مجلة جامعة دمشق لبحوث الزلازل والكوارث
المجلد1 العدد(1) – 2024: 15-33

Damascus University Journal of Earthquake and Disaster Research
Vo 1 number (1) -2024 15-33

تأهيل بناء بيتوني مسلح باستخدام تربيط معدني لا مركزي مع إجراء دراسة بارامترية لسماكة وصلة القص

جهاد سليم صبيح*[1] رياض العيسى[2] هالة حسن[3]

*[1]. طالب دكتوراه، قسم الهندسة الإنشائية، كلية الهندسة المدنية، جامعة دمشق.
JihadSobaih@Damascusuniversity.edu.sy

[2]. أستاذ قسم الهندسة الإنشائية، كلية الهندسة المدنية، جامعة دمشق.
RiadAlissa@Damascusuniversity.edu.sy

[3]. أستاذ قسم الهندسة الإنشائية الزلزالية، المعهد العالي للبحوث والدراسات الزلزالية، جامعة دمشق.
hala.hasan@damascusuniversity.edu.sy

الملخص:

تحتاج العديد من الأبنية القائمة المصممة قبل صدور كود التصميم الزلزالي لنظام تقوية فعّال لتحسين الأداء، ويمكن باستخدام التربيط المعدني اللامركزي تحقيق ذلك من خلال زيادة المقاومة والمطاوعة وتحسين تبديد الطاقة وتدارك نقص الصلابة الذي قد يحدث عند زيادة التشوه، إضافة للعديد من الميزات المهمة كخفة الوزن وسهولة التركيب والصيانة والمعالجة بعد التعرض لهزات قوية، كما ويسهم في تقليل الفتل في الذي تعاني منه العديد من المباني المدرسية غير المنتظمة أفقياً.

تم تطبيق دفع جانبي متزايد pushover وإيجاد منحني استطاعة البناء المدروس قبل وبعد التقوية باستخدام وصلة قصية بسماكات مختلفة، وتحديد نقطة الأداء ومستوى الأداء.

وقد تبين أنه بعد التقوية بالنظام المقترح ذي الكفاءة العالية زادت الصلابة، والتشوه الأعظمي وزاد تبديد الطاقة مما قلل الطلب ومستوى الضرر وحسّن الأداء في الاتجاه المدروس، وأظهرت الدراسة البارامترية المجراة للمفاضلة بين سماكات مختلفة للوصلة القصية أن موقع نقطة الأداء على منحني الاستطاعة قد تغيّر محققاً أفضل أداء باستخدام وصلة سماكتها 5سم حيث ارتفع ليصبح مستوى إشغال فوري بينما بقي في مستوى حفظ الحياة باستخدام السماكتين الأقل منها والأكثر منها هما 4 و 7.5سم، وبذلك تحقق أفضل أداء للبناء المقوى.

الكلمات مفتاحية: بناء بيتوني مسلح، التربيط المعدني اللامركزي، دفع جانبي متزايد pushover، عدم انتظام أفقي، دراسة بارامترية، سماكة الوصلة القصية.

تاريخ الايداع: 2023/1/4

تاريخ القبول: 2023/6/20

حقوق النشر: جامعة دمشق – سورية، يحتفظ المؤلفون بحقوق النشر بموجب **CC BY-NC-SA**

Rehabilitation RC Structure Using Eccentric Metallic Bracing and parametric study to Shear Link Thickness

Jihad Saleem Sobaih*[1] Riad Alissa[2] Hala Hasan[3]

*[1]. Doctorate candidate, structural engineering Department, Faculty of civil engineer, Damascus University, Damascus, Syria. JihadSobaih@Damascusuniversity.edu.sy

[2]. Professor at the structural engineering Department, Faculty of civil engineer, University of Damascus, Damascus, Syria. RiadAlissa@Damascusuniversity.edu.sy

[3]. Professor at the Seismic Structural Engineering Department, Higher Institute of Seismological Studies and Research, University of Damascus, Damascus, Syria hala.hasan@damascusuniversity.edu.sy

Received: 4/1/2023

Accepted: 20/6/2023

Copyright: Damascus University- Syria, The authors retain the copyright under a CC BY- NC-SA

Abstract:

Many existing buildings designed before the seismic code need effective bracing system to improves performance, the eccentric bracing can improve the resistance and ductility, and improve energy dissipation , compensate the lack of stiffness that may occur when deformation increases, beside many of important Advantages such as light weight, ease of installation and maintenance after exposure to strong shocks, and can contribute in torsion reduce in many irregular horizontally school buildings.

The capacity curves of the studied building was found by applying pushover to it before and after bracing by using different thicknesses of the shear link, and determining the performance point and performance level.

Proposed system increased stiffness, the maximum deformation, and the energy dissipation due to its high efficiency, which reduced the demand and the level of damage and improved the performance in the studied direction. It was performed by using a shear link of 5 cm thickness, as it increased to become an immediate occupancy level, while it remained at the level of life safety by using the two thicknesses 4 and 7.5 cm which are less than and more than 5 cm, thus achieving the best performance of the braced construction.

Keywords: Reinforced concrete building, eccentric metal bracing, pushover analysis, horizontal irregularity, parametric study, shear link thickness.

المقدمة:

يحتوي تصميم العديد من الأبنية المدرسية على عدم انتظام أفقي، حيث أن مسقطها بشكل "L" مما يضخم الاستجابة الديناميكية نتيجة الفتل عند تعرضها لزلزال قوي، وعملية معالجة الضعف تتطلب إضافة عناصر مقاومة للعزوم أكثر مرونة، لزيادة مقاومة البناء من غير زيادة كبيرة في القساوة وتحسين توزع القوى، وتتطلب دقة في التقييم والتصميم للتقوية اللازمة، واستخدام صحيح لتقنية التقوية الموافقة لخصائص ونموذج المنشأ، وهي عملية معقدة وأصعب بكثير من الإنشاء الجديد.(Rai, D. C ,2005).

ومن الحلول الهامة استخدام التربيط المعدني اللامركزي الممكن تركيبه على الجملة الإنشائية المحيطية خارجياً بشكل سهل وسريع لضمان استمرار عمل المنشأ، وتحقيق السلامة ومعالجة الضعف ورفع الأداء للمستوى المستهدف بعد التأهيل(Azad, 2017) ، فعند تركيب نظام التقوية المعدنية المقترح تزيد الصلابة، والانتقال الأقصى لمركز الثقل بعد تقليل الفتل، زاد تبديد الطاقة بسبب الكفاءة العالية لنظام التقوية مما يقلل الطلب ويحسّن الأداء , Durucan et al)

(2009، يمكن المفاضلة بين سماكات مختلفة واختيار السماكة الأمثليّة لصفيحة الوصلة القصية حسب الأداء المحقق بعد التربيط.

1- هدف البحث وأهميته:

يهدف البحث إلى إجراء دراسة بارامترية تحدد الأداء الأمثلي للبناء ككل بعد تربيطه بنظام معدني لامركزي، وتقييم الأداء في كل مرة لتحديد الأداء الأفضل واختيار السماكة الأنسب (وتطبيقها على التدعيم المقترح لبناء مدرسي).

2- حدود البحث:

اهتم البحث بدراسة الأبنية البيتونية القائمة لتقييمها وإيجاد مستوى أدائها مباشرة مع اعتبار التخميد اللدن وفق طريقة الطيف اللدن المعدل الواردة في (2005، 440 FEMA) والمطورة في (ASCE/SEI 41 – 17, 2017) وذلك بإضافة عمود تربيط واحد لتقليل الفتل وزيادة المقاومة وتحسين المطاوعة وتبديد الطاقة وتقليل الطلب.

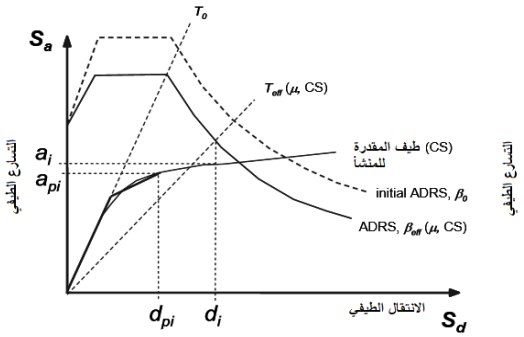
3- تعاريف ومصطلحات أساسية:

- تصميم الأبنية على أساس الأداء Performance-Based Building Designs،PBBD: يستخدم نهج الأداء في التصميم الزلزالي للمباني والجسور لتبقى سليمة بعد زلزال منخفض الشدة، وفي مأمن من الانهيار بتأثير زلزال شديد. أما المباني العامة كالمستشفيات وقاعات الإطفاء فيجب أن تبقى جاهزة للعمل على الفور بعد وقوع زلزال شديد.
- تحليل الدفع الجانبي الستاتيكي اللاخطي PUSHOVER: لإيجاد مقاومة المبنى لتحميل جانبي متزايد باستخدام تقنيات إما الدفع الجانبي أو الانزياح المتزايد أو استخدام النهج التكيفية، مما يوفر معلومات مفيدة عن الخصائص العامة للنظام الإنشائي، ويحدد ميكانزمات الانهيار المحتملة، وذلك بأفضل تقريب للسلوك غير الخطي المتوقع استجابةً للحركات الأرضية.

4- إجراءات التقييم:

التقييم يستند لإيجاد نقطة الأداء التي تقع على منحني الاستطاعة عند تقاطعه مع منحني الطلب اللدن كما يبين الشكل (1)، يمكن إيجاد الانتقال الأعظمي d_i من تقاطع الطلب اللدن مع الدور الفعال T_{eff} ثم اختبار توافقه مع الانتقال على المنحني ثنائي الخطية المكافئ لمنحني الاستطاعة dp_i وكلاهما تابع للمطاوعة μ فإن كان هناك

توافق في المطاوعة بتسامح 5% كانت النقطة مقبولة وإلا يجب تغيير قيمة μ وبدء العملية من جديد.



الشكل(1) إجراء إيجاد نقطة الأداء (Comartin, 1996).

بعد إيجاد انتقال نقطة الأداء d_{max} بقي إيجاد a_{max} وهي تقع على المنحني ثنائي الخطية المكافئ لطيف الاستطاعة كما يبين الشكل (2) وتنتج من تقاطعه مع الدور القاطع T_{sec} ومع الطلب الزلزالي اللدن المعدل، حيث يُستخدم عامل التعديل M المبين في العلاقة (1) لإيجاد الطيف المعدل للاستجابة التسارع– الانزياح ، (M, β_{eff}) MADRS انطلاقاً من منحني الطلب اللدن ADRS (β_{eff}) حيث:

$$M = \left[\frac{T_{eff}}{T_o}\right]^2 * \left[\frac{T_o}{T_{sec}}\right]^2 = \left[\frac{T_{eff}}{T_{sec}}\right]^2 \quad \ldots(1)$$

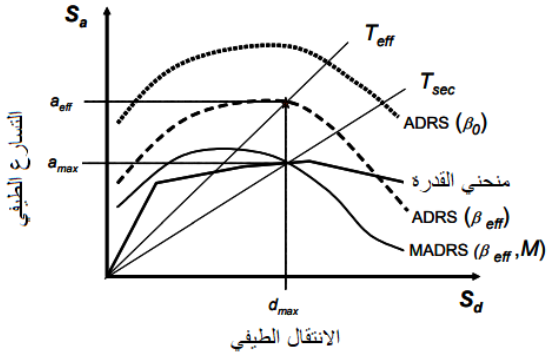
To الدور المرن، Teff الدور اللدن، Tsec الدور المعدل القاطع لمنحني الاستطاعة.

يمكن استنتاج قيمة M من نسبة التسارعين الأعظمي والفعال الواردين في العلاقتين 2 و3 وإيجاد العلاقة 4.

$$a_{max} = \left[\frac{2\pi}{T_{sec}}\right]^2 d_{max} \quad \ldots(2)$$

$$a_{eff} = \left[\frac{2\pi}{T_{eff}}\right]^2 d_{max} \quad \ldots(3)$$

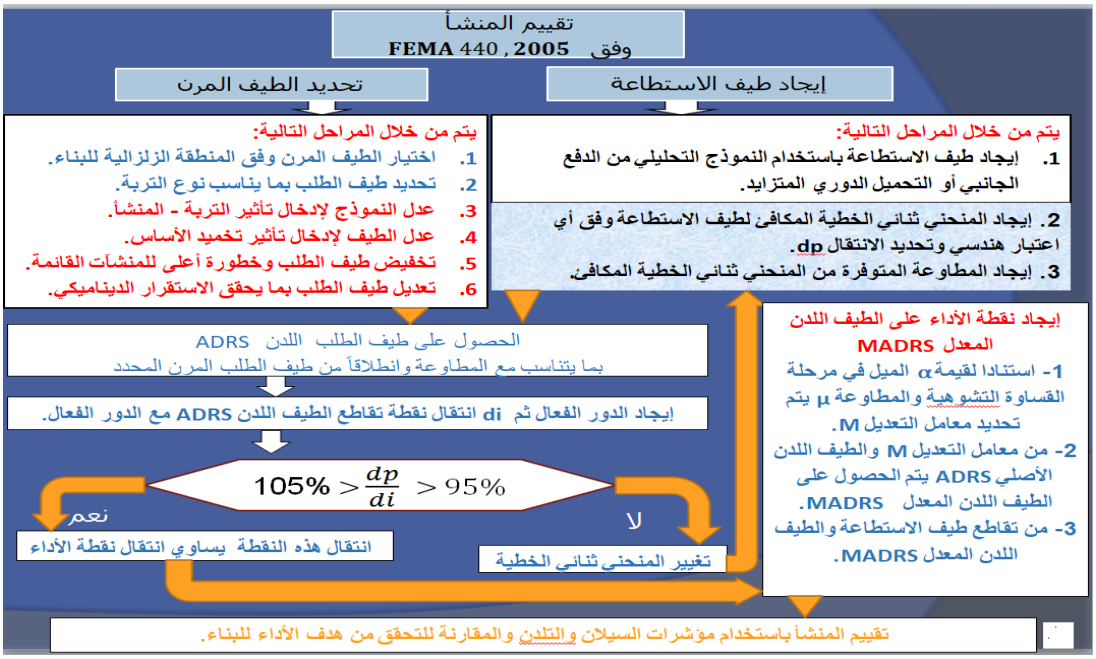
$$M = \left[\frac{T_{eff}}{T_{sec}}\right]^2 = \left[\frac{a_{max}}{a_{eff}}\right] \quad \ldots(4)$$



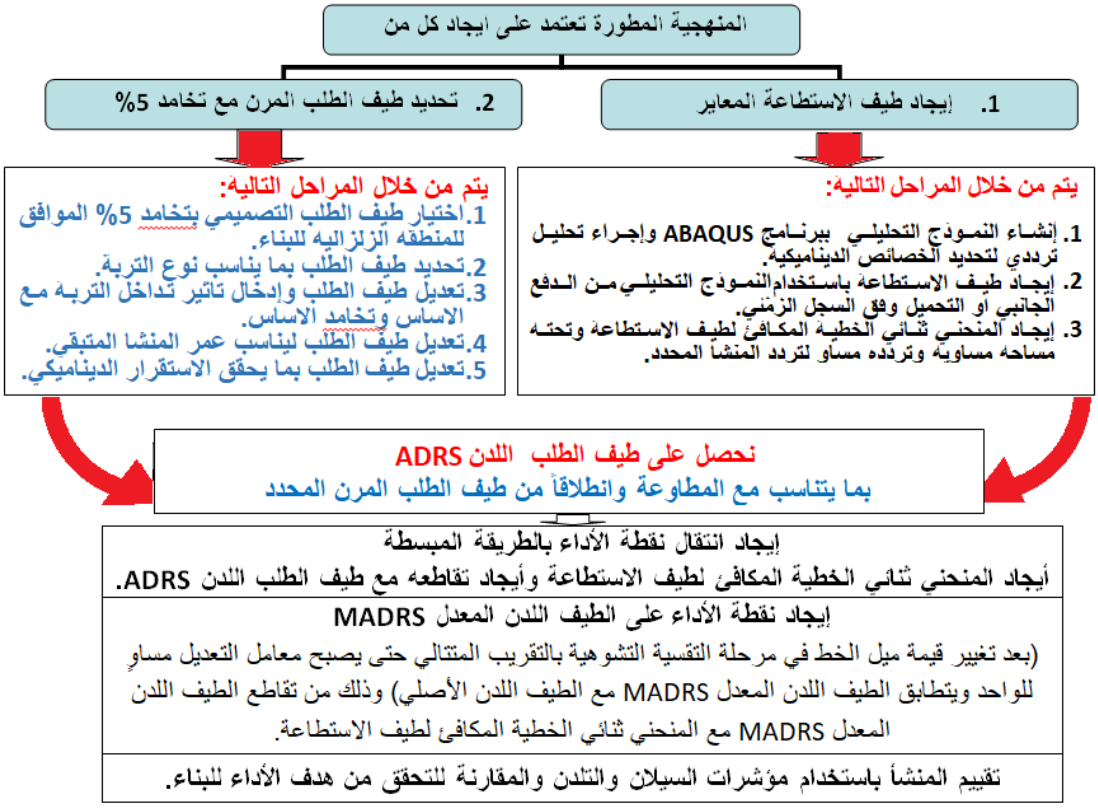
الشكل(2) طيف الاستجابة المعدل للانتقال – التسارع MADRS يتقاطع مع الدور القاطع (Comartin, 1996)

يبين الشكل (3) مخطط المنهجية التقليدية لإيجاد نقطة الأداء والتحقق من هدف الأداء.

تم التحقق من دقة تقييم الوضع الراهن للبناء القائم بإجراء تحليل ترددي له لإيجاد ترددات الأساسية لتقويته إلى مستوى الأداء المستهدف، وهو تقييم يرتبط بمؤشرات التلدن والانهيار والمطاوعة، ويراعي الجدوى الاقتصادية من خلال تصميم المبنى بمستوى أمان يتناسب مع العمر المتبقي لضمان سلامة الحياة لشاغليه بتأثير الزلزال الأقصى، والحفاظ عليه مع ضرر غير إنشائي بتأثير الزلزال المتوقع، وتوظيف الخصائص المحددة لمعايرة المنحني ثنائي الخطية، والتنبؤ باستجابة المبنى الفعلية، حيث يتم إيجاد نقطة الأداء كما هو مبين في الشكل (4).

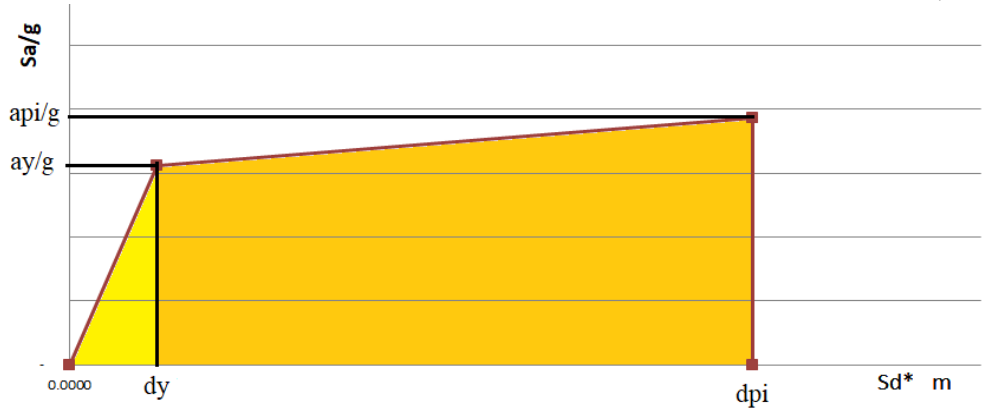


الشكل (3) مخطط التحليل الستاتيكي اللاخطي اعتماداً على الدور الفعال والتخميد الفعال. (FEMA-440, 2005)



الشكل (4) المنهجية المقترحة لإيجاد نقطة الأداء وتقييم المنشأ.

يتم إيجاد المنحني ثنائي الخطية المكافئ لمنحني الاستطاعة بتعيين القيم ap_i ,dy ,ay التسارع النسبي عند السيلان وعند الانهيار المبينين في الشكل (5).



الشكل (5) المنحني ثنائي الخطية المكافئ لمنحني الاستطاعة والموافق للتردد المحدد للبناء، (FEMA 440,2005).

حيث ميل المرحلة المرنة للعلاقة بين المقاومة والانتقال يتناسب مع مربع التردد f وفق العلاقة (6):

$$\frac{ay}{g.d_y} = \frac{(2\pi.f)^2}{g} \quad \dots(6)$$

الطاقة المبددة المعبر عنها بالمساحة A تحت منحني الاستطاعة مماثلة للمساحة المحصورة أسفل المنحني ثنائي الخطية ويمكن إيجاد ap_i من العلاقة (7) وذلك بفرض أن RC =0.8 وفق (FEMA 440,2005):

$$〚ap〛_i = RC * 〚ap〛_{max} \quad \dots(7)$$

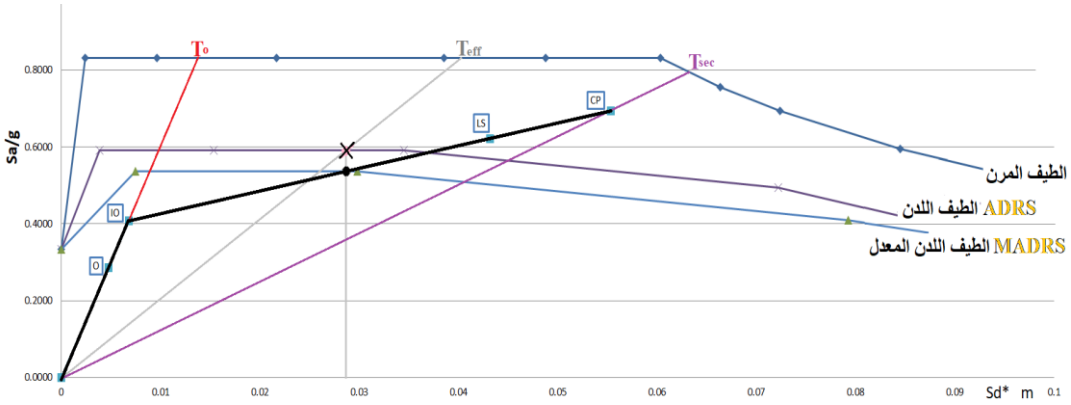
ثم ايجاد d_y (الانتقال عند حد السيلان)، وذلك باستخدام العلاقة (8).

$$dy = \frac{A - dp_i.ap_i/2}{(2\pi.f)^2.dp_i/2g - ap_i/2} \quad \dots(8)$$

ثم إيجاد التخميد الفعال والدور الفعال β_{eff} و T_{eff} التابعين للمطاوعة μ باستخدام العلاقات رقم (9)-(10)-(11)-(12)-(13)-(14) وفق (ASCE/SEI 41-17,2017):

$\frac{T_{eff}}{T_o} = 0.2*(\mu-1)^2 - 0.038*(\mu-1)^3 + 1$ … 9 $\beta_{eff} = 4.9*(\mu-1)^2 - 1.1*(\mu-1)^3 + 5$ … 10	$\mu < 4$
$\frac{T_{eff}}{T_o} = 0.28 + 0.13*(\mu-1) + 1$ … 11 $\beta_{eff} = \mathbf{14} + 0.32*(\mu-1) + 5$ … **12**	$4 \le \mu \le 6.5$
$\frac{T_{eff}}{T_o} = \mathbf{0}.89*\left(\sqrt{\frac{(\mu-1)}{(1+0.05*(\mu-2))}} - 1\right) + 1$ … **13** $\beta_{eff} = 19*\left[\frac{0.64*(\mu-1)-1}{(0.64*(\mu-1))^2}\right]*\left(\frac{T_{eff}}{T_o}\right)^2 + 5$ … **14**	$6.5 < \mu$

ثم أجل إيجاد الطيف اللدن وتحديد انتقال نقطة الأداء من تقاطعه مع منحني الاستطاعة كما في الشكل (6).



الشكل (6) تقاطع منحني ثنائي الخطية المكافئ لمنحني الاستطاعة مع منحني الطلب اللدن المعدل الموافق له بالمطاوعة.

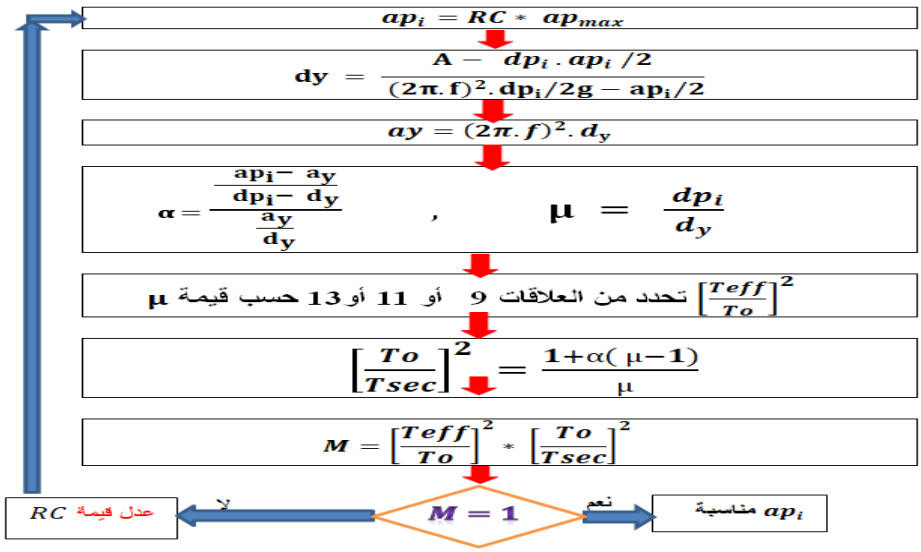
وفقاً للطريقة المحسّنة الحصول على الطيف اللدن المعدل بالضرب بالعامل M الوارد في العلاقة (1):

$$M = \left[\frac{Teff}{To}\right]^2 * \left[\frac{To}{Tsec}\right]^2 \quad \ldots(1)$$

حيث $\left[\frac{Teff}{To}\right]^2$ معطاة بالعلاقات من (9)حتى (14) و $\left[\frac{To}{Tsec}\right]^2$ يمكن إيجادها من العلاقة (15):

$$\left[\frac{To}{Tsec}\right]^2 = \frac{1+\alpha(\mu-1)}{\mu} \quad \ldots.(15)$$

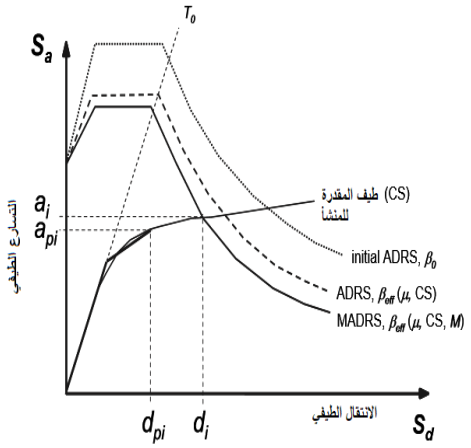
α الميل في مرحلة التقسية التشوهية ويمكن بالتقريب المتتالي تحديده ليعطي $M = 1.00$ وفق الشكل (7):



الشكل (7) مخطط التقريب المتتالي لتحديد قيمة α التي ينتج عنها عامل التعديل مساوٍ للواحد.

ثم إيجاد قيمة di ثم ai الواقعة على مخطط المقدرة، وإيجاد قيمة μ لهذه النقطة والتي ينبغي مقارنتها مع قيمة μ المستخدمة فإن كان الفارق ضمن حدود التسامح 5% لقيمة μ كانت النقطة مقبولة وإلا يتم تغيير قيمة μ والانطلاق في العملية من جديد مع

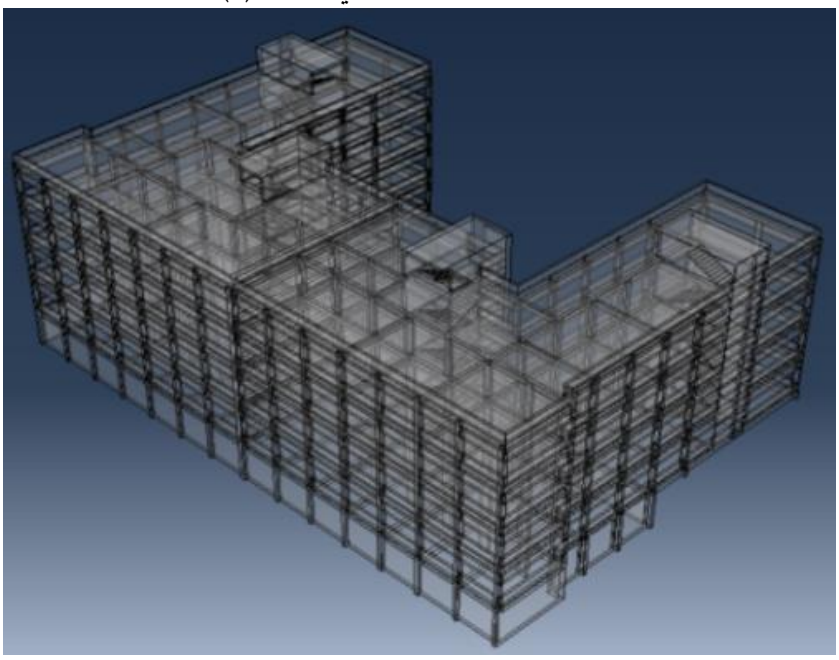
إحداثيات جديدة لـ ap_i وdp_i، ثم رسم منحني الطيف اللدن المعدل وإيجاد انتقال نقطة الأداء من تقاطعه مع منحني الاستطاعة كما في الشكل (8).



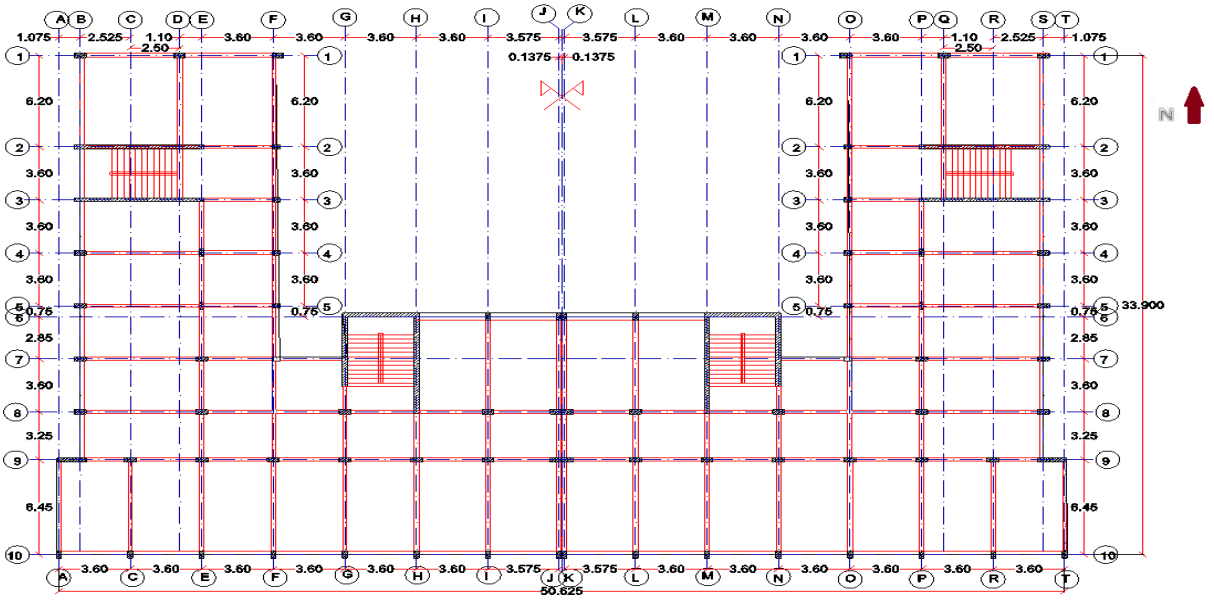
الشكل (8) نقطة الأداء من تقاطع منحني الطلب المعدل ومنحني الاستطاعة للبناء (FEMA 440,2005).

5- النموذج التحليلي للبناء: توصيف البناء (الحالة العملية المدروسة):

بناء مدرسي تم إنشاؤه في سبعينيات القرن الماضي ويعد نموذجاً متكرراً عن الأبنية المدرسية، مكون من كتلتين متناظرتين من 4 طوابق وقبو جزئي، أبعاده $50 * 30\ m^2$، منظور ومسقط البناء مبينين في الشكل (9).



الشكل (9-أ) منظور الجملة الإنشائية للبناء.



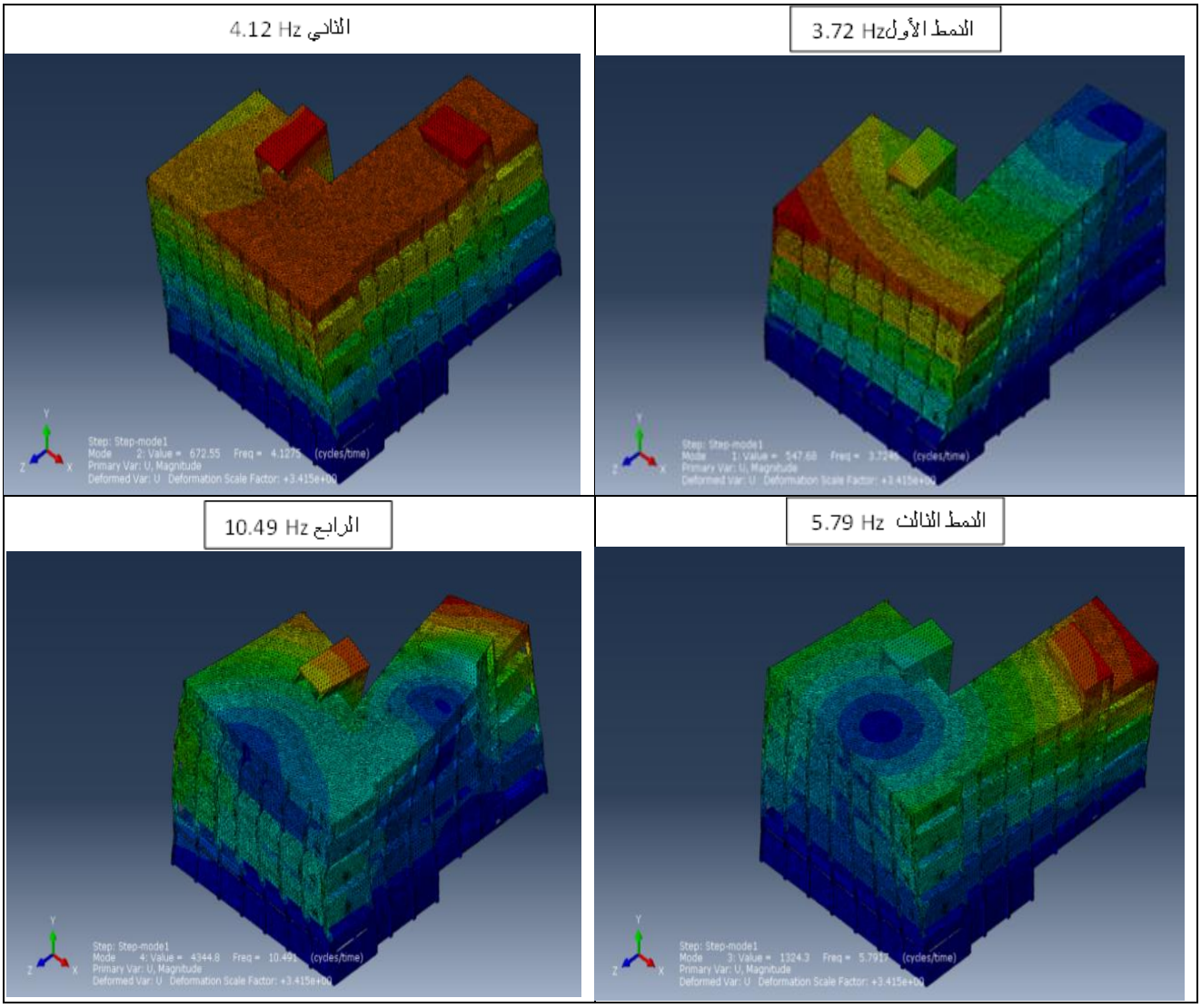
الشكل (9–ب) مسقط الطابق المتكرر للبناء.

الأساسات منفردة والتأسيس على منسوبين وتم الاستفادة من انحدار الأرض وعمل قبو في المنطقة الأخفض، والجملة الحاملة إطارات من البيتون مكون من أعمدة بأبعاد حتى 85*35 وجوائز ساقطة بأبعاد حتى 25*70 والسقف بلاطة هوردي سماكة 25 سم، وهناك جدران حاملة من البيتون المسلح بعرض $25\ cm$.

6– تحليل المنشأ لإيجاد الخصائص الديناميكية:

a– **نمط التحليل:** تحليل ترددي frequency باستخدام برنامج ABAQUS 6.14-1 لتحديد أشكال أنماط الاهتزاز الأساسية ودورها.

b– **نتائج التحليل:** أشكال أنماط الاهتزاز كما في الشكل (10). وتردداتها واتجاهاتها وفي الجدول(1).

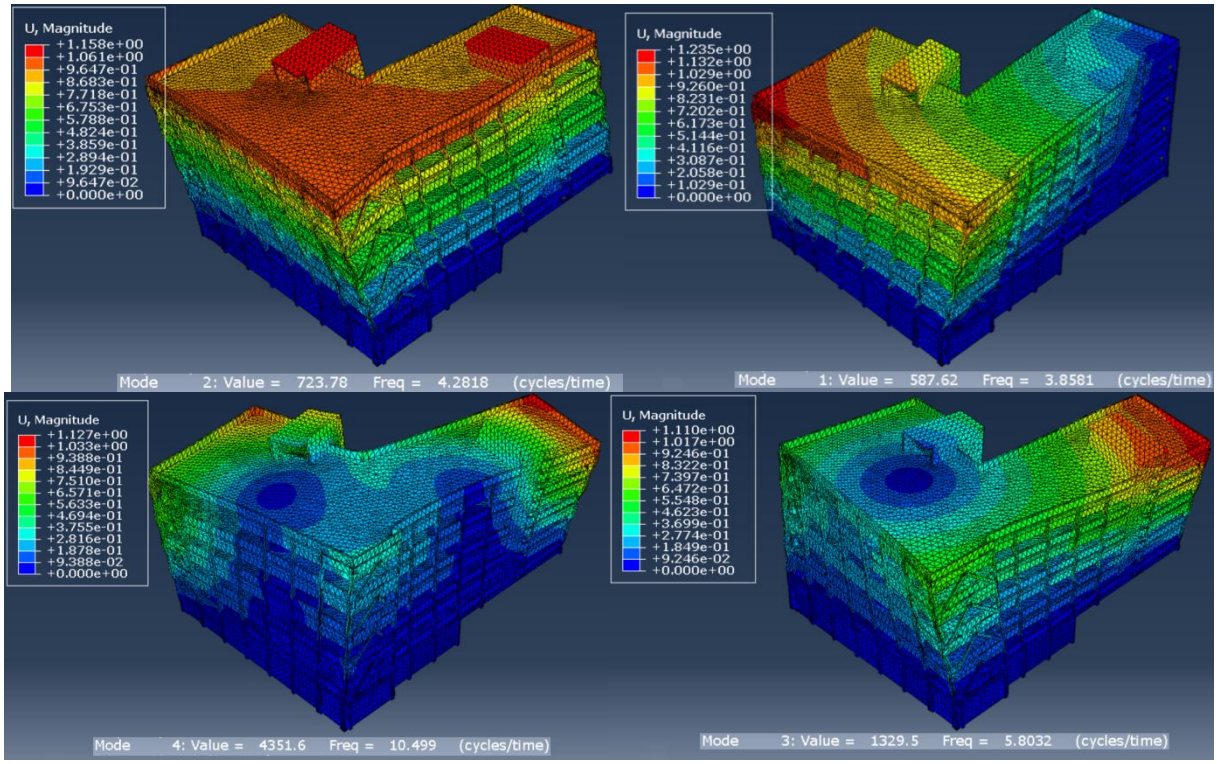


الشكل (10) أشكال وترددات أنماط الاهتزاز الأولى الأربعة للبناء.

الجدول (1) ترددات الأنماط واتجاهاتها نتيجة الدراسة التحليلية.

رقم التردد	1	2	3	4
الاتجاه	شرق – غرب	شمال – جنوب	دوراني	دوراني
قيمة التردد تحليلياً	3.7246	4.1275	5.7917	10.491

ترددات واتجاهات أنماط الاهتزاز الأساسية للبناء المربط بتربيط معدني لا مركزي وصلته القصية بسماكات 4–5–7.5 سم موضحة في الجدول (2)، وأنماط اهتزازها مبينة في الشكل (11) للبناء المدعم بتربيط لا مركزي بصفيحة سماكتها 5سم.



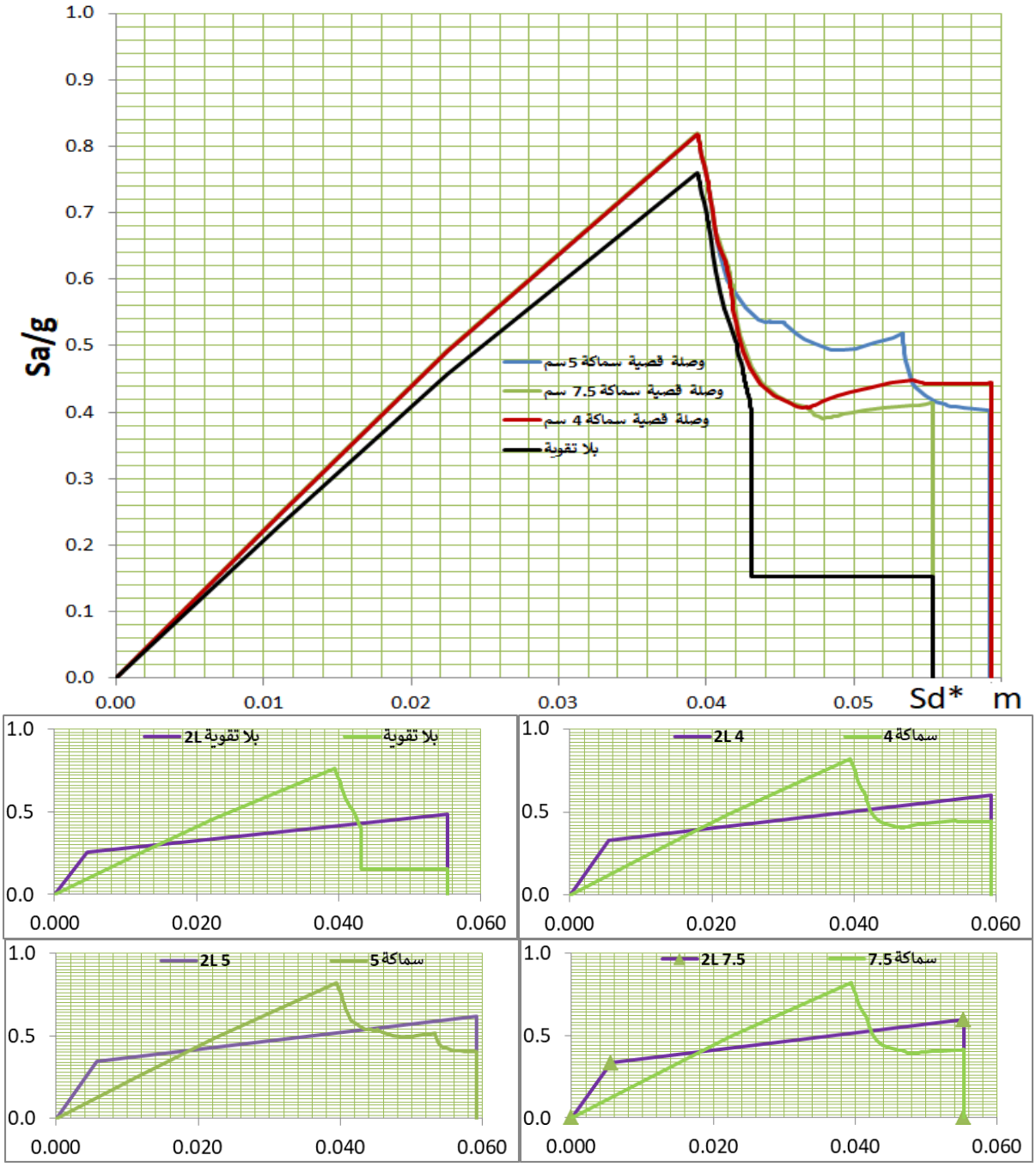
الشكل (11) أشكال وترددات أنماط الاهتزاز الأولى للبناء المدعم.

الجدول (2) ترددات النمط الأساسي للبناء المدعم بصفائح سماكاتها 4-5-7.5 سم.

السماكة	7.5 سم	5 سم	4 سم
الاتجاه	شرق – غرب		
التردد الأساسي	3.8626	3.8581	3.8580

6-1- إيجاد منحني الاستطاعة للمنشأ:

تم باستخدام النموذج التحليلي تطبيق دفع جانبي N2 Pushover وفق FEMA 356 من خلال تطبيق إزاحة للسطح وتثبيت الأساس وتحديد منحني المقاومة–الانتقال كما هو مبين في الشكل(12)، والمنحني ثنائي الخطية المكافئ له بحيث يكون ميل الخط الذي يعبر عن سلوك المنشأ في المرحلة المرنة يتوافق مع الدور الأساسي المحدد للبناء، والمساحة المحصورة تحت المخطط ثنائي الخطية تساوي المساحة المحصورة تحت مخطط استطاعة البناء القائم، وكذلك المساحة المحصورة تحت المخطط ثنائي الخطية المكافئ لمنحني استطاعة البناء المقوى مساوية للمساحة المحصورة تحت مخطط استطاعة البناء المقوى بالتربيط اللامركزي المقترح باستخدام كل سماكة من السماكات الثلاثة 4 سم و5 سم 7.5 سم حيث يظهر كل شكل موضحاً عليه منحني الاستطاعة والمنحني ثنائي الخطية المكافئ له والذي يحصر تحته نفس المساحة.



الشكل(12)منحنيات الاستطاعة والمنحنيات ثنائية الخطية المكافئة لها للبناء بلا تقوية وبعد التقوية بالتربيط المقترح بالسماكات الثلاثة.

6-2- إيجاد عامل التحويلΓ:

سيتم إيجاد Γ لتحويل الانتقال متعدد درجات الحرية MDOF إلى جملة مكافئة وحيدة درجة الحرية SDOF حيث Φi وضع الإزاحة المعاير المطبق على كل طابق والناتج من النموذج التحليلي بعد إجراء دفع أو إزاحة جانبية بقيمة أعظمية مساوية للواحد، أما M فهي كتلة الطابق كما هو مبين في الجدول (3).

الجدول (3)Γx عامل تحويل جملة MDOF إلى SDOF.

M	ϕ X	mi ϕi	$mi\,\Phi i^2$
5627770.23	1.000000	5627770	5627770
6136646.04	0.696669	4275211	2978407
6136646.04	0.395909	2429552	961881
6197170.7	0.138919	860902	119595
5845642	0.008918	52132	465
0	0.000000	0	0
29943875	∑i	13245566	9688118
		Γx	1.367197

ϕ مركبات النمط الأساسي المعاير بالاتجاه المدروس.

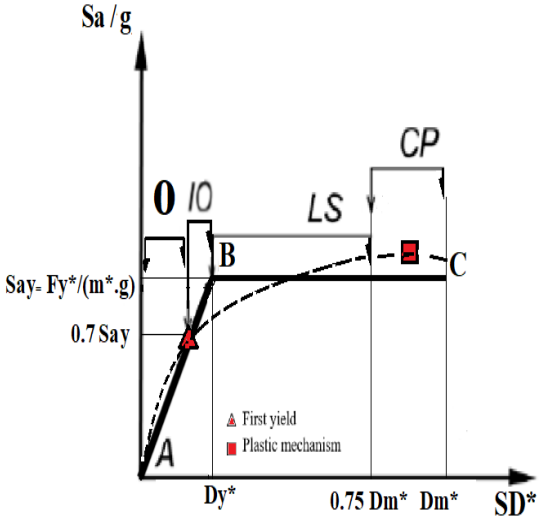
mi الكتلة الطابقية.

6-3- تحديد مستوى الأداء :

يتم إيجاد μ مطاوعة المنشأ بالعلاقة (16):

$$\mu = \frac{\Delta max}{\Delta y} = \frac{dm*}{dy*} \quad \ldots(16)$$

وتحديد مستوى الأداء بشكل مرتبط بقيم Say و*Dm*،*Dy ، للمبنى المكافئ SDOF كما يبين الشكل (13):



الشكل (13) مستوى الأداء وفق Sa, *SD.
(Fajfar. P,2000)

والذي يمكن تلخيصه في الجدول (4) التالي:

الجدول (4) مستويات الأداء اعتماداً على قيم Sa و SD .

المقارنة مع مؤشرات السيلان والانهيار	مستوى الأداء
Sa<0.7.Say	تشغيلي(O)
0.7. Say < Sa < Say	إشغال فوري(IO)
Sa = Say and SD*< 0.75.Dm*	سلامة الحياة
Sa = Say and 0.75.Dm* < SD*< Dm*	منع الانهيار (CP)
Sa = Say and Dm*< SD*	غير محقق(X)

Sa عامل القص، Say عامل القص عند السيلان

SD* الانتقال ، Dm* الانتقال الحدي.

7- تقييمات البناء المدعم بنظام تربيط لامركزي بسماكات مختلفة للوصلة القصية:

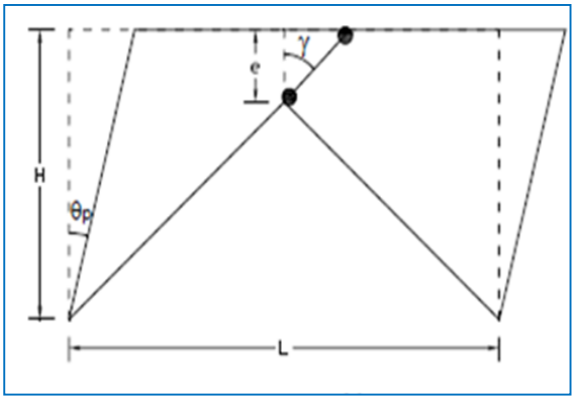
إن العنصر الأهم في تبديد الطاقة هي الوصلة القصية وتظهر التشوهات الأفقية للطابق كاملاً في الوصلة القصية الموجودة فيه بينما عناصر التربيط المتبقية تبقى في الحالة المرنة، ونتيجة تركز التشوهات فيها تبدو التشوهات النسبية بشكل مضخم كما هو مبين في العلاقة (17):

$$\gamma = \theta p*(H/e) \quad \ldots(17)$$

θp التشوه النسبي الطابقي.

γ التشوه النسبي في الوصلة القصية.

والشكل (14) يبين التشوهات النسبية الطابقية وفي الوصلة القصية ضمن التربيط المعدني اللامركزي.



الشكل(14)التشوهات النسبية في نظام التربيط اللامركزي.

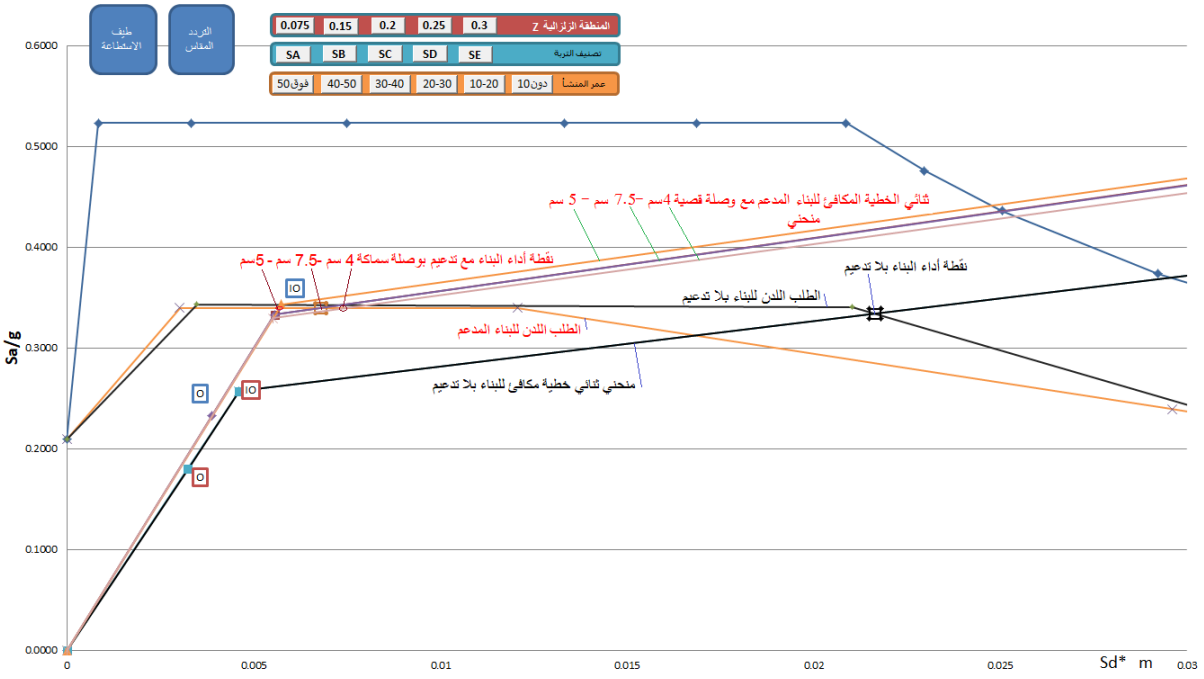
تُركب الوصلة وسط الجائز وعند انزياح الجائز الموصول مع أعلاها بشكل عرضي تتشكل فيها قوى قاصة ناتجة عن قساوتها، وتنتقل إلى عناصر التربيط المائلة المركبة عند طرف الوصلة السفلي ليتم إرساؤها عند القاعدة، ونتيجة التضخيم وتركز التشوهات في هذه الوصلة القصيرة تظهر اجهادات كبيرة، ويحدث فيها تلدن يسهم في تبديد الطاقة الزلزالية، ويسهم العزم المتشكل في هذا المفصل اللدن في تعديل توزع القوى والإجهادات، ويمكن أن يوازن التربيط توزع القساوة فيقلل اللامركزية الكتلية ويحسّن توزع القوى ويزيد من مطاوعة البناء ومن مقاومة البناء من غير زيادة كبيرة في القساوة ومن مقاومة العزوم ومن تحمل القوى الزلزالية، كما أن إضافة وسائط تبديد الطاقة المتمثلة في الصفائح المتلدنة في التربيط اللامركزي يقلل الطلب على الانتقال، لذلك هي فعالة في المنشآت التي تشوهها اللدن محدود وهي حساسة للتشوهات بسبب فقر التفاصيل الإنشائية، لذلك فهو مناسب لتحسين أداء البناء (Moehle, 2000).

هذا النوع من التقوية حساس جداً ويتطلب استخدامه دقة في التحليل والتقييم والتصميم واستخدام بشكل صحيح للتقنية المنفذة للتقوية التي توافق خصائص ونموذج المنشأ كما يجب تركيبها في المكان المناسب، ولذلك تعتبر عملية معقدة وأصعب من تصميم وتنفيذ إنشاء جديد، كما يجب أن تترافق مع معالجة الضعف الموضعي كي لا يؤدي إلى ضعف في الأداء العام.

وقد تبين من خلال مراجعة الكودات وجود إطار لعملية التقوية دون إعطاء تصميم تفصيلي أو إجراءات تفصيلية للتقوية، حيث يمكن إدخال أثر الفتل بإيجاد الانزياح الطابقي لنموذج ثلاثي الأبعاد بتطبيق انزياح متزايد للسقف، ومنه يمكن معرفة الطلب الزلزالي في جميع أنحاء الهيكل بشكل متناسب مع التشوهات في كل عقدة متضمنة تأثير التضخيم الناتج عن الفتل(Rai, D. C, 2005).

بتطبيق دفع جانبي على السطح بالاتجاه X للبناء الأصلي دون تدعيم وللبناء المدعم بالتربيط المقترح بثلاث سماكات للوصلة القصية 4، 5، 7.5سم للمقارنة بينها، حيث تم لكل حالة إيجاد العلاقة بين المقاومة والتشوه والذي هو منحني الاستطاعة لكل منها، ثم إيجاد المنحني ثنائي الخطية المكافئ لكل منها بحيث يتم إيجاد المطاوعة μ للبناء المدعم بتربيط لا مركزي بالسماكات الثلاثة 4، 5، 7.5 سم وللبناء الأصلي، ثم رسم منحني الطلب اللدن الموافق للمطاوعة ذات القيمةμ لكل منها، وإيجاد نقطة الأداء كما هو مبين في الشكل (15) والتحقق من مستويات الأداء وفق الجدول (5) للبناء المدروس.

– أ –



– ب –

الشكل(15)– أ– تقاطع المنحني ثنائي الخطية مع منحني الطلب اللدن للبناء المدعم بصفائح سماكاتها 4–5–7.5 مم.
ب– تكبير للنافذة المشار إليها يوضح مواقع نقاط الأداء ومستويات أدائها.

الجدول (5) مستويات الأداء للمنشأ قبل وبعد التقوية بنظام تربيط لا مركزي مع وصلة قصية سماكة 4- 5 -7.5 سم.

		مع وصلة قصية سماكة سم5	مع وصلة قصية سماكة سم7.5	مع وصلة قصية سماكة 4 سم	بلا
قوة السيلان المعمم	Fy* (KN)	4554	4418	4371	3412
الانتقال الأعظمي*	Dm* (m)	0.059180	0.055325	0.059284	0.055325
الطاقة المبددة *	Em* (KJ)	353.9368	318.2746	343.9636	257.7795
انتقال السيلان *	Dy* (m)	0.005740	0.005555	0.005509	0.004614
القوة المعممة *	f*	4554136	4417674	4370795	3411593
الكتلة *	m*	1350211	1350211	1350211	1350211
القساوة *	k*	793429277	795299200	793398166	739469965
التردد *	f0*	3.85810	3.86264	3.85802	3.72460
الدور المرن *	T* (sec)	0.259195	0.258890	0.259200	0.268485
عامل التخفيض	Rμ	1.54151	1.55105	1.53796	1.55283
المطاوعة	μ	10.31037	9.96000	10.76146	9.34089
الانتقال المعمم لنقطة الأداء	SD* 0.25	0.005686	0.006790	0.007761	0.021647
انتقال نقطة الأداء	SD 0.25	0.007773	0.009283	0.010611	0.029595
نسبة انتقال نقطة الأداء لانتقال السيلان	SD* 0.25/DY*	%99	%122	%141	%469
حقق الأداء مرن أم غير مرن	VERIFY 0.25	elastic	inelastic	Inelastic	Inelastic
نسبة الانتقال اللدن لأقصى انتقال لدن	(SD* 0.25-DY*) /(Dm*-DY*)	-	%2.5	%4.2	%44.3
المستوى المحقق	VERIFY LEVEL	IO	LS	LS	LS

عند تركيب نظام التقوية المعدنية المقترح زادت الصلابة، والتشوه الأعظمي وزاد تبديد الطاقة بسبب الكفاءة العالية لنظام التقوية المقترح، مما قلل الطلب ومستوى الضرر وحسّن الأداء في الاتجاه X، ويمكن المفاضلة بين سماكات مختلفة للوصلة القصية وتحديد ذات الكفاءة الأعلى بينها، والتي حققت أفضل تحسين للأداء للبناء بعد التقوية، وذلك حسب موقع نقطة الأداء على منحني الاستطاعة ومستوى الأداء المحقق، حيث ظهر أنه باستخدام وصلة قصية سماكتها 5 سم أصبح مستوى إشغال فوري مما يبيّن أنه أفضل من كل من السماكتين 4 سم و 7.5 سم اللتان أبقتاه في مستوى LS (لأن نقطة الأداء وقعت في المجال غير المرن وكانت نسبة الانتقال اللدن لأقصى انتقال لدن أصغر من 75%) كما هو مبين في الجدول (5)، وبذلك حققت السماكة 5 سم أفضل أداء من خلال تعديل اللامركزية وتحسين تبديد الطاقة وتقليل الضرر والطلب على التشوه ورفع مستوى السلامة الزلزالية.

8- النتائج:

1- تم تحديد الترددات الأربعة الأولى السائدة للمنشأ القائم ببرنامج ABAQUS 6.14-1، فكانت / 3. ./10.49Hz،5.79Hz،4.12Hz،72Hz

2- تم تطوير منهجية للتقييم الدقيق للمنشأ بالطريقة المحسّنة باستخدام معايير الموقع –العمر المتبقي –تربة التأسيس.

3- تم تقييم الأداء الزلزالي للمبنى غير المدعم وفق المنهجية المطورة وكان في مستوي امان الحياة.

4- أمكن تحديد سماكة الوصلة القصية التي تحقق أفضل تحسين للأداء وأعلى تبديد للطاقة فكانت بسماكة 5سم، والتي أفادت في رفع مستوى الأداء إلى إشغال فوري بينما لم يتحسن مستوى الأداء عن مستوى حفظ الحياة عند استخدام سماكة 7.5 أو 4 سم، وساعد برنامج (VBA Excell) في تقييم الأداء بشكل رقمي دقيق بواجهة تفاعلية لأغراض صنع القرار.

التمويل: هذا البحث ممول من جامعة دمشق وفق رقم التمويل(501100020595).

References:

1- American Society of Civil Engineers. (2017, December). Seismic evaluation and retrofit of existing buildings. American Society of Civil Engineers.

2- Azad, SK., Topkaya, C., (2017), A review of research on steel eccentrically braced frames, Journal of constructional steel research, 128, 53-73, 21P.

3- Comartin, C., Niewiarowski, R., & Rojahn, C. (1996). ATC-40 Seismic evaluation and retrofit of concrete buildings. SSC 96, 1. , 334p.

4- Durucan, C., & Dicleli, M. (2010). Analytical study on seismic retrofitting of reinforced concrete buildings using steel braces with shear link. Engineering Structures, 32(10), 2995-3010.

5- Fajfar, P. (2000). A nonlinear analysis method for performance-based seismic design. Earthquake spectra, 16(3), 573-592., 20 P.

6- Fema, A. (2005). 440, Improvement of nonlinear static seismic analysis procedures. FEMA-440, Redwood City, 7(9), 11, 392.

7- Moehle .P, 2000-State of Research on Seismic Retrofit of Concrete Building Structures in the US. University of California, Berkeley, 16p.

8- Prestandard, F.E.M.A. (2000). commentary for the seismic rehabilitation of buildings (FEMA356). Washington, DC: Federal Emergency Management Agency, 7, 2. , 518.

9- Rai, D. C. (2005). Review of documents on seismic evaluation of existing buildings. Department of Civil Engineering, Indian Institute of Technology Kanpur India.