

## Damage Assessment of Reinforced Concrete Moment Resisting Frame structures Using Fragility Curves

Dr. Nabil Debbaneh\*  
Dr. Nazih Mansour\*\*  
Ghanwa Daboul\*\*\*

(Received 23 / 3 / 2017. Accepted 18 / 7 / 2017)

### □ ABSTRACT □

The damage to the buildings during earthquakes has demonstrated the need of seismic evaluation which is used to predict the probability of damage to the building. This paper describes the vulnerability assessment of four reinforced concrete buildings in Lattakia city using fragility curves.

Fragility curves are used to describe the probability of damage being exceeded a particular damage state. For the development of fragility curves, guidelines given by HAZUS technical manual have been used. For the analysis, the RC buildings were modeled in SAP2000 v14.1, Non-linear static analysis procedure is used for the analysis of RC buildings.

The pushover analysis is carried out as per the ATC40 guidelines. Capacity curve is generated as a result of pushover analysis. Results from pushover analysis are used for plotting fragility curves. The Fragility Curves are plotted considering Spectral Displacement as a ground motion parameter. Various 'damages states' are used to describe the damage level of the building given in HAZUS technical manual. Finally, using constructed fragility curves the spectral displacement values that satisfy the 'slight', 'moderate', 'extensive', 'complete' performance level requirements were estimated. The fragility curves developed from the analysis were used to study the seismic performance of building models

**Key words** :Fragility Curves \_ Nonlinear Analysis \_ Damage States.

---

\* Associate Professor, structural Engineering Department, faculty of Civil Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.

\*\*Assistant Professor, structural Engineering Department, faculty of Civil Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.

\*\*\*Doctor Student, structural Engineering Department, faculty of Civil Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.

## تقييم الأذى الزلزالي باستخدام منحنيات التضرر الاحتمالي للمباني البيتونية المسلحة ذات جمل إطارية مقاومة للعزوم

الدكتور نبيل دبانة \*

الدكتور نزيه منصور \*\*

غنوة دبول \*\*\*

(تاريخ الإيداع 23 / 3 / 2017. قُبِلَ للنشر في 18 / 7 / 2017)

### □ ملخص □

يُعد تقييم التضرر الزلزالي الاحتمالي للجمل الإنشائية من الطرائق الرياضية الاحصائية التي تبين احتمال وصول منشأ لمستوى ما من الأذى الزلزالي وخلق نظرة مستقبلية لتقييم التضرر الزلزالي لأي مبنى قائم وذلك باستخدام توابع توزيع تراكمي تعبر عن احتمال تعرض المنشآت للأذى كتابع للبارامترات الزلزالية (التسارع الزلزالي أو التسارع الطيفي أو الانتقال الطيفي)، دُرس في البحث أربعة أبنية قائمة مختلفة تقع في نفس المنطقة الزلزالية وهي منطقة اللاذقية، حيث تم تقييم أداء هذه المباني باعتماد طريقة التحليل الستاتيكي اللاخطي وفق اشتراطات ATC40 باستخدام برنامج (Sap2000(ver14)، وعرفت عتبات التضرر Damage في البحث وفق ما ورد في اشتراطات HAZUS-MR5 وفق أربعة عتبات تضرر خفيف ومتوسط وشامل وتام (Complete\_Extensive\_Moderate\_Slight)، تم ايجاد منحنيات التضرر الاحتمالي للمباني الأربعة وذلك لحالات مستويات التضرر الأربعة، وتبين النتائج تقييم لكفاءة الأبنية من خلال قراءة لاحتمال التضرر الزلزالي للمباني المدروسة بالنسبة للانتقال الطيفي والتسارع الطيفي تحت تأثير الشدة الزلزالية الموافقة لمنطقة البناء.

الكلمات المفتاحية : منحنيات التضرر الاحتمالي الزلزالي \_ عتبات التضرر الزلزالي \_ التحليل اللاخطي

السكوني .

\* أستاذ مساعد \_ قسم الهندسة الإنشائية \_ كلية الهندسة المدنية \_ جامعة تشرين \_ اللاذقية \_ سورية

\*\* مدرس \_ قسم الهندسة الإنشائية \_ كلية الهندسة المدنية \_ جامعة تشرين \_ اللاذقية \_ سورية

\*\*\* طالبة دكتوراه \_ قسم الهندسة الإنشائية \_ كلية الهندسة المدنية \_ جامعة تشرين \_ اللاذقية \_ سورية

## مقدمة:

تتعرض المباني القائمة لتأثير متكرر للقوى الزلزالية مما يؤثر على كفاءتها مع ازدياد العمر الانشائي لها ومن الضروري تقييم كفاءة المباني في سورية لمعرفة احتمال وصولها الى عتبة التضرر الزلزالي الذي قد يسبب خسارة مادية وبشرية، يستطيع المهندس من خلالها وضع نظرة مستقبلية للحلول الانشائية الضرورية لتجنب هذه الخسائر. عالمياً اعتمد الباحثون لتقييم الكفاءة الزلزالية على نتائج التقارير الميدانية الاحصائية للمناطق المعرضة لكوارث زلزالية وعرفت هذه الطرائق بالطرائق التجريبية (ATC58,2003)[1]، كما استفاد الباحثون من العلاقات الرياضية الاحتمالية والاحصائية لتطوير منحنيات التضرر الاحتمالية (Fragility Curves) لتقييم كفاءة المنشأ وإيجاد احتمال وصوله لعتبة التضرر الزلزالي (ATC63,2010)[2]، حيث تُعبر هذه المنحنيات عن احتمال وصول المنشأ الى عتبات التضرر الزلزالي عند كل قيمة من قيم الانتقال الطيفي (Sdi)، أو التسارع الطيفي (Sai) لمنحني الاستطاعة الطيفي للمنشأ Capacity Spectrum Curve الناتج عن طيف الطلب الزلزالي للمنطقة Demand Spectrum Curve .  
توضح العلاقة (1) الشكل الرياضي لمنحنيات التضرر الاحتمالي (Fragility Curve) وفق HAZUS [3].

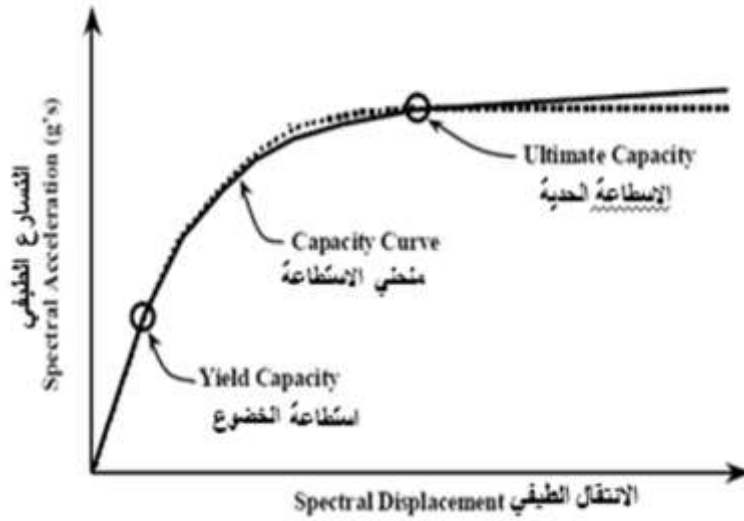
$$P \left[ \frac{ds}{Sd} \right] = \Phi \left[ \frac{1}{\beta ds} \ln \left[ \frac{Sd}{Sd, ds} \right] \right] (1)$$

حيث  $P[ds/Sd]$ : احتمال حدوث عتبة التضرر ds عند الانتقال الطيفي Sd،  $Sd$ : مجال الانتقالات الطيفية المحدد لعتبة التضرر ds، ds عتبات التضرر الزلزالي للمنشأ،  $\Phi$  تابع توزيع تراكمي طبيعي لعتبة تضرر زلزالي،  $\beta ds$  الانحراف المعياري للوغاريتم الطبيعي لعتبة التضرر ds، وتحدد قيمه من جداول (6.6)\_(6.7)\_(6.8) من HAZUS و  $Sd, ds$  المتوسط الحسابي لعتبة التضرر ds.

تختلف طرق تعريف عتبات التضرر الزلزالي Damage State للمنشآت في الكودات العالمية، حيث اعتمدت هذه الدراسة العتبات المعرفة في الدليل التقني الهندسي HAZUS [3] والتي تقسم إلى اربعة عتبات (الخفيف (S) Slight \_ المتوسط (M) Moderate \_ الشامل (E) Extensive \_ التام (C) Complete)، والتي ترتبط بالحالة الانشائية لعناصر المنشأ كالتالي:

- 1\_ التضرر الخفيف Slight: هو حدوث تصدعات بشقوق شعرية بسبب القص او الانعطاف في بعض الجوائز أو في الأعمدة قرب المفاصل أو ضمن المفاصل.
- 2\_ التضرر المتوسط Moderate: تحدث تشققات شعرية في معظم الأعمدة والجوائز في الإطارات المطاوعة بسبب قوى الانعطاف حيث تصل بعض عناصرها الى استطاعة الخضوع yield capacity .
- 3\_ التضرر الشامل Extensive: بعض عناصر الاطار تصل الى الاستطاعة الحدية ultimate capacity في الاطارات المطاوعة وتظهر تشققات انعطاف كبيرة ويبدأ التسليح الرئيسي بالتلدن، اما الاطارات غير المطاوعة فإنها ستخضع لانهيال بسبب قوى القص أو انهيار لوصلات التسليح الطولي .
- 4\_ التضرر التام Complete: يتعرض المنشأ للإنهيار أكيد بسبب فقدان استقرار الاطارات أو بسبب الانهيار الهش لعناصر الاطارات غير المطاوعة.

ويوضح الشكل (1) منحني الاستطاعة Capacity Curve لمنشأ بسلوك مطاوع و نقاط وصوله الى استطاعة الخضوع yield capacity و الاستطاعة الحدية ultimate capacity وفق الدليل التقني HAZUS [3].



الشكل (1): منحني الاستطاعة لمنشأ بسلوك مطاوع HAZUS

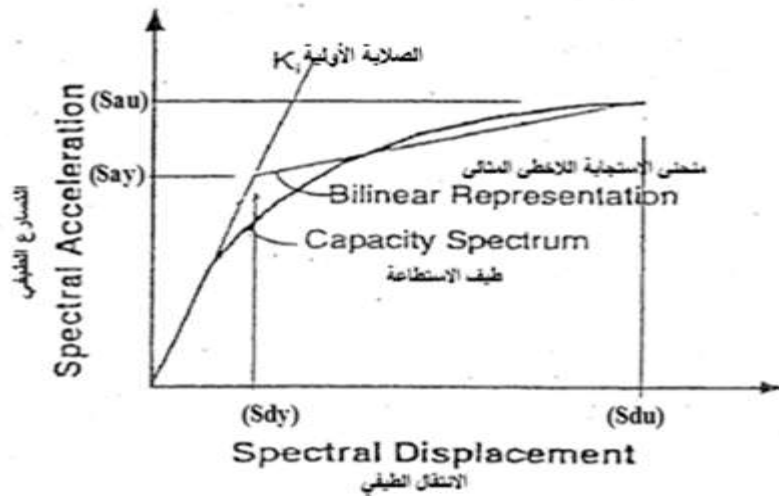
إن المتوسط الحسابي لكل عتبة من عتبات التضرر الزلزالي تعطى بالجدول (1) (Vazurkar U. Y, 2016)

[4]

الجدول (1): المتوسط الحسابي لعتبات التضرر الزلزالي

عتبات التضرر الزلزالي (Damage States)	متوسط الانتقال الطيفي (median Spectral Displacement)
Slight	$0.7 S_{dy}$
Moderate	$S_{dy}$
Extensive	$S_{dy} + 0.25(S_{du} - S_{dy})$
Complete	$S_{du}$

حيث:  $S_{dy}$  الانتقال الطيفي عند الخضوع لمنحني الاستطاعة الطيفي للمنشأ الذي يتم الحصول عليه من تحليل المنشأ تحليلاً ستاتيكيًا لاختيياً، و  $S_{du}$  الانتقال الطيفي الحدي والذي يوافق تعرض المنشأ لأقصى تسارع طيفي الشكل (2).



الشكل (2): منحني الاستجابة اللاخطي المثالي [5]ATC40

**أهمية البحث و أهدافه:**

يهدف هذا البحث إلى ما يأتي:

- 1- ايجاد منحنى الاستطاعة الطيفي Capacity Spectrum Curve للمباني المدروسة لتقييم أدائها تحت تأثير طيف الطلب الزلزالي Demand Spectrum Curve لمنطقة اللاذقية ذات الشدة الزلزالية  $Z=0.3$  وفق خارطة التمنطق الزلزالي للقطر العربي السوري 2012.
- 2- ايجاد منحنيات التضرر الاحتمالي Fragility Curve للمباني المدروسة بالاعتماد على Excel وتقييم قدرتها على تحمل الطلب الزلزالي المطبق عليها.
- 3- تقييم لكفاءة المباني المدروسة لمقاومة القوى الزلزالية المطبقة عليها وتقييم قدرتها من خلال استنتاج منحنيات التضرر الاحتمالي بالنسبة للانتقال الطيفي والتسارع الطيفي.

**منهجية البحث:****1\_ النماذج المدروسة:**

يحتوي توسع الهندسات لجامعة تشرين على عدة كتل حيث تم في هذا البحث اختيار الكتل ذات جملة اطارية مقاومة للعزوم ومؤلفة من ثلاث طوابق وخمس طوابق الجدول (3,4)، والمصممة وفق اشتراطات الكود السوري 2004 بالطريقة السكنوية الثانية بعد معايرة قوة القص القاعدية التصميمية بطريقة طيف الاستجابة لمنطقة اللاذقية، كما تم في البحث دراسة نماذج لمباني ذات جمل اطارية مقاومة للعزوم مؤلفة من سبعة طوابق وتسعة طوابق الجدول (5,6)، تقع في منطقة اللاذقية ومصممة وفق اشتراطات الكود العربي السوري 2004 بالطريقة السكنوية الثانية، مع العلم بأن الإرتفاع الطابقي يساوي 4m والمقاومة الاسطوانية المميزة للبيتون المستخدم  $f_c=25MPa$  وإجهاد السيلان لفولاذ التسليح الرئيسي  $f_y=400 MPa$ ، الهدف من اختيار هذه المنشآت هو تحقيق شمولية الدراسة لجميع انواع المنشآت اعتماداً على تصنيف الارتفاع للمباني الاطارية وفق اشتراطات (HAZUS) الجدول (2).

الجدول (2): تصنيف المباني ذات الجمل الاطارية المقاومة للعزوم بحسب الارتفاع

رمز المنشأ	وصف المنشأ	نوع المنشأ	عدد الطوابق
C1L	منشأ بيتوني مسلح إطارى مقاوم للعزوم Reinforced Concrete Moment Frame	منخفض - الارتفاع	1-3
C1M		متوسط - الارتفاع	4-7
C1H		عال - الارتفاع	8+

الجدول(3): أبعاد وتسليح الجوائز والأعمدة لمبنى بثلاث طوابق

التمسليح العرضي	التمسليح الطولي		أبعاد الجوائز	مقطع الجوائز	بلاطة الطابق
2T8/10cm	9T20	علوي	50*80	B1	الطابق الأول+الطابق الثاني
	5T20	سفلي			
2T8/10cm	8T25	علوي	50*80	B2	
	5T20	سفلي			
3T8/10cm	8T20	علوي	50*100	B3	
	5T20	سفلي			
2T8/15cm	9T20	علوي	50*80	B4	
	9T20	سفلي			
2T8/10cm	7T20	علوي	50*80	B1	الطابق الثالث
	5T20	سفلي			
2T8/10cm	5T25	علوي	50*80	B2	
	5T25	سفلي			
2T8/20cm	7T20	علوي	50*100	B3	
	7T20	سفلي			
2T8/20cm	7T20	علوي	50*80	B4	
	7T20	سفلي			
		التمسليح العرضي	التمسليح الطولي	أبعاده	المسود
		3T10/10cm	24T25	70*70	C1
		3T10/15cm	24T25	90*90	C2 (الأول)
		3T10/15cm	24T25	80*80	C2 (الثالث+الثاني)

الجدول(4): أبعاد وتسليح الجوائز والأعمدة لمبنى بخمس طوابق

التمسليح العرضي	التمسليح الطولي		أبعاد الجوائز	مقطع الجوائز	بلاطة الطابق
2T8/10cm	9T20	علوي	50*80	B1	الطابق الأول+الطابق الثاني
	5T20	سفلي			
2T8/10cm	8T25	علوي	50*80	B2	
	5T20	سفلي			
3T8/10cm	8T20	علوي	50*100	B3	
	5T20	سفلي			
2T8/15cm	9T20	علوي	50*80	B4	
	9T20	سفلي			
2T8/10cm	7T20	علوي	50*80	B1	الطابق الثالث +الطابق الرابع
	5T20	سفلي			
2T8/10cm	5T25	علوي	50*80	B2	
	5T25	سفلي			
2T8/20cm	7T20	علوي	50*100	B3	
	7T20	سفلي			
2T8/20cm	7T20	علوي	50*80	B4	
	7T20	سفلي			
2T8/15cm	7T16	علوي	50*80	B1	الطابق الخامس
	7T16	سفلي			
2T8/10cm	5T20	علوي	50*80	B2	
	5T20	سفلي			
2T8/15cm	7T20	علوي	50*100	B3	
	7T20	سفلي			
2T8/10cm	5T20	علوي	50*80	B4	
	5T20	سفلي			
		التمسليح العرضي	التمسليح الطولي	أبعاده	المسود
		3T10/10cm	24T25	70*70	C1
		3T10/15cm	24T25	90*90	C2 (الأول)
		3T10/15cm	24T25	80*80	C2 (الثالث+الثاني)
		3T10/15cm	24T25	70*70	C2 (الرابع+الخامس)

الجدول(5): أبعاد وتسليح الجوائز والأعمدة لمبنى بسبعة طوابق

التسليح العرضي	التسليح الطولي		أبعاد الجوائز	مقطع الجوائز	بلاطة الطابق	
2T8/10cm	9T20	علوي	50*80	B1	الطابق الأول+الطابق الثاني	
	5T20	سقي				
2T8/10cm	8T25	علوي	50*80	B2		
	5T20	سقي				
3T8/10cm	8T20	علوي	50*100	B3		
	5T20	سقي				
2T8/15cm	9T20	علوي	50*80	B4		
	9T20	سقي				
2T8/10cm	7T20	علوي	50*80	B1		الطابق الثالث+الطابق الرابع
	5T20	سقي				
2T8/10cm	5T25	علوي	50*80	B2		
	5T25	سقي				
2T8/20cm	7T20	علوي	50*100	B3		
	7T20	سقي				
2T8/20cm	7T20	علوي	50*80	B4		
	7T20	سقي				
2T8/15cm	7T16	علوي	50*80	B1	الطابق الخامس والسادس والسابع	
	7T16	سقي				
2T8/10cm	5T20	علوي	50*80	B2		
	5T20	سقي				
2T8/15cm	7T20	علوي	50*100	B3		
	7T20	سقي				
2T8/10cm	5T20	علوي	50*80	B4		
	5T20	سقي				
		التسليح العرضي	التسليح الطولي	أبعاده		المعمود
		3T10/10cm	24T25	70*70		C1
		3T10/15cm	24T25	90*100	C2 (الأول)	
		3T10/15cm	24T25	90*90	C2 (الثالث+الثاني)	
		3T10/15cm	24T25	70*70	C2 (لدى الطوابق)	

الجدول(6): أبعاد وتسليح الجوائز والأعمدة لمبنى بتسع طوابق

التسليح العرضي	التسليح الطولي		أبعاد الجوائز	مقطع الجوائز	بلاطة الطابق	
4T8/10cm	9T20	علوي	50*100	B1	الطابق الأول+الطابق الثاني	
	9T20	سقي				
4T8/10cm	8T25	علوي	50*100	B2		
	8T25	سقي				
3T8/10cm	8T20	علوي	50*100	B3		
	5T20	سقي				
4T8/15cm	9T20	علوي	50*100	B4		
	9T20	سقي				
4T8/10cm	7T20	علوي	50*80	B1		الطابق الثالث+الطابق الرابع
	5T20	سقي				
4T8/10cm	5T25	علوي	50*80	B2		
	5T25	سقي				
4T8/20cm	7T20	علوي	50*100	B3		
	7T20	سقي				
4T8/20cm	7T20	علوي	50*80	B4		
	7T20	سقي				
4T8/15cm	7T16	علوي	50*80	B1	الطابق الخامس	
	7T16	سقي				
3T8/10cm	5T20	علوي	50*80	B2		
	5T20	سقي				
3T8/15cm	7T20	علوي	50*100	B3		
	7T20	سقي				
3T8/10cm	5T20	علوي	50*80	B4		
	5T20	سقي				
3T8/15cm	7T16	علوي	50*80	B1		الطابق السادس والسابع والثامن والتاسع
	7T16	سقي				
3T8/10cm	5T20	علوي	50*80	B2		
	5T20	سقي				
3T8/15cm	7T20	علوي	50*100	B3		
	7T20	سقي				
3T8/10cm	5T20	علوي	50*80	B4		
	5T20	سقي				
		التسليح العرضي	التسليح الطولي	أبعاده	المعمود	
		3T10/10cm	24T25	70*70	C1	
		3T10/15cm	24T25	90*100	C2 (الأول)	
		3T10/15cm	24T25	90*90	C2 (الثالث+الثاني)	
		3T10/15cm	24T25	70*70	C2 (لدى الطوابق)	

**2\_طريقة التحليل المعتمدة في البحث:**

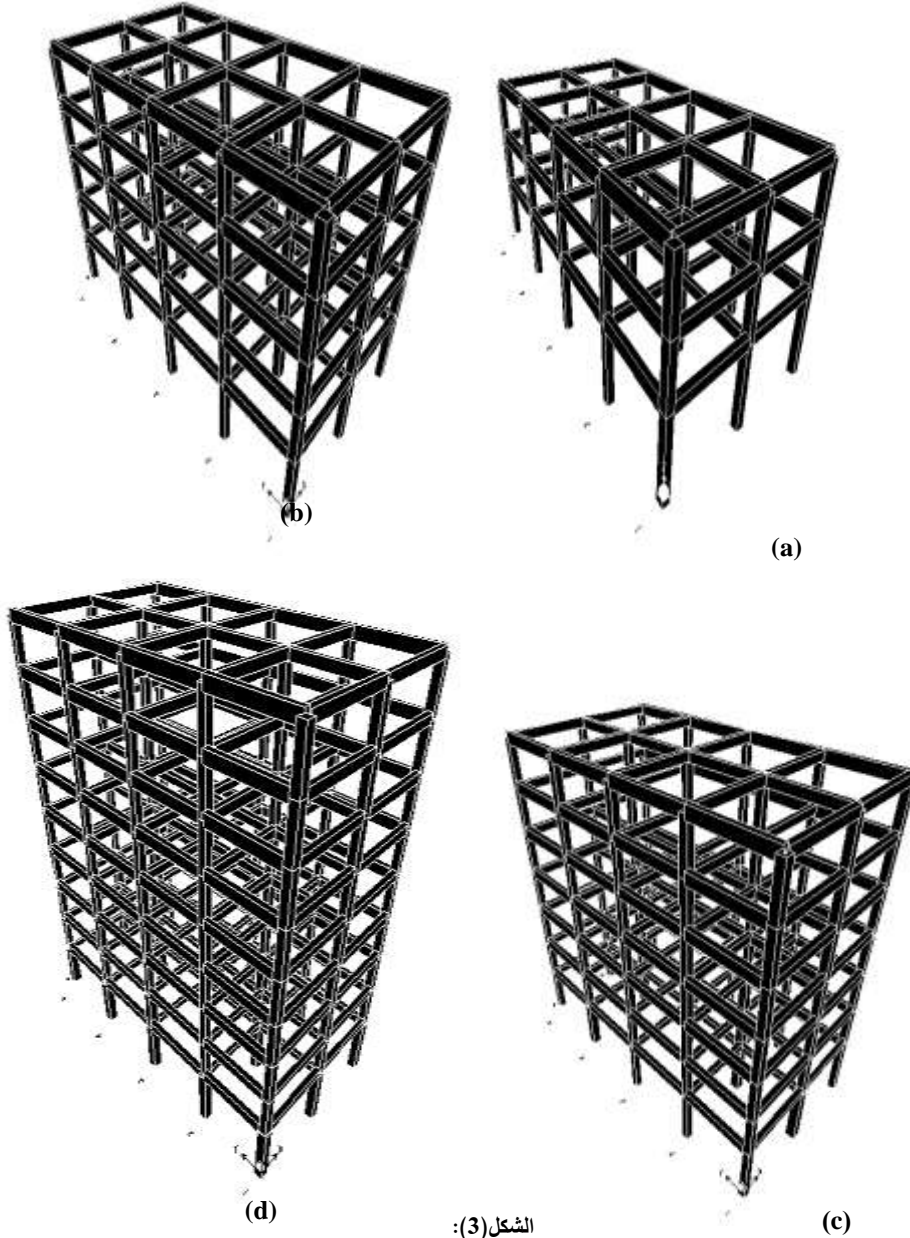
يتناول البحث دراسة المباني كنماذج ثلاثية الأبعاد بطريقة العناصر المنتهية الشكل(3) باستخدام برنامج SAP2000(V.14.1) حيث تم تقييم المباني المدروسة بطريقة التحليل الستاتيكي اللاخطي وفق اشتراطات ATC40

كما يلي:

- تعريف الخواص المرنة واللدنة لكافة العناصر الإنشائية وتعريف الأماكن المحتملة لتشكل المفاصل اللدنة في الأعمدة والجوائز .

- تطبيق القوى الشاقولية التي يتعرض لها المنشأ وتساوي إلى الحمل الميت المطبق و25% من الحمل الحي التصميمي .

- تطبيق القوى الجانبية الناتجة عن الزلزال وفي هذا البحث طبقت كقوة تتناسب مع كتلة الطوابق ونمط الاهتزاز الأول المرن للمنشأ .



الشكل(3):

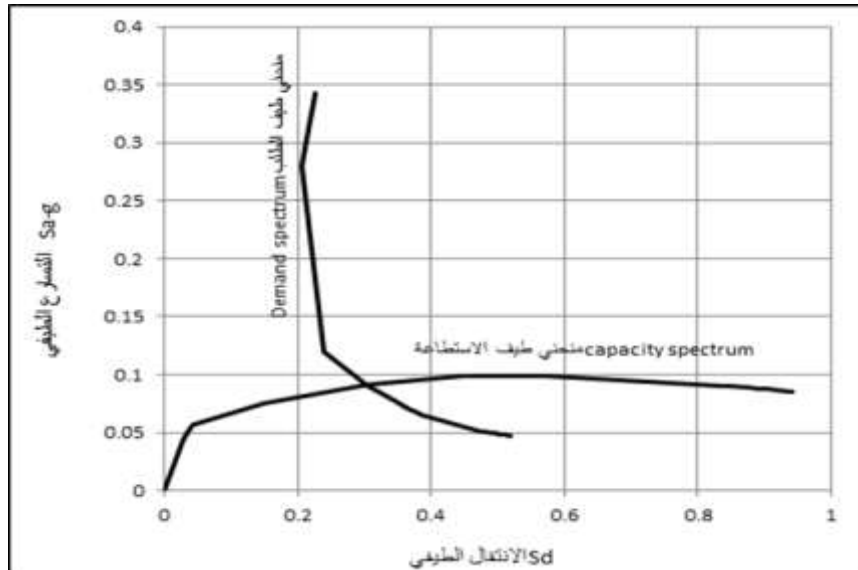
(a) مبنى إطاري بثلاث طوابق، (b) مبنى إطاري بخمس طوابق، (c) مبنى إطاري بسبعة طوابق، (d) مبنى إطاري بتسع طوابق



## النتائج والمناقشة:

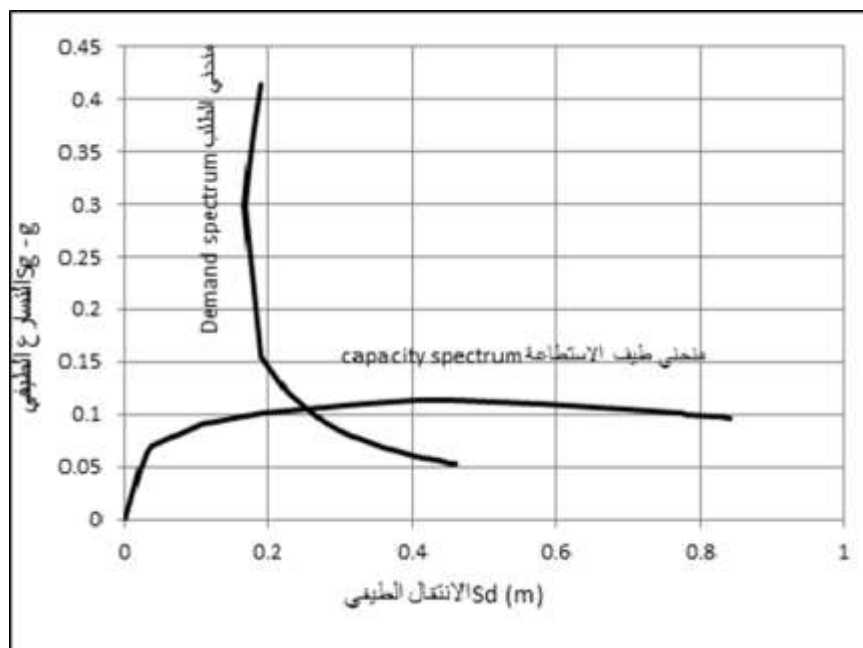
### 1\_منحنيات الاستطاعة ونقطة الإداء performance point:

يعبر طيف الاستطاعة عن قدرة المنشأ لتحمل الحمولات الزلزالية عند كل قيمة من قيم التسارع الطيفي لمنحني طيف الطلب، حيث تم في الدراسة ايجاد منحنيات طيف الاستطاعة للمباني المدروسة Capacity Spectrum Curves لطيف الطلب (استجابة) يتوافق مع الشدة الزلزالية لمدينة اللاذقية  $Z=0.3$ ,  $C_v=0.54$ ,  $C_a=0.35$  وفق اشتراطات الكود العربي السوري 2012 [6]، حيث توضح الأشكال (4,5,6,7) منحنيات طيف الاستطاعة للمباني الأربعة المدروسة و نقطة الأداء.



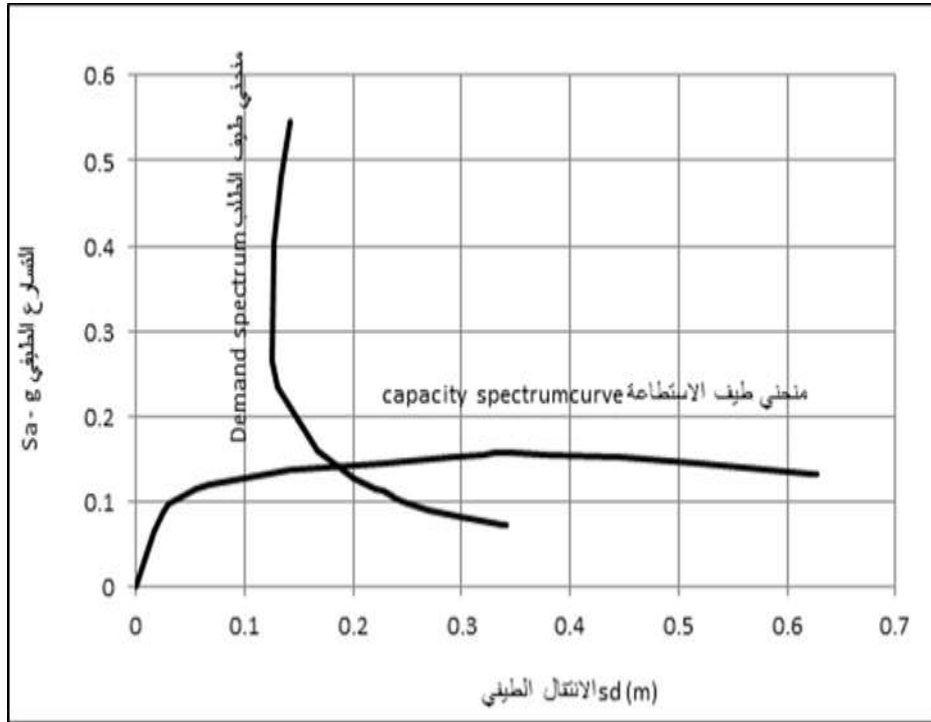
الشكل(4): منحني طيف الاستطاعة للمبنى بتسع طوابق

نقطة الأداء (Sa=0.089g,Sd=0.284)

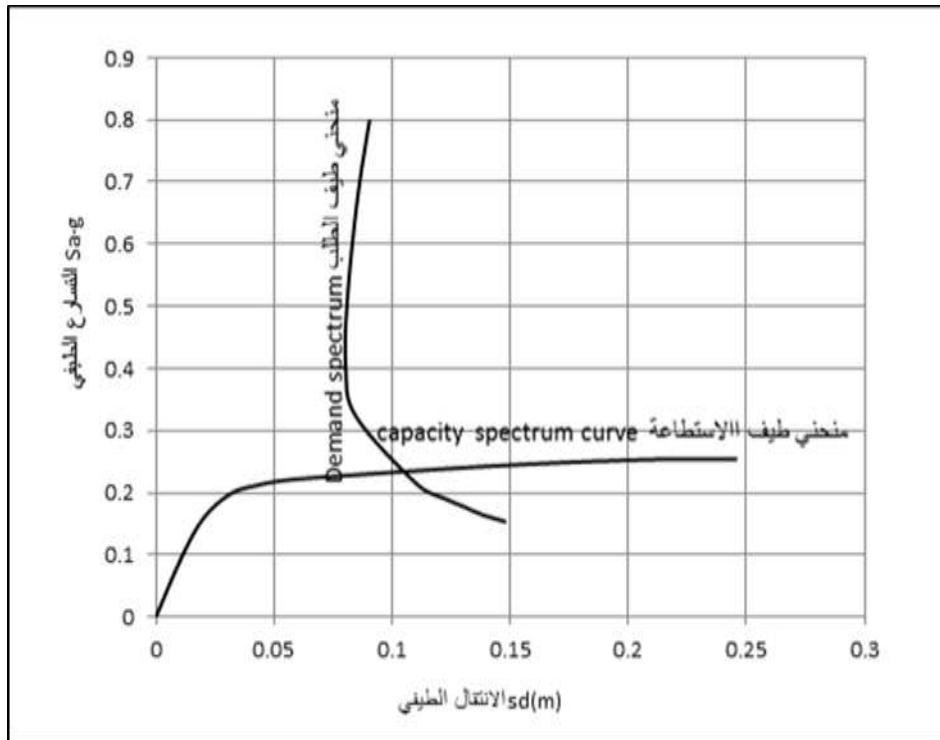


الشكل(5): منحني طيف الاستطاعة للمبنى بسبع طوابق

نقطة الأداء (Sa=0.105g,Sd=0.246)



الشكل(6): منحني طيف الاستطاعة للمبنى بخمس طوابق

نقطة الأداء ( $S_a=0.141g, S_d=0.182$ )

الشكل(7): منحني طيف الاستطاعة للمبنى بثلاث طوابق

نقطة الأداء ( $S_a=0.235g, S_d=0.109$ )

**2\_منحنيات التضرر الاحتمالي الزلزالي:**

ولإيجاد منحنيات التضرر الاحتمالي الزلزالي Fragility Curves التي يمكن من خلالها التحديد الدقيق لاحتمال حدوث التضرر في المنشآت المدروسة خلال تعرض المنشأ للحمولات الزلزالية، حيث يتراوح الاحتمال الرياضي بين (0-1) ويتعلق بقيم المتوسط الحسابي لمجال التسارع الطيفي أو الإنتقال الطيفي المتوافق مع الشدة الزلزالية للمنطقة المدروسة، كما يرتبط الاحتمال بالانحراف المعياري للشك أو الخطأ المحتمل بتقييم المتوسط الحسابي، وبالإستفادة من منحنيات الاستطاعة للمباني تم تحديد مجال التسارع الطيفي Sa والانتقال الطيفي Sd التي ستسبب مستويات التضرر الزلزالي الأربعة لكل منشأ و تحديد الانتقال الطيفي عند الخضوع والانتقال الطيفي الحدي للنماذج الأربعة المدروسة، وبتطبيق ما هو موضح بالجدول(1) تم إيجاد المتوسط الحسابي لكل عتبة تضرر لكل مبنى من المباني الأربعة المدروسة، الجداول(7,8,9,10).

الجدول(7): الانتقال الطيفي عند الخضوع والانتقال الطيفي الحدي والمتوسط الحسابي والانحراف المعياري للمبنى بثلاث طوابق

Sdy	Sdu	Sd(median damage state)		$\beta$
0.020242	0.23894	slight	0.0141694	0.8
		moderat	0.020242	0.95
		extensive	0.0749165	1.05
		complet	0.23894	1.05

الجدول(8): الانتقال الطيفي عند الخضوع والانتقال الطيفي الحدي والمتوسط الحسابي والانحراف المعياري للمبنى بخمس طوابق

Sdy	Sdu	Sd(median damage state)		$\beta$
0.024451	0.343594	slight	0.0171157	0.7
		moderat	0.024451	0.8
		extensive	0.10423675	1
		complet	0.343594	1

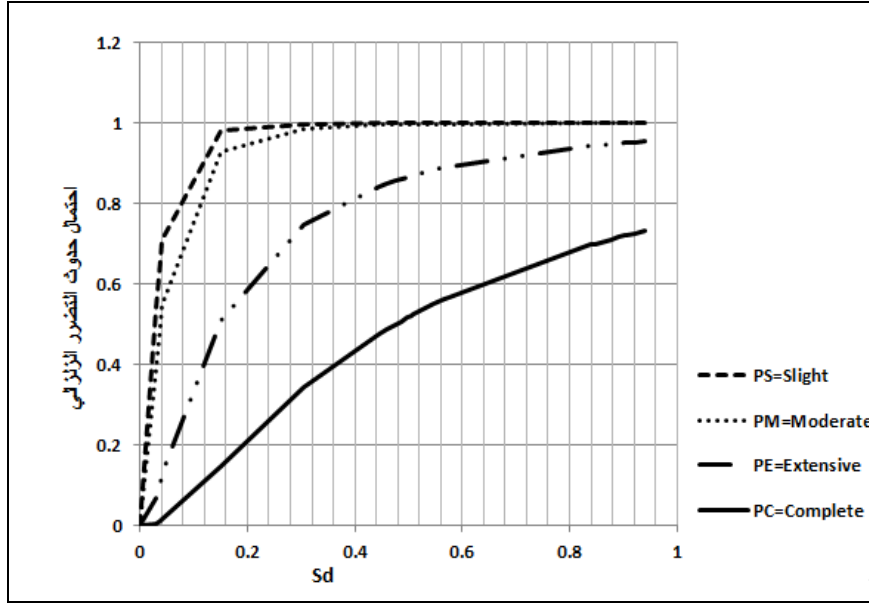
الجدول(9): الانتقال الطيفي عند الخضوع والانتقال الطيفي الحدي والمتوسط الحسابي والانحراف المعياري للمبنى بسبع طوابق

Sdy	Sdu	Sd(median damage state)		$\beta$
0.03038	0.431803	slight	0.021266	0.7
		moderat	0.03038	0.8
		extensive	0.13073575	1
		complet	0.431803	1

الجدول(10): الانتقال الطيفي عند الخضوع والانتقال الطيفي الحدي والمتوسط الحسابي والانحراف المعياري للمبنى بتسع طوابق

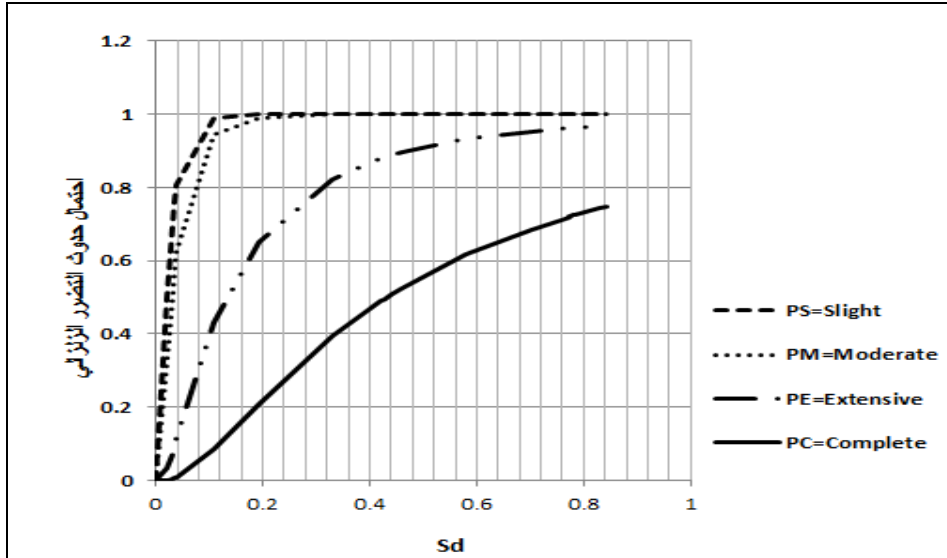
Sdy	Sdu	Sd(median damage state)		$\beta$
0.0372	0.47505	slight	0.02604	0.85
		moderat	0.0372	0.95
		extensive	0.1466625	1.1
		complet	0.47505	1.1

إن التراكم الطبيعي لقيم الانتقال الطيفي لطيف الاستطاعة بالنسبة للمتوسط الحسابي والانحراف المعياري لكل عتبة تضرر هو تابع يعبر عنه بمنحنيات Fragility Curves كما هو موضح بالعلاقة(1)، حيث تم في الدراسة إيجاد منحنيات التضرر الاحتمالي Fragility Curves باستخدام برنامج Excel، يبين الشكل(8) منحنيات التضرر الاحتمالي لمبنى إطاري مقاوم للعزوم يتألف من تسع طوابق .



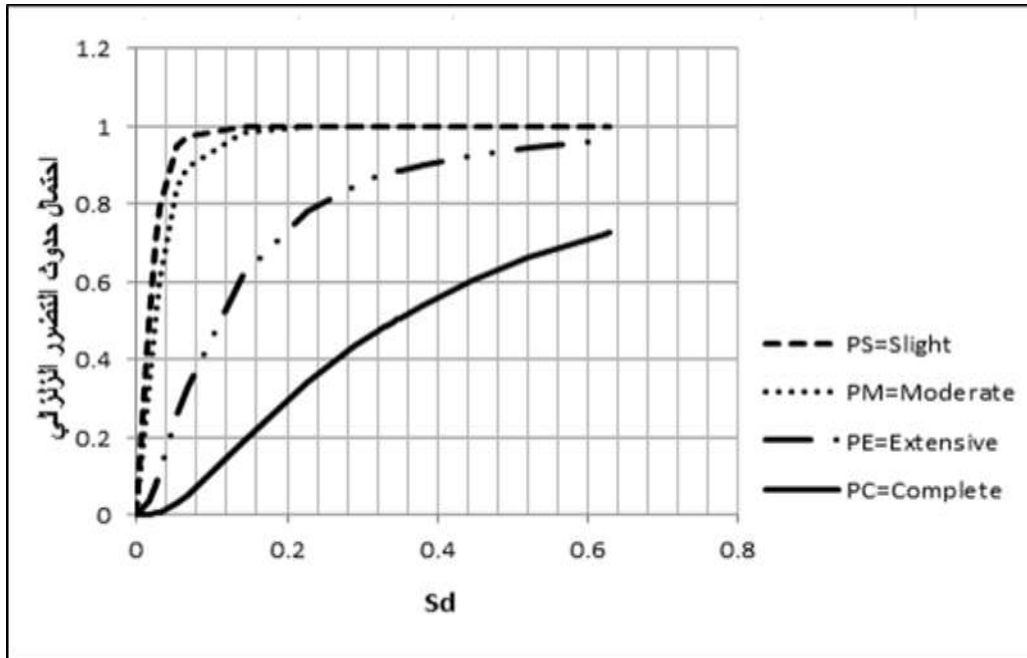
الشكل(8): منحنيات التضرر الاحتمالي للمبنى بتسع طوابق

ونلاحظ من الشكل السابق احتمال حدوث عتبات التضرر الأربعة عند كل قيمة من قيم الانتقال الطيفي التي سيصل لها المنشأ نتيجة تطبيق التسارع الطيفي، حيث عند وصول المبنى للانتقال الطيفي الأقصى 0.94 m فإن احتمال حدوث التضرر التام Complete يساوي 70% واحتمال حدوث التضرر الشامل Extensive يساوي 95%، كما تبين منحنيات التضرر الاحتمالي للمبنى الإطاري المقاوم للعزوم المؤلف من سبع طوابق الشكل(9) أنه عند وصول المبنى للانتقال الطيفي الأقصى 0.84 m سيكون احتمال التضرر التام Complete 74% واحتمال التضرر الشامل Extensive 97% .

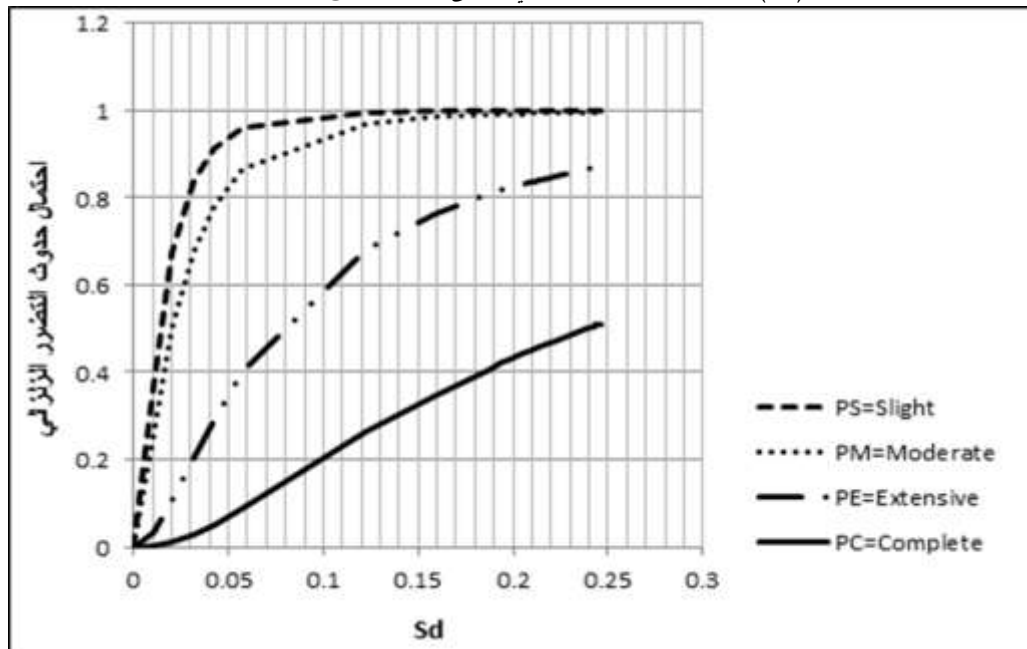


الشكل(9): منحنيات التضرر الاحتمالي للمبنى بسبع طوابق

وسيكون احتمال التضرر التام Complete 72% واحتمال التضرر الشامل Extensive 96% للمبنى الإطاري المقاوم للعزوم المؤلف من خمس طوابق الشكل(10) عند وصول المبنى للانتقال الطيفي الأقصى 0.62 m، وللمبنى الإطاري المقاوم للعزوم المؤلف من ثلاث طوابق الشكل(11) سيكون احتمال التضرر التام Complete 51% واحتمال التضرر الشامل Extensive 87% عند وصول المبنى للانتقال الطيفي الأقصى 0.24 m .



الشكل(10): منحنيات التضرر الاحتمالي للمبنى بخمس طوابق

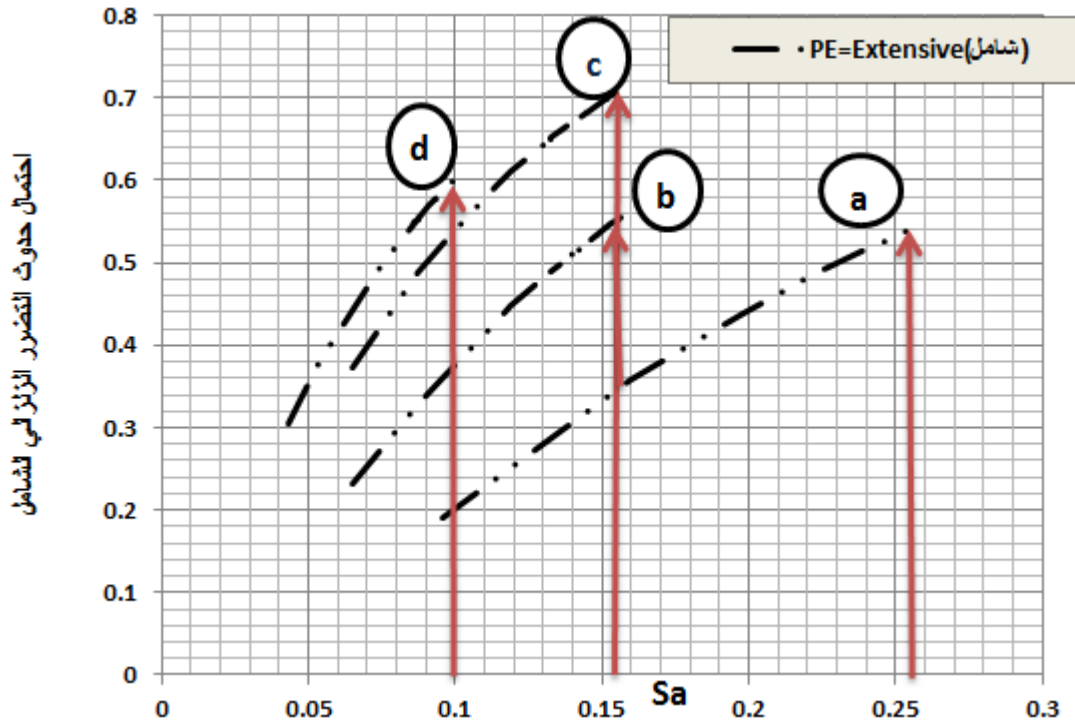


الشكل(11): منحنيات التضرر الاحتمالي للمبنى بثلاث طوابق

### 3\_منحنيات التضرر الاحتمالي الزلزالي بالنسبة للتسارع الطيفي:

إن المباني المدروسة مصصمة لتحمل شدة زلزالية  $0.3g$  كحد أقصى، ويمكن لتبيان تأثير تزايد التسارع على سلوك المنشأ سنجد بأن المنشأ سيتعرض لتضرر مختلف وأخطر مستويات التضرر هو التضرر التام Complete الذي سيؤدي إلى انهيار المنشأ عند وصول احتماله إلى قيمة "1".

لتقييم كفاءة المباني المدروسة في البحث تم ايجاد منحنيات التضرر الاحتمالي الزلزالي لعتبة التضرر الشامل Extensive عند كل قيمة من قيم التسارع الطيفي و منحنيات التضرر الاحتمالي الزلزالي لعتبة التضرر التام Complete للمباني الأربعة حدوث كما هو موضح بالشكل(12,13).

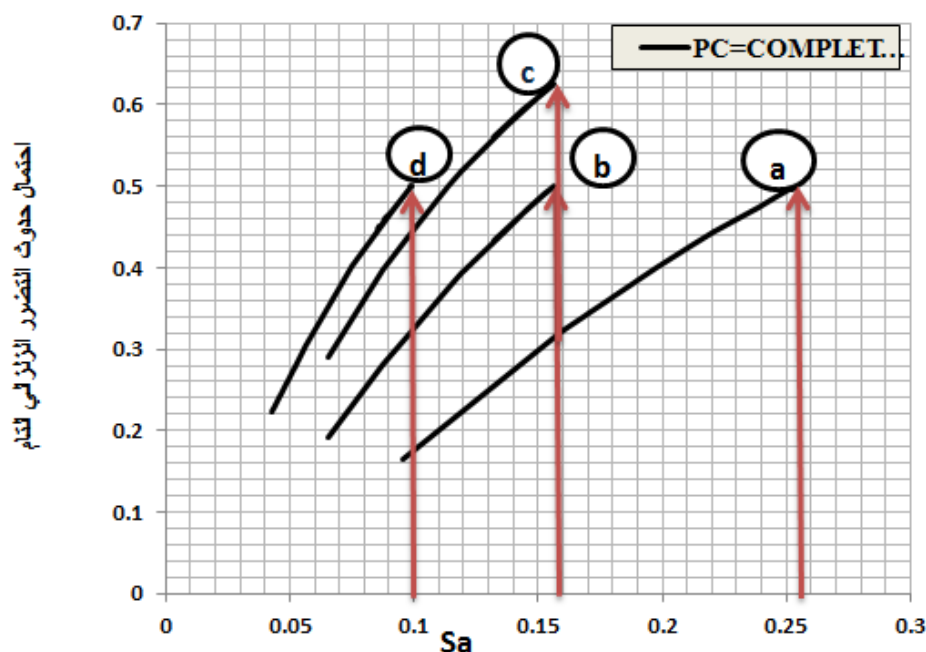


الشكل(12): منحنيات التضرر الاحتمالي الزلزالي لعتبة التضرر الشامل للمباني المدروسة (a) المبنى بثلاث طوابق، (b) المبنى بخمس طوابق، (c) المبنى بسبع طوابق، (d) المبنى بتسع طوابق

يوضح الجدول(11) التسارع الطيفي الذي يؤدي لحدوث أكبر احتمال للتضرر الشامل في المباني المدروسة في البحث.

الجدول(11): التسارع الطيفي الموافق لحدوث أكبر احتمال للتضرر الشامل

المبنى المدروس	التسارع الطيفي لمنحني الاستجابة للمبنى Sa	احتمال التضرر الشامل PE
a	0.25g	%54
b	0.16g	%55
c	0.16g	%70
d	0.098g	%60



الشكل (13): منحنيات التضرر الاحتمالي الزلزالي لعتبة التضرر التام للمباني المدروسة  
(a) المبنى بثلاث طوابق، (b) المبنى بخمس طوابق، (c) المبنى بسبع طوابق، (d) المبنى بتسع طوابق

يوضح الجدول (12) التسارع الطيفي الذي يؤدي لحدوث أكبر احتمال للتضرر التام في المباني المدروسة في البحث.

الجدول (12): التسارع الطيفي الموافق لحدوث أكبر احتمال للتضرر التام

المبنى المدروس	التسارع الطيفي لمنحني الاستجابة للمبنى Sa	احتمال التضرر التام PC
a	0.25g	%49
b	0.16g	%50
c	0.16g	%62
d	0.1g	%50

## الاستنتاجات والتوصيات:

### الاستنتاجات:

تم من خلال هذا البحث تقييم الأداء الزلزالي لمباني بيتونية مسلحة ذات جمل إطارية مقاومة للعزوم تتألف من ارتفاعات مختلفة تقع في منطقة اللاذقية وذلك من خلال استنتاج منحنيات التضرر الاحتمالي الزلزالي Fragility Curves التي تعبر عن الاحتمال الرياضي لوصول المباني المدروسة إلى عتبات التضرر الزلزالي عند كل قيمة من قيم الانتقال الطيفي والتسارع الطيفي لمنحني الاستجابة الطيفي للمباني والنتائج عن تطبيق منحني الطلب الزلزالي المتوافق مع المواصفات الزلزالية لمنطقة اللاذقية وفق الكود العربي السوري، تساعد هذه المخططات في عملية تقييم التضرر الزلزالي الاحتمالي للمباني المدروسة بطريقة سهلة ومباشرة، حيث تعتبر عتبة التضرر التام هي الحالة الأخطر في تقييم الأذى الزلزالي و نلاحظ من الشكل (13) أن احتمال التضرر التام في المباني المدروسة لن يصل للقيمة

العظمى للتضرر التام وهي قيمة الواحد (100%) حيث عند قيمة  $Sa(\text{Capacity})=0.1g$  احتمال حدوث عتبة التضرر التام Complete للمبنى الإطاري بتسع طوابق 50% وللمبنى بسبع طوابق 44% والمبنى بخمس طوابق 32% وللمبنى بثلاث طوابق 18%، وبالتالي فإن المباني قادرة على مقاومة الطلب الزلزالي للمنطقة المدروسة. كما نلاحظ أنه كلما ازداد عدد طوابق المنشأ كلما انخفضت كفاءته وقدرته لمقاومة هذه القوى ولكنها تبقى ضمن مجال الأمان حيث عند التسارع  $Sa(\text{Capacity})=0.25g$  سيسبب حدوث عتبة التضرر التام للمبنى الإطاري بثلاث طوابق باحتمال مساوي 49% وعند التسارع  $Sa(\text{Capacity})=0.16g$  فإن احتمال حدوث عتبة التضرر التام للمبنى بخمس طوابق 50% واحتمال حدوث عتبة التضرر التام للمبنى الإطاري بسبع طوابق 62% وعند  $Sa(\text{Capacity})=0.1g$  فإن التضرر التام للمبنى بتسع طوابق يصل إلى 50%.

#### التوصيات:

- 1- توصية الجهات المعنية بإعادة الإعمار في سورية باستخدام طرق الاحتمال الرياضي وتطبيقاتها، والتي أثبتت من خلال هذا البحث أنها تقدم نظرة فعالة وشاملة في تقييم التضرر الزلزالي المحتمل للمباني القائمة كما يمكن تقييم الكفاءة الزلزالية للمباني غير المنفذة بعد وبالتالي زيادة عامل الأمان بالتصميم وتقييم أدق لسلوك المباني .
- 2- ضرورة جمع قاعدة بيانات تساعد في تطوير منحنيات التضرر الاحتمالي للمنشآت المختلفة في القطر العربي السوري للمساعدة في وضع خارطة تضرر احتمالي سنوي للمنشآت في سورية والتي تساعد في تقييم الخسائر الاقتصادية المتوقعة.

#### المراجع:

- (1) ATC 58, Preliminary evaluation of methods for defining performance, 2003.
- (2) ATC 63, FEMA P695, Applied Technology Council, Redwood City. CA, 2010.
- (3) HAZUS-MH. Multi-Hazard Loss Estimation Methodology, Earthquake Model HAZUS-MH MR5 Technical Manual, Federal Emergency Management Agency, Washington. DC, 2011.
- (4) VAZURKAR, U. Y., CHAUDHARI, D. J. Development of Fragility Curves for RC Building, International Journal of Engineering Research ISSN:2319-68902347-Volume No.5 Issue: Special 3, pp: 591-594, 27-28 Feb. 2016.
- (5) ATC40, Seismic evaluation and retrofit of concrete buildings, Applied Technology Council. Redwood City. California, 1996.
- (6) الملحق الثاني للكود العربي السوري، نقابة المهندسين وفروعها في كافة المحافظات السورية، الجمهورية العربية السورية، 2012.