

تأثير مخطط (الإجهاد - التشوه) الناتج عن سرعات التشوه المختلفة على استجابة المنشآت الإطارية البيتونية المسلحة

طالب الدراسات العليا: م احمد علي كلية الهندسة المدنية - جامعة البعث

اشراف الدكتور: سليمان العامودي

ملخص البحث

يتضمن هذا البحث دراسة تحليلية باستخدام التحليل الديناميكي وفق السجلات الزمنية لاطار من البيتون المسلح مختبر على منصة اهتزاز، ويعنى بحساب التغيرات الحاصلة في الاستجابة الزلزالية لهذا الإطار أي التغيرات الحاصلة في الانتقالات الطابقية والتسارعات نتيجة تأثير سرعات التشوه المختلفة للبيتون، حيث أثبتت العديد من الدراسات أن المواصفات الميكانيكية للبيتون تتغير باختلاف سرعة تشوّهه.

وأظهرت الدراسة أن كلاً من المقاومة المميزة للبيتون، ومعامل مرونته، تزداد بازدياد قيمة سرعة التشوه بنسبة تتراوح ضمن المجال (5-80)% و (9-48)% على الترتيب. واعتماداً على ذلك فإنه من الملاحظ تناقص كل من الانتقالات الطابقية والتسارعات للإطار نتيجة تأثير مخطط الإجهاد-التشوه للبيتون الناتج عن سرعات تشوّه متزايدة، وتمّ التوصل لمخطط الإجهاد-التشوه للبيتون الملائم للإطار عن طريق المقارنة بين نتائج استجابة الإطار المخبرية والحاسوبية.

كلمات مفتاحية: السجل الزمني - الاستجابة الزلزالية - سرعات التشوه - مخطط (إجهاد-تشوه) - التحليل اللاخطي - الانتقالات الطابقية - التسارعات

Effect of the (Stress-Strain) Diagram Resulting from Different Strain-Rates on Response of the RC Frame Structures

Dr.Eng. Sulyman Al-Aamoudee

Eng. Ahmad Ali

Faculty of Civil Engineering

Abstract

This research includes an analytical study using dynamic analysis according to the time histories of a frame of reinforced concrete tested on a shaking table, and it is concerned with calculating the changes in the seismic response of this frame, i.e. changes in the story displacements and accelerations as a result of the effect of the different strain rates of the concrete, as many studies have proven that the mechanics properties of concrete change with the strain rates of its deformation.

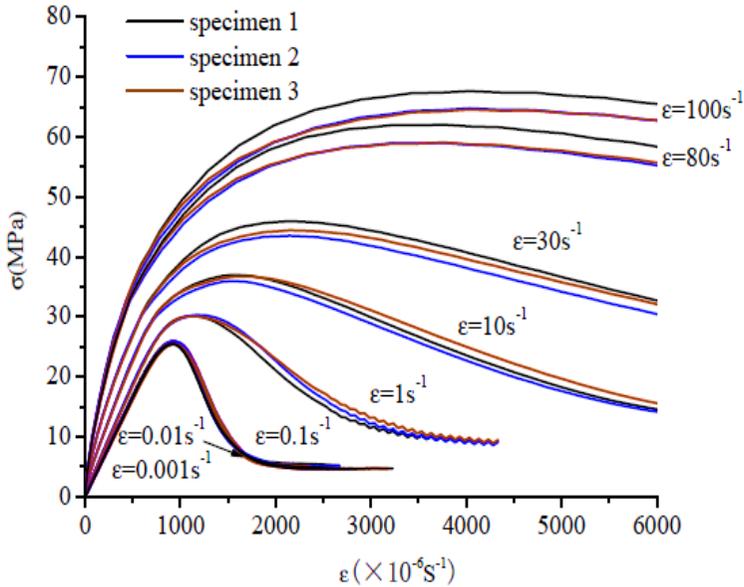
The study showed that both the characteristic strength of concrete and its elastic modulus increase with the increase in the value of the strain rates by a percentage ranging within the range (5-80%) and (9-48%), respectively. Depending on this it is noticeable decrease both of the story displacements and accelerations for frame effect result stress-strain diagram of concrete resulting from increasing strain rates, and the stress-strain diagram of concrete suitable for the frame was reached by comparing the results of the laboratory and computer response of the frame.

Keywords: time record - seismic response - strain rates - (stress - strain) diagram - nonlinear analysis - story displacements - accelerations

1- مقدمة البحث:

أثبتت دراسات تجريبية عديدة أجريت على عينات بيتونية، أن سلوك البيتون سيتغير تحت تأثير الأحمال الديناميكية، حيث أن طبيعة هذه الأحمال كتغير شدتها مع الزمن، فضلاً عن الاهتزاز القسري الذي تسببه للمنشأ سيؤدي إلى تغير في مقاومته. وبالتالي فإن تغير هذه الأحمال مع الزمن سيجعل البيتون يتشوه بسرعات مختلفة، بمعنى آخر إن مخطط (الإجهاد-التشوه) للبيتون سيتغير عند كل سرعة من هذه السرعات. لذلك فإن التصميم الدقيق يستوجب اختيار مخطط (الإجهاد-التشوه) الذي يحاكي السلوك الفعلي للبيتون في كل شدة زلزالية.

تبين المخططات بالشكل (1) النتائج التجريبية لإحدى الدراسات المرجعية [4]، و هي توضح التغير الحاصل في مخطط (الإجهاد-التشوه) من أجل سرعات تشوه مختلفة للبيتون تحت تأثير الضغط الديناميكي، ونلاحظ من هذه المخططات أن



الشكل (1) - مخطط (الإجهاد-التشوه) للبيتون الخاضع للضغط المحوري الديناميكي من أجل سرعات تشوه مختلفة [4]

تأثير مخطط (الإجهاد- التشوه) الناتج عن سرعات التشوه المختلفة على استجابة المنشآت
الإطارية البيتونية المسلحة

التغير سيضم كل من معامل مرونة البيتون ومقاومته والتشوه الأقصى (التشوه عند الانهيار) والتشوه النهائي، ويمكن القول أنه بزيادة سرعة التشوه تزداد مقاومة البيتون على الضغط بقيمة تصل حتى 30% بالإضافة لزيادة مطاوعته.

بالنسبة لاختبار العينات البيتونية على الضغط الديناميكي فيتم عن طريق أجهزة ضغط هيدروليكية متطورة غير متوفرة في مخابر الجمهورية العربية السورية.

ويوضح الجدول التالي آلات التجريب المخبري المستخدمة عالمياً من أجل سرعات تشوه مختلفة: [6]

الجدول (1) - تقنيات التجريب المخبري العالمية لقياس مقاومة البيتون تحت تأثير

التصنيف	مجال سرعة التشوه	تقنية التجريب المخبري	
1	$10^{-8} - 10^{-5}$	Specialized hydraulic machine	الزحف
2	$10^{-5} - 10^{-1}$	Servo-hydraulic machine	الأحمال شبه الستاتيكية Quasi-static
3	$10^{-1} - 10^0$	Pneumatic-hydraulic machine	سرعات التشوه العادية و المتوسطة
	$10^0 - 10^1$	Drop weight machine	
4	$10^1 - 10^4$	Split Hopkinson pressure bar	سرعات التشوه الكبيرة
5	$10^4 - 10^6$	Plate impact technique	سرعات التشوه الكبيرة جداً

سرعات التشوه المختلفة

2- هدف البحث:

حساب التغيرات الحاصلة في الانتقالات والتسارعات الطابقية نتيجة استخدام مخطط (الإجهاد-التشوه) الفعلي للبيتون تحت تأثير سرعات تشوه مختلفة.

2-1- الدراسات المرجعية:

2-1-1- دراسة تجريبية لخواص البيتون من النوع microconcrete على الضغط الديناميكي تحت تأثير سرعات تشوه مختلفة للباحثين SHEN Dejian و LU Xilin في جامعة Beijing في الصين عام 2008، [3]. اهتمت الدراسة بالعلاقة بين قدرة التحمل على الضغط ومعامل المرونة والتشوه عند الذروة في الحالتين الستاتيكية والديناميكية بالإضافة لنمط الانهيار من أجل سرعات تشوه مختلفة (10^{-4} - 10^{-1} /s) حيث تم إجراء اختبار قوة الضغط الديناميكية على عينات بيتونية موشورية (100×100×300mm)، وأسفرت التجارب عن النتائج التالية:

- تزداد قدرة تحمل البيتون بازدياد سرعة التشوه وفق النسب التالية:

سرعة التشوه (1/s)	10^{-4}	10^{-3}	10^{-2}	10^{-1}
نسبة الزيادة %	9.4	17.5	23.6	30.8

- يزداد معامل المرونة للبيتون بازدياد سرعة التشوه وفق النسب التالية:

واقترح الباحثون العلاقات التالية التي تلخص النتيجتين السابقتين:

سرعة التشوه (1/s)	10^{-4}	10^{-3}	10^{-2}	10^{-1}
نسبة الزيادة %	8	15.7	26.6	35.8

- العلاقة بين قدرة التحمل على الضغط الستاتيكية والديناميكية على الشكل التالي:

$$\frac{f_c^d}{f_c^s} = 1 + 0.0795 \lg\left(\frac{\dot{\epsilon}_c}{\dot{\epsilon}_{cs}}\right) \dots (1)$$

حيث: f_c^d - قدرة تحمل البيتون الديناميكية من أجل سرعة تشوه معينة (MPa)

- f_c^s قدرة تحمل البيتون الستاتيكية (MPa)

- $\dot{\epsilon}_c$ سرعة تشوه البيتون (1/s)

- $\dot{\epsilon}_{cs} = 30 * 10^{-6} s^{-1}$ سرعة تشوه البيتون الستاتيكية

- العلاقة بين معامل المرونة الستاتيكي و الديناميكي:

$$\frac{E_c^d}{E_c^s} = 1 + 0.08751 \lg\left(\frac{\dot{\epsilon}_c}{\dot{\epsilon}_{cs}}\right) \dots (2)$$

حيث: E_c^d - معامل مرونة البيتون الديناميكي من أجل سرعة تشوه معينة (MPa)

- E_c^s معامل مرونة البيتون الستاتيكي (MPa)

2-1-2- دراسة للباحثين Liping و Qing Wang و Yijiang Peng

و Ying و Mahmoud M. A. Kamel و Hongtao Peng في جامعة

Beijing في الصين عام 2019، وهي محاكاة رقمية لتحديد الخواص

الميكانيكية الديناميكية للبيتون تحت تأثير الضغط المحوري. [4]

تعتمد الدراسة على نمذجة ثنائية البعد لمقطع عينات البيتون بطريقة العناصر

المحدودة (العنصر المستوي المثلي)، حيث أن العناصر الأساسية في عملية

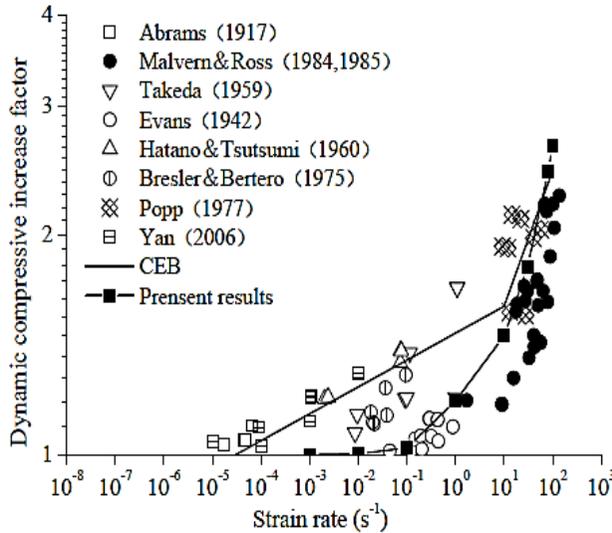
النمذجة هي الحصىات والملاط الاسمنتي والفراغات الهوائية كما تم الأخذ

بعين الاعتبار الضرر الحاصل ضمن كل مرحلة من مراحل التحميل، و تم

إيجاد علاقة الإجهاد-التشوه من أجل سرعات تشوه مختلفة بالإضافة لدراسة نمط انهيار البيتون.

من أهم النتائج التي توصل لها البحث هو الحصول على مخططات (إجهاد-تشوه) من أجل سرعات تشوه مختلفة كما هو موضح في الشكل (2) الوارد مسبقاً.

بالإضافة لمقارنة قيمة معامل التضخيم الديناميكي DIF (المحسوب اعتماداً على نسب التشوه الحاصلة في مقطع العينات البيتونية لكل مرحلة من مراحل التحميل) مع بقية علاقات معامل التضخيم التي أوجدها بعض الباحثين، كما يوضح الشكل (2):



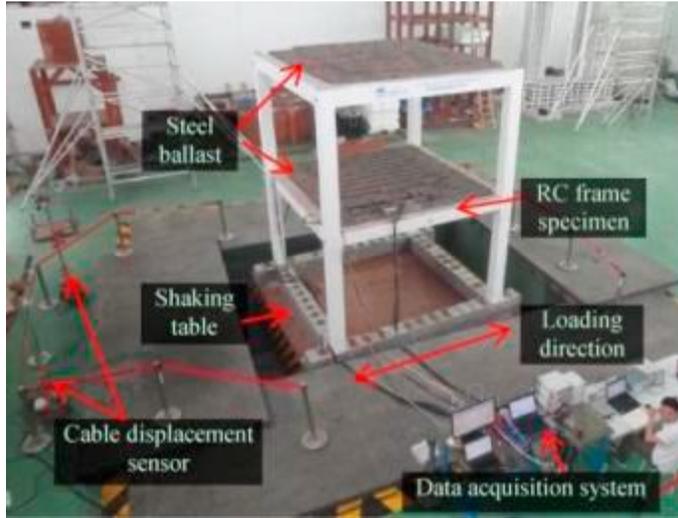
الشكل (2)- تغير معامل التضخيم الديناميكي للبيتون مع سرعات التشوه وفق عدة علاقات

من الملاحظ أن كود CEB يعطي قيمةً وسطيةً لمعامل التضخيم الديناميكي بين الدراسات وهو الكود المعتمد بالدراسة.

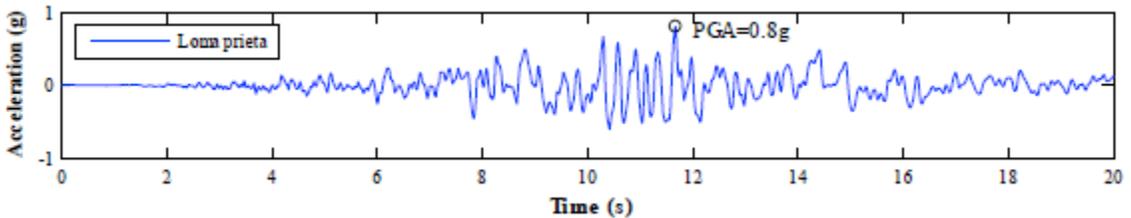
2-1-3- دراسة للباحثين Shuang Hou و Haibin Zhang و Xin Han و Jinping Ou في جامعة Guangzhou (Canton) في الصين عام 2017،

[5] الدراسة بعنوان مراقبة الأضرار الناجمة في الإطار البيتوني المسلح المختبر على طاولة اهتزاز ومقارنتها مع نتائج نموذج محلل بطريقة العناصر المحدودة

حيث تمت دراسة اطار فراغي من البيتون المسلح مكون من طابقين، ومعرض لهزة صناعية بالاتجاه الأفقي عبر تجربة طاولة الاهتزاز، وتم مراقبة التشوهات والتسارعات والانتقالات من أجل هزة لها السجل الزمني ذاته للزلزال Loma Prieta earthquake مع شدة أعظمية قدرها 0.8g، وبالنسبة للنمذجة الرقمية فقد استخدمت طريقة العناصر المحدودة ببرنامج OpenSEES تهدف الدراسة إلى تطوير نموذج العناصر المحدودة المستخدم في نمذجة منشآت البيتون المسلح وتقييم فاعليته بالاعتماد على النتائج المخبرية.



الشكل (3)- الإطار المختبر على منصة الاهتزاز



الشكل (4)- السجل الزمني للزلزال Loma Prieta عام 1989

بلغت قيمة دور الاهتزاز الأول والثاني للإطار (0.264 sec) (0.079 sec) على الترتيب، علماً أنها قيم الأدوار قبل تشقق الإطار بفعل الحمولة الزلزالية. أسفرت الدراسة عن النتائج التالية:

يمكن استخدام الحساسات من النوع piezoelectric smart aggregate لمراقبة الإجهادات الداخلية في مقاطع الإطارات البيتونية المسلحة الخاضعة للأحمال الزلزالية.

إن عدم تجانس البيتون كمادة مكونة أصلاً من خليط من المواد يؤثر على كلٍ من مقاومته المميزة، ومعامل مرونته. وإن هذا التأثير سيزداد مع التطور الحاصل في الشقوق التي تظهر خلال المرحلة اللدنة.

إن مراقبة الإجهادات الداخلية باستخدام الحساسات المذكورة، أسهمت في تحسين دقة المحاكاة عند نمذجة المنشأ بطريقة العناصر المحدودة.

2-2- منهجية البحث:

تم الاعتماد بشكلٍ أساسي على نتائج النمذجة الحاسوبية في حساب التغير الحاصل في الانزياحات وذلك باستخدام البرنامج الهندسي Etabs16 حيث تم مقارنة نتائج النموذج التجريبي الوارد في الدراسة [5] مع نتائج النموذج التحليلي المدروس باستخدام البرنامج.

وبالنسبة لمواصفات البيتون فقد تم تعريف مخطط (اجهاد-تشوه) ومعامل المرونة، وفق سرعات التشوه المختلفة والمأخوذة وفق العلاقات الواردة في الدراسات المرجعية والكودات العالمية كما سينوه عنها لاحقاً، وقورنت قيم الانزياحات الطابقية لكل نموذج (أي عند كل سرعة تشوه)، مع النتائج التجريبية. حيث اعتمدنا بالمقارنة على معيارين، المعيار الأول: وهو تقارب قيم الانزياحات الأعظمية، والثاني: تقارب الشكل العام للسجل الزمني للانزياح بين النموذجين.

الغرض من المقارنة هو الربط بين مخطط (اجهاد-تشوه) للبيتون الناتج عن سرعة تشوه معينة مع الشدة الزلزالية، وبالتالي معرفة السلوك الفعلي للبيتون أثناء الزلزال.

3- مواد وطرق البحث:

3-1- المواصفات الميكانيكية للنموذج المدروس:

تأثير مخطط (الإجهاد- التشوه) الناتج عن سرعات التشوه المختلفة على استجابة المنشآت
الإطارية البيتونية المسلحة

- مواصفات المواد المستخدمة:

الجدول (2)-مواصفات البيتون المستخدم في التجربة

التشوه عند الذروة ϵ_c ($\mu\epsilon$)	معامل المرونة E_c (MPa)	المقاومة المميزة f'_c (MPa)	الموقع
-	34500	76.0	الأساسات
1589	30200	28.9	الطابق الأول
1529	31100	25.3	الطابق الثاني

الجدول (3)-مواصفات فولاذ التسليح المستخدم في التجربة

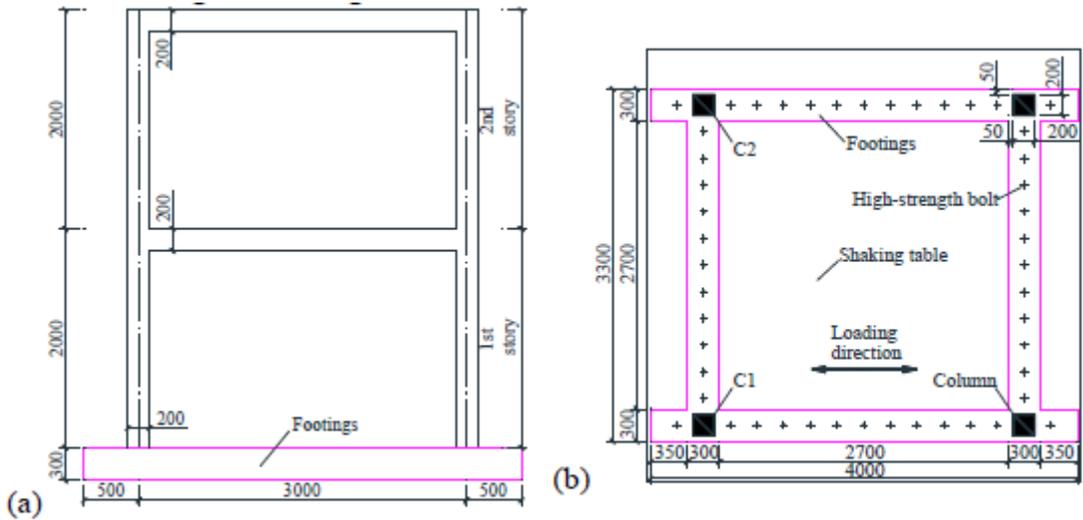
التشوه عند الذروة ϵ_s ($\mu\epsilon$)	معامل المرونة E_s (MPa)	حد الانقطاع f_u (MPa)	حد الخضوع f_y (MPa)	الموقع
2417.5	202200	590.7	436.1	فولاذ التسليح الطولي، #4
-	-	502.3	298.3	فولاذ التسليح العرضي، #2

2-3- وصف عام للنموذج المدروس (المواصفات البعدية والتسليح):

الإطار مكون من طابقين الارتفاع الطابقي (2m)، تتصل جوائزه مع الأعمدة بعقد صلبة، وهو موثوق عند الأساسات ارتفاع الأساس (0.3m)، وعليه فإن الارتفاع الكلي للنموذج (4.3m)، الإطار متصل بطاولة اهتزاز أبعادها (4m×4m)، تم وضع أوزان مية على كلا الطابقين قيمتها الكلية (5.7t)

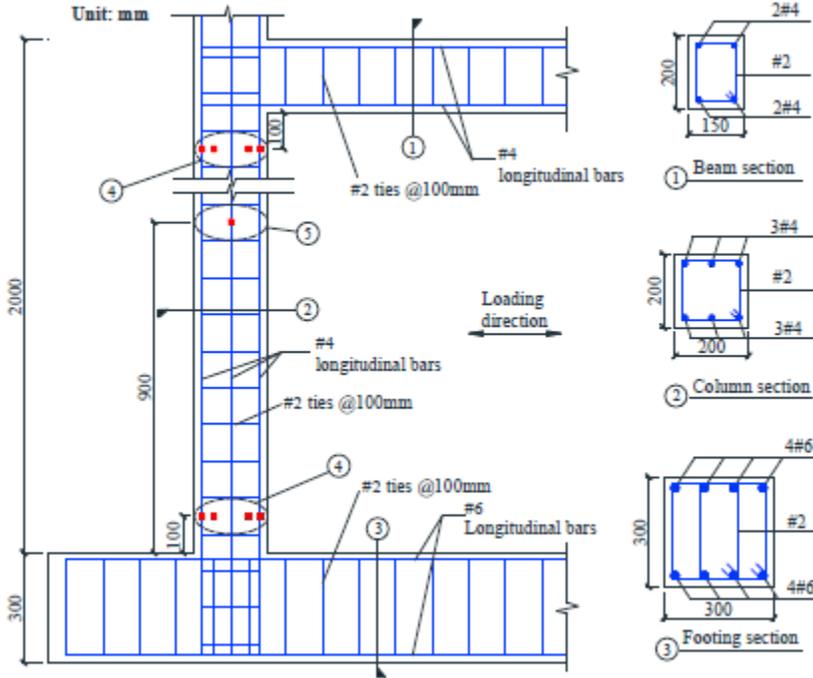
الجدول (4)- المواصفات البعدية والتسليح الطولي والعرضي لعناصر الإطار

العنصر	أبعاد المقطع العرضي (mm)	التسليح الطولي	التسليح العرضي
الجوائز	150×200	التسليح العلوي 2T4	1CØ2/100mm
		التسليح السفلي 2T4	
الأعمدة	200×200	6T4	1CØ2/100mm
الأساسات	300×300	التسليح العلوي 4T6	2CØ2/100mm
		التسليح السفلي 4T6	



الشكل (5)- المواصفات البعدية للإطار (a) مقطع شاقولي للإطار (b) مسقط أفقي

لقاعدة الإطار



الشكل (6) - مقطع طولي ومقاطع عرضية في عناصر الإطار توضح التسليح

3-3 - الطريقة النظرية للبحث:

3-3-1 - التحليل الزلزالي للمنشأ: للتحليل الزلزالي عدة طرق: [7 ، 8]

(a) التحليل الستاتيكي الخطي (كاستخدام الطريقة الاستاتيكية المكافئة أو

الطريقة المطورة) واللاخطي

(b) تحليل الدفع المتتالي Pushover Analysis

(c) التحليل الديناميكي الخطي حسب طيف الاستجابة

(d) التحليل الديناميكي باستعمال التاريخ الزمني (التسجيلات الزمنية): وله عدة

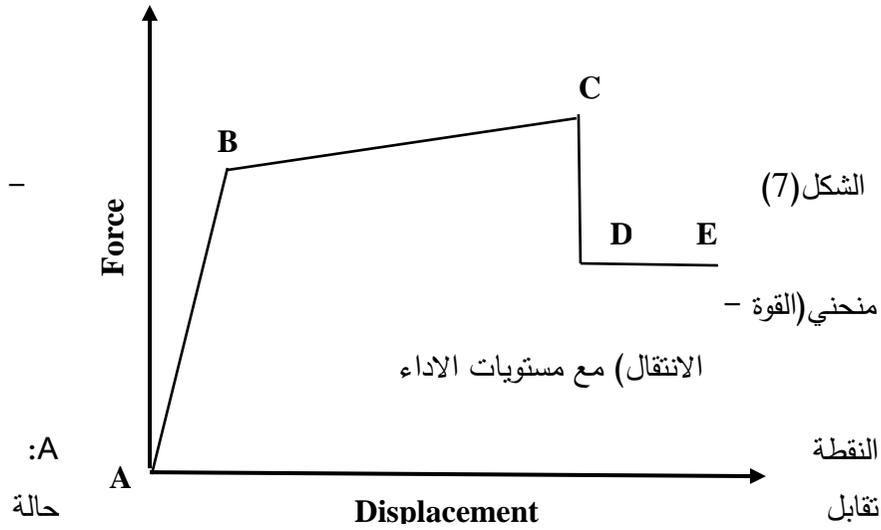
أنواع:

- التحليل الخطي النمطي

- التحليل اللاخطي النمطي أو ما يعرف بالتحليل اللاخطي السريع Fast Nonlinear Analysis ويرمز له FNA يمتاز هذا التحليل بسرعته في ايجاد الانتقالات اللاخطية الناتجة، ولكنه غير قادر على تحديد مستوى التلدين في المفاصل اللدنة ومستويات الأداء للجملة. كما أن هذا التحليل يبدأ من الصفر ولا يعتمد على أية نتائج لاخطية سابقة. وتعتبر هذه الطريقة تحليل زمني لكنه نمطي يعتمد في حل المعادلات على الأنماط وليس على التكامل المباشر وأهم مميزاتها أنها لا تتطلب الوقت الكبير في التحليل.
- التحليل الخطي بطريقة التكامل المباشر
- التحليل اللاخطي بطريقة التكامل المباشر (Nonlinear Direct Integration)

وتجدر الإشارة إلى أن متطلبات التصميم بالطرق الحديثة أصبحت تهتم بدراسة السلوك اللدن للعناصر الإنشائية بعد حد الخضوع وذلك بهدف الاستثمار الأمثل لقدرة هذه العناصر في مقاومة أشكال التحميل المختلفة التي يمكن أن تتعرض لها المنشأة الهندسية. مما دعا إلى تطوير طرق التحليل الإنشائي، وبشكل خاص طريقة العناصر المنتهية، باتجاه التحليل اللدن أو اللاخطي حيث يتميز هذا النوع من التحليل بضرورة إسناد المفاصل اللدنة المتوقع حدوثها بأماكن محددة من الجوائز والأعمدة، وعلى ذلك فإن حل العناصر سيصبح أكثر تعقيداً وهذا يترتب عليه وقت إضافي لعملية التحليل.

ويتم تقييم الضرر الزلزالي المتوقع في العناصر باستخدام منحنى (القوة - الانتقال) والموضح بالشكل (7).



التفريغ أو نقطة المبدأ.

النقطة B: تقابل نقطة الخضوع.

النقطة C: تقابل الحمولة القصوى الاسمية مع تشوه كبير وتدهور في المقاومة يبدأ بالظهور.

الهبوط من النقطة C إلى النقطة D: يمثل الفشل الأولي للعنصر المدروس في مقاومة الأحمال الجانبية بعد النقطة C

المقاومة المتبقية من النقطة D إلى النقطة E: يسمح في هذا المجال بالاستمرار بمقاومة الأحمال الجانبية على العنصر المدروس.

النقطة E: بعد الوصول إلى هذه النقطة يصبح العنصر غير قادر على الاستمرار بمقاومة الأحمال الجانبية.

3-3-2- ايجاد مخطط ($\sigma - \epsilon$) للبيتون من أجل سرعات تشوه مختلفة: [1]، [2]

اكتفت الدراسات المرجعية والكودات العالمية بإدخال أثر سرعات التشوه عن طريق معامل التضخيم الديناميكي للإجهاد ومعامل المرونة بدون إدخال تأثيرها على علاقة مخطط ($\sigma - \epsilon$) مباشرة، وضمن الدراسة الحالية تم الاعتماد على علاقة كود CEB وذلك كونها أحدث العلاقات الموجودة حالياً فضلاً على أنها توصف فرعي مخطط (إجهاد-تشوه) الصاعد والهابط بعلاقة واحدة مما يتيح سهولة أكبر في

الاستخدام، بالإضافة إلى أن علاقات هذا الكود أعطت قيماً وسطية لمعامل التضخيم الديناميكي مقارنة مع بقية العلاقات الواردة في الدراسات.

وفق توصيات اللجنة الدولية الأوروبية للبيتون CEB 2010 تعطى علاقة (اجهاد - تشوه) للبيتون بالشكل:

$$f_c = \left(\frac{k \cdot \gamma - \gamma^2}{1 + (k-2) \cdot \gamma} \right) \cdot f'_c \dots (3)$$

$$\gamma = \frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_{c1}} ; k = \frac{E_{ci}}{E_{c1}} \dots (4)$$

حيث:

ε_{c1} التشوه عند الذروة

E_{c1} ميل القاطع عند الذروة

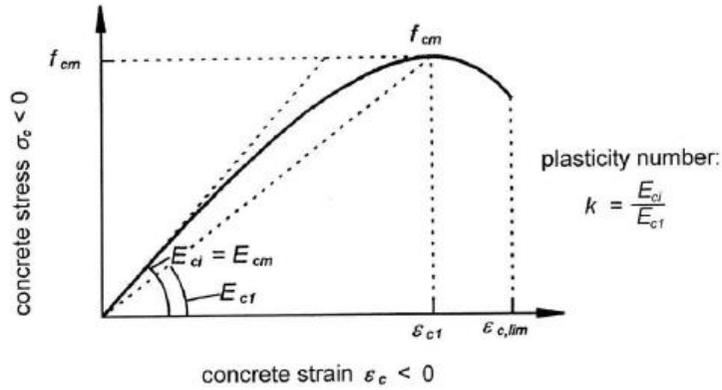
ε_c التشوه الحاصل في البيتون و تتراوح قيمته بين 0 و $\varepsilon_{c,lim}$ (التشوه عند الانهيار)

$$E_{ci} = E_{c0} \cdot \alpha_E \cdot \sqrt[3]{\frac{f'_c}{10}} \text{ (Mpa)}$$

$$E_{c0} \cdot \alpha_E = 25800 \text{ Mpa}$$

ويمكن أخذ المعاملات السابقة من الجدول (5) الوارد في CEB 2010 تبعاً لصنف البيتون:

تأثير مخطط (الإجهاد- التشوه) الناتج عن سرعات التشوه المختلفة على استجابة المنشآت
الإطارية البيتونية المسلحة



الشكل (8)- مخطط (σ - ε) للبيتون حسب توصيات CEB 2010

الجدول (5)- معاملات المرونة والتشوهات الطولية للبيتون حسب أصناف البيتون

المختلفة وفق توصيات CEB 2010

Concrete grade	C12	C16	C20	C25	C30	C35	C40	C45	C50
E_{ci} [GPa]	27.1	28.8	30.3	32.0	33.6	35.0	36.3	37.5	38.6
E_{ct} [GPa]	11.1	12.2	13.3	14.9	16.5	18.2	20.0	21.6	23.2
ε_{c1} [‰]	-1.9	-2.0	-2.1	-2.2	-2.3	-2.3	-2.4	-2.5	-2.6
$\varepsilon_{c,lim}$ [‰]	-3.5	-3.5	-3.5	-3.5	-3.5	-3.5	-3.5	-3.5	-3.4
k	2.44	2.36	2.28	2.15	2.04	1.92	1.82	1.74	1.66

Concrete grade	C55	C60	C70	C80	C90	C100	C110	C120
E_{ci} [GPa]	39.7	40.7	42.6	44.4	46.0	47.5	48.9	50.3
E_{ct} [GPa]	24.7	26.2	28.9	31.4	33.8	36.0	39.3	42.7
ε_{c1} [‰]	-2.6	-2.7	-2.7	-2.8	-2.9	-3.0	-3.0	-3.0
$\varepsilon_{c,lim}$ [‰]	-3.4	-3.3	-3.2	-3.1	-3.0	-3.0	-3.0	-3.0
k	1.61	1.55	1.47	1.41	1.36	1.32	1.24	1.18

و حسب CEB 2010 تبقى العلاقة (3) قابلة للتطبيق من أجل ايجاد مخطط (اجهاد-تشوه) للبيتون نتيجة الاهتزاز المتولد بفعل الأحمال الزلزالية أو الصدم بشرط أخذ قيمة التشوه و معامل المرونة عند الذروة وفق العلاقات التالية:

$$\frac{\varepsilon_{c1,imp}}{\varepsilon_{c1}} = \left(\frac{\dot{\varepsilon}_c}{\dot{\varepsilon}_{co}}\right)^{0.02} \dots (5)$$

$$\frac{E_{ci,imp}}{E_{ci}} = \left(\frac{\dot{\varepsilon}_c}{\dot{\varepsilon}_{co}}\right)^{0.026} \dots (6)$$

حيث: $\varepsilon_{c1,imp}$ - التشوه الديناميكي عند الذروة

$E_{ci,imp}$ - ميل القاطع الديناميكي عند الذروة (MPa)

$\dot{\varepsilon}_c$ - سرعة تشوه البيتون (1/s)

$\dot{\varepsilon}_{co}$ - سرعة التشوه الستاتيكية للبيتون وتساوي $30 * 10^{-6} s^{-1}$

وليجاد المقاومة الأعظمية الديناميكية للبيتون $f_{c,imp}$ بالنسبة لمقاومته المميزة الستاتيكية f'_c نستخدم علاقة معامل التضخيم الديناميكي:

$$\frac{f_{c,imp}}{f'_c} = \left\{ \begin{array}{l} \left(\frac{\dot{\varepsilon}_c}{\dot{\varepsilon}_{co}}\right)^{0.014} : \dot{\varepsilon} \leq 30 s^{-1} \\ 0.012 \left(\frac{\dot{\varepsilon}_c}{\dot{\varepsilon}_{co}}\right)^{1/3} : \dot{\varepsilon} > 30 s^{-1} \end{array} \right\} \dots (7)$$

الجدير ذكره أن العلاقات (3) (5) (6) ذاتها مستخدمة في التوصيات القديمة الواردة في كود CEB 1990 والفارق بين الكودين هو بعلاقة معامل التضخيم الديناميكي:

$$\frac{f_{c,imp}}{f'_c} = \left\{ \begin{array}{l} \left(\frac{\dot{\varepsilon}_c}{\dot{\varepsilon}_{co}}\right)^{1.026\alpha} : \dot{\varepsilon} \leq 30 s^{-1} \\ \gamma_s \left(\frac{\dot{\varepsilon}_c}{\dot{\varepsilon}_{co}}\right)^{1/3} : \dot{\varepsilon} > 30 s^{-1} \end{array} \right\} \dots (8)$$

$$\alpha = \frac{1}{5+9\frac{f'_c}{10}} , \log \gamma_s = 6.156\alpha - 2 \dots (9)$$

تأثير مخطط (الإجهاد- التشوه) الناتج عن سرعات التشوه المختلفة على استجابة المنشآت
الإطارية البيتونية المسلحة

بالإضافة لاختلاف قيم معاملات المرونة والتشوهات الطولية للبيتون عن تلك الواردة
في الجدول (5) لتصبح:

الجدول (6) - معاملات المرونة والتشوهات الطولية للبيتون حسب أصناف البيتون
CEB 1990 المختلفة وفق توصيات

Concrete grade	C12	C20	C30	C40	C50	C60	C70	C80
E_{ci} (10^3 MPa)	27	30.5	33.5	36.5	38.5	41	42.5	44.5
E_{cl} (10^3 MPa)	9	12.5	17.5	22	26.5	31	35.5	40
$\varepsilon_{c,lim}$ (10^{-3})	-5.0	-4.2	-3.7	-3.3	-3.0	-2.8	-2.6	-2.4

$$E_{c1} = f'_c / \varepsilon_{c1} \text{ و } \varepsilon_{c1} = -0.0022$$

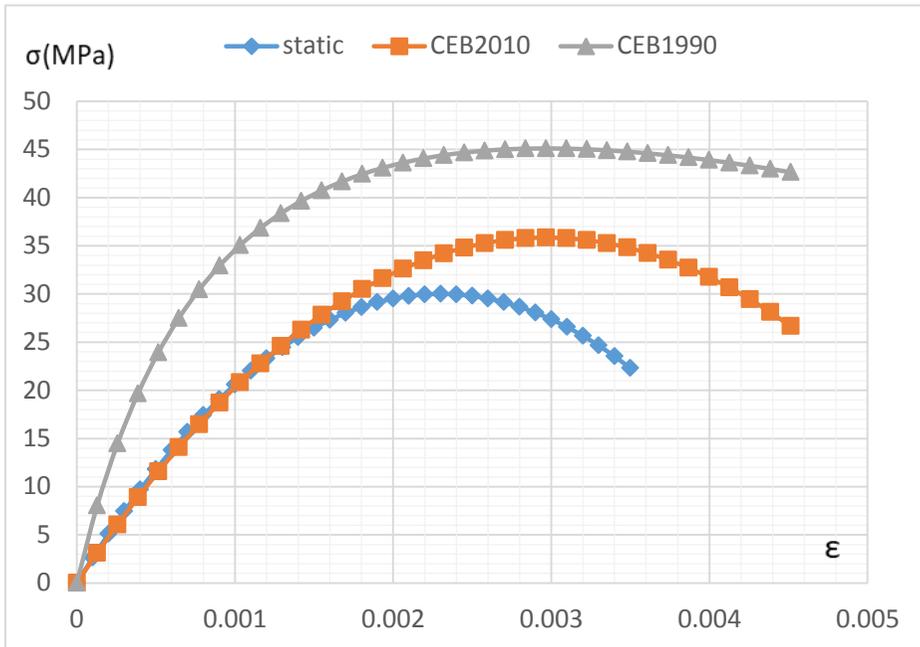
فيما يلي أمثلة تطبيقية لإيجاد مخطط ($\sigma - \varepsilon$) للبيتون وتوضيح تأثير سرعات
التشوه عليه:

المثال (1) يدرس الفرق الحاصل في مخطط ($\sigma - \varepsilon$) حسب توصيات
CEB 2010 و CEB 1990 حيث أن $f'_c = 30MPa$ ومن أجل سرعة تشوه
 $\dot{\varepsilon} = 10 s^{-1}$

الجدول (7) - الفرق الحاصل في مواصفات البيتون $f'_c = 30MPa$ بين اصداري
الكود CEB الجديد والقديم

	CEB 2010		CEB 1990	
	المواصفات الستاتيكية	المواصفات الديناميكية	المواصفات الستاتيكية	المواصفات الديناميكية
E_{ci} (Mpa)	33600	46766.42	33500	46627.2
E_{cl} (Mpa)	16500	10114.3	17500	10574

□c1	0.0023	0.00297	0.0022	0.00284
□r	0.0033	0.00451	0.0037	0.00477
k	2.04	4.624	2.457	4.41



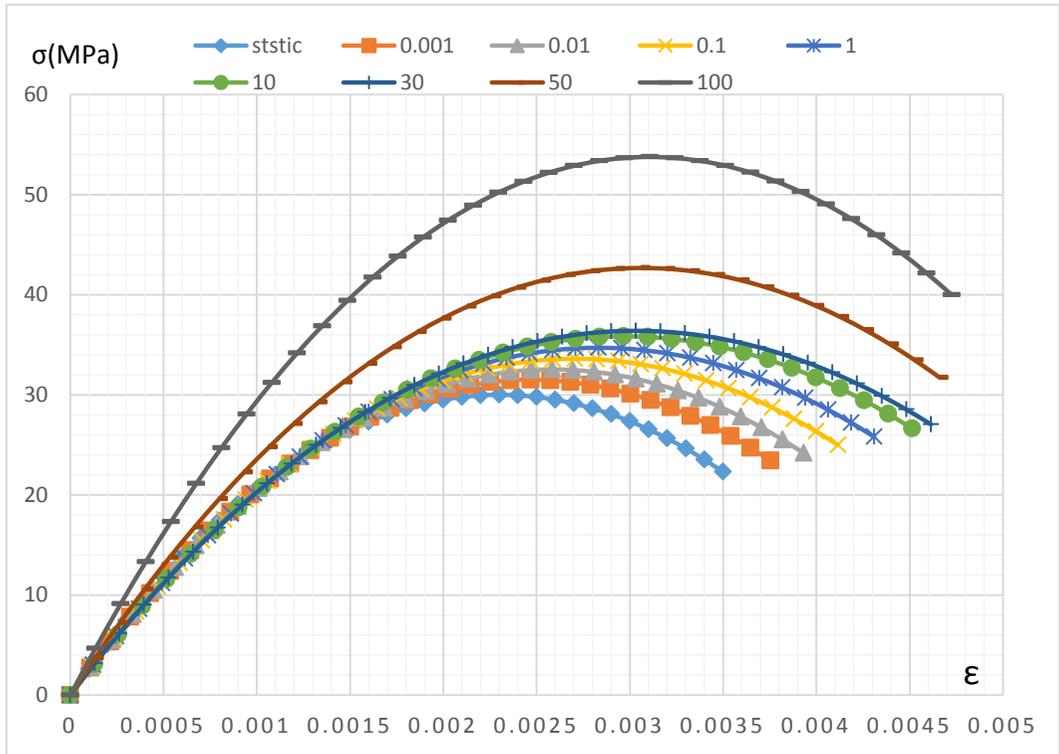
الشكل (9)- مخطط $(\sigma - \epsilon)$ للبيتون حسب توصيات CEB- $f'_c = 30MPa$ و $\dot{\epsilon} = 10 s^{-1}$

نلاحظ أن الاختلاف بقيمة مقاومات البيتون بين الإصدار القديم والجديد للكود CEB تتراوح بين (20.5-61.4)% بالإضافة إلى أن ميل الجزء الهابط من المنحني في الإصدار الجديد أصبح أكبر حيث أن قيم معامل التضخيم الديناميكي:

وفق الإصدار CEB 1990 بلغت (1.503) ووفق الإصدار CEB 2010 بلغت
(1.195)

وبالمقارنة بين مخطط $(\sigma - \epsilon)$ الستاتيكي والمخطط الناتج عن الإصدار
CEB 2010 نلاحظ تقارب كبير في الجزء الصاعد في حين يكون الفرق جوهرياً
في الجزء الهابط من المنحني

المثال (2) يدرس تأثير سرعات التشوه المختلفة والتي تتراوح ضمن المجال
 $\dot{\epsilon} = (0.001 - 100) s^{-1}$ على البيتون $f'_c = 30MPa$ وفق الإصدار
CEB 2010

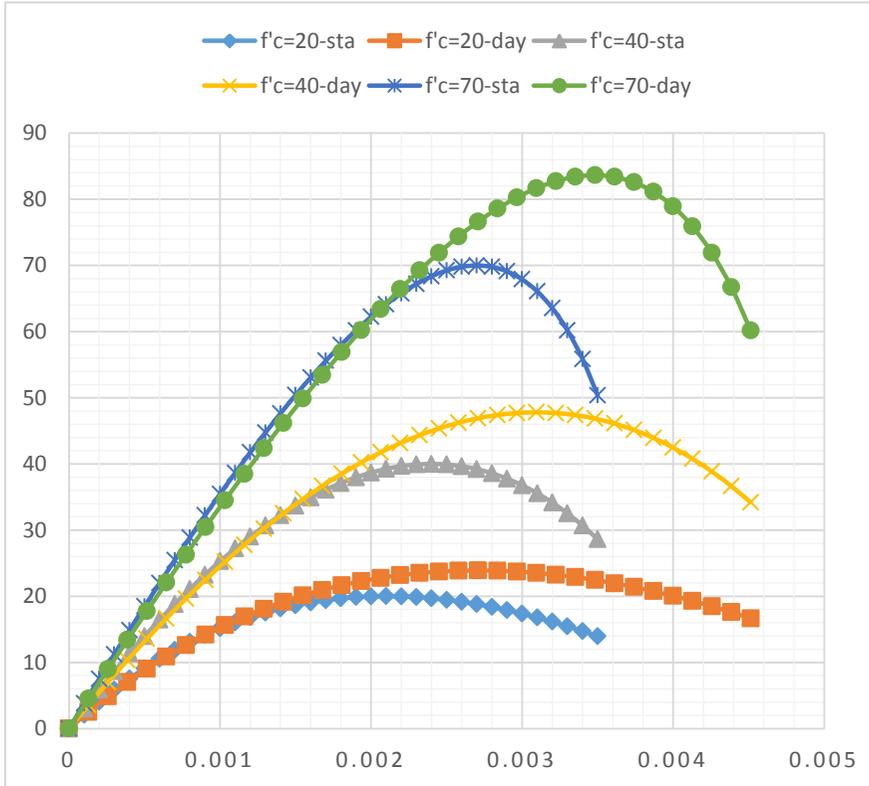


الشكل (10)- مخطط $(\sigma - \epsilon)$ للبيتون حسب توصيات CEB2010
ومن أجل سرعات تشوه $\dot{\epsilon} = (0.001 - 100) s^{-1}$ و $f'_c = 30MPa$

نلاحظ أن تأثير سرعة التشوه يكون واضحاً على الجزء الهابط من المخطط $(\sigma - \varepsilon)$ في حين أن الجزء الصاعد يبدي تقارباً كبيراً مع الحالة الاستاتيكية، ويكون تأثيرها واضحاً على كامل المخطط من أجل سرعات $\dot{\varepsilon} > 30 s^{-1}$

بالإضافة لذلك فإنه من الملاحظ ازدياد المقاومة المميزة للبيتون بازدياد قيمة سرعة التشوه بمقدار 1.05 مرة من أجل $\dot{\varepsilon} = 0.001 s^{-1}$ وبمقدار 1.792 مرة من أجل $\dot{\varepsilon} = 100 s^{-1}$

وعند دراسة أصناف أخرى للبيتون عززت ذات الملاحظات السابقة، فمثلاً من أجل تثبيت قيمة لسرعة التشوه $\dot{\varepsilon} = 10s^{-1}$ ومن أجل مقاومات مميزة للبيتون $f'_c = (20 - 40 - 70)MPa$ كانت المخططات:



الشكل (11)- مخطط $(\sigma - \varepsilon)$ للبيتون حسب توصيات CEB2010

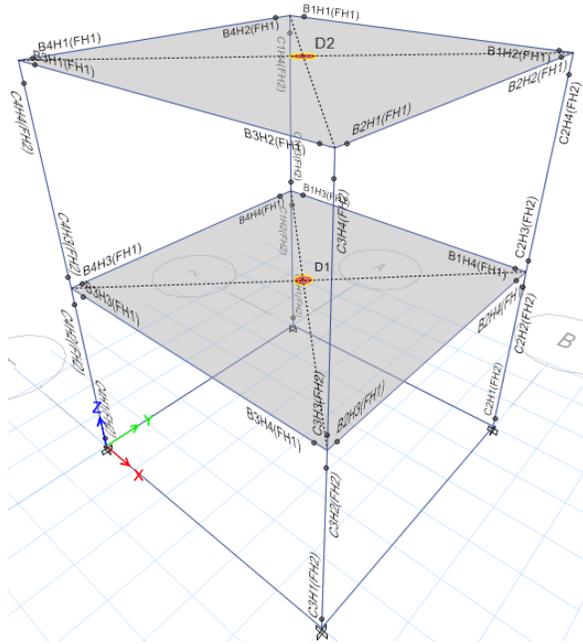
$f'_c = (20 - 40 - 70)MPa$ -المقاومات مميزة للبيتون $\dot{\varepsilon} = 10s^{-1}$

يضاف للملاحظات السابقة أن منطقة الذروة في مخطط ($\sigma - \epsilon$) تزداد تحديداً
بازدياد المقاومة المميزة للبيتون

4-3- المواد والطرق التجريبية للبحث:

3-4-1- النمذجة الحاسوبية للإطار على برنامج Etabs16:

تم تعريف المواد المستخدمة بالإضافة لعناصر الإطار كما هو وارد في جداول
المواصفات المذكورة سابقاً، كما تم تعريف المفاصل اللدنة Nonlinear Hinges
من النوع (Moment M3) وعلى بعد 5% من نهايتي كل جائر حيث تم
اعتبار طول المفصل اللدن 10% من طول الجائر، ومن النوع (Fiber P-M2-)
نتيجة تشكل قوة محورية بالإضافة لعزمي انعطاف تقع هذه المفاصل على بعد
5% من نهايتي كل عمود، وتم اعتبار طول المفصل اللدن 10% من طول العمود،
يوضح الشكل الإطار المنذج:



الشكل (12)- الإطار المنذج حاسوبياً باستخدام الايتابس

3-4-2- مراحل التحليل الديناميكي:

(a) تعريف تابع السجل الزمني للهزة الأرضية:

وهو حسب ما ورد في الدراسة المرجعية المركبة AGW000 للهزة الأرضية Loma Prieta عام 1989 وقد تم إدخالها بالاستعانة بالموقع العالمي Peer Earthquake Database وذلك وفق الاتجاهين X و Y.

(b) تحديد طريقة التحليل:

تم اعتماد التحليل بطريقة السجل الزمني اللاخطي (Nonlinear Modal-FNA) فقد تبين بعد إجراء التحليل باستخدام التكامل المباشر أن الفارق بسيط بين الطريقتين في قيم الانتقالات لكن الفارق كان كبيراً من حيث الزمن اللازم للتحليل وهذا سببه اختلاف الطريقة الرياضية لحل المعادلات بين الطريقتين بالنسبة لمراحل الحل فهي على مرحلتين:

المرحلة الأولى: وهي إنشاء نموذج بدون إدخال تأثير سرعات التشوه على مخطط $(\sigma - \varepsilon)$ للبيتون

المرحلة الثانية: وهي إنشاء نماذج مع إدخال تأثير سرعات التشوه على مخطط $(\sigma - \varepsilon)$ للبيتون وحساب التغيرات الحاصلة في الانزياحات لمقارنتها مع نتائج الدراسة المرجعية (النموذج المختبر على منصة الاهتزاز) حيث تم حساب قيم المخطط عند سرعات التشوه الواقعة في المجال $s^{-1} (0.001 - 100) = \dot{\varepsilon}$ وبالنسبة لمعامل التضخيم Scale Factor تؤخذ قيمته وفق الآتي:

$$S.F = \frac{A_x}{A_{max}} \cdot g \dots (10)$$

حيث A_x التسارع الهدف وهو يمثل الشدة الزلزالية المطلوب الوصول لها وقيمتها حسب ما ورد في الدراسة المرجعية $0.8g$

A_{max} التسارع الأعظمي للهزة يؤخذ من السجل الزمني المدخل وقيمته وفق

الاتجاه X هي $0.1695g$

$g = 9810 \text{ mm/s}^2$ تسارع الجاذبية الأرضية

$$S.F = \frac{0.8g}{0.1695g} \times 9810 = 46289.69$$

4- نتائج التحليل:

4-1- إيجاد التغير الحاصل في الانزياحات الطابقية والتسارعات:

توضح الجداول التالية الانزياحات الطابقية الأعظمية والتسارعات الأعظمية:

الجدول (8)- الانزياحات الطابقية الأعظمية والتسارعات الأعظمية نتيجة مخطط ($\sigma - \varepsilon$) الستاتيكي			
Story	Load Case	UX/g	Dis(mm)
Story2	LC-X Max	3.172	65.908
Story2	LC-X Min	-3.27	62.744
Story1	LC-X Max	1.702	32.73
Story1	LC-X Min	-1.705	30.61
Base	LC-X Max	0.8	0
Base	LC-X Min	-0.618	0

نستنتج من هذا النموذج:

- إن قيمة الدورين الأول والثاني لهذا النموذج (0.262 sec) (0.078 sec) على الترتيب ونلاحظ التقارب الكبير لقيمة هذين الدورين مع النموذج المختبر.

- وجود فارق في قيمة الانزياحات للطابق الأول عن القيم التجريبية، وهذا يؤكد على ضرورة معرفة مخطط ($\sigma - \varepsilon$) المعبر عن السلوك الفعلي للبيتون أثناء الزلزال.

الجدول (9)- الانزياحات الطابقية الأعظمية والتسارعات الأعظمية من أجل $\dot{\varepsilon} = 0.001s^{-1}$					
Story	Load Case	UX/g	Dis(mm)	ΔUX	ΔDis
Story2	LC-X Max	3.798	62.459	0.197	-0.052

Story2	LC-X Min	-3.367	70.647	0.029	0.126
Story1	LC-X Max	1.999	31.107	0.175	-0.049
Story1	LC-X Min	-1.828	34.938	0.072	0.141
Base	LC-X Max	0.8	0	-	-
Base	LC-X Min	-0.618	0	-	-

الجدول (10)- الانزياحات الطابقية الأعظمية والتسارعات الأعظمية من أجل $\dot{\varepsilon} = 0.01s^{-1}$

Story	Load Case	UX/g	Dis(mm)	ΔUX	ΔDis
Story2	LC-X Max	3.941	59.063	0.242	-0.104
Story2	LC-X Min	-3.374	69.842	0.032	0.113
Story1	LC-X Max	2.053	29.309	0.206	-0.104
Story1	LC-X Min	-1.860	34.988	0.091	0.143
Base	LC-X Max	0.8	0	-	-
Base	LC-X Min	-0.618	0	-	-

الجدول (11)- الانزياحات الطابقية الأعظمية والتسارعات الأعظمية من أجل $\dot{\varepsilon} = 0.1s^{-1}$

Story	Load Case	UX/g	Dis(mm)	ΔUX	ΔDis
Story2	LC-X Max	3.689	58.191	0.163	-0.117
Story2	LC-X Min	-3.534	62.503	0.081	-0.004
Story1	LC-X Max	2.108	28.92	0.238	-0.116
Story1	LC-X Min	-1.914	31.593	0.122	0.032
Base	LC-X Max	0.8	0	-	-
Base	LC-X Min	-0.618	0	-	-

تأثير مخطط (الإجهاد- التشوه) الناتج عن سرعات التشوه المختلفة على استجابة المنشآت
الإطارية البيتونية المسلحة

الجدول (12)- الانزياحات الطابقية الأعظمية والتسارعات الأعظمية من أجل $\dot{\epsilon} = 1s^{-1}$

Story	Load Case	UX/g	Dis(mm)	ΔUX	ΔDis
Story2	LC-X Max	3.109	52.255	-0.020	-0.207
Story2	LC-X Min	-3.338	49.911	0.021	-0.205
Story1	LC-X Max	1.892	25.956	0.112	-0.207
Story1	LC-X Min	-1.778	25.179	0.042	-0.177
Base	LC-X Max	0.800	0	-	-
Base	LC-X Min	-0.618	0	-	-

الجدول (13)- الانزياحات الطابقية الأعظمية والتسارعات الأعظمية من أجل $\dot{\epsilon} = 10s^{-1}$

Story	Load Case	UX/g	Dis(mm)	ΔUX	ΔDis
Story2	LC-X Max	2.672	43.994	-0.158	-0.332
Story2	LC-X Min	-2.969	39.046	-0.092	-0.378
Story1	LC-X Max	1.534	21.963	-0.098	-0.329
Story1	LC-X Min	-1.576	19.334	-0.076	-0.368
Base	LC-X Max	0.8	0	-	-
Base	LC-X Min	-0.618	0	-	-

الجدول (14)- الانزياحات الطابقية الأعظمية والتسارعات الأعظمية من أجل $\dot{\epsilon} = 50s^{-1}$

Story	Load Case	UX/g	Dis(mm)	ΔUX	ΔDis
Story2	LC-X Max	2.299	37.012	-0.275	-0.438
Story2	LC-X Min	-2.617	32.234	-0.12	-0.486
Story1	LC-X Max	1.35	18.395	-0.207	-0.438
Story1	LC-X Min	-1.528	16.033	-0.104	-0.476
Base	LC-X Max	0.8	0	-	-

Base	LC-X Min	-0.618	0	-	-
------	----------	--------	---	---	---

الجدول (15)- الانزياحات الطابقية الأعظمية والتسارعات الأعظمية من أجل $\varepsilon = 100s^{-1}$

Story	Load Case	UX/g	Dis(mm)	ΔUX	ΔDis
Story2	LC-X Max	2.024	33.647	-0.362	-0.489
Story2	LC-X Min	-2.456	27.715	-0.249	-0.558
Story1	LC-X Max	1.243	16.669	-0.27	-0.491
Story1	LC-X Min	-1.496	13.804	-0.123	-0.549
Base	LC-X Max	0.8	0	-	-
Base	LC-X Min	-0.618	0	-	-

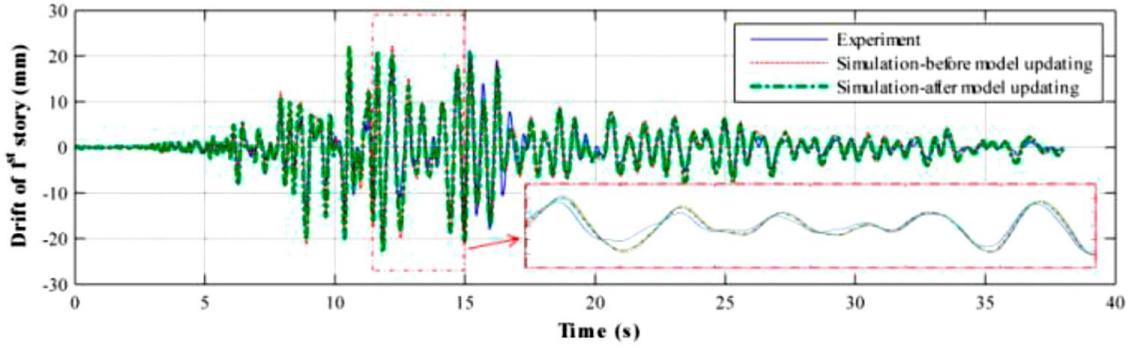
يتضح من الجداول السابقة أن قيم الانزياحات والتسارعات تتناقص بازدياد قيمة سرعة التشوه وهذا سببه يعود لازدياد قيمة معامل مرونة البيتون.

4-2- تحديد مخطط ($\sigma - \varepsilon$) المعبر عن السلوك الفعلي للبيتون أثناء الزلزال:

يتم تحديد مخطط ($\sigma - \varepsilon$) المعبر عن السلوك الفعلي للبيتون أثناء الزلزال عن طريق مقارنة استجابة الإطار المختبر على طاولة الاهتزاز مع استجابة النماذج التحليلية التي بيّنا نتائجها في الجداول السابقة، وحسب ما هو متوفر من نتائج الدراسة المرجعية [5] تم اعتماد القيم الأعظمية لانزياحات الطابق الأول المبينة بالجدول (16)، بالإضافة للشكل العام للسجل الزمني لانزياحات هذا الطابق المبين في الشكل (13) كمعيار للمقارنة.

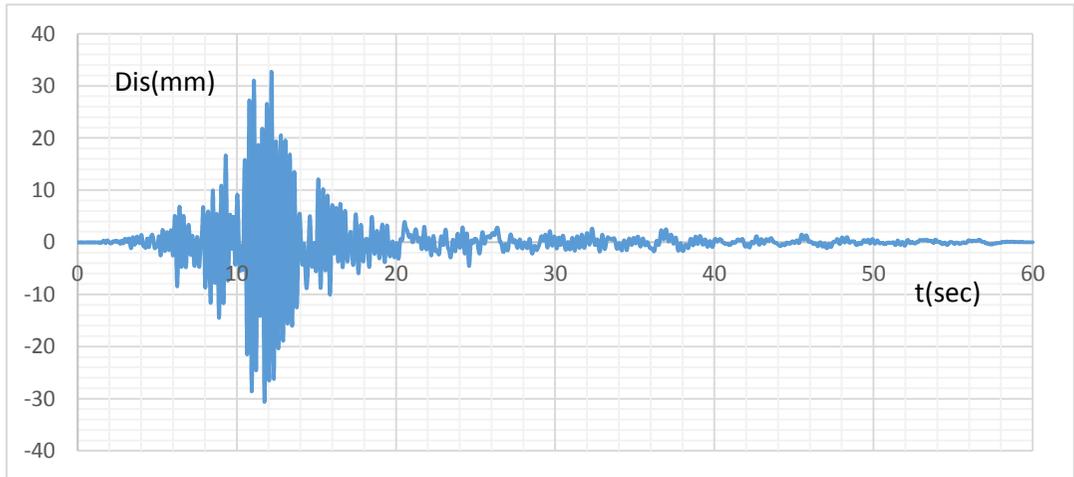
الجدول (16)- الانزياحات الأعظمية للطابق الأول الناتجة عن التجربة

Story	Load Case (X dir)	Dis(mm)
Story1	Loma Prieta earthquake-max	22.8
Story1	Loma Prieta earthquake-min	23.5

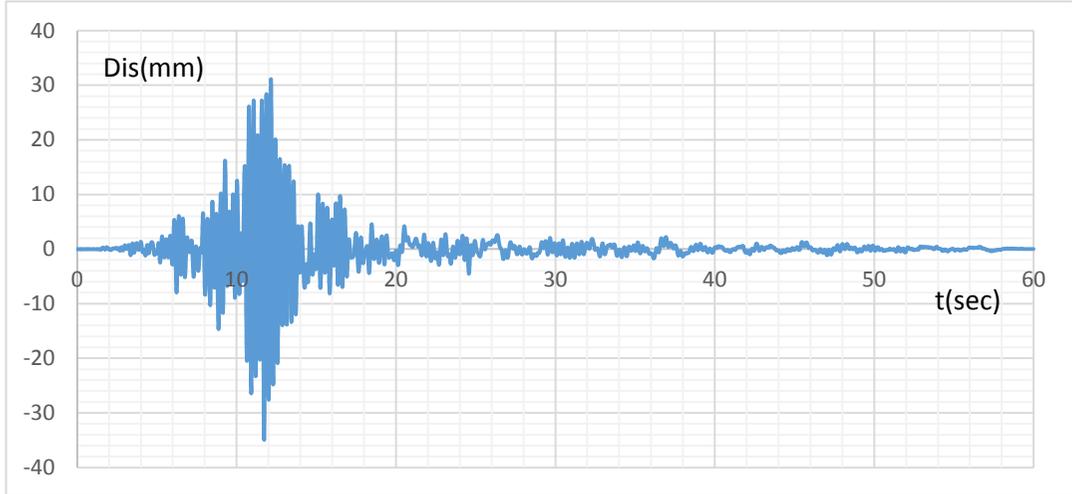


الشكل (13)- انزياحات الطابق الأول للإطار المختبر على منصة الاهتزاز

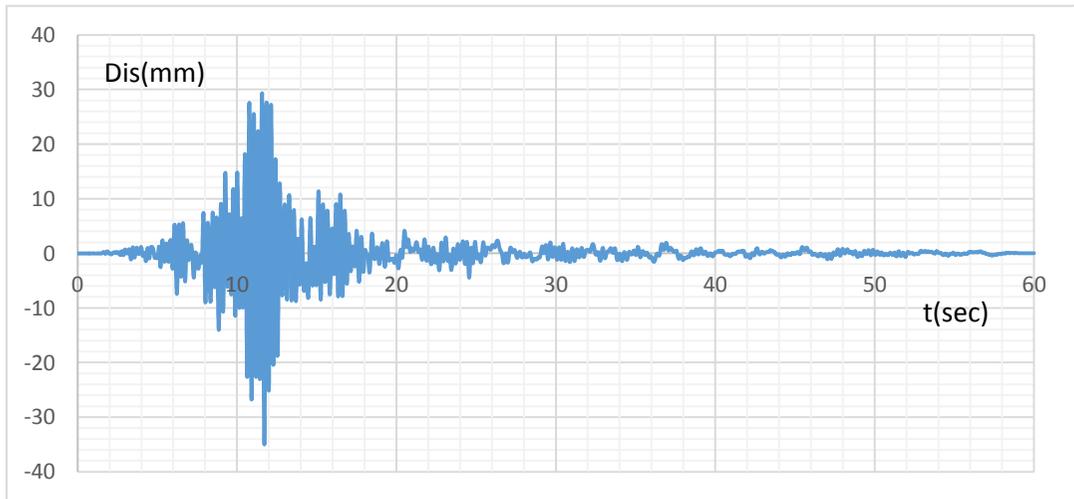
وبالنسبة للسجل الزمني للانزياحات الناتجة عن النموذج المحلل باستخدام البرنامج:



الشكل (14)- انزياحات الطابق الأول للنموذج المحلل باستخدام البرنامج نتيجة مخطط $(\sigma - \varepsilon)$ الستاتيكي

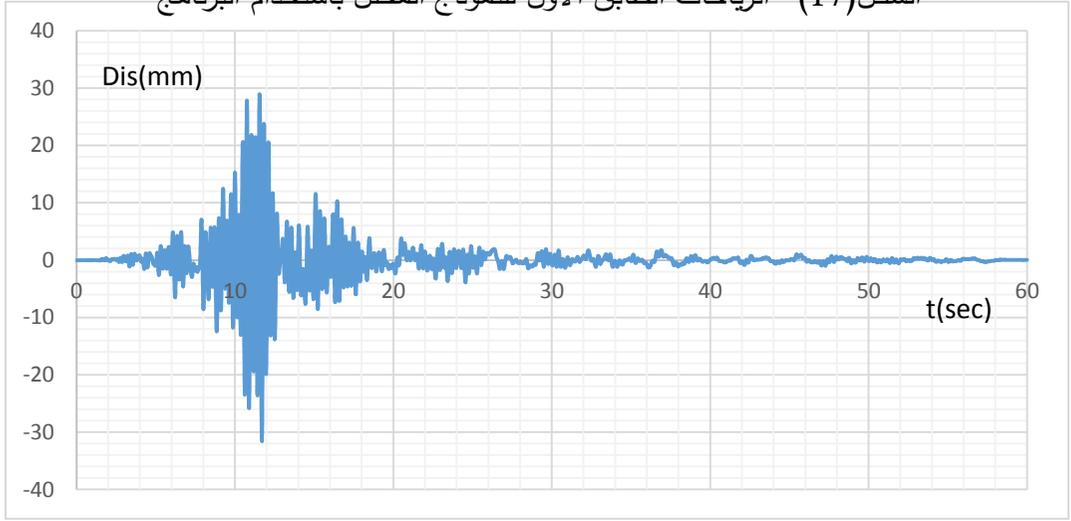


الشكل (15)- انزياحات الطابق الأول للنموذج المحلل باستخدام البرنامج $\dot{\varepsilon} = 0.001s^{-1}$

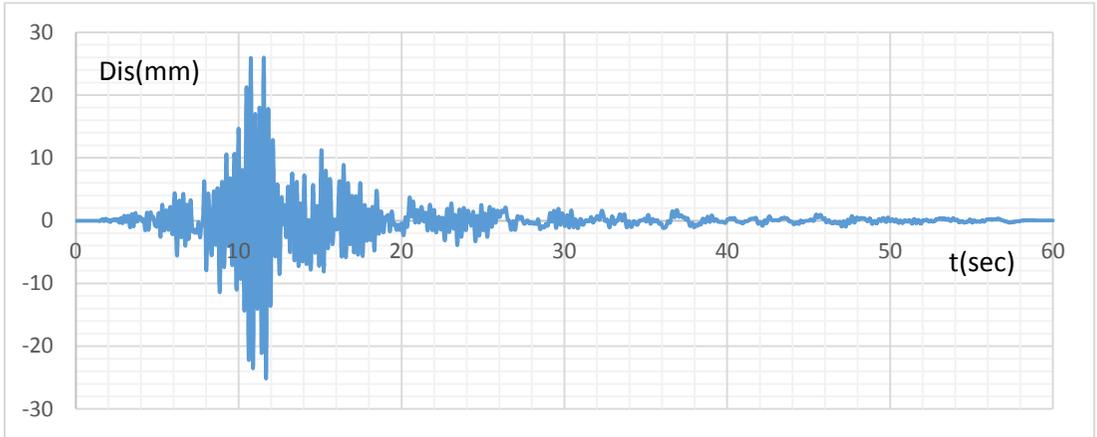


الشكل (16)- انزياحات الطابق الأول للنموذج المحلل باستخدام البرنامج $\dot{\varepsilon} = 0.01s^{-1}$

الشكل (17)- انزياحات الطابق الأول للنموذج المحلل باستخدام البرنامج

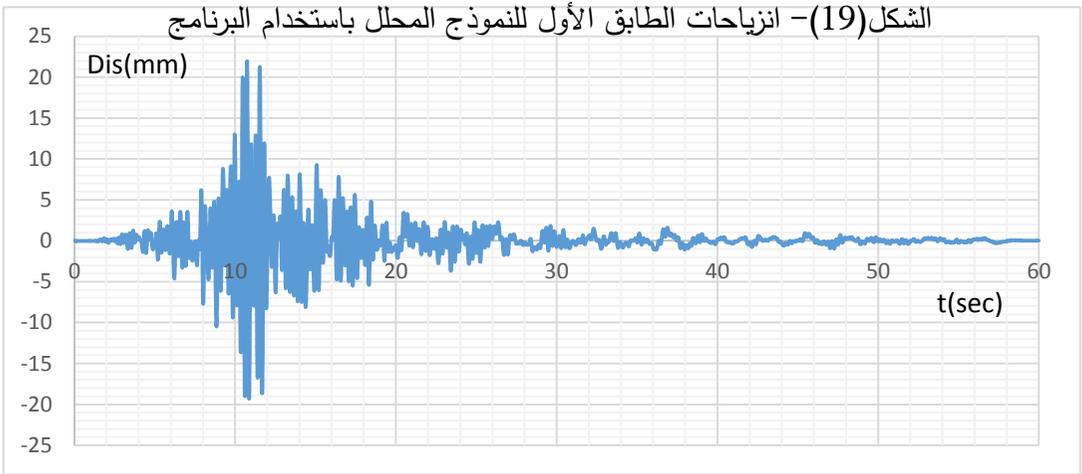


$$\dot{\varepsilon} = 0.1s^{-1}$$

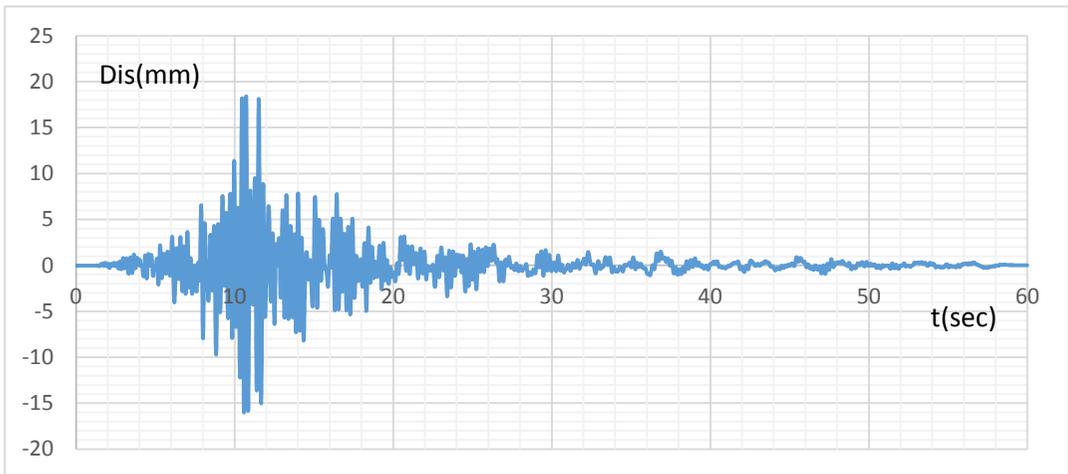


الشكل (18)- انزياحات الطابق الأول للنموذج المحلل باستخدام البرنامج

$$\dot{\varepsilon} = 1s^{-1}$$

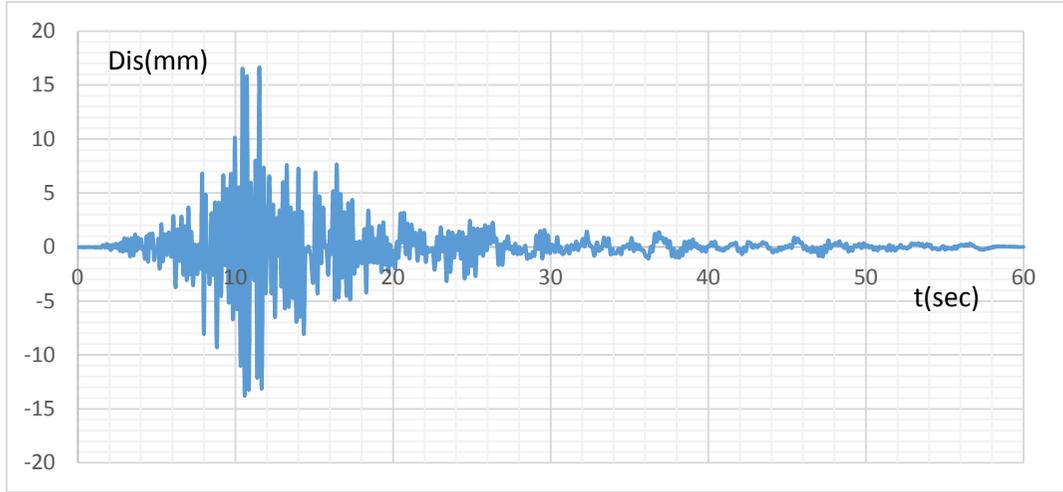


$$\dot{\varepsilon} = 10s^{-1}$$



الشكل (20) - انزياحات الطابق الأول للنموذج المحلل باستخدام البرنامج

$$\dot{\varepsilon} = 50s^{-1}$$



الشكل (21)- انزياحات الطابق الأول للنموذج المحلل باستخدام البرنامج

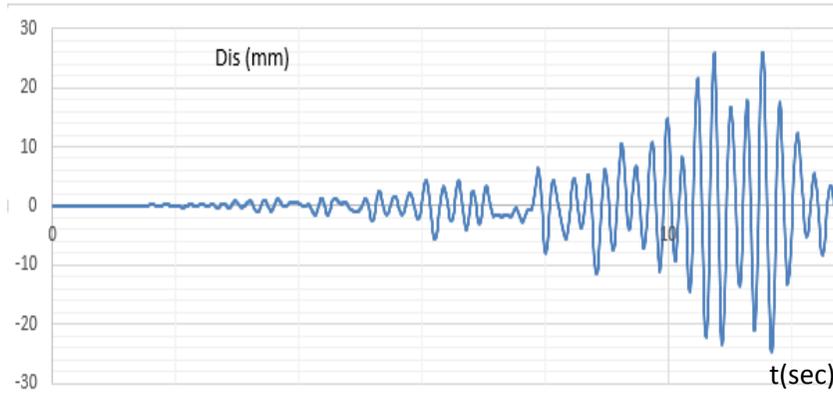
$$\dot{\varepsilon} = 100s^{-1}$$

نلاحظ أن نتائج النموذج الذي بلغت فيه سرعة التشوه $\dot{\varepsilon} = 1s^{-1}$ الشكل (18)

هي أكثر النتائج تقارباً مع نتائج السجل الزمني للانزياحات الناتجة عن التجربة

والموضح في الشكل (13)

بتكبير مقياس الرسم لمنطقة الانزياحات الأعظمية ($t=0-12 \text{ sec}$):

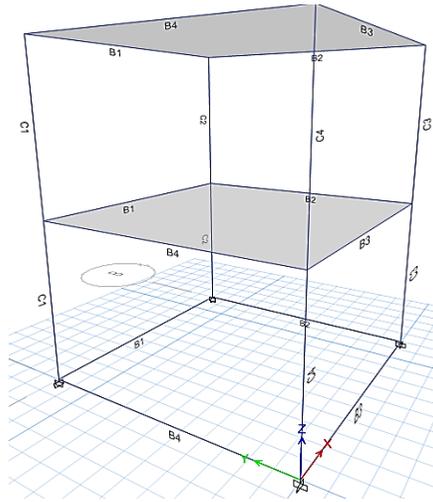


الشكل (19)- الانزياحات الأعظمية للطابق الأول ضمن المجال ($t=0-12 \text{ sec}$)

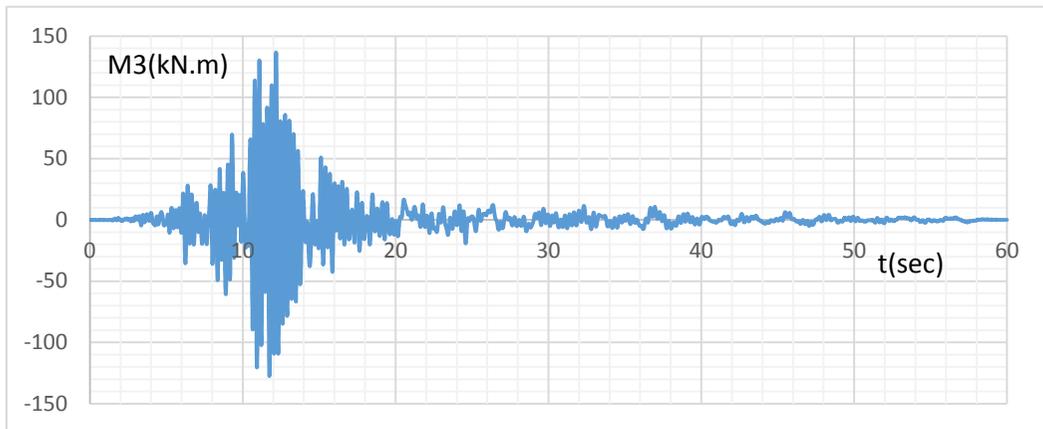
من هذا الشكل نلاحظ التقارب بالقيم والشكل بين النتائج المخبرية والتحليلية، وتعزى قيمة الفارق إلى اعتبار قيمة التخميد ثابتة في التحليل بالإضافة لإهمال الاحتكاك بين الطاولة والإطار.

4-3- حساب التغير الحاصل في القوى الداخلية لعناصر الإطار:

توضح المخططات التالية القوى الداخلية للمقطع 1-1 من الإطار الموضح في الشكل (20)

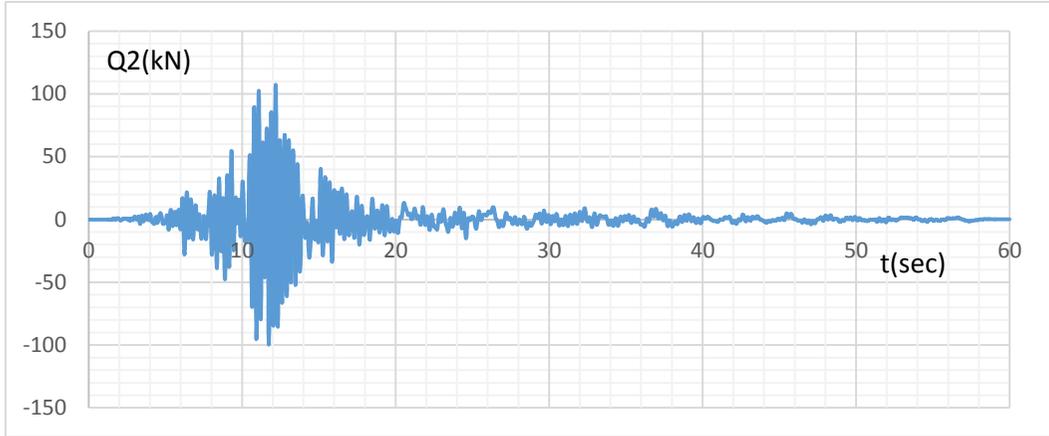


الشكل (20)- المقطع 1-1 المدروس من الإطار

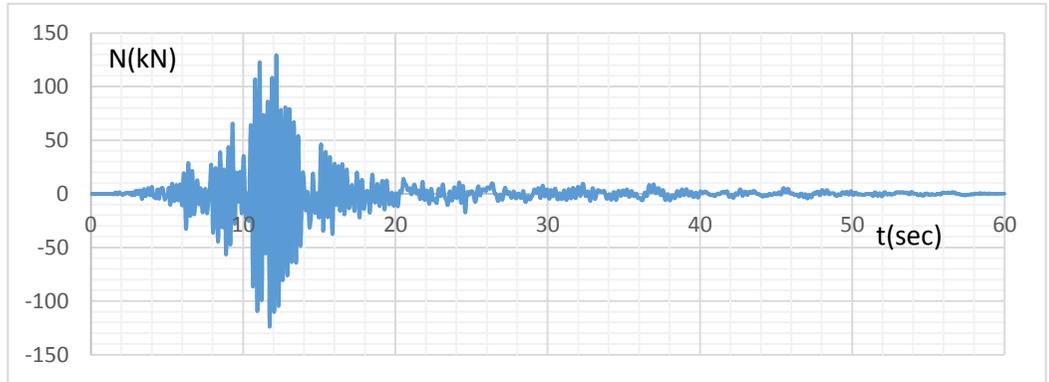


الشكل (21)- العزم M_3 في المقطع 1-1 نتيجة مخطط $(\sigma - \varepsilon)$ الستاتيكي

تأثير مخطط (الإجهاد- التشوه) الناتج عن سرعات التشوه المختلفة على استجابة المنشآت
الإطارية البيتونية المسلحة



الشكل (22)- قوة القص Q_2 في المقطع 1-1 نتيجة مخطط $(\sigma - \epsilon)$ الستاتيكي



الشكل (23)- القوة المحورية N في المقطع 1-1 نتيجة مخطط $(\sigma - \epsilon)$ الستاتيكي

ويوضح الجدول (17) القيم الأعظمية للقوى الداخلية لهذا النموذج:

الجدول (17)- القوى الداخلية في المقطع المدروس للنموذج $(\sigma - \epsilon)$ الستاتيكي			
	عزم الانعطاف $M_3 (kN.m)$	قوة القص $Q_2 (kN)$	القوة المحورية $N (kN)$
max	136.716	107.310	129.407
min	-127.487	-99.791	-124.173

وتوضح الجداول التالية القيم الأعظمية للقوى الداخلية في المقطع المدروس للنماذج

النتيجة عن سرعات التشوه المختلفة ونسبة التغير الحاصل فيها عن النموذج السابق:

الجدول(18)- التغير الحاصل في عزم الانعطاف							
سرعة التشوه (s^{-1})	قيمة عزم الانعطاف في المقطع المدروس $M_3(kN.m)$						
	0.001	0.01	0.1	1	10	50	100
max	142.42	142.23	149.03	142.22	127.71	111.21	102.59
min	-159.42	-170.26	-163.69	-138.58	-112	-96.86	-85.02
نسب الفرق بين نماذج ($\sigma - \epsilon$) الناتج عن سرعات التشوه والنموذج ($\sigma - \epsilon$) الستاتيكي							
max	0.042	0.040	0.090	0.040	-0.066	-0.187	-0.250
min	0.250	0.335	0.284	0.087	-0.122	-0.240	-0.333

الجدول(19)- التغير الحاصل في قوة القص							
سرعة التشوه (s^{-1})	قيمة قوة القص في المقطع المدروس Q2 (kN)						
	0.001	0.01	0.1	1	10	50	100
max	111.91	111.63	117.03	111.95	100.44	87.25	80.90
min	-124.87	-133.96	-129.18	-109.60	-87.76	-75.94	-66.74
نسب الفرق بين نماذج ($\sigma - \epsilon$) الناتج عن سرعات التشوه والنموذج ($\sigma - \epsilon$) الستاتيكي							
max	0.043	0.040	0.091	0.043	-0.064	-0.187	-0.246
min	0.251	0.342	0.295	0.098	-0.121	-0.239	-0.331

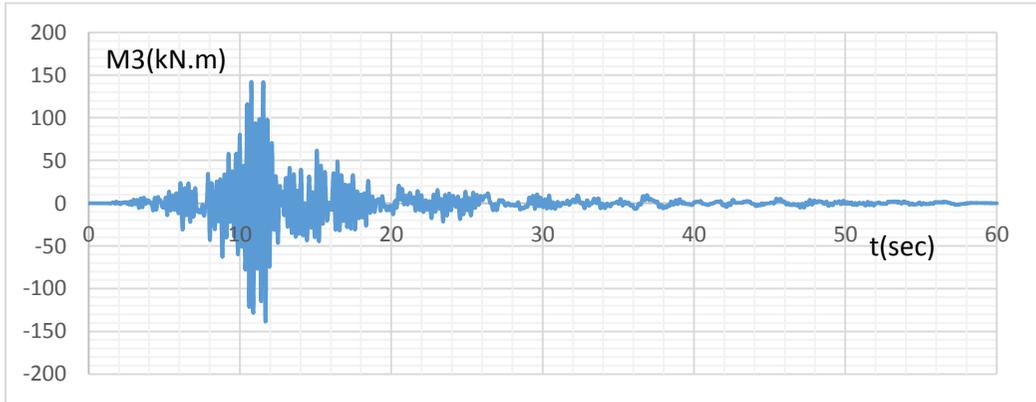
الجدول(20)- التغير الحاصل في القوة المحورية							
سرعة التشوه (s^{-1})	قيمة القوة المحورية في المقطع المدروس N (kN)						
	0.001	0.01	0.1	1	10	50	100
max	111.91	111.63	117.03	111.95	100.44	87.25	80.90
min	-124.87	-133.96	-129.18	-109.60	-87.76	-75.94	-66.74
نسب الفرق بين نماذج ($\sigma - \epsilon$) الناتج عن سرعات التشوه والنموذج ($\sigma - \epsilon$) الستاتيكي							

تأثير مخطط (الإجهاد- التشوه) الناتج عن سرعات التشوه المختلفة على استجابة المنشآت
الإطارية البيتونية المسلحة

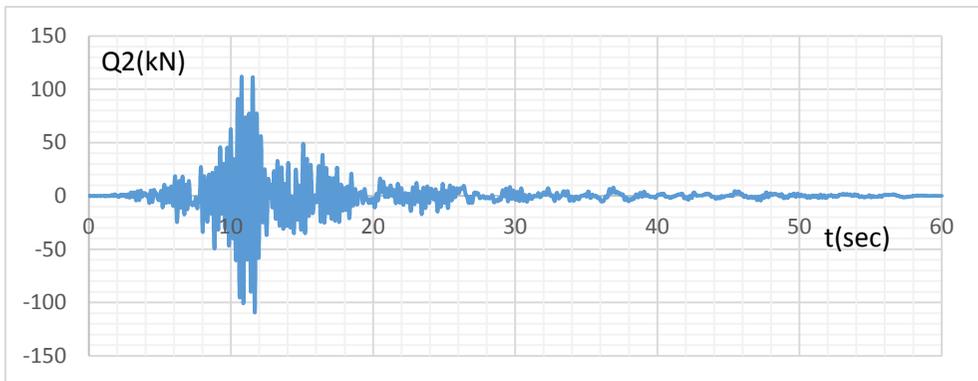
max	0.043	0.040	0.091	0.043	-0.064	-0.187	-0.246
min	0.251	0.342	0.295	0.098	-0.121	-0.239	-0.331

نلاحظ ازدياد القوى الداخلية بالمقطع المدروس وفق النسب الواردة في الجداول السابقة من أجل سرعات التشوه $\dot{\epsilon} < 1 \text{ s}^{-1}$ وتتخفف قيمتها من أجل السرعات الأكبر، كما ونلاحظ أن النموذج الناتج عن سرعة تشوه قدرها $\dot{\epsilon} = 1 \text{ s}^{-1}$ (وهو ذاته النموذج الأكثر تقارباً مع الدراسة التجريبية) أعطى أقل تغير في القوى الداخلية بين النماذج المدروسة.

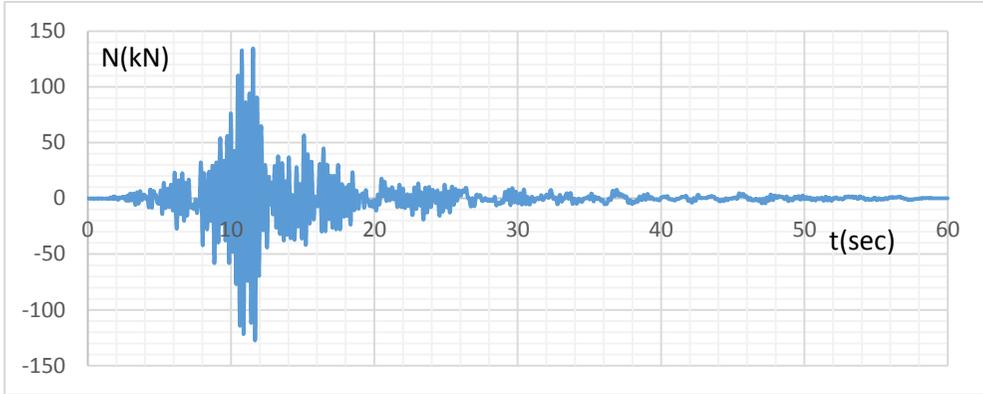
وتوضح المخططات التالية القوى الداخلية للمقطع المدروس للنموذج $\dot{\epsilon} = 1 \text{ s}^{-1}$:



الشكل (24)- العزم M_3 في المقطع 1-1 من أجل النموذج $\dot{\epsilon} = 1 \text{ s}^{-1}$



الشكل (25)- قوة القص Q_2 في المقطع 1-1 من أجل النموذج $\dot{\epsilon} = 1 \text{ s}^{-1}$



الشكل (26)- القوة المحورية N في المقطع 1-1 من أجل النموذج $\dot{\epsilon} = 1 s^{-1}$

5- النتائج والتوصيات:

- (1) إن تأثير سرعة التشوه يكون جلياً على منطقة الذروة والجزء الهابط من مخطط الإجهاد-التشوه للبيتون والتي عندها تبدأ المفاصل اللدنة بالتشكل
- (2) تزداد المقاومة المميزة للبيتون بازدياد سرعة التشوه بمقدار (1.79-1.05) وذلك من أجل سرعات التشوه التي تتراوح ضمن المجال $\dot{\epsilon} = (100 - 0.001) s^{-1}$
- (3) يزداد كل من معامل المرونة والتشوه الأقصى للبيتون بازدياد سرعة التشوه بمقدار (1.48-1.095) و (1.35-1.073) على التوالي وذلك من أجل سرعات التشوه التي تتراوح ضمن المجال $\dot{\epsilon} = (100 - 0.001) s^{-1}$
- (4) تتناقص الانزياحات الطابقية نتيجة تأثير مخطط الإجهاد-التشوه للبيتون الناتج عن سرعات تشوه متزايدة وسبب ذلك يعود للزيادة الحاصلة في معامل مرونة البيتون، ويتم تحديد مخطط الإجهاد-التشوه للبيتون الملائم لمنشأ ما معرّض لهزة أرضية عن طريق مقارنة نتائج استجابته المخبرية والحاسوبية.
- (5) تتناقص التسارعات الطابقية نتيجة تأثير مخطط إجهاد-تشوه للبيتون الناتج عن سرعات تشوه متزايدة قيمتها $10 s^{-1} > \dot{\epsilon}$ وتزداد قيمتها من أجل $\dot{\epsilon} < 10 s^{-1}$

6) تزداد القوى الداخلية في مقاطع العناصر نتيجة استخدام مخطط (إجهاد-تشوه) الناتج عن سرعات التشوه $1 s^{-1} < \dot{\epsilon}$ وتتنخفض قيمتها من أجل السرعات الأكبر، ومن الملاحظ أن المخطط (إجهاد-تشوه) للبيتون الملائم للمنشأ يعطي أقل فارق حاصل في قيم القوى الداخلية.

بالاعتماد على النتائج السابقة يمكن:

1) العمل على ربط مخطط (إجهاد-تشوه) للبيتون الناتج عن سرعة تشوه معينة مع الشدة الزلزالية للهزة الأرضية التي يتعرض لها المنشأ

2) العمل على اختبار فكرة البحث من أجل جمل إنشائية أخرى كجدران القص

-6 المراجع:

- 1- SPECIAL ACTIVITY GROUP 5, 2012- CEB-FIP-Modal Code2010. Final Draft, Volume1, The International Federation for Structural Concrete, Switzerland, 357p.
- 2- SPECIAL ACTIVITY GROUP 5, 1991- CEB-FIP-Modal Code1990. Final Draft, Volume1, The International Federation for Structural Concrete, Switzerland, 462p.
- 3- SHEN DEJIAN, LU XILIN, 2008- Experimental Study on Dynamic Compressive Properties of Microconcrete under Different Strain Rate, Beijing University, China, 8 pages.
- 4- YIJIANG PENG, QING WANG, LIPING YING, MAHMOUD M. A. KAMEL, HONGTAO PENG, 2019- Numerical Simulation of Dynamic Mechanical Properties of Concrete under Uniaxial Compression, Licensee MDPI, Basel, Switzerland, 15 page.
- 5- SHUANG HOU, HAIBIN ZHANG, XIN HAN, JINPING OU, 2017- Damage monitoring of the RC frame shaking table

- test and comparison with FEM results, Published by Elsevier Ltd, Guangzhou (Canton), China, (393–400)p.
- 6– Dr.MAŁGORZATA PAJAŁ, 2011– The Influence of the Strain Rate on the Strength of Concrete Taking into Account the Experimental Techniques, the Silesian University of Technology, Poland, (77–87)p.
- 7– BRUNEAU MICHEL, UANG CHIA-MING, SABELLI RAFAEL, 2011– Ductile Design of Steel Structures 2nd Edition, Chapter4 Concepts of Plastic Analysis, Published by McGraw–Hill Education, Hawthorne, CA, U.S.A, 74p.
- 8– EDWARD L. WILSON, 2002– Three Dimensional Static and Dynamic Analysis of Structures, University of California at Berkeley, U.S.A, 423p.

