

تدعيم الأبنية البيتونية المسلحة المتضررة بفعل التآكل لمقاومة الزلازل، دراسة حالة مبنى كلية الآداب والعلوم الإنسانية بجامعة طرطوس.

د. أحمد محمود ميهوب*

(تاريخ الإيداع ٢٠٢٥/٩/٢٥ . قُبل للنشر في ٢٠٢٦/٢/٣)

□ ملخص □

تناقش هذه الدراسة حالة مبنى كلية الآداب بجامعة طرطوس والذي تعرّض لتدهور شديد نتيجة التآكل وخصوصاً الأعمدة البيتونية الخارجية، وذلك بسبب قربها من البحر وتعرضه المباشر لعوامل مضرّة كالكربنة والكلوريدات المحملة مع الرياح، ما أدى لانتشار الصدأ في قضبان التسليح وتساقط طبقة التغطية البيتونية، مع غياب تام لأعمال الصيانة على مدى طويل من السنين. تم تنفيذ عملية الإصلاح والتقوية بناءً على طلب المالك (جامعة طرطوس) نظراً لخطورة وضعه على سلامة الطلاب والعاملين، وبحيث يكون قادراً على تحمل مختلف الأحمال بما فيها الشاقولية التقليدية والزلزالية، حيث تم تكليف لجنة مختصة لإعداد دراسة لتقوية الأعمدة المحيطة بقمصان من الخرسانة المسلحة، وشملت عملية التدعيم مجموعة من التدابير مثل تدعيم المبنى من الداخل بشكل مؤقت، ثم إزالة الصدأ والبيتون المتضرر عن الأعمدة والعتبات المتشققة، وزرع تشاريك فولاذية، ثم صب قمصان بيتونية مسلحة حول العناصر المتضررة.

وبعد الانتهاء من الأعمال الميدانية لتقوية المبنى، تمت الاستفادة من البيانات والمخططات التفصيلية المتعلقة بهذه الدراسة والمتوفرة في الاضبارة التنفيذية لهذا المشروع، دون التطرق الى خيارات أخرى في التقوية لعدم توفر بيانات عنها، وعلى ضوء الدراسة التي قامت بها اللجنة المختصة، تم اجراء نمذجه وتحليل عددي باستخدام برنامج ETABS على الجملة الانشائية للمبنى قبل التقوية وبعدها تحت تأثير الأحمال الزلزالية. ومن النتائج التي حصلنا عليها تبين أن استخدام هذه الطريقة في التقوية تحسن الأداء الإنشائي للمبنى تحت تأثير الأحمال الزلزالية، وانخفض الإنزياح الجانبي في قمة المبنى بنسبة ١٩,٣%، مما يجعل الانتقالات ضمن المجال المعقول زلزالياً وفق الكود والمعايير السورية. **الكلمات المفتاحية:** التقوية لمقاومة الزلازل، تقوية الأعمدة البيتونية المسلحة، التدهور، التآكل، القميص البيتوني المسلح.

* مدرس - قسم علوم البناء والتنفيذ - كلية الهندسة المعمارية - جامعة طرطوس - طرطوس - سورية.

Strengthening of reinforced concrete buildings damaged by corrosion to resist earthquakes, case study of the faculty of arts and humanities building at Tartous university.

Ahmad Mahmoud Mihoub *

(Received 25/9/2025 . Accepted 3/2/2026)

□ ABSTRACT □

This case study discusses the structural performance of the Faculty of Arts building at Tartous University. This building suffered severe deterioration due to corrosion of steel reinforcement, especially in the external reinforced concrete columns. This was caused by the effect of the sea and direct exposure to carbonation and chlorides carried by the wind, leading to the spread of rust in the reinforcement bars and concrete cover spalling, with a complete absence of maintenance work over many years. The repair and strengthening process was carried out at the request of the owner (The University of Tartous) due to the critical condition affecting the safety of students and staff, to ensure the building could withstand various loads including traditional vertical and seismic loads. A specialized committee was assigned to prepare a study for strengthening the external columns with reinforced concrete jackets. The strengthening process included a set of steps such as temporarily supporting the building internally, then removing rust and spalled concrete cover from the deteriorated columns and lintels, installing steel anchors, and then casting reinforced concrete jackets.

After completing the fieldwork to strengthen the building, the data and detailed plans related to this process, available in the executive file of this project, were utilized without addressing other strengthening options due to the lack of data about them.

Based on the study conducted by the specialized committee, numerical modeling and analysis were performed using the ETABS software on the building's structural system before and after strengthening under seismic loads. The results showed that using this strengthening method improves the structural performance of the building under seismic loads, and the lateral displacement at the top of the building decreased by ١٩,٣%. This make the displacements within the allowed ranges according to the Syrian standards.

Keywords: seismic resistance strengthening, reinforced concrete columns strengthening, deterioration, corrosion, reinforced concrete jacket.

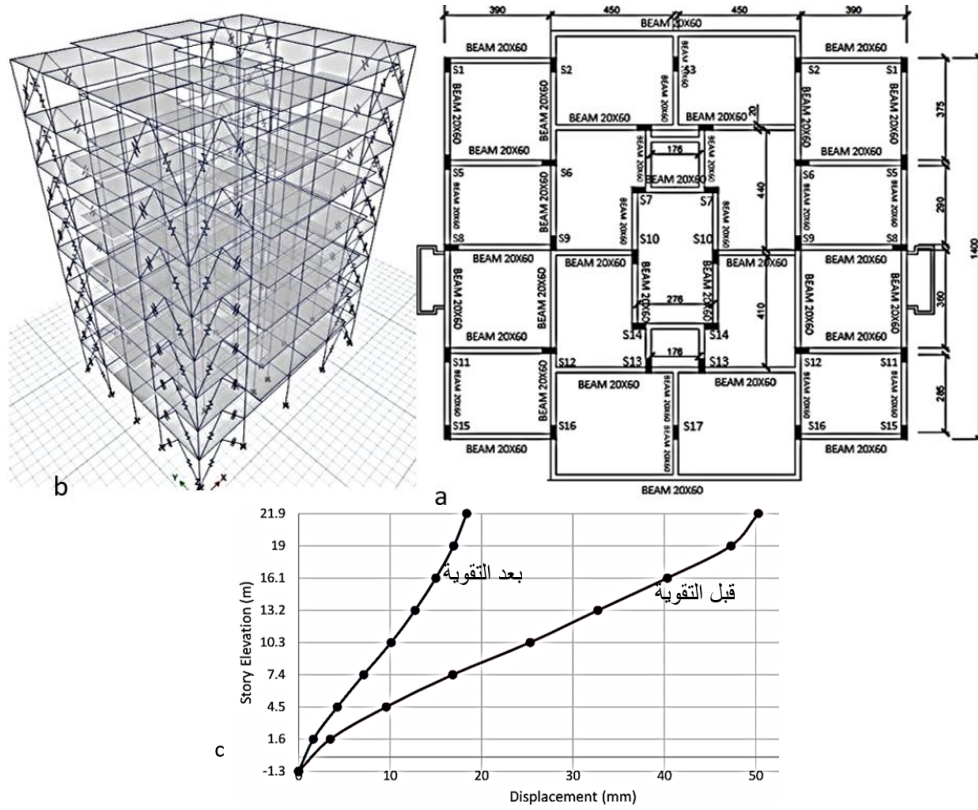
* Assistant Professor, department of Construction and Implementation Sciences, faculty of Architecture, Tartous University, Tartous, Syria.

١ . المقدمة:

إن التقوية لمقاومة الأحمال الزلزالية في الأبنية والمنشآت القائمة ذو أهمية كبيرة، لا سيما في حالة المباني التي شارفت على نهاية عمرها الخدمي وتعاني من درجة عالية من التدهور. وفي سوريا تشكل المباني البيتونية المسلحة القريبة من البحر والتي شُيِّدت قبل ٤٠ عاماً تقريباً تحديات في تقييم مسألة الحفاظ عليها أو هدمها وإعادة بنائها. ذلك أن هذه المنشآت تعرضت للتآكل وهي تقع في منطقة زلزالية خطيرة، لكنها لم تُصمَّم أصلاً لمقاومة الزلازل، ومن ثم فإن تمديد عمرها الخدمي يعتمد على إمكانية توافرها مع الكودات التصميمية والاشتراطات الجديدة، وبالتالي مع متطلبات الأداء لتلك المنشآت. وفي هذا السياق يكون قرار المالك في كثير من الحالات هو الحفاظ على الهيكل الأصلي مراعاةً للاستدامة، وتجنب الهدم وإعادة البناء، ويفضل تنفيذ اصلاحات إنشائية جذرية تهدف إلى تحقيق الاشتراطات الزلزالية للهيكل الإنشائي وفق مستويات الأداء المطلوبة في بعض الكودات التصميمية [2,12,14]. وعندما يتعلق الأمر بمباني ذات وظيفة عامة، يشترط المالك عادةً أن يكون مستوى الحماية الزلزالية عالياً قدر الإمكان لضمان سلامة المستثمرين لهذه المباني وضمن حدود الميزانية المتاحة. وغالباً ما تعاني هذه المباني من حالة تدهور شديدة بسبب التقادم، وتظهر فيها علامات تآكل التسليح وعدم كفاية عدد وتوزيع القضبان وضعف مقاومة البيتون.

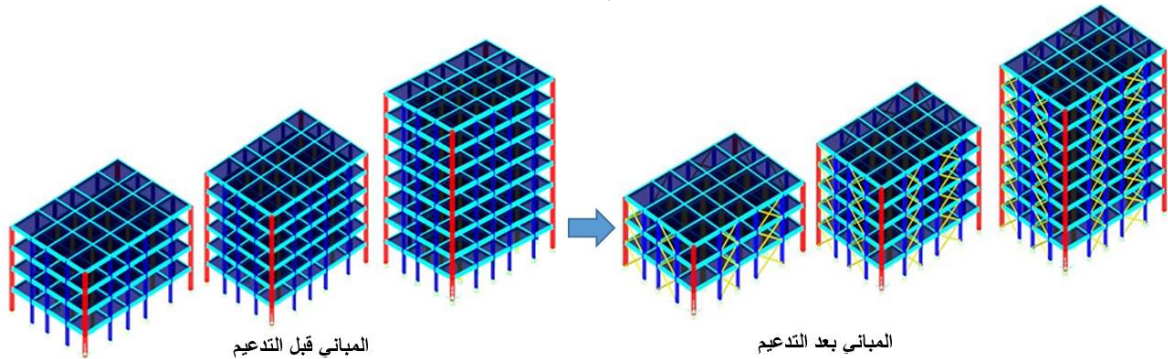
يجب أن تشمل التقوية لمقاومة الزلازل واجراءاتها اللازمة جميع العناصر المتأكلة، بحيث تتم إعادة تأهيل هذه العناصر، إن التدعيم الإنشائي لمثل هذا الهيكل البيتوني المتضرر يعتمد بشكل كبير على مستوى المعرفة الفعلي بحالة العناصر القائمة خصوصاً إذا كانت عناصر داخلية مخفية بمواد الاكساء المختلفة. ويجب أن يكون لدى الكادر المكلف بدراسة التقوية وتصميم حلول التقوية للمباني المتضررة مستوى عالي من المعرفة والخبرة، كما تلزم المعرفة التامة بجغرافية العناصر البيتونية المسلحة المتضررة وتوضعها ضمن المباني التي يلزمها تقوية، وكمية وتوزيع التسليح وخصائص المواد وغيرها. جميع هذه البيانات تتأثر دائماً بتشتت كبير بسبب جودة المواد الأصلية وطرق البناء المستخدمة وقت تنفيذها [3]. ويجب تلبية طرق التقوية ما تشترطه الكودات الزلزالية الحديثة، لأن هذه المنشآت قد بُنيت في مناطق زلزالية قبل اعتماد الأكواد الزلزالية. علاوة على ذلك فإن العناصر الإنشائية المتضررة من تآكل التسليح تزيد من سوء أداء المباني القديمة القائمة، حيث إن المقاومة الزلزالية تتأثر بتدهور المواد ومستوى تآكل التسليح، وصولاً إلى انفصال القضبان وانهار الأعمدة، أو ظهور التسليح نتيجة انسلاخ البيتون عنه. ونعرض فيما يلي بعض التجارب العالمية لمباني قائمة تم تدعيمها لمقاومة الزلازل:

١ . في بحث أجري في قبرص [16]، ناقش تدعيم مبنى من البيتون المسلح بني عام ١٩٧٣ مكون من ثمانية طوابق في تركيا، في مدينة انطاكيا وهو مبنى Deniz بأبعاد $15 \times 16,8 \text{ m}$ في المسقط وارتفاع كلي $23,2 \text{ m}$ ، في غياب أي قوانين أو متطلبات زلزالية. ناقشت الدراسة خيار تقويته بأربطة فولاذية مع نظام تخميد لمقاومة الزلازل على زواياه الأربعة وعلى كامل ارتفاع المبنى كما مبين في الشكل (١)، وتمت نمذجته وتحليله باستخدام برنامج ETABS تحت تأثير حمولات زلزالية، ويبين الشكل (١- b) منظور ثلاثي الأبعاد للمبنى المعتمد في هذه الدراسة. بينت نتائج الدراسة لهذا المبنى أن تنفيذ التبريط القطري الفولاذي مع نظام تخميد يمكن أن يحقق مقاومة زلزالية كافية مقارنة مع حالة عدم التقوية، وقد انخفض الانتقال في قمة المبنى بالاتجاه القصير من $26,0 \text{ mm}$ بدون تقوية الى $37,18 \text{ mm}$ مع وجود التقوية أي بانخفاض مقداره 63% .



الشكل (1): مسقط مبنى Deniz في انطاكيا التركية ونموذج ثلاثي الأبعاد للمبنى في برنامج ETABS: a- مسقط المبنى، b- نموذج ثلاثي الأبعاد للمبنى يظهر عليه مكان التقوية، c- مقارنة بين الانتقال في قمة المبنى قبل التقوية وبعدها بالاتجاه القصير للمبنى [16].

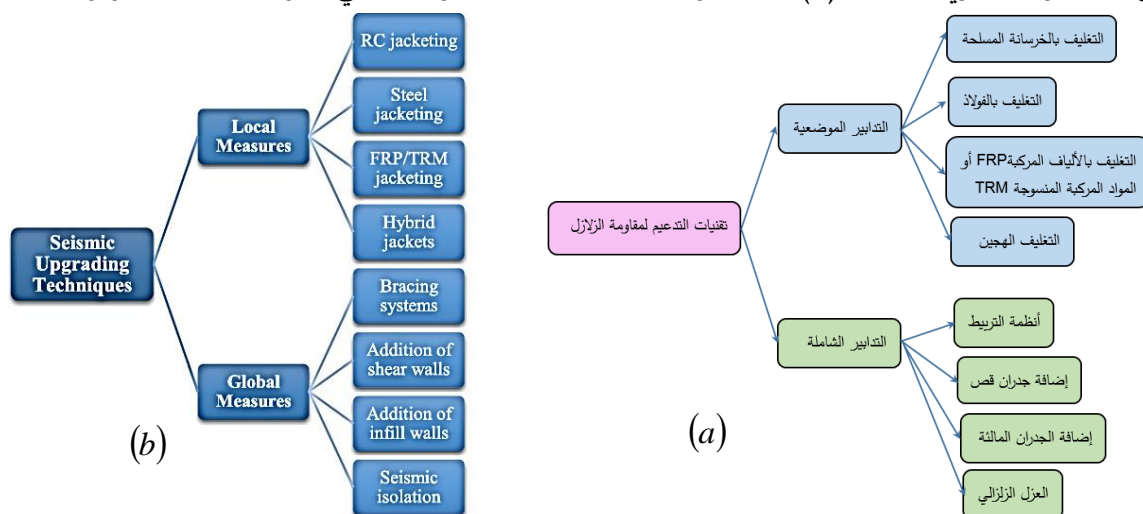
2. وفي بحث أجري في تركيا [4]، تم دراسة الأداء الزلزالي لثلاثة مباني خرسانية مسلحة قائمة ومقواة، الأولى مكونة من ثلاثة طوابق والثانية من خمسة طوابق والثالثة من ثمانية طوابق، وهي تشترك في مخطط الطابق وخصائص المواد والمقاطع للعناصر الإنشائية، وذلك وفقاً لكود الزلازل التركي TBEC، وكود الجمعية الأمريكية للمهندسين المدنيين ASCE، وتم استخدام برنامج التحليل الإنشائي SAP2000 في التحاليل. أما تقنيات التقوية المقترحة فقد شملت إضافة عناصر تدعيم فولاذية للمباني الخرسانية المسلحة القائمة وتغليف الأعمدة الداخلية بمصانين بيتونية مسلحة. ويبين الشكل (2) مناظير ثلاثية الأبعاد للمبنى المعتمد في هذه الدراسة.



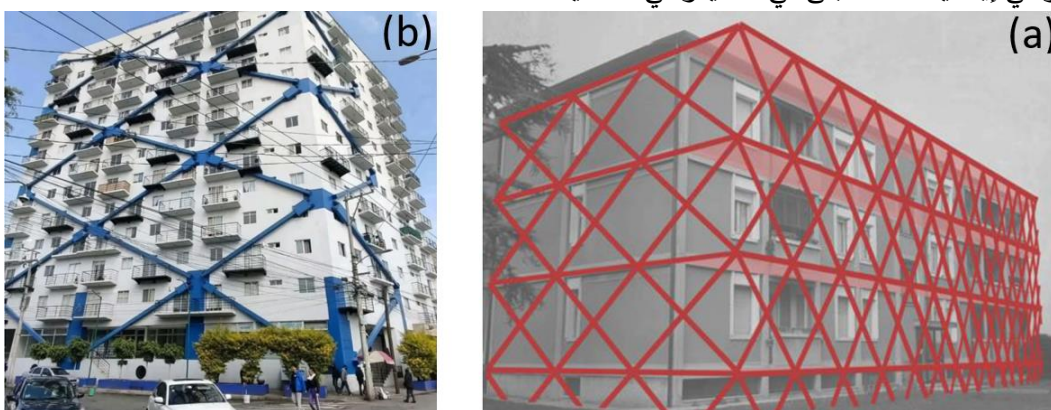
الشكل (2): مناظير ثلاثية الأبعاد لثلاثة مباني خرسانية مسلحة قبل التدعيم وبعده، (building Karal, 2021) [4].

ومن نتائج هذه الدراسة تبين أن طريقة التدعيم المتبعة أدت الى زيادة الصلابة الجانبية للمباني المدروسة، وأن إنزياحات الطوابق قد انخفضت بشكل ملحوظ وفقاً لكلا الكودين المعتمدين، ولكن كانت الإنزياحات وفق الكود TBEC أكبر.

٣. وفي دراسة أجريت في إيطاليا [6]، هدفت إلى تقديم مراجعة شاملة لتقنيات تحسين الأداء الزلزالي، والتي تستهدف المباني الخرسانية المسلحة، والتي تشكل الجزء الأكبر من المكون الحالي للمباني في العالم. ويمكن تقسيم تقنيات تحسين الأداء الزلزالي إلى فئتين رئيسيتين، اعتماداً على طريقة "معالجة" الهيكل. أولاً: هناك تدابير تجرى على مستوى العنصر (نسميها التدابير المحلية)، ثانياً: هناك تدابير تجرى على مستوى الهيكل ككل (نسميها التدابير الشاملة). ومن الواضح أنه عند تحسين أداء مبنى فعلي يلزم الجمع بين تقنيات مختلفة بحيث يمكن توفير خطة تدعيم فعّالة من حيث التكلفة، وذلك بناءً على عمر المبنى وكذلك المواد المستخدمة في كل تقنية. ويمكن أيضاً تقسيم تقنيات التدخل الزلزالي إلى تقليدية وحديثة. ويبين الشكل (٣) الفئات الرئيسية لتقنيات تحسين مقاومة المباني الخرسانية المسلحة للزلازل.



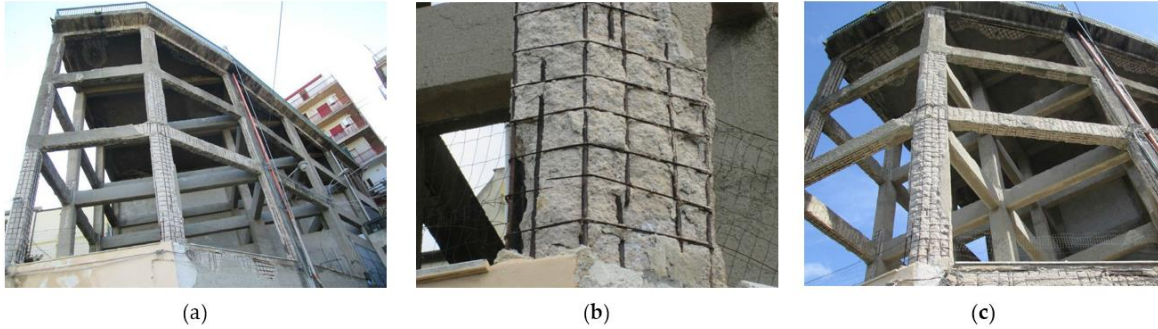
الشكل (٣): تصنيف تقنيات التدعيم لمقاومة الزلازل، a - المصطلحات باللغة العربية، b - المصطلحات باللغة الإنكليزية [6].
 ويبين الشكل (٤) مثالين عن التدابير الشاملة التي يمكن اعتمادها وهي التدعيم بهيكل شبكي خارجي a - في جامعة بيرغامو في إيطاليا، b - لمبنى في مكسيكو في المكسيك.



الشكل (٤): التدابير الشاملة في التدعيم - التدعيم بهيكل شبكي خارجي [6]: a - لمبنى جامعة بيرغامو في إيطاليا، b - لمبنى في مكسيكو في المكسيك.

٤. وفي دراسة أجريت في إيطاليا [7]، تعرض هذه الدراسة حالة مبنى في جنوب إيطاليا قريب من البحر تعرّض لتدهور شديد نتيجة التآكل، وقد طلب المالك تعديلات في تكوين المبنى، بما في ذلك تصميم جديد للطوابق وتحديث ليتحمل مستوى عالٍ من الأحمال الزلزالية، حيث نُفذت استراتيجية شاملة لإعادة توزيع الكتلة والصلابة إلى جانب تدخلات تحديث مختلفة على الأساسات والأعمدة والعوارض في الهيكل الإطاري، مثل التدعيم بالخرسانة المسلحة

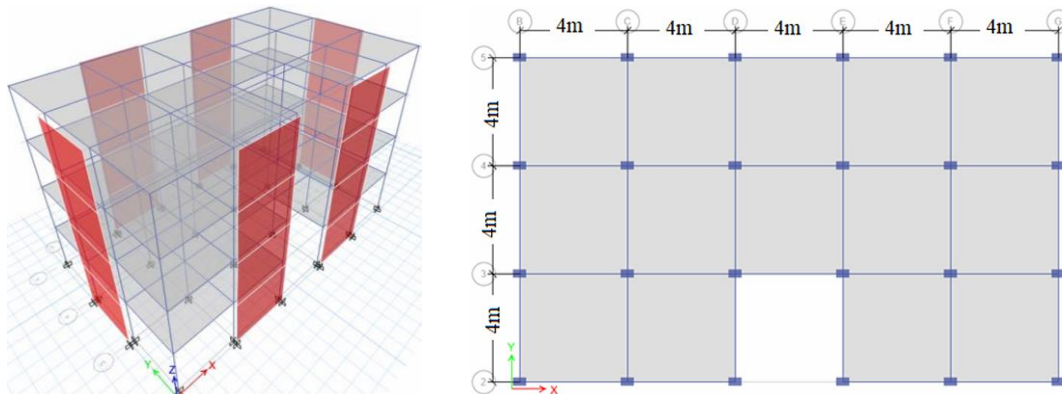
وتغليف الفولاذ، وتنفيذ تقوية بصفائح وأنسجة بوليميرية مسلحة بالألياف الكربونية CFRP، وعناصر فولاذية جديدة، وأرضيات مركبة من الفولاذ والخرسانة. ويبين الشكل (٥) صور للوضع الأصلي للمبنى المدروس. (a) نظرة عامة على المبنى والهيكل الإطاري الإنشائي. (b، c) حالة التدهور في العناصر التي تعاني من تساقط الغطاء البيتوني وتآكل قضبان التسليح.



الشكل (٥): صور للوضع الأصلي للمبنى: (a) نظرة عامة على المبنى والهيكل الإطاري الإنشائي. (b، c) حالة التدهور في العناصر التي تعاني من تساقط الغطاء البيتوني وتآكل قضبان التسليح [7].

وتمت مناقشة آثار التآكل ونتائج التدعيم على المنشأة. ومن النتائج التي خلص إليها البحث يمكن ملاحظة كيف أن استخدام تقنيات مختلفة للتقوية واستراتيجية الحماية الزلزالية يمكن أن يمكن المهندسين من تحقيق الاشتراطات الإنشائية الخاصة بمقاومة الزلازل بإجراءات منخفضة التكلفة. وإن الانتشار الواسع لاستخدام القمصان الفولاذية إلى جانب إنشاء الأرضيات باستخدام هيكل مركب من الفولاذ والخرسانة يمنح وصلاً جيداً بين العوارض والأعمدة الخرسانية المسلحة، ويحقق تقوية عامة للهيكل القائم. كما أن اعتماد التقوية بأنسجة بوليميرية مسلحة بالألياف الكربونية CFRP عند الحافة السفلية للجوائز يؤدي إلى زيادة محدودة في السماكة، ويقتصر هذا الحل على هدم جزئي محدود من العناصر الإنشائية القائمة.

٥. وفي دراسة أجريت في جامعة حمص [11]، وتعرض هذه الدراسة طريقة تقوية نماذج أبنية اطارية من البيتون المسلح مكونة من أربعة طوابق بإضافة جدران قص خارجية كما مبين في الشكل (٦)، وتم التحليل ببرنامج ETABS-2016 وتم الحصول على نتائج بما يخص القص القاعدي والإنزياحات الطابقية، وأظهرت النتائج فعالية التقوية بجدران قص حيث زادت الصلابة الجانبية للنماذج، ومن النتائج المهمة في هذه الدراسة أن الإنزياح في قمة النماذج المقواة انخفض بنسب تراوحت بين ٦٩,٧- ٨٠,٦% مقارنة مع النموذج غير المقوى في الاتجاه القصير. وازدادت قوة القص القاعدي بنسب تراوحت بين ١١,٥- ١٣,٦% مقارنة مع النموذج غير المقوى. وانخفضت قيمة الدور في النماذج المقواة بنسب تراوحت بين ٧٤% - ٨١,٦% مقارنة مع النموذج غير المقوى.



الشكل (٦): مسقط النماذج المدروسة، وشكل ثلاثي الأبعاد للنموذج المقوى بجدران قص [11].

٢ . أهمية البحث وأهدافه:

تسليط الضوء على واقع الأبنية البيتونية المسلحة القائمة والمتضررة نتيجة التآكل، ودراسية إمكانية تقويتها لمقاومة الزلازل. ويهدف هذا البحث لدراسة حالة تقوية مبنى كلية الآداب بجامعة طرطوس، ومقارنة نتائج التحليل لمقاومة الزلازل قبل التقوية وبعدها.

٣ . طرائق البحث ومواده:

استخدمنا الطريقة التحليلية في دراسة سلوك نموذج لمبنى كلية الآداب قبل تقويته ونموذج بعد تقويته، وتم تحليل النماذج باستخدام برنامج ETABS، وقد توصلنا الى نتائج وتوصيات بما يخص الإنزياحات الجانبية وقوى القص الطابقية وقيم الدور بالاتجاه القصير للمبنى قبل التقوية وبعدها وقد تم عرض هذه النتائج في نهاية البحث.

٤ . عرض الحالة المدروسة:

في هذا البحث سيتم التطرق الى تقوية مبنى كلية الآداب والعلوم الإنسانية التابع لجامعة طرطوس والواقع في مدينة طرطوس كدراسة حالة لمنشأة بيتونية مسلحة متضررة. وقد طلب المالك (جامعة طرطوس) اعداد دراسة لتقوية الأعمدة الخارجية المتضررة، بحيث يصبح المبنى لائقاً للعملية التعليمية فيه، وإجراء اصلاح شامل للمبنى وتنفيذ أعمال طينة ودهان. وقامت لجنة متخصصة عام ٢٠٢١ بإعداد الدراسة المطلوبة وأعدت الاضبارة التنفيذية للمشروع، وقامت لجنة أخرى متخصصة بتدقيق هذه الدراسة. ثم تم تكليف جهة منفذة بتنفيذ هذه الدراسة وإجراء عملية تقوية للمبنى. وعلى ضوء الدراسة التي قامت بها اللجنة المختصة بدراسة هذا المبنى قبل التدعيم وبعده تم نمذجة المبنى وتحليله باستخدام برنامج ETABS، تحت تأثير الأحمال الزلزالية. كما أن الباحث شارك في الاشراف على تنفيذ عملية التقوية هذه. وتجدر الإشارة الى أنه لم تشمل عمليات التقوية الأعمدة الداخلية كونها في حالة فنية جيدة.

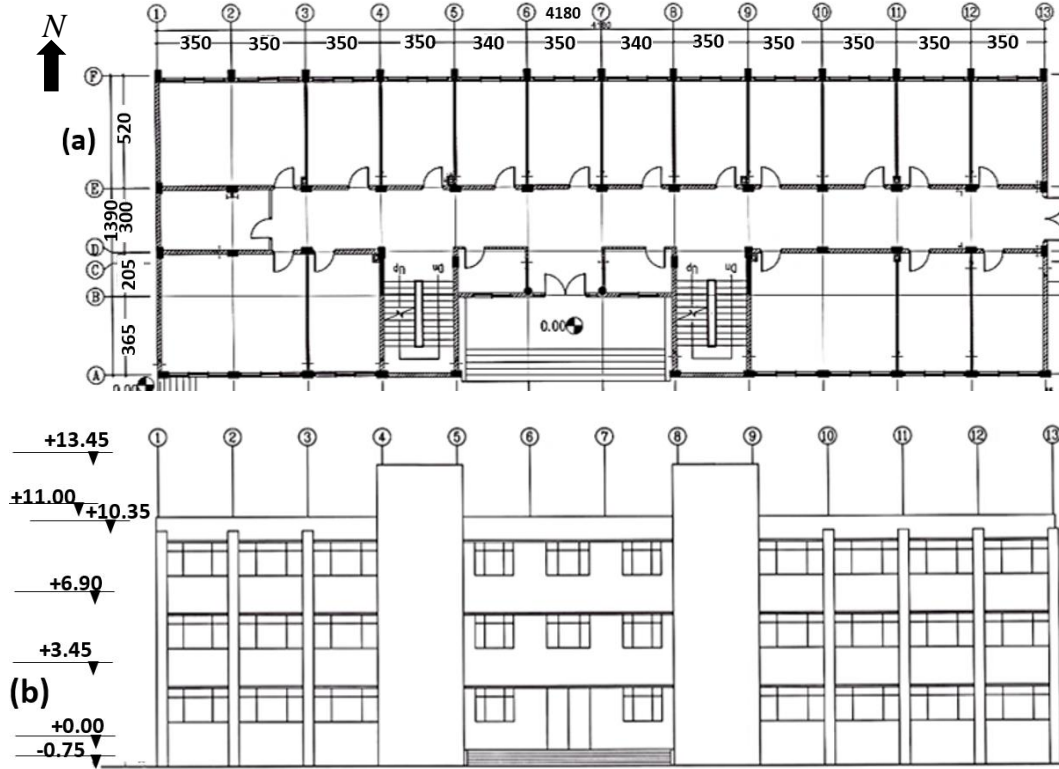
٤ . ١ . المعلومات الهندسية عن المبنى المدروس والتحقيقات الأولية:

يقع المبنى المدروس في مدينة طرطوس على ساحل البحر المتوسط غرب سوريا، ويتكون من إطار ثلاثي الأبعاد من البيتون المسلح، تم تشييد البناء في أواخر ثمانينات القرن العشرين لاستخدامه كمدرسة، ثم تم إلحاقه بجامعة طرطوس ليكون مقر لكلية الآداب والعلوم الإنسانية، وهو يقع على الكورنيش البحري بالقرب من فندق برج شاهين. وتبلغ أبعاد المبنى في المسقط الأفقي ١٣,٩*٤١,٨ م وتبلغ مساحته الطابقية ٥٨٠ م^٢، وارتفاع الطابق فيه ٣.٤٥ م، وعدد الطوابق ثلاثة، ويبلغ الارتفاع الكلي للمبنى ١٠,٣٥ م، والاساسات على منسوب -٠.٥٠ م، ويوجد في الجهة الجنوبية الشرقية منه قبو بمساحة تقريبية ١٠٠ م^٢ على منسوب -٢٥.٣ م من منسوب الطابق الأرضي، ويخدم المبنى درجان بأبعاد ٣,٥*٥,٧ م في المسقط. ويبين الشكل (٧) صور فضائية تظهر موقع كلية الآداب والعلوم الإنسانية التابع لجامعة طرطوس.



الشكل (٧): صور فضائية تبين موقع مبنى كلية الآداب والعلوم الإنسانية التابعة لجامعة طرابلس [9].

ويتميز النسيج العمراني لمنطقة المبنى وجود العديد من المباني القديمة التي شُيّدت قبل صدور الكود الزلزالي، كما أن قابلية هذه المباني للتضرر من الزلازل مرتفعة للغاية، ويُظهر الشكل (٨) مخطط الطابق الأرضي وواجهة المبنى من الجهة الجنوبية في حالته الأصلية قبل التدعيم.

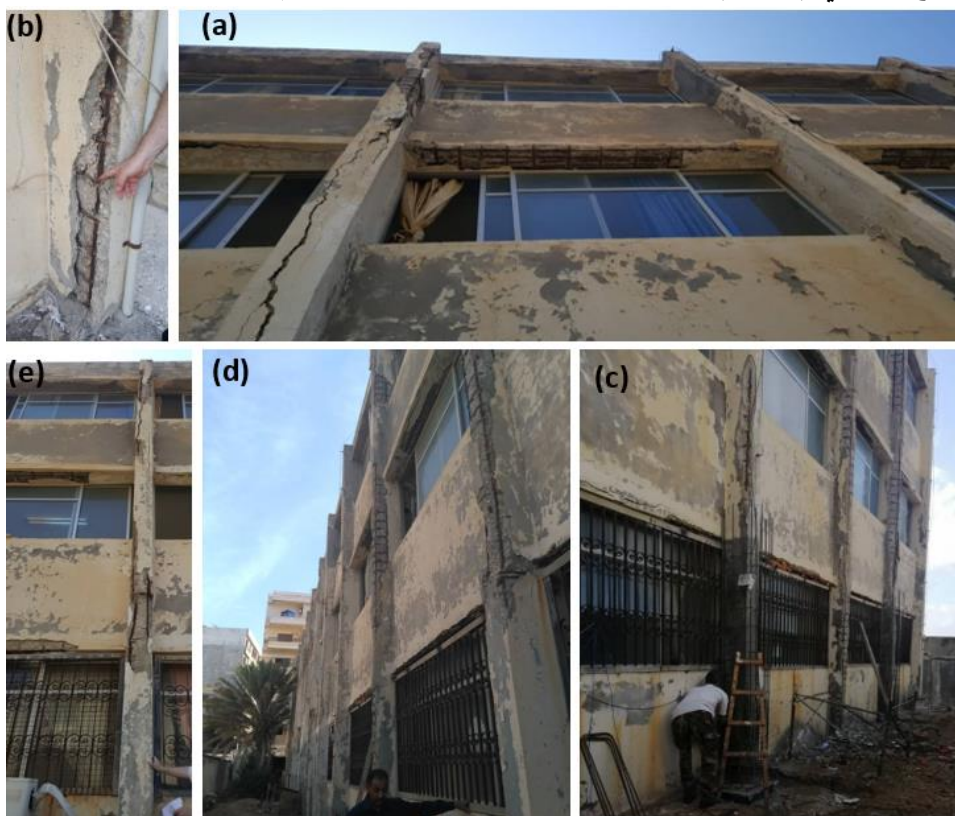


الشكل (٨): مخططات وواجهات المبنى الأصلية قبل التقوية. (a) مخطط الطابق الأرضي، (b) الواجهة الجنوبية.

٤ . ٢ . تدهور الحالة الإنشائية للمبنى بسبب التآكل:

إن قرب هذا المبنى من البحر وعدم إجراء صيانة لعقود من الزمن أدت إلى حالة تدهور عالية جداً في العناصر البيتونية المسلحة ولا سيما الخارجية منها والتي تعرضت للعوامل الجوية المختلفة وبالتالي لعوامل مضرّة، وقد شوهد تضرر كبير في العناصر البيتونية المسلحة القائمة على شكل تشقق وتساقط طبقة التغطية البيتونية نتيجة لظواهر التآكل الكبيرة والمنتشرة خصوصاً في العناصر الخارجية. وإن هذا التضرر الذي لوحظ في واجهات المبنى يتوافق مع حالات أخرى وردت في بعض المراجع [16,7].

يُظهر الشكل (٩) حالة التدهور في العناصر الرئيسية بعد حوالي أربعين عاماً من البناء. بالإضافة إلى ذلك يتميز الهيكل الإنشائي بعدة مناطق متضررة بغياب تام لطبقات الطينة الواقية. وقد أدى ذلك إلى جانب غياب أي عمليات أو إجراءات للصيانة إلى تأكسد التسليح في العديد من العناصر الإنشائية، مما تسبب في سقوط طبقة التغطية البيتونية وحدوث تآكل متقدم في الأعمدة الخارجية وبعض العتبات فوق النوافذ. وتظهر الصور المأخوذة عن قرب كما في الشكل (٩-ب) الى وجود تآكل وصل إلى نسبة كبيرة من مساحة التسليح في عدد كبير من قضبان التسليح الطولي وقضبان التسليح العرضي (الأساور). وتجدر الإشارة الى أن الأجزاء المطمورة لم يلاحظ عليها أي تضرر يذكر.



الشكل (٩): صور لواقع المبنى قبل التقوية. (a, b, c, d, e) منظور عام للمبنى والهيكل الإنشائي المتضرر. (b) حالة التضرر في أحد الأعمدة.

٤ . ٣ . واقع المبنى قبل تنفيذ التدعيم:

١. إن المبنى في حالة ضعيفة إنشائياً نتيجة صدأ قضبان تسليح الأعمدة على كامل محيط المبنى وتساقط طبقة التغطية البيتونية عن هذه القضبان، وكذلك بعض عتبات النوافذ. إن هذا الفقد في قضبان التسليح نتيجة الصدأ وكذلك البيتون من جسم الأعمدة يجعلها غير قادرة على تحمل الحمولات المنقولة عليها من المبنى، ناهيك عن الحمولات الزلزالية التي يمكن التعرض لها.

٢. إن الأعمدة المتوضعة في الجهة الشمالية من المبنى هي الأكثر تضرراً وخطورة من باقي أعمدة المبنى، نتيجة بروزها خارج المبنى وتعرضها للعوامل الجوية المختلفة من رطوبة وكلوريدات أو أملاح نتيجة قربها من البحر، ساهم ذلك وعلى مدى سنين عديدة في تردي الحالة الإنشائية لهذه الأعمدة وسرع من انتشار الصدأ في قضبانها.

٣. إن أعمدة الجهة الشمالية هي مستطيلة المقطع بأبعاد (٥٥×٣٠) سم، وقد وصل عمق التضرر فيها لحوالي (٥ سم)، وأصبحت قضبان التسليح مكشوفة ومتآكلة نتيجة الصدأ، بينما باقي الأعمدة المحيطة بالمبنى (في الجهة الغربية والجنوبية والشرقية) هي مستطيلة المقطع بأبعاد (٥٠×٣٠) سم، وهي مخفية تقريباً في الجدران وغير بارزة وتعاني من

بعض الصدأ في قضبان التسليح وتساقط وتشقق بيتون التغطية عن هذه القضبان، الا أنها أقل تضرراً من أعمدة الجهة الشمالية.

٤. يقع على عاتق جميع الأعمدة المحيطة بالمبنى تحمل الحمولات المنقولة إليها من البلاطات والجوائز المتدلية، وبنتيجة الحساب تبين أن العمود الواحد منها يتلقى من كل طابق حمولة بحدود ٢٠ طناً.

٥. تم تصميم دعائم فولاذية من أجل التدعيم المؤقت للمبنى، وصممت هذه الدعائم لتوضع في أماكن محددة على طوابق المبنى من الداخل وعلى بعد (١٠سم) من الأعمدة المتضررة وتحت الجوائز المتدلية، وتمت إزالتها لاحقاً.

٦. إن الجملة الإنشائية الأصلية عبارة عن إطار ثلاثي الأبعاد مكون من أعمدة وجوائز متدلية في الاتجاهين الرئيسيين وهي تحمل بلاطات بيتونية مسلحة مصممة، مع شكل مستطيل لمسقط المبنى.

٧. المواد المستخدمة في البناء تتوافق مع القيم المعتادة لتلك الحقبة (مقاومة البيتون بحدود $f'_c = 18MPa$ وتم تحديدها باستخدام مطرقة شميدث، وبين الجدول (١) القيم الوسطية لبعض عناصر المبنى، وإجهاد خضوع الفولاذ بحدود $(f_y = 320MPa)$. تم تنفيذ التصميم الإنشائي للهيكل فقط للأحمال الرأسية، دون أي اعتبار للإجهادات الناتجة عن الزلازل.

الجدول (١): القيمة الوسطية لمقاومة البيتون باستخدام مطرقة شميدث لبعض عناصر المبنى المدروس.

اسم العنصر	القيمة الوسطية لمقاومة البيتون باستخدام مطرقة شميدث (MPa)
أعمدة	١٨
جوائز	١٨,٢
بلاطة	١٨,٤

٤. ٤. الاستراتيجية العامة في عملية التدعيم: تتضمن تنفيذ قمصان بيتونية مسلحة حول الأعمدة المحيطة بهدف تعويض النواقص الناتجة عن تلف العناصر البيتونية المسلحة المتآكلة، وشملت عملية التدعيم الأعمال الرئيسية التالية:

- أعمال التدعيم المؤقت بدعائم فولاذية، والتي تم تركيبها من الداخل بجوار الأعمدة المتهالكة خوفاً من حصول انهيار موضعي أثناء عمليات تنفيذ التدعيم، وتمت إزالتها بعد الانتهاء من أعمال التدعيم كما مبين في الشكل (١٠ - a).
- أعمال الحفر ومن ثم الردم حول الأعمدة المحيطة وصولاً الى الاساسات المنفردة كما مبين في الشكلين (١٠ - b) و(١٣ - a).



الشكل (١٠): (a) تدعيم مؤقت من الداخل بدعائم فولاذية تمت إزالتها بعد الانتهاء من صب قمصان الأعمدة. (b) أعمال الحفر حول الأعمدة المحيطة وصولاً الى الاساسات لتدعيمها.

- تنظيف سطوح الأعمدة المراد تدعيمها من الطينة والبيتون المتشقق وتنظيف حديد التسليح من الصدأ ودهن السطوح البيتونية القديمة بمادة الـ SBR (Styrene-Butadiene Rubber) وهي بوليمير (ستيرين- بوتادين المطاطي) وهي مادة بوليميرية سائلة تستخدم لتحقيق تماسك جيد بين البيتون القديم والبيتون الجديد كما مبين في الشكل (١٤ - a)

وفق تعليمات الاستخدام المرفقة مع هذه المادة من الشركة المصنعة، حيث تخلط مع الاسمنت بنسبة واحد الى واحد وزنياً، وتدهن السطوح البيتونية بها.

- أعمال تنفيذ ثقوب في الاساسات والأعمدة المراد تدعيمها وتركيب تشاريك مع الإيوكسي كما مبين في الشكل (١١).



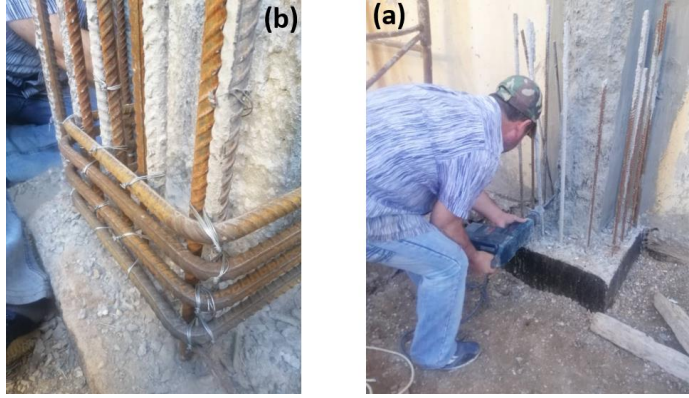
الشكل (١١): (a) زرع تشاريك فولاذية في الاساسات باستخدام الإيوكسي. (b) أعمال تثقيب الأعمدة القديمة لزرع تشاريك فولاذية.

- تفصيل وتركيب حديد التسليح للقمصان البيتونية الجديدة كما مبين في الشكلين (١٢) و (١٤ - a).
- ربط الأعمدة القديمة مع القمصان البيتونية الجديدة بحزام من القضبان على مستوى كل طابق كما مبين في الشكل (١٣ - b).

- أعمال بيتونية تتضمن صب القمصان البيتونية الإضافية كما مبين في الأشكال (١٤ - ١٥ - ١٦).
- أعمال عزل السطوح البيتونية المراد طمرها بعد الصب وتصلب البيتون كما مبين في الشكل (١٣ - a).
- تعويض النقص الحاصل في تسليح بعض العتبات نتيجة تآكله بتلحيم قضبان إضافية وتغليفها بطينة خاصة.
- أعمال الطينة الإسمنتية للأسطح البيتونية المصبوبة وأعمال الدهان كما مبين في الشكل (١٦ - b).



الشكل (١٢): (a) هيكل التسليح للقمصان البيتونية الجديدة . (b) تثبيت هيكل التسليح مع التشاريك المزروعة في الاساسات ومع التشاريك المزروعة مع الأعمدة القديمة، ويلاحظ عدم تضرر الأجزاء المطمورة من الأعمدة كونها كانت محمية من العوامل الجوية.



الشكل (١٣): (a) إعادة ردم الحفر حول الأعمدة بعد انتهاء صب القمصان الجديدة وعزلها بالبيتومين . (b) تعزيز الربط بين القمصان الجديدة والأعمدة القديمة بأحزمة من القضبان عند منسوب كل طابق.



الشكل (١٤): (a) تثبيت هيكل التسليح للقمصان الجديدة للطابق الأرضي ودهن سطح بيتون الأعمدة القديمة بمادة SBR لزيادة التلاحم بين البيتون القديم والبيتون الجديد، (b) عملية كفرجة قمصان الأعمدة وصبها.

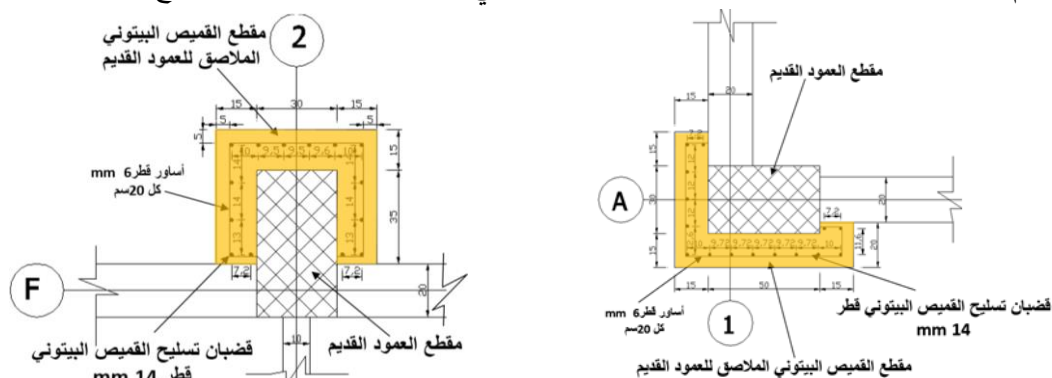


الشكل (١٥): (a) عملية كفرجة قمصان الأعمدة للطوابق العليا وصبها، (b) إزالة البيتون المتشقق من الأعمدة القديمة ودهنها بـ SBR وتنظيف قضبان التسليح القديمة من الصدأ ودهنها بالإبوكسي.

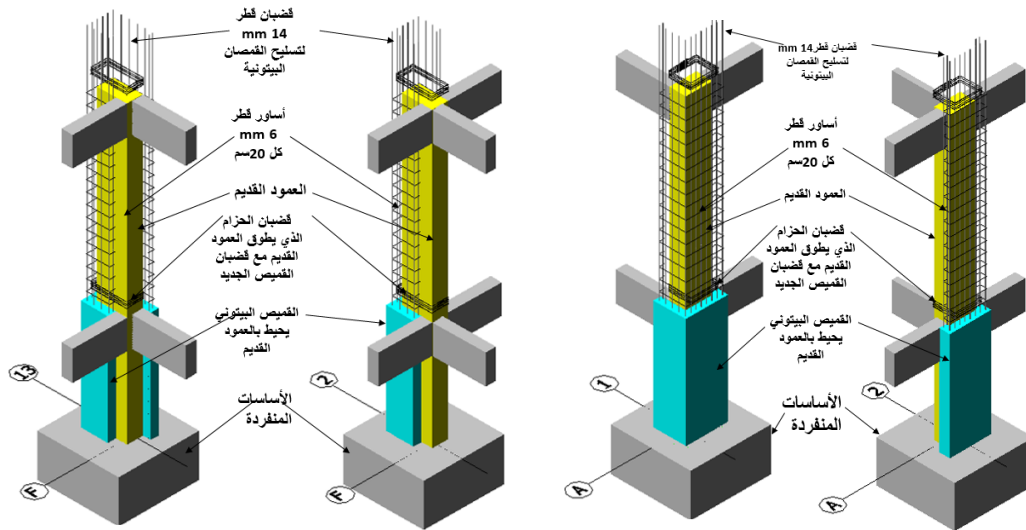


الشكل (١٦): (a) عملية كفرجة قمصان الأعمدة للطابق الأرضي وصيها، (b) شكل الأعمدة في الجهة الشمالية من المبنى بعد الانتهاء من تدعيمها بقمصان بيتونية مسلحة وتطينها بمونة اسمنتية.

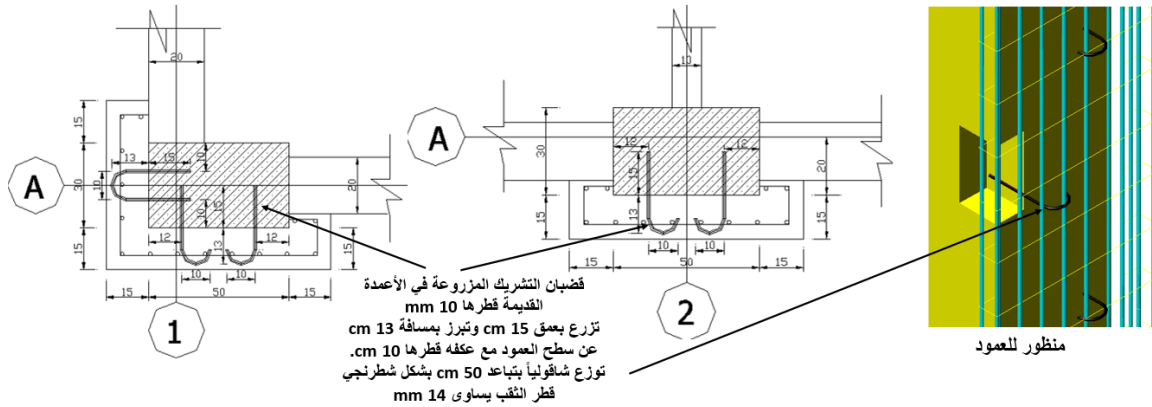
ان التدابير المتبعة لتأمين العمل المشترك بين القمصان والاعمدة القديمة (وبالتالي مع الجملة الاطارية) تضمنت: ١. دهن SBR ، ٢. وزرع قضبان تشاريك، ٣. تنفيذ حزام من القضبان الفولاذية التي تطوق حديد تسليح القمصان مع الاعمدة القديمة عند منسوب كل طابق. وقد أثبت بعض الدراسات السابقة فعالية تطويق الأعمدة بقمصان بيتونية من جهتين أو ثلاث جهات خصوصاً بوجود تشاريك shear connectors بين الأعمدة والقمصان [5;13]. وتبين الأشكال (٢٠-١٩-١٨-١٧) بعض التفاصيل الهندسية المتعلقة بالأبعاد الهندسية وتسليح القمصان البيتونية حول بعض الأعمدة المحيطة في المبنى المدروس، والتشريك الفولاذية المزروعة في الأعمدة القديمة مع استخدام الإبوكسي، والأحزمة الرابطة للقمصان مع الأعمدة القديمة، وتم مراعاة الاشتراطات في النورم [1] والتي تخص عمق التشاريك وأبعاد الثقوب وطريقة التنفيذ. فعمق الثقب L يجب أن يكون أكبر من قطر قضيب التشريك ϕ بـ $L \geq 12\phi$ وباعتبار قضبان التشاريك هي بقطر $\phi = 10mm$ اعتمد عمق للثقوب $L = 15cm$ ، و قطر الثقب يجب أن يكون أكبر من قطر القضيب بـ $4mm$ ، وتم التنظيف الجيد للثقوب من الغبار قبل حقن الإبوكسي وزرع قضبان التشاريك، وتم الالتزام بكافة الاشتراطات الخاصة بهذا العمل وفق ما ورد في دفتر الشروط الخاص بالمشروع.



الشكل (١٧): بعض التفاصيل الهندسية المتعلقة بالأبعاد الهندسية وتسليح القمصان البيتونية حول الأعمدة المحيطة في المبنى المدروس.

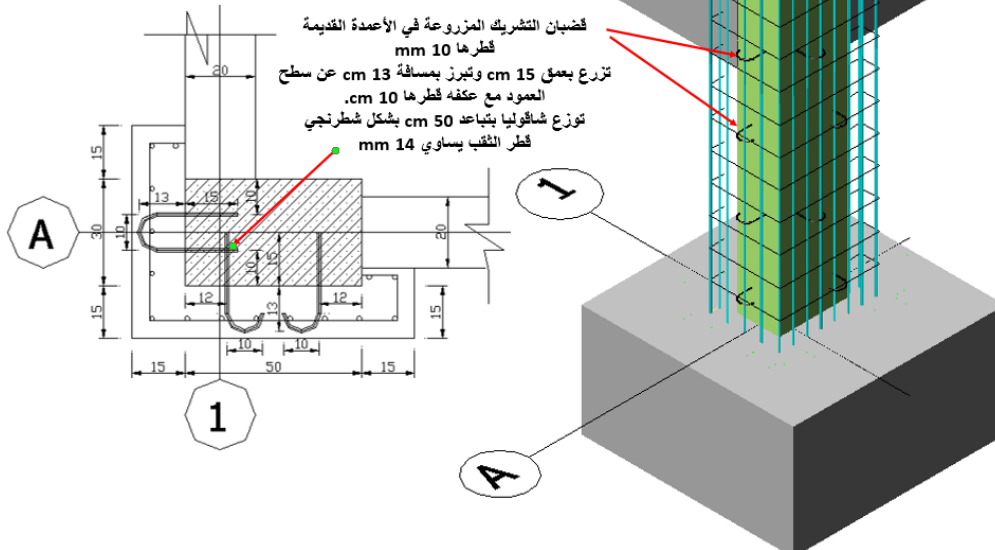


الشكل (١٨): نماذج عن التفاصيل الهندسية المتعلقة بالأبعاد الهندسية وتسليح القمصان البيتونية حول الأعمدة المحيطة في المبنى المدروس، والنماذج تشمل القمصان حول الأعمدة F13-F2-A1-A2.



الشكل (١٩): نماذج عن بعض التفاصيل الهندسية المتعلقة بقضبان التشريك الفولاذية المزروعة في الأعمدة القديمة.

حزام من أربعة قضبان يبعد كل واحد عن الآخر 3.5 سم وهي تطوق حديد التسليح في القميص الجديد مع العمود القديم وتلتحم بعد المثني بتراكب 12 سم أو 20 سم حسب العمود



الشكل (٢٠): مثال عن التفاصيل الهندسية المتعلقة بقضبان التشريك الفولاذية المزروعة في الأعمدة القديمة مع استخدام الإيبوكسي، والاحزمة الرابطة للقمصان مع الأعمدة القديمة على مستوى كل طابق، وهذا المثال يشمل القميص حول العمود A1. وتبين الأشكال (٢١-٢٢-٢٣) بعض واجهات مبنى كلية الآداب بجامعة طرطوس قبل إجراء عملية التدعيم وبعدها.



الشكل (٢١): شكل مبنى كلية الآداب بجامعة طرطوس قبل إجراء عملية التدعيم (واجهة جنوبية) ويلاحظ قريتها من البحر.



الشكل (٢٢): شكل مبنى كلية الآداب بجامعة طرطوس بعد إجراء عملية التدعيم (واجهة جنوبية).



الشكل (٢٣): شكل مبنى كلية الآداب بجامعة طرطوس بعد إجراء عملية التدعيم (واجهة شمالية).

٥ . نمذجة البناء المدروس لتحليله باستخدام برنامج ETABS قبل وبعد التدعيم:

١ . ٥ . الأسس المعتمدة في الحساب الإنشائي:

- المواد المستخدمة في الإنشاء: اعتمدت للبيتون الجديد وحديد تسليح القمصان الجديدة القيم المبينة أدناه وهي مأخوذة من التقارير المخبرية في الاضبارة التنفيذية للمشروع، حيث تم اجراء اختبارات عليها من قبل الجهة المنفذة.
- اعتمدت المقاومة المميزة للبيتون القديم في الأعمدة $f'_c = 18MPa$ ، (تم تحديدها باستخدام مطرقة شميدث).
- اعتمدت المقاومة الاسطوانية المميزة بعد ٢٨ يوماً لبيتون القمصان الجديدة $f'_c = 25MPa$.

- اعتمد إجهاد خضوع فولاذ التسليح الطولي للبناء القائم من النوع الأملس $f_y = 320MPa$. (وهي القيم التي كانت سائدة قديماً في فترة تشييد المبنى).
- اعتمد إجهاد خضوع فولاذ التسليح الطولي عالي المقاومة من النوع المحلزن $f_y = 400MPa$.
- اعتمد إجهاد خضوع فولاذ التسليح العرضي من النوع الأملس $f_y = 240MPa$.
- الكودات المعتمدة في التصميم: هي الكود العربي السوري [14]، والملحق الثاني للكود السوري والخاص بالتصميم لمقاومة الأفعال الزلزالية [15]، والكود الأمريكي ACI-318 [1].

٥ . ٢ . التصميم على الأحمال الشاقولية:

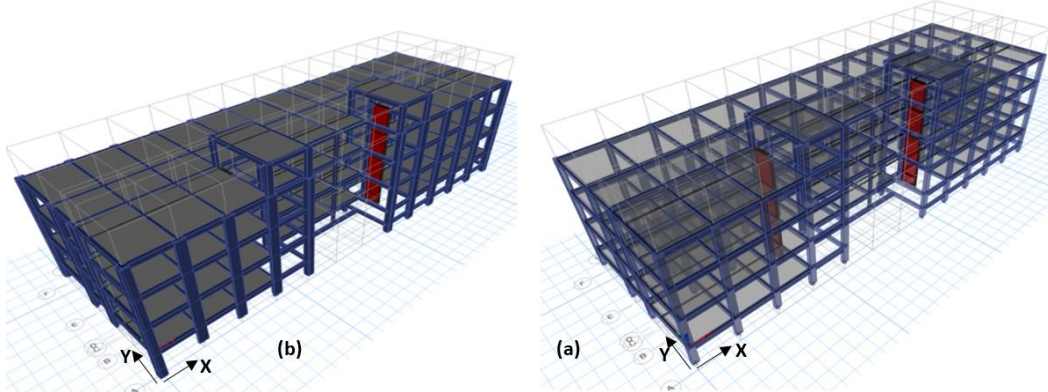
تم إدخال تأثير كافة الأحمال الشاقولية (حية - دائمة بما فيها الوزن الذاتي).

٥ . ٣ . التصميم على الأحمال الزلزالية:

- تقع كتلة البناء في المنطقة الزلزالية الثالثة (طرطوس)، وفيها معامل المنطقة الزلزالية $Z = 0.3$ ،
- تحليل وتصميم مقاطع الهيكل الإنشائي وفق الكود العربي السوري وملحقاته المتضمنة التصميم لمقاومة أفعال الزلازل.

- تمت دراسة البناء على الزلازل بطريقة طيف الاستجابة (تحليل ديناميكي) وفقاً لما ورد في الكود العربي السوري لتصميم وتنفيذ المنشآت بالخرسانة المسلحة.

٥ . ٤ . النموذج الحسابي للمبنى: تمت نمذجة الجملة الإنشائية على أنها مكونة من إطارات ثلاثية الأبعاد لمقاومة مختلف الأحمال بما فيها الأحمال الزلزالية قبل التقوية وبعدها، كما مبين في الشكل (٢٤) باستخدام برنامج ETABS . وتمت نمذجة الصلاطات الأفقية من خلال ديافرامات عند المناسيب المختلفة للأسقف. أما العمود المقوى فقد تمت نمذجته على أنه عنصر واحد ومقطعه العرضي مركب من مقطع العمود القديم ومقطع للقميمص الجديد الذي يطوقه من جهتين أو ثلاثة كما مبين في الشكل (١٧)، حيث تعطى خصائص كل منهما من ناحية مقاومة البيتون وإجهاد خضوع الفولاذ، ويعمل العمود بمقطعيه المختلفين كعنصر واحد.



الشكل (٢٤): نماذج البناء المحلل باستخدام برنامج ETABS: a. قبل التقوية، b. بعد تقوية الأعمدة الخارجية بقمصان بيتونية مسلحة.

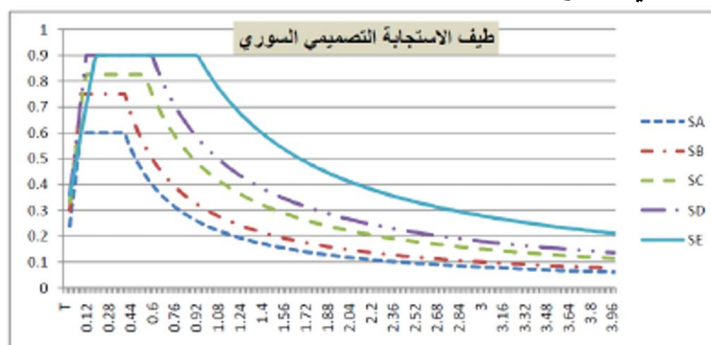
٥ . ٥ . حالات التحميل:

تم التحميل بحمولات ميتة DL، وحمولات حية LL، والقوى الزلزالية باتجاه المحور X، والقوى الزلزالية باتجاه المحور Y.

٥ . ٦ . حالة التحميل الديناميكية:

تم اعتماد دراسة السلوك بتأثير الحمولات الزلزالية من خلال تطبيق الحمولة الزلزالية بطريقة طيف الاستجابة التصميمي السوري المبين في الشكل (٢٥) [10] و [15]، ويعد طيف الاستجابة من طرق تقييم السلوك الزلزالي للهيكل

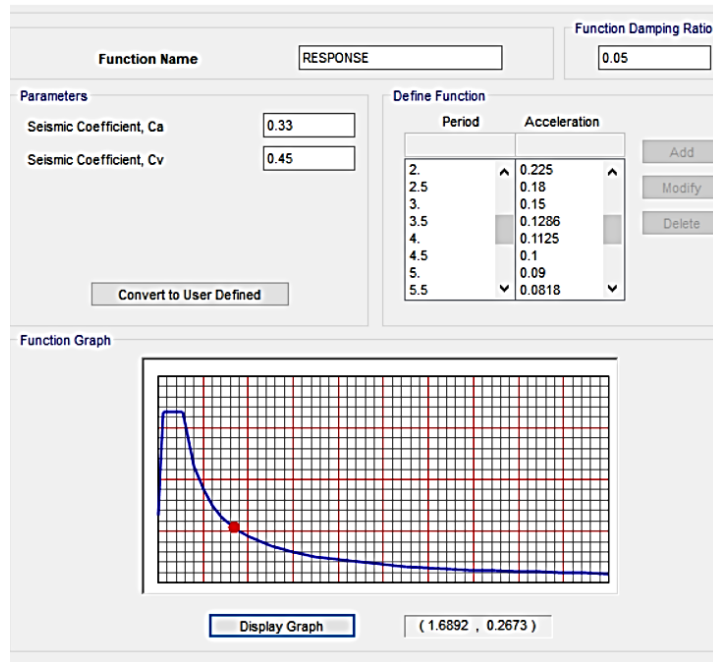
الانثائي حيث يمكن أن يقيم بشكل فعال الخصائص الديناميكية والاستجابة الزلزالية لأنواع مختلفة من المنشآت، ويأخذ هذا التحليل في الاعتبار دور المنشأ، وتوزع التسارعات. واعتمد معامل المنطقة الزلزالية الثالثة (منطقة طرطوس) $Z = 0.3$ ، وصنف التربة فرضناه SC، لعدم توفر البيانات اللازمة لذلك من خلال تقرير ميكانيك تربة يخص موقع المشروع، وكون غالبية مواقع محطات الشبكة الوطنية للرصد الزلزالي تقع على مواقع تربة صنف B أو C، والمعامل الزلزالي $C_v = 0.45$ و $C_a = 0.33$. ويبين الشكل (٢٦) نافذة الادخالات لمعامل المنطقة الزلزالية، وصنف التربة والمعاملات الزلزالية المختلفة في برنامج ETABS.



الشكل (٢٥): طيف الاستجابة التصميمي السوري وفق متطلبات الكود السوري من أجل خمسة أنواع مختلفة للتربة [10] و [15].

الشكل (٢٦): نافذة الادخالات لمعاملات كل من المنطقة الزلزالية، وصنف التربة والمعاملات الزلزالية المختلفة في برنامج ETABS.

ويبين الشكل (٢٧) نافذة تظهر طيف الاستجابة الزلزالية المستخدم في تحليل المبنى المدروس في برنامج ETABS



الشكل (٢٧): طيف الاستجابة الزلزالية المستخدم في تحليل المبنى المدروس.

٥. ٧. تراكب الحمولات: تم اعتماد التراكبات الرئيسية للحمولات المنصوص عنها في الكود العربي السوري كما يلي:

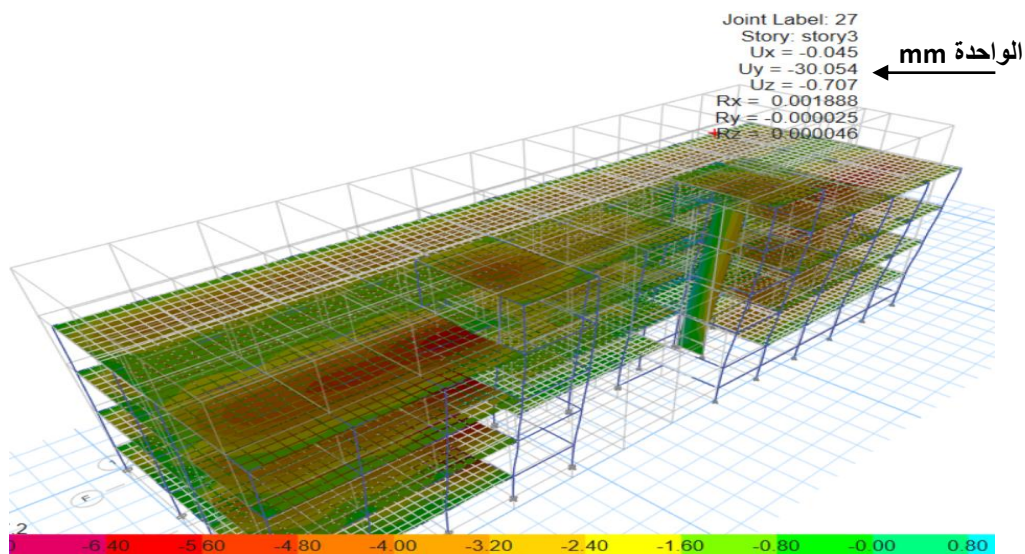
$$1.1(0.9D \pm 1E) \text{ و } 1.1(1.2D \pm 1E) \text{ و } 1.4D + 1.7L$$

حيث: D الأحمال الميتة. L الأحمال الحية. E الأفعال الناتجة عن الزلازل والناتجة عن طيف الاستجابة المستخدم.

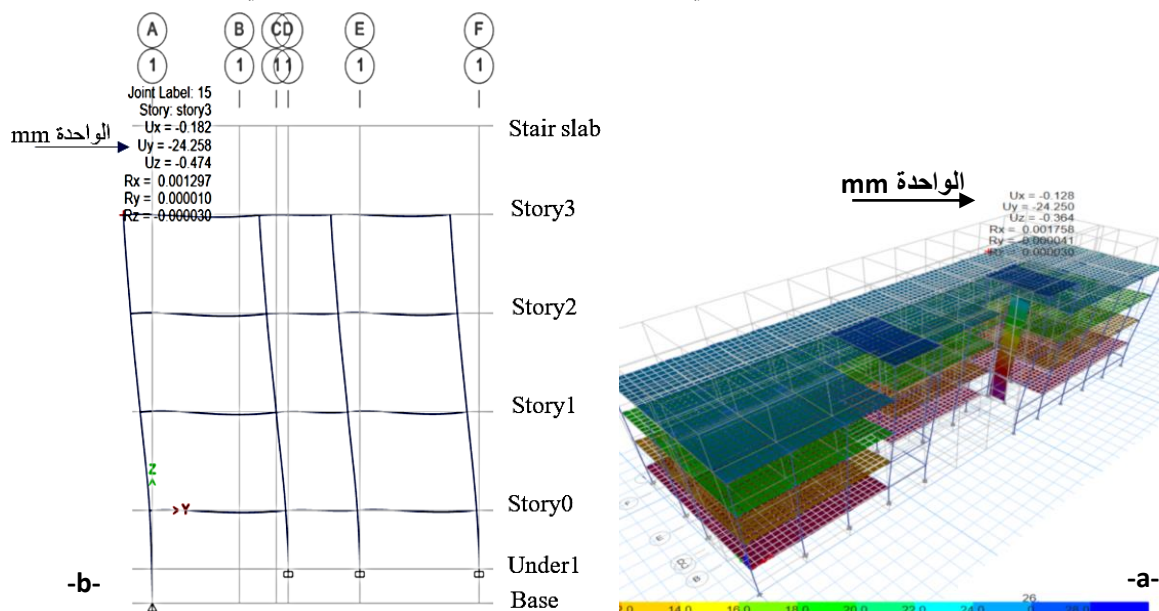
وتم تخفيض الصلابة للعناصر الانشائية في النموذج ضمن برنامج ETABS من خلال property modifiers حيث تخفض الصلابة بإدخال معاملات تخفيض، وهذا ناتج عن التشقق في البيتون، فمثلاً خفضت صلابة الأعمدة وفق المعامل ٠,٧، وفق ما يمليه الكود الأمريكي ACI 318 [1].

٥. ٨. النتائج والمناقشة:

I. النتائج المتعلقة بالإنزياحات الطابقية: يبين الشكلان (٢٨ و ٢٩ . a) نموذج المبنى قبل التقوية وبعدها في بيئة برنامج ETABS بعد الانتهاء من التحليل ومبين عليها الإنزياح الأعظمي عند منسوب سطح المبنى وبالاتجاه القصير Y للمبنى، حيث بلغ الإنزياح الأعظمي $Uy=30.05mm$ قبل التقوية، وبلغ الإنزياح الأعظمي $Uy=24.25mm$ بعد التقوية نتيجة الحمل الزلزالي المطبق عليه، حيث انخفض الإنزياح بنسبة ١٩,٣%، وتتسجم هذه النتائج مع النتائج المنشورة في بعض المراجع مثل [16,11]. ويبين الشكل (٢٩ . b) مقطع عرضي في هذا النموذج بعد التقوية.



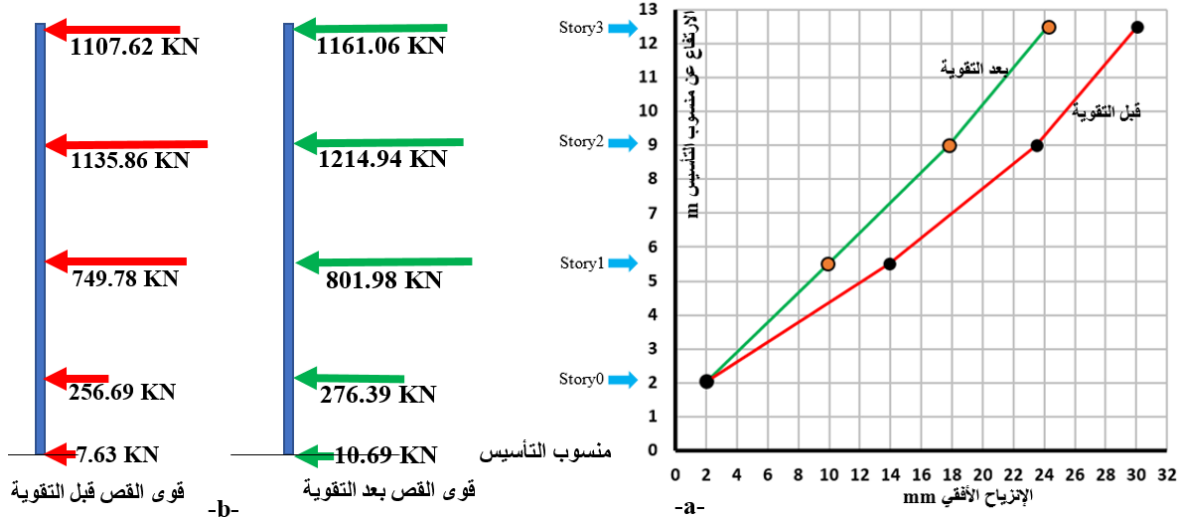
الشكل (٢٨): شكل نموذج المبنى قبل التقوية في بيئة برنامج ETABS مبين عليه الإنزياح الأعظمي $U_y=30.05\text{mm}$.



الشكل (٢٩) a: شكل نموذج المبنى بعد التقوية في بيئة برنامج ETABS مبين عليه الإنزياح الأعظمي على منسوب سطح المبنى

وبالاتجاه القصير $U_y=24.25\text{mm}$ ، b . مقطع عرضي في نموذج المبنى بعد تقويته.

وعند اجراء مقارنة لنتائج الإنزياحات الطابقية في المبنى المدروس بالاتجاه القصير γ نتيجة الحمل الزلزالي المطبق عليه قبل التقوية وبعدها نحصل على المنحنيات المبينة في الشكل (٣٠ - a)، ونلاحظ انخفاض الإنزياحات الطابقية نتيجة التقوية. وعند مقارنة الإنزياحات الأعظمية مع القيم المسموحة في الكود العربي السوري [15]، وباعتبار إن ارتفاع البناء (الطابق الثالث) عن منسوب التأسيس يساوي $h=2.05+10.35=12.4\text{m}$ ، فإن الإنزياح الأعظمي المسموح Δ_a يجب أن يحقق الشرط التالي: $\Delta_a \leq 0.025 \times h$ if $T < 0.7\text{sec}$ ، وهذا محقق في حالتنا المدروسة.



الشكل (٣٠): a. مقارنة الإنزياحات الطابقية في المبنى المدروس بالإتجاه القصير Y نتيجة الحمل الزلزالي المطبق عليه قبل التقوية وبعدها، b. مقارنة قوى القص الطابقية في المبنى المدروس بالإتجاه القصير Y.

II . النتائج المتعلقة بقوى القص :

في حالة الحساب اليدوي يحسب القص القاعدي التصميمي بالعلاقة التالية وفق [15]: $V = \frac{C_v I}{RT} W$ ، حيث:

I . معامل أهمية المنشأ ويستخدم لزيادة هامش الأمان في المنشآت الأساسية.

W . مجموع الأوزان الميتة و 25% من الأحمال الحية في حالة المستودعات.

C_v . معامل زلزالي يأخذ بالاعتبار زلزالية المنطقة وشروط تربة الموقع.

R . معامل يأخذ بالحسبان درجة لدونة (مطاوعة) الجملة الإنشائية.

T . دور اهتزاز المنشأ الأساسي مقدراً بالثانية.

ويجب أن لا يزيد القص القاعدي المحسوب وفق العلاقة السابقة عن القص الأعظمي المحسوب وفق العلاقة التالية:

$$V_{\max} = \frac{2.5C_a I}{R} W$$

$$V_{\min} = 0.11C_a I W$$

ويبين الشكل (٣٠ - b) مقارنة قوى القص الطابقية في المبنى المدروس بالإتجاه القصير Y نتيجة الحمل الزلزالي المطبق عليه قبل التقوية وبعدها. حيث زادت قوة القص مثلاً عند منسوب السطح من ١١٠٧,٦ KN قبل التقوية، الى ١١٦١ KN بعد التقوية، أي زادت بنسبة ٤,٥%. كما أن المجموع الإجمالي لقوى القص (القص القاعدي) قبل التقوية بلغ ٣٢٥٧,٥٦ KN، وبعد التقوية بلغ ٣٤٦٥,٠٥ KN، أي زاد بنسبة ٥,٩%، وهذا يعني أن المبنى أصبح بإمكانه تحمل قوى قص أكبر بنسبة ٥,٩% بعد تقويته. وتتسجم هذه النتائج مع النتائج المنشورة في بعض المراجع مثل [11] من حيث أن تقوية المباني تؤدي الى تخفيض الإنزياحات الطابقية فيها، والى زيادة في قوى القص التي يمكن للمبنى تحملها نتيجة الأحمال الزلزالية، ويعود ذلك الى زيادة مقاطع وتسلية الاعمدة وبالتالي صلابتها وهذا ينعكس على أداء المبنى ككل.

III . النتائج المتعلقة بدور المبنى: بلغ دور المبنى قبل التقوية $T=0.514\text{sec}$ ، وانخفض الى $T=0.483\text{sec}$ بعد التقوية، أي انخفض نتيجة التقوية بنسبة ٦%. وتتسجم هذه النتائج مع النتائج المنشورة في بعض المراجع مثل [11].

٦ . الاستنتاجات والتوصيات:

١ - إن تدعيم الأعمدة الخارجية لمبنى الآداب في جامعة طرطوس بقمصان بيتونية مسلحة أدى الى تعزيز المبنى في مقاومة مختلف القوى بما فيها الزلزالية، (وتجدر الإشارة الى أن هذا المبنى تعرض لزلزال شباط في عام ٢٠٢٣ بعد أن انتهت أعمال التقوية فيه، ولم تلاحظ أية تضررات على عناصره الإنشائية نتيجة لذلك، ما يدل على كفاءة عملية تقويته).

٢ - أدى تدعيم الأعمدة المحيطة لمبنى الآداب بقمصان بيتونية مسلحة الى تخفيض الإنزياحات الجانبية للمبنى بالإتجاه القصير والنااتجة عن الاحمال الزلزالية، حيث بلغت نسبة تخفيض الإنزياح في قمة المبنى الى حوالي ١٩,٣%، رغم أنه لم تكن هناك زيادة كبيرة في أوزان الأعمدة نتيجة التدعيم بقمصان بيتونية.

٣ - ساهم تدعيم الأعمدة المحيطة لمبنى الآداب بقمصان بيتونية مسلحة الى زيادة قوى القص الطابقية بالإتجاه القصير والنااتجة عن الاحمال الزلزالية، وهذا يعني أن المبنى أصبح بإمكانه تحمل قوى قص أكبر بعد تقويته. وبلغت نسبة الزيادة في قوة القص القاعدية الاجمالية ٥,٩%.

٤ - أدى تدعيم الأعمدة المحيطة لمبنى الآداب بقمصان بيتونية مسلحة الى تخفيض دور المبنى بالإتجاه القصير، حيث بلغت نسبة التخفيض ٦%.

المراجع:

- [1]- ACI 318M-19, 2019. *Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary*, an ACI Standard, American Concrete Institution. Farmington Hills, Michigan. USA.
- [2]- American Society of Civil Engineers. 2007. ASCE/SEI 41-06. *Seismic Rehabilitation of Existing Buildings*, American Society of Civil Engineers, Reston, Va.
- [3]- Berto, L.; Vitaliani, R.; Saetta, A.; Simioni, P. 2009. *Seismic assessment of existing RC structures affected by degradation phenomena*. Struct. Saf., V.31, 284–297.
- [4]- Erdem, T. E. ; Karal, K. 2022. *Performance evaluation and strengthening of reinforced concrete buildings*. Journal of Construction, Vol 21, № 1, 53-68, Bayar University, Manisa Turkey.
- [5]- FERREIRA, D.; GOMES, R.; CARVALHO, A.; GUIMARAES, G. 2016. *Behavior of reinforced concrete columns strengthened by partial jacketing*. Ibracon Structures and Materials Journal. Vol. 9, N. 1. Brazil.
- [6]- Gkournelos, P. D. ; Triantafillou, T. C.; Bournas, D.A. 2021. *Seismic upgrading of existing reinforced concrete buildings: A state-of-the-art review*. Journal of Engineering Structures 240, 112273, Published by Elsevier Ltd.
- [7]- Granata, M. F. 2024. *Seismic Retrofit of Concrete Buildings Damaged by Corrosion: A Case Study in Southern Italy*. Journal of Buildings, 14, 1064, University of Palermo, Italy.
- [8]- HAKIM, A. ; MASRI, A. 2016, *Case study of seismic evaluation and strengthening of existing low-rise reinforced concrete building*. Dept. of Civil Engineering, Beirut Arab University, Beirut, Lebanon.
- [9]- <https://WWW.facebook.com/share/P/17uHTTT8e1/>, (accessed 4,6,2021).
- [10]- Jdyd, S.; Hwaija, B.; Hasan, N. 2016. *Real Records Scaling Factors Optimization to Fit the Syrian Design Spectra using Genetic Algorithm*. Arab American University Journal of Research. Volume 2. Issue 2.
- [11]- Ihssan, T.; Abdo Alrazak, S. Osama, S. 2018. *Seismic strengthening of R.C structures with exterior shear walls*. Journal of Hama University, Vol.1-No.8. Syria.
- [12]- Italian Ministry of Infrastructures, 2008. *Norme Tecniche per le Costruzioni DM 14.01.2008; Consiglio Superiore LL. PP, Ed. Roma, Italy*.
- [13]- Mahmoud, N.; Mohamed, F.; Hisham, E. Mohamed, A. 2021. *Strengthening of Edge and Corner Columns using Concrete Jackets*. Civil Engineering Journal. Vol. 7, No. 07, Egypt.
- [14]- Syrian Arab Code, 2012 “*The design and implementation the construction by reinforced concrete*,” Syrian Engineers Association, Fourth Edition, Damascus, Syria.
- [15]- Syrian Arab Code – Appendix 2. 2017. *Design and Check of Seismic Resistant Buildings and Constructions*. 2nd Edition, Damascus, Syria.
- [16]- Yaseen, P. 2022. *Analytical Study on Seismic Strengthening of Existing Reinforced Concrete Buildings by Implementation of Energy Absorbers*. A thesis for the degree of Master of Science in Civil Engineering. Eastern Mediterranean University, North Cyprus.