

## تقييم الانحراف المركزي الظاهري لأرضية بالشبكات العصبية الاصطناعية انطلاقاً من استجابة ديناميكية غير خطية

د. اسماعيل دربال<sup>1</sup> - أ. د. نورالدين بورحلة<sup>2</sup>،  
د. فراح كحلوش<sup>3</sup> - د. عبد الله لعريبي<sup>4</sup>

**المخلص (Abstract):** تستند دراسات الهشاشة الزلزالية للمنشآت القائمة بشكل أساسي على حالة الهيكل. ولكي نتمكن من تقييم حالة المقاومة واستقرار المنشأ بشكل صحيح، يجب تحديد بدرجة مناسبة من الدقة الخصائص الفيزيائية والميكانيكية والكتلية للمواد، وكذلك خصائص المرونة، وإخماد هيكل المنشأ المراد تقييمه. ويُعد تحديد مركز الكتلة والصلابة للأرضيات أمراً ضرورياً لتصنيف انتظامها في المستوي وكذلك للتحليل الزلزالي للهيكل. وفي كثير من الأحيان، لا تتوفر المخططات والمعلومات اللازمة لتحديد الانحرافات المركزية للأرضيات، خاصة للمباني القديمة.

إن الهدف الرئيسي من هذه الدراسة هو تطوير إجراء يعتمد على الشبكات العصبية الاصطناعية لتقييم الانحراف المركزي للمستوى. تستعمل الإزاحات على جانبي الأرضية كمدخل لنماذج الشبكات العصبية الاصطناعية وإزاحات مركز الكتلة ومركز الصلابة كمنخرج. وهكذا وبحساب هندسي بسيط يمكننا الحصول على الانحراف المركزي الحقيقي وربما استنتاج اللامركزية العرضية. فيما بعد، تستخدم هذه الطريقة لتقييم تغير الانحراف المركزي الظاهري عندما يتعرض الهيكل لتشوه كبير غير خطي. وهذا مفيد بشكل خاص لدراسة سلوك المباني المجهزة بمسجلات الاهتزازات والمعروضة للزلازل بهدف تقييم تأثير تغير الانحراف المركزي أثناء الاهتزازات العنيفة.

**الكلمات المفتاحية:** الانحراف المركزي، الالتواء، تصميم زلزالي، الشبكات العصبية، شبكة الإلمان اللاخطية.

**Résumé :** Les études de vulnérabilité sismiques des constructions existantes se basent essentiellement sur l'état de la structure. Pour pouvoir évaluer correctement l'état de résistance et de stabilité d'un ouvrage, les propriétés physiques et mécaniques des matériaux ainsi que les caractéristiques élastiques, massiques et d'amortissement de la structure de

<sup>1</sup> جامعة هواري بومدين للعلوم والتكنولوجيا، باب الزّوار، الجزائر.

<sup>2</sup> المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات بالحراش، الجزائر.

<sup>3</sup> المدرسة الوطنية العليا للأشغال العمومية بالقبة، الجزائر.

<sup>4</sup> المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات بالحراش، الجزائر.

l'ouvrage à expertiser doivent être déterminées à un degré de précision approprié. La détermination du centre de masse et de rigidité des planchers est primordiale pour la classification de leurs régularités en plan ainsi que pour l'analyse sismique de la structure. Souvent, les plans et les informations nécessaires pour la détermination des excentricités des planchers ne sont pas disponibles surtout pour les anciens édifices.

L'objectif principal de cette étude est de développer une procédure basée sur les réseaux de neurones artificiels (RNA) pour l'évaluation de l'excentricité de niveau. Les déplacements sur les deux côtés du plancher sont utilisés comme une entrée pour les modèles de RNA, et les déplacements du centre de masse et du centre de rigidité comme une sortie. Ainsi par un simple calcul géométrique on peut obtenir l'excentricité réelle et déduire éventuellement l'excentricité accidentelle. Par la suite cette méthode a été utilisée pour évaluer la variation de l'excentricité apparente lorsque la structure subit une grande déformation non linéaire. Ceci est particulièrement utile pour étudier le comportement des bâtiments instrumentés soumis à des séismes réels dans le but d'évaluer l'effet de la variation de l'excentricité pendant un fort mouvement du sol.

**Mots clés:** excentricité, torsion, conception parasismique, réseaux de neurones, réseau d'Elman, non linéarité.

1. **المدخل (Introduction):** يُعدّ الالتواء عاملاً مهمّاً يميّز السلوك العام للبناء. وتُدخّل القوانين المتعلقة بالمقاومة للزلازل (Codes parasismiques) عزمين للالتواء ناتجين عن الانحرافات المركزية المحسوبة والعرضية. ويهدف إدخال الانحراف المركزي العرضي، إلى الأخذ بعين الاعتبار جميع الارتبايات (Incertitudes) والأخطاء في تقييم الخصائص الهندسية والميكانيكية للعناصر الهيكلية والانهيار العشوائي للعناصر غير الهيكلية. ويشمل الانحراف المركزي العرضي أيضاً التغير المكاني للأحمال الدائمة، والتوزيع غير المعتدل (Distribution défavorable) لأحمال التشغيل أو حتى الاهتزازات الالتوائية التي تسببها الحركة الدورانية للأساسات. ونظراً للطبيعة العشوائية لهذه الوسائط، من الصعب جداً بل من المستحيل تقييم الانحراف المركزي العرضي بطريقة قطعية. وفي هذا السياق، تم إجراء العديد من الدراسات بهدف تحديد تأثير الالتواء الناتج عن الانحراف المركزي العرضي بدقة أكبر.

وتم كذلك تقييم الآثار المُركّبة الدّورانيّة للزلازل على الانحراف المركزي العرضي، في دراسة حاولت فصل هذه المُركّبة بالنّسبة للعوامل الأخرى، وأظهرت أنّ القيمة المقترحة (0.05b) ليست كافية لشروط تصميم المباني ذات التردّدات المنخفضة للالتواء [1].

قدّمت دراسة أخرى كيميّة لتحديد الجهود التي يسببها الالتواء النّاجم عن الانحراف المركزي العرضي انطلاقاً من التّسجيلات على المباني المجهزة (Bâtiments instrumentés) تحت تحريض (Sollicitation) زلزالي حقيقي.

أظهرت نتائج هذه الدّراسة، أنّ الالتواء العرضي الذي حدّده قانون البنيات الموحد (Uniform Bulding Code) يتوافق جيداً مع مُركّبة الالتواء في الحركات المسجلة [2].

من جهة أخرى، تم استخدام لأول مرة مقارنة مختلفة تعتمد على طريقة الشبكات العصبية الاصطناعية (Réseaux de Neurones Artificiels) لتقدير مستوى الانحراف المركزي العرضي في مبنى متناظر [3].

ثم توسعت هذه الطّريقة لتقييم مستوى الانحراف المركزي، انطلاقاً من بيانات المخرجات في المجال الزّمني غير الخطّي [4].

وفي نفس الاتجاه، أظهر إجراء آخر، باستخدام نفس طريقة الشبكات العصبية المقرونة بمحاكاة مونت كارلو (Monte Carlo)، فعاليته في تحديد الانحراف المركزي العرضي للهياكل المكوّنة من طابق واحد [5].

الهدف من هذه المقالة ذو شقين، الأول هو تحديد موقع مركز الكتلة ومركز الصّلاب، وبالتالي التّحديد الكميّ للانحراف المركزي الكلي للمباني انطلاقاً من استجابة ديناميكية باستخدام شبكة عصبية من نوع إلمان (Elman). ويمكن الحصول على الانحراف المركزي العرضي في حالة توافر الخصائص الهندسية والميكانيكية للهيكلي. والهدف الثاني هو استخدام هذا النموذج لتقييم التّغير في الانحراف المركزي للمبنى؛ انطلاقاً من استجابة ديناميكية غير خطيّة.

## 2. المواد والطرائق (Materials and methods):

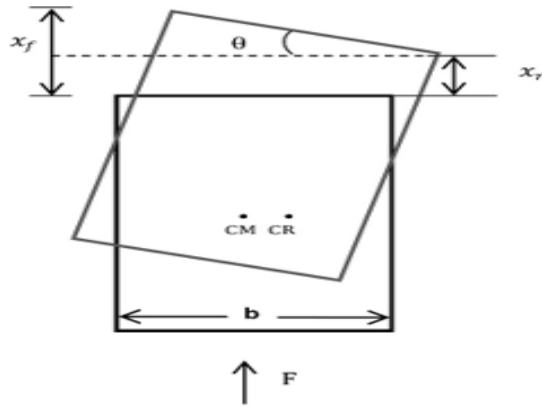
الفكرة الأساسيّة لهذا البحث هي تحديد الانحراف المركزي انطلاقاً من الاستجابة الديناميكية للمبنى على مستوى الطّابق، أي تحديد الإزاحات (Déplacements) من الجانب المرن والصّلب. إذا اعتبرنا المبنى غير المتناظر المبين في الشكل 1، تحت إثارة زلزالية (Excitation sismique)، يمكن التعبير عن الحركة الدّورانيّة للأرضية بدلالة إزاحات الأطراف على النّحو التالي:

$$(1) \quad \theta = \frac{(X_f - X_r)}{b}$$

حيث:

$\theta$  هي إشارة التّغير لزاوية دوران الأرضية ؛

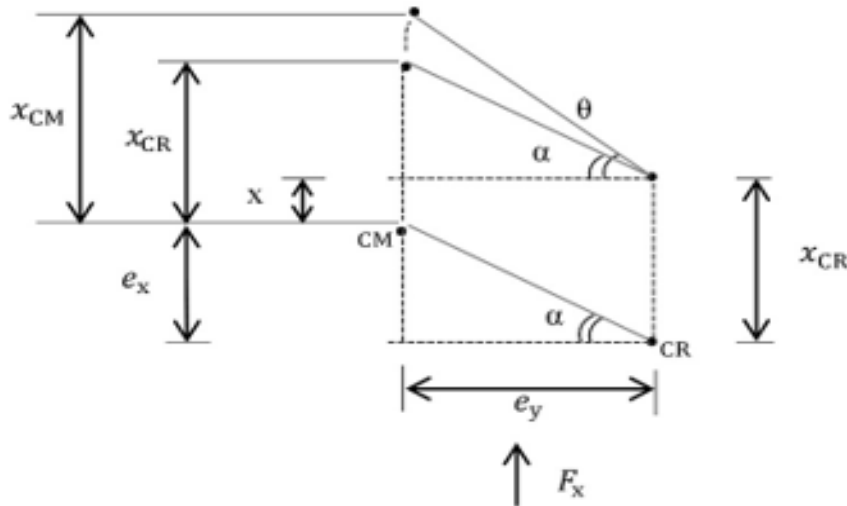
$x_f$  و  $x_r$  هما إشارات الإزاحة لنقطتين، إحداهما تقع على الجانب الصلب والأخرى على الجانب المرن من الأرضية، على التوالي ؛  
 $b$  هو بُعد المبنى المتعامد مع اتجاه الإثارة.



الشكل 1:

نموذج هيكلي ذو انحراف مركزي

في اتجاه واحد.



الشكل 2:

إزاحة

مركزي الكتلة

والصلابة خلال استجابة مقترنة (Réponse couplée).

من الشكل 2 لدينا:

 $\alpha$ : الزاوية بين الخط الأفقي والخط الذي يربط مركز الكتلة بمركز الصلابة. $\theta$ : زاوية دوران الأرضية. $e_x$ : الانحراف المركزي في الاتجاه  $x$ . $e_y$ : الانحراف المركزي في الاتجاه  $y$ . $x_{CM}$ : إزاحة مركز الكتلة. $x_{CR}$ : إزاحة مركز الصلابة.

x: المسافة بين الموضع الابتدائي لمركز الكتلة وموضع مركز الصلابة بعد الإزاحة.

يمكننا أن نكتب:

$$(2) \quad \alpha = \frac{X_{CR} - X}{e}$$

$$(3) \quad (\alpha + \theta) = \frac{X_{CM} - X}{e}$$

نستبدل (2) في (3) ونحصل على:

$$(4) \quad e = \frac{X_{CM} - X_{CR}}{\theta}$$

ولتحديد قيمة الانحراف المركزي e انطلاقاً من هذه الصيغة، يجب أن نعرف: زاوية الدوران  $\theta$  ، إزاحة مركز الكتلة وإزاحة مركز الصلابة.

$x_f$  و  $x_r$  هما استجابتان هيكليتان يمكن قياسهما مباشرة على طابق مبنى عند تجارب الاهتزازات في الظروف المحيطة (Vibrations ambiantes) أو عند التسجيل أثناء الإثارة الزلزالية الفعلية. من ناحية أخرى، تُحدد إزاحة مركز الكتلة وإزاحة مركز الصلابة باستخدام تقنية الشبكات العصبية الاصطناعية (RNA).

1.2 إعداد الشبكات العصبية الاصطناعية: إن الشبكات العصبية الاصطناعية مستوحاة من علم الأحياء وتمثل نموذجاً رياضياً لعمل العصبون البيولوجي. والفكرة هي تقديم بيانات المدخلات والمخرجات للشبكات العصبية الاصطناعية، وجعلها تتعلم العلاقة بين الاثنين من خلال عملية تسمى التعلّم (Apprentissage).

ويتمثل هذا الأخير في تقليل الخطأ عن طريق ضبط (Ajustement) وسائط النموذج. وتقدم الشبكات العصبية الاصطناعية بديلاً للنمذجة الرياضية. وتكمن ميزتها في قدرتها على التعميم.

1.1.2 تصميم الشبكات وقواعد البيانات: يجب علينا بناء نموذجين للشبكات العصبية، أحدهما للتنبؤ باستجابة (إزاحة) مركز الكتلة، والثاني للتنبؤ بإزاحة مركز الصلابة. وتبين أن الشبكات العصبية من نوع إلمان (Elman) مناسبة جداً للتنبؤ الدقيق للإزاحتين [5].

إن اختيار بنية (Architecture) أو تصنيف (Typologie) الشبكة العصبية من حيث الطبقات المخفية وأعداد العصبونات يتم عادة بالخبرة الناتجة عن الأعمال السابقة وعن طريق التلمس (Tâtonnement) بتغيير عدد الطبقات والعصبونات حتى نصل للدقة المطلوبة مع تجنب التعلّم الزائد (Sur-apprentissage).

وبعد عدة تكرارات (Itérations)، فإن الشبكات التي أعطت أحسن النتائج تتكون من طبقتين مخفيتين من 21 عصبون للنموذج الذي يكشف إزاحة مركز الكتلة (CM)، وطبقتين مخفيتين من 17 عصبون للنموذج الذي يكشف إزاحة مركز الصلابة (CR).

إنَّ عَصْبُونَاتِ الطَّبَقَةِ المَخْفِيَّةِ لَهَا دَالَّةُ التَّحْوِيلِ (Fonction de transfert) من نوع سيني قصبي (Sigmoïde tangentielle). ودالَّةُ التَّحْوِيلِ فِي عَصْبُونَاتِ طَبَقَةِ المَخْرَجِ هِيَ مِنَ النُّوعِ الخَطِيّ. وتُنْقَسَمُ قَاعِدَةُ البَيَانَاتِ إِلَى قَسْمَيْنِ، أَحَدُهُمَا لِلتَّعَلُّمِ وَالآخَرُ لِلإِخْتِبَارِ (test) وَالتَّحَقُّقِ مِنَ الصَّحَّةِ (Validation).

استخدامنا نموذج رقمي بالعناصر المحدودة (Eléments finis) لإنشاء قاعدة بيانات التعلّم لنموذجي الشبكات العصبية. واستعملنا إشارات الإزاحة على الجانبين المرن والصلب كمدخلات في نموذجي الشبكات العصبية، وإشارة إزاحة مركز الكتلة (CM) كمخرج مرغوب من نموذج الشبكة العصبية الذي يتنبأ بإزاحة مركز الكتلة (CM) واستخدمت إشارة إزاحة مركز الصلابة (CR) كمخرج مرغوب من نموذج الشبكة العصبية الذي يتنبأ بإزاحة مركز الصلابة (CR).

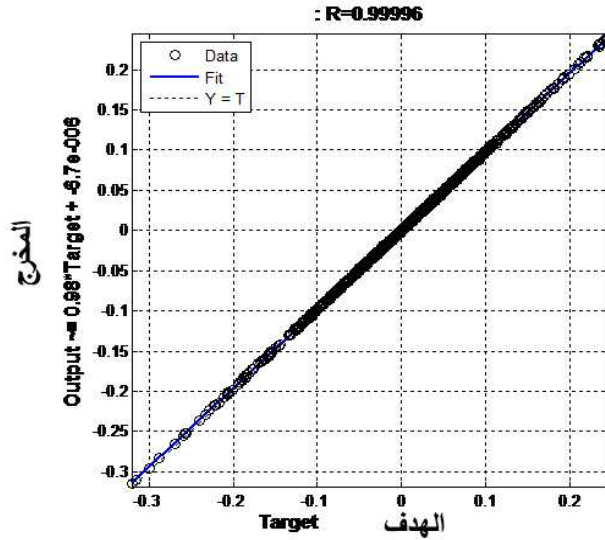
2.1.2 تعلم الشبكات العصبية: التعلّم هو مرحلة من مراحل إنشاء الشبكة العصبية يتمّ خلالها تعديل سلوك الشبكة حتى نحصل على السلوك المطلوب. ولتحقيق ذلك أجرينا العديد من التجارب بواسطة الخوارزميات المختلفة المتاحة في (MATLAB) [6]، ولاحظنا أن خوارزمية لوفامبرغ - ماركارث (Levenberg-Marquardt) لها أسرع تقارب (Convergence). إن دالة الأداء (Fonction de performance) المستخدمة لتعلم الشبكة العصبية هي متوسط الخطأ المربع (Erreur quadratique moyenne). ولتجنب التعلّم الزائد للشبكة، استخدمنا طريقة الإغلاق المبكر.

ويتمّ تقديم أمر الإدخال بالكامل (Ordre d'entrée entier) إلى الشبكة، وحساب مخرجاتها ومقارنتها بالأمر المستهدف (Ordre de cible) لإنتاج الأمر بالخطأ (Ordre d'erreur). وفي كل مرة، يتمّ الانتشار العكسي (Rétropropagation) للخطأ لإيجاد تدرجات الأخطاء (Gradients des erreurs) لكل وزن واستقطاب. ثم يتمّ استخدام هذا التدرج لتحديث الأوزان مع وظيفة التعلّم للانتشار العكسي.

3.1.2 اختبار الشبكات والتحقّق من صحتها: إن تقييم فعالية النماذج المقترحة يتمّ على أساس إمكانات الشبكة لمحاكاة العلاقة بشكل تام بين إشارات الإدخال لإزاحة الجوانب المرنة والصلبة، والإشارة المستهدفة لإزاحة مركز الكتلة (CM) أو إزاحة مركز الصلابة (CR) للأرضية. وبعد تكوين الشبكة العصبية بشكل كامل، يتمّ فحصها باستخدام إشارة لا تنتمي إلى مجموعة التعلّم.

ولاختبار فعالية النماذج للشبكة العصبية، يتمّ إنشاء قاعدة بيانات عن طريق تغيير العديد من الوسائط في النماذج الرقمية بالعناصر المحدودة (الانحراف المركزي، الإثارة، أبعاد العناصر المقاومة، مواقع CM و CR وعدد الطوابق). وتم استخدام 11 نموذجاً رقمياً لاختبار الشبكات العصبية والتحقّق منها. ومن أجل التحقّق من جودة الشبكات العصبية الاصطناعية،

يتم تمرير جميع البيانات المستخدمة في الاختبار والتحقق من صحتها من خلال الشبكة لإجراء انحدار خطي (Régression linéaire) بين مخرجات الشبكة والأهداف المقابلة. وعلى سبيل المثال، قدّمنا فقط نتائج التحقق من صحة النموذج 2.

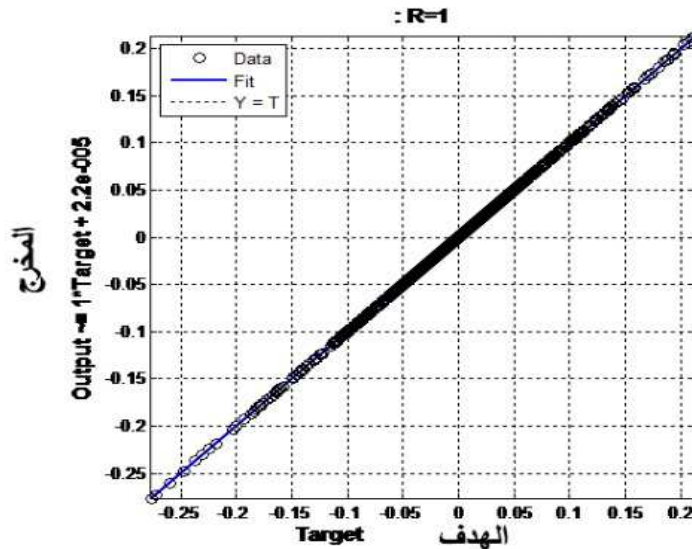


الشكل 3:

الانحدار الخطي بين إشارة

المخرج  $x_{CM}$

(output) وإشارة الهدف للنموذج 2.



الشكل 4:

الانحدار الخطي بين إشارة المخرج  $x_{CR}$  (output) وإشارة الهدف للنموذج 2.

بالنسبة لنتائج التحقق من صحة شبكات التنبؤ لحالات إزاحات مركز الكتلة ومركز الصلابة (الشكلان 3 و4)، فإن خطوط التكيف (Lignes d'adaptation) تتطابق عملياً مع الخط المائل، ومعامل الارتباط (Coefficient de corrélation) قريب جداً من الوحدة، مما يعني أن الشبكات العصبية تعطي تنبؤات دقيقة جداً لإزاحات مركز الكتلة ومركز الصلابة.

3. **النتائج (Results):** بناءً على نتائج الاختبار والتحقق من الصحة، يتبين أنه عندما يكون موضع مركز الكتلة أو الصلابة في المحاكاة قريباً من موضع مركز الكتلة أو الصلابة في التعلّم، فإن دقة الشبكة تكون أفضل.

ومن جهة أخرى، فإن الخطأ يزداد عندما يكون موضع مركز الكتلة أو الصلابة قريباً من منتصف الأرضية في مرحلة التعلّم، وبعيداً من المنتصف في المحاكاة. وفي المقابل، عندما يكون موضع مركز الكتلة أو الصلابة بعيداً عن منتصف الأرضية في مرحلة التعلّم، وأقرب إلى الوسط في المحاكاة، يقل الخطأ. ومع ذلك، تجدر الإشارة إلى أن دقة النموذج قليلة الحساسية لعدد الطوابق.

يتراوح الخطأ النسبي في الانحراف المركزي المحسوب للتكوينات (Configurations) المختلفة بين 0 و20%. وفي المقابل، فإن النسبة بين الخطأ المطلق في الانحراف المركزي و  $b$  (بعد المبني العمودي على الإثارة)، والمعطاة بـ: 
$$e_e = \frac{\text{erreur absolue}}{b}$$
 ، لا تتجاوز 3.15%.

4. **المناقشة (Discussion):** عندما تقوم بعض العناصر المقاومة من الهيكل بولوج (Incursion) غير متجانس في مجال ما بعد المرونة (Post-élastique) ، فإنها تحدث تغييرات في صلابة خطوط الدعامة (Files de contreventement) وبالتالي يتغير مركز الصلابة في تلك الأثناء. لهذا السبب، يتبين أنه من المفيد تقييم تغير الانحراف المركزي بدءاً من بيانات المخرج فقط في المجال الزمني، عندما يتعرض الهيكل لتشوهات (Déformations) كبيرة غير خطية.

يعتمد الانحراف المركزي الهيكلي على قيمة الفرق في مستوى القوة بين العناصر الجانبية المقاومة على الجانب المرن والصلب من الهيكل. كما يعتمد كذلك على توزيع عتبات المقاومة لعناصر الهيكل. ولهذا الأسباب، يصعب جداً تحديد تغير الانحراف المركزي الناتج عن السلوك غير الخطي. لا توجد حالياً طريقة للتحديد الكمي لهذا التغير في الانحراف المركزي بشكل دقيق.

ومن أجل اختبار كفاءة نموذج الشبكات العصبية للحالة غير الخطية، تم تطوير نموذج رقمي بالعناصر المحدودة متناظر في البداية وتوزيع مقاومة غير منتظم.

وتم وضع أربعة روابط ذات قانون سلوك مرنوليدن (Comportement elastoplastique) بنموذج البطء لُون (Modèle hystérésis de Wen) في أطراف الأعمدة. ثم نُضع نموذج الهيكل

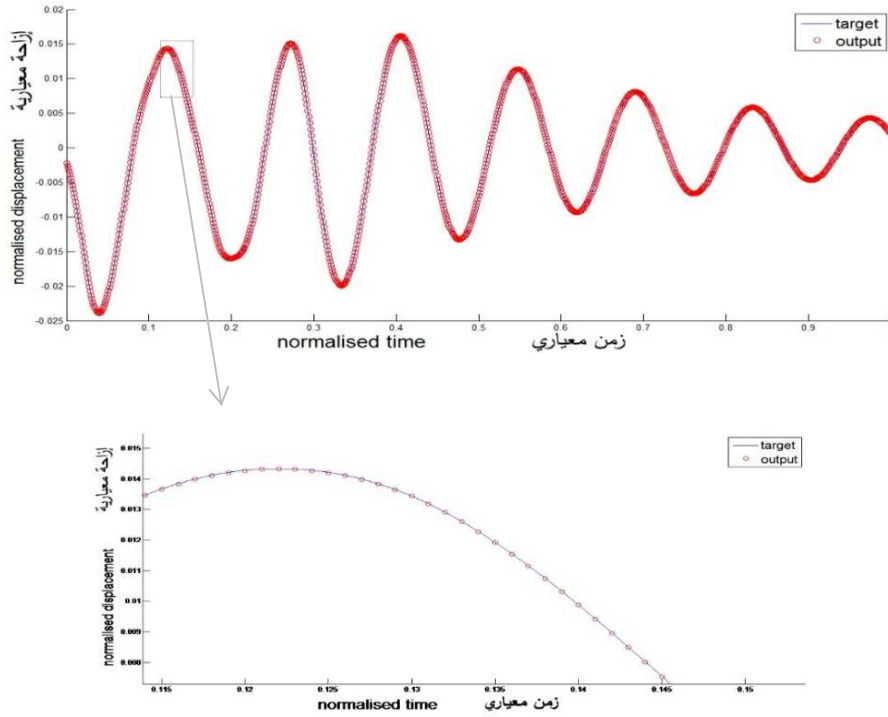


إلى مخطط التسارع (Accélérogramme) الذي يُحدث داخل الأعمدة من جانب واحد ولوجات في المجال غير الخطي.

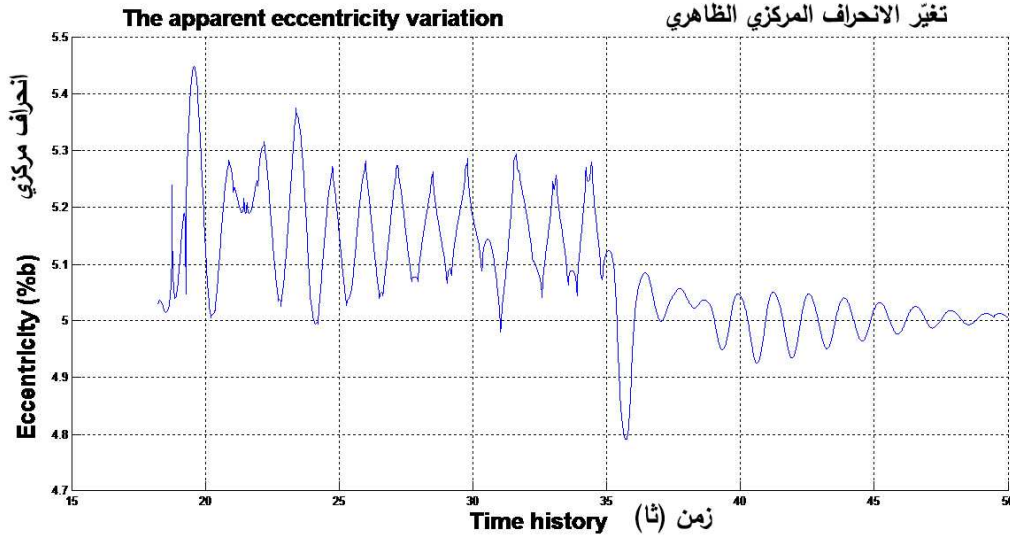
وتؤدي هذه الوضعية إلى توزيع الصلابة بشكل غير متناظر مؤقتًا وبالتالي إلى تغيير في الانحراف المركزي. وهكذا تنشأ الحركات الدورانية في النموذج وتصبح الحركة الإجمالية للأرضية مقترنة. ويتم استخدام إزاحة النقطتين على حواف الأرضية كمدخل في الشبكتين للتنبؤ باستجابات مراكز الكتلة والصلابة.

وقبل تحديد الانحراف المركزي، تُقيم فعالية نموذج RNA على أساس قدرته على إعادة إنتاج الإشارات المستهدفة بدقة. وعلى سبيل التوضيح، يُرسم جزء من التطور عبر الزمن للإزاحة التي تنبأت بها الشبكة العصبية في نفس الوقت مع إشارة الهدف في الشكل 5.

وكما هو موضح في الشكل 5، تتوافق جيدًا الإشارتان، حتى أثناء الاستجابة غير الخطية.



الشكل 5: إشارة مخرج الشبكة والإشارة المرغوبة.



الشكل 6: التغير في الانحراف المركزي الظاهري.

إن الانحراف المركزي الظاهري اللحظي الذي تنبأ به نموذج RNA انطلاقاً من استجابة ديناميكية غير خطية مبين في الشكل 6.

ويمكن تفسير هذا التغير في الانحراف المركزي على أنه مؤشر اقتران لاستجابة الأرضية، وهو ناشئ عن تغير صلابة العناصر في جانب واحد من الهيكل، مما يسبب حركة دورانية تستمر على الرغم من عودة الصلابة إلى قيمتها الأولية ويصبح الهيكل متناظراً.

في هذه الدراسة، بلغ الانحراف المركزي الظاهري 5,45%b كما هو مبين في الشكل 6.  
5. الخلاصة (Conclusion):

يمكن تلخيص ما توصلنا إليه من هذه الدراسة في مايلي:

- 1- إن تحديد الانحراف المركزي الكلي الحقيقي لهيكل قائم له أهمية كبيرة بالنسبة لدراسات التقوية (Renforcement) أو الهشاشة الزلزالية (Vulnérabilité sismique).
- 2- من الصعب جداً التقييم بشكل واضح ودقيق لهذا الانحراف المركزي الكلي للمنشآت التي لا تتوفر فيها المعلومات الكاملة عن الخصائص الهندسية والميكانيكية.
- 3- في هذا العمل، تم اقتراح إجراء لتحديد الانحراف المركزي انطلاقاً من استجابة ديناميكية لهيكل متعدد الطوابق. ويستدعي هذا الإجراء تقنية الشبكة العصبية للتنبؤ باستجابة مركز الكتلة والصلابة ومن ثم الانحراف المركزي الكلي. ولا يتطلب هذا الإجراء سوى تسجيلين للإزاحة على جانبيين متطرفين من المبنى. وهذان التسجيلان يتم استخدامهما كشعاع المدخل (Vecteur d'entrée) للشبكات العصبية وعند المخرج نحصل على إزاحات مركز الكتلة والصلابة.

- 4- أظهرت دراسة الحساسية (Etude de sensibilité) أن دقة نموذج الشبكة العصبية تكون أفضل عندما يكون موضع مركز الكتلة أو الصلابة أثناء التعلّم قريبا من موضع مركز الكتلة أو الصلابة في المحاكاة.
- ويمكن، أثناء الإثارة الزلزالية الشديدة، أن تقترن الاستجابة الديناميكية غير الخطية للهيكل المتناظر بعد الولوج في مجال ما بعد المرونة للعناصر الهيكلية بطريقة غير منتظمة.
- ولقد تم استخدام نموذج الشبكات العصبية الاصطناعية RNA للكشف عن الانحرافات المركزية المؤقتة الناتجة.
- 5- من الناحية العملية، يمكن استخدام هذه التقنية لدراسة سلوك المباني المجهزة بمسجلات الاهتزازات والمعرضة للزلازل من أجل تقييم تأثير الانحراف المركزي أثناء زلزال قوي أو أثناء تجارب الاهتزازات المحيطة للهياكل المتناظرة وغير المتناظرة على حد سواء.

#### المراجع (References):

- H. Shakib and R.Z. Tohidi. Evaluation of accidental eccentricity in buildings due to rotational component of earthquake. Journal of Earthquake Engineering, Vol. 6, No. 4, (2002).
- J.C. De La Llera and A. K. Chopra. Evaluation of code-accidental torsion provisions using earthquake records from three nominally symmetric- plan buildings. SMIP92 Seminar on Seismological and Engineering Implications of Recent Strong-Motion Data, p. 4-1 - 4-16, (1992).
- N. Bourahla and T. Boukhamacha. Extraction of accidental eccentricity parameters from ambient vibration records using artificial neural networks. Proceedings of the International Conference on Experimental Vibration Analysis for Civil Engineering Structures, France, October (2005).
- N. Bourahla, T. Boukhamacha and S. Taфраout, Detection of the eccentricity variation in nonlinear response using artificial neural networks, First European Conference on Earthquake Engineering and Seismology, Geneva, Switzerland, (2006)
- [5] M. Badaoui, A. Chateaufneuf, E. Fournely, N. Bourahla and M. Bensaïbi. Evaluation of accidental eccentricity for buildings by artificial neural networks. Structural Engineering and Mechanics, Vol. 41, No. 4, (2012).
- [6] M.H. Beale, M.T. Hagan, H.B. Demuth. Neural network toolbox™ user's guide, the math works, R(2012)b.

