مجلة جامعة دمشق لبحوث الزلازل والكوارث
المجلد 2 العدد(1) – 2025: 1-15

Damascus University Journal of Earthquake and Disaster Research
Vo 2 number (1) -2025: 1-15

# دراسة الاستجابة الزلزالية للمباني البيتونية المسلحة باستخدام نظام عزل هجين

**سحر محمود فارس[1*] ريم سلمان الصحناوي[2]**

[1*]. طالبة ماجستير، مهندسة، قسم الهندسة الإنشائيّة الزّلزاليّة، المعهد العالي للبحوث والدّراسات الزّلزاليّة، جامعة دمشق. saharfares@Damascusuniversity.edu.sy

[2] مُدرسة، دكتورة، قسم الهندسة الإنشائية الزلزالية، المعهد العالي للبحوث والدراسات الزلزالية، جامعة دمشق. reem1.salman@damascusuniversity.edu.sy

## الملخص:

تستخدم أنظمة العزل الزلزالي لتخفيض التسارعات والإزاحات الطابقية بالإضافة لقوى القص القاعدي مقارنة مع المنشأ من دون عزل، ويتم عادة استخدام أنظمة العزل التقليدية المطاطية والتي أثبتت فعاليتها في رفع كفاءة المباني زلزالياً، إلا إنه في حالات خاصة من المباني كالمباني العالية والمباني خفيفة الوزن يعتبر هذا العزل غير فعال، لذلك كان لا بد من البحث عن نظام عزل هجين فعال في تخفيض التسارعات والإزاحات الطابقية وقوى القص القاعدي للأبنية العالية. يهدف البحث إلى دراسة أثر استخدام الأنظمة الهجينة المكونة من المساند الخطية المتقاطعة والمساند المطاطية في تحسين السلوك الزلزالي للمباني العالية تحت تأثير عدة هزات أرضية بالاستعانة ببرنامج ABAQUS وذلك بتغير عدة بارامترات( تغيير ارتفاع المبنى،معامل الإحتكاك ضمن المسند الخطي المتقاطع،الطاقة التخميدية للعوازل المطاطية المرافقة). تم تقييم الأستجابة للمنشأ المعزول من خلال مقارنة الدور والتسارعات والإزاحات الطابقية وقوى القص القاعدي مع المنشأ من دون عزل. وأظهرت النتائج فعالية نظام العزل الهجين في تقليل التسارعات والإزاحات الطابقية وتخفيض قوة القص القاعدي في الأبنية العالية، وأن تغيير معامل الاحتكاك للمسند الخطي المتقاطع لم يكن له أي تأثير على استجابة المنشأ، وزيادة السعة للمساند المطاطية لم يؤثر بشكل ملموس على قيم التسارعات والإزاحة الطابقية بالمقابل أدى إلى زيادة كمية الطاقة المبددة.

**الكلمات المفتاحية:** الأبنية العالية، العزل الهجين، المساند الخطية المتقاطعة، التسارع الزلزالي، الإزاحة الطابقية.

تاريخ الإيداع: 2023/8/29
تاريخ القبول: 2023/11/28

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

# Studying the seismic response of reinforced concrete buildings using a hybrid isolation system

Received: 29/8/2023
Accepted: 28/11/2023

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

**Sahar MAHMOUD FARES[*1] Reem Salman ALSEHNAWI[2]**

[*1.] Master Student in Department of Seismic Structural Engineering, Higher Institute of Earthquake Studies & Research, University of Damascus, Damascus, Syria.
saharfares@Damascusuniversity.edu.sy

[2.] Assistant Professor in Department of Seismic Structural Engineering, Higher Institute of Earthquake Studies & Research, University of Damascus, Syria.
reem1.salman@damascusuniversity.edu.sy

## Abstract:

Seismic isolation systems are used to reduce floor accelerations and displacements in addition to the base shear forces compared to the building without isolation. Tradi tional rubber isolation systems are usually used, which have proven effective in raising the seismic efficiency of buildings. However, in special cases of buildings such as tall buildings and lightweight buildings, this isolation is considered It is not effective, so it was necessary to search for a hybrid isolation system that is effective in reducing the floor accelerations and displacements and the base shear forces of tall buildings. The research aims to study the effect of using hybrid systems consisting of cross linear bearings and rubber bearings in improving the seismic behavior of tall buildings under the influence of several earthquakes, using the ABAQUS program, by changing several parameters (change of building height, friction coefficient within the cross linear bearing, damping energy of rubber isolators accompaniment).The response to the isolated structure was evaluated by comparing the role, accelerations, floor displacements, and base shear forces with the structure without isolation.The results showed the effectiveness of the hybrid isolation system in reducing floor accelerations and displacements and reducing the base shear force in tall buildings, and that the change of the friction coefficient of the cross linear bearing had no effect on the response of the structure, increasing the capacity of the rubber bearing did not signifcantly affect the values of accelerations and drift ratio, on the contrary, it led to an increase in the amount of energy dissipated.

**Key words:** High Building, Hybrid Isolation, Cross Linear Bearing, Seismic Acceleration, story drift ratio.

## المقدّمة:

نُشرت العديد من الدراسات والأبحاث العالمية التي تتعلق بدراسة السلوك الزلزالي للمنشآت المزودة بالمساند المطاطية، حيث اقتصرت فعاليتها في تحسين الاستجابة الزلزالية للمباني المنخفضة والمتوسطة الارتفاع. نظراً لذلك اتجهت أبحاث إلى تزويد أنظمة العزل التقليدية المطاطية بنوع من المساند المعدنية التي تدعى بالمساند الخطية المتقاطعة، والتي وجد بإنها فعالة في في المباني خفيفة الوزن والمباني العالية، حيث تتألف المساند الخطية المتقاطعة من صفيحة علوية وصفيحة سفلية وموجه خطي علوي وموجه خطي سفلي يتوضع بينهم رقائق مطاطية، حيث يتميز هذا العازل بمقاومته المنخفضة للاحتكاك وصلابته الأفقية المنخفضة والقدرة على تحمل أحمال الشد، بالإضافة إلى تأمين اهتزاز بأدوار كبيرة تصل إلى4–3 ثواني حتى بالنسبة للمباني خفيفة الوزن، وتأمين حركة مستوية بالإتجاهينXY وبشكل كيفي نتيجة لتعامد موجهي الحركة الأفقية. Toniolo ) R ,2008)

درس (Fumiaki Arima et al 2000) تأثير العزل الزلزالي على استجابة مبنى بيتوني خفيف الوزن مكون من 5 طوابق أجرى مقارنة بين المبنى بدون عزل، والمبنى معزول بواسطة المساند الخطية المتقاطعة، تمت دراسة استجابة المبنى تحت تأثير هزة إيبارجي (1998,M5.5)، بينت النتائج أن العزل الزلزالي أدى إلى انخفاض قيم التسارع بشكل كبير مقارنة مع المبنى بالحالة التقليدية.

أيضاً قام (Fumiaki Arimia et al 2000) بدراسة استجابة مبنى خشبي عبارة عن بيت سكني معزول بنظام عزل هجين مكون من مساند خطية متقاطعة ومساند مطاطية مزودة بنواة رصاصية وأجرى مقارنة بين المبنى بدون عزل والمبنى معزول بواسطة نظام العزل هجين، تمت دراسة استجابة المبنى الخشبي تحت تأثير هزة كوبي، حيث انخفضت قيم التسارع حوالي 90% في حالة القاعدة المعزولة.

(Fumiaki Arimia et al, 2000)

قام (Tomohiro Sasaki et al 2012) بدراسة تجريبية باستخدام طاولة الاهتزاز، حيث قام الباحث بإجراء اختبار لمبنى إطار فولاذي مكون من 5 طوابق وأجرى مقارنة بين المبنى مع قاعدة معزولة بنظام عزل هجين مكون من 4 مساند مطاطية مزودة بنواة رصاصية و5 مساند خطية متقاطعة، والمبنى في حالة القاعدة بدون عزل.كانت أهم النتائج التي تم التوصل إليها تناقص قيم التسارع في المبنى المعزول مقارنة مع المبنى في حالة القاعدة الثابتة، كما شهدت حالة القاعدة الثابتة تضخيم استجابة يتجاوز الواحد ويتزايد مع ارتفاع الطوابق ولوحظ أيضاً أضرار في المكونات الغير الإنشائية في المقابل لم يلاحظ أي ضرر في أنظمة السقف أو الجدران الداخلية في حالة المبنى المعزول.

(Tomohiro Sasaki et al, 2012)

قدم (Keri L Ryan 2018) بحثاً تجريبياً حيث تناول البحث النموذج ذاته في الدراسة السابقة للباحث Tomohiro et al كان الهدف التحقق من صحة أداء المساند المطاطية في المباني خفيفة الوزن عند تعريضها إلى إزاحات كبيرة والتحقق من آلية نقل الاحمال المحورية من المساند المطاطية إلى المساند الخطية المتقاطعة. تم إثبات أن الاستجابة مستقرة لنظام العزل الهجين حيث أظهرت المساند المطاطية حلقات مستقرة والتي كانت المساند الخطية المتقاطعة فعالة في تثبيتها عند الإزاحات الكبيرة.

(Keri L Ryan, 2018)

قام ( Yan-Shing Lin et al 2020) بإجراء اختبار لإطار خشبي خفيف الوزن مكون من 6 طوابق على طاولة الاهتزاز، تم إجراء الاختبار في حالة القاعدة ثابتة وقاعدة معزولة بواسطة نظام العزل المكون من مساند خطية متقاطعة المتصل بنظام EEW. حيث أثبت نظام عزل القاعدة الذكي المقترح فعاليته في تقليل الاستجابة بشكل كبير في جميع الزلازل المختبرة، وأدى إلى انخفاض قيم التسارع بشكل ملحوظ في حالة القاعدة المعزولة على مستوى الأرض ومستوى السطح.

(Yan-Shing Lin et al, 2020 )

قدم (Vladimir Calugaru et al 2014) دراسة لتحليلية لمبنى خرساني مكون من 20 طابق، وأجرى مقارنة بين المبنى في حالة القاعدة الثابتة، والمبنى مع قاعدة معزولة بنظام عزل هجين مكون من مساند خطية متقاطعة ومساند مطاطية ومخمدات سائلة لزجة، تمت دراسة استجابة المبنى تحت تأثير 14 هزة أرضية، شهد المبنى ذو القاعدة المعزولة استجابة مرنة على عكس المبنى ذو القاعدة الثابتة الذي طور تشوهات كبيرة وغير مرنة في الجدار، كما انخفضت نسبة إزاحة السقف في المبنى ذو القاعدة المعزولة حوالي 27% و2.3%، أما نسبة الإزاحة بين الطوابق فقد انخفضت حوالي 90% و81%، وانخفضت قيمة التسارع حوالي 76% و74.7% على مستويات DE و MCEعلى التوالي مقارنة مع حالة القاعدة الثابتة.
(Vladimir Calugaru et al, 2014)

## 2- مشكلة وأهميّة البحث:

تستخدم مساند العزل المطاطية كنوع من أنواع العزل القاعدي وبالرّغم من فعاليّة هذه المساند في رفع كفاءة المباني زلزالياً إلا إنّ لديها محدوديات في حالات خاصة من المباني كالمباني العاليّة والمباني خفيفة الوزن، حيث إن هذه العوازل تعمل ضمن مجال ترددي عالٍ وفي الأبنية العالية يكون التردد منفخض بشكل واضح أحياناً وبالتالي يفقد العازل المطاطي فعاليته. نظراً لذلك اتّجهت أبحاث إلى تزويد أنظمة العزل التقليديّة المطاطيّة بنوع من المساند المعدنية التي تدعى بالمساند الخطيّة المتقاطعة والتي وجد بإنّها فعّالة في تحسين الاستجابة الزّلزاليّة للمباني العالية والمباني خفيفة الوزن. ومن هنا تأتي أهمية البحث من قدرة نظام العزل الهجين المكون من المساند الخطية المتقاطعة والمساند المطاطية في تبديد أكبر قدر ممكن من الطاقة الزلزالية والحفاظ على استقرار المنشأ، وتقليل التسارعات والإزاحات الطابقية في المباني العالية.

## 3- أهداف البحث:

يهدف البحث إلى دراسة فعالية استخدام الأنظمة الهجينة المكونة من المساند الخطية المتقاطعة والمساند المطاطية في تحسين السلوك الزلزالي للمباني العالية بتغيير عدة بارامترات:

1. تغيير ارتفاع المبنى تحت تأثير عدة هزات أرضية.
2. تغيير معامل الاحتكاك ضمن المسند الخطي المتقاطع ضمن المسند المتقاطع بتطبيق زلزال كوبي.
3. الطاقة التخميدية للعوازل المطاطية المرافقة بتطبيق زلزال كوبي.

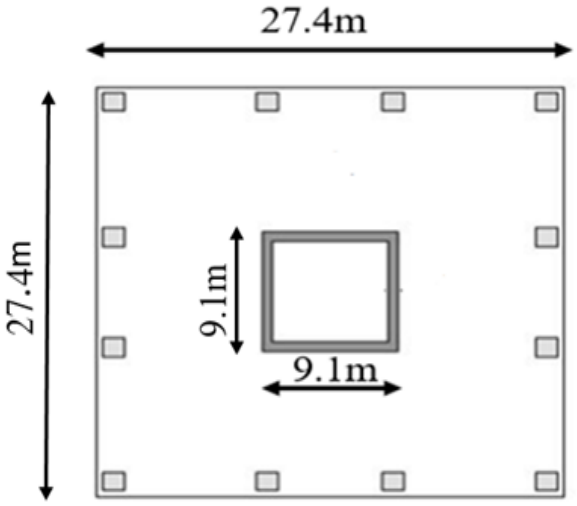
## 4- مواد البحث وطرائقه:

### 4-1-توصيف المبنى المدروس:

إن المبنى المدروس عبارة عن مبنى عالي من البيتون المسلح، حيث يبين الشكل (1) المسقط الأفقي لطابق متكرر، إذ اعتمد هذا المسقط في كافة نماذج الدراسة التحليلية البارامترية، وتبين الجداول (1) و (2) خصائص المواد المستخدمة ومواصفات البناء المدروس، على التوالي، ويبين الجدول(3) الهزات الزلزالية التي خضع لها المبنى.

**الجدول (1) خصائص المواد المستخدمة**

| | |
|---|---|
| إجهاد الضغط للبيتون | F`c=48MPa |
| معامل مرونة البيتون | Ec=40183.58MPa |
| معامل بواسون للبيتون | νconcret=0.2 |
| الوزن الحجمي للبيتون | ɤc=24kN/m$^3$ |
| حد السيلان لفولاذ التسليح الطولي | Fy=414MPa |
| حد السيلان لفولاذ التسليح العرضي | Fys=250MPa |
| معامل مرونة الفولاذ | $E_{st}$ =200000MPa |
| الوزن الحجمي للفولاذ | $\gamma_{st}$ =78kN/$m^3$ |
| معامل بواسون الفولاذ | $\nu_{steel}$ =0.3 |




**الشكل (1) مسقط الطابق المدروس**

## 4-2- نمذجة المبنى:

بُني النموذج على برنامج Abaqus، الجملة الإنشائية للبناء عبارة عن جملة إطارية جدارية تمت نمذجة الجوائز والأعمدة باستخدم العنصر الفراغي B31، ونمذجة البلاطات والجدران باستخدم العنصر الصفائحي (S4R)، ربطت كافة العناصر (الإطارية، الصفائحية) عند نقاط التقائها فيما بينها ربطاً تاماً بحيث ترتبط كافة درجات الحرية بشكل كامل. وتمت نمذجة البلاطات باعتماد فرضية الحجاب الطابقي ذو الصلادة المحددة بحيث تؤخذ تشوهات البلاطة بعين الاعتبار أثناء التحليل الديناميكي تحت تأثير الهزات الزلزالية على المنشأ.

## 4-3- مراحل الدراسة:

**تمت الدراسة على مرحلتين:**

**المرحلة الأولى:**

تم اعتبار المباني المدروسة موثوقة من الأسفل (حالة النموذج الشائع)، حيث تم تحليل المباني باستخدام طريقة التحليل الديناميكي اللاخطي.

**الجدول (2) خصائص العوازل**

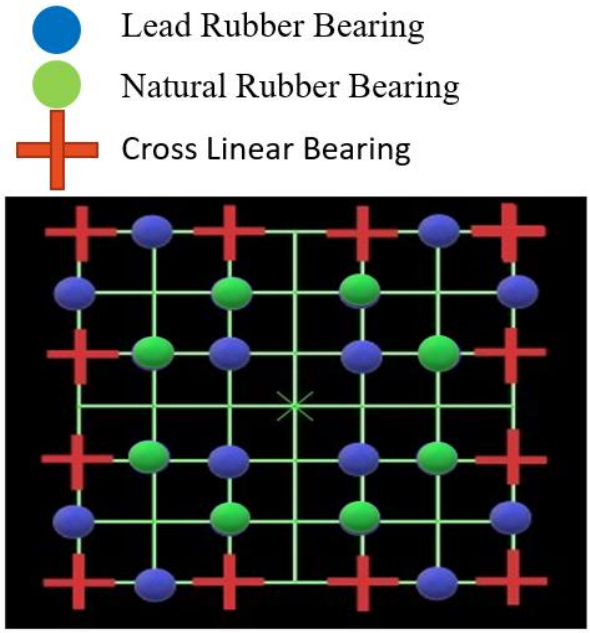
| | |
|---|---|
| المسند المطاطي (LRB) | |
| Keff | 1400 kN/m |
| K1 | 7350kN/m |
| α | 10% |
| المسند المطاطي منخفض التخامد | |
| K1 | 1130 kN/m |
| المسند الخطي المتقاطع | |
| μ | 0.003 |

**الجدول (3) الهزات الزلزالية**

| Station name | Earthquake Location, year, Magnitude | DE | MCE |
|---|---|---|---|
| Duzce | Duzce, Turkey, 1991, M7.1 | 0.78 | 1.18 |
| El Centro Ar-ray#6 | Imperial, CA, 1979, M6.5 | 1.48 | 2.22 |
| Lucerne | Landers,CA,1992, M7.3 | 0.31 | 0.47 |
| Tabas | Tabas, Iran, 1978, M7.4 | 0.27 | 0.4 |
| Takatori | Kobe, Japan, 1995, M6.9 | 0.67 | 1 |
| TCU52 | | 0.67 | 1 |
| TCU67 | | 1.67 | 2.5 |
| TCU68 | | 0.45 | 0.67 |
| TCU87 | Chi-Chi, Taiwan, 1999, M7.6 | 1.06 | 1.59 |
| TCU101 | | 1.35 | 2.02 |
| TCU102 | | 1.52 | 2.29 |
| TCU103 | | 1.67 | 2.5 |
| Yarimca | Kocaeli, Turkey, 1999, M7.4 | 0.75 | 1.12 |

**المرحلة الثانية:**

تـــم اعتبـــار المبـــاني معزولـــة بنظـــام عـــزل هجـــين مكـــون مـــن مســـاند خطيـــة متقاطعـــة ومســـاند مطاطيـــة ويوضـــح الشـــكل (2) أمـــاكن تـــوزع العـــوازل، ومـــن ثـــم إعادة التحليل الديناميكي.




**الشكل (2) أماكن توزع العوازل**

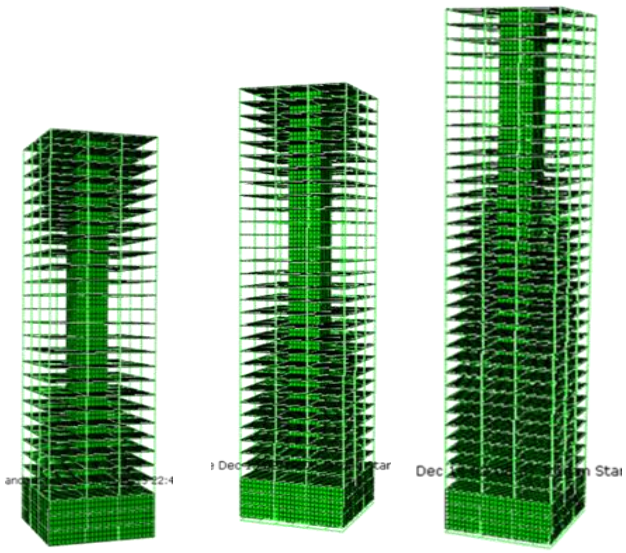
## 5- الدراسة التحليلية:

تـــم نمذجـــة المبنـــى و دراســـة الســـلوك الـــديناميكي مـــن خلال أخذ البارامترات التالية بعين الاعتبار:

1. تغييـــر ارتفـــاع الطوابـــق 25 – 30 – 35 طـــابق وذلـــك تحـــت تـــأثير 13 هـــزة أعظميـــة وتصـــميمية عاليـــة الشدة.
2. تغييـــر معامـــل الاحتكـــاك ضـــمن المســـند المتقـــاطع بتطبيق زلزال كوبي.
3. تغييـــر الطاقـــة التخميديـــة للمســـاند المطاطيـــة بتطبيـــق زلزال كوبي.

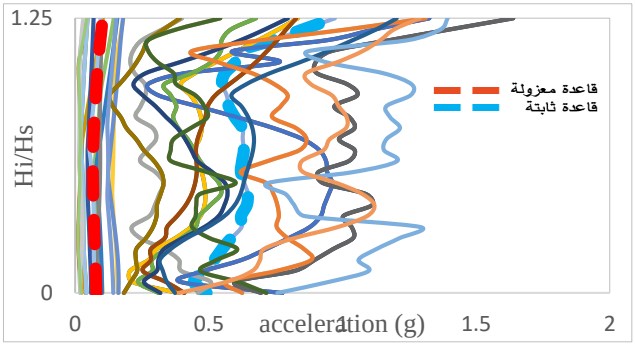
### 5-1- تغيير ارتفاع الطوابق:

تم دراسة الاستجابة الزلزالية في المباني والمتمثلة في (الدور، التسارع الزلزالي، الإزاحة الطابقية، القص القاعدي) وتم مقارنة نتائج حالة المنشأ الموثوق وحالة المنشأ المعزول.

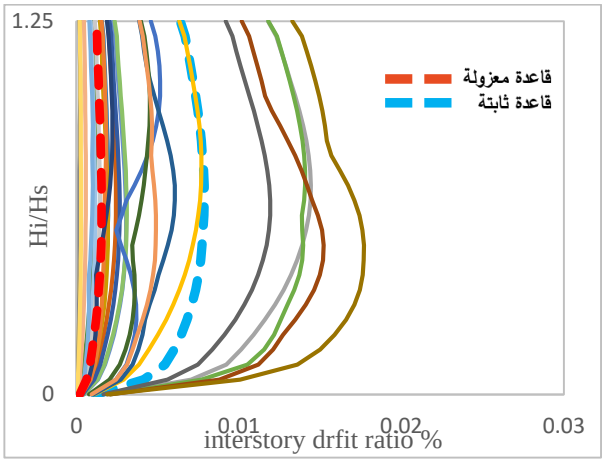


**الشكل (3) المباني بالشكل ثلاثي الأبعاد**

يبـــين الجـــدول(4) مقارنـــة قـــيم دور الاهتـــزاز للمبـــاني الموثوقة والمباني المعزولة.




**الشكل (4) التسارع الزلزالي للهزات التصميمية على كامل ارتفاع المبنى لكل من المبنى الموثوق والمبنى المعزول في حالة 25 طابق.**

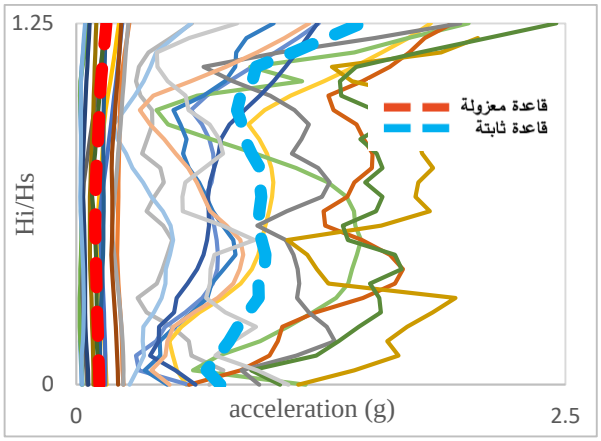



**الشّكل (5) الإزاحة الطابقية النسبية للهزات التصميمية على كامل ارتفاع المبنى لكل من المبنى الموثوق والمبنى المعزول في حالة 25 طابق.**

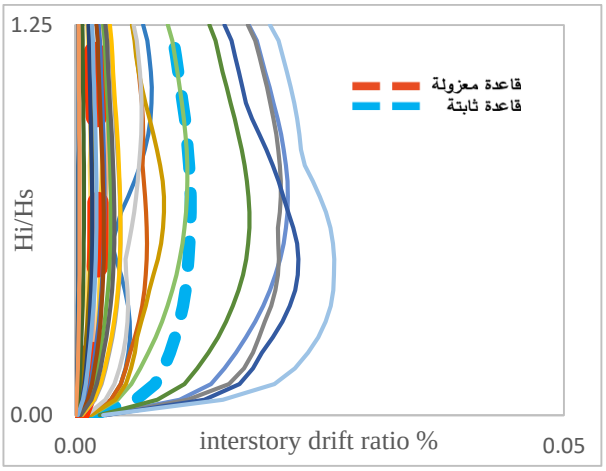
**الجدول(4) قيم دور الاهتزاز**

| | 25 طابق | 30 طابق | 35 طابق |
|---|---|---|---|
| القاعدة الثابتة | 1.98sec | 2.41sec | 2.96sec |
| القاعدة المعزولة | 2.06sec | 2.63sec | 3.26sec |

يوضح الشكل (4) التسارع الزلزالي عند مستوي كل طابق لجميع الهزات التصميمية (الخط المستمر) في حالة المبنى الموثوق وحالة المبنى المعزول للمبنى المؤلف من 25 طابق (يعبر المحور الشاقولي عن الارتفاع الطابقي Hi مقسوماً على الارتفاع الكلي للمبنى Hs)، تم أخذ الوسطي لنتائج الهزات في الحالتين (الخط المتقطع) حيث بلغت قيمة التسارع في الطابق الأخير 0.97g في حالة المنشأ الموثوق و0.1g في حالة المنشأ المعزول أي انخفضت حوالي 89%. ويبين الشكل (5) مقارنة قيم قيم الإزاحة الطابقية النسبية عند مستوي كل طابق لجميع الهزات الهزات التصميمية (الخط المستمر) في حالة المبنى الموثوق وحالة المبنى المعزول، وعند أخذ الوسطي لنتائج الهزات في الحالتين (الخط المتقطع) بلغت قيمة الإزاحة الطابقية النسبية في في الطابق الأخير 0.0064% في حالة المنشأ الموثوق و0.0012% في حالة المنشأ المعزول أي انخفضت حوالي 80%.



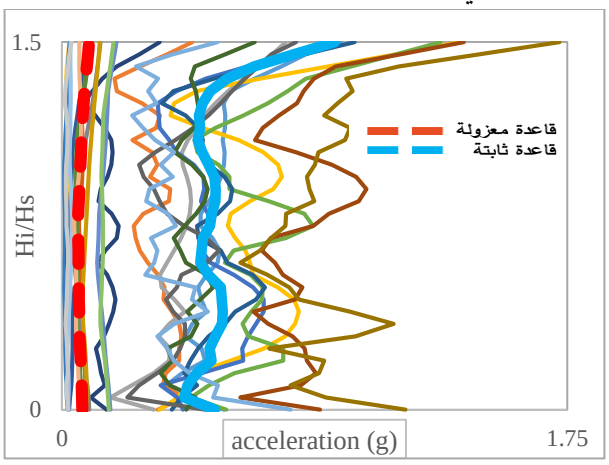

**الشّكل (6) التسارع الزلزالي للهزات الأعظمية على كامل ارتفاع المبنى لكل من المبنى الموثوق والمبنى المعزول في حالة 25 طابق.**



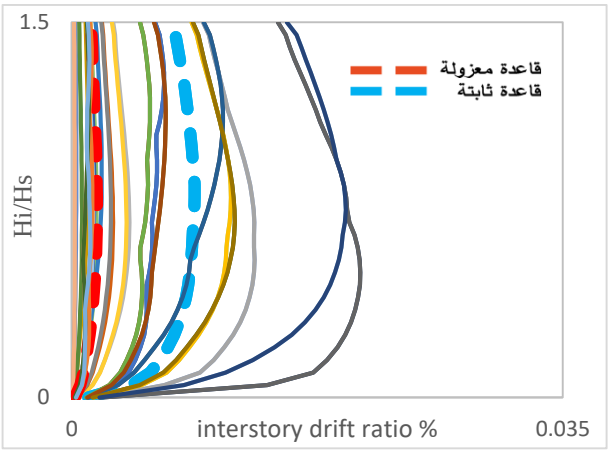

**الشّكل (7) الإزاحة الطابقية النسبية للهزات الأعظمية على كامل ارتفاع المبنى لكل من المبنى الموثوق والمبنى المعزول في حالة 25 طابق.**

يظهر الشكل (6) التسارع الزلزالي عند مستوي كل طابق لجميع الهزات الأعظمية (الخط المستمر) في حالة المبنى الموثوق وحالة المبنى المعزول للمبنى المؤلف من 25 طابق تم أخذ الوسطي لنتائج الهزات في الحالتين (الخط المتقطع) حيث بلغت قيمة التسارع في الطابق الأخير 1.45g في حالة المبنى الموثوق الموثوق و0.15g في حالة المبنى المعزول أي انخفضت حوالي 89.45%. أما الشكل (7) يبين قيم الإزاحة الطابقية النسبية عند عند مستوي كل طابق لجميع الهزات الأعظمية (الخط المستمر)

في حالة المبنى الموثوق وحالة المبنى المعزول، وعند أخذ الوسطي لنتائج الهزات في الحالتين (الخط المتقطع) بلغت قيمة الإزاحة الطابقية النسبية في الطابق الأخير 0.0096% في حالة حالة المنشأ الموثوق و 0.0018% في حالة المنشأ المعزول أي انخفضت حوالي 81%.

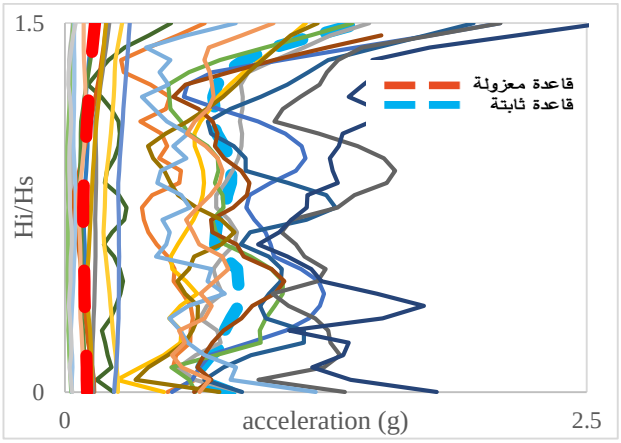



**الشّكل (8) التسارع الزلزالي للهزات التصميمية على كامل ارتفاع المبنى لكل من المبنى الموثوق والمبنى المعزول في حالة 30 طابق.**

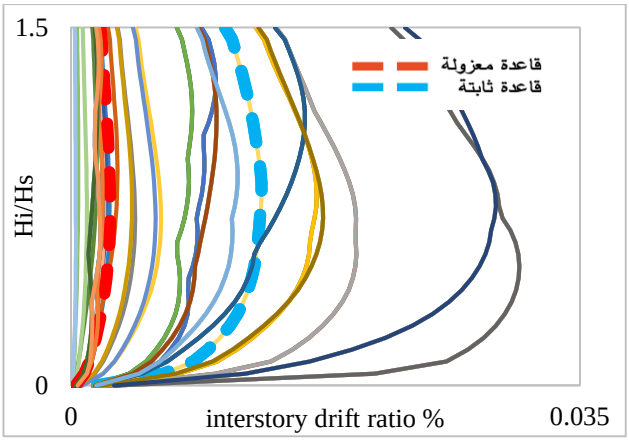



**الشّكل (9) الإزاحة الطابقية النسبية للهزات التصميمية على كامل ارتفاع المبنى لكل من المبنى الموثوق والمبنى المعزول في حالة 30 طابق.**

يظهر الشكل (8) التسارع الزلزالي عند مستوي كل طابق لجميع الهزات التصميمية (الخط المستمر) في حالة المبنى الموثوق وحالة المبنى المعزول للمبنى المؤلف من 30 طابق، تم أخذ الوسطي لنتائج الهزات في الحالتين (الخط المتقطع) حيث بلغت قيمة التسارع في الطابق الأخير 0.945g في حالة المبنى الموثوق و0.0948g في حالة المبنى المعزول أي انخفضت حوالي 89% . أما الشكل (9) يبين مقارنة قيم الإزاحة الطابقية النسبية عند مستوي كل طابق لجميع الهزات التصميمية (الخط المستمر) في حالة المبنى الموثوق وحالة المبنى المعزول، وعند أخذ الوسطي لنتائج الهزات في الحالتين (الخط المتقطع) بلغت قيمة الإزاحة الطابقية النسبية في الطابق الأخير 0.0071% في حالة المنشأ الموثوق و 0.00135% في حالة المنشأ المعزول أي انخفضت حوالي 80%.

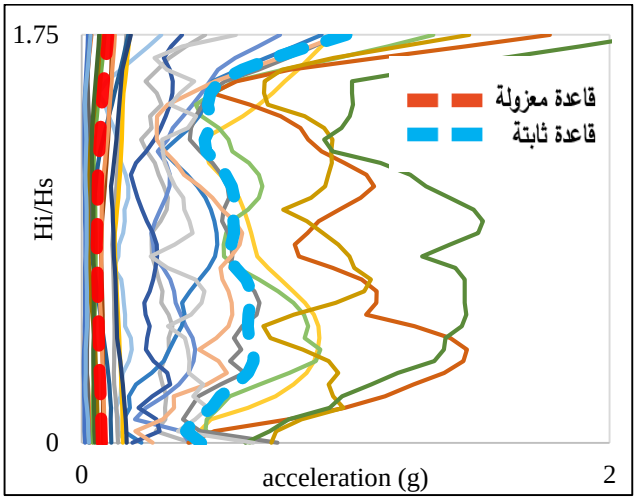



**الشّكل (10) التسارع الزلزالي للهزات الأعظمية على كامل ارتفاع المبنى لكل من المبنى الموثوق والمبنى المعزول في حالة 30 طابق.**

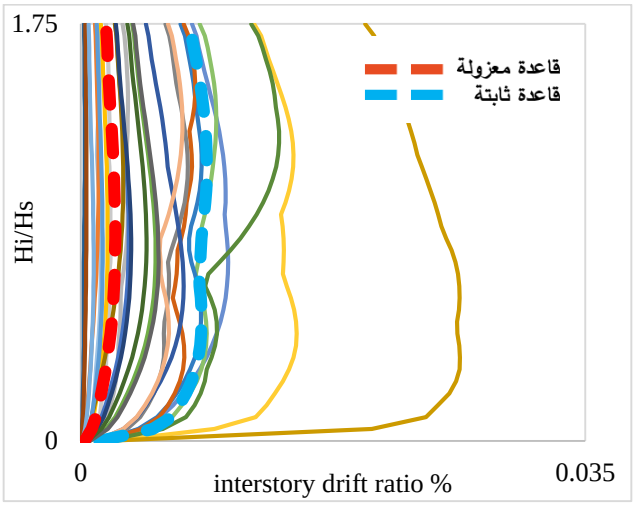



**الشّكل (11) الإزاحة الطابقية النسبية للهزات الأعظمية على كامل ارتفاع المبنى لكل من المبنى الموثوق والمبنى المعزول في حالة 30 طابق.**

يظهر الشكل (10) التسارع الزلزالي لجميع الهزات الأعظمية التسارع الزلزالي عند مستوي كل طابق لجميع الهزات الأعظمية (الخط المستمر) في حالة المبنى الموثوق وحالة المبنى المعزول للمبنى المؤلف من 30 طابق، تم أخذ الوسطي لنتائج الهزات في الحالتين (الخط المتقطع) حيث بلغت قيمة التسارع في الطابق الأخير 1.416g في حالة المبنى الموثوق و0.14g في حالة المبنى المعزول أي انخفضت حوالي 89.9%. أما الشكل (11) يبين قيم الإزاحة الطابقية النسبية عند مستوي كل طابق لجميع الهزات الأعظمية (الخط المستمر) في حالة المبنى الموثوق وحالة المبنى المعزول، وعند أخذ الوسطي لنتائج الهزات في الحالتين (الخط المتقطع) بلغت قيمة الإزاحة الطابقية النسبية في الطابق الأخير 0.01059% في حالة المنشأ الموثوق و 0.0020% في حالة المنشأ المعزول أي انخفضت حوالي 80.88%.

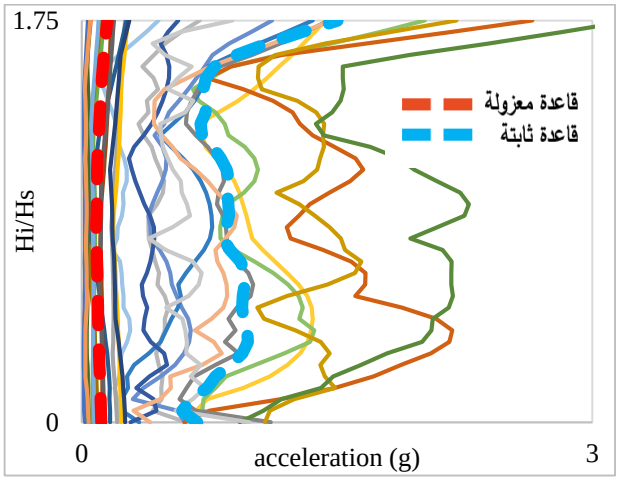



**الشّكل (12) التسارع الزلزالي للهزات التصميمية على كامل ارتفاع المبنى لكل من المبنى الموثوق والمبنى المعزول في حالة 35 طابق.**

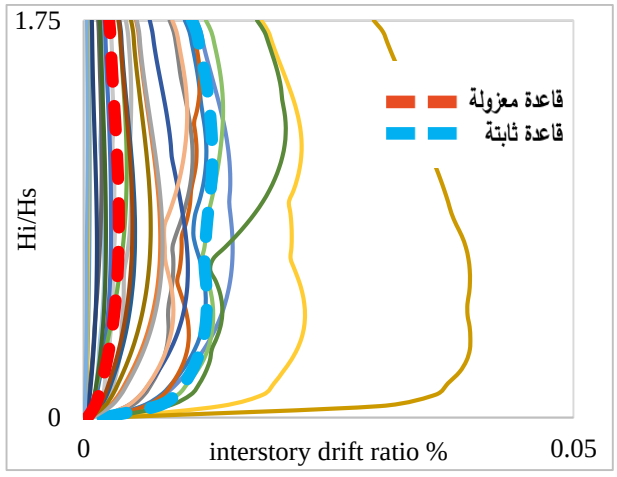



**الشّكل (13) الإزاحة الطابقية النسبية للهزات التصميمية على كامل ارتفاع المبنى لكل من المبنى الموثوق والمبنى المعزول في حالة 35 طابق.**

يظهر الشكل (12) التسارع الزلزالي عند مستوي كل طابق لجميع الهزات التصميمية (الخط المستمر) في حالة المبنى الموثوق وحالة المبنى المعزول للمبنى المؤلف من 35 طابق، تم أخذ الوسطي لنتائج الهزات في الحالتين (الخط المتقطع) حيث بلغت قيمة التسارع في الطابق الأخير1g في حالة المبنى الموثوق و0.1g في حالة المبنى المعزول أي انخفضت حوالي 89.98%. أما الشكل (13) يبين مقارنة قيم الإزاحة الطابقية النسبية عند مستوي كل طابق لجميع الهزات التصميمية (الخط المستمر) في حالة المبنى الموثوق وحالة المبنى المعزول، وعند أخذ الوسطي لنتائج الهزات في الحالتين (الخط المتقطع) بلغت قيمة الإزاحة الطابقية النسبية في الطابق الأخير 0.0074% في حالة المنشأ الموثوق و 0.00173% في حالة المنشأ المعزول أي انخفضت حوالي 77%.




**الشّكل (14) التسارع الزلزالي للهزات الأعظمية على كامل ارتفاع المبنى لكل من المبنى الموثوق والمبنى المعزول في حالة 35 طابق.**




**الشّكل (15) الإزاحة الطابقية النسبية للهزات الأعظمية على كامل ارتفاع المبنى لكل من المبنى الموثوق والمبنى المعزول في حالة 35 طابق.**

يظهر الشكل (14) التسارع الزلزالي عند مستوي كل طابق لجميع الهزات الأعظمية (الخط المستمر) في حالة المبنى الموثوق وحالة المبنى المعزول للمبنى المؤلف من 35 طابق، تم أخذ الوسطي لنتائج الهزات في الحالتين (الخط المتقطع) حيث بلغت قيمة التسارع في الطابق الأخير 1.5g في حالة المبنى الموثوق و0.15g في حالة المبنى المعزول أي انخفضت حوالي 89.99% . أما الشكل (15) يبين قيم الإزاحة الطابقية النسبية عند مستوي كل طابق لجميع الهزات الأعظمية (الخط المستمر) في حالة المبنى الموثوق وحالة المبنى المعزول، وعند أخذ الوسطي لنتائج الهزات في الحالتين (الخط المتقطع) بلغت قيمة الإزاحة الطابقية النسبية في الطابق الأخير 0.011% في حالة المنشأ الموثوق و 0.0025% في حالة المنشأ المعزول أي انخفضت حوالي76.6%.

يبين الجدول (5) مقارنة قيم التسارع والإزاحة الطابقية النسبية في الطابق الأخير لهزة TCU67عند تغيير ارتفاع الطوابق لكل من حالة القاعدة الثابتة وحالة القاعدة المعزولة.

**الجدول (5) نتائج قيم التسارع والإزاحة لهزة TCU67.**

| | التسارع في حالة القاعدة الثابتة | التسارع في حالة القاعدة المعزولة | الفرق النسبي |
|---|---|---|---|
| 25 طابق | 16.07 | 0.67 | 96% |
| 30 طابق | 16.90 | 0.98 | 94% |
| 35 طابق | 21.20 | 1.824 | 91% |
| | الإزاحة الطابقية النسبية في حالة القاعدة الثابتة | الإزاحة الطابقية النسبية في حالة القاعدة المعزولة | الفرق النسبي |
| 25 طابق | 0.013 | 0.00089 | 93% |
| 30 طابق | 0.015 | 0.0013 | 91% |
| 35 طابق | 0.011 | 0.0032 | 71% |

تبين الجداول (6-7-8 ) مقارنة قيم القص القاعدي للهزات التصميمية للمباني المؤلفة من 25 و 30 و35 طابق على التوالي.

**الجدول (6) قوى القص القاعدي (N) في حالة القاعدة المعزولة والقاعدة الموثوقة في حالة 25 طابق.**

| Station name | قاعدة ثابتة | قاعدة معزولة | الفرق النسبي |
|---|---|---|---|
| Duzce | 42070492.2 | 10717800 | 75% |
| El Centro | 82560752 | 16698900 | 80% |
| Lucerne | 14676174 | 1357820 | 91% |
| Tabas | 17008968 | 942752 | 94% |
| Takatori | 82145613 | 4333560 | 95% |
| TCU52 | 66430228 | 2799010 | 96% |
| TCU67 | 85087604 | 6964720 | 92% |
| TCU68 | 46464045 | 19600800 | 58% |
| TCU87 | 15251176 | 3431290 | 78% |
| TCU101 | 46916555 | 13656700 | 71% |
| TCU102 | 77230560 | 20830700 | 73% |
| TCU103 | 33535495 | 6770050 | 80% |
| Yarimca | 41751342 | 12414600 | 70% |

**الجدول (7) قوى القص القاعدي (N) في حالة القاعدة المعزولة والقاعدة الموثوقة في حالة30 طابق.**

| Station name | قاعدة ثابتة | قاعدة معزولة | الفرق النسبي |
|---|---|---|---|
| Duzce | 50553242 | 1241240 | 98% |
| \El Centro | 87896035 | 14634900 | 83% |
| Lucerne | 15651798 | 2432570 | 84% |
| Tabas | 15711160 | 1103200 | 93% |
| Takatori | 53368122 | 4478620 | 92% |
| TCU52 | 59373543 | 2977740 | 95% |
| TCU67 | 81573960 | 8097390 | 90% |
| TCU68 | 64401358 | 23132100 | 64% |
| TCU87 | 10812552 | 3634580 | 66% |
| TCU101 | 45924426 | 14470100 | 68% |
| TCU102 | 73683688 | 21588200 | 71% |
| TCU103 | 47445067 | 7189760 | 85% |
| Yarimca | 41739663 | 10847200 | 74% |

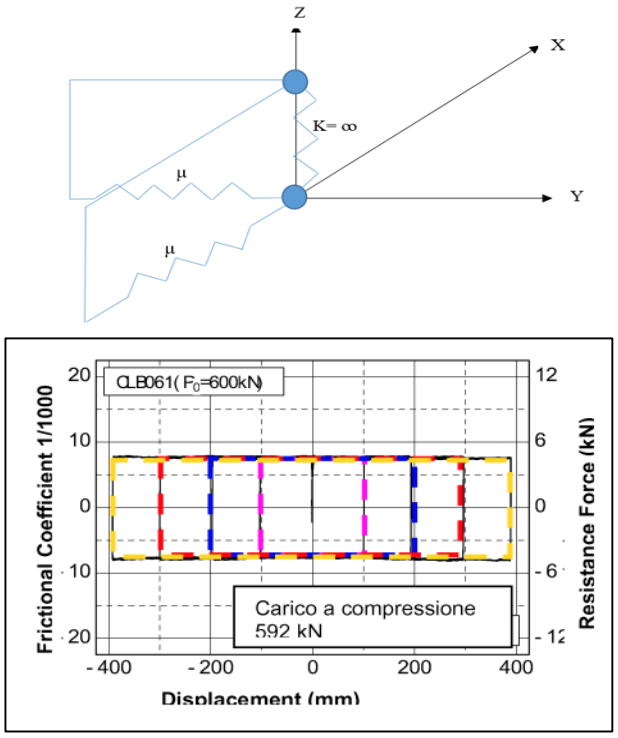
**الجدول(8) قوى القص القاعدي (N) في حالة القاعدة المعزولة والقاعدة الموثوقة في حالة 35 طابق**

| Station name | قاعدة ثابتة | قاعدة معزولة | الفرق النسبي |
|---|---|---|---|
| Duzce | 68095981 | 1290000 | %98 |
| ElCentro | 85097534 | 13263800 | %84 |
| Lucerne | 21515117 | 1309850 | %94 |
| Tabas | 23521830 | 1105530 | %95 |
| Takatori | 70876652 | 3436120 | %95 |
| Tcu52 | 40832895 | 3765310 | %91 |
| TCU67 | 85544527 | 20242700 | %76 |
| TCU68 | 54149346 | 24926700 | %54 |
| TCU87 | 14826840 | 3781910 | %74 |
| TCU101 | 63647124 | 15113800 | %76 |
| TCU102 | 87060982 | 21509700 | %75 |
| TCU103 | 45572681 | 7973520 | %83 |
| Yarimca | 57029195 | 8608220 | %85 |

**5-2-تغيير معامل الاحتكاك ضمن المسند الخطي المتقاطع:**

لمعرفة تأثير تغير قيمة معامل الاحتكاك، تم دراسة سلوك المنشأ للمبنى المؤلف من 25 طابق تحت تأثير هزة كوبي فقط وتم اختيار هذه الهزة لا على التعيين، حيث تتراوح قيمة معامل الاحتكاك ضمن المسند الخطي المتقاطع (0.002~0.003).

([https://www.google.com/url?sa=t&source=web&rct=j&opi=89978449&url=https://www.technico.com/pdf/500-1e.pdf&ved=2ahUKEwir3MqYq4WAAxWRzQIHHRBrBHkQFnoECAsQAQ&usg=AOvVaw2TBFT2609-Tyw5l4q0b8Uz](https://www.google.com/url?sa=t&source=web&rct=j&opi=89978449&url=https://www.technico.com/pdf/500-1e.pdf&ved=2ahUKEwir3MqYq4WAAxWRzQIHHRBrBHkQFnoECAsQAQ&usg=AOvVaw2TBFT2609-Tyw5l4q0b8Uz))




**الشكل (16) النموذج الرياضي للعازل الخطي المتقاطع وتوضيح العلاقة بين القوة والانتقالات**

يوضح الشكل (16) النموذج الرياضي للمسند الخطي المتقاطع المتمثل بـK&μ، وسلوك العازل المتمثل بعلاقة القوى-الانتقال وتعطى بالعلاقة التالية:

$$F = \mu p$$

حيث

F: قوة مقاومة الاحتكاك

μ:معامل الاحتكاك

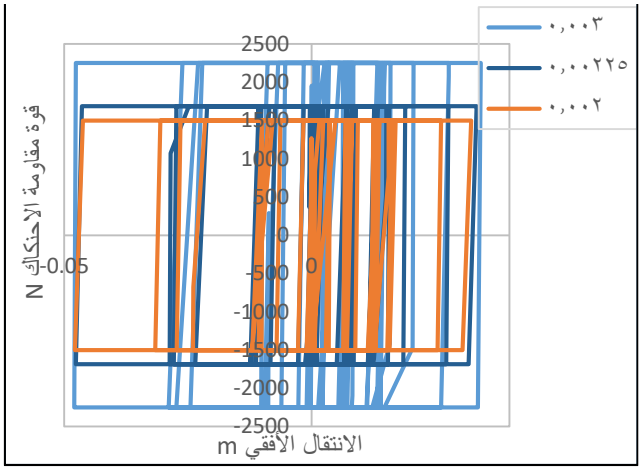
p :الحمل المطبق

تم دراسة حالتين لتغيير معامل الاحتكاك ومقارنتها مع الحالة الأساسية (0.003):

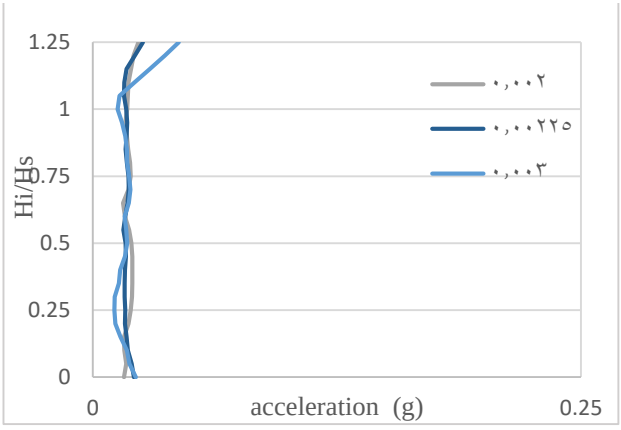
a. 0.00225

b. 0.002

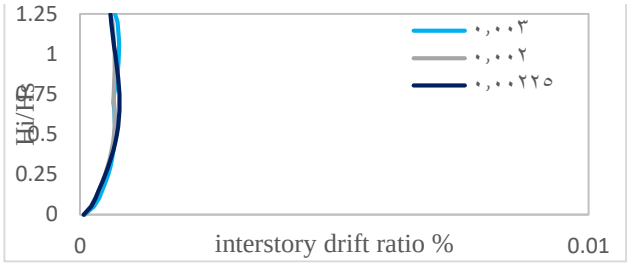
حيث يوضح الشكل(17) سلوك المسند الخطي المتقاطع لحالات تغيير معامل الاحتكاك.




**الشّكل (17) العلاقة بين قوة مقاومة الاحتكاك – الانتقال للمسند الخطي المتقاطع**




**الشّكل (18) التسارع الزلزالي على كامل ارتفاع المبنى تحت تأثير هزة كوبي**



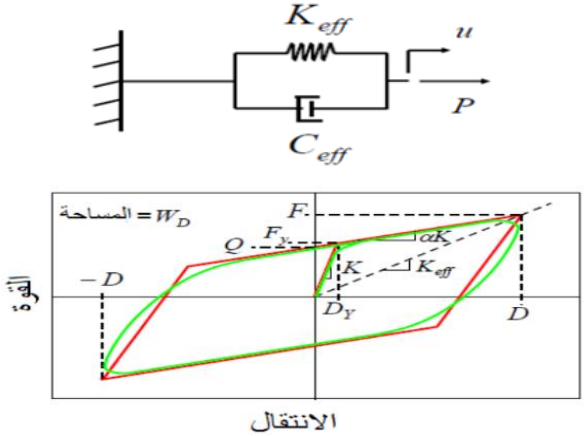

**الشّكل (19) الإزاحة الطابقية النسبية على كامل ارتفاع المبنى تحت تأثير هزة كوبي**

تبين الأشكال (19– 20) مقارنة قيم التسارع والإزاحة الطابقية النسبية للمبنى المؤلف من 25 طابق عند تغيير معامل الاحتكاك ضمن المسند الخطي المتقاطع تحت تأثير هزة كوبي، ونلاحظ أن تغيير معامل الاحتكاك ضمن المسند الخطي المتقاطع لم يكن له أي تأثير على استجابة المبنى.

### 5-3-الطاقة التخميدية للعوازل المطاطية:

تم زيادة الطاقة التخميدية للمساند المطاطية من خلال تغيير المواصفات للعازل المطاطي كما هو مبين في الجدول (9)، حيث يبين الشكل(20) النموذج الرياضي الخطي للعازل المطاطي وخواصه المتمثلة بـkeff & Ceff، سلوك العازل المتمثل بالعلاقة بين قوة القص(F)، والانتقال للمسند المطاطي (D).

(حسن، هالة . 2016)

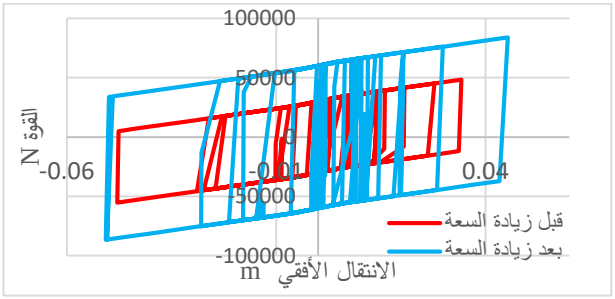



**الشكل (20) النموذج الرياضي الخطي للعازل المطاطي وتوضيح العلاقة بين القوة والانتقالات**

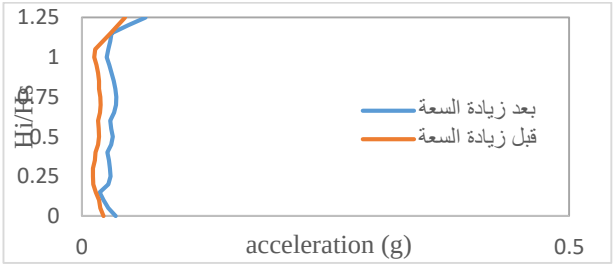
**الجدول(9) مواصفات العازل المطاطي**

| المسند المطاطي ( LRB) | بعد زيادة السعة | قبل زيادة السعة |
|---|---|---|
| Keff | 2100kn/m | 1400 kN/m |
| K1 | 13000Kn/m | 7350kN/m |
| α | 10% | 10% |

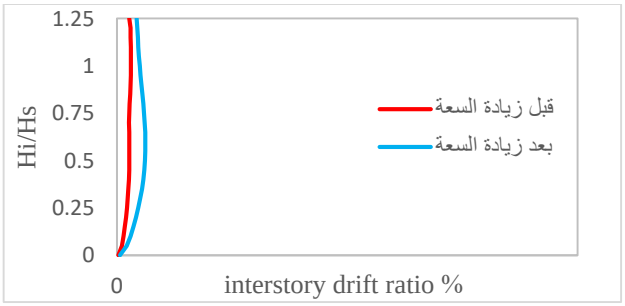
يوضح الشكل (21) علاقة القوى–الانتقال للمسند المطاطي قبل وبعد زيادة السعة نلاحظ ازدياد كمية الطاقة المبددة بازدياد السعة.




**الشّكل (21) علاقة القوى – الانتقال للمسند المطاطي**




**الشّكل (22) التسارع الزلزالي على كامل ارتفاع المبنى**




**الشّكل (23) الإزاحة الطابقية النسبية على كامل ارتفاع المبنى**

نلاحظ من الأشكال (22-23) أن زيادة سعة المساند المطاطية لم يؤثر على قيم التسارعات والإزاحة الطابقية النسبية بشكل ملموس.

## 6- الاستنتاجات:

1- ازدياد قيمة الدور في حالة المباني المعزولة مقارنة مع المباني من دون عزل.

2- نقصان قيمة كل من (التسارعات – الإزاحات الطابقية – قوى القص) في المباني المعزولة مقارنة مع المباني من دون عزل.

3- بلغ النقصان عند أخذ الفرق النسبي لقيم التسارع بين حالة القاعدة الثابتة وحالة القاعدة المعزولة لهزة TCU67 في الطابق الأخير 96% و94% و91% في المباني 25 و30 و 35 طابق على التوالي أما بالنسبة لوسطي نتائج الهزات بلغ النقصان (89%) في الطابق الأخير في جميع المباني.

4- بلغ النقصان في الإزاحات الطابقية النسبية في الطابق الأخير لهزة TCU67 93% و91% و71% في المباني 25 و30 و 35 طابق على التوالي أما بالنسبة لوسطي نتائج الهزات فقد بلغ النقصان (80%) في المباني 25 و30 و 76.6% لحالة 35 طابق.

5- انخفضت قوى القص ضمن المباني المعزولة حوالي 81% عند أخذ متوسط نتائج الهزات مقارنة مع المباني الموثوقة.

6- إن تغيير معامل الاحتكاك ضمن المسند الخطي المتقاطع لم يكن له أيّ تأثير على استجابة المبنى.

7- بما أن تبديل بعض المخمدات بأخرى ذات سعة أكبر لم يؤثر على قيم التسارعات والإزاحة الطابقية بشكل ملموس فإن وضع المخمد ذو السعة المناسبة في المكان المناسب سيكون أكثر اقتصادية.

## 7- التوصيات والأعمال المستقبلية:

-دراسة ظاهرة الشد التي يمكن أن تظهر في المساند المطاطية ذات المقاومة الضعيفة له وخصوصاً عند المساند الطرفية والركنية في الأبنية العالية ومقارنتها مع سلوك المساند الخطية المتقاطعة التي تقاوم الشد بكفاءة.

- دراسة برامترية لاكتشاف ارتفاع المباني الفعال للمساند الخطية المتقاطعة (ارتفاعات عالية تفوق الارتفاعات التي تعتمد على مساند مطاطية بسبب فعالية المساند المتقاطعة عند التواترات المنخفضة.

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

## References:


[1]– هالـة توفيـق حسـن. 2016. تحسـين سـلوك الأبنيـة العاليـة باسـتخدام نظـام العـزل القاعـدي الهجـين و مخمـدات الاحتكـاك الدورانية. مجلة جامعة دمشق للعلوم الهندسية،مج. 32، ع. 1، ص ص. 39–50. https://search.emarefa.net/detail/BIM -874312

[2]- Toniolo, R. (2008, July). THK: CLB crossed Linear Bearing Seismic Isolators. In AIP Conference Proceedings (Vol. 1020, No. 1, pp. 1483- 1492). American Institute of Physics.

[3]- ARIMA, F., SUZUKI, T., TAKASE, N., & HARADA, H. (2000). A development of a new technology for base-isolated buildings using crossed linear bearings. In Proceedings of the 12th World Conference on Earthquake Engineering.

[4]- Sasaki, T., Sato, E., Ryan, K. L., Okazaki, T., Mahin, S. A., & Kajiwara, K. (2012, September). NEES/E-defense base-isolation tests: effectiveness of friction pendulum and lead-rubber bearing systems. In Proceedings of the 15th World Conference of Earthquake Engineering

[5]- Ryan, K. L., Okazaki, T., Coria, C. B., Sato, E., & Sasaki, T. (2018). Response of hybrid isolation system during a shake table experiment of a full-scale isolated building. Earthquake Engineering & Structural Dynamics, 47(11), 2214-2232

[6]- Calugaru, V., & Panagiotou, M. (2014). Seismic response of 20-story base-isolated and fixed-base reinforced concrete structural wall buildings at a near-fault site. Earthquake Engineering & Structural Dynamics, 43(6), 927-948.

[7]- Lin, Y. S., Chan, R. W., & Tagawa, H. (2020). Earthquake early warning-enabled smart base isolation system. Automation in Construction, 115, 103203.

[8] https://www.google.com/url?sa=t&source=web&rct=j&opi=89978449&url=https://www.technico.com/pdf/500-1e.pdf&ved=2ahUKEwir3MqYq4WAAxWRzQIHHRBrBHkQFnoECAsQAQ&usg=AOvVaw2TBFT2609-Tyw5l4q0b8Uz , Thk