مجلة جامعة تشرين للبحوث والدراسات العلمية _ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (39) العدد (4) 2017
Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies - Engineering Sciences Series Vol. (39) No. (4) 2017

Improvement of seismic performance of existing R/C buildings using and comparing different retrofit systems by performance based analysis – case study -

Dr. Nael Hasan *

(Received 22 / 5 / 2017. Accepted 10 / 7 / 2017)

□ ABSTRACT □

Many existing building in high seismic hazard zones (including buildings and structures in Syria) have inadequate capacity to resist earthquakes loads. This is because they may have been designed and constructed according to earlier codes, which did not satisfy modern seismic design requirements and current engineering standards, faulty design and improper construction, alteration of building functions, changes of seismic load characteristics in the area, etc.Syria code (as many international codes) adopted the conventional earthquake-resistant design philosophy (force based); the structures are designed for forces which are much less than the expected design earthquake forces. These methods usually don't consider the expected performance level and seismic risk levels of the structure after an earthquake event. So need of new method comes which would give the actual performance of the structure after an earthquake event.

Performance based analysis and evaluation procedures are used to investigate seismic inadequacy of existing buildings. The improvements of seismic performance of these buildings may be achieved using retrofit systems such as steel bracing, shearwalls, concrete and steel jacketing.

In this paper, extensive literature study of most using retrofit schemes, which improve seismic performance of existing buildings, was introduced including their features.

Procedures of performance based analysis using nonlinear static analysis (pushover) were used to study the performance of two local 4-story reinforced concrete existing buildings without/and with different retrofit systems. The seismic response and performance of these cases were discussed.

The results of evaluation and analyses of 2-study cases showed necessity of3d-analysis, X-bracing is best system to bypass collapse plastic hinges and to reduce displacements and drifts, and concrete and steel jacketing bypass collapse hinges and keep ductility.

Keywords: Retrofit systems, Performance improvement, Steel bracing, Performance Based Analysis, Base shear, Story drift, Performance level

* **Associate Professor in Department Of Structural Engineering, Faculty of Civil Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.**

مجلة جامعة تشرين للبحوث والدراسات العلمية _ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (39) العدد (4) 2017
Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies - Engineering Sciences Series Vol. (39) No. (4) 2017

تحسين كفاءة الأبنية البيتونية المسلحة القائمة تحت تأثير الزلازل باستخدام أنظمة تدعيم مختلفة ومقارنتها مع بعضها باستخدام التحليل القائم على الأداء –دراسة حالة–

د. نايل محمد حسن*

(تاريخ الإيداع 22 / 5 / 2017. قُبِل للنشر في 10/ 7 / 2017)

□ ملخّص □

تعتبر العديد من المنشآت والمباني القائمة في المناطق ذات الخطر الزلزالي العالي (المباني والمنشآت في سوريا مثالاً) غير كافية في مقدرتها لمقاومة الحمولات الزلزالية. يعود ذلك إلى أسباب كثيرة منها أن هذه الأبنية صممت وأنشئت حسب الكودات الإنشائية في وقتها، وجود أخطاء في التصميم والتشييد غير الصحيح، تغيير وظائف البناء، تغيرات في خصائص الأحمال الزلزالية للمنطقة. اعتمد الكود السوري (مثل العديد من الكودات الأخرى) فلسفة التصميم التقليدية لمقاومة للزلازل (المعتمدة على القوة)، حيث يمكن أن تصمم المباني والمنشآت على قوى هي أقل من قوى الزلزال التصميمية المتوقعة. هذه الطرق عادة لا تأخذ في الاعتبار مستوى الأداء المتوقع ومستويات المخاطر الزلزالية للمنشأ بعد وقوع الزلزال. لذلك، تأتي الحاجة إلى طرق جديدة تعطي الأداء الفعلي للمنشأ بعد وقوع الزلزال وتستطيع تحقيق مستويات الأداء المطلوبة. تستخدم إجراءات التقييم والتحليل القائم على الأداء لتبيان العجز الزلزالي للمنشآت القائمة.يمكن رفع الكفاءة الإنشائية وتحسين الأداءالزلزالي لهذه الأبنية الضعيفة عن طريق تدعيمها أو تقويتها (إعادة تأهيلها إنشائياً) باستخدام تقنيات مختلفة مثل إضافة أربطة فولاذية، جدران بيتونية، قميص بيتوني وفولاذي.

تم في هذا البحث تقديم دراسة مرجعية مكثفة لنظم التدعيم الأكثر استخداماً لتحسين الكفاءة الإنشائية للأبنية القائمة، وتم تبيان خصائص كل منها كما تقديم نهج التحليل والتقييم القائم على الأداء باستخدام التحليل الستاتيكي اللاخطي من خلال دراسة حالة فراغية لبنائين قائمين مكونين من أربع طوابق تم تدعيمهما لتحسين الأداء الزلزالي لهما. أجريت 40 عملية تحليل، وتم مناقشة الأداء الزلزالي لاستجابة الأبنية لقائمة والمدعمة.

بينت نتائج التحليل والتقييم للحالات المدروسة ضرورة التحليل الفراغي، وأن التربيط المعدني المتصالب X هو أفضل الحلول للتخلص من مفاصل الانهيار والتقليل من قيم الانتقالات لحد كبير (زيادة الصلابة الجانبية). وبينت النتائج أيضاً أن القميص البيتوني والجاكيت المعدني تتخلص من مفاصل الانهيار وتحافظ على المطاوعة.

الكلمات المفتاحية: أنظمة التدعيم، تحسين الأداء، التربيط الفولاذي، التحليل القائم على الأداء، القص القاعدي، الانتقال الطابقي، مستوى الاداء.

* أستاذ مساعد ، قسم الهندسة الإنشائية، كلية الهندسة المدنية، جامعة تشرين اللاذقية، سورية.

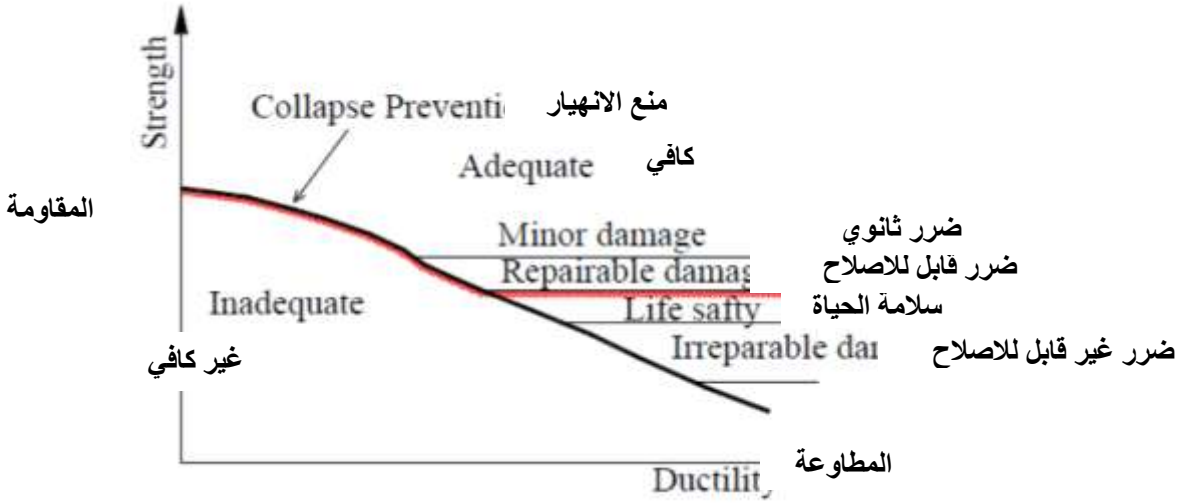
مقدمة:

مما لاشك فيه أن الكثير من الأبنية والمنشآت في سوريا شيدت في فترات سابقة قبل اعتماد الكود العربي السوري وملاحقه عام 2004، حيث طرح الكود طرق وإجراءات تصميم المنشآت البيتونية المسلحة لمقاومة الزلازل. وقد اعتمد الكود (مثل العديد من الكودات الأخرى) فلسفة التصميم التقليدية لمقاومة للزلازل (المعتمدة على القوة)، حيث يمكن أن تصمم المباني والمنشآت على قوى هي أقل بكثير من قوى الزلزال التصميمية المتوقعة. وبالتالي، عندما يتعرض المنشأ لحركة أرضية لزلزال شديد، فإنه يخضع لتشوهات غير مرنة. على الرغم من أن المنشأ قد لا ينهار، فإن الأضرار يمكن أن تكون غير ممكنة الإصلاح. هذه الطرق عادة لا تأخذ في الاعتبار مستوى الأداء المتوقع ومستويات المخاطر الزلزالية للمنشأ بعد (عند) وقوع الزلزال. تعطي هذه الطرق قوى قص قاعدي كبيرة، طلب مطاوعة عالية، كما أنها لا تعطي الأداء الفعلي للمنشأ بعد حدوث زلزال. لذلك، تأتي الحاجة إلى طريقة جديدة تعطي الأداء الفعلي للمنشأ بعد وقوع الزلزال وتستطيع تحقيق مستويات الأداء المطلوبة.

تعتبر العديد من المنشآت القائمة في المناطق ذات الخطر الزلزالي العالي (المباني والمنشآت في سوريا مثالاً) غير كافية في مقدرتها لمقاومة الحمولات الزلزالية. يعود ذلك إلى أسباب كثيرة منها أن هذه الأبنية صممت وأنشئت حسب الكودات الإنشائية في وقتها، حيث تعتبر أنظمتها المقاومة للقوى الافقية غير كافية حسب الكودات الحالية المتشددة والأكثر تعقيداً، وجود أخطاء في التصميم والتشييد غير الصحيح، تغيير وظائف البناء، تغيرات في خصائص الأحمال الزلزالية للمنطقة، التعرض لعوامل مخربة (من البيئة المحيطة)، من الشائع لبعض الحالات أن يكون البناء الذي استخدم ليرضي متطلبات زلزالية سابقة، تغير الآن الأداء الزلزالي له نتيجة الزيادة في الطلب الزلزالي الحالي.

يمكن رفع الكفاءة الإنشائية وتحسين الأداء الزلزالي لهذه الأبنية الضعيفة (غير المحققة لاشتراطات الأداء الحالية) لتحقيق أمان المنشأ في حالة الزلازل المستقبلية، عن طريق تدعيمها أو تقويتها (إعادة تأهيلها إنشائياً) باستخدام تقنيات مختلفة مثل إضافة أربطة فولاذية (نظام تربيط bracing)، جدران قص، قمصان بيتونية أو معدنية أو باستخدام تقنية أخرى لامجال للتوسع في عرضها هنا مثل استخدام أنظمة العزل الزلزالي أو أجهزة التخميد وغيرها.

لتحقيق أهداف إعادة التأهيل لمستوى ضرر محدد، مثلاً منع الانهيار او أمان الحياة collapse prevention or life safety، يمكن تبني استراتيجيات تصميم مختلفة. تبين العلاقة بين المقاومة strength والمطاوعة ductility في الشكل (1) أن المقاومة المطلوبة تنقص مع زيادة المطاوعة بسبب تحسين السلوك غير المرن وخصائص امتصاص الطاقة للنظام. إذا كان على المنشأ أن يقاوم زلزال معطى مع ضرر أصغري للمنشأ أو مكوناته، سيكون الاهتمام الرئيسي ضبط الانزياح drift والمقاومة المطلوبة لن تكون متعلقة بالمطاوعة. يمكن وضع حد انزياح أعظمي لمنع الضرر في العناصر غير الإنشائية. يُنتج تراكب (تجميع) منع الانهيار ومستويات ضرر مختلفة منحني يقسم مستوي المقاومة–المطاوعة إلى مناطق كافية (مقبولة) وغير كافية [1]، كما هو مبين في الشكل (1).



الشكل (1) علاقة المقاومة–المطاوعة المثالية [1]

يتم اختيار حلول التدعيم (أو إعادة التأهيل الإنشائي) للحصول على فوائد تقنية واقتصادية: سلوك آمن عند الفعل الزلزالي، تغير طفيف في الصلابة الإنشائية، تقنية تقوية سهلة، زمن تدعيم قصير، كلفة إعادة تأهيل منخفضة. يجب اعتبار إعادة التأهيل الزلزالي للأبنية الحالية غير المؤهلة زلزالياً الاهتمام الحالي الرئيسي في مجال الهندسة الزلزالية. يتطلب اختيار تقنية محددة لإعادة التأهيل قرار هندسي لأنه يعتمد على عدة عوامل متضمنة الاعتبارات الاقتصادية، وظيفة المبنى، اعتبارات معمارية، والبساطة النسبية للطرق المختلفة. يعتبر اختيار وتصميم تقنيه تدعيم مختارة محددة أحد أهم نتائج التحليل التي تتطلب عناية خاصة. من المهم تقييم تضمين (إضافة) مخططات (أنظمة) التدعيم على أداء المنشأ. تقدم نتائج التقييم مثل توقع الانتقال، تسارع الطابق العلوي، التردد الزمني والقص القاعدي، معايير بسيطة وفعالة من أجل اختيار وتصميم المخطط التدعيمي.

تعتبر هندسة الزلازل القائمة على الأداء (PBEE) إحدى الطرق الواعدة للقيام بالتصميم والتحليل والتقييم التي تأخذ بالاعتبار الأداء المتوقع للمنشأ أثناء الزلزال (والي سيتم اعتمادها في تقييم نتائج الاستجابة لمختلف نظم التدعيم المدروسة في هذه المقالة). الهندسة الزلزالية القائمة على الأداء (PBSE) هي فكرة سريعة النمو موجودة في جميع المبادئ التوجيهية التي نشرت مثل [12,23,11,20]. من المتوقع أنه في السنوات القليلة القادمة، سيصبح التصميم القائم على الأداء الطريقة القياسية للتقييم والتصميم المقاوم للزلازل. ومن أجل تحقيق هذا الهدف، من الضروري أن تستجيب المنشآت التي تم تشييدها لمقاومة الحركات الأرضية الزلزالية المتوقعة في الموقع بطريقة معينة تعتمد على طبيعة حركة الأرض المؤثرة على المنشأ. وبالتالي فإن موثوقية تحقيق هدف أداء سلامة الحياة life safety لأي منشأ محكومة بالعنصر الأكثر غموضا في سلسلة حركة الأرض المتوقعة.

قدم Vani Prasad and Nivin Philip (2014)[2] دراسة عددية باستخدام برنامج SAP2000 حول فعالية استخدام التربيط الفولاذي في الأبنية البيتونية المسلحة. تم اختبار عدة أشكال من التربيط الفولاذي وجدران القص، كما اختبر نسب مختلفة لطول البناء/عرض البناء في المسقط. وتبين أن نظم التربيط الفولاذي المتصالبة X تقلل من الانتقال الطابقي بشكل ملحوظ وتقترب من القيم التي يعطيها إضافة جدان القص، ويقلل أيضاً من عزوم الانعطاف والقص في نموذج عمود عند القاعدة بينما يزيد من القوة الضاغطة على العمود.

قدم [3](2008) K. Galal and H. El-Sokkary دراسة حول التطويرات الحديثة والتحديات في مجال إعادة تأهيل جدران القص، نوقشت تقنيات تدعيم مختلفة باستخدام مواد مختلفة لإصلاح، تقوية، وإعادة تأهيل جدران قص بيتونية مسلحة. استخدم الفولاذ، البيتون، FRP، كمواد تدعيم بطرق تطبيق مختلفة. تهدف مخططات التدعيم لتحسين المقاومة الزلزالية للجدران البيتونية المسلحة عن طريق زيادة الصلابة، المقاومة و/أو المطاوعة للجدران المدعمة. ناقشت المقالة مزايا وعيوب كل تقنية تدعيم والتحسينات المميزة المقابلة. وخلصت المقالة إلى أن اختيار تقنية التدعيم يعتمد على نمط انهيار الجدار المتوقع، نتائج التدعيم، القيود الفيزيائية، والميزانية المخصصة.

ناقش [4] Vijayakumar. A, Venkatesh Babu. D.L مراجعة شاملة للطرق والتقنيات المستخدمة في إعادة التأهيل الزلزالي للمباني البيتونية المسلحة. شملت المراجعة أبنية المدارس والمستشفيات والمكاتب والأبنية السكنية. وجدت الدراسة أنه تم تنفيذ الطرق التالية من قبل معظم الباحثين: القمصان البيتونية والمعدنية للطابق الأرضي، جدران الملء من البلوك في الطابق الأرضي، أنظمة التربيط الفولاذي على شكل X و V، FRP للجوائز والأعمدة، تعتبر كل تقنيات التدعيم المشار إليها ضرورية للتدعيم الزلزالي وتتطلب الموضوعات المتعلقة بها المزيد من البحث.

عرض [5] W.Y. Kam(1) and R. Jury تطور مفاهيم التقييم الزلزالي القائم على الأداء في سياق البحوث الدولية والنيوزيلندية وناقش التحديات لبعض المفاهيم الأساسية بشأن كيفية إجراء التقييمات الزلزالية القائمة على الأداء. قدم الباحثون بعض الاقتراحات حول احتياجات البحث العلمي للتقييم الزلزالي القائم على الأداء لتحقيق إمكانياته الفعلي، ومن بين هذه الاحتياجات تطوير أدوات برمجية وتجريبية مبسطة لتقييم الضعف الإنشائي الحاد في الأبنية ولتقدير مقاومة آليات الانهيار للأبنية والأخذ بعين الاعتبار تأثير العوامل الجيولوجية على الأداء العام للإنشاءات.

تحتاج المرحلة التي نعيشها الآن في سوريا للمزيد من البحوث المتعلقة برفع كفاءة وإعادة التأهيل الأبنية القائمة باستخدام أنظمة تدعيم متوفرة سهلة التنفيذ تحقق معايير الأداء التي تسمح لها بالصمود تحت تأثير الزلازل بدون حدوث خطر على سلامة الحياة للساكنين.

سيتم في هذه المقالة مراجعة لتقنيات إعادة التأهيل الإنشائي ودراسة ومقارنة دورها في رفع الكفاءة الإنشائية لحالات دراسة معطاة من خلال التقييم المعتمد على الأداء بما يتوافق مع المتطلبات الزلزالية المحلية وتحقيق معايير القبول. سيتم إجراء عدد كبير من حالات التحليل الفراغية للحصول على الأداء الأفضل المميز لكل نظام تدعيم.

أهمية البحث وأهدافه

أصبح من الواضح أن إجراءات التحليل الزلزالي بالاعتماد على التحليل الستاتيكي الخطي وطيف الاستجابة لم تعد مناسبة بما يكفي لتقييم أداء الأبنية القائمة خاصة أنها لاتعطي فكرة عن السلوك والأداء وآليات الانهيار الفعلية تحت تأثير الزلازل. تنصح أغلب الكودات العالمية بإجراء التقييم بالاعتماد على التحليل القائم على الأداء الذي يأخذ بالاعتبار اللاخطية الهندسية ولاخطية المادة وبالتالي الإلمام بالسلوك الفعلي للمنشآت (ومنها المعاد تأهيلها) خلال مقاومة الزلازل، ويتوفر في هذا السياق نوعان من التحليل هما التحليل الستاتيكي اللاخطي والتحليل بالسجل الزمني. تعتبر المنطقة الساحلية نشطة زلزالياً وتعرضت لزلازل مدمرة [6,7]، مما يحتم الاهتمام بتقييم أداء وسلوك الأبنية القائمة في المنطقة التي لم تراعي الاشتراطات ومعايير الأداء المطلوبة.

يهدف هذا البحث إلى تقديم الدراسة المرجعية اللازمة وإجراءات الهندسة الزلزالية القائمة على الأداء (ومنها

التقييم) بما يتوافق مع متطلبات الكود السوري، وكذلك مراجعة طرق التحليل المتبعة، وتقييم أداء حالتي دراسة لنموذجي بناء قائمين باستخدام أنظمة إعادة تأهيل مختلفة ومقارنة السلوك الإنشائي للأبنية المعاد تأهيلها من خلال بارامترات الاستجابة اللازمة ومنها الانتقالات الطابقية الكلية وقوى القص القاعدي والانتقالات الطابقية النسبية. سيتم إجراء عمليات تحليل على نموذجين فراغيين (3D) للبنائين القائمين بما يتوافق مع المتطلبات الزلزالية لمدينة اللاذقية.

طرائق البحث ومواده

يعتمد البحث المنهج النظري التحليلي والتطبيقي، سيتم تقديم الدراسة المرجعية اللازمة وإجراءات الهندسة الزلزالية القائمة على الأداء (ومنها التقييم) بما يتوافق مع متطلبات الكود السوري، وكذلك مراجعة طرق التحليل المتبعة. ثم سيتم اختيار نموذجين (3D) لبنائين فراغيين قائمين بما يتوافق مع متطلبات الكود السوري، وسيجرى التحليل الستاتيكي والنمطي لنماذج الأبنية المدروسة باستعمال برنامج CSI ETABS2015، سيتم تحليل النماذج المدروسة بوضعها الراهن باستخدام التحليل الستاتيكي اللاخطي، وسيتم تقييم نتائج التحليل وتبيان الضعف الزلزالي، ثم سيعاد التحليل كل مرة بإضافة نظام إعادة تأهيل محدد. ستجرى مقارنة لنتائج التقييم من خلال بارامترات الاستجابة اللازمة ومنها الانتقالات الطابقية والكلية وقوى القص القاعدي. ثم سيتم استخلاص النتائج المتعلقة بالبحث.

1- إعادة التأهيل الإنشائي وأنظمة التدعيم

تكمن الغاية الأساسية من تقييم أداء الأبنية القائمة في معرفة مناطق الضعف والقصور الموضعي والعام الذي تعاني منه الأبنية القائمة، وبهذا الخصوص تكون عملية إعادة التأهيل الإنشائي لازمة للأبنية المتضررة أو القائمة الذي يبرهن التحليل الإنشائي عدم تحقيقها لمتطلبات ومعايير الأداء.

4-1- أهداف وأغراض التدعيم

تشير استراتيجية التدعيم إلى خيارات زيادة المقاومة، الصلابة والمطاوعة للعناصر او للبناء ككل. يمكن اختيار استراتيجيات تدعيم متعددة تحت مسمى مخطط التدعيم retrofit scheme للبناء. يمكن تلخيص أهداف التدعيم الزلزالي كما يلي [8]:1- زيادة المقاومة الجانبية وصلابة البناء،2- زيادة المطاوعة وتحسين قدرة تبديد الطاقة، 3- تأمين تكامل المنشأ مع بعضه، 4- إنهاء مصادر الضعف أو تلك التي تنتج تركيز إجهادات، 5- تحسين الفائضية redundancy في عدد العناصر المقاومة للأحمال الجانبية، 6- يجب على مخططات التدعيم أن تكون فعالة اقتصادياً، 7- يجب على كل مخطط تدعيم أن يحقق هدف الأداء. يبين الشكل (2) بعض أهداف التدعيم[3].

لتقرير اختيار مخطط التدعيم يمكن تبني طريقة (أسلوب) قائم على الأداء. يعرف الأسلوب القائم على الأداء مستوى أداء هدف للبناء تحت تأثير مستوى زلزالي متوقع. من أجل تدعيم الأبنية القائمة، يمكن اختيار هدف الأمان الأساسي. تحت هذا الهدف، يتم التوجه إلى متطلبين، متطلب أمان الحياة قاعدة التصميم الزلزالي DBE، ومتطلب الاستقرار الإنشائي تحت تأثير الزلزال المعتبر الاعظمي.

4-2- أوجه الضعف والعيوب الإنشائية المؤثرة على أداء الأبنية BUILDING DEFICIENCIES

يعتبر التوصيف الدقيق للأبنية المتضررة (بكافة عناصرها) والأبنية القائمة مهم لدراسة الأداء وإجراء التحليل اللازم للتقييم مما يمكن من تبيان أوجه الضعف والقصور. تؤثر العيوب في عناصر الأبنية البيتونية المسلحة على الأداء الموضعي والعام للبناء. يمكن تصنيف عيوب الأبنية المؤثرة على الأداء (وأحياناً على الأمان) كعيوب موضعية وعيوب تشييد وعيوب عامة وعيوب متفرقة.

تقود **العيوب الموضعية** تحت تأثير الزلازل إلى انهيار العناصر الخاصة (موضعياً) للبناء وهي تؤثر على مقاومة وأداء العنصر، وهي تخص عناصر البناء مثل الأعمدة و الجوائز وعقدة الجائز–عمود و وصلات البلاطة بالعمود و جدران القص من أهم العيوب سوء تفاصيل وعدم كفاية التسليح وعدم جودة المواد.

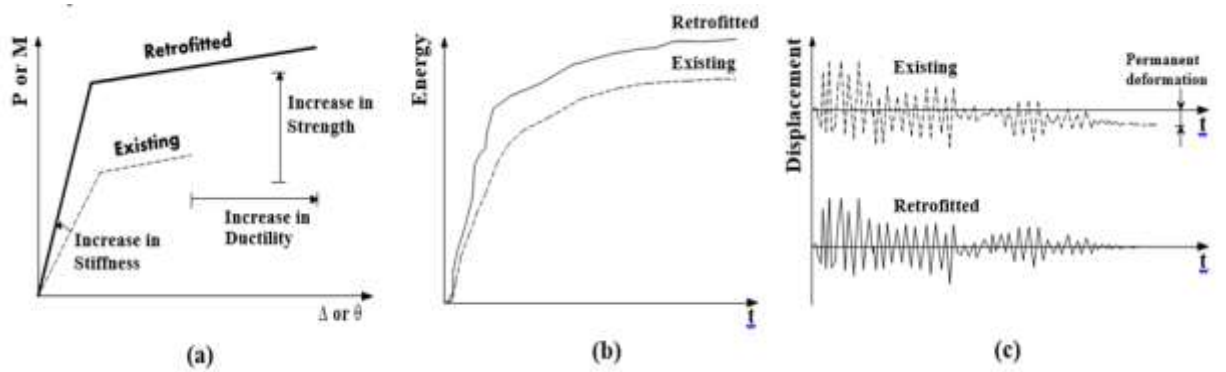
تؤثر عيوب التشييد (التنفيذ) على نوعية وجودة التنفيذ وبالتالي على أداء المبنى ومقاومته نتيجة عدم التقيد بالشروط والموصفات، ومن أهم العيوب المؤثرة: كثرة الخلط، كمية مياه إضافية من أجل تحقيق قابلية التشغيل، دمك ومعالجة غير كافية للبيتون، صب جزء من العمود بشكل منفصل، مما يقود إلى عيوب في منطقة المفصل اللدن، طبقة تغطية جانبية غير كافية، مما يقود لصدأ قضبان التسليح، ضعف ضبط النوعية.

تخص **العيوب العامة** كامل البناء ومن أهمها عدم الانتظام في المسقط، وعدم الانتظام الشاقولي. يلعب عدم الانتظام دور كبير في أداء واستجابة المنشأ ومن مظاهر عدم الانتظام في المسقط نذكر: عدم انتظام فتلي بسبب تناظر المسقط ولامركزية الكتلة وعدم تناظر أنظمة مقاومة لحمولات الجانبية، بروزات وتراجعات. ومن مظاهر عدم الانتظام في الشاقولي: عدم انتظام الصلابة الشاقولية، عدم انتظام الكتلة، عدم انتظام هندسي شاقولي، عدم استمرارية في الواجهة للأعمدة على طول محيط البناء، الطابق الضعيف بسبب الطابق الأرضي المفتوح.

نذكر من **العيوب المتفرقة:** قصور في التحليل والتصميم، تم تصميم الأبنية كنظام إنشائي مقاوم لقوى الجاذبية فقط، إهمال تأثير جدران الملء، بيانات جيوتكنيكية غير كافية قرب المصدر، إهمال تأثير $P-\Delta$.

من العيوب الممكنة أيضاً: **نقص فعل التكامل لعناصر النظام الإنشائي المقاوم للقوى الجانبية** حيث يتناقص أداء البناء بسبب غياب ربط عناصر مقاومة الحمولة الجانبية. مثلاً لاتكون الجوائز مربوطة (مؤطرة) في جدران نواة المصعد (أو الجدران الأخرى)، والجوائز الرابطة بين الأعمدة المحيطية غائبة.

في حال وجودها تكون **ظاهرة الطرق في الأبنية** الناتجة عن عدم إعطاء تباعد كاف بين الأبنية المتجاورة أو الفواصل الإنشائية بين أجزاء البناء، من الأساليب الخاطئة السائدة في بلدنا (وللأسف تغطيها أنظمة البناء المحلية) والتي تعتبر شكل آخر لمبدأ التصميم السيئ.



الشكل (2) أهداف التدعيم المراد تحقيقها للمنشآت القائمة والمدعمة (a) الصلابة، المقاومة، و/أو المطاوعة (b) استطاعة (قدرة) تبديد الطاقة (c) التحكم بالتشوه الدائم [3]

2– استراتيجيات التدعيم Retrofit Strategies

تصنف استراتيجيات التدعيم بشكل عام إلى استراتيجيات موضعية وعامة. لايعتبر هذا التصنيف نهائي والاستراتيجيات الواقعة في أي من التصنيفين متوقعة، كما أنه يمكن لبعض الباحثين إعطاء تصنيفات أخرى.

1- استراتيجيات التدعيم الموضعية Local Retrofit Strategies

تتضمن استراتيجيات التدعيم الموضعية (المحلية) تقوية موضعية محلية للجوائز، الأعمدة، عقد الجائز-عمود والبلاطة- عمود، الجدران والأساسات. تسمح التقوية الموضعية لواحد أو أكثر من العناصر أو الوصلات بمقاومة طلبات المقاومة المتوقعة من التحليل دون التأثير على الاستجابة الكلية للمنشأ. يميل هذا المخطط ليكون البديل الأكثر اقتصادية عندما تعاني مجموعة عناصر فقط من عيوب. تصنف استراتيجيات التدعيم الموضعية حسب العناصر. نذكر من هذه الاستراتيجية:

تقوية العمود والجائز وعقدة الجائز-عمود، تزيد تقنية القميص البيتوني والقميص المعدني من المقاومة والمطاوعة وهي تقنية سهلة ومعروفة ويساعد القميص المعدني في نقل العزوم وكسب المطاوعة من خلال تطويق البيتون، وتزيد تقنية التطويق بالبوليمرات المسلحة بالألياف FRP من المقاومة لكن السلبية الأساسية لأغلب FRP هي الكلفة العالية، والسلوك الهش ومقاومة الحريق. بينت الدراسة [9] أن العينات المدعمة بقمصان FRP تظهر فعالية أفضل بالنسبة للمقاومة، تبديد الطاقة، معدل أقل لتدهور للصلابة ومستويات المطاوعة.

يمكن تقوية **الجدار البيتوني** بإضافة بيتون جديد مع عناصر محيطية كافية. لتأمين العمل المشترك، يجب تزويد أشاير بين البيتون الموجود والجديد. كما يمكن استخدام أربطة أو شرائح فولاذية [10]، صفائح (شرائح) فولاذية أو FRP، سبق اجهاد خارجي أو نواة محقونة بالبيتون لتقوية الجدران الحجرية غير المسلحة.

يجري تقوية **الأساسات** بتقوية القواعد بالبيتون المسلح وزرع الأشاير بين البيتون القديم والجديد، كما قد تتطلب الحالة أيضاً تقوية تربة التأسيس [11].

2- استراتيجيات التدعيم العامة Global Retrofit Strategies

تهدف استراتيجيات التدعيم العامة لزيادة صلابة البناء عن طريق تزويد عناصر مقاومة للقوى الأفقية، أو لتخفيض عدم الانتظام أو الكتلة.

يعتبر **إضافة جدران الملء** Addition of Infill Walls خيار جيد للأبنية المدروسة ذات الطابق الأرضي المفتوح (بدون جدران أو قواطع). طبعاً، تزيد جدران الملء مقاومة وصلابة البناء، لكنها لاتحسن المطاوعة. يمكن لجدران الملء البيتونية المسلحة أن تتصرف مثل جدران القص. من أجل جدران الملء البيتونية المسلحة المصبوبة في المكان، العامل المهم الذي يعرّف المقاومة الجانبية للإطار هو وجود التشاريك بين الجدار والإطار المحيط.

يمكن إضافة **جدران قص جديدة** لضبط الانتقال الجانبي. يشمل إضافة جدران قص مسائل تصميمية حرجة مثل: نقل قوى قص ديافرام الأرضية إلى الجدار الجديد عبر التشاريك، إضافة مجمع collector جديد وعناصر سحب drag members إلى الديافرام، ردود أفعال الجدار الجديد إلى الأساسات القائمة.

يمكن تصميم **نظام تربيط فولاذي** لتحسين الصلابة، المقاومة، المطاوعة، تبديد اطاقة، أو أي تجميع منها. تعتبر الوصلات بين الأربطة والإطار القائم أهم سمة في هذه الاستراتيجية. اقترح بعض الباحثين استخدام الكابلات مسبقة الإجهاد والأربطة غير الملحومة (المتصلة) لتجنب المشاكل المتعلقة بانهيار الوصلات وتحنيب الأربطة.

نستطيع **التقليل من عدم الانتظام** عن طريق: تصحيح عدم الانتظام الفتلي بإضافة إطارات أو جدران قص، إعادة تمركز (تموضع) الكتل غير المركزية، إنشاء الفواصل الزلزالية لنقل بناء غير منتظم إلى عدة منشآت متناظرة، اعتبار الهدم الجزئي مقياس فعال على الرغم من أن هذا يمكن أن يملك تأثير على جدوى البناء، مد المكونات غير المستمرة مثل الأعمدة إلى مابعد منطقة الانقطاع. وكما ذكر سابقاً، يمكن للجدران والأربطة أن تحد من سلبيات الطابق

اللين والضعيف. يؤدي **تخفيض الكتلة** إلى تخفيض الطلب على القوة الجانبية، وبالتالي، يمكن استخدامه في حالات خاصة في مجال التقوية الإنشائية.

لايعتبر استخدام **أجهزة تبديد الطاقة والعزل القاعدي** للأبنية متعددة الطوابق المنخفضة والمتوسطة فعالاً اقتصادياً في الوقت الحاضر. بالتالي، لم يتم الإشارة إلى هذه الأجهزة والأنظمة في الدراسة.

3- الهندسة الزلزالية القائمة على الأداء

1- مقدمة Introduction

هناك ثلاث مهام أساسية للهندسة الزلزالية القائمة على الأداء PBSE وهي تحليل الإنشاءات الجديدة وتصميمها وتقييم المنشآت القائمة بوضعها الراهن والمنشآت التي تم تدعيمها أو إعادة تأهيلها، وذلك باعتبار سلوك الأداء الذي تبديه هذه المنشآت عند تعرضها للزلازل. ويعرف التصميم الزلزالي القائم على الأداء بأنه عملية تصميم المباني الجديدة أو إعادة التأهيل الزلزالي للمباني القائمة، والذي يتضمن اتجاه محدد لتحقيق أهداف الأداء المحددة تحت تأثير الزلازل المستقبلية. وتتعلق أهداف الأداء بالتوقعات المتعلقة بمقدار الضرر الذي قد يتعرض له المبنى نتيجة الاهتزاز الزلزالي وعواقب ذلك الضرر. أهداف الأداء هي: التشغيل (O)، والإشغال الفوري (IO)، وسلامة الحياة (LS)، والوقاية من الانهيار (CP).

يتم في طريقة التصميم القائم على الأداء وصف مستويات الأداء حسب الانتقال كتضرر حيث يكون أفضل التوجه إلى الانتقال بدلا من القوى. ويتمثل الهدف الأساسي حسب PBSD في الحصول على منشأ سيصل إلى الانتقال المستهدف عند التعرض للزلازل بما يتفق مع طيف استجابة مرجعي معين. يتم التحكم في مستويات أداء المنشأ من خلال اختيار القيم المناسبة للانتقال الأقصى والانتقال الطابقي الأقصى.

تقوم عملية التصميم الزلزالي القائم على الأداء بتقييم صريح لكيفية أداء المبنى الذي يتعرض للخطر الزلزالي المحتمل. أيضا كيف يتصرف المبنى آخذين بالاعتبار الشكوك الموجودة في تحديد المخاطر المحتملة والشكوك في تقييم الاستجابة الفعلية للمبنى. وعادة لا يمكن تقييم الآثار الطويلة الأجل للمخاطر والاستحقاقات باستخدام نهج (طرق) التصميم التقليدي.

يبدأ التصميم القائم على الأداء باختيار معايير التصميم مع مراعاة هدف أو أكثر من أهداف الأداء. ويأخذ كل هدف من أهداف الأداء بالاعتبار الخطر المقبول المتمثل في تكبد مستويات محددة من الضرر وما يترتب على ذلك من خسائر ناتجة عن هذا الضرر على مستوى محدد من المخاطر الزلزالية. مفهوم التصميم القائم على الأداء لا يقتصر على المباني وحدها، ولكن ينطبق عموما على جميع الإنشاءات ومحتوياتها ومكوناتها غير الإنشائية .

يمكن استخدام التصميم الزلزالي القائم على الأداء بشكل فعال لتصميم المباني مع مستوى عالي من الثقة حيث سيتم تحقيق الأداء الذي تتطلبه كودات البناء الحالية، ومن الممكن تحقيق الأداء مع انخفاض تكاليف البناء وانخفاض الخسائر المحتملة.

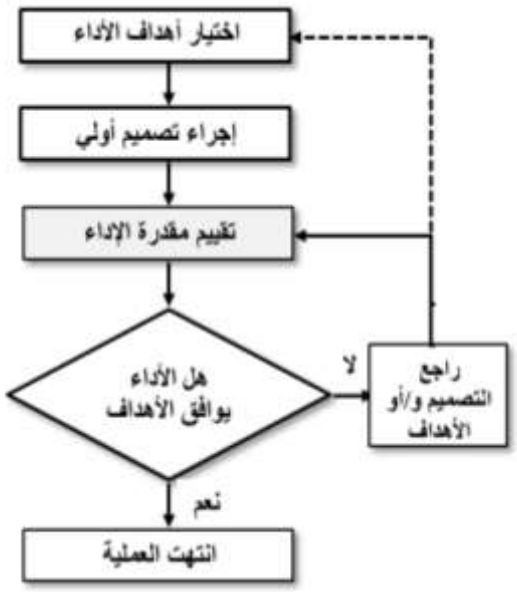
2-مفهوم (مبدأ) التصميم القائم على الأداء Concept of Performance Based Design

الهدف الرئيسي لعملية التصميم الزلزالي القائم على الأداء هو تقييم الكيفية التي يحتمل أن يؤديها المبنى (الجديد أو القائم) في ظل المخاطر الزلزالية المحتملة. لايقتصر عدم اليقين عموماً في الشك في تحديد المخاطر المحتملة، بل أيضا الشكوك في تقييم الاستجابة الفعلية للمبنى. في التصميم القائم على الأداء، يعتبر تحديد وتقييم قدرة الأداء للمبنى جزء لا يتجزأ من عملية التصميم بأكملها. يبدأ التصميم القائم على الأداء باختيار معايير التصميم

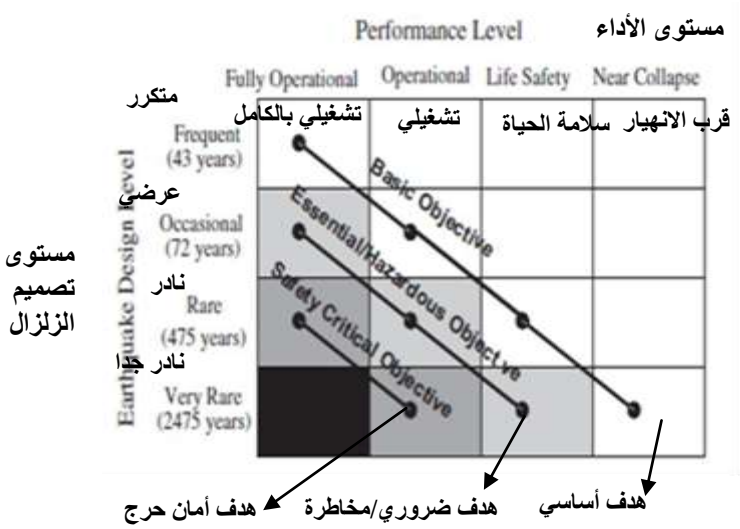
المذكورة (المتمثلة) في شكل هدف أو أكثر من أهداف الأداء. ولكل هدف من أهداف الأداء بيان بالمخاطر المقبولة لتجاوز مستويات معينة من الضرر. وتحسب الخسائر الناجمة عن ذلك نتيجة للأضرار التي تحدث عند مستوى معين من الأخطار الزلزالية. يمكن أن تترافق الخسائر مع الأضرار الإنشائية، والأضرار غير الإنشائية، أو كليهما. في التصميم القائم على الأداء، يعتبر تحديد وتقييم قدرة الأداء للمبنى جزء لا يتجزأ من عملية التصميم التي توجه العديد من قرارات التصميم التي يجب إدراجها. ويبين الشكل (3) مخطط نهجي يعرض الخطوات الرئيسية في عملية التصميم القائمة على الأداء. وهي عملية تكرارية تبدأ بتحديد أهداف الأداء، يليها وضع تصميم أولي، وتقييم ما إذا كان التصميم يلبي أهداف الأداء، وأن يعاد تصميم المبنى ويعاد تقييمه، إذا لزم الأمر، إلى أن يتم تحقيق مستوى الأداء المطلوب.

3-اختيار أهداف الأداء Selection of Performance Objectives

العنصر الأول في PBSD هو اختيار أهداف الأداء ويتكون من جزأين: مستوى الأداء ومستوى الخطر الذي يصف الحمل الزلزالي المتوقع في الموقع. وتبدأ العملية باختيار معايير التصميم الواردة (المعبر عنها) في شكل هدف أو أكثر من أهداف الأداء . ويصف الشكل (4) العلاقة الواضحة بين أهداف الأداء، ومخاطر الزلازل/التكرار ومستويات الأداء القابلة للقياس [12].



الشكل (3) مخطط نهجي للتصميم القائم على الأداء[الباحث]



الشكل(4) العلاقة بين مستوى تصميم الزلازل ومستويات الأداء[5]

7- التقييم الزلزالي القائم على الأداء

7-1- من التصميم الزلزالي إلى التقييم الزلزالي

توفر كودات التصميم الزلزالي التقليدية معايير وصفية "تعتبر متوافقة" تحدد مستويات الحد الأدنى من المقاومة والصلابة والمطاوعة، وتحدد المواد المقبولة والتفاصيل والتكوين من أجل تحقيق الحد الأدنى من مستويات السلامة والأداء للمباني في الزلزال. تجربتنا هي الزلازل الماضية تشكل هذه المعايير الوصفية.

لا يتم تقييم الأداء المتوقع للمبنى في الزلزال بشكل عام في التصميم الجديد للمبنى ولكن الحد الأدنى من الأداء مشمول (متضمن) في القواعد المنصوص عليها. وتشمل هذه القواعد استخدام تصميم الاستطاعة والحد الأدنى من

متطلبات تفاصيل العنصر على سبيل المثال. الحد الأدنى لتباعد الأتاري في الأعمدة الخرسانية. وتتجاوز المستويات الدنيا للأداء المطلوب مستويات التصميم للاهتزاز حتى وإن لم يتم حسابها بشكل صريح.

تدل الخبرة والتجربة أن سلوك المباني التي تم تصميمها وتشييدها قبل إدخال الكودات الزلزالية الحديثة سيكون سيئاً، وأن تقييم هذه المباني القديمة على الزلازل وإعادة تأهيلها يشكل تحديا كبيرا لمهندسي الهندسة الزلزالية.

نشر مجلس التكنولوجيا التطبيقية ATC مبادئ توجيهية للتقييم الزلزالي للمباني القائمة منذ الثمانينيات، من وثائق [13] 1987 ATC-14 و [14] 1988 ATC-22، التي استحدثت (طورت) في 1992 FEMA 178 [15] و [16] 1998 FEMA 310 المستخدمة على نطاق واسع . وتعتمد هذه المبادئ التوجيهية المبكرة على الملاحظات والدروس المستخلصة من الزلازل بسبب محدودية أدوات التحليل والبيانات التجريبية.

7-2- ضرورة التقييم الزلزالي القائم على الأداء

ومن المتوقع أن تكون المباني القائمة غير مطابقة للقواعد الإرشادية في الكودات الزلزالية والجيل السابق من المبادئ التوجيهية للتقييم الزلزال. ومن خلال تطبيق المعايير الزلزالية الحديثة على هذه المباني سنجد أن عدد كبير من هذه المباني غير متوافقة دون الحاجة إلى فهم مخاطرها الزلزالية الفعلية أو أدائها. بالتالي، قد تحتاج هذه المباني إلى إصلاح أو تدعيم، حيث أن الافتراضات حول مقاوماتها وصلابتها أو مطاوعتها قد لا يمكن الاعتماد عليها. وبالمثل، يكافح كتّاب الكود في توفير مجموعة من القواعد التوجيهية التي تمكن من التقاط كل الاختلافات المحتملة للمباني القائمة غير المتوافقة.

يوفر التقييم الزلزالي القائم على الأداء للمهندسين آلية لتقييم كيفية تصرف المبنى في زلزال، ولا سيما عندما يكون المبنى الذي لا يلبي عددا من المتطلبات الوصفية التقليدية ويستجيب بطريقة غير خطية بدرجة عالية مع احتمال أن تكون هناك استجابة مطاوعة مختلطة، ويوفر أيضا وسيلة لتوصيل وربط مختلف نتائج الأداء الإنشائي للأهداف المتنوعة لأصحاب المباني / المجتمع. ويأخذ هذا أهمية خاصة في توصيل صورة المخاطر الزلزالية لمبنى قائم. توفر المبادئ التوجيهية الزلزالية الحديثة (NZSEE, 2006 [17]; ASCE-31, 2003 [18]; ASCE-41, 2006 [19]) أدوات لتقييم السلوك المحتمل للإنشاء نتائج الأداء للاهتزازات الارضية الناتجة عن الزلازل.

7-3- المبادئ التوجيهية للتقييم الزلزالي القائم على الأداء

اعترافا بالاحتياجات المبينة في الفقرة السابقة، بدأ في أواخر التسعينيات وأوائل العقد الأول من القرن العشرين وضع عدد من المبادئ التوجيهية للتقييم الزلزالي القائم على الأداء. تعتبر [20] (1997) FEMA-273 رائدة في تقييم الزلازل القائم على الأداء للمباني القائمة باستخدام إجراءات التحليل غير الخطية مثل التحليل الستاتيكي اللاخطي والتحليل الديناميكي اللاخطي . وقد قامت FEMA-273 وإصداراتها اللاحقة (FEMA-356, 2000 [11] and ASCE-41, 2006 [9]) بتجميع وتعريف مستويات الأداء المختلفة وما يرتبط بها من "أداء "إنشائي وغير إنشائي، تقنيات التحليل الخطي وتعريفات "معايير القبول" أي حدود تشوه الاستطاعة اللدنة وحدود المقاومة لمختلف المكونات الإنشائية. ويرتبط الأداء الزلزالي للمبنى (مثل حالة تضرر المكونات الإنشائية وغير الإنشائية) بمختلف بارامترات الطلب الهندسي (الانتقال الطابقي أو تسارع الأرضية)، والتي يتم قياسها كميا باستخدام التحليلات غير الخطية واستطاعات المكونات الإنشائية الموضعية المعايرة تجريبياً. يوضح الشكل (7) كلاً من مستويات الأداء المنفصلة لطرائق تقييم الجيل الأول القائمة على الأداء؛ و "استمرارية الأداء" التي أدخلت في المبادئ التوجيهية من الجيل الثاني [22]. يتضمن تقييم أداء المبنى بشكل عام الخطوات التالية:

1- توصيف خطر اهتزاز الأرض. 2- تحليل الإنشاء لتحديد الاستجابة المحتملة وشدة الاهتزاز المنقولة إلى المكونات. 3- تحديد الضرر المحتمل للمكونات الإنشائية وغير الإنشائية. 4- تحديد الخسائر الممكنة الناجمة عن الإصابات (الحوادث)، ورأس المال، والإشغال، بوصفها تابع للأضرار الإنشائية وغير الإنشائية. 5- حساب الخسائر المستقبلية المتوقعة كدالة للشدة، للاستجابة الإنشائية وغير الإنشائية، والأضرار ذات الصلة.

هناك حاجة إلى تحديث مستمر القواعد والإجراءات وتغيير بعض العقول من أجل توفير إطار منتظم لتقييم المباني التي تقع خارج متطلبات الكودات الإلزامية والتي يمكن أن تملك مجموعة من نتائج الأداء.

7-4- طرائق التحليل المستخدمة في تقييم المنشآت القائم على الأداء

تحدد أغلب نظم البناء نهجين تحليليين رئيسين لتقييم استجابة المباني والمنشآت خلال الزلازل [24,25]، هما الطرائق الستاتيكية والطرائق الديناميكية. تندرج الطريقة الستاتيكية المكافئة الخطية والطريقة الستاتيكية اللاخطية ضمن الطرائق الستاتيكية، وتندرج طريقة التحليل باستخدام طيف الاستجابة وطريقة التحليل باستخدام التاريخ الزمني الخطية واللاخطية ضمن الطرائق الديناميكية. إن إجراءات التحليل الخطية (القائمة على المقاومة) غير كافية لتحديد أداء المنشآت تحت تأثير الأحمال الزلزالية، مما يحتم استخدام الطرائق اللاخطية. سنقتصر في هذه المقالة على اعتماد إجراءات التحليل باستخدام طريقة التحليل الستاتيكية اللاخطية (وهي طريقة تحليل دفعي متتالي Pushover Analysis)، وذلك بسبب فعاليتها وبساطتها وعدم حاجتها لسجلات زمنية غير متوفرة محليا.

يظهر أن التصميم القائم على الأداء هو الاتجاه المستقبلي لكودات التصميم الزلزالي [12,11,22]. تصبح إجراءات التحليل غير الخطية في نهج التصميم الزلزالي القائم على الأداء الذي تم تطويرها حديثا، مهمة في تحديد أنماط ومستويات الضرر لتقييم السلوك غير المرن للإنشاء وفهم أنماط الانهيار للإنشاء أثناء الأحداث الزلزالية الشديدة.

8- التحليل الستاتيكي اللاخطي Pushover Analysis

8-1- أسس التحليل الستاتيكي اللاخطي Principles of Nonlinear Static Analysis

أدى التقدم الحالي للتصميم القائم على للأداء إلى ظهور إجراءات **التحليل الستاتيكي اللاخطي** واختصارها NSP. يتم في التحليل الستاتيكي اللاخطي زيادة شدة التحميل الإنشائي بشكل متزايد وفقا لنمط معين محدد مسبقا مع زيادة في شدة التحميل، يتم خلال ذلك تحديد الروابط الضعيفة وأنماط انهيار المنشأ. تعتمد طريقة التحليل هذه بشكل عام على طريقة تجميع اللدونة التي تتعقب انتشار اللامرونة من خلال تشكيل مفاصل لدنة لاخطية عند نهايات عنصر الإطار أثناء عملية التحميل المتزايد. يكون التحميل متتالي مع آثار السلوك الدوري والتحميل الراجع، ويتم تحديد ذلك باستخدام معايير تشوه- قوة معدلة ومع التخامدات التقريبية. التحليل الستاتيكي اللاخطي هو محاولة لتقييم المقاومة الحقيقية للإنشاء، وهو يعتبر أداة مفيدة وفعالة للتصميم والتقييم القائم على الأداء.

يفترض أن التأثيرات الموضعية اللاخطية، مثل مفاصل العزوم ومفاصل القص، تحدث في نهايات العناصر، أو في الأماكن التي يحددها المصمم وينبغي أن تتم النمذجة بشكل مناسب. يحدث إعادة توزيع القوى الداخلية مع تشكيل المفصل اللدن تدريجياً، ويمكن أن يحدث انهيار موضعي عند بعض مواقع المفاصل، بسبب تجاوز حد التشوه اللدن. يتم دفع الإنشاء حتى الانهيار الكامل، الذي يحدث عندما يتشكل عدد كاف من المفاصل اللدنة مسبباً ظهور آلية الانهيار أو عندما لا يستطيع النظام نقل مسارات القوة للحفاظ على التوازن (بعد كسر المفاصل الموضعية). الناتج الرئيسي للتحليل الستاتيكي اللاخطي هو منحنى قوة -انتقال، يسمى منحنى الدفع (البوش أوفر أو الاستطاعة) . وهو

مخطط بين القص القاعدي (الحمل الجانبي الكلي) والانتقال الجانبي (الانتقال الطابقي) عند نقطة ما في مستوى السطح، مع الأخذ بالاعتبار جميع مراحل تزايدات الحمل الجانبي / الانتقال.

يتطلب إجراء التحليل الستاتيكي اللاخطي تحديد ثلاثة عناصر أساسية: الاستطاعة والطلب والأداء، الشكل (5). يمكن الحصول على طيف الاستطاعة من خلال التحليل الستاتيكي اللاخطي، الذي يتم الحصول عليه عموما على أساس استجابة النمط الأول للإنشاء على افتراض أن النمط الأساسي للاهتزاز يمثل الاستجابة السائدة للإنشاء . يمثل منحنى الاستطاعة هذا كيف يتصرف الإنشاء خارج الحدود المرنة تحت تأثير التحميل الزلزالي . ويقدر (يحسب) منحنى طيف الطلب عادة بتخفيض طيف التصميم المرن المعياري بنسبة % 5 بطريقة التخفيض الطيفي . ويعرف التقاطع بين منحنيات الاستطاعة والطلب الطيفي بـ"نقطة الأداء" كما هو مبين في الشكل (5). يجب التحقق من الاستجابات الناتجة للبناء عند نقطة الأداء، باستخدام معايير قبول معينة. ويمكن التحقق من الاستجابات على حدود المقبولية (القبول) عند كل من مستويات النظام العام (الكلي) (مثل استقرار الحمل الجانبي والانحراف الطابقي) ومستويات العناصر الموضعية (مثل مقاومة العنصر ودوران المقطع اللدن) [2]. عندما لاتحقق استجابات الإنشاء مستوى الأداء المستهدف، يحتاج الإنشاء إلى تغيير أبعاده أو التدعيم وتكرار عملية التصميم إلى أن يتم التوصل إلى حل لمستوى الأداء المطلوب . بشكل عام، يتطلب تحديد استجابة الأداء المرضية التي تلبي كل من استجابة مستوى النظام واستجابة مستوى العنصر إجراء تصميم تكراري يعتمد مبدأ التجربة والخطأ حتى مع مساعدة برامج الكمبيوتر الهندسية.

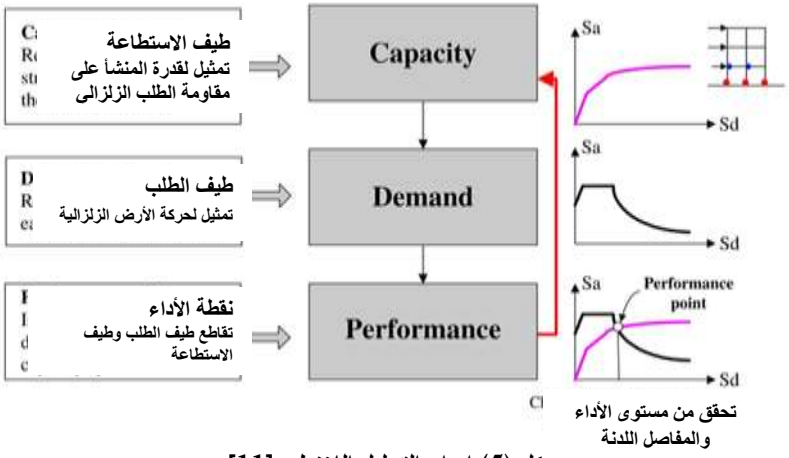
يتم الحصول على نتائج التحليل الستاتيكي اللاخطي بالعلاقة بين طلب الاستجابة والاستطاعة (القدرة). إذا تقاطع منحنى الطلب مع منحني الاستطاعة بالقرب من المرحلة المرنة، الشكل (6–a)، فإن الإنشاء يملك مقاومة جيدة. إذا تقاطع منحنى الطلب مع منحني الاستطاعة مع القليل من احتياطي المقاومة واستطاعة (قدرة) التشوه، الشكل (6–b)، فإنه يمكن الاستنتاج أن الإنشاء سوف يتصرف بشكل سيئ خلال التحريض الزلزالي المفروض ويحتاج إلى إعادة التأهيل لتجنب الأضرار الكبيرة في المستقبل أو الانهيار.

يتم تقييم أداء الإنشاء باستخدام حالة المفاصل عند الانتقال المستهدف [23] أو نقطة الأداء [12] المقابلة لمستوى الزلزال المحدد (طيف الاستجابة المعطى). ويكون الأداء مرضيا (محقق) إذا كان الطلب أقل من الاستطاعة عند جميع مواقع المفاصل.

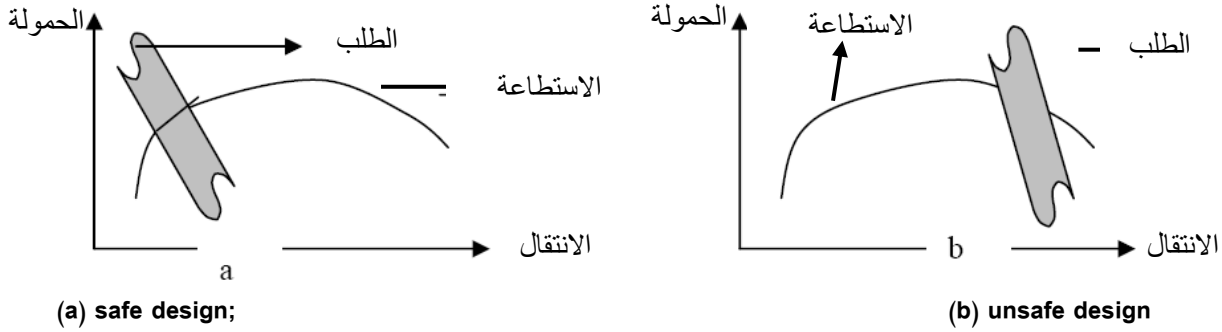
يعتبر الانتقال الطابقي لمبنى متعدد الطوابق مقياس مهم للأضرار الإنشائية وغير الإنشائية للمبنى تحت تأثير مستويات مختلفة من حركة الزلازل. في التصميم القائم على الأداء، أصبح أداء الانتقال الطابقي معيار تصميم رئيسي [12,22]. يتم تقييم مستويات أداء النظام في مبنى متعدد الطوابق على أساس قيم الانتقال الطابقي على طول ارتفاع المبنى تحت تأثير مستويات مختلفة من حركة الزلزال [22]. ويمكن أيضا اعتبار السيطرة على الانتقال الطابقي كوسيلة لتوفير مطاوعة منتظمة على جميع طوابق المبنى. يمكن أن تنتج قيم كبيرة للانتقال الطابقي في حالة وجود الطابق الضعيف الذي قد يسبب انهياراً كارثيا في المباني خلال الحدث الزلزالي. لذلك، من المفضل أن تكون مطاوعة الطابق منتظمة على جميع الطوابق في المباني متعددة الطوابق خلال التصميم الزلزالي.

على الرغم من أن أداء الانتقال الجانبي drift هو موضع اهتمام رئيسي في التصميم الزلزالي لإنشاءات الأبنية، فإن تصميم عناصر إنشاءات الأبنية اقتصاديا لمختلف مستويات أداء الانتقال الجانبي المرن وغير المرن عند مستويات متعددة من الحمولات الزلزالية هو مهمة صعبة نوعا ما وتشكل تحدي.

يتطلب تصميم الانتقال الجانبي اعتبار التوزيع المناسب للصلابة لكل العناصر الإنشائية، وفي الحدث زلزالي الشديد، أيضا حدوث وإعادة توزيع اللدونة في العناصر الإنشائية. يواجه المهندسون الإنشائيون مشكلة تناسب (تكيف) المواد الإنشائية بكفاءة في جميع أنحاء المبنى للحد من استجابات الانتقال الزلزالي غير المرنة للإنشاء. نظرا لعدم وجود تقنية الأمثلية الآلية، ينفذ التصميم الزلزالي القائم على الأداء عادة باستخدام طرق التجربة والخطأ على أساس الحدس والخبرة.



الشكل (5) إجراء التحليل اللاخطي [11]

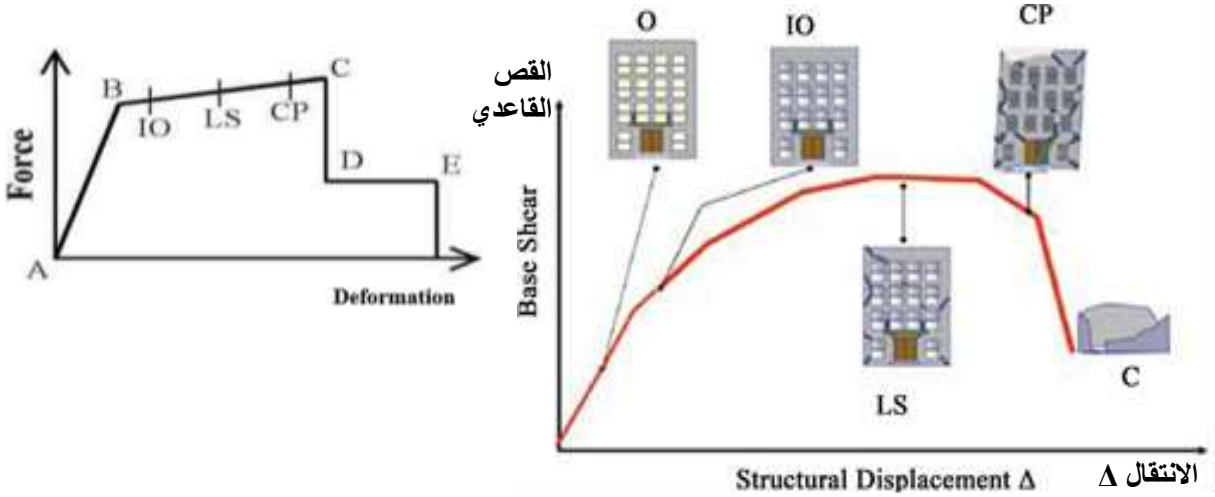


الشكل (6): a- تصميم آمن، b- تصميم غير آمن [11]

8-2- مستويات أداء الأبنية performance levels

يوصف الأداء الزلزالي بتعيين الحد الأقصى لحالة الضرر المسموح بها (مستوى الأداء) لمخاطر زلزالية محددة (حركة أرضية لزلزال). وبمعنى آخر تعرّف حالة حد التضرر التي يمكن اعتبارها مرضية لمبنى معين وشدة حركة أرضية معينة بمستوى الأداء. يتم تقسيم مستوى الأداء المستهدف إلى مستويين من الأضرار الإنشائية والأضرار غير الإنشائية، والجمع بين الاثنين يعطي المبنى مستوى الأداء المشترك. تأخذ مستويات الأداء بالاعتبار مايلي: 1. الضرر الهام داخل المبنى، 2. خطر السلامة الناجمة عن الضرر، 3. قابلية خدمة المبنى بعد الزلزال.

توصّف مستويات الأداء كمايلي[11]، الأشكال (7،8).



الشكل (7) مستويات الأداء المختلفة–العلاقة بين استجابة المبنى/الضرر الناتج عن استجابة العنصر

الشكل (8) علاقة القوة–تشوه للمفصل

المستوى التشغيلي (O): في مستوى الأداء التشغيلي، تحدث أضرار خفيفة جدا. يحدث فيه انخفاض قليل في المقاومة والصلابة، يحدث انتقال مؤقت في المبنى. يستعيد المقاومة والصلابة الأساسية. تملك المكونات غير الإنشائية أضرار أقل وتكون فعاليات البناء صالحة للعمل.

مستوى الإشغال الفوري (IO): في هذا المستوى، يسمح بأضرار خفيفة وبشقوق طفيفة. لا يسمح بالانتقالات الطابقية الدائمة. يكون للمقاومة والصلابة عامل تخفيض أقل. الانتقالات في البناء تكون أكبر بالمقارنة مع المستوى التشغيلي. لدى العناصر غير الإنشائية المزيد من الأضرار وتكون فعاليات البناء الأخرى صالحة للعمل.

مستوى سلامة الحياة (LS): شقوق وأضرار معتدلة ويسمح ببعض الانتقالات الطابقية الدائمة. انخفاض المقاومة والصلابة، ولكن لا يوجد أي ضرر للمنشأ يشكل خطرا على حياة الإنسان.

مستوى منع الانهيار (CP): يلاحظ أضرار وانخفاضات شديدة في المقاومة والصلابة في مستوى منع الانهيار (الوقاية من الانهيار)، انتقالات كبيرة ولكن الانهيار لم يحدث.

8-3- اللاخطية: نموذج المفصل اللدن Nonlinearity: The Plastic hinge Model

على الرغم من أنه من المستحسن التحقق من موقع المفاصل اللدنة عن طريق نمذجة التجربة والخطأ، تبين البحوث أن إمكانية تشكيل المفصل هو في مناطق نهايات الجوائز والأعمدة أثناء الحدث الزلزالي. إذا كانت أحمال الجاذبية كبيرة، يمكن أن تتشكل المفاصل بالقرب من منتصف مجاز الجوائز. في مثل هذه الحالات، تزيد الأحمال الدورية من دوران المفاصل تدريجيا، مما تسبب في ترهل الجائز causing the beam to sag . يمكن تطوير خصائص المفصل المطلوبة من النتائج التجريبية. في العمل الحالي، تتواجد المفصل اللدنة بثلاثة أشكال أساسية هي القوة المحورية P، والقص V، والعزم M ويتم تشكيل تجميع من هذه العناصر حسب الحالة. عادة، تم نمذجة مفاصل لدنة M للجوائز بالقرب من النهايات فقط، وللأعمدة مفاصل لدنة PMM بالقرب من بداية ونهاية العمود فقط.

8-4- أنواع التحليل الستاتيكي اللاخطي

استخدمت الطرق الستاتيكية اللاخطية ((تحليل Pushover) في التحليل الزلزالي على نطاق واسع بسبب بساطتها الكامنة في النمذجة وزمن الحساب المنخفض. طورت في السنوات الأخيرة إجراءات متطورة لهذه الطرق، تعتبر

المبادئ الأساسية لها متشابهة، ولكن إجراءات كل منها مختلفة، وبالتالي، يمكن أن تكون مختلفة في نتائجها.

على الرغم من أن إجراءات التحليل في تقييم الأبنية تختلف عن بعضها البعض، لكن مبادئها الأساسية هي نفسها وكلها تستخدم التقريب ثنائي الخطية من منحنى الاستطاعة. يماثل هذا الإجراء الستاتيكي خصائص كل الإنشاءات متعددة درجات الحرية (MDOF) إلى ما يعادلها من إنشاءات ذات درجة حرية واحدة (SDOF)، وتقارب الانتقال الأعظمي المتوقع باستخدام طيف الاستجابة لشدة الزلزال ذات الصلة. تحسب استجابات المنشأ من خلال إعطاء القوة الكاملة أو إعطاء الانتقال الهدف، وهو ليس سوى 4٪، من ارتفاع المبنى. يستخدم التحليل المرن لتحديد القوى الزلزالية الجانبية، وهي المخفضة إلى مستويات القوة التصميمية غير المرنة بواسطة عامل تعديل الاستجابة. سنشرح فيمايلي مقارنة مختصرة وتعريف الفروقات بين إجراءات NSP المقدمة في المقاييس العالمية [11,23,27].

طريقة طيف الاستطاعة ATC 40 – Capacity Spectrum Method(CSM) [23]

في هذه الطريقة، تحسب نقطة الأداء بمقارنة منحنى الاستطاعة ومنحنى الطلب. يحسب منحني الاستطاعة باستخدام التسارع الطيفي مقابل الانتقال الطيفي. يحسب منحنى الطلب من التسارع الأرضي دور المنشأ. وتسمى النقطة حيث يلتقي (يتقاطع) منحنى الاستطاعة ومنحنى الطلب نقطة أداء المنشأ في الزلزال المتوقع. للحصول على أفضل تصور يحتاج منحنى الاستطاعة إلى تحويل من خلال طيف استجابة الانتقال التسارع ADRS (Acceleration Displacement Response Spectrum). عندما يتلدن (يخضع) المبنى كاستجابة لطلب زلزالي، فإنه يبدد الطاقة بتخميد هستيري، يسمى التخامد الفعال. يعطينا منحنى الاستطاعة أيضا المعلومات المتعلقة بالقص القاعدي، والانتقالات، الدور الفعال والتخامد الفعال عند نقطة الأداء.

طريقة عامل الانتقال [11] FEMA 356 – Displacement Coefficient Method(DCM)

في هذه الطريقة، تطبق عوامل تعديل الانتقال على أقصى تشوه لنظام مكافئ مرن من درجة حرية واحدة (SDOF)، لتقدير طلب الانتقال غير المرن الأقصى لنظام متعدد درجات الحرية (MDOF). استخدمت DCM لتوصيف الطلب على الانتقال، وتقدر هذه الطريقة في المقام الأول الانتقال المرن لنظام مكافئ من درجة حرية واحدة بافتراض الخصائص الخطية الأولية والتخميد للحركة الأرضية. في هذه الطريقة، يتمثل الطلب في تخفيض أطياف الطلب المرن بواسطة عامل التصحيح إلى أطياف الطلب غير المرن (طيف طلب المطاوعة الثابتة) التي هي أكثر دقة من الأطياف المرنة، مع التخميد اللزج المكافئ. تستخدم FEMA–356 طريقة المعامل، حيث يحسب طلب الانتقال عن طريق تعديل التنبؤات المرنة لطلب الانتقال. تعتبر FEMA 440 تحسين (محسنة) عن FEMA–356 حيث تستخدم المعاملات المعدلة لحساب طلب الانتقال.

طريقة عامل الانتقال الخطية المكافئة المعدلة FEMA440 Equivalent Linearization–Modified CSM[27]

تتضمن هذه الطريقة المحسنة علاقات جديدة لحساب الدور الفعال والتخامد الفعال. وبشكل متوافق مع إجراءات ATC–40، توجد ثلاثة إجراءات تكرارية لتقدير الانتقال المستهدف، تم فرض تقييد على المقاومة لتجنب عدم الاستقرار الديناميكي. سيتم اعتماد إجراءات هذه الطريقة في هذه المقالة.

طريقة تعديل الانتقال DCM [27] Improvement- Displacement Modification FEMA 440

أجرت هذه الطريقة تحسين (تعديل) على طريقة FEMA356 خاصة العوامل المتعلقة بحساب الانتقال المستهدف. تم استبدال تأثيرات معامل $P - \Delta$ بفحص عدم الاستقرار الجانبي الديناميكي من خلال تقييد المقاومة وإعطاء قيمة قصوى لايسمح بتجاوزها.

9- دراسة تطبيقية لحالات أبنية واقعية قائمة Case Studies

تم في هذه الدراسة إجراء دراسة تطبيقية تحليلية باستخدام التحليل الستاتيكي اللاخطي لحالتي بنائين قائمين وذلك لتقييم الكفاءة الإنشائية الحالية لهما وتبيان الأداء الزلزالي المتوقع مع الأخذ بالاعتبار المتطلبات الزلزالية الحالية حسب الكود السوري [24]، وكذلك تقييم ومقارنة الأداء المتوقع للحالات القائمة والمدعمة باستخدام أنظمة تدعيم مختلفة. تم اختيار البنائين الذين يملكان خصوصية وجود طابق بارتفاع مختلف عن بقية الطوابق الاشكال (9و10).

9-1- مواصفات البناء الأول

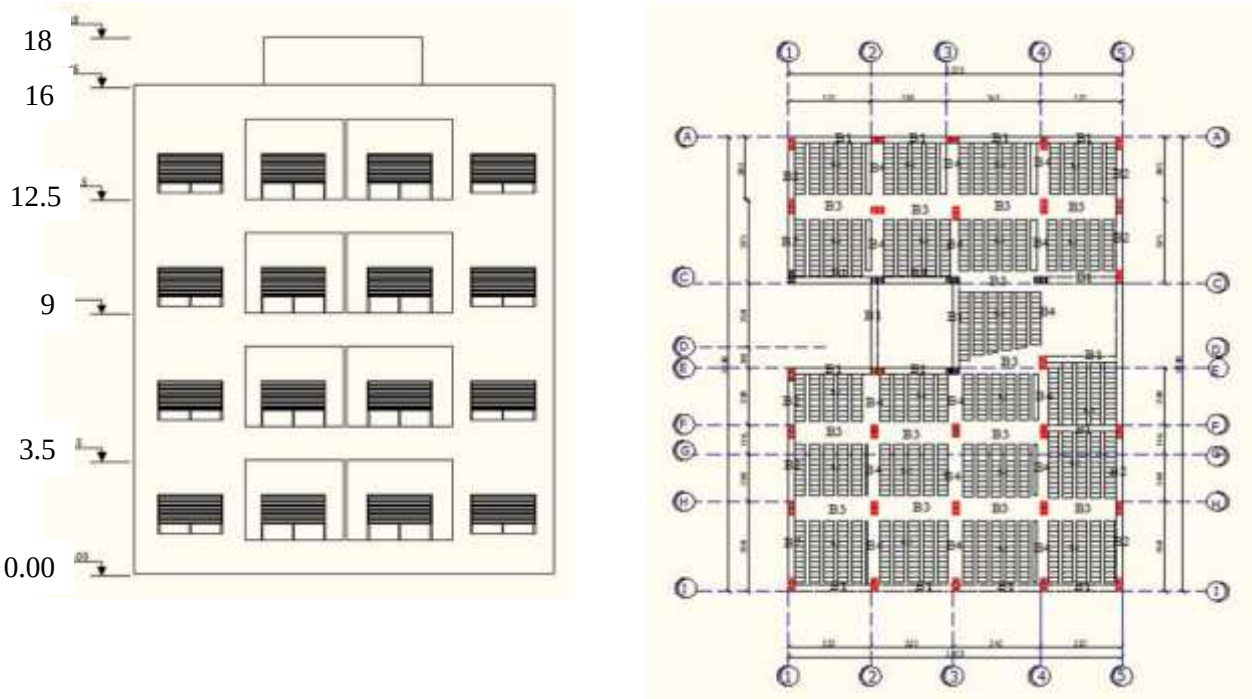
البناء الأول سكن شعبي واقع في مدينة طرطوس وهو مبنى بيتوني مسلح يتكون من أربع طوابق، ارتفاع الطوابق الاول والثالث والرابع 3.5 m، وارتفاع الطابق الثاني 5.5 m، الارتفاع الكلي للمبنى 16 m، أبعاده في المسقط 13X18.3)m) البلاطات من نوع هوردي سماكتها 25 cm، أبعاد (بـ cm) الجوائز المحيطية الساقطة bxh (25x50)، والمخفية (90x25) و(55x25) ، أبعاد الأعمدة (70x25) و(80x25) ، المقاومات المميزة: للخرسانة f'c=20Mpa، للفولاذ الرئيسي fy = 400Mpa والثانوي fy = 200Mpa، المعلومات أعلاه من رخصة البناء.

9-2- مواصفات البناء الثاني

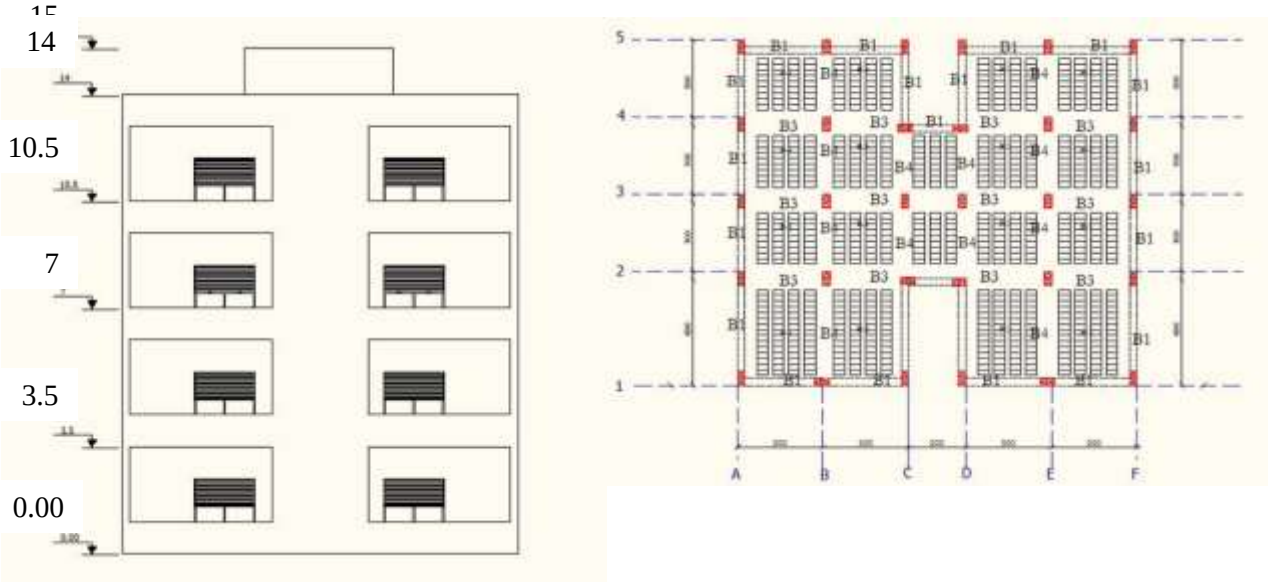
البناء الثاني سكن شعبي واقع في مدينة طرطوس وهو مبنى بيتوني مسلح يتكون من أربع طوابق، ارتفاع الطوابق الثاني والثالث والرابع 3.3 m، وارتفاع الطابق الأول 5.5 m، الارتفاع الكلي للمبنى 15.4 m، أبعاده في المسقط 14.8X20)m)، البلاطات من نوع هوردي سماكتها 25 cm، أبعاد (بـ cm) الجوائز المحيطية الساقطة bxh (25x65)، والمخفية (65x25) ، أبعاد الأعمدة (70x25) و(60x25) ، المقاومات المميزة: للخرسانة f'c=20Mpa، للفولاذ الرئيسي fy = 400Mpa والثانوي fy = 200Mpa، المعلومات أعلاه من رخصة البناء.

تم استخراج رخص البناء لكلا البنائين في عام 2013 وحسب اشتراطات الكود السوري.

اعتبر في كلا البنائين: التسارع الأرضي 0.25 g، والمقطع الشاقولي للتربة (SB) وتم اعتماد جميع مقاطع التسليح الفعلي كما هو وارد في رخصة البناء. يبين الشكلان (9 و 10) مسقط وواجهة للبناء الأول والثاني على الترتيب.



الشكل (9) مسقط وواجهة للبناء الأول



الشكل (10) مسقط وواجهة للبناء الثاني

10- نظم التدعيم المستخدمة في التحليل والتقييم Typed of Retrofitted Schemes

بين التحليل الأولي على البناء الاساسي الاستجابة الزلزالية ومناطق الضعف، حيث تجاوزت بعض العناصر مستوى الأداء CP، وبناء عليه تم استخدام نظم تدعيم مختلفة وتم المقارنة بينها. تم استخدام حالات تدعيم كثيرة وتبين الحالات التالية أفضل النظم المستخدمة من ناحية الأداء.

1- **التدعيم باستخدام القميص البيتوني- في البناء الأول** ولكل أعمدة الطابق الأول: تم تغيير مقطع العمود c1 من 0.6x0.25 m إلى 0.7x0.35m و تم تغيير مقطع العمود c2 من 0.7x0.25m إلى 0.8x0.35m. **وفي**

البناء الأول ولكل أعمدة الطابق الأول: تم تغيير مقطع العمود c1 من 0.7x0.25 m إلى 0.85x0.40m و تم تغيير مقطع العمود c2 من 0.8x0.25m إلى 0.95x0.40m.

2- **التدعيم باستخدام الجاكيت المعدنية- في البناء الأول** ولكل أعمدة الطابق الأول: تم تدعيم كل أعمدة الطابق الأول والعمود B-6 في الطابق الثاني بأربع زوايا معدنية 70x70x7. **في البناء الثاني** ولكل أعمدة الطابق الأول: تم تدعيم كل أعمدة الطابق الأول بأربع زوايا معدنية 80x80x8.

3- **التدعيم باستخدام التربيط الفولاذي1 بشكل V مقلوب- البناء الأول** تم تدعيم الفتحات بين أعمدة الطابق الأول بزوايا معدنية 70x70x7.**البناء الثاني** تم تدعيم الفتحات بين أعمدة الطابق الأول والثاني بزوايا معدنية 70x70x7.

4- **التدعيم باستخدام التربيط الفولاذي2 بشكل X- البناء الأول** تم تدعيم الفتحات بين أعمدة الطابق الأول بزوايا معدنية 70x70x7. **البناء الثاني** تم تدعيم الفتحات بين أعمدة الطابق الأول والثاني بزوايا معدنية 70x70x7.

11- النمذجة الإنشائية والتحليل Structural Modelling and Analysis

تم تحليل كلا البنائين باستخدام الطريقة الستاتيكية المكافئة وطريقة طيف الاستجابة والتحليل الستاتيكي اللاخطي. أجري التحليل الفراغي ثلاثي الأبعاد لكلا الاتجاهين X و Y ولكل حالات المبنى بدون تدعيم ومع حالات التدعيم الأربعة . اعتمد الكود السوري [24] كمرجع للأحمال والخصائص الزلزالية حسب المنطقة المدروسة. أجري التحليل الستاتيكي اللاخطي تحت تأثير جزء من الاحمال الشاقولية الدائمة وأحمال جانبية تزداد تدريجيا [11]. تمثل الأحمال الجانبية الستاتيكية المكافئة تقريبا القوى التي يسببها الزلزال. يسمح هذا التحليل بالحصول على منحني للقص الكلي مقابل الانتقال العلوي (منحني الاستطاعة) للبناء. يمكن من خلال هذا التحليل الإشارة إلى أي فشل أو انهيار مبكر (سابق لأوانه) أو ضعف للعناصر، ويتم إجراء التحليل حتى الفشل أو انهيار النظام الإنشائي.

أجري تقييم الأداء الزلزالي بواسطة منحني الاستطاعة (منحني Pushover)، نقطة الأداء وتشكيل المفاصل اللدنة والانتقال الطابقي والقص القاعدي. يبين منحنى الاستطاعة الاستجابة الكلية للمنشأ في حالة التحميل الزلزالي التدريجي، وتعطي نتائج المفصل اللدن المعلومات حول العنصر الأضعف وبالتالي العنصر الذي يحتاج للتقوية لتحقيق مستوى الأداء المطلوب. وتبعاً لذلك يمكن إجراء التفاصيل للعنصر لتحقيق النموذج المطلوب لانهيار العناصر في حالة الزلازل الشديدة. أجري التحليل الإنشائي باستخدام CSI ETABS2015.

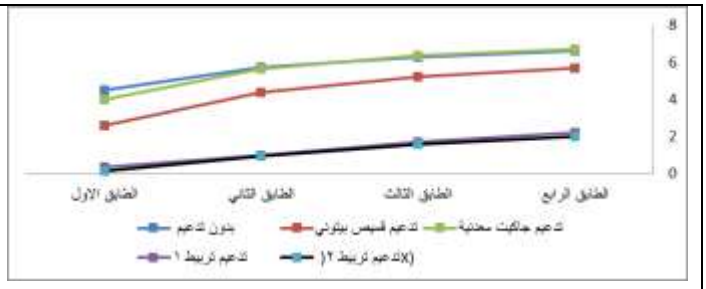
تم نمذجة الجوائز والأعمدة كعناصر خطية والبلاطات كعناصر غشائية، وتم اعتماد اللاخطية الهندسية (P-Δ) ولاخطية المواد. كما تم تعريف مفاصل لدنة لاخطية مركزة للجوائز والأعمدة عند الأوجه، وتم تعيين مفاصل العزم الافتراضية (M3) إلى عناصر الجوائز ومفاصل محورية افتراضية P و M2, M3 (PMM) إلى عناصر العمود، وتم نمذجة البلاطات كديافرامات صلبة. اعتمدت علاقات العزم-الدوران ومعايير القبول من أجل مستويات الأداء للمفاصل حسب [27]. تعتمد خصائص المفصل الافتراضية على مقطع العنصر، وفي هذه الحالة يجمع البرنامج بين المعايير الافتراضية المضمنة والمقاطع ويحسب المقاومة المتوقعة، اعتبرت الأعمدة موثوقة مع الاساسات.

تم إجراء عدد كبير من التحاليل الستاتيكية اللاخطية الفراغية وتم في كل مرة تحليل النتائج. بيّنت نتائج التحليل أن تقييم الأداء للنماذج الفراغية معقد لدرجة كبيرة حيث لوحظ أن بعض أنظمة التدعيم في الاتجاه X تؤدي إلى تغيير في أداء العناصر بالاتجاه Y، رغم أن التحليل بالاتجاه Y فقط (المدعم أصلاً) أظهر أن العناصر محققة ولاتعاني من

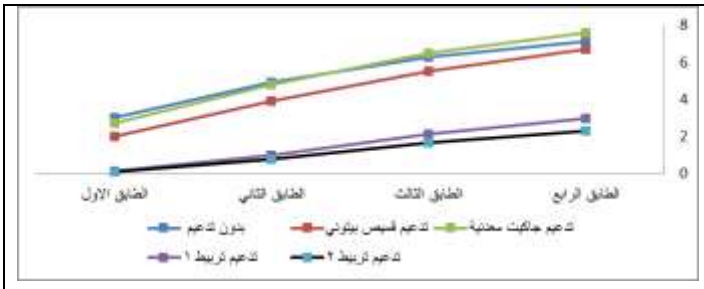
نقص مقاومة أو فرط انتقال مما يتطلب إعادة النظر في التدعيم باتجاه Y، والعكس بالعكس. كما أن بعض أنظمة التدعيم أدت إلى تشكيل مفاصل CP في أماكن لم تكن موجودة أصلاً في البناء القائم مما تطلب تغيير أماكنها أو أبعادها (حالة..... مثلا) يتم تكرار الحالة حتى الوصول إلى الأداء المطلوب بالاتجاهين. سيتم هنا ذكر حالات التحليل النهائية لكلا البنائين وعددها 24 حالة، التي تؤمن تشكيل مفاصل ضمن مستويات الأداء المطلوب IO و LS، وتمنع تشكيل المفاصل اللدنة في المستويات الأخرى.

12- نتائج التحليل للنماذج الفراغية ولكل أنواع أنظمة التدعيم

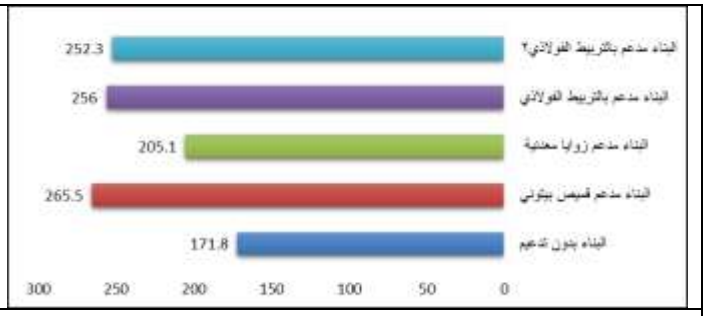
12-1- نتائج التحليل للبناء الأول في الاتجاهين X و Y



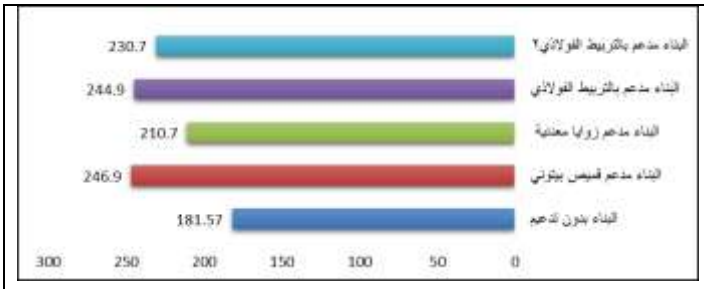
الشكل (11) الانتقال الطابقي الكلي total drift باتجاه X، (cm)



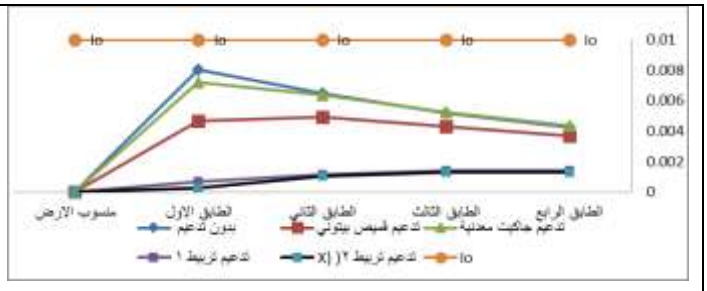
الشكل (12) الانتقال الطابقي الكلي total drift باتجاه Y، (cm)



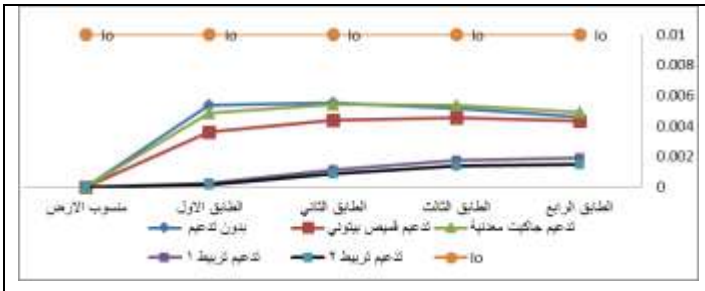
الشكل (13) القص القاعدي باتجاه X، (ton)



الشكل (14) القص القاعدي باتجاه Y، (ton)

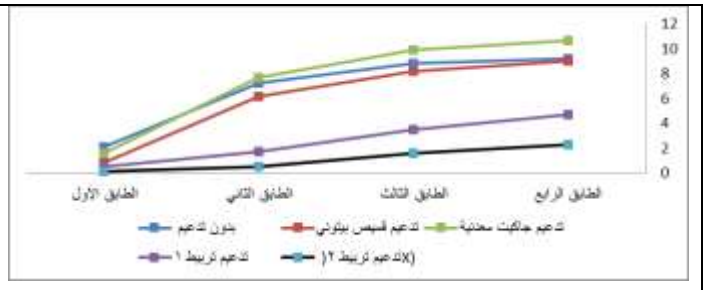


الشكل (15) الانتقال الطابقي النسبي story drifts باتجاه X،

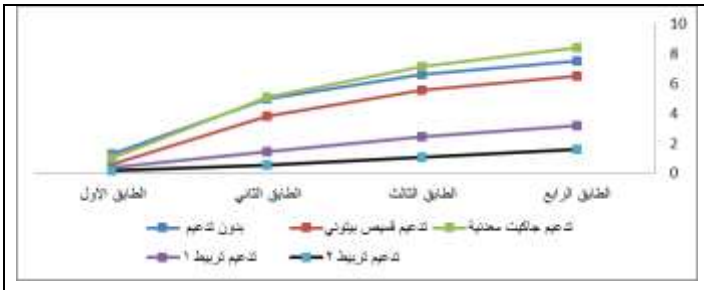


الشكل (16) الانتقال الطابقي النسبي story drifts باتجاه Y،

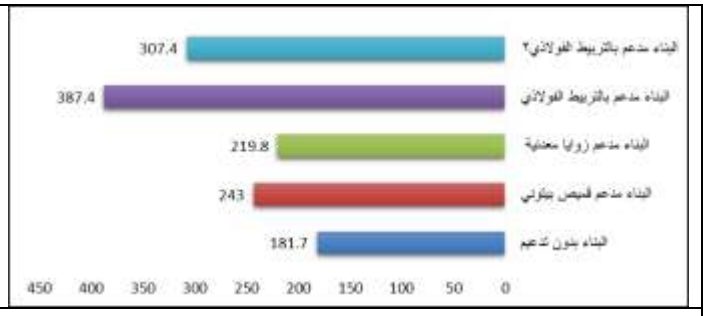
12-2- نتائج التحليل للبناء الثاني في الاتجاهين X و Y



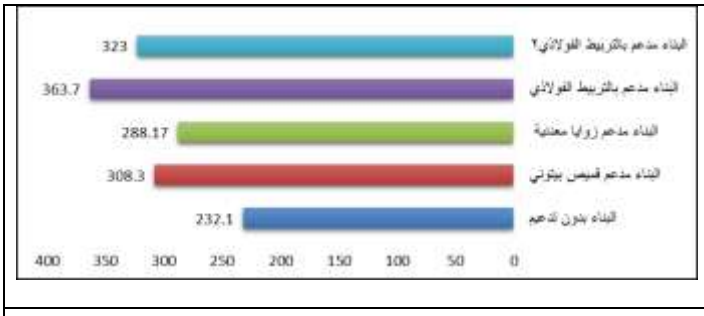
الشكل (17) الانتقال الطابقي الكلي total drift باتجاه X، (cm)



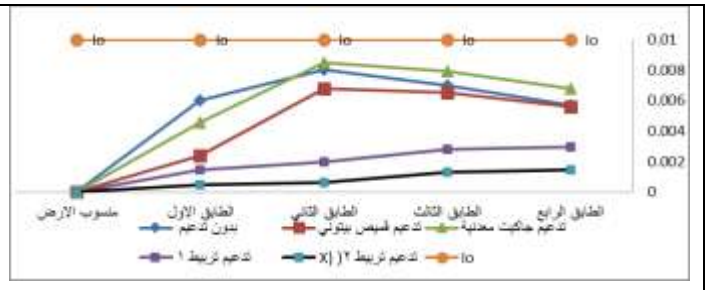
الشكل (18) الانتقال الطابقي الكلي total drift باتجاه Y، (cm)



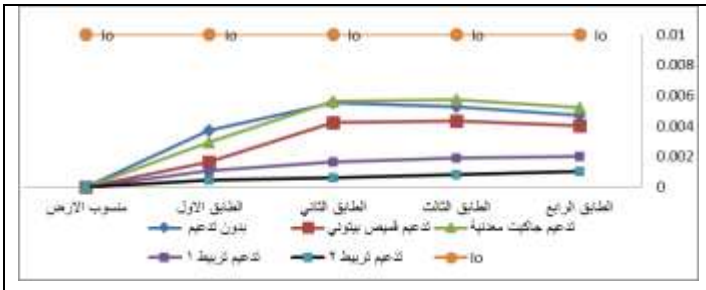
الشكل (19) القص القاعدي باتجاه X، (ton)



الشكل (20) القص القاعدي باتجاه Y، (ton)



الشكل (21) الانتقال الطابقي النسبي story drifts باتجاه X،



الشكل (22) الانتقال الطابقي النسبي story drifts باتجاه Y،

13- مناقشة نتائج الاستجابة في كلا البنائين

لإجراء مقارنة بين النتائج ومعاينة تأثير نظام التدعيم والفروقات في الاستجابات بين أداء المبنى الأساسي ونفس المبنى مع أنظمة التدعيم المقترحة، سيتم نسب كل النتائج إلى الاستجابة للمبنى الأساسي (اعتبر 100%). تسمح دراسة مقارنة الاستجابات للبنائين بالاتجاهين X و Y، حسب المخططات في الأشكال (22-11) بالتوصل لمايلي:

13-1- الانتقال الطابقي الكلي Total Drift

البناء الأول: لوحظ أن **الانتقال الطابقي الكلي للطابق الرابع** في حالة استخدام التدعيم بالقميص البيتوني قد نقص بمقدار 14% باتجاه X و 6% باتجاه Y، و في حالة استخدام التدعيم بالجاكيت المعدني زاد بمقدار 2% باتجاه X و 7% باتجاه Y، وفي حالة استخدام التربيط بشكل V مقلوب نقص بمقدار 67% باتجاه X و 58% باتجاه Y ،

وفي حالة استخدام التربيط بشكل X نقص بمقدار 70% باتجاه X و 68% باتجاه Y.

البناء الثاني: لوحظ أن **الانتقال الطابقي الكلي للطابق الرابع** في حالة استخدام التدعيم بالقميص البيتوني قد نقص بمقدار 2% باتجاه X و 13% باتجاه Y، و في حالة استخدام التدعيم بالجاكيت المعدني زاد بمقدار 16% باتجاه X و 12% باتجاه Y، وفي حالة استخدام التربيط بشكل V مقلوب نقص بمقدار 49% باتجاه X و 57% باتجاه Y ، وفي حالة استخدام التربيط بشكل X نقص بمقدار 75% باتجاه X و 79% باتجاه Y.

13-2- القص القاعدي Story Shears

البناء الأول: لوحظ أن **قوة القص القاعدي** في حالة استخدام التدعيم بالقميص البيتوني زادت بمقدار 55% باتجاه X و 36% باتجاه Y، و في حالة استخدام التدعيم بالجاكيت المعدني زادت بمقدار 19% باتجاه X و 16% باتجاه Y، وفي حالة استخدام التربيط بشكل V مقلوب زادت بمقدار 49% باتجاه X و 35% باتجاه Y ، وفي حالة استخدام التربيط بشكل X زادت بمقدار 47% باتجاه X و 27% باتجاه Y.

البناء الثاني: لوحظ أن **قوة القص القاعدي** في حالة استخدام التدعيم بالقميص البيتوني زادت بمقدار 34% باتجاه X و 33% باتجاه Y، و في حالة استخدام التدعيم بالجاكيت المعدني زادت بمقدار 21% باتجاه X و 24% باتجاه Y، وفي حالة استخدام التربيط بشكل V مقلوب زادت بمقدار 113% باتجاه X و 57% باتجاه Y ، وفي حالة استخدام التربيط بشكل X زادت بمقدار 69% باتجاه X و 39% باتجاه Y.

13-3- الانتقال الطابقي النسبي Inter Story Drifts Ratios

البناء الأول: لوحظ أن **الانتقال الطابقي النسبي للطابق الأول** في حالة استخدام التدعيم بالقميص البيتوني نقص بمقدار 42% باتجاه X و 33% باتجاه Y، و في حالة استخدام التدعيم بالجاكيت المعدني نقص بمقدار 10% باتجاه X و 10% باتجاه Y، وفي حالة استخدام التربيط بشكل V مقلوب نقص بمقدار 92% باتجاه X و 95% باتجاه Y، وفي حالة استخدام التربيط بشكل X نقص بمقدار 97% باتجاه X و 97% باتجاه Y.

البناء الثاني: لوحظ أن **الانتقال الطابقي النسبي للطابق الثاني** في حالة استخدام التدعيم بالقميص البيتوني نقص بمقدار 15% باتجاه X و 23% باتجاه Y، و في حالة استخدام التدعيم بالجاكيت المعدني زاد بمقدار 6% باتجاه X و 3% باتجاه Y، وفي حالة استخدام التربيط بشكل V مقلوب نقص بمقدار 76% باتجاه X و 71% باتجاه Y، وفي حالة استخدام التربيط بشكل X نقص بمقدار 92% باتجاه X و 89% باتجاه Y.

يلاحظ من المناقشة أعلاه أنه لم يفشل أي من العناصر بعد استخدام نظم التدعيم المختلفة، كما أن التربيط المعدني بشكل X لكلا البنائين يقلل الانتقالات الطابقية الكلية والنسبية بشكل أفضل من طرق التدعيم الأخرى، والتدعيم بالجاكيت المعدني يزيد من الانتقالات الطابقية بالمقارنة مع طرق التدعيم الأخرى.

الاستنتاجات والتوصيات:

تم في هذا البحث تقديم دراسة مرجعية مكثفة لنظم التدعيم الأكثر استخداماً لتحسين الكفاءة الإنشائية للأبنية القائمة، وتم تبيان خصائص كل منها كما تقديم نهج التحليل والتقييم القائم على الأداء باستخدام التحليل الستاتيكي اللاخطي من خلال دراسة حالة فراغية لبنائين قائمين مكونين من أربع طوابق تم تدعيمهما لتحسين الأداء الزلزالي لهما. أجريت 40 عملية تحليل، وتم مناقشة النتائج في الفقرة 13. بالنتيجة تم التوصل للاستنتاجات التالية:

1-بينت نتائج التحليل والتقييم للحالات المدروسة أن التربيط المعدني المتصالب X هو أفضل الحلول للتخلص من مفاصل الانهيار والتقليل من قيم الانتقالات لحد كبير (زيادة الصلابة الجانبية). وبينت النتائج أيضاً أن القميص البيتوني والجاكيت المعدني تتخلص من مفاصل الانهيار ولكن تحافظ على المطاوعة وبالتالي تأثيرها على خفض الانتقالات أقل (حتى أن الجاكيت المعدني قد زاد من الانتقالات الطابقية الكلية بشكل طفيف).

2-بيّن تقييم الحالات المدروسة ضرورة إجراء التحليل الفراغي لأنه تبين أنه لايمكن ضمان عدم تشكل مفاصل انهيار في أحد الاتجاهات التي تم تدعيمها عند إجراء التحليل اللاخطي بالاتجاه الآخر.

3-يلعب موقع التربيط دور رئيسي في رفع كفاءة المباني أكثر من تغيير الأبعاد، إذ تبين من الحالات المدروسة أن التربيط الجزئي أكثر فاعلية من التربيط لكامل المبنى وعلى كل الطوابق. كما تبين أن استخدام القميص البيتوني والجاكيت المعدني للأعمدة المنهارة فقط أكثر فعالية من تدعيمها على كامل الارتفاع.

4-يوفر التقييم الزلزالي القائم على الأداء منهجية موثوقة لترقية البناء زلزالياً أو إعادة تأهيل المبنى الحالي لتحقيق أهداف الأداء المطلوبة. إن الحالات المدروسة هي لأبنية تم تصميمها في العام 2013، ومع ذلك ظهر فيها مفاصل انهيار، وهذ يؤكد ضرورة تقييم الأبنية القائمة على الأداء حتى لو تم تصميمها حسب كودات البناء المعتمدة على المقاومة.

5-تعتبر استراتيجية التدعيم حل لمشكلة محددة في مبنى أو أحد مكوناته، وقد لاتصلح لمبنى آخر بظروف مختلفة، لذلك يتمثل التحدي في وضع مبادئ توجيهية ذات طابع عام.

المراجع:

[1] Ghobarah, Ahmed, (2000) "Selective Column Rehabilitation of RC Frames", 12WCEE, 2000. New Zealand,TIBKAT.

[2]. Vani Prasad and Nivin Philip (2014), "Effectiveness of inclusion of Steel bracing in existing RC framed structure". Impact Journals, Vol. 2, Issue 9, Sep 2014, 81-88.

[3]. K. Gala, H. El-Sokkary " Recent advancements in retrofit of rc shear walls " The 14th World Conference on Earthquake Engineering, October 12-17, 2008, Beijing, China

[4]. Vijayakumar. A, Venkatesh Babu. D.L, "A survey of methods and techniques used for Seismic retrofitting of RC buildings". INTERNATIONAL JOURNAL OF CIVIL AND STRUCTURAL ENGINEERING, Volume 2, No 1, 2011

[5]. Kam W.Y., Jury, R., (2017) Performance-based seismic assessment: Simplified methods and collapse indicators, 16WCEE 2017, Santiago Chile, January 9th to 13th 2017.

[6]. Graham B. ; Muawia B. Tectonic and Geologic Evolution of Syria GeoArabia, Vol. 6, No. 4, 2001 Gulf PetroLink, Bahrain 573.

[7]. Hatem M. Re-Evaluations of Seismic Hazard of Syria. International Journal of Geosciences, 2012, 3, 847-855 doi:10.4236/ijg.2012.324085 Published Online September 2012. <http://www.SciRP.org/journal/ijg>

[8]. White, R. N., "Seismic Rehabilitation of Non-Ductile Reinforced Concrete Frames – A Summary of Issues, Methods, and Needs", Proceedings, Workshop on the Seismic Rehabilitation of Lightly Reinforced Concrete Frames, Gaithersburg, USA, June 12 – 13, 1995, National Institute of Standards and Technology, USA, pp. 39 – 71.

[9]. El-Amoury, T. and Ghobarah, A., "Seismic Rehabilitation of Beam-Column Joint using GFRP Sheets", Engineering Structures, Elsevier Science Ltd., November 2002, Vol. 24, No. 11, pp. 1397-1407.

[10]. Taghdi, M., Bruneau, M. and Saaticoglu, M., "Analysis and Design of Low-Rise Masonry and Concrete Walls Retrofitted using Steel Strips", Journal of Structural Engineering, American Society of Civil Engineers, 2000, Vol. 126, No. 9, pp. 1026–1032.

[11]. FEMA 356, "Prestandard and Commentary for the Seismic Rehabilitation of Buildings", American Society of Civil Engineers, USA, 2000.

[12] SEAOC Vision 2000 Committee [1995]; Performance-Based Seismic Engineering, Report. Structural Engineers Association of California, Sacramento, California.

[13] ATC-14 (1987) Evaluating the seismic resistance of existing buildings, ATC-14. Applied Technology Council, Redwood City, CA.

[14] ATC-22 (1988) A handbook of the seismic evaluation of existing buildings, ATC-22. Applied Technology Council, Redwood City, CA.

[15] FEMA (1992) NEHRP Handbook of the Seismic Evaluation of Existing Buildings, FEMA-178. Federal Emergency Management Agency, Washington DC. 1992.

[16] FEMA (1998) Handbook for the Seismic Evaluation of Buildings: A Prestandard. FEMA-310. Federal Emergency

[17] NZSEE. (2006) Assessment and improvement of the structural performance of buildings in earthquakes. Incl.Corrigenda 1-4. New Zealand Soc. for Earthquake Eng. (NZSEE), Wellington, New Zealand. 343 pp.

[18] ASCE-SEI-31-03. 2003. Seismic evaluation of existing buildings. ASCE standard ASCE/SEI 31-03. American Society of Civil Engineers (ASCE), Reston, VA

[19] ASCE-SEI-41-06. 2007. Seismic rehabilitation of existing buildings. ASCE standard ASCE/SEI 41-06. American Society of Civil Engineers (ASCE), Reston, VA

[20] FEMA-273 (1997). NEHRP Guidelines for the Seismic Rehabilitation of Buildings FEMA 273, Federal Emergency Management Agency, USA, 1997.

[21]. CSI ETABS2015 Software Computers and Structures, Inc. Berkeley, California, USA, 2015.

[22] Heintz J.A., Hamburger R.O., Mahoney M. (2014) FEMA P-58 Phase 2 – Development of performance-based seismic design criteria. in 10th US National Conference on Earthquake Engineering – Frontiers of Earthquake Engineering, Anchorage Alaska July 21-25 2014.

[23]. Applied Technology Council, ATC 40: Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings (USA,1996).

[24]. Syrian Arab Code – Appendix 2. Design And Check Of Seismic Resistant Buildings And Constructions. 2en Edition, Damascus, Syria, 2012, 254p.

[25]. ASCE/ SEI (2007) Seismic Rehabilitation of existing buildings, ASCE/SEI 41-06, Reston, VA.

[26] Ghobarah A, Aly NM, El-Attar M. Performance level criteria and evaluation. In: Fajfar P, Krawinkler H, editors. Proceedings of the international workshop on seismic design methodologies for the next generation of codes. 1997.

[27]. Federal Emergency Management Agency, FEMA 440: Improvement of Nonlinear Static Seismic Analysis Procedures (USA, 2005).