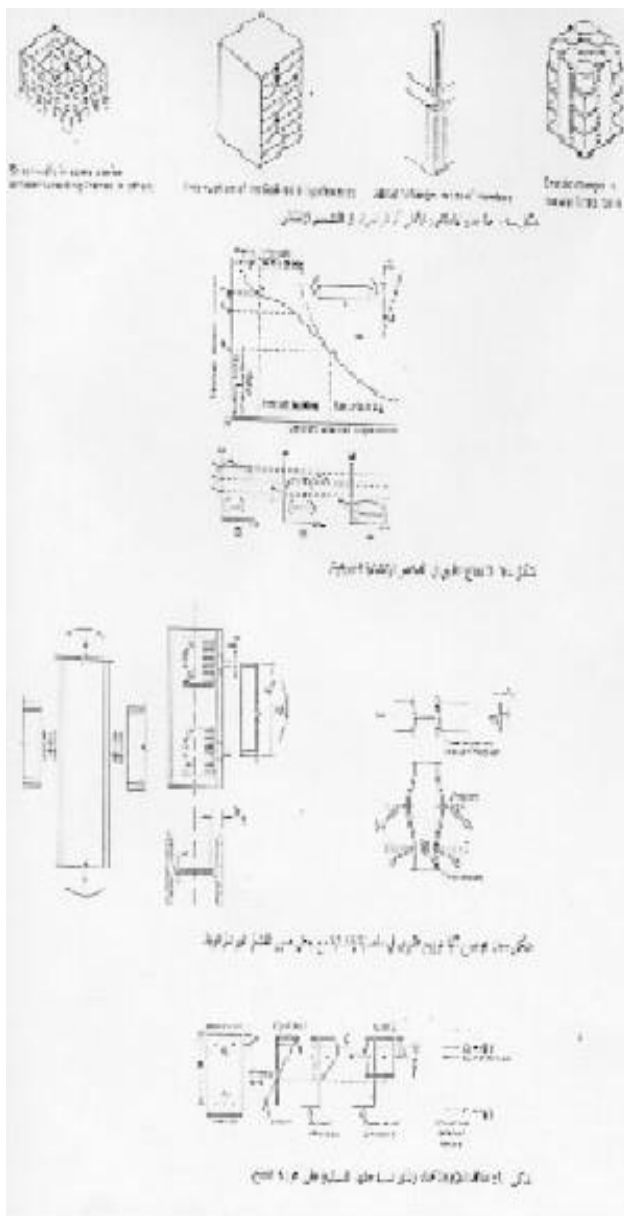
(2) ينبغي إيجاد هيئة رقابية في أمانات المدن والبلديات تكون مهمتها فحص التصميمات قبل الموافقة عليها أو تنفيذها بحيث تتكون من مجموعة من المهندسين الإنشائيين والمعماريين والمختصين بالسلامة الإنشائية.

(3) نظرًا لما تمثله عملية بناء المنشآت السكنية من نسبة عالية في مجموع حركة البناء في المملكة فينبغي إعادة دور المهندس المشرف على تنفيذ المواصفات المطلوبة ويكون مسئولاً أمام الجهات الرقابية.

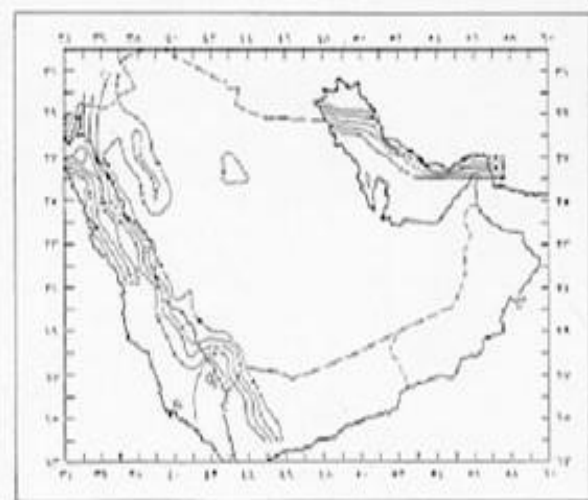
(4) يرى الباحثان ضرورة تكوين لجنة وطنية تكون مهمتها تحديد المواصفات المطلوبة في البناء الإنشائي لمقاومة الزلازل أو التقليل من آثارها عند حدوثها وينبغي أن تستفيد هذه اللجنة من المقترحات والدراسات السابقة في هذا المجال ومنها دليل البناء الأمريكي [٢] UBC.

اعتراف وتقدير:

يود الباحثان أن يقدموا الشكر إلى قسم الهندسة المدنية في جامعة الملك فهد للبترول والمعادن بالظهران وإلى قسم الهندسة المدنية وعلوم الأرض في جامعة الملك سعود بالرياض إزاء الدعم الذي قدم لمساعدة الباحثين من أجل إكمال هذا البحث. كما يود الباحث الأول أن يقدم الشكر أيضاً إلى الدكتور إسماعيل محمد بديوي (رئيس قسم الهندسة المعمارية في جامعة الملك فهد للبترول والمعادن) لما أبداه من مقترحات يسرت البدء في هذا البحث.



شكل ١١ - التوزيع الجغرافي للمياه الجوفية في شبه الجزيرة العربية ومصدرها الطبقات الجوفية للفترة ١٩٩٧-٢٠١٢م.



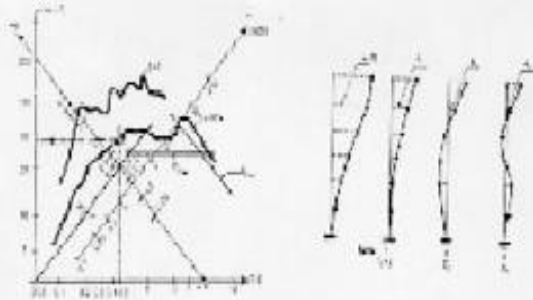
شكل ١٢ - توزيع المياه الجوفية في مناطق المملكة العربية السعودية ومصدرها.



شکل ۱-۱

شکل ۱-۲

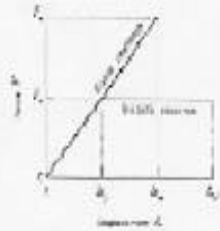
پایه های فولادی منتهی به ستون های بتنی در اسکله نوبل



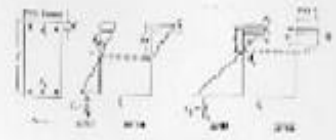
شکل ۱-۳

شکل ۱-۴

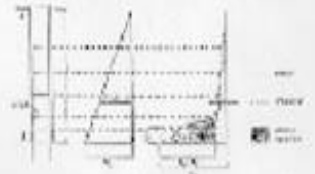
مقیاس و مقادیر بارهای مورد استفاده در محاسبات اسکله نوبل



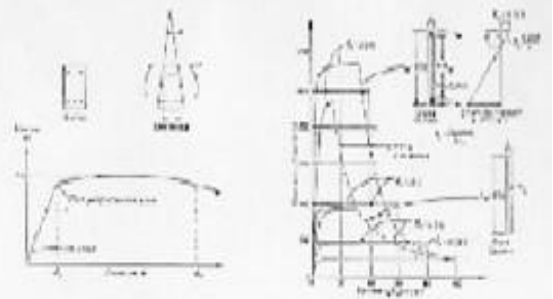
شکل ۱-۵: مقادیر بارهای مورد استفاده در محاسبات اسکله نوبل



شکل ۱-۶: اسکله نوبل (۱۹۷۳)



شکل ۱-۷: اسکله نوبل (۱۹۷۳) - اسکله نوبل (۱۹۷۳)



شکل ۱-۸

شکل ۱-۹

مقیاس و مقادیر بارهای مورد استفاده در محاسبات اسکله نوبل



شکل ۱-۱۰: اسکله نوبل (۱۹۷۳) - اسکله نوبل (۱۹۷۳)

1. Rosenblueth, E. (1980) : Design of Earthquake Resistant Structures, Pentech Press, London.
2. International Conference of Building Officials (1991) : Uniform Building Code (UBC), Whittier, California, USA.
3. Commission of the European Communities (CEC) Technical Committee 250, SC8 (1994) : Eurocode 8 - Earthquake Resistant Design of Structures/ Part 1, ENV 1998 -1-1, CEN, Berlin.
4. Arnold, C. and Reitherman, R. (1982) : Building Configuration and Seismic Design, John Wiley & Sons, New York.
5. Newmark, N. and Rosebleuth, E. (1971) : Fundamentals of Earthquake Engineering, Prentice-Hall, Englewood Cliffs.
6. Al-Amri, A. M. (1990): Seismicity and Techtonics of Gulf of Aqba, Ph.D. Thesis, Univ. of Minesota, USA.
7. Al-Haddad, M.S., et. al. (1989): A Study for Developing Seismic Design Guidelines in KSA(KACST) – Report 9-31, King Abdulaziz City for Science and Technology, Riyadh.
8. Scalart, A.S. (1996) : Approximate Methods in Structural Seismic Design, E & FN SPON, Chapman & Hall, London.
9. Derecho, A. and Others (1978) : Analysis and Design of Small R/C Buildings for Earthquake Forces, PCA, Illinois, USA.
10. AISC (1989) : Manual of Steel Construction - ASD, 9th Edition, USA.
11. Alghamdi, S.A. (Coord. - 1996) : Lectures on Earthquake Resistant Design of structures, Short course - Department of Civil Engineering, KFUPM - Dhahran.

12.ACI Committee 318 (1983) : Building Code Requirements for R/C, ACI, Detroit, Michigan, USA.

13.ACI-ASCE Committee 352 (1985) : Recommendations for Design of Beam-Column Joints in Monolithic R/C structures, ACI Journal, May-June, pp. 266-283.

14.GTSTRUDL-RC (1993): Structural Analysis and Design Package, User's Manual Vol. 4, Atlanta, Georgia, USA.

15.Alghamdi, S.A. (1998 : Basics of GTSTRUDL Software – A Unified User's Manual, Department of Civil Engineering, King Fahd University of Petroleum and Minerals, Dhahran, KSA.