مجلة جامعة الملك عبدالعزيز : العلوم الهندسية ، م١٣، ع١ ، ص ص ٣ - ٢٧ (١٤٢١هـ/ ٢٠٠١م)

استخدام تكنولوجيا النظم الخبيرة في التحليل والتصميم الديناميكي غير المرن للجدران الخرسانية المتصلة ثنائية البعد ضد قوى الزلازل

عباس برايس
قسم تقنية التشييد ، الكلية التقنية بأبها
أبهـــا - المملكة العربية السعودية

المستخلص . يعتبر التحليل والتصميم الإنشائي للمنشآت ضد قوى الزلازل من أوسع التخصصات في مجال هندسة الزلازل ، ويتعامل المهندس الإنشائي خلال مرحلة التحليل والتصميم مع معطيات ومفاهيم وظروف متعددة ، فعلى سبيل المثال تختلف حالة التصميم تحت تأثير قوى الرياح أو قوى الحمل الذاتي عنها في حالة قوى الزلازل . كما أن خاصية المطولية Ductility تعتبر من أهم متطلبات تصميم المنشآت لمقاومة الزلازل . إضافة إلى ذلك فان التحليل والتصميم الإنشائي ضد قوى الزلازل يتصف بالاحتمالات المقترنة بحساب القوى الفعلية للزلازل وكذلك حساب القيمة التقريبية للصلابة لكل عضو من أعضاء المنشأ ، إضافة إلى كيفية اختيار النماذج الرياضية المستعملة في التحليل الديناميكي غير المرن inelastic dynamic analysis للمنشأ ، وكيفية تفسير نتائج التحليل الديناميكي .

هذا البحث يعرض منهجية التحليل والتصميم تحت تأثير قوى الزلازل لجدران القص المتصلة coupled shear walls باستعمال طرق التحليل الديناميكية المرنة linear وغير المرنة non-linear . وتمثل هذه

المنهجية المعرفة الأساسية والمخزنة في قاعدة المعرفة لنظام خبير expert system اسمه SDA والذي طوره الباحث لمساعدة المهندس الإنشائي خلال التحليل والتصميم لجدران القص الخرسانية المتصلة ثنائية البعد ضد قوى الزلازل . ويعمل هذا النظام الخبير على محطة حاسب SUN-workstation تحت نظام التشغيل UNIX . وقد استخدم هذا النظام الخبير لتحليل وتصميم مبنى عال يتكون من ١٠ طوابق من جدران القص من الخرسانة المسلحة المتصلة ببعضها البعض coupled shear walls تحت تأثير قوى الزلازل .

مقـــدمـــــة

إن مجال هندسة الزلازل يحتوى على عدة تخصصات من بينها تحليل وتقويم الخطر الزلزالي على المنشآت ، وكذلك التحليل والتصميم الإنشائي ضد قوى الزلازل والذي يعتبر من أوسع التخصصات فى مجال هندسة الزلازل . ويتعامل المصمم الإنشائي خلال مرحلة التحليل والتصميم مع معطيات ومفاهيم وظروف متعددة ، فعلى سبيل المثال تختلف حالة التصميم تحت تأثير قوى الرياح أو قوى الحمل الذاتي عنها في حالة قوى الزلازل . كما أن خاصية المطولية Ductility تعتبر من أهم خصائص تصميم المنشآت في مجال هندسة الزلازل .

إضافة إلى ذلك فإن التحليل والتصميم الإنشائي ضد قوى الزلازل يتصف بالاحتمالات المقترنة بحساب القوى الفعلية للزلازل وكذلك حساب القيمة المقربة للصلابة لكل عضو من أعضاء المنشأ إضافة إلى كيفية اختيار النماذج الرياضية المستعملة خلال التحليل الديناميكي للمنشأ وكيفية تمثيل وتقييم قوى الزلازل ، وكذلك مراعاة التفصيلات التنفيذية الصحيحة لحديد التسليح . ويحتاج التصميم المقاوم للزلازل إلى تقنيات حديثة تعتمد على استعمال الحاسب والتي توفر للمصمم الإنشائي مساعدة فى اتخاذ القرار خلال مراحل التحليل والتصميم للمنشأ وذلك بتزويده بالخبرة اللازمة في مجال هندسة الزلازل .

ويتطلب استعمال الحاسب في تحليل وتصميم المنشآت ضد قوى الزلازل إلى معرفة

وخبرة هندسية في مجال الهندسة الإنشائية والتنفيذية ، وكذلك لا بد من التأكد من أن هذه المعرفة تستعمل أو تطبق في المسار الصحيح حتى لا تحدث أخطاء يمكن أن تؤدى إلى كوارث أو أخطار بالنسبة للمنشأ وحياة الأشخاص . ولقد تطور تطبيق برامج الحاسب التقليدية في حل المسائل الإنشائية وخاصة المسائل التحليلية التي تعتمد على عمليات حسابية متكررة . إن معظم البرامج التقليدية المستخدمة إلى يومنا هذا (خاصة في مجال التصميم الإنشائي structural design) تعالج المسائل ذات الطبيعة الحسابية algorithmic وهى غير قادرة على أن تحل بفعالية المسائل التي تعتمد على الخبرة الهندسية وملكة التمييز engineering judgement . إضافة إلى ذلك فإن الاستعمال التقليدي للحاسب الآلي في مساعدة المهندس الإنشائي محصور فقط في إدخال البيانات لبرامج الحاسب وتحصيل وتحليل النتائج[١] . وباستعمال هذه الطريقة ، فإن برامج الحاسب تمثل معرفة ثابتة (غير ديناميكية) بحيث لا يمكن للمهندس أن يتفاعل معها ، كما أنها غير فعالة في مجال مسائل التصميم الإنشائي التي أصبحت أكثر تعقيدا .

إن النظم الخبيرة expert systems[٢] يمكن أن تتغلب على المشاكل التي تواجهها البرامج التقليدية . والفرق الأساسي بين النظم الخبيرة ولغات البرمجة التقليدية هو أن النظم الخبيرة يمكن أن تشرح طريقة حلها للمسائل ، بالإضافة إلى أن النظم الخبيرة تتصف بأن لها قاعدة معرفة knowledge base منفصلة عن وسيلة الاستدلال inference engine ، وهذا عكس البرامج التقليدية . كما يمكن للأنظمة الخبيرة أن تعطى أكثر من حل واحد للمسألة الواحدة ، أما في حالة البرامج التقليدية فإنها تعطى حلا واحدا فقط للمسألة . إن استعمال تقنيات الذكاء الاصطناعي والنظم الخبيرة لإنشاء برامج التحليل والتصميم الإنشائي سوف توفر الوصلة البينية user-interface التي تساعد في التفاعل مع هذه البرامج ودعم التصميم الإنشائي .

تكنولوجيا النظم الخبيرة Expert Systems

تعتبر النظم الخبيرة expert systems من أهم فروع الذكاء الاصطناعي وأكثرها

تطوراً[٢، ٣] . وقد بدأ البحث في النظم الخبيرة في أوائل سنة ١٩٥٠م في الولايات المتحدة الأمريكية وبعد ذلك بدأ يتطور هذا المجال إلى يومنا هذا حيث أصبحت شركات الحاسب العالمية تطور النظم الخبيرة التجارية التي أصبحت تستعمل تقريبا فى كل التخصصات بما فيها الطب والهندسة والجيولوجيا والطيران والتجارة وأسواق المال .

وهناك أكثر من تعريف للنظم الخبيرة ، وأهم هذه التعريفات هو تعريف Gasching[٤] والذي ينص على أن : « *النظام الخبير عبارة عن برنامج حاسب يحتوى على خبرة الإنسان Expertise ، وملكة التمييز Judgement ، وقواعد الاستنتاج Rules of thumb ، والبديهة Intuition ، وخبرات أخرى لتقديم نصائح وحلول فى تخصص أو مجال معين* » .

لقد طورت النظم الخبيرة لحل عدد كبير من المسائل وخاصة المسائل غير التنظيمية ill-structured problems (لا تعتمد على حل خوارزمي معين) مثل المسائل التصميمية التى تحتاج إلى الحلول التنقيبية heuristic solutions ، وهى أكثر المسائل بحيث تجد النظم الخبيرة تطبيقا لها . ويمكن اعتبار النظم الخبيرة كأداة تأييد أو دعم لمساعدة المهندسين أقل خبرة في حل المسائل في مجال معين وذلك بتزويدهم بالخبرة اللازمة لذلك . كما يمكن للنظم الخبيرة تخزين والمحافظة على الخبرة النادرة التى توجد عند عدد محدود من الخبراء والتي يكون من الصعب استشارتهم في أى لحظة عند اللزوم . وكانت أهم النظم الخبيرة التي طورت مبكرا في مجال الطب[٥] والجيولوجيا[١] . وهناك عدة تطبيقات للنظم الخبيرة في مجال الهندسة الإنشائية ويمكن للقارئ أن يطلع عليها في المصدر رقم [٦] .

طرق تحصيل المعرفة و الخبرة Knowledge acquisition

لبناء أى نظام خبير لا بد من توفر الخبرة والمعلومات التي تخزن على شكل صيغة معينة في قاعدة المعرفة . وتعتبر مرحلة تحصيل المعرفة والخبرة اللازمة لحل أى مسألة من أصعب وأطول مراحل تطوير النظام الخبير ، حيث إن هذه المرحلة تكون متواصلة من بداية تطوير النظام الخبير إلى مرحلة تقويم واختبار النظام الخبير . وتعرف هذه المرحلة

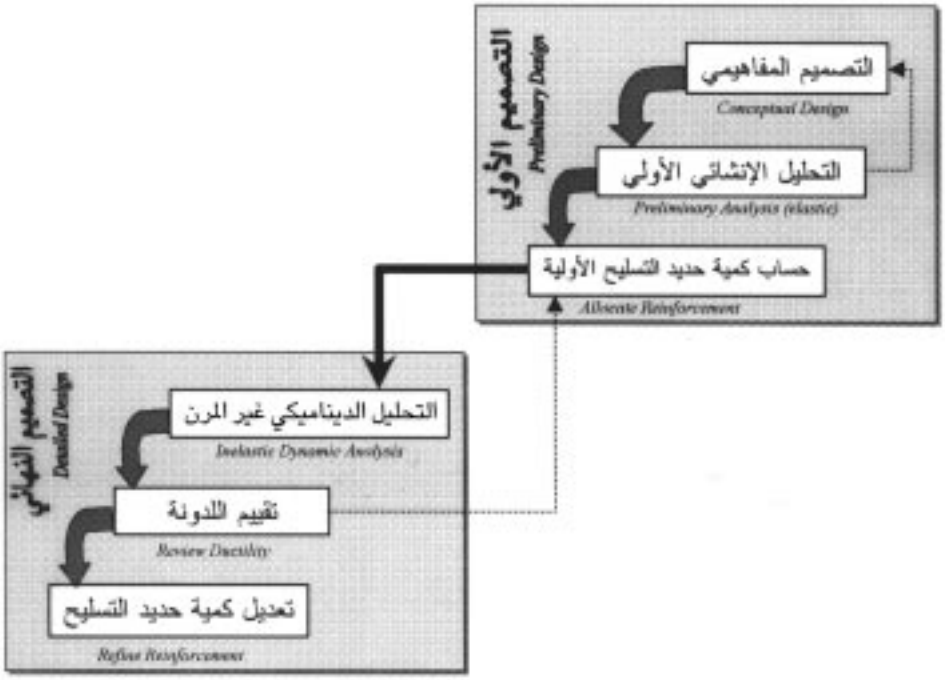
باسم « عنق الزجاجة » bottle-neck لتطوير النظام الخبير وذلك لصعوبتها . وهناك عدة طرق أو تقنيات لتحصيل المعرفة والخبرة من الخبراء والكتب ، ومن أهم طرق تحصيل المعرفة والخبرة هى : طريقة التحليل النصية ، طريقة الحوار مع الخبير ، وطريقة التحليل السلوكي[٧] .

وحيث إن الباحث له خلفية عن تصميم المباني الخرسانية ضد قوى الزلازل فقد تم استخدام طريقة التحليل النصية في حالة النظام SDA حيث تم تحصيل المعرفة الخاصة بالتصميم ضد قوى الزلازل من المواصفات UBC-91[١٣] ، CEB[١٤] ، Eurocode 8[١٥و١٦و١٧] . إضافة إلى ذلك فقد استعملت طريقة الحوار interview technique مع بعض المهندسين الإنشائيين الذين لهم خبرة في مجال تصميم الإنشاءات ضد قوى الزلازل وذلك لتحصيل التجربة الميدانية وملكة التمييز engineering judgment التي لا توجد في المراجع السابقة .

منهجية لتحليل وتصميم المباني الخرسانية العالية ضد قوى الزلازل

يعتمد النظام الخبير SDA[١٩] على منهجية لتحليل وتصميم المباني الخرسانية ذات الجدران المتصلة المسلحة ضد قوى الزلازل (في البعد الثنائي) 2D coupled shear walls ، ويبين الشكل رقم (١) مراحل هذه المنهجية وهى تنقسم إلى مرحلتين أساسيتين : مرحلة التصميم الأولي ومرحلة التصميم النهائي . تنقسم مرحلة التصميم الأولي إلى ثلاث خطوات وهى : التصميم المفاهيمي conceptual design ، التحليل الإنشائي الأولي preliminary analysis ، وحساب كمية حديد التسليح الأولية estimate initial reinforcement . تنقسم مرحلة التصميم النهائي إلى ثلاث خطوات وهى : التحليل الديناميكي غير المرن inelastic dynamic analysis ، حساب الممطولية ductility ، وتعديل كمية حديد التسليح refine reinforcement . في الحالة الراهنة يختصر النظام SDA على الجدران الخرسانية المتصلة ثنائية البعد 2D coupled shear walls .

يتم في مرحلة التصميم الأولي اختيار شكل الجدران الخرسانية وعمل التحليل الإنشائي المرن وذلك لمعرفة القيمة الأولية لكمية حديد التسليح لكل من الكمرات والجدران .

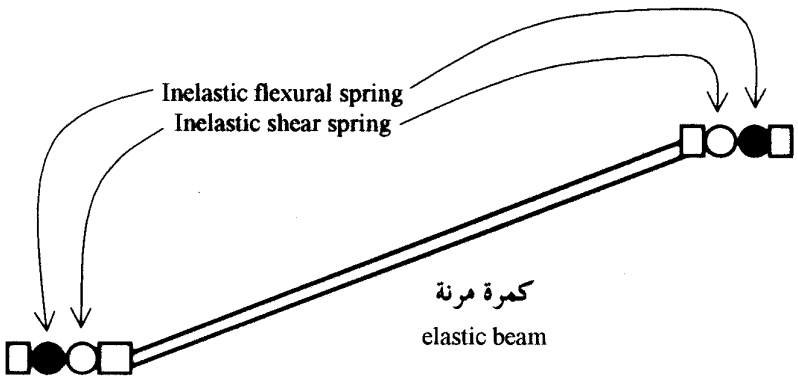


شكل (١). المراحل العامة لمنهجية التحليل وتصميم الجدران المتصلة ضد قوى الزلازل .

وتنقسم المرحلة الثانية إلى الخطوات التالية (انظر شكل ١) :

- **مرحلة التحليل الديناميكي غير المرن**

يتم في هذه المرحلة عمل التحليل الديناميكي غير المرن لحساب قيمة المطولية ductility باستعمال سجل زلزال حرج ، ويعتمد اختيار الزلزال الحرج على عدة عوامل أهمها : أمد وتردد وقوة الزلزال والفترة الزمنية للتردد الطبيعي للمبنى natural period[٨] . وقد استعمل برنامج DRAIN-2D[٩] لعمل التحليل الديناميكي غير المرن والذي يعتمد على طريقة العناصر المتناهية (أو العناصر المحدودة) finite element method بحيث يتم نمذجة الكمرات والجدران الخرسانية على شكل عناصر خطية كما هو مبين في الشكل رقم (٢) مع التعريف بخصائص العنصر الخطي مع الأخذ بعين الاعتبار السلوك المرن elastic behavior وغير المرن inelastic behavior لكل عضو تحت تأثير الزلزال . ويتمثل السلوك غير المرن باستخدام مفاصل لدنة plastic hinges على طرفي العنصر الخطي



شكل (٢). العنصر الخطي المستعمل في برنامج DRAIN-2D لتمثيل الكمرات والجدران للتحليل الديناميكي غير المرن[٩] .

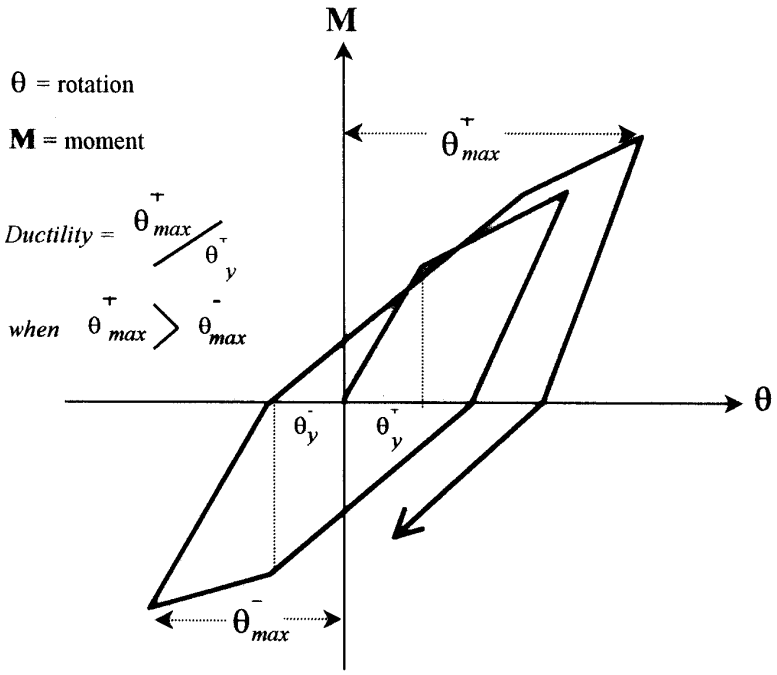
Computer idealization of a member

(يحدث السلوك غير المرن عندما تكون قيمة عزم الانحناء أكبر أو تساوي عزم الخضوع في العضو الإنشائي) . أى أن كل عضو إنشائي (كمرة أو جدار) ينمذج على شكل « كمرة مرنة elastic beam » ومفصلين كما هو مبين في الشكل (٢) . مع العلم أن برنامج DRAIN-2D يستعمل نموذج modified Takeda model[١٨] لتمثيل العلاقة ما بين عزم الانحناء وزاوية الدوران للأعضاء الخرسانية moment verses end rotations كما هو مبين في الشكل (٣) . ويتم إيجاد السلوك الديناميكي dynamic response للمبنى باستعمال طريقة التكامل الجزئي step-by-step integration method بافتراض في كل خطوة زمنية أن التسارع ثابت . ويمكن الاطلاع على تفاصيل هذه الطريقة في المصدر [٩] .

- **مرحلة تقييم المطولية**

الهدف من هذه المرحلة هو التأكد من أن التصميم يفي بشروط مقاومة قوى الزلازل بدون خلل في المبنى . وتعرف المطولية ductility بالعلاقة التالية[٨] :

$$\mu_r = \frac{\theta_{\max}}{\theta_y} = \frac{\theta_y + \theta_p}{\theta_y} = 1 + \frac{\theta_p}{\theta_y}$$



شكل (٣). تعريف ممطولية الدوران [٩] .
Definition of the rotational ductility

حيث إن :

μ_r : ممطولية الدوران rotational ductility للعضو الإنشائي (كمرة أو جدار)

θ_{max} : أقصى دوران فى نهاية العضو الإنشائي (الكمرة أو الجدار) maximum rotation

θ_p : دوران ما بعد مرحلة الخضوع plastic rotation

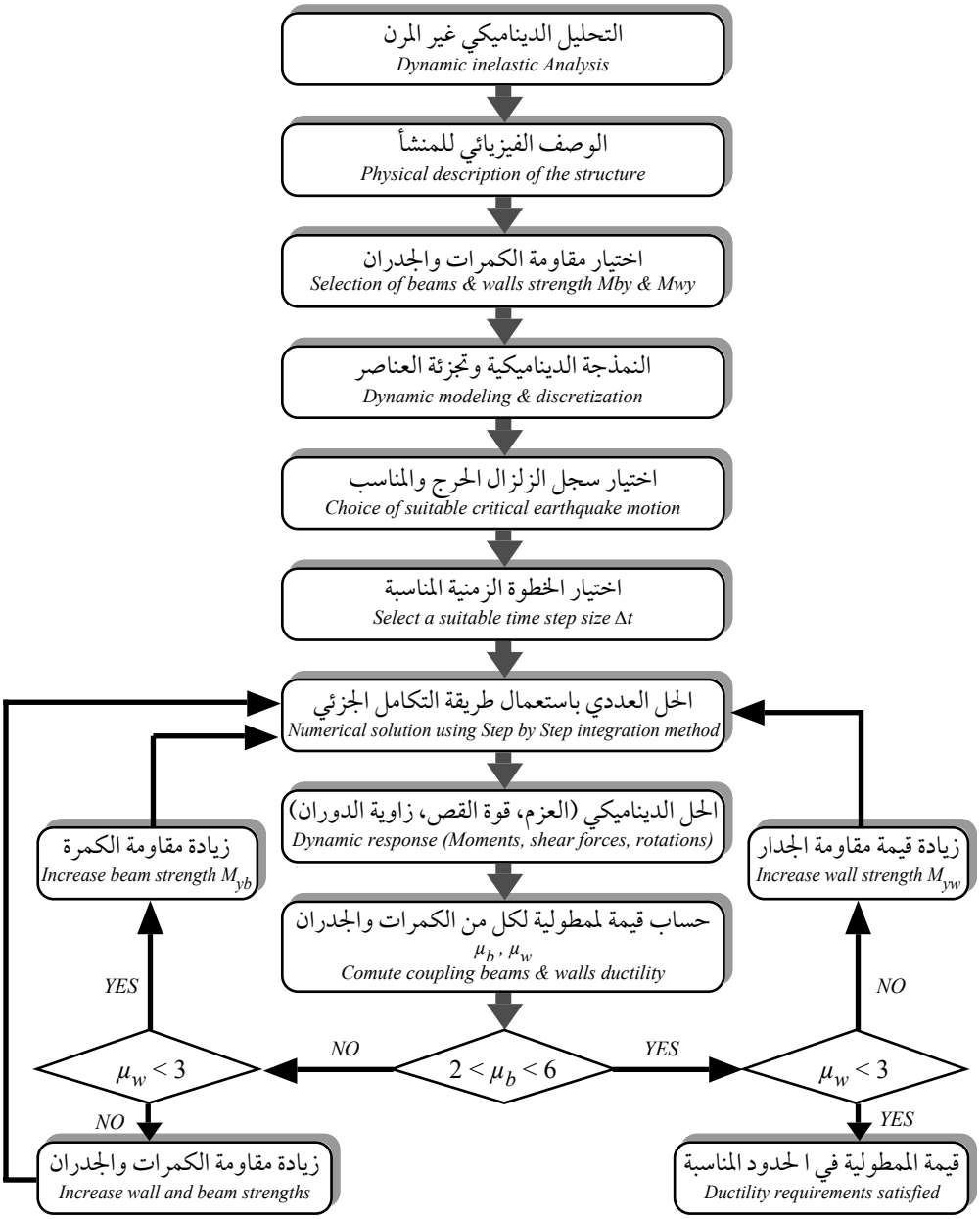
θ_y : دوران الخضوع yielding rotation

ويستحسن أن تكون القيمة العملية للممطولية μ_r محصورة مابين ٣ و ٦ بالنسبة للكمرات ، وما بين ١ و ٣ بالنسبة لقاعدة الجدار وذلك لتحقيق شروط الأمان في التصميم[١٠] .

- **مرحلة تعديل كمية حديد التسليح**

يتم في هذه المرحلة حساب كمية حديد التسليح (التي حسبت في مرحلة التصميم الأولي) لكل من الكمرات والجدران وذلك حسب شروط الممطولية . وفي حالة عدم تحقق شروط الممطولية فيتم تعديل كمية حديد التسليح .

ويبين الشكل رقم (٤) الخطوات العامة لطريقة التحليل الديناميكي غير المرنة للجدران الخرسانية المتصلة coupled shear walls .



شكل (٤). مخطط طريقة التحليل الديناميكي غير المرنة للجدران الخرسانية المتصلة .

نموذج لنظام خبير لتحليل وتصميم الجدران المتصلة ضد قوى الزلازل

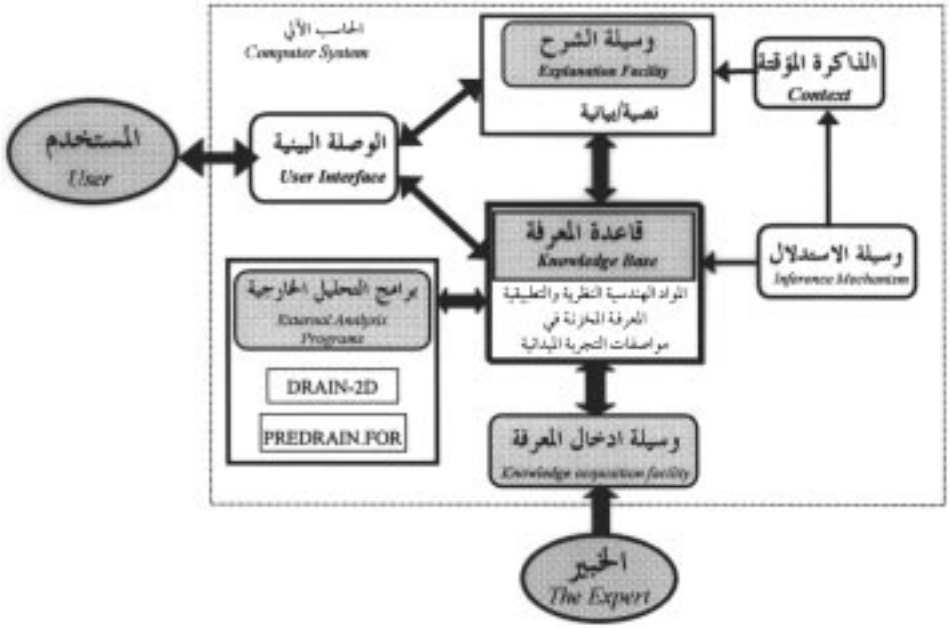
لقد طور هذا النظام الخبير ، واسمه SDA (Seismic Design Assistant) ، لمساعدة المهندس الإنشائي في تحليل وتصميم المباني الخرسانية ضد قوى الزلازل باستخدام طريقة التحليل الديناميكي غير المرنة inelastic dynamic analysis والمعرفة المدونة في المواصفات القياسية . وقد مثلت المعرفة الهندسية في هذا النظام باستخدام لغة المنطق (أو لغة الذكاء الاصطناعي) مثل القواعد الإنتاجية production rules ، الحقائق facts ، الفقرات clauses ، والقوالب frames . وقد استخدم لهذا الغرض برنامجا Quintec-Prolog[١١] وQuintec-Flex[١٢] ، أما بالنسبة للعمليات الحسابية فقد مثلت باستعمال لغة FORTRAN 77 . ويقوم النظام الخبير SDA بأداء الوظائف التالية :

- مساعدة المهندس على القيام بتحليل وتصميم مبنى ضد قوى الزلازل باستعمال المواصفات القياسية .
- مساعدة المهندس في التأكد من متطلبات تناظر المبنى symmetry conditions في المناطق المعرضة لقوى الزلازل في حالة استعمال الطريقة الستاتيكية equivalent force method[١٣] .
- التخمين في نوع معاملات التصميم لإيجاد قيمة قوى القص تحت تأثير الزلزال حسب المواصفات القياسية UBC-91[١٣] في حالة استعمال الطريقة الستاتيكية .
- التحليل الإنشائي باستعمال طرق التحليل الديناميكية غير المرنة inelastic analysis باستخدام برنامج العناصر المتناهية DRAIN-2D .

أهم مكونات النظام الخبير SDA موضحة في الشكل (٥) وهي كالتالي :

١) قاعدة المعرفة Knowledge base

تحتوي قاعدة المعرفة على مجموعة من القواعد rules والحقائق facts التي تمثل النظريات الإنشائية الخاصة بالتصميم ضد قوى الزلازل والمعرفة المبنية على التجربة . وقد قسمت المعرفة إلى عدة وحدات كل وحدة تهتم بجزء معين من التصميم ، وخزنت هذه المعرفة على صيغة قواعد إنتاجية production rules وقوالب frames . وقد استعمل فى النظام SDA القواعد الفوقية أو المعرفة الفوقية meta-rules وهي نوع من مستوى ثان



شكل (٥). مكونات النظام الخبير SDA .

للمعرفة ينظم المستوى الأول منها .

وفيما يلي مثال على استعمال القواعد الإنتاجية production rules في تحديد نوع حديد التسليح المستعمل في الكمرات :

Rule Beam_reinf1
IF Vbcr is the critical beam shear stress
AND min_cal_beam_shear_stress > Vbcr
THEN compute_diag_steel_area
BECAUSE
minum cal_beam_shear stress is > 0.1*beam_length*fcu**0.5/beam_height

يبين هذا المثال أنه عندما تكون قيمة قوة القص في الكمرة أكبر من قيمة قوة القص الحرجة Vbcr فإن البرنامج يقوم باستعمال حديد التسليح المائل diagonal steel في الكمرات .

ومثال على استعمال القوالب frames لتمثيل سجل الزلزال San Francisico :

frame input_motion.
frame San Francisco record is an input_motion;
default region is San Francisco and
default year is 1957 and
default month is 22 March and
default component is N45E and
default duration is 38.95 sec and
default peak_acceleration is 0.4586g.

٢) الذاكـرة المـؤقتـة Context or working memory

دور الذاكرة المؤقتة هو التخزين المؤقت للمعطيات الأولية والنتائج والحلول أثناء تشغيل النظام الخبير . والجزء الذي يتحكم في استعمال وتغيير المعلومات في الذاكرة المؤقتة هو وسيلة الاستدلال inference engine أو مترجم القواعد rule interpreter .

٣) وسيـلة الاستـدلال Inference engine

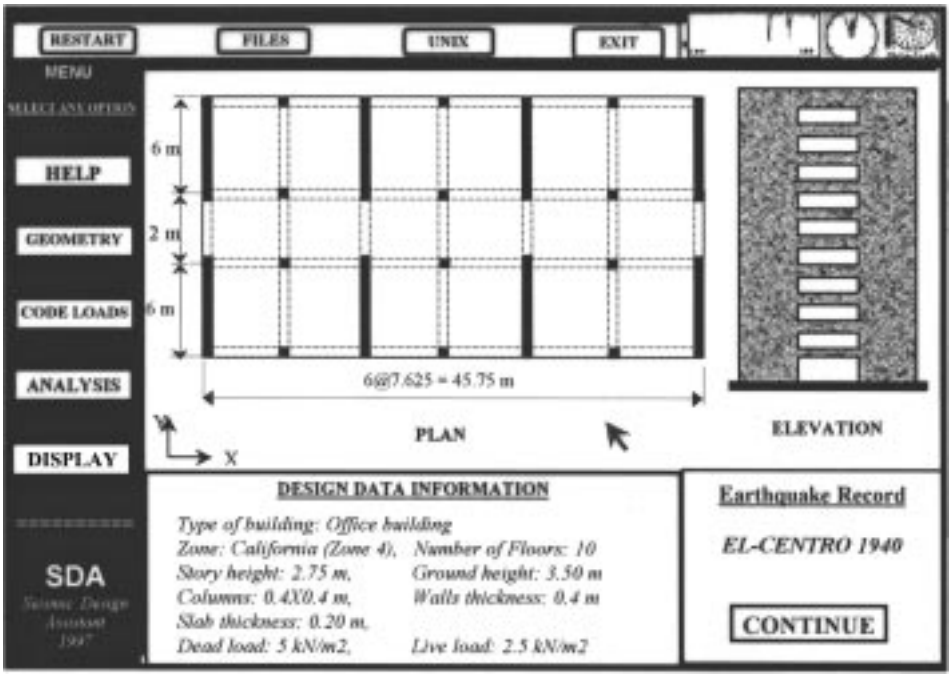
تقوم وسيلة الاستدلال بمعالجة قواعد الإنتاج الموجودة في قاعدة المعرفة وإضافة الحلول والمعلومات الجديدة إلى الذاكرة المؤقتة . بعبارة أخرى فإن وسيلة الاستدلال تقوم بإدارة نظام الخبير وهي منفصلة عن قاعدة المعرفة والذاكرة المؤقتة ، ولذلك فهي لا تعتمد على وظيفة النظام الخبير .

٤) وسيـلة إدخـال المعرفـة Knowledge acquisition facility

تلعب وسيلة إدخال المعرفة دور الوسيط بين الإنسان الخبير والنظام الخبير وهي تسمح وتسهل إدخال وتغيير المعرفة المخزنة في قاعدة المعرفة . ويتم إدخال المعرفة الجديدة في قاعدة المعرفة على صيغة قواعد إنتاجية production rules وقوالب frames وحقائق facts وذلك باستخدام برنامجي Quintec-Prolog[١١] وQuintec-Flex[١٢] ، ويمكن تغيير أو إضافة المعرفة بكل سهولة عن طريق قوائم إدخال المعرفة المتوفرة في البرنامجين السابقين .

٥) الوصـلة البينيـة للمستخـدم User interface

تعتبر الوصلة البينية للمستخدم user-interface كقناة وصل ما بين المستخدم والنظام الخبير وهى تسمح بالتفاعل بين الطرفين وتسهل من عملية التخاطب مع النظام الخبير . الوصلة البينية للنظام الخبيرSDA مبينة في الشكل (٦) . وقد روعي في إنشاء الوصلة



شكل (٦). واجهة النظام الخبير SDA تبين مختلف النوافذ والقوائم .

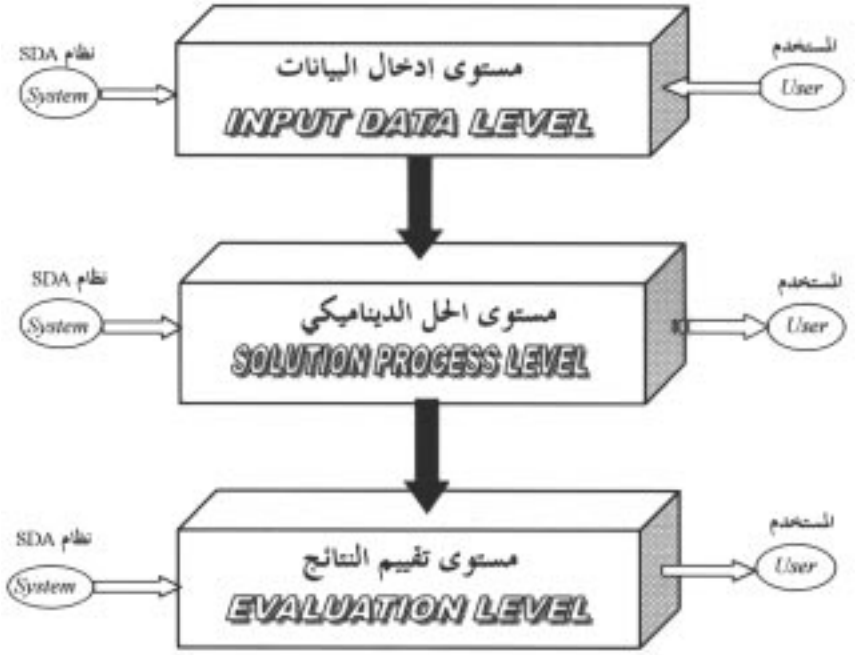
البينية للمستخدم العوامل التالية : نوع البرمجة المستعملة ، نوع الحاسب ، طبيعة النظام الخبير ، وطبيعة المسألة المراد حلها . وكذلك أخذ في الاعتبار نوع الأخطاء التي يمكن أن يرتكبها المستخدم وقد قسمت إلى نوعين : أخطاء برمجية وأخطاء هندسية . الأخطاء البرمجية هي التي تخص أوامر ووظائف النظام الخبير ، أما الأخطاء الهندسية فتخص النظريات الإنشائية الخاصة بطرق التحليل والتصميم ضد قوى الزلازل .

٦) وسيلة الشرح Explanation facility

تقوم وسيلة الشرح بشرح وتوضيح عملية التفكير وطرق الحل للمستخدم وعرض الاستدلالات التي يقوم بها النظام الخبير للتوصل إلى الحلول أو الاستنتاجات . ويجب على النظام الخبير أن يتمكن من توضيح لماذا يقوم بطرح سؤال معين لتعريف المستخدم بما يحاول القيام به ، وتفسير كيف توصل إلى استنتاجاته . وهذه الخاصية مهمة جدا حيث إنها تؤثر على مدى قبول المستخدم لحلول النظام الخبير . ويعمل النظام الخبير SDA على محطة حاسب SUN-workstation تحت نظام التشغيل UNIX .

وحـدة التحليـل الديناميـكي غير المرن nonlinear dynamic analysis module

تعتبر وحدة التحليل الديناميكي غير المرن أحد مركبات (أو وحدات) التحليل الإنشائي للنظام الخبير SDA ، وتقوم هذه الوحدة بالتحليل الديناميكي غير المرن للجدران الخرسانية المتصلة coupled shear walls تحت تأثير قوة الزلزال وباستعمال البرنامج الديناميكي DRAIN-2D الذي يعتمد على طريقة العناصر المتناهية (أو العناصر المحدودة) finite element method . ويتم الاتصال ما بين النظام الخبير SDA والبرنامج DRAIN-2D على ثلاثة مستويات كما هو موضح في الشكل (٧) ، وهي كالتالي :



شكل (٧). مستويات التحليل الديناميكي غير المرن .

مستـوى إدخـال البيانـات Input data level

يقوم المستخدم (المهندس) في هذا المستوى بإدخال البيانات الخاصة بالمبنى (الأبعاد الرئيسية ومعلومات أخرى) وكذلك اختيار أنسب سجل الزلزال من قائمة يعرضها النظام SDA ، ويقوم النظام SDA باختيار الخطوة الزمنية time step للاستعمال في التحليل الديناميكي غير المرن والتي تؤثر على دقة نتيجة التحليل . ويقوم النظام الخبير

SDA بتنسيق كل البيانات السابقة على شكل صيغة مطابقة مع البرنامج DRAIN-2D وتخزينها في ملف اسمه DRAIN.IN الذي يتم قراءته من طرف البرنامج DRAIN-2D ، ويحوي الملف DRAIN.IN على المعلومات التالية :

* عدد العقد وإحداثيات العقد (بالنسبة للجدران المتصلة coupled wall)
* عدد الكتل المكومة في العقد lumped masses at nodes
* أنواع الأعضاء الإنشائية number of group elements
* معلومات السجل الزلزالي earthquake record information
* معلومات عن الصلابة وعزم الخضوع لكل عضو stiffness & yielding moment

مستوى الحل الديناميكي Solution process level

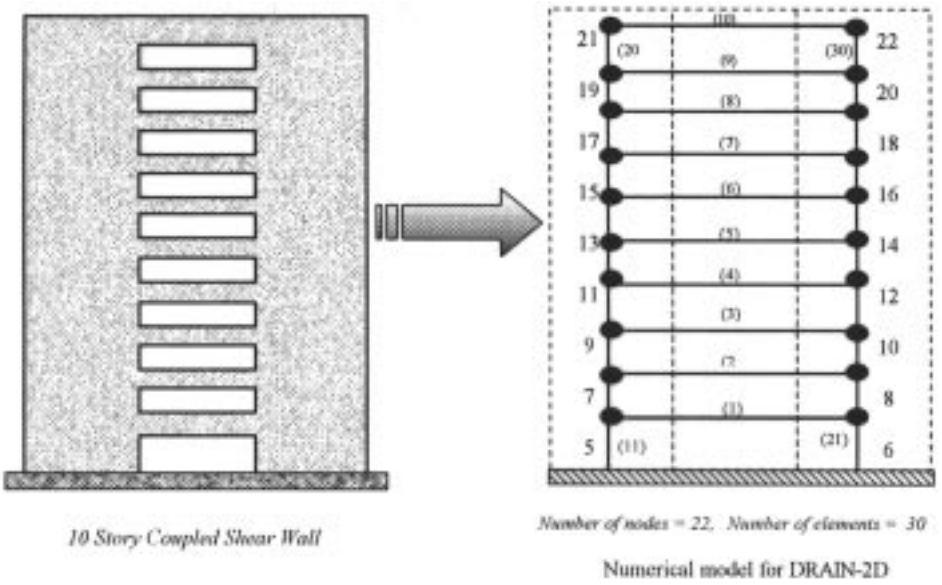
يقوم النظام الخبير SDA في هذا المستوى بتنفيذ البرنامج DRAIN-2D على هيئة معالجة خلفية background process . ويستعمل البرنامج DRAIN-2D النموذج الرياضي الموضح في الشكل رقم (٨) والذي أنشأ من طرف النظام الخبير ، وهو يمثل الكمرة والجدار على شكل عناصر خطية line elements . ويقوم النظام الخبير SDA خلال التحليل الديناميكي بعرض النتائج وتنبيه المستخدم بحالة التحليل الديناميكي (انظر شكل ٩) . كذلك يقوم النظام الخبير بتخزين نتائج التحليل في ملف DRAIN.OUT للاستخدام في تقييم النتائج وللطبع .

مستوى تقييم النتائج Evaluation level

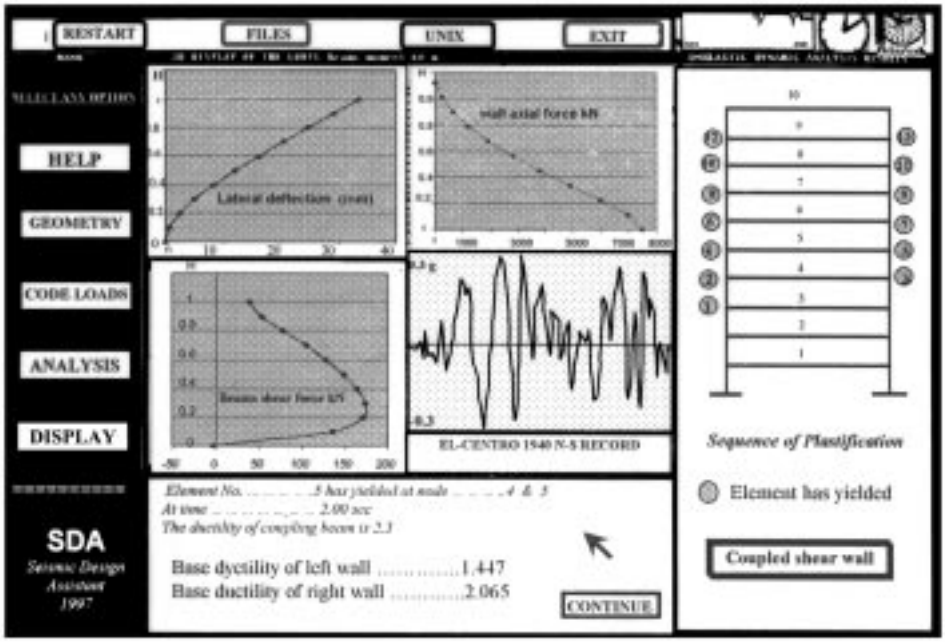
يتم في هذه المرحلة تحويل النتائج الكمية للتحليل الديناميكي إلى نتائج نوعية بحيث يفهمها المهندس ، حيث يقوم النظام الخبير بقراءة النتائج من الملف DRAIN.OUT وتحويلها إلى صيغة بيانية سهلة ومفهومة (انظر شكل ٩) . وأهم النتائج التي يعرضها ويشرحها النظام الخبير للمهندس تحتوي على :

* الانحراف الأفقي المرن وغير المرن elastic/inelastic lateral deflections
* قوى القص والقوى المحورية والعزم لكل من الكمرات والجدران
* الممطولية الدورانية rotational ductility لكل من الكمرات والجدران

وتعرض نتائج التحليل الديناميكي على فترات زمنية ثابتة متتالية خلال مدة تأثير الزلزال . كذلك يتم عرض تسلسل حدوث الخضوع yielding في الكمرات (طرفي



شكل (٨). النموذج الرياضي للجدران الخرسانية المتصلة للاستعمال في برنامج DRAIN-2D .



شكل (٩). نتائج التحليل الديناميكي غير المرن للمبنى باستعمال النظام SDA .

الكمرة الموصولة مع الجدران) والجدران . وفي حالة عدم تحقق متطلبات الممطولية بالنسبة للكمرات أو الجدران ، أو في حالة وقوع الخضوع yielding في أسفل الجدار قبل وقوعها في الكمرات فإن النظام الخبير يخبر المهندس بذلك ، وفي هذه الحالة يقوم النظام الخبير بإعادة التحليل الديناميكي باستعمال قيم جديدة بالنسبة لعزم الخضوع لكل من الكمرات والجدران إلى أن تتحقق متطلبات الممطولية (انظر شكل ٤) .

قوائم الوصلة البينية للنظام الخبير User-interface menus SDA

كما يظهر في الشكل رقم (٦) فإن واجهة النظام الخبير SDA مقسمة إلى خمس نوافذ ، حيث إن النافذة العليا واليسرى تحتويان على أهم قوائم menus النظام التي تؤدي وظائف معينة . ويتم إدخال البيانات النصية وعرض النتائج في النافذة الكبيرة في الوسط ، ويتم عرض النتائج بيانيا أو على شكل رسومات في النافذة اليمنى ، أما النافذة السفلى فتقوم بعرض الرسائل والإنذارات في حالة وقوع أخطاء من طرف المستخدم . وقد قسمت قوائم النظام الخبير إلى نوعين : قوائم تهتم بالخيارات الهندسية مثل التحليل والتصميم ضد قوى الزلازل ، وكذلك كيفية استعمال بنود المواصفات القياسية وإيجاد قيمة قوى الزلزال المؤثرة على المبنى . وقوائم تهتم بتشغيل والتعامل مع نوافذ النظام الخبير ومعالجة الملفات وتخزينها .

وأهم وظائف القوائم الرئيسية main menus للنظام الخبير هي : (انظر شكل ٦)

HELP : مساعدة المستخدم في فهم المصطلحات والنظريات الخاصة بالتحليل والتصميم ضد قوى الزلازل .

GEOMETRY CHECK : مساعدة المستخدم في التأكد من متطلبات تناظر المبنى للتصميم في حالة استعمال الطريقة الاستاتيكية static method حسب المواصفات القياسية .

CODE LOADS : تقييم قيمة القوى الأفقية المؤثرة على المبنى باستعمال الطريقة الاستاتيكية (حسب الكود UBC-٩١) .

ANALYSIS : التحليل المرن والديناميكي غير المرن للمباني الخرسانية باستعمال طريقة العناصر المتناهية .

DISPLAY : عرض نتائج التحليل والتصميم على صيغة أرقام ورسومات بيانية .
RESTART : تنظيف نوافذ النظام وإعادة المستخدم إلى أول تسلسل في عملية معينة .
FILES : إدارة الملفات والبيانات الخاصة بالتصميم الإنشائي .
UNIX : السماح للمستخدم للانتقال مؤقتا إلى نظام التشغيل UNIX .
EXIT : الخروج من البرنامج SDA نهائيا .

والهدف من استعمال هذا النوع من القوائم menus هو إعطاء الفرصة للمستخدم أن يشغل البرنامج SDA في أي مرحلة من مراحل التصميم الإنشائي بحيث يكون له نوع من السيطرة على سير سلوك البرنامج . إن استعمال طريقة القوائم لها فوائد أثناء عملية الممارسة حيث تسهل على المستخدم تذكر الأوامر بدون حفظها مقارنة مع الأوامر النصية ، وكذلك يمكن عرض عدد كبير من الأوامر في قائمة واحدة .

ويبين الملحق A مثالا على عملية الاستشارة بين المستخدم والنظام الخبير SDA خلال التحليل والتصميم الديناميكي لجدران مبنى عال من الخرسانة المسلحة يحتوي على جدران متصلة coupled walls ، وعدد الطوابق ١٠ .

الخـــلاصـــة

لقد عرض هذا البحث أهمية تطبيق تكنولوجيا النظم الخبيرة expert systems في التحليل والتصميم ضد قوى الزلازل . وتعتبر تكنولوجيا النظم الخبيرة أداة قوية لتخزين ومعالجة الكم الهائل من المعرفة والتجربة الهندسية لغرض استعمالها من طرف المهندسين الأقل تجربة . ويمكن للنظم الخبيرة أن تساعد المهندس في فهم واستعمال النظريات الإنشائية وكذلك تسهيل استعمال برامج الحاسب الأخرى . ومن جهة أخرى يمكن للنظم الخبيرة أن تلعب دور الوسيط بين برامج التحليل الديناميكي والمهندس بحيث تسهل من استخدام هذه البرامج . وبالإضافة يمكن استعمال تكنولوجيا النظم الخبيرة في جمع وإدارة المعرفة والخبرة الواسعة الخاصة بالتحليل والتصميم ضد قوى الزلازل بحيث تصبح جاهزة الاستعمال في المستقبل . وبما أن هناك عدة برامج للتحليل التي تعتمد على طريقة العناصر المتناهية ، فمن الأحسن تطوير الوصلة interface ما بين هذه البرامج والنظام الخبير .

كذلك تم في هذا البحث شرح لمنهجية التحليل والتصميم ضد قوى الزلازل وعرض نموذج لنظام خبير SDA يعتمد على هذه المنهجية لتصميم الجدران الخرسانية المتصلة ضد قوى الزلازل . ويساعد هذا النظام المهندس في التصميم التكراري إلى أن يتم تحقيق شروط الممطولية ductility . وقد تم إدماج المعرفة الرمزية symbolic process-ing مع طرق التحليل الديناميكي غير المرنة ليصبح النظام الخبير متينا من الناحيتين العملية والنظرية .

ويمكن تلخيص أهم فوائد استعمال النظام الخبير SDA في النقاط التالية :

- برمجة طرق التحليل والتصميم الديناميكي المرنة وغير المرنة تحت قوى الزلازل وتسهيل تقييم الممطولية بالنسبة للأعضاء الخرسانية .
- مساعدة المهندس الإنشائي في الاستعمال الكفء لبرامج العناصر المتناهية وكيفية إدخال البيانات وتقييم وتفسير نتائج التحليل الديناميكي وفي اتخاذ القرار الصحيح أثناء التصميم .
- التقليل من زمن إدخال البيانات وإعداد ملف الإدخال للبرنامج DRAIN-2D .
- مساعدة المهندس في تعلم وفهم التحليل الديناميكي غير المرن باستخدام وسائل الشرح البسيطة والربط بين المواد النظرية والنماذج الرياضية والفيزيائية ، إضافة إلى أن المهندس سيتفاعل مع النظام الخبير ويشارك في حل مسائل التصميم مما يؤدي إلى حفزه في التعلم الذاتي .

سوف يضاف مستقبلا إلى النظام الخبير طرق تحليل وتصميم بالنسبة لأنواع أخرى من المباني مثل الهياكل الإنشائية والجدران الخرسانية المستقلة frames & isolated shear walls ، وكذلك إمكانية إجراء تحليل ثلاثي الأبعاد بأخذ تأثير اللامركزية المطلوبة في تحليل المنشأ الفراغي تبعا لكودات التصميم الزلزالي المختلفة .

المـــراجـــــع

[١] **Souto, J. A.** and **Rodriguez, A.,** Prolog-Based Expert System for CAT in Chemical Engineering, in Computer Aided Training in Science and Technology, *Proceedings of the International Conference on Computer Aided Training in Science and Technology,* (**E. Onate** *et al.* Eds.), *Barcelona 9-13 July,* Centro International de Metodos Numericos en Ingenieria, 1990, 557-563.

[٢] **Waterman, D.A,** *A Guide to Expert Systems,* Addison-Wesley, Reading. MA, 1986.

[٣] **Mockler, R.J.** and **Dologite D. G.,** *An Introduction to Expert Systems,* Macmillan Publishing, New York, 1992.

[٤] **Gasching, J., Reboh R.** and **Reiter J.,** "Development of a Knowledge-Based System for Water Resources Problems", *SRI Project Report 1629,* SRI Stanford Research Institute, Stanford University, USA, August 1982.

[٥] **Shortliffe, E.H.,** *Computer-Based Medical Consultations: MYCIN,* American Elsevier, New York, 1976.

[٦] **عباس برايس** ، « تطبيقات النظم الخبيرة في مجال الهندسة الإنشائية : الحالة الراهنة » ، *مجلة جامعة الملك سعود* ، م١١ ، *العلوم الهندسية (١)* ، ص ص ١-٢٨ ، الرياض (١٤١٩هـ/ ١٩٩٩م) .

[٧] **Anna Hart,** "Knowledge Elicitation: Issues and Methods", *Journal of Computer-Aided Design,* Springer-Verlag, NY, Vol. **17,** No. 9 (1985), 455-561.

[٨] **Fintel, M.** and **Ghosh, S.K.,** Explicit Inelastic Dynamic Design Procedure for Aseismic Structures, *American Concrete Institute, ACI Journal,* March-April (1982) 110-119.

[٩] **Kanaan, A.E.** and **Powell, G.H.,** A General Purpose Computer Program for Inelastic Dynamic Response of Plane Structures, *Report No. EERC 73-22, University of California, Berkeley,* August 1975.

[١٠] **Paulay, T.,** *The design of reinforced concrete ductile shear walls for earthquake resistance,* Res. Rep., Dept of Civ. Engrg., Univ. of Canterbury, Christchurch, New Zealand, 1981.

[١١] **Quintec System Ltd,** *QUINTEC-PROLOG,* System Predicates, Unix version, UK, 1989.

[١٢] **Quintec System Ltd,** *QUINTEC-FLEX,* User Manual, Unix version, UK, 1989.

[١٣] **International Conference of Building Officials,** *Uniform Building Code* UBC, ICOB, Whittier, California, 1991.

[١٤] **Comite Euro-International du Beton** (CEB), *Seismic design of concrete structures,* Gower Technical Press, Ltd, London, 1987.

[١٥] **Eurocode No. 8,** *Structures in seismic regions- Design, Part 1,* General and buildings, Commission of the European communities, Luxembourg, 1989.

[١٦] **Penelis G.G.** and **Kappos A.J.,** *Earthquake-resistant concrete structures,* E&FN Spon, London, 1997.

[١٧] **Krinitzsky E.L., Gould J.P.** and **Edinger P.H.F.,** *Fundamentals of earthquake-resistant construction,* John Wiley & Sons, New York, 1993.

[١٨] **Takeda T., Sozen M.A.** and **Nielson N.N.,** "Reinforced concrete response to simulated earthquakes", *Journal of Structural Division,* ASCE, Vol. **96,** No. ST-12, December 1970, pp. 2557-2573.

[١٩] **Berrais, A.,** "A knowledge-based design tool to assist in preliminary seismic design", *PhD thesis, Civil Engineering Department, Leeds University,* UK, 1992.

Paulay, T., The Design of reinforced concrete ductile shear walls for earthquake resistance, *Research report,* Dept. of Civil Eng., University of Canterbury, Christchurch, New Zealand, Feb. 1981. [٢٠]

APPENDIX A

مثال على استشارة بين النظام الخبير والمستخدم Example of Consultation

Design steps

In this section the consultation process between the user and the system is described as both partner engage in the solution process of the problem. The plan of the building and design data information are shown in Fig. 6. As shown in this Figure, the resistance of the seismic forces are provided by columns in the X direction and by coupled shear walls in the Y direction. The coupled shear walls are assumed to have uniform thickness along the height of the building.

Part 1: Estimation of the code static base shear force and lateral static forces (based on the UBC 91 code).

User: *Chooses the* [CODE LOADS] *option from the Master menu) see Fig. 6). The* [CODE LOADS] *option is divided into three sub-options:* [Help], [Evaluate Base Shear Force], [Distribute Lateral Static Forces], *and* [EXIT]. *The user clicks on the* [Evaluate Base Shear Force] *sub-option.*

System: *informs the user about the start of the evaluation of the seismic factors* (Z,I,K,T,C,S *and* W) *based on the UBC 91 code. Also it asks the user if he would like to see the explanation for each step.*

User: *clicks on the* [YES] *option.*

System: *asks the user if the building is horizontally and vertically regular (a sub-menu is displayed to the user showing different options:* [YES], [NO], *or* [DO NOT KNOW].

User: *replies with* [YES].

System: *asks about the zone area where the building to be constructed, a sub-menu is displayed to the user showing the zones number and an option called* [Show Seismic Map of the USA] *for showing the USA zones map.*

User: *identifies the zone area of California and return back to the zones number sub-menu and clicks on the* [Zone No. 4] *option.*

System: *displays the zone factor Z=1.00 and asks the user about the type of occupancy by displaying a menu which includes:* [Hospital & Medical Facilities], [Fire & Police Station], [Municipal Government & Communication Centres] *and* [All Others].

User: *clicks on the* [All Others] *option.*

System: *displays the value of the importance factor I = 1.00. And asks the user about the type of arrangement by displaying a menu:* [All building framing systems except as classified below], [Buildings with box system], [Buildings with a dual bracing system], [Building with a ductile moment-resisting space frame], [Elevated tank plus full content], *and* [Structures other than building].

User: *clicks on the* [Building with Box system].

System: *displays the force factor K=1.33. And asks the user about the building height* Hs = ?

User: *enters 28.25 m.*

System: *advises the user that the building shall have ductile moment-resisting space frames ca-*

pable of resisting not less than 25% of the required seismic forces for the structure as a whole. The system then asks the user about the external dimensions (Lx, Ly) of the building in Both directions.

User: *enters Lx= 45.75 m and Ly = 14 m.*

System: *asks if the profile type of the soil is known, and diplays some profile types:* [Rock or other Soil Exhibiting Rockfile Characteristics], [Stable Deposit of Sand, Gravels and Stiff Clays], [Soft to Medium-Stiff Clays and Sands] *and* [Unknown] *options.*

User: *replies by clicking the* [Unknown] *option.*

System: *explains that in case of Ts is unknown and the profile type of soil is also unknown the site factor can be taken equal to: Sx = Sy = 1.5, and also computes the following values: The period of the period in both directions and CSx = 0.116 and CSy = 0.088*

(Where $C=\frac{1}{\sqrt{T}}$ *). The system then asks the user about the distance between two frames or walls in both directions (X and Y directions).*

User: *enters 7.625 m for X direction and 6.71 m for Y direction.*

System: *asks about the estimated values of dead load Gk and live load Qk in kN/m2.*

User: *enters 5 kN/m2 for Gk and 2.5 kN/m2 for Qk.*

System: *asks about the total floor number NF = ?*

User: *inputs NF=10.*

System: *displays to the user the computed base shear factors and te values of base static shear force for both direction of the building:*
Vx = 7213 kN / per frame or coupled wall
Vy = 2076 kN / per frame or coupled wall.
Also at this stage, the system informs the user that the structure period Ts is bigger than 0.7 s and less than 3.6 s, the top force should be estimated as fellows:
Ftx = 0.07TsVx = 263.36 kN in X direction
Fty = 0.07TsVy = 132.21 kN in Y direction.
The system asks the user about the story and ground heights of the building (Hx = ?, Hg =?).

User: *enters Hs = 2.75 m and Hg = 3.5 m.*

Part 2: Elastic analysis of the coupled shear wall using the Laminar method.

System: *informs the user about the interface to the FORTRAN program LATERAL.F to compute the lateral static forces at each floor level in both direction of the building. The output result from LATERAL.F program is displayed to the user and is stored in a file called LATERAL.OUT for further use.*

The system explains to the user that the static lateral forces found in this stage are to be used as input load data to analyze the coupled shear wall. Then it asks the user about the type of box system with displaying a menu containing the following box systems: [Frames and Shear Walls] *and* [Braced Frames].

User: *clicks on the* [Frames and Shear Walls] *option.*

System: *asks about any existence of coupled shear walls in the building?*

User: *replies with* [YES].

System: *asks for which coupled shear wall to design, a menu is displayed:* [Coupled wall lying

in X dir, or Coupled wall lying in Y dir.].

User: *clicks on the* [Explain] *option.*

System: *explains that for estimating the tributary area for dead and live loads.*

User: *clicks on the* [Coupled wall lying in Y dir.] *option.*

System: *asks about the position of coupled wall:* [Edge Coupled Wall, Internal Coupled wall].

User: *chooses* [Internal Coupled wall] *option.*

System: *asks the following information: number of bays in X and Y dir., max width of the bay in X and Y dir., clear span, depth, and width of the coupling beams. A passive graphical explanation is also associated with question.*

User: *enters 6 & 7.625 m for X direction and 3 & 6.71 m for Y direction.*

Lb = 1.83 m, Hb = 0.5 m and Wb = 0.356 m.

System: *Asks about the general conditions of the coupled walls by displaying the following menu:* [Walls without flanges at its end], [Wall with wide flanges at its ends], [Wall with narrow flanges at its ends], [Wall with one of its end connected to a transversal flange], *and* [See more details].

User: *clicks on the* [Walls without flanges at its ends] *option.*

System: *asks the following information: walls height, width, and thickness, and story height.*

User: *inputs Hw=56 m, Wd1=6.71 m, Wd2=6.71 m, Wt=0.356 m, Hs = 2.75 m, and NF = 10.*

System: *The 2D geometry of the coupled wall is displayed to the user to visualise it and check for any data errors.*

The system will execute the FORTRAN program LAMINAR.FOR. The system then informs the user about the termination of the running of the program and displays graphically the analysis results: lateral deflection, shear forces in beams and walls, axial forces and moments in walls, and elastic drift at each floor level.

The steel reinforcement for coupling beams and walls is estimated using the Capacity Design Procedure [20]. The user has the choice to choose the preferred bar diameter for beams and walls. The system displays graphically the steel configuration used in beams and walls.

Part 3. Nonlinear analysis of coupled shear walls

The following is a part of a consultation between the user and the system during the non-linear analysis/design of 10 story coupled shear wall. It assumed that the seismic forces are resisted only by the coupled walls in the short direction. For the purpose of presentation and paper space, the explanation and help screen are limited to two figures only (Figs. 6 and 9). The different data concerning the building (i.e. dimensions, height, dead and live load, etc) are already input to the system from previous session.

System: *The system asks the user about the type of box system with displaying a menu containing the following box systems:* [Frames and Shear Walls] *and* [Braced Frames].

User: *clicks on the* [Frames and Shear Walls] *option.*

System: *asks about any existence of coupled shear walls in the building?*

User: *replies with* [YES].

System: *asks about the position of coupled wall to be designed:* [Edge Coupled Wall, Internal Coupled wall].

User: *chooses* [Internal Coupled wall] *option.*

System: *asks the following information: number of bays in X and Y dir., max width of the bay in X and Y dir., clear span, depth, and width of the coupling beams. A passive graphical explanation is also associated with this question.*

User: *enters 6 & 7.625 m for X direction and 3 & 6.0 m for Y direction.*

Lb = 2.0 m, Hb = 0.5 m and Wb = 0.356 m.

System: *Asks about the general conditions of the coupled walls by displaying the following menu:* [Walls without flanges at its end], [Wall with wide flanges at its ends], [Wall with narrow flanges at its ends], *and* [Wall with one of its end connected to a transversal flange].

User: *Clicks on the* [Walls without flanges at its ends] *option.*

System: *Asks the following information: walls height, width, and thickness, and story height. A graphical explanation is also associated with this question.*

User: *Inputs Hw = 28.25 m, Wd1 = 6.0 m, Wd2 = 6.0 m, Wt = 0.356 m, Hs = 2.75 m, and NF = 10.*

System: *The 2D geometry of the building and coupled wall is displayed to the user to visualise it and check for any data errors (see Fig. 6).*

The system displays a set of earthquake input motions for the user to choose from.

User: *Chooses the EL-CENTRO 1940 N-S earthquake record.*

System: *Displays the EL-CENTRO 1940 N-S seismic record graphically as time-acceleration within a window (see Fig. 9).*

Informs the user of preparing the input data file for the program DRAIN-2D, then displays the input data file DRAIN.IN within a scrollable window.

The system executes the program DRAIN-2D and displays the intermediate stages (such as the formulation of the stiffness matrix) during the running process of the program.

The initial analysis results such as lateral deflections, beam moments, wall's bending moment, axial forces, and yielding of the beams and sequence of plastification are displayed to the user (see Fig. 9).

The system displays the element type, element number, node where it yields (Fig. 9). If the rotational ductility of any element exceeds a limited value then the system warns the user about it and provides recommendation.

Seismic Analysis and Design of 2-D Coupled Shear Wall Structures Using Expert Systems Technology

ABBES BERRAIS
Construction Engineering Department
Abha College of Technology, Abha, Saudi Arabia

ABSTRACT. The seismic analysis and design of reinforced concrete buildings can be considered a specialist field of study. This field involves requirements and concepts, such as ductility, which are not normally dealt with when designing for gravity or wind loads. In addition, seismic design is complicated somewhat by great uncertainties which surround the estimation of the appropriate design loading and the capacity of structural elements and connections. Additionally, uncertainties are associated with the selection of the mathematical models which represent the structure behavior; and the shape and intensity of the design earthquakes. Thus, the earthquake design requires extensive knowledge of conceptual design of structures, mathematical models and analysis assumptions used in structural analysis programs, and good element detailing.

This paper describes the seismic design methodology that is employed in an expert system SDA (Seismic Design Assistant). Also, it gives description of SDA including its architecture, knowledge representation, and external interface to finite element analysis programs. The system has been implemented on a SUN SPARC station using Quintec-Prolog, Quintec-Flex and FORTRAN 77. The expert system has been used to design a 10 story coupled shear wall subjected to earthquake input motion.