١- مقدمة عن الطرق المختلفة لتدعيم العناصر الإنشائية

هنالك العديد من التقنيات التي تم تطويرها واستخدامها في تدعيم المنشآت الخرسانية وعناصرها المختلفة، وسنستعرض فيما يلي الطرق المختلفة المستخدمة في تدعيم كلاً من الأعمدة والكمرات الخرسانية مع ذكر مجال استخدام وجوانب القصور في كل طريقة.

١- ١ طرق تدعيم الأعمدة الخرسانية

يعتبر التدعيم بعمل قميص خرساني من أكثر طرق تدعيم الأعمدة الخرسانية شيوعا واستخداما وهذه الطريقة تزيد من مقاومة الأعمدة للأحمال الراسية وتزيد من ممطوليتها [٤]. غير أن القميص الخرساني يحتاج إلي رفع أحمال العامود حتى انتهاء التدعيم ووصول خرسانة القميص إلي المقاومة المطلوبة بالإضافة إلي الحاجة لعمل وصلات قص بأعداد مناسبة ليعمل العامود الأصلي مع القميص المضاف كوحدة واحدة. وتمثل زيادة حجم ووزن القميص الخرساني وما ينتج عن ذلك من أحمال إضافية علي الأساسات أحد أهم مشاكل تلك الطريقة مما يصعب استخدامها في المباني العالية، بالإضافة إلي الإرباك الشديد والإعاقة في أداء المبني لوظيفته طوال مدة التدعيم، علاوة علي التأثير بالسلب على الشكل والأبعاد المعمارية للأعمدة والمنطقة المحيطة بها.

ومن طرق التدعيم المعروفة القميص الحديدي الذي يستخدم بدرجة محدودة لزيادة قدرة الأعمدة لمقاومة الأحمال الديناميكية حيث تعتبر تكلفة هذه الطريقة عالية نسبيا، كما يصعب استخدامه في تدعيم وصلات الأعمدة مع الكمرات الخرسانية [٥]. وفي الطريقتين السابقتين تتغير الخصائص الإنشائية للأعمدة بعد التدعيم نظرا لتغير جساءتها بصورة كبيرة مما يؤدي إلى تغيير تصرف هذه الأعمدة عند تعرضها للأحمال الاستاتيكية والديناميكية.

ومن طرق التدعيم الحديثة تحزيم الأعمدة الخرسانية باستخدام رقائق البوليمر المسلح بالياف الكربون أو الزجاج والذي يتم لصقه بمواد إيبوكسية لاحمة [٣]، [١٢]، [١٣]. وهذه الطريقة تعطي نتائج جيدة في حالة الأعمدة ذات القطاع الدائري أو ذات القطاع المربع بعد العمل علي استدارة أركانه، وتقل كفاءتها كلما زادت درجة استطالة قطاع العامود. ولكن تظل تكلفة هذه المواد عالية جدا مقارنة بالصلب بالإضافة الي ضعف مقاومة المواد الإيبوكسية اللاحمة للحرارة مما يتطلب تغطيتها بمواد مناسبة لمقاومة الإجهادات الحرارية. وحيث أن فكرة الطريقة تعتمد علي التحزيم الكامل للعامود فإنه لا يمكن استخدامها للأعمدة الخارجية التي يصعب الوصول الي جميع جوانبها والشكل ١ يوضح بعض الطرق السابق ذكرها.

١- ٢ طرق تدعيم الكمرات الخرسانية

من أكثر طرق تقوية الكمرات الخرسانية شيوعاً استخدام ألواح الصلب أو ألواح وشرائح البوليمر المسلح بالياف الكربون والزجاج التي يتم لصقها بمونة الإيبوكسي لزيادة مقاومة تلك الكمرات لإجهادات القص والعزم، حيث تلصق هذه الألواح أو الشرائح بطرق مختلفة علي الأماكن المعرضة لاجهادات عالية كما هو موضح في شكل ٢.

كما توجد طريقة أخري تثبت فيها ألواح وشرائح الصلب باستخدام المسامير بدلا من أو مع المواد اللاصقة ويوضح الشكل ٣ فكرة هذه الطريقة [١١].

وعند استخدام الطرق السابق ذكرها يلاحظ الآتي:

١. لا يتم تحزيم الكمرات الخرسانية وهو ما قد يكون مطلبا لزيادة ممطوليتها.
٢. عند وضع ألواح التدعيم أسفل الكمرة لتغطية إجهادات العزوم تتعرض تلك الألواح لإجهادات عالية عند أطرافها مما يؤدي إلى انفصالها عن الكمرة في هذه الأماكن.
٣. المواد الإيبوكسية المستخدمة في لصق الألواح ضعيفة المقاومة للحرارة.
٤. تحدث إجهادات عالية على الطبقة السطحية الملاصقة لألواح التقوية نتيجة لاختلاف الخصائص الميكانيكية للمواد الإيبوكسية اللاصقة عنها في الخرسانة.
٥. نتيجة لما سبق فإن الألواح المستخدمة في التدعيم لا تعمل مع القطاع الخرساني الأصلي كوحدة واحدة في مقاومتها للإجهادات المختلفة التي تتعرض لها مما يسبب مشاكل الانفصال سابقة الذكر.

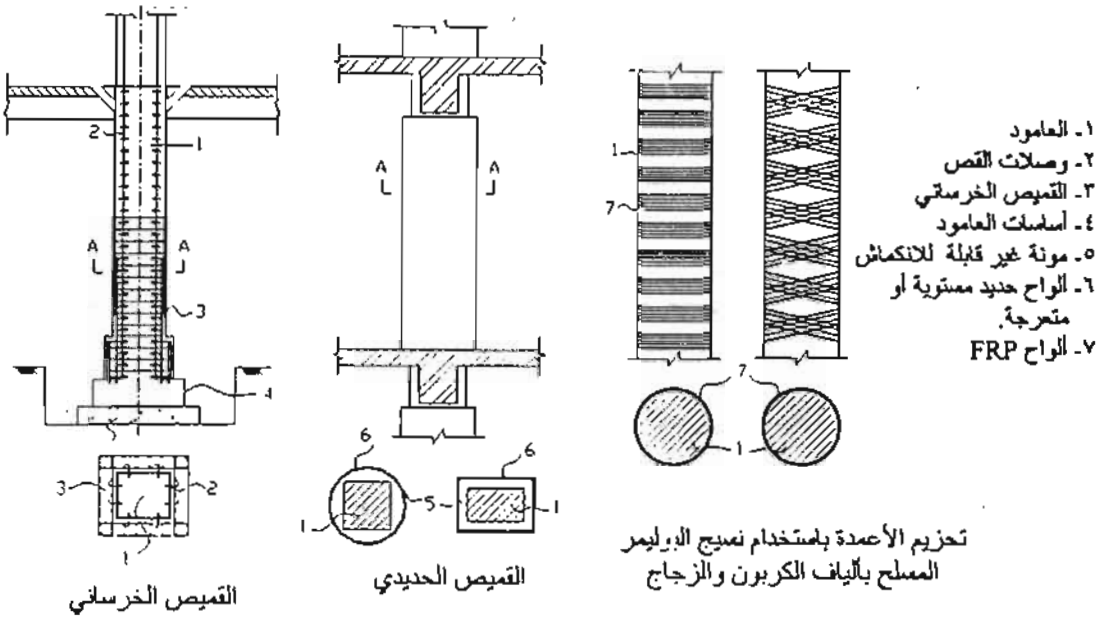
٢- الطريقة المقترحة

في هذا الجزء يتم إلقاء الضوء على طريقة التدعيم الميكانيكية المقترحة والتي تستخدم في تدعيم العناصر الإنشائية المختلفة للمنشآت الخرسانية مثل الأعمدة والكمرات والوصلات الإنشائية بإجراء ضغط خارجي مستمر عليها. وفيما يلي نستعرض كيفية استخدام هذه الطريقة في تدعيم كلاً من الأعمدة ثم الكمرات الخرسانية ووصلاتها ويجدر الإشارة إلى أن التوصيف التالي للطريقة فيه كثير من الاختصار والتحديد، ويمكن مراجعة التفصيلات في مراجع البحث من [٦] وحتى [١٠].

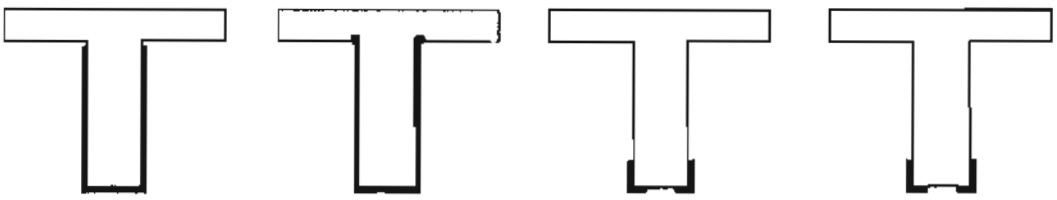
٢- ١ تدعيم الأعمدة الخرسانية

يمكن تلخيص الخطوات المطلوبة لتدعيم الأعمدة بالطريقة المقترحة في الآتي:

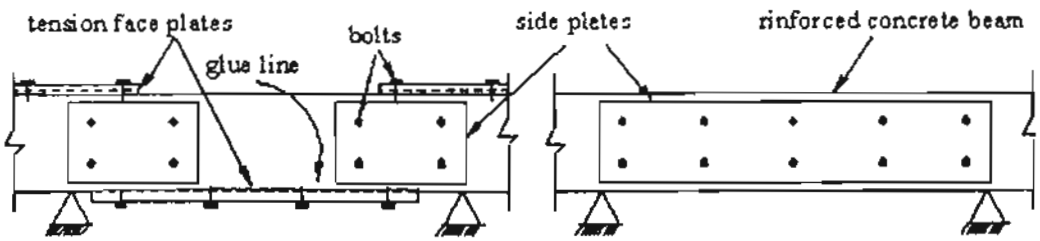
١. بعد إزالة طبقات البياض وتنظيف الأسطح من الأتربة وتسوية أركان العامود، يتم القيام بضغط محسوب على طول العنصر الخرساني المراد تدعيمه من خلال



شكل ١ الطرق المختلفة المستخدمة في تدعيم الأعمدة الخرسانية



شكل ٢ بعض الأشكال المختلفة لألواح تقوية الكمرات



شكل ٣ استخدام الألواح المثبتة بالمسامير في التقوية

الضغط علي زوايا موضوعة على اركان العامود أو الجزء المراد تدعيمه منه بواسطة فرم خاصة ثم التثبيت بشرائح أفقية بين هذه الزوايا أو تلك الألواح لاستكمال تحزيم العنصر تحزيما ضاغطا.

٢. في حالة الأعمدة مربعة القطاع يتم وضع زوايا على طول العنصر أو الجزء المراد تدعيمه ثم الضغط عليها وعلى القطاع الخرساني بواسطة فرم خاصة، بعد ذلك يتم التثبيت بين تلك الزوايا بواسطة شرائح أفقية يمكن أن تكون من الصلب ويكون ذلك التثبيت باللحام (شكل ٤).

أما في حالة الأعمدة مستطيلة القطاع والتي يزيد فيها طول القطاع إلى عرضه عن ١,٧ فقد يتطلب الأمر للوصول إلى مقاومة عالية للعامود- بالإضافة إلى ما ذكر في الأعمدة مربعة القطاع - عمل ضغط على الاتجاه الطويل للقطاع من خلال ثقوب نافذة بالعامود على صف أو اكثر علي طول العامود ثم إدخال فتائل مقلوظة من صلب عالي المقاومة تمر خلال تلك الثقوب وكذلك تمر خلال شرائح رأسية بها ثقوب متطابقة معها ويتم الضغط على تلك الشرائح ومن تحتها جسم العامود الخرساني من خلال صواميل يتم لفها إلى الداخل على الأسياخ المقلوظة لتضغط على الشرائح الرأسية ومن تحتها العامود ويكون قيمة الضغط وعرض الشرائح وسمكها طبقا للتصميم المسبق للحصول علي المقاومة المطلوبة. وكلما زادت درجة استطالة القطاع كانت هناك حاجة إلى عدد متكرر من الشرائح الرأسية والثقوب لتوزيع الضغط على مساحات أوسع ويمكن وضع لوحين رقيقين تحت تلك الشرائح الرأسية كما في الشكل ٥ نماذج أعمدة أحد الفنادق التي تم دراستها بمدينة الغردقة بمصر.

ولمعرفة جدوى الطريقة في تدعيم الأعمدة الخرسانية أجريت العديد من التجارب المعملية على أعمدة ذات قطاعات وابعاد مختلفة للزوايا والشرائح الأفقية وعددها وقد أظهرت تلك التجارب زيادة مقاومة الأعمدة المقواة بصورة كبيرة وزيادة ممطوليتها بدون زيادة ملموسة في حجم أو وزن تلك الأعمدة وتلك النتائج يمكن مراجعتها في الأبحاث [٨] ، [١٠].

٢- ٢ تدعيم الكمرات الخرسانية ووصلاتها

تعتمد هذه الطريقة المبتكرة على تثبيت الألواح والزوايا التي تستخدم في عملية تقوية الكمرات ووصلات الكمرات مع الأعمدة وتدعيمها بالضغط عليها مع القطاع الخرساني باجهادات دائمة في اتجاهين متعامدين مع محور الكمرة أو الوصلة بواسطة فرم خاصة ثم المحافظة على هذا الضغط بالتثبيت بين الألواح والزوايا طبقا لنوع الكمرة أو الوصلة ثم فك الفرم الضاغطة التي استخدمت في عملية الضغط لتستخدم في أعمال أخرى. وللحصول على ذلك يتم وضع تسليح خارجي من زوايا وألواح في أماكن محددة لمقاومة الانحناء أو القص والضغط عليها باستخدام الفرم الخاصة المذكورة سابقا ثم تثبيت التسليح الخارجي المضغوط باستخدام خوص و/أو ألواح. ويمكن من خلال الطريقة المقترحة مضاعفة مقاومة الكمرات الخرسانية للانحناء و القص وزيادة ممطوليتها بصورة كبيرة بدون استخدام أية مواد لاحمة بين الخرسانة وعناصر التدعيم المستخدمة وتتغلب هذه الطريقة علي مشاكل انفصال الألواح الموجودة بالطرق التقليدية التي تستخدم الإيبوكسي في تثبيت تلك الألواح سواء كانت افقية أم راسية [٦]، [٧].

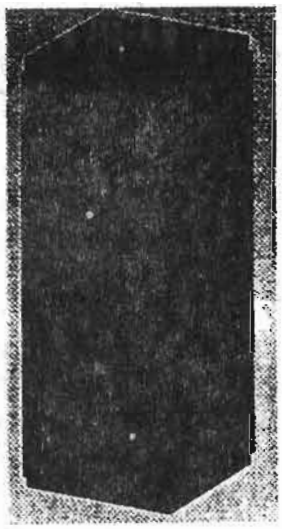
أولا: الكمرات البسيطة

والمقصود بالكمرة البسيطة هنا الكمرة المحملة على ركيزتين فقط، وفيما يلي خطوات تدعيم الكمرة البسيطة لزيادة مقاومتها لاجهادات القص والعزم :

١. بعد تجهيز الكمرة طبقا لحالتها بازالة البياض والخرسانة المفتتة وأي زيادات على السطح بتسويته وصنفرة الحديد وحقن الشروخ يتم تثبيت ألواح راسية علي جانبي الكمرة لزيادة مقاومتها للقص وذلك عن طريق عمل ثقوب نافذة راسية في البلاطة على جانب الكمرة وثقوب أخري على طول الكمرة في المناطق المراد تدعيمها للقص وذلك أسفل البلاطة مباشرة بمسافة تسمح بإدخال المسامير وربط الصواميل التي ستستخدم في عملية التقوية ويتم إدخال أسياخ من الصلب المقلوظة خلال الثقوب الموجودة بالكمرة ثم وضع قطع زوايا بنفس طول ألواح مقاومة القص علي زوايا التقاء البلاطة مع الكمرة لتكون ألواح القص بين الزوايا وسطح الكمرة. ثم الضغط علي الزوايا ومن تحتها الألواح بواسطة صواميل يتم لفها إلى الداخل بعزم محسوب مسبقا طبقا للتصميم (شكل ٦).
٢. يتم وضع لوح في باطن الكمرة لمقاومة إجهادات العزوم بين بطن الكمرة وزاويتين يوضعان على زوايا الكمرة السفلية علي أن تكون رجلي الزاويتين الرأسيتين خارج الألواح الخاصة بمقاومة القص.
٣. يتم الضغط راسيا وأفقيا علي قطاع الكمرة من خلال فرم خاصة والضغط الحاصل علي قطاع الكمرة يمثل في الشكل ٧ كما أن الضغط المحسوب مسبقا يتم من خلال فرم خاصة تقوم بإجراء الضغط المطلوب كما في الشكل ٨.
٤. ثم يتم التثبيت بين الزوايا بواسطة شرائح من الصلب يتم لحامها بين تلك الزوايا كما في الشكل ٩.

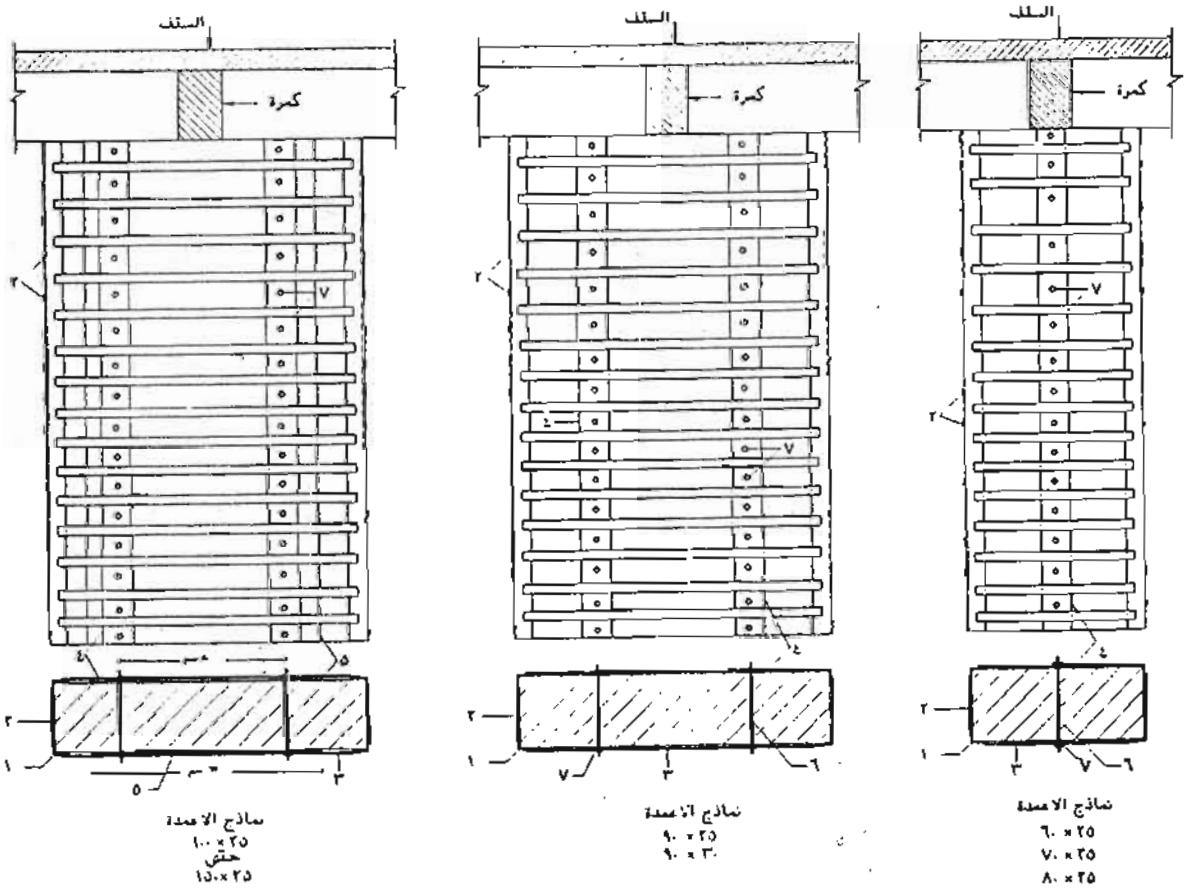
ما تم استخدامه في الطريقة السابقة هو ثلاث أزواج من قطع الزوايا على الأركان السفلية للكمرة ومثلهم كزوايا مساعدة بين الكمرة والبلاطة وما يجب التأكيد عليه هو أنه يمكن استخدام زوجين فقط بدلا من ثلاثة أزواج ويوضع الزوج الأول قرب الركيزة من ناحية الشمال والآخر قربها من ناحية اليمين أي مثل ما هو موضح بدون الزوج الموجود

العامود أثناء التدعيم وبعد إجراء الضغط الخارجي عليه



العامود بعد إجراء الضغط وتثبيته وإزالة الفرم

شكل ٤ العامود أثناء وبعد التدعيم



١ زوايا رأسية، ٢،٣ شرائح أفقية لتثبيت الزوايا، ٤ شرائح رأسية مضغوطة، ٥ ألواح رفيعة، ٦ قتائل أفقية مشدودة، ٧ صواميل

شكل ٥ نماذج لدراسة تدعيم أعمدة مختلفة القطاعات لأحد الفنادق بالغردقة بمصر

بالوسط سواء الزوج الموضوع على أركان الكمرة من أسفل أو الزوج الموضوع بين البلاطة والكمرة وجميع الخطوات كما هي موضحة في تفاصيل الكمرة البسيطة.

ويجب الإشارة أيضا أنه يمكن استخدام زوج واحد من الزوايا على طول الأركان السفلية للكمرة وآخر بين الكمرة والبلاطة بدلا من الثلاثة أزواج من قطع الزوايا على الأركان السفلية للكمرة ومثلهم من الثلاثة أزواج من قطع الزوايا المساعدة المستخدمة في الخطوات السابقة لتدعيم الكمرة البسيطة مع أو بدون الألواح المقاومة للقص والعزم والتدعيم في هذه الحالة يتم طبقا للخطوات السابقة ولكن عملية الضغط تتم على طول الكمرة وفى اتجاهين متعامدين مع محورها وليس في أماكن محددة وهذه الحالة تؤدي إلي مضاعفة جساءة الكمرة وكذلك زيادة مقاومتها بصورة كبيرة لمقاومة القص والعزم وزيادة ممطولية الكمرة المدعمة كما في الشكل ١٠.

ثانيا: الكمرات المتصلة

في حالة الكمرات المتصلة المحملة على أكثر من ركيزتين فإن الاختلاف الرئيسي عما سبق توضيحه في الكمرة البسيطة هو المنطقة المحيطة بالركيزة الداخلية ذلك لأنها تتعرض لعزوم سالبة أعلاها بالإضافة إلى منطقة القص حولها. ومن هنا فإن ما يهمنا في طريقة تقوية الكمرات المتصلة هو تقوية الوصلة الداخلية حيث أن تقوية منطقة العزم الموجب ذكرت في طريقة تدعيم الكمرات البسيطة. ولذلك فطريقة تقوية الكمرات المتصلة تتم بإضافة ألواح طولية أعلى الكمرة تحت الخوص الأفقية في منطقة العزم السالب وتقطع هذه الألواح بأطوال تغطى المسافة المطلوبة لمقاومة العزم السالب المطلوب تقوية الكمرة فيه وذلك أعلى الكمرة وعلى يمين وشمال الركيزة، علما بأن تلك الألواح يتم الضغط عليها كما تم في الكمرة البسيطة. كذلك يمكن وضع ألواح رأسية على جانبي الكمرة في منطقة الركيزة، ويمكن إيجاز الطريقة فيما يلي:

١. بعد تجهيز الكمرة بإزالة البياض والخرسانة المفتتة وأي زيادات على السطح بتسويته وصنفرة الحديد وحقن الشروخ يتم عمل ثقوب في البلاطة على جانب الكمرة طبقا للتصميم المسبق وشكل الفارمة المستخدمة وكذلك على طول الكمرة في المناطق المراد تدعيمها في القص والعزم السالب وذلك أسفل البلاطة مباشرة بمسافة تسمح بإدخال المسامير وربط الصواميل التي ستستخدم في عملية التقوية.
٢. تجهيز الزوايا والألواح التي ستستخدم في عملية التقوية بالأطوال المطلوبة ووضعها في أماكنها كما في شكل ١١، وفى الشكل اللوح المستخدم لمقاومة القص وعزم الانحناء ٣-١ والألواح المستخدمة لمقاومة عزوم الانحناء الموجبة ٣-٣ والزاوية المساعدة ٣-٢ والخوص المساعدة ٣-٤. الزاوية التي بين البلاطة والكمرة ٣-٢ وكذلك الألواح ٣-١ بها ثقوب تتطابق مع تلك التي تم عملها بجسم الكمرة والبلاطة.
٣. يتم وضع فارمة الضغط على الزوايا والألواح التي تم وضعها في الخطوة السابقة والقيام بعملية الضغط كما في الكمرة البسيطة.
٤. يتم الضغط بالقيم المطلوبة في الاتجاه الأفقي وذلك بلف الصواميل الموضوعة في الفارمة إلى الداخل باستخدام مفتاح العزم بقيمة العزوم المطلوبة وبالتالي يتم الضغط على الزوايا السفلية ٣-٣ وتحتها الألواح الخاصة بالقص كما يتم الضغط على الزوايا ٣-٢ وتحتها ألواح القص أيضا وبالتالي تتعرض الألواح وتحتها الكمرة إلى ضغط أفقي.
٥. يتم الضغط بالقيم المطلوبة في الاتجاه الرأسي وذلك بلف الصواميل الموضوعة من خلال الفارمة إلى الداخل باستخدام مفتاح العزم كما يتم لف الصواميل فوق الشريحة الأفقية الخاصة بمقاومة العزم السالب. والشرائح في هذه الحالة برقم ٥-٣ أعلى البلاطة وبالتالي يتم الضغط على الزوايا السفلية وكذلك شريحة العزم السالب ثم يتم ربط الصواميل بالعزم المطلوب على المسامير الرأسية ٤-٣ بالصواميل ٤- ٥ بلفها إلى أعلى باتجاه الربط وبالتالي يتم الضغط على القطاع الخرساني إلى أعلى.
٦. يتم بعد ذلك استكمال الخطوات كما تم شرحه في الكمرة البسيطة وبعد تمام التدعيم تصبح الركيزة المدعمة كما بالشكل ١٢.

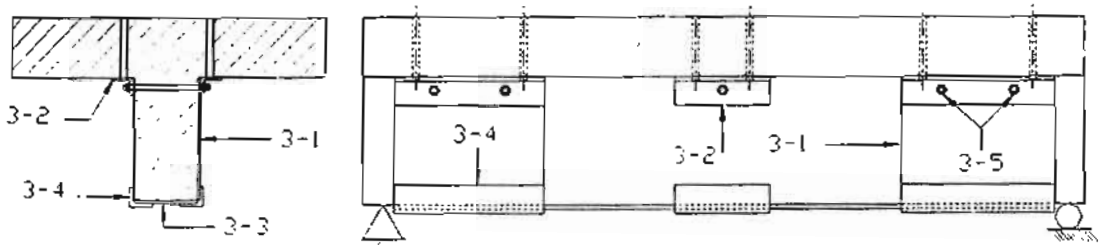
ويمكن استبدال ألواح الصلب المستخدمة في التقوية بالطريقة المقترحة بألواح من البوليمر المسلح بألياف الكربون أو الزجاج (FRP) وذلك بأن تكون الألواح المقاومة للقص والعزم من هذه المواد ثم تجرى نفس الخطوات السابقة لتدعيم الكمرات البسيطة والكمرات المتصلة.

٣- حالات الدراسة

نعرض في هذا الجزء مجموعة من المنشآت الخرسانية التي تم دراستها واختيار الطريقة المقترحة لتدعيمها، كما نعرض أيضا لمنشآت أخري تم دراستها وتدعيمها فعلا باستخدام ذات الطريقة مع عرض بعض تفاصيل عملية التدعيم وصور فوتوغرافية توضح تقدم عملية التدعيم .

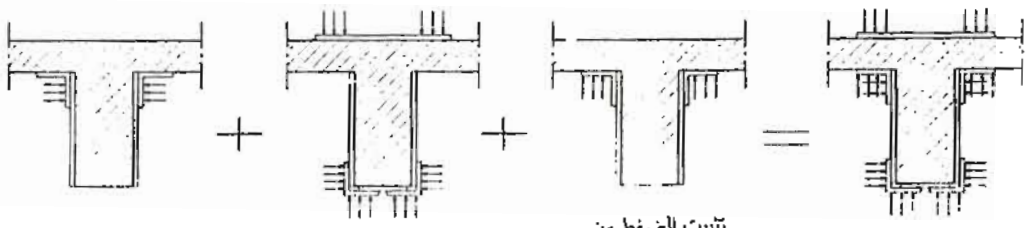
٣-١ تدعيم مبني أوليمبيك جروب

في هذا الجزء نعرض لحالة دراسة لمنشأ هيكلي من الخرسانة المسلحة تابع لشركة أوليمبيك جروب بمصر، ولرغبة الشركة في إعادة تأهيله ليستخدم كمجمع إداري للشركة وبعد دراسة وفحص المبني وعمل الاختبارات الحقلية والمعملية اللازمة، اتضح أن المقاومة الفعلية لخرسانة أعمدة المنشأ تقل عن المقاومة التصميمية لأغلب تلك الأعمدة علاوة علي زيادة الأحمال الحية الناتجة عن تغيير استخدام المبني. وقد كانت إحدي البدائل لتدعيم

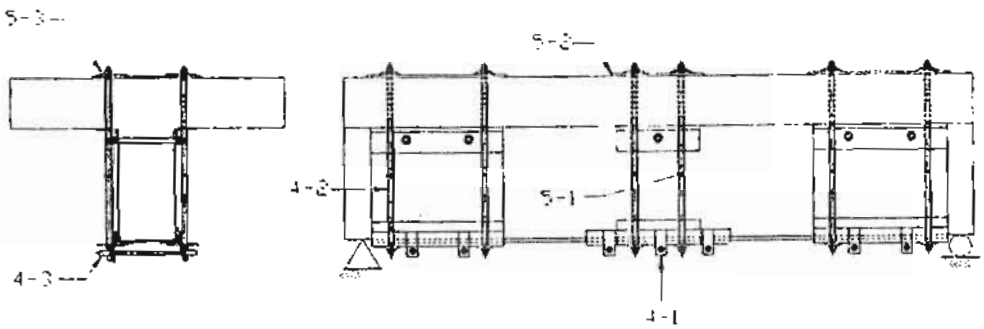


٣-١ ألواح لمقاومة إجهادات القص، ٣-٣ لوح لمقاومة إجهادات العزم، ٣-٢، ٣-٤ زوايا التحزيم، ٣-٥ أسياخ تستخدم في إجراء الضغط

شكل ٦ مسقط أمامي وقطاع لكمرة عليها ألواح لمقاومة إجهادات القص والعزم وزوايا التحزيم والأسياخ الخاصة بإجراء الضغط

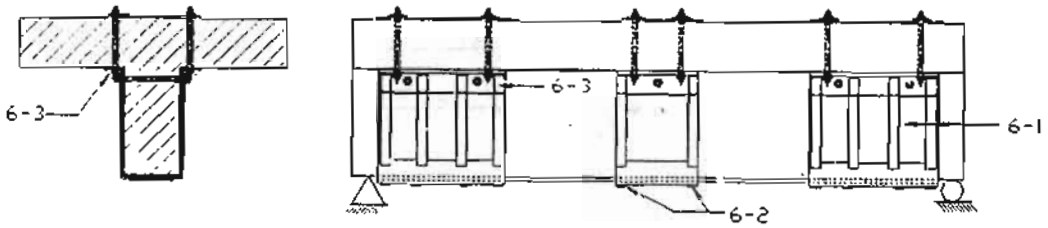


شكل ٧ خطوات تطبيق الضغط الجانبي علي قطاع الكمرات الخرسانية



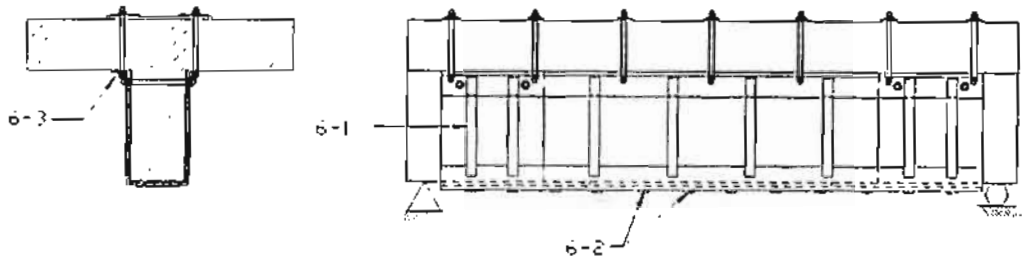
٤-١ فارمة ضغط، ٤-٢ أسياخ مقلوظة رأسية لإيجاد ضغط رأسي من خلالها، ٤-٣ أسياخ مقلوظة أفقية لإيجاد ضغط أفقي من خلالها، ٤-٥ صواميل، ٥-٢ شرائح لتثبيت التسليح والمحافظة على الضغط

شكل ٨ مسقط أفقي وقطاع في كمرة أثناء الضغط عليها في الاتجاهين الأفقي والرأسي



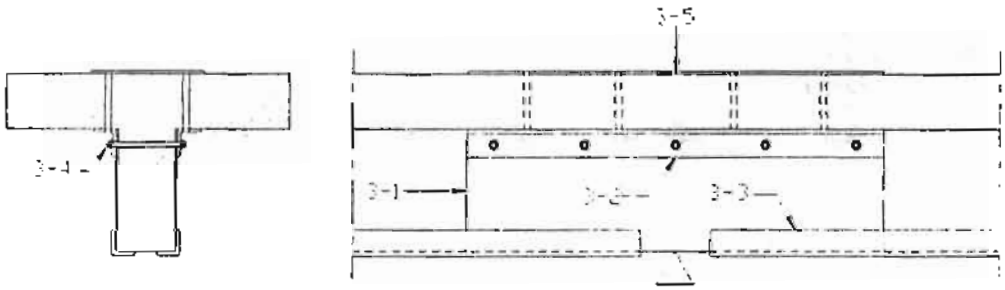
٦-١، ٦-٢ شرائح رأسية وأفقية للتحزيم والتثبيت ونقل الأحمال، ٦-٣ شرائح لمقاومة تبجع الزوايا

شكل ٩ مسقط أفقي وقطاع لكمرة بعد إجراء الضغط الخارجي المحسوب وتثبيت تسليح التدعيم بتحزيمه حول الكمرة، وفي الشكل تم إزالة فارمة الضغط.



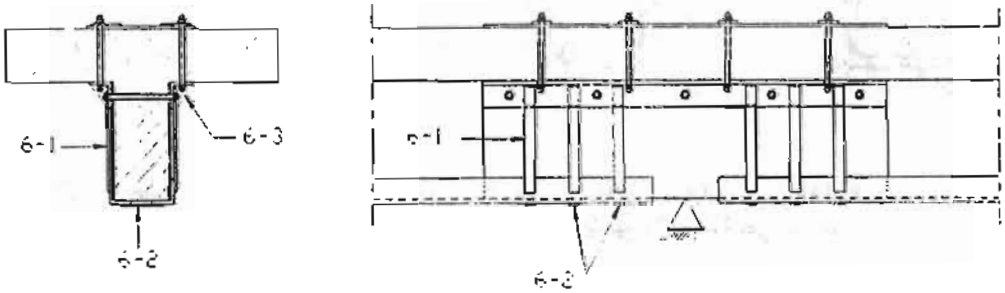
٦-١ شرائح رأسية ، ٦-٢ شرائح أفقية و٦-٣ شرائح لمقاومة التبجع

شكل ١٠ مسقط أمامي وقطاع في كمرة مدعمة على طول محيطها



٣-١ ألواح مقاومة القص، ٣-٢ زوايا التقاء البلاطة مع الكمرة، ٣-٣ زوايا مقاومة العزوم، ٣-٤ أصباغ أفقية لإجراء الضغط ٣-٥ لوح لمقاومة إجهادات العزوم السالبة

شكل ١١ مسقط أمامي وقطاع عند ركيزة وسطية لكمرة متصلة تبين تسليح التدعيم الخارجي



٦-١ شرائح رأسية، ٦-٢ شرائح أفقية، ٦-٣ شرائح لمقاومة تبجع الزوايا

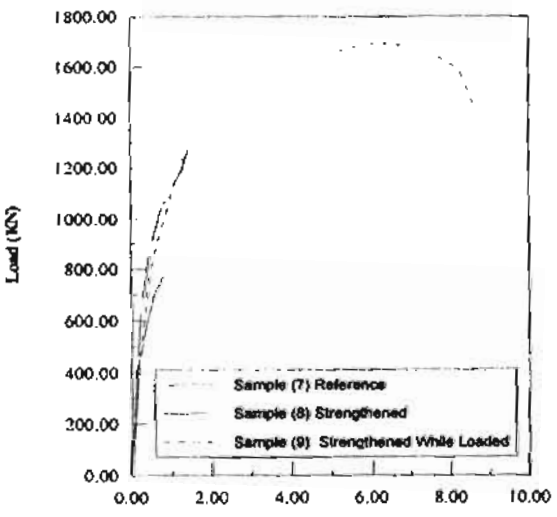
شكل ١٢ مسقط أمامي وقطاع لكمرة متصلة عند الركيزة بعد تدعيمها

الأعمدة المطروحة هي استخدام الطريقة الميكانيكية المقدمة في هذا البحث. وعلية وللتأكد من كفاءة تلك الطريقة بغرض استخدامها في تدعيم أعمدة المبني قام المركز القومي لبحوث الإسكان والبناء بتصنيع واختبار ثلاث عينات من الأعمدة الخرسانية القصيرة بأبعاد ٢٥x ٣٥x ١٥٠ سم لتمثل نصف أبعاد الأعمدة المراد تدعيمها. وقد تم تقوية اثنين منها بالطريقة الميكانيكية المقترحة، نفذت أعمال التقوية على إحداها وهي محملة بحمل تشغيل راسي ٤٠ طن وأخذت عينة مرجعية ثالثة بدون تدعيم بغرض مقارنة الأعمدة المدعمة بها.

وقد تم اختبار العينات الثلاث على ماكينة اختبار رأسية حمولة ٤٠٠ طن وتم تحميل العينات تدريجيا كل ١٠ طن حتى الحمل الأقصى وقد تم قياس الانفعالات الرأسية والأفقية باستخدام مقاييس انفعال كهربية ومقاييس كهربية أخرى لقياس الإزاحة تم تثبيتها على العينات. وقد تم التحكم في التحميل وتسجيل جميع القياسات باستخدام الحاسب الآلي. وجاءت نتائج الاختبار- والتي تتضح من الشكل ١٣- كما ورد بتقرير مركز بحوث الإسكان والبناء [٢] كما يلي:

١. الحمل الرأسي الأقصى للعينات عند الكسر قد زاد من ٨٠ طن للعينة الغير مقواة إلى أكثر من ١٦٠ طن للعينات التي تم تقويتها. وقد ظهرت نفس الزيادة في العينة التي تم تقويتها وهي محملة.
٢. نتائج إحدى العينات المقواة والتي تم تسجيل قراءات الحمل لها بعد الحمل الأقصى أظهرت ممطولية كبيرة.
٣. تطبيق الضغط الجانبي على العامود لم يؤثر على خرسانة العامود على الرغم من ضعفها.
٤. يحدث الانهيار في العامود عند انهيار لحامات الخوص بالزوايا الجانبية.

وبناء عليه فقد تم تقوية أعمدة المبني باستخدام الطريقة المقدمة في هذا البحث.



شكل ١٣ نتيجة اختبارات عينات أعمدة خرسانية قبل وبعد التدعيم كما ورد بتقرير مركز بحوث البناء

٢-٣ مجموعة عمارات بدولة الكويت

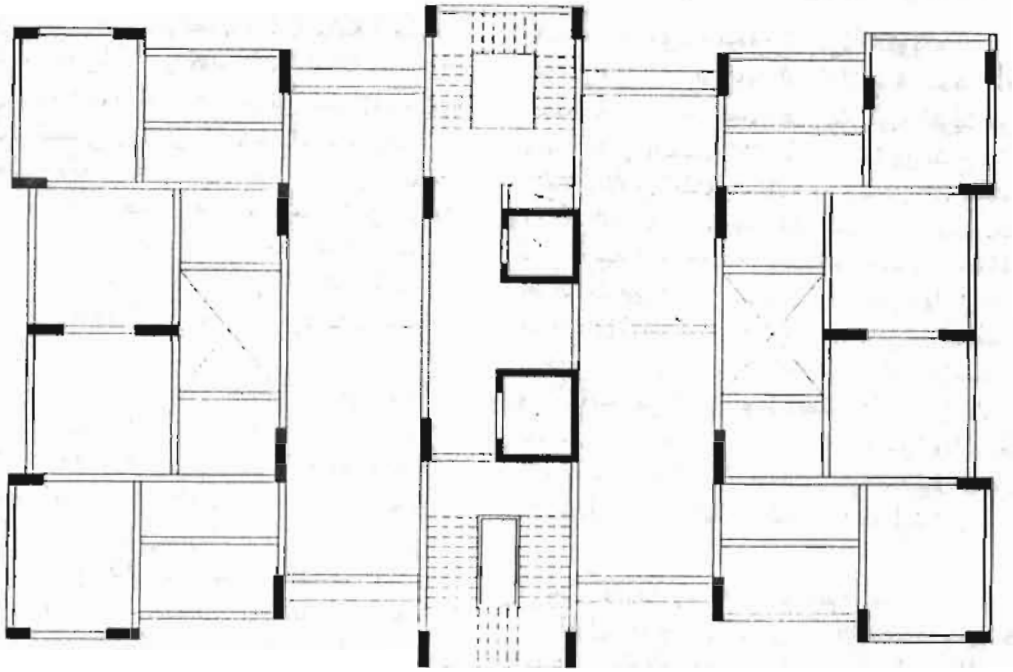
نعرض في هذا الجزء من البحث إلى حالة تم دراستها وهي مجموعة مكونة من خمسة عمارات بدولة الكويت من نموذج واحد مكرر بمساحة تقريبية ٥٠٠ م٢ ويوضح الشكل ١٤ المسقط الأفقي للطابق المتكرر له. وقد تم الانتهاء من تنفيذ الهيكل الخرساني للبدروم والأرضي وعدد إحدى عشر طابقا لهذه العمارات الخمسة والتي كان مستهدفا طبقا للتصميم إضافة طابقين آخرين لها ليصل عدد طوابقها إلى ثلاثة عشر طابقا فوق الأرضي والبدروم. وقد اتضح من الاختبارات بعد هذه المرحلة من التنفيذ أن المقاومة الفعلية لخرسانة الأعمدة والأسقف هي ١٨٣ كجم / سم٢ في حين أن المقاومة التصميمية للأعمدة هي ٣٠٠ كجم / سم٢ وللأسقف ٢٥٠ كجم / سم٢ ولهذا السبب توقفت عملية استكمال الأعمال عند ذلك وبدأت دراسة الحلول المناسبة لهذه المشكلة.

التحليل الإنشائي وإعادة تصميم المنشأ

وقد تم إجراء تحليل إنشائي وإعادة تصميم جميع عناصر أحد العمارات وهو نموذج مكرر من العمارات الأخرى. وقد تمت تلك الدراسة طبقا للمقاومة الفعلية للخرسانة القائمة بهدف الوقوف على الحالة الراهنة لكل عنصر على حدة ثم الحالة الإنشائية العامة للمنشأ، وعليه فقد تم تحديد قيم النقص في مقاومة كل عنصر عن القيمة التصميمية له ويوضح الجدول ١ تفاصيل الأعمدة المطلوب تدعيمها بأحد الطوابق ونسبة النقص في مقاومة كلا منها وقد تمت هذه الدراسة لجميع طوابق المبنى، كما تم التفريق بين العناصر المطلوب تدعيمها لزيادة قدرتها على مقاومة القص والعناصر المطلوب تدعيمها لزيادة قدرتها على مقاومة العزوم. ويوضح الشكل ١٥ أعداد الأعمدة المطلوب تدعيمها للنماذج الأعمدة المختلفة كما يوضح الشكل ١٦ أعداد الأعمدة المطلوب تدعيمها في كل دور ويتضح من هذه الأشكال:

١. العدد الكبير للأعمدة المطلوب تدعيمها مما يحتم اختيار الطريقة المثلي فنيا واقتصاديا حيث أن تكلفة تدعيم العناصر ستؤثر بدرجة كبيرة على التكلفة الإجمالية لتدعيم هذه المنشآت.
٢. نسبة استطالة قطاعات جميع الأعمدة (Aspect ratio) كبيرة جدا حيث تنحصر بين ٢ & ٥ كما أن عرض قطاع جميع الأعمدة ٢٠ أو ٣٠ سم وهذا يقودنا إلى استبعاد التدعيم باستخدام رقائق البوليمر المسلح بألياف الكربون والزجاج.
٣. عدد الأعمدة المطلوب تدعيمها يختلف اختلاف كبير من طابق لأخر كما أن أماكن معظم الأعمدة المطلوب تدعيمها تختلف أيضا من طابق لأخر.

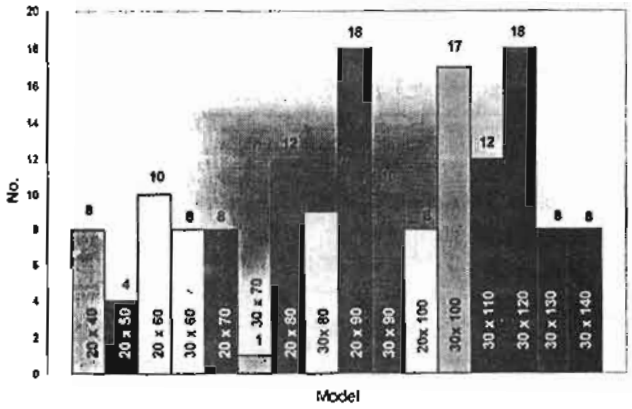
وتوضح الأشكال ١٧، ١٨ الكمرات المطلوب تدعيمها لتقاوم قوى القص والكمرات المطلوب تدعيمها لتقاوم العزوم ويتضح من هذه الأشكال الأتي:



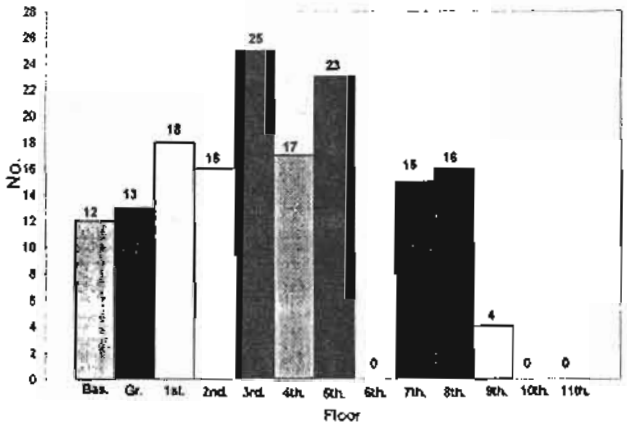
شكل ١٤ المسقط الأفقي لأحد الطوابق المتكررة وتظهر الأعمدة المطلوب تدعيمها في هذا الطابق بلون مخالف

نموذج العامود	محاور العامود	قطاع العامود		تسليح العامود			الحمل الحقيقي (طن)	الحمل الأقصى (طن)	نسبة النقص
		عرض سم	طول سم						
C2	3-E	٣٠	٦٠	٨	Ø	١٨	٢٠٠	١٦٤	%١٨,٠
C2	15-E	٣٠	٦٠	٨	Ø	١٨	١٩٠	١٦٤	%١٣,٧
C2	3-H	٣٠	٦٠	٨	Ø	١٨	١٩٠	١٦٤	%١٣,٧
C2	15-H	٣٠	٦٠	٨	Ø	١٨	١٩٠	١٦٤	%١٣,٧
C5	9-D	٣٠	٩٠	١٤	Ø	١٨	٣٧٠	٢٥١	%٣٢,٢
C5	9-I	٣٠	٩٠	١٤	Ø	١٨	٣٨٠	٢٥١	%٣٣,٩
C6	6-A	٣٠	١١٠	١٨	Ø	٢٠	٤٣٠	٣٠٠	%٣٠,٢
C6	12-A	٣٠	١١٠	١٨	Ø	٢٠	٤٣٠	٣٠٠	%٣٠,٢
C6	6-L	٣٠	١١٠	١٨	Ø	٢٠	٣٦٠	٣٠٠	%١٦,٧
C6	12-L	٣٠	١١٠	١٨	Ø	٢٠	٤١٠	٣٠٠	%٢٦,٨
C6	7-F	٣٠	١١٠	١٨	Ø	٢٠	٤٥٠	٣٠٠	%٣٣,٣
C6	11-F	٣٠	١١٠	١٨	Ø	٢٠	٤٥٠	٣٠٠	%٣٣,٣
C7	6-E	٣٠	١٣٠	٢٢	Ø	٢٠	٧٠٠	٣٤٨	%٥٠,٣
C7	12-E	٣٠	١٣٠	٢٢	Ø	٢٠	٧٠٠	٣٤٨	%٥٠,٣
C7	6-H	٣٠	١٣٠	٢٢	Ø	٢٠	٦٥٠	٣٤٨	%٤٦,٥
C7	12-H	٣٠	١٣٠	٢٢	Ø	٢٠	٦٧٠	٣٤٨	%٤٨,١

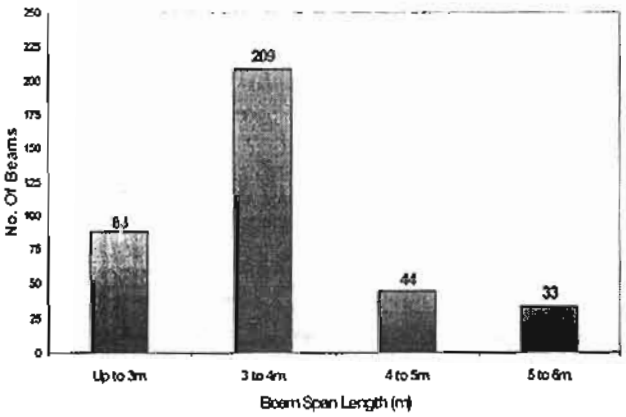
جدول ١ يوضح الأعمدة المطلوب تدعيمها بأحد الطوابق ونسبة النقص في مقاومة كل عامود



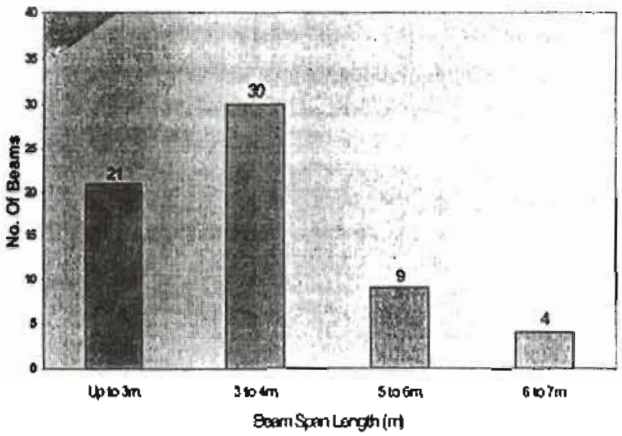
شكل ١٥ أعداد الأعمدة المطلوب تدعيمها من كل نموذج



شكل ١٦ أعداد الأعمدة المطلوب تدعيمها في كل دور



شكل ١٧ أعداد الكمرات المطلوب تدعيمها لمقاومة القص للبحور المختلفة



شكل ١٨ أعداد الكمرات المطلوب تدعيمها لمقاومة العزوم للبحور المختلفة

١. عدد الكمرات المطلوب تدعيمها كبير جدا مما يحتم أخذ عامل التكلفة في الاعتبار إلى جانب الكفاءة عند اختيار طريقة التدعيم.
٢. عدد الكمرات المطلوب تدعيمها بسبب ضعف مقاومتها للقص كبير جدا إذا ما قورن بتلك المطلوب تدعيمها لتقاوم العزوم.

دراسة البدائل المختلفة لإجراء عملية التدعيم

كما ذكر فقد تم استبعاد التدعيم باستخدام رقائق البوليمر المسلح بألياف الكربون والزجاج نظرا لأن درجة استطالة قطاعات جميع الأعمدة كبيرة مما يجعلها خارج مجال استخدام هذه الطريقة حيث أنها تصلح فقط للأعمدة دائرية القطاع والأعمدة المربعة التي يتم استدارة أركانها والأعمدة المستطيلة التي لا تزيد درجة استطالة قطاعاتها عن ١,٥، أما طريقة القميص الخرساني فيمكن مناقشتها فيم يلي :

١. تحتاج الطريقة إلى رفع أحمال المنشأ عن الأعمدة أثناء عملية التدعيم وحتى وصول خرسانة القميص إلى المقاومة المطلوبة ثم إعادة الأحمال مرة أخرى على قطاع العامود الجديد (العامود مع القميص).
٢. احتياج الطريقة إلى عدد كبير من وصلات القص (shear connectors) لربط العامود الأصلي بالقميص الخرساني مما يزيد من ضعف العامود المراد تدعيمه وكذلك يزيد من تكلفة التدعيم.
٣. الحاجة إلى استمرار القميص الخرساني للعامود من الأساسات وحتى الوصول للطابق المطلوب تدعيم العامود فيه وهذا غير مناسب في هذه الحالة حيث أن مكان الأعمدة المطلوب تدعيمها يختلف بشكل كبير من طابق لأخر .
٤. زيادة وزن وحجم الأعمدة التي تدعم بهذه الطريقة مما يولد أحمال إضافية على المنشأ ويفسد الشكل المعماري الداخلي ويسبب ارتفاع شديد في تكلفة التدعيم خاصة في الأبراج والمباني المرتفعة.

وحيث أن عدد الأعمدة المطلوب تدعيمها كبير جدا فإن استخدام القميص الخرساني كطريقة للتدعيم غير مجدي اقتصاديا. ولذلك فإنه يقترح استخدام الطريقة الميكانيكية المقدمة في هذا البحث لتدعيم الأعمدة في هذه الحالة حيث أنه ليس بها جوانب القصور التي ذكرت بالطرق التقليدية كما أنه يمكن باستخدامها تدعيم الأعمدة مهما زادت درجة استطالتها وهي أقل الطرق تكلفة علاوة على كفاءتها العالية كما ظهر من الاختبارات.

كما يقترح أيضا تدعيم الكمرات بذات الطريقة نظرا لجدواها الاقتصادية ولتلافي جوانب القصور في استخدام طرق التدعيم الأخرى. والتدعيم بهذه الطريقة يتشابه إلى حد كبير بوصف الطريقة الموضحة في هذا البحث، وبالنسبة لقطاعات تسليح التدعيم المطلوبة فإنها تحدد طبقا لنسبة الضعف في كل عنصر.

٣-٣ تدعيم أحد مباني نقابة المهندسين بمصر

نستعرض في هذا الجزء من البحث حالة أخرى تم دراستها وتدعيمها بالطريقة المقترحة في هذا البحث وهي لأحد مباني نقابة المهندسين المصرية.

٣-٣-١ وصف المبني

عبارة عن مبني هيكلي من الخرسانة المسلحة بمساحة إجمالية حوالي ٣٥٠ م٢، وهو مكون من بدروم ودور أرضي وطابقين علويين تم إنشاؤهم منذ حوالي ثلاثون عاما ثم أضيف طابقين أخرين منذ عشر سنوات ما زالا تحت التشطيب.

٣-٣-٢ المعاينة الفنية

بمعاينة المبني وفحصه على الطبيعة تلاحظ الآتي:

١. وجود شروخ عديدة في معظم كمرات سقف الطابق الثاني العلوي باتساعات مختلفة وتأخذ هذه الشروخ أشكال ومواضع تؤكد ضعف الكمرات في مقاومة قوي القص والعزوم، كما لوحظ وجود ترخيم واضح في الكمرات الرئيسية.
٢. تغير لون الخرسانة مما يدل علي ضعف محتوي الأسمنت بها، كما أنها تنهار بسهولة شديدة عند طرقها بآلة حادة، مع تسرب سريع لأي مياه قد ترجد أعلى السقف.
٣. تلاحظ أيضا وجود شروخ منتشرة في بلاطات السقف تأخذ أشكال حديد التسليح وقد سقط الغطاء الخرساني في بعض الأماكن ووجد صدأ شديد بحديد تسليح البلاطة نتيجة لتسرب المياه لفترات طويلة.
٤. تم رفع وقياس قطاعات الأعمدة وكذلك بحور وقطاعات الكمرات.

٣-٣-٣ الاختبارات المعملية

نظرا للشك في الضعف الشديد لمقاومة الخرسانة فقد تم أخذ ثلاث عينات قلب خرساني من كمرات السقف في أماكن مختلفة وتم اختبارها معمليا حيث أظهرت نتيجة الاختبار الآتي:

١. كثافة الخرسانة تتراوح بين ٢,٢٤٧ جم / سم٣ و ٢,٢٥٨ جم / سم٣ مع وجود فراغات بالخرسانة تدل علي زيادة محتوى الماء وعدم دمك الخرسانة، كذلك الضعف الشديد في محتوي الأسمنت.
٢. مقاومة الضغط للعينات الأسطوانية يتراوح بين ٥٧ كجم / سم٢ و ٦٣,٥ كجم / سم٢ وهو ما يعطي مقاومة مكافئة للمكعب الخرساني بين ٥٩,٥ كجم / سم ٢ و ٦٧,٦ كجم / سم٢ وهي قيم ضعيفة جدا ولا تناسب الاستخدام الإنشائي للخرسانة.

٣-٣-٤ الدراسة النظرية

تم حساب الأحمال الفعلية علي جميع أعمدة الطابق الثاني العلوي والتي تتحمل ثلاثة أسقف كما هو قائم بالفعل، وتم حساب أقصي أحمال تتحملها قطاعات هذه الأعمدة واتضح أن الأحمال الفعلية الواقعة على عدد ١٤ عامود بهذا الطابق وعامود واحد بالطابق الذي يعلوه تزداد عن الأحمال القصوي لهذه الأعمدة.

وبعد دراسة وتحليل ما تقدم من نتائج المعاينة والاختبارات المعملية وتقييم الوضع الراهن للأعمدة والأسقف والمبنى ككل كانت التوصيات الرئيسية كالآتي:

١. معالجة وتدعيم الأعمدة المذكورة والتي يقل أقصي حمل لها عن الحمل الفعلي الواقع عليها.
٢. إزالة بلاطات سقف هذا الطابق وكذلك الكمرات الثانوية مع ترك تسليحها بعد التأكد من خلوه نسبيا من الصدأ، ثم إعادة صبها بخرسانة ذات مقاومة مناسبة.
٣. الإبقاء علي الكمرات الرئيسية المرتكزة على الأعمدة حتى لا تتعرض هذه الأعمدة لإجهادات إضافية نتيجة للعزوم التي قد تتعرض لها بسبب الانبعاج ، مما قد يؤدي إلى الانهيار في ظل ضعف الخرسانة الشديد.
٤. معالجة الكمرات الرئيسية وتدعيمها.

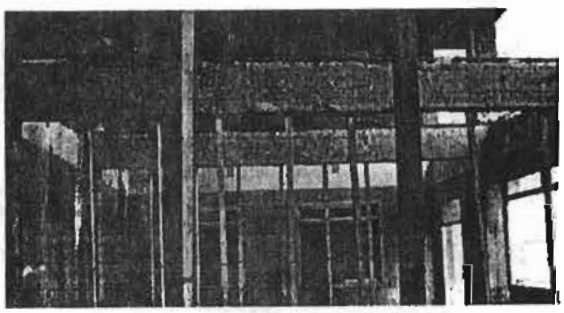
٣-٣-٥ تدعيم أعمدة المبني

بدراسة البدائل المختلفة لتدعيم الأعمدة اتضح أنه من غير المناسب استخدام القميص الخرساني حيث أن الأعمدة المطلوب تدعيمها توجد في الطابق الثاني العلوي فقط ولا حاجة لتدعيم هذه الأعمدة في الطوابق الثلاثة السفلية، وذلك إلى جانب ما تسببه القمصان الخرسانية من زيادة وزن الأعمدة وحجمها وتغيير للشكل المعماري الداخلي للمنشأ وإعاقة للمبنى بالكامل عن أداء وظيفته أثناء التنفيذ، كما أنها

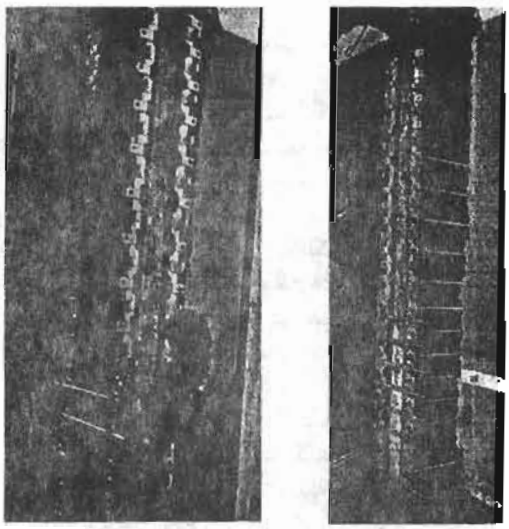
تحتاج لرفع الأحمال عن الأعمدة قبل التدعيم، وهذه الأسباب وغيرها تؤدي إلى عدم الجدوى الاقتصادية لاستخدام هذه الطريقة، كذلك فإن تكلفة التدعيم باستخدام القميص الحديدي مرتفعة جداً، وتدعيم الأعمدة باستخدام البوليمر المسلح بألياف الكربون أو الزجاج به جوانب قصور عديدة ذكر بعضها سابقاً. لذلك فقد تم اختيار طريقة التدعيم باستخدام الضغط الخارجي على الأعمدة المقترحة في هذا البحث للأسباب التالية:

١. يمكن باستخدامها تدعيم أعمدة الطوابق التي تحتاج لتدعيم فقط ولا حاجة لتدعيم الأعمدة أسفلها.
٢. تتم في زمن قياسي حيث لا تحتاج إلى وقت لشك الخرسانة.
٣. التدعيم فيها يتم بالضغط وبهذا لا تستخدم مواد لاصقة بما لها من مشاكل قد تضعف عملية التدعيم مستقبلاً.
٤. لا تحتاج لرفع الأحمال عن العامود قبل التدعيم مما يوفر الوقت والجهد والتكلفة.
٥. ذات كفاءة عالية كما ثبت من الاختبارات.

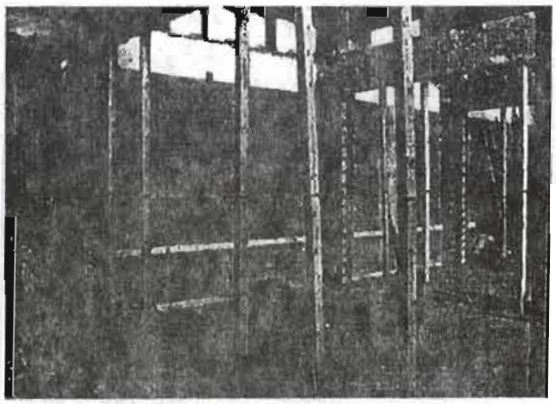
وعليه فقد تم إزالة بلاطات السقف والكمرات الثانوية لهذا الطابق ثم إزالة طبقة بياض الأعمدة المطلوب تدعيمها وجزء من الحوائط بجوار الأعمدة يكفي لوضع الزوايا وفرم الضغط ويسمح بلحام الخوص الحديدية، وكذلك إزالة أي خرسانة مفككة ثم ترميم ومعالجة الأعمدة وتأميم أركانها باستخدام مونة إسمنتية غير قابلة للانكماش وبمقاومة مناسبة مع إضافة مواد لاحمة لهذه المونة. ثم تمت عملية التدعيم للأعمدة والتي تتضح خطواتها من الصور الفوتوغرافية الموضحة في الأشكال من ١٩ إلى ٢٢ والتي تم التقاطها في المراحل المختلفة لعملية التدعيم.



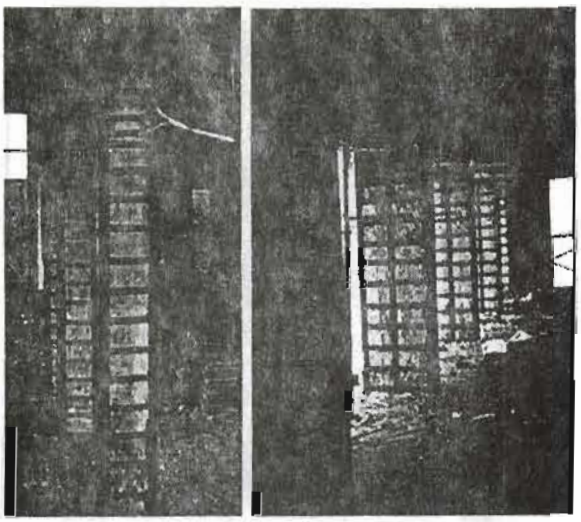
شكل ١٩ يوضح الأعمدة والكمرات بعد إزالة بلاطة السقف والكمرات الثانوية



شكل ٢٠ يوضح بعض الأعمدة أثناء التدعيم



شكل ٢١ يوضح بعض الأعمدة بعد انتهاء عملية التدعيم



شكل ٢٢ يوضح كيفية تدعيم أعمدة درجة استطالة قطاعاتها مختلفة

٣- ٢- ٦ تدعيم كمرات المبني

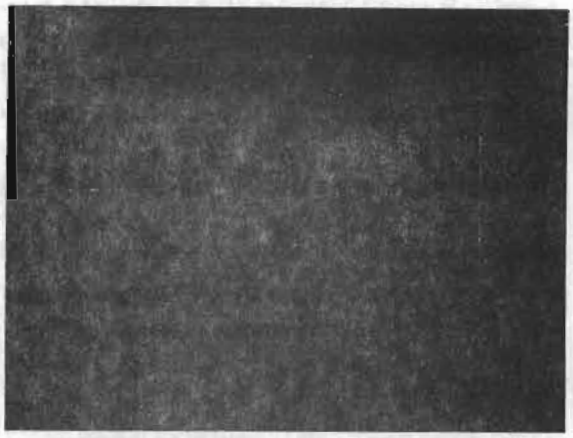
بعد دراسة البدائل المختلفة لتدعيم الكمرات الرئيسية للمبني والتي يبلغ بحر كلا منها سبعة أمتار وقطاع كلا منها ٢٥ x ٧٠ سم تم اختيار الطريقة الميكانيكية المقترحة في هذا البحث للأسباب الآتية:

١. عند التدعيم بها يتم تحزيم الكمرات الخرسانية وهذه العملية تؤدي لزيادة ممطولية هذه الكمرات.
٢. لا تستخدم مواد إيبوكسية في لصق الألواح مع خرسانة الكمرات بما لها من مشاكل عديدة مثل ضعف مقاومة الحرارة.
٣. يعمل قطاع الكمرة بعد التدعيم كوحدة واحدة حيث يحدث التماسك والالتحام الكامل بين ألواح التدعيم والكمرة الخرسانية بسبب عملية الضغط والتثبيت.
٤. لا توجد في هذه الطريقة المشاكل وجوانب القصور الموجودة في غيرها من الطرق الأخرى.

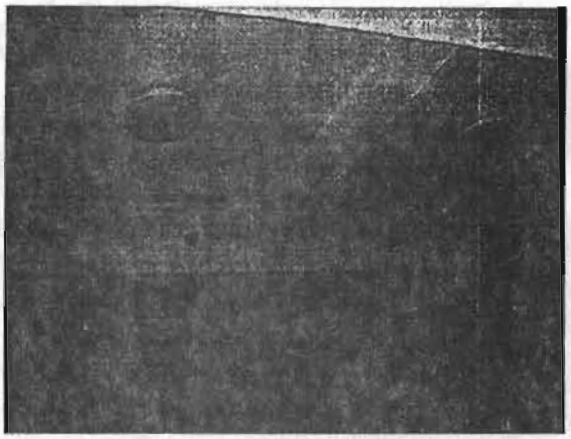
وعليه فقد تم إزالة طبقة بياض الكمرات المطلوب تدعيمها ثم معالجة الشروخ الظاهرة وإزالة الخرسانة المفككة في الكمرات وإعادة ترميمها وتأميم أحرفها باستخدام مونة إسمنتية غير قابلة للانكماش وذات مقاومة مناسبة مع إضافة مواد لاحمة لهذه المونة. ثم تمت عملية تدعيم الكمرات باستخدام قطاعات حديدية من زوايا وألواح تم ضغطها على القطاع الخرساني وحقن الفراغات بين تلك القطاعات والقطاع الخرساني بمونة الجروات ذات مقاومة مناسبة. وتتضح خطوات التدعيم من الصور الفوتوغرافية الموضحة في الأشكال من ٢٣ إلى ٢٥.

اختبار تحميل الكمرات المدعمة

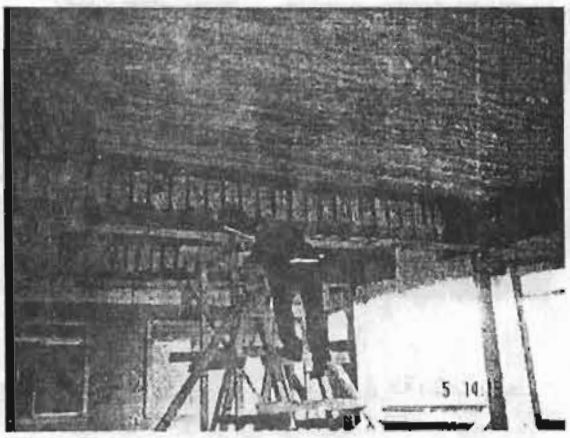
بعد انتهاء تدعيم الكمرات تم إجراء اختبار تحميل على هذه الكمرات للتأكد من جدوى عملية التدعيم وتم وضع أجهزة لقياس الترخيم أثناء تقدم عملية التحميل وقد أظهر الاختبار نتائج جيدة حيث بلغت قيمت أقصى ترخيم في الكمرة ٥ مم عند التحميل بضعف أحمال التشغيل مما يؤكد أن تدعيم الكمرات بهذه الطريقة يزيد كثيراً من جساءتها ويقلل من الترخيم، ويظهر الشكل ٢٦ عملية التحميل في هذا الاختبار كما يظهر الشكل ٢٧ نتيجة هذا الاختبار.



شكل ٢٣ يوضح إحدى الكمرات الرئيسية قبل إزالة البلاطة

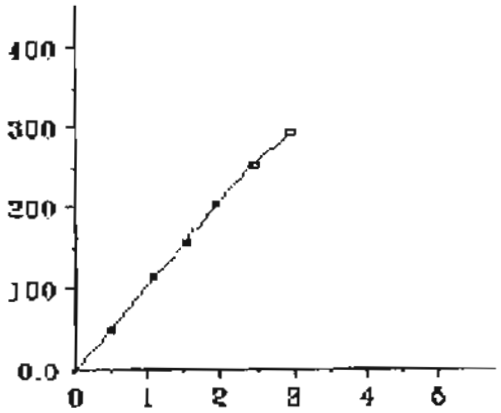


شكل ٢٤ يوضح الكمرات الرئيسية والثانوية قبل إزالة البلاطة



شكل ٢٥ يوضح بعض الكمرات الرئيسية بعد التدعيم

شكل ٢٦ يوضح اختبار تحميل الكمرات الرئيسية بعد التدعيم



شكل ٢٧ يوضح نتيجة اختبار تحميل إحدى الكمرات الرئيسية بعد التدعيم

٥- الخلاصة

ومن خلال هذا البحث تم عرض واستخلاص ما يلي:

١. تم استعراض ملخص للطرق المختلفة لتدعيم العناصر الخرسانية وشمل ذلك التدعيم باستخدام القمصان الخرسانية وباستخدام ألواح وشرائح البوليمر المسلح بألياف الكربون والزجاج وكذلك قمصان وشرائح الصلب.
٢. تم إلقاء الضوء علي الطريقة الميكانيكية لتدعيم المنشآت الخرسانية عن طريق الضغط الخارجي المستمر على عناصرها الإنشائية وكذلك تم تطبيقها في تدعيم الأعمدة والكمرات والوصلات الخرسانية.
٣. تم دراسة البدائل المختلفة لتدعيم بعض المنشآت الخرسانية القائمة وتم استعراض استخدام الطريقة المقترحة في تدعيم بعضها.
٤. من الاختبارات الحقلية للكمرات أتضح أن الطريقة المقترحة تزيد كثيراً من جساءة الكمرات المدعمة وتقلل من الترخيم.
٥. يمكن باستخدام هذه الطريقة انتقاء الأعمدة أو الكمرات المطلوب تدعيمها من الأدوار والأماكن المختلفة وليس بالضرورة أن تكون في طوابق متتالية أو أماكن بعينها كما يمكن استخدامها في تدعيم أجزاء من الكمرات أو الأعمدة.
٦. التحزيم الكامل مع الضغط يزيد بدرجة كبيرة من ممطولية الأعمدة والكمرات المدعمة بالطريقة المقترحة مما يزيد بطريقة ملحوظة من مقاومة تلك العناصر للأحمال الديناميكية والصدمات التي قد تنتج عن الحروب أو الانفجارات.

الشكر

خالص الشكر والتقدير للأستاذ الدكتور / شريف أبو المجد الأستاذ بكلية الهندسة بالمطرية – جامعة حلوان على الجهد الذي قام به في إعداد والإشراف على التجارب التي تمت في مركز بحوث الإسكان والبناء لصالح مجموعة شركات أولمبيك والذي ساهم في إتمام هذا البحث.

المراجع

[١] التهامي، أبوزيد التهامي (٢٠٠٠ م)، "طريقة مبتكرة لتدعيم العناصر الإنشائية تؤدي إلى استخدام أمثل للموارد والنفقات" *مؤتمر مواد البناء العربية والتحديات الاقتصادية*، القاهرة، مصر، ٦٨-٧٥.

[٢] "تقرير نتائج اختبار عينات من الأعمدة الخرسانية لشركة البنيان لتصميم وإدارة المشروعات" ، مركز بحوث الإسكان والبناء - معمل قسم الخرسانة المسلحة (إبريل ٢٠٠٠).

[3] Priestley, M.J.N., Seible, F., and Fyfe, E. (1994). "Column seismic retrofit using fiber glass / epoxy jackets, in advanced composite materials in bridges and structures." K.W. Neale and P. Labossiere, Editors; Canadian Society for Civil Engineering, 287-297.

[4] Azizinamini, A., Corley, G. W., and Johal, P.L.S. (1992). "Effects of transverse

[5] Aboutaha, R.S., Engelhardt, M.D., Jirsa, J.O., and Kreger, M.E. (1999). "Rehabilitation of shear critical concrete columns by use of rectangular steel jackets." ACI Structural J., 96(1).

[6] Al-Tuhami, A. A. (2004). "Retrofitting of RC beams and beam-column connection." Steel and Composite in Construction, An International journal, accepted for publication.

[7] Al-Tuhami, A.A., Abdel-Rahman A.G. and Khalil, H. 2001. Strengthening of Concrete Beams Using The Mechanical Strengthening Technique, 8th Int. Conf. Of Inspection, Appraisal and Maintenance of structures, Notengham Univ., 11-13.

[8] Al-Tuhami, A. A. and Saker, T.A. (2000), "An innovative technique for strengthening reinforced concrete elements using mechanical external prestressing", 8th Arab Structural Eng. Conf., Vol. 2, pp.761-775.

[9] Al-Tuhami, A. A. and Khalil, H.S. (2003), "Behavior of retrofitted RC beams using active external pressure", Proc. CCC Int. conf. on Composite in construction, University of Calabria, Italy, Bruno et al (eds), 471- 476.

[10] Al-Tuhami, A. A. and Saker, T.A. (2003), "Retrofit of reinforced concrete columns using global lateral external pressure", Proc. CCC Int. conf. on Composite in construction, University of Calabria, Italy, Bruno et al (eds), 245-250.

[11] Oehlers, D.J. (1992), "Reinforced Concrete Beams with Plates Glued to Their Soffits", Journal of Structural Engineering (ASCE), 118(8), Aug.: 2023-2039.

[12] Khalifa, A., Alkhrdaji, T., Nanni, A. and Lorenzis, L. (1999), "Anchorage of Surface Mounted FRP Reinforcement" Concrete International, ACI, 21(10), 49-54.

[13] Khalifa, A., Nanni, A. and De Lorenzis, L. (2001) "Shear performance of RC beams strengthened with FRP". The International Workshop on Structural Composites for Infrastructure Applications, Cairo, Egypt, May, 217-230.

[14] Oehlers, D.J., Nguyen, N.T. and Bradford M.A. (2000), "Retrofitting by adhesive bonding steel plates to the sides of RC beams, Part 1: debonding of plates due to flexure", Structural Engineering and Mechanics: an International Journal, (Korea) No 5, Vol 9, pp. 491-504.