

Development Fragility Curves of R/C Building by Linear Regression

Dr. Ghanwa Daboul*

(Received 3 / 7 / 2022. Accepted 14 / 12 / 2022)

□ ABSTRACT □

This paper presents a study of R/C buildings, where the buildings had dual systems and frame systems where the participations of frames to resist the shear force are 28%. These building are designed by Syrian Code and in this study it will studying by nonlinear time History analysis to Development Fragility Curves by Linear Regression. The results of study showed the property damage in studying building for inter story drift d.

Keywords: fragility curve, damage states, nonlinear time history, Linear Regression.

* Ph.D., Structural Engineering Department, Faculty of Civil Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.

تطوير منحنيات التضرر الزلزالي الاحتمالي لمبنى بيتوني مسلح باستخدام طريقة الانحدار الخطي

د. غنوه دبول*

(تاريخ الإيداع 3 / 7 / 2022. قُبِلَ للنشر في 14 / 12 / 2022)

□ ملخص □

تم في البحث تقييم التضرر الزلزالي لمبنى بيتوني مسلح مصمم زلزالياً وفق اشتراطات الكود العربي السوري، جملته الإنشائية جمل ثنائية (جدران قص +اطارات) نسبة مساهمة الاطارات فيها 28% ، حيث تم في الدراسة ايجاد منحنيات التضرر الزلزالي الاحتمالي للمبنى لتقييم مستويات التضرر الاحتمالي التي من الممكن أن يصل لها المبنى نتيجة تعرضه للقوى الزلزالية بما يتوافق مع الشدة الزلزالية للمنطقة المدروسة، وذلك باعتماد التحليل الديناميكي اللاخطي Non Liner Time History Analysis لسجل زمني اصطناعي يتطابق مع طيف الاستجابة للمنطقة التي يقع فيها المبنى $Z=0.3g$ ، وباستخدام طريقة الانحدار الخطي الاحتمالية تم إيجاد احتمال حدوث التضرر الزلزالي عند كل قيمة من قيم الانتقال الطائفي النسبي للمبنى.

الكلمات المفتاحية: منحنيات التضرر الاحتمالية الزلزالية _ عتبات التضرر الزلزالي _ التحليل الديناميكي اللاخطي _ الانحدار الخطي.

*دكتوراه_ قسم الهندسة الإنشائية _كلية الهندسة المدنية _جامعة تشرين _ اللاذقية _ سورية .

مقدمة:

جعلت الآثار المدمرة للزلازل العلم يتجه نحو تطوير طرق منهجية لتمثيل الحركات الارضية بشكل اقرب ما تكون للواقع وصياغة نموذج لخسائر الزلازل في المنطقة المنكوبة، حيث أدركت المؤسسات المعنية على المستوى المحلي و العالمي بأن الاستعداد لمواجهة الأخطار الزلزالية واجب وطني تتحمل مسؤوليته الجهات الرسمية و الخاصة في مختلف البلدان و إن صياغة نموذج لخسائر الزلازل في منطقة ما لا يهتم فقط من اجل التنبؤ بالتأثير الاقتصادي للزلازل المستقبلية، ولكن قد يكون مهماً من أجل التخفيف من هذه المخاطر. ولذلك تضافرت في الجمهورية العربية السورية جهود نقابة المهندسين و مركز الرصد الزلزالي و الابحاث العلمية الأكاديمية لتخدم هذا الهدف و لايزال العلماء يسعون لإيجاد الحلول الأفضل لتخفيض الخسائر البشرية فاستقادوا من المبادئ الاحتمالية للحصول على تخطيط لما قبل الزلزال يساعد على وضع استراتيجيات التحسين لما بعد الزلزال و لدراسة الخطر الزلزالي السنوي للمنشأ Seismic Risk وهو توقع الضرر أو الخسائر التي يمكن ان تحدث في البناء الخاضع للقوى الزلزالية خلال عدة سنوات من انشائه، و يتم تقدير الخطر الزلزالي باستخدام المنحنيات التضررية (Fragility Curves) Fc التي تحدد احتمال التضرر الزلزالي للمنشآت خلال تعرضه للهزة الأرضية.

منحنيات التضرر الاحتمالي الزلزالي Fragility Curve هي توابع رياضية تخضع لقوانين الاحتمال والإحصاء الرياضي [1] وتعتبر عن وصول المباني لحالات التضرر التي تتشكل نتيجة تعرضها للقوى الزلزالية ويتم التعبير عن المعادلة العامة لتطوير المنحنيات أو الاحتمال الشرطي بالعلاقة (1) .

$$\text{Fragility} = P [LS | IM = Y] \quad (1)$$

LS عتبات التضرر أو حالات التضرر التي يصل لها المبنى .

IM مقياس كثافة الهزة الأرضية.

y الشروط المرتبطة بمقياس كثافة الهزة (IM).

عرفت العديد من الكودات العالمية مستويات (عتبات) التضرر الزلزالي Damage State التي سيصل لها المبنى المعرض للحمولات الزلزالية اعتماداً على مشاهدات عينية واقعية لمناطق تعرضت لكوارث زلزالية ولقد وضعت معايير لتقييم حالة التضرر التي وصلت لها المباني المدروسة بأربع عتبات (الخفيف S) _ المتوسط (M) Moderate _ الشامل (E) Extensive - التام (C) Complete)) حيث يتم توصيفها الإنشائي بالشكل التالي [2]:

- يصل المنشأ لعتبة التضرر الخفيف Slight عند حدوث تصدعات بشقوق شعرية بسبب القص او الانعطاف في بعض الجوائز أو في الأعمدة قرب المفاصل أو ضمن المفاصل.
- تحدث عتبة التضرر المتوسط Moderate عندما تصل 50% من عناصر المنشأ الى الاجهاد الخضوع yield capacity stress .
- يحدث التضرر الشامل Extensive في المنشأ عندما تصل 25% من عناصره الى الاجهاد الحدي ultimate capacity stress حيث تظهر تشققات انعطاف و قص كبيرة في جدران القص ويبدأ التسليح الرئيسي بالتلدن.

- يحدث التضرر التام Complete في المنشأ عند فقدان ثبات الإطارات أو فقدان قدرة جدران القص على مقاومة الحمولات الأفقية المطبقة حيث يصل 50% من عناصر المنشأ الى القدرة الحدية (الانهيار) ultimate capacity stress.

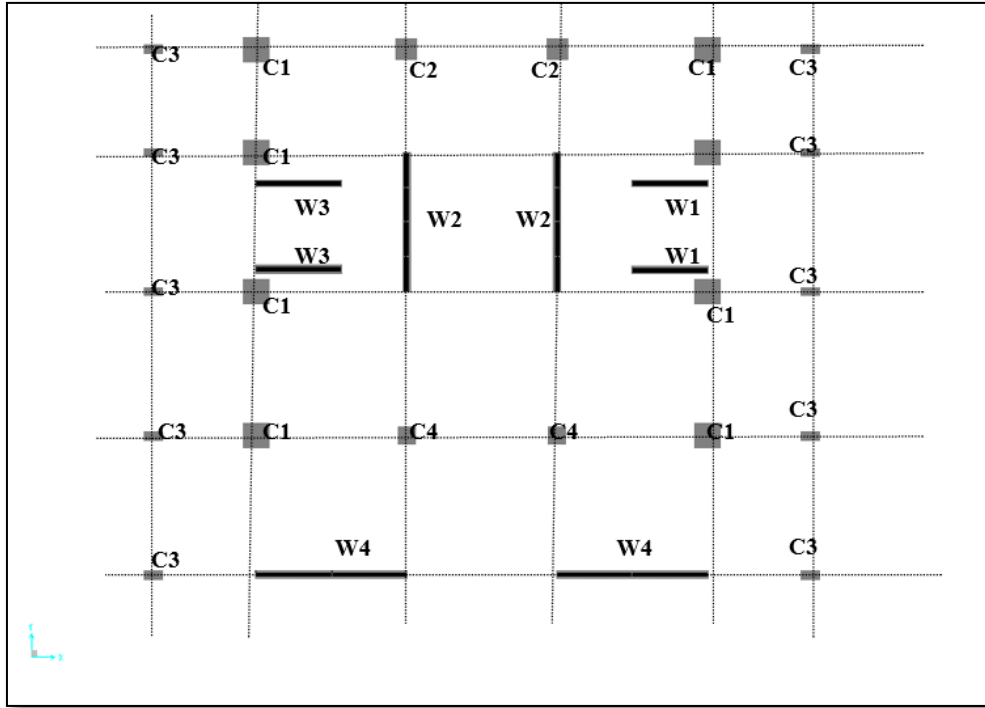
أهمية البحث وأهدافه:

- بهدف تطوير طرائق تقييم التضرر الزلزالي تتمحور أهمية البحث في خلق نظرة مستقبلية لتقييم الضرر الزلزالي المتوقع في المنشآت القائمة في المناطق ذات الشدات الزلزالية العالية في القطر.
- المساعدة في اختيار الجمل الانشائية الأكثر قدرة على مقاومة الضرر الزلزالي والأكثر اماناً والأنسب لمقاومة الشدات الزلزالية المقترحة في خارطة الزلزالية السورية.

طرائق البحث ومواده:

1- توصيف المبنى المدروس:

الجملة الثنائية هي جملة مختلطة من الإطارات المقاومة للزلازل وجدران القص، يتم في البحث دراسة الأداء الزلزالي لمبنى برجى مصمم وفق اشتراطات الكود العربي السوري [3] بالطريقة الستاتيكية المكافئة بعد معايرة قوة القص القاعدية التصميمية بطريقة طيف الاستجابة لمنطقة اللاذقية $Z=0.3g$ ، تربة التأسيس صخرية SB ، المعاملات الزلزالية $Ca=0.3, Cv=0.3$ والمقاومة الاسطوانية المميزة للبيتون المستخدم $fc=25MPa$ ، إجهاد السيلان لفولاذ التسليح الرئيسي الطولي $fy=400 MPa$ ، إجهاد الانقطاع $fu=600Mpa$. يتألف المبنى من 15 طابق بإرتفاع طابقي 4m ومساحة طابقية $814m^2$ للطوابق الثلاثة الأولى و بإرتفاع طابقي 3m ومساحة طابقية $559m^2$ للطابق الباقية. الجملة الانشائية للمبنى جملة ثنائية بنسب مساهمة للإطارات بالاتجاه x يساوي 28%، يبين الشكل (1) المسقط الأفقي للمبنى المدروس.



الشكل(1): توزيع الأعمدة وتوزيع جدران القص في المبنى المدروس

تبيين الجدول (1) و (2) أبعاد وتسليح الأعمدة للمبنى، وأبعاد وتسليح جدران القص

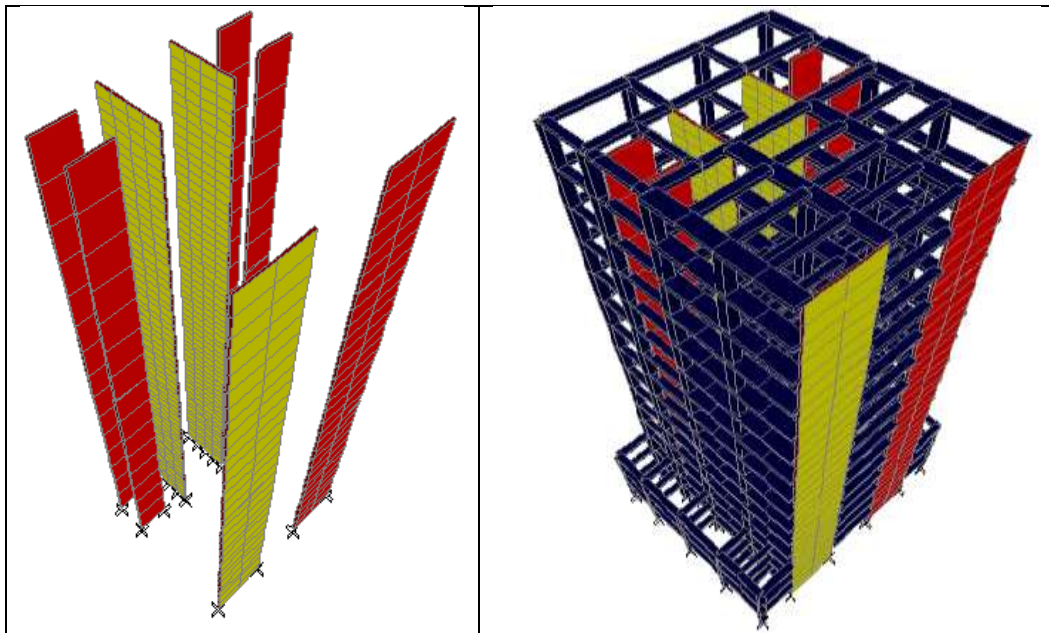
الجدول (1): أبعاد وتسليح الأعمدة للمبنى المدروس

| العمود | الطابق | أبعاد العمود cm | | التسليح الطولي | التسليح العرضي |
|-----------|-------------------------------|--------------------|-----|----------------|----------------|
| | | B | H | | |
| C1 | 1-2-3-4- 5-6-7-8- 9 | 120 | 120 | 14 T26 | 4T8/(15-25)cm |
| C2 | 9-10-11- 12-13- 14-15 | 100 | 100 | 12 T26 | 4T8/(15-25)cm |
| C2 | 1-2-3-4- 5-6-7 | 100 | 100 | 14 T26 | 4T8/(15-25)cm |
| C4 | 8-9-10- 11-12- 13-14-15 | 85 | 90 | 14T26 | 4T8/(15-25)cm |
| C3 | 1-2 | 40 | 90 | 9T 26 | 4T8/(15-25)cm |

الجدول(2): أبعاد وتسليح جدران القص للمبنى المدروس

| الجدار | أبعاد الجدار cm | | التسليح الشاقولي mm/m | التسليح الأفقي mm/m |
|-----------|--------------------|-----|-----------------------------|------------------------|
| | B | L | | |
| W1 | 35 | 365 | 8T22 | 7T12 |
| W2 | 35 | 670 | 8T22 | 7T12 |
| W3 | 35 | 365 | 10T25 | 8T12 |
| W4 | 35 | 750 | 8T22 | 8T20 |

تمت نمذجة المباني باستخدام برنامج التحليل الإنشائي SAP2000 ، يبين الشكل (2) النموذج التحليلي للمبنى المدروس.

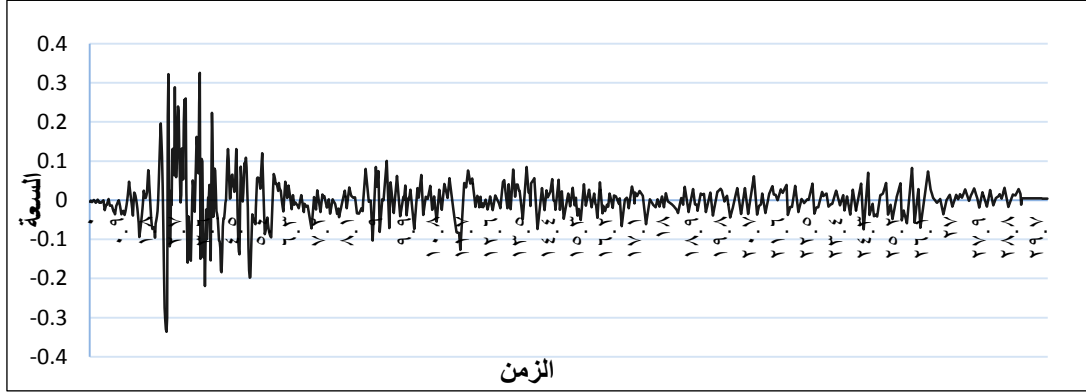


الشكل (2): نموذج المبنى المدروس

2- طرائق التحليل المستخدمة في البحث :

من أجل تقييم الأداء الزلزالي للمبنى المدروس تم في البحث تحليل المبنى باستخدام طريقة التحليل الستاتيكي اللاخطي Pushover Analysis وهي إحدى الطرائق التحليلية التي يتم من خلالها تمثيل الواقع وفهم سلوك المنشأ. يتم تطبيق قوة زلزالية بشكل متزايد تُستعمل في دفع المبنى ولها شكل النمط الأساسي، ويستمر الدفع الزلزالي حتى وصول

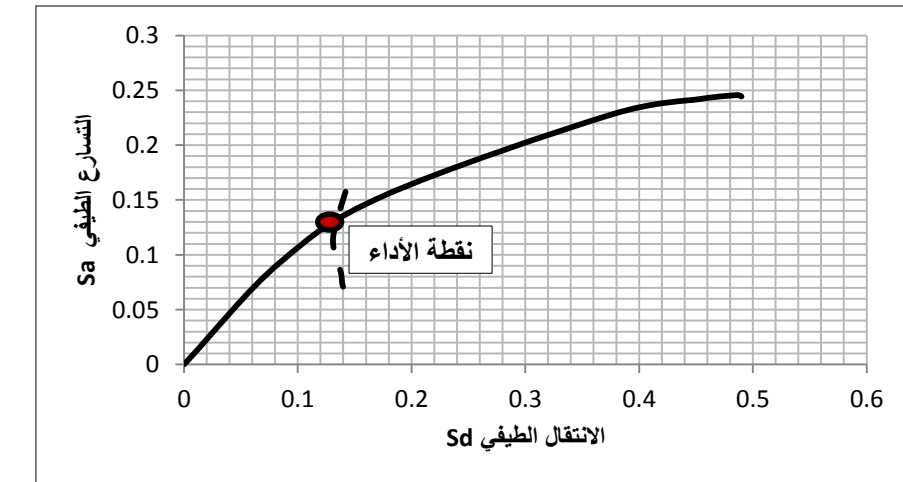
المنشأ للانهييار أو للانتقال الأعظمي المسموح حيث يمكن تقييم أداء المبنى من خلال إيجاد نقطة الأداء والتي تمثل نقطة تقاطع منحنى القدرة للمبنى المدروس ومنحنى طيف الاستجابة للمنطقة الزلزالية المدروسة. بعد تقييم أداء المبنى تم تحديد الاستجابة الديناميكية للمبنى المدروس باستخدام طريقة التحليل الزمني اللاخطي Time History Analysis لهزة زلزالية مُصنعة [4] تُمثل بسجل زمني اصطناعي مُعايير مع السجل الزمني للزلزال العالمي EI Centro earthquake, 1940 ومتطابق مع طيف الاستجابة التصميمي المرين للموقع المدروس $Z=0.3g$ $Ca=Cv=0.3$. يبين الشكل (3) السجل الزمني للزلزال المستخدم في البحث.



الشكل (3): السجل الزمني للزلزال

النتائج والمناقشة:

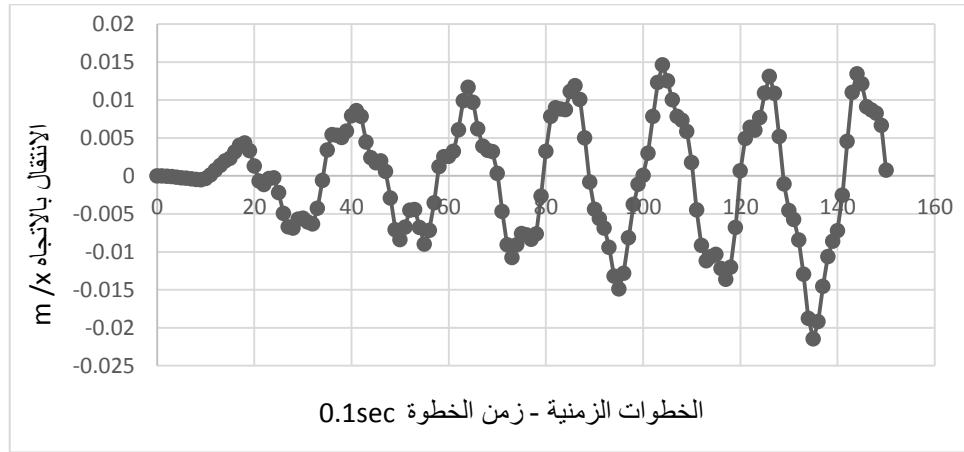
1- نتائج التحليل الستاتيكي اللاخطي و إيجاد نقطة الأداء performance point للمبنى المدروس: يعبر منحنى القدرة (الاستطاعة) Capacity Curves عن العلاقة بين قوى القص الدفعية المتزايدة والانتقالات الناتجة لنقطة مراقبة محددة غالباً تُعتمد في أعلى المبنى و للحكم على قبولية هدف الأداء الزلزالي للمبنى بشكل أولي لابد من ايجاد نقطة الأداء للمباني المدروسة ويُشترط أن تقع النقطة على منحنى طيف الاستطاعة وعلى منحنى الطلب الطيفي بعد أن يخفض الطيف التصميمي المرين ذي التخامد 5% وذلك ليمثل الطلب اللاخطي عند نفس قيمة انتقال، يبين الشكل (4) لنقطة الأداء للمبنى المدروس التي تتوافق مع قيمة الانتقال الطيفي $S_d=0.136m$.



الشكل (4): نقطة الأداء للمبنى

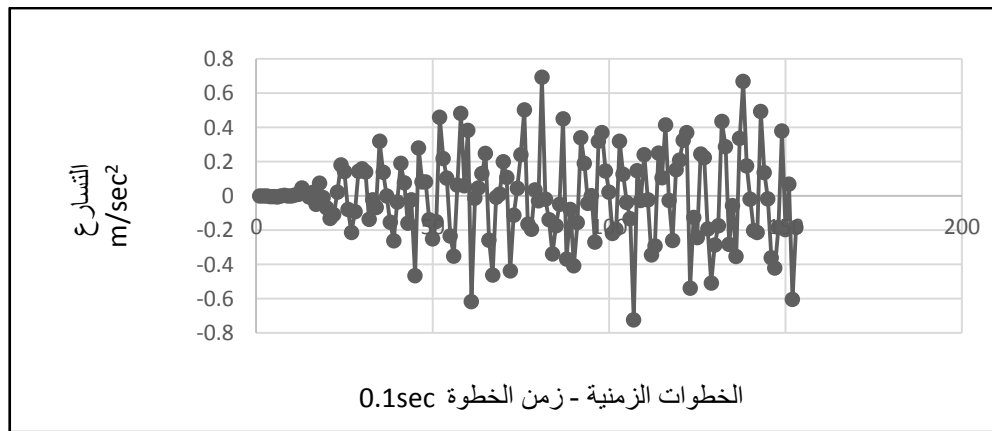
2- نتائج التحليل الديناميكي اللاخطي Non Liner Time History Analysis :

لتقييم الضرر الزلزالي في المبنى تم إيجاد منحنى الانتقال الطابقي والتسارع الزلزالي لنقطة مراقبة تقع في أعلى المبنى المدروس تحت تأثير السجل الزمني الذي تم التعبير عنه بسلسلة زمنية مكونة من 150 خطوة و يقدر الزمن لكل خطوة 0.1sec، يوضح الشكل (5) الانتقال الطابقي لنقطة مراقبة تقع في أعلى المبنى.



الشكل(5): الانتقال الزلزالي لنقطة المراقبة

كما تم إيجاد التسارع الزلزالي لنقطة المراقبة تحت تأثير السجل الزمني، يوضح الشكل (6) التسارع الزلزالي لنقطة المراقبة المدروسة.



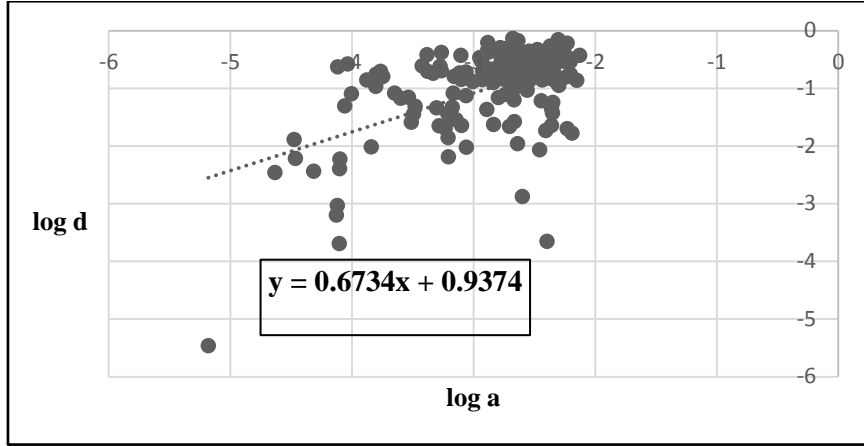
الشكل(6): التسارع الزلزالي لنقطة المراقبة

3- إيجاد منحنيات الضرر الزلزالي الاحتمالي باستخدام الانحدار الخطي :

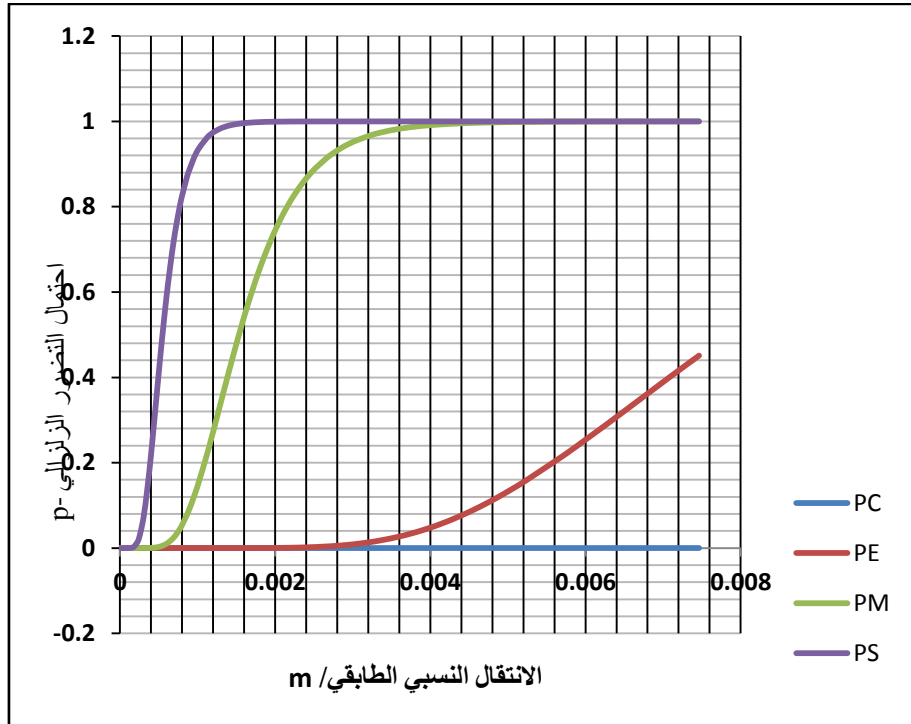
الانحدار الخطي Linear Regression أو نموذج الانحدار الخطي [6], [5] هو أداة إحصائية تُستخدم في تفسير متغير y عبر متغير آخر x (أو مجموعة من المتغيرات $x_1, x_2, x_3, \dots, x_p$) وفق دالة خطية بالشكل $y = \beta x + \alpha$ حيث تمثل كل من β و α معاملات خط الانحدار لمجموعة معينة من البيانات .

تم في البحث إيجاد علاقة الارتباط الخطي بين لوغاريتم التسارع الزلزالي $\log(a)$ ولوغاريتم الانتقال النسبي الطابقي $\log(d)$ لنقطة المراقبة الواقعة في أعلى المبنى المدروس تحت تأثير السجل الزمني كما هو موضح بالشكل (7). تبين

العلاقة الناتجة $y=0.6734x+0.9374$ إن معاملات الانحدار الخطي الناتجة $\beta=0.6734$ و $\alpha=0.9374$ وبلاستفادة من معاملات الانحدار الخطي تم إيجاد منحنيات التضرر الاحتمالي للزلاي للمبنى المدروس وفق العلاقة (1) والتي تعبر عن احتمال حدوث التضرر الزلاي للمبنى عند كل قيمة من قيم الانتقال النسبي الطابقي الناتج في نقطة المراقبة المدروسة تحت تأثير الزلاي وذلك لكل من عتبات التضرر الزلاي (الخفيف- المتوسط - الشامل - التام) حيث يجب أن تتراوح القيم الاحتمالية للتضرر ضمن المجال [0-1] ، كما هو موضح بالشكل (8).



الشكل (7): علاقة الارتباط الخطي بين لوغاريتم التسارع الزلاي ولوغاريتم الانتقال النسبي الطابقي لنقطة المراقبة



الشكل (8): منحنيات التضرر الاحتمالي الزلاي

(PC :احتمال وصول المبنى المدروس لحالة التضرر التام ، PE:احتمال وصول المبنى المدروس لحالة التضرر الشامل، PM:احتمال وصول المبنى المدروس لحالة التضرر المتوسط ، PS:احتمال وصول المبنى المدروس لحالة التضرر الخفيف)

الاستنتاجات والتوصيات:

الاستنتاجات:

تم من خلال البحث تقييم الأداء الزلزالي لمبنى بيتوني مسلح جملته الانشائية جملة ثنائية بنسبة مساهمة الإطارات تساوي 28% ، و التحقق من أدائه بإيجاد نقطة الأداء، كما تم ايجاد منحنيات التضرر الاحتمالي الزلزالي للمبنى باستخدام طريقة الانحدار الخطي تحت تأثير سجل زلزالي مُصنَّع، حيث بينت النتائج بأن المبنى المدروس لن يتعرض للانهياب التام PC ولكن يوجد احتمالية حدوث تضرر زلزالي شامل ومتوسط وخفيف وذلك موضح من خلال منحنيات التضرر الاحتمالي الزلزالي الناتجة من البحث. نلاحظ بأنه عند أقصى انتقال طابقي نسبي لنقطة المراقبة الواقعة بأعلى المبنى والمساوي ل 0.00746m سيكون احتمال التضرر الشامل PE يساوي 45% واحتمال التضرر المتوسط PM يساوي 99% واحتمال التضرر الخفيف PS يساوي 100%.

التوصيات:

إن تقييم التضرر الرياضي الاحتمالي لعنات التضرر الزلزالية لا تقتصر على نوع واحد من الجمل الانشائية، لكن من الممكن بالاستفادة مما ورد من نتائج البحث اجراء مقارنة لأداء منشآت بجمال إنشائية أخرى وبارتفاعات مختلفة. ضرورة اعتماد طريقة تطوير منحنيات التضرر الاحتمالي الزلزالي كإحدى طرق التصميم والتقييم للمباني القديمة أو الحديثة الإنشاء في القطر العربي السوري.

- (1) Nazri FM, Curves FF. Seismic fragility assessment for buildings due to earthquake excitation. Singapore: Springer; 2018..
- (2) Federal Emergency Management Agency (FEMA). Multi-Hazard Loss Estimation Methodology, Earthquake Model, Hazus-MH 2.1, Technical Manual.
- (3) Syria.code, 2012.Handbook for the Seismic Evaluation of Building in Syria.
- (4) “Structural Software For Analysis And Design ETABS.2016.”
- (5) Porter K. A beginner’s guide to fragility, vulnerability, and risk. University of Colorado Boulder, 2019.
- (6) Kassem MM, Nazri FM, Farsangi EN. Development of seismic vulnerability index methodology for reinforced concrete buildings based on nonlinear parametric analyses. MethodsX. 2019 .