مجلة جامعة تشرين للدراسات والبحوث العلمية – سلسلة العلوم الهندسية المجلد (17) العدد (3) 1995
Tishreen University Journal for Studies and Scientific Research –Engineering Science Series Vol. (17) No (3) 1995

دراسة مقارنة لتصميم الإطارات البيتونية المسلحة تحت تأثير الزلازل بطريقتي السعات والتكيف

الدكتور زكائي طريفي*

الملخّص

تم بشكل موجز استعراض نظرية حساب السعات حيث تعتمد طريقة المرونة في حساب قوى المقطع مع إعادة توزيع للعزوم. استعرضت أيضاً نظرية تكيف المنشآت والتي تعتمد الطريقة الغير خطية في حساب المنشآت الهندسية تحت تأثير الحمولات الديناميكية.

قورنت الطريقتان من خلال مثال حسابي وهو عبارة عن إطار بيتوني مسلح بثلاث طوابق وبفتحتين. نتيجة المقارنة تم التأكد من خلال الحساب بالطريقة الغير خطية من وجود احتياطي لتحمل الإطار.

اقترح كتوصية اعتماد طريقة مبسطة مستنتجة من طريقة حساب السعات في الكودات العربية، حيث تتميز هذه الطريقة بخطواتها الواضحة وبإمكانية التحديد الحسابي لتفاصيل التسليح اللازمة للجملة وللعناصر الإنشائية المقاومة لأثر الزلازل.

* مدرس في قسم الهندسة الإنشائية – كلية الهندسة المدنية – جامعة تشرين – اللاذقية – سورية.

مجلة جامعة تشرين للدراسات والبحوث العلمية – سلسلة العلوم الهندسية المجلد (17) العدد (3) 1995
Tishreen University Journal for Studies and Scientific Research –Engineering Science Series Vol. (17) No (3) 1995

Comparable Study to Design R/C Frames Under Earthquake by Capacity and Adaptation Methods

Dr. Zakai TRAIFI*

❐ ABSTRACT ❐

Briefly exposed the capacity calculation theory, which applied the elastic way to calculate the internal forces with redistribution of moment. We displayed the constructions adaptation theory also, which applied the Non-linear way in calculating the engineering constructions under the effect of dynamic loads.

We compared the two methods through calculation example, it is a R/C frame with three flats and two span. As the result of comparison we assured by using Non-linear way that there is a provision of the frame bearing.

We recommended applying a simple way concluded from capacity calculation way in Arabic Codes. This way is distinguished by its clear steps, and the ability of calculating defining of needful Reinforced details to the whole and to the resistable construction elements to the effects of Seismes.

*Lecturer at Department of Structural Engineering, Faculty of Civil Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.

1- تمهيد:

يختلف أثر الزلازل على المنشآت الهندسية بشكل جوهري عن أثر الحمولات الميتة والحية والرياح وذلك لأن الزلازل تؤدي بشكل عام إلى حدوث تشوهات لدنة دورية بينما تؤدي بقية الحمولات إلى حدوث تشوهات مرنة.

يعني مصطلح المطاوعة (Ductility) إمكانية العنصر الإنشائي أو المنشأة إلى التشوه اللدن إضافة إلى التشوه المرن مع المحافظة على حد التحمل، يمكن أن توصف المطاوعة عددياً بوساطة معامل المطاوعة وهو عبارة عن نسبة التشوه سواء أكان انتقال أم دوران أم انحناء في مرحلة الانكسار منسوب إلى قيمة التشوه لحظة بدء التلدن.

إن الميزة الأساسية لقيم معامل المطاوعة الكبيرة تحت تأثير حمولة الزلازل تأتي من خلال مفهوم الطاقة. يتسبب الزلزال نتيجة اهتزاز القشرة الأرضية بتوليد طاقة في المنشأة الهندسية. تختزن الطاقة في المنشأة من خلال الطاقة المسببة للاهتزاز ومن خلال التخامد وعمليات الامتصاص الأخرى لها. عندما تتجاوز قيمة الطاقة الحركية القيمة التي يمكن تحملها في جزء أو كامل المنشأة يحدث لدينا انكسار محلي أو انهيار كامل.

إن الوظيفة الأساسية لمقاومة المنشآت للزلازل تتمثل عند تصميم وحساب المنشأة بضرورة توزيع وتحويل الطاقة الحركية المتولدة إلى أشكال أخرى من الطاقة وبذلك نتمكن من تجنب انهيار المنشأة. امتصاص الطاقة من خلال التخامد يكون صغيراً نسبياً ولا يكون كافياً لتخفيض الطاقة المتولدة عن الهزة في حالة الزلازل القوية. يكون امتصاص الطاقة في مثل هذه الحالات عن طريق التشوهات اللدنة الدورية ذا أثر كبير حيث يكون الجزء الرئيسي من امتصاص الطاقة.

2- عرض موجز لنظرية حساب السعات:

تضمن طريقة حساب السعات قيماً مختارة ومحددة سلفاً لمعامل المطاوعة وبالتالي درجة أمان كبيرة لمقاومة أثر الزلازل. تحدد في المنشأة مناطق التلدن وتصمم وتسلح بحيث تحافظ على مطاوعة كافية، أما بالنسبة للمناطق الأخرى من المنشأة فيكون لها قدرة تحمل كبيرة بالمقارنة مع قدرة تحمل المناطق اللدنة، وبحيث تبقى دائماً مرنة بذلك نكون قد حافظنا على أن الميكانيكية المختارة تبقى دوماً قادرة على امتصاص الطاقة رغم التشوهات الكبيرة الحاصلة في المنشأة.

تعتمد طريقة حساب السعات على المبادئ الأساسية التالية:

1- الحد من قيم الجهود حيث يحد من قيم الجهود العظمى في المنشأة ويتم المحافظة على أن تبقى ضمن الحدود المسموحة.

2- تحديد مناطق امتصاص الطاقة حيث تحدد مناطق امتصاص الطاقة في المنشأة بشكل واضح أثناء عملية التصميم كما وتحدد قيم الجهود فيها وتسلح تبعاً لذلك.

3- حماية المنطقة المرنة من الجهود الزائدة حيث يتم الحفاظ على أن تبقى في الحالة المرنة مهما تكن قيم القوة الزلزالية.

4- المحافظة على السلوك المطاوع لكامل المنشأة وذلك على الرغم من وجود أجزاء مرنة مع القدرة الكبيرة على التشوه.

يمكن تلخيص الإطار العام للطريقة بالجدول رقم (1). توضح المراجع[1،2،3] العرض النظري والتفصيلي لطريقة الحساب.

3- تطبيق نظرية تكيف المنشآت في حساب السعات:

يؤخذ بعين الاعتبار عند البحث في سلوك المنشآت اللاخطي التشوهات والاجهادات المتبقية. ليس بالإمكان اعتماد تعريف واضح لدرجة ضرر المنشأة دون دراسة قيم قوى المقطع والاجهادات والتشوهات.

الشكل (1) مراحل التصميم بطريقة حساب السعات

تتمثل الفكرة الأساسية لنظرية تكيف المنشآت بأنه من الممكن تقسيم الاجهادات أو قوى المقطع إلى جزئين الجزء الأول خطي-مرن والجزء الثاني متبق لدن طالما ان شدة الحمولة المطبقة لا تتجاوز قيمة محددة مسبقاً وهي عبارة عن حمولة التكيف الحدية (Adaptive Ultimate load). يتولد لدينا بعد عدد معين من تتابع الأحمال حالة مستقرة للاجهادات المتبقية أو لقوى

المقطع المتبقية. ينجم عن كل المؤثرات اللاحقة تشوهات مرنة.

يمكن تحديد حمولة التكيف الحدية من خلال صياغة الحالة الحدية والتي تتحول من خلال تجزئتها لمجالات متعددة إلى مسألة أمثلة خطية (Linear optimization). تتحدد قيم الاجهادات المتبقية لكل شدات الحمولات المؤثرة والتي لا تزيد قيمتها عن حمولة التكيف الحدية من خلال أمثلة مربعة (Quadratic optimization) يصبح بذلك من الإمكان دراسة المنشآت الهندسية الخاضعة لحمولات ديناميكية.

توضح المراجع[4،5،6،7] العرض النظري والتفصيلي لحساب المنشآت بطريقة التكيف.

4- مثال حسابي:

المثال الحسابي عبارة عن إطار من البيتون المسلح بثلاث طوابق وبفتحتين كما هو موضح بالشكل رقم (2). البيتون المستخدم ذو مقاومة $f_{cu} = 25N/mm^2$ وعامل المرونة $E_c = 30500\ N/mm^2$، اما بالنسبة لمقاومة فولاذ التسليح المستخدم فتساوي $F_y = 500\ N/mm^2$ اختبرت في المثال الحمولات الدائمة وكذلك حمولة حية بشدة $2.5\ KN/m^2$. بسبب عدم توفر معطيات عن زلازل سورية اعتمد في الحساب تابع التسارع الزمني لزلزال TAFT. يوضح الشكل رقم (2) طيف الإجابة (Response spectrum) لزلزال TAFT وذلك من أجل تخامد 2%.

4-1: الحساب بحسب نظرية السعات:

اعتمد مبدأ الحمولة الستاتيكية المكافئة وذلك لحساب القوى الناجمة عن الزلزال. اعتبر أثناء تحديد الموديل الحسابي أن نسبة الحمولة الحية المؤثرة لحظة تأثير الزلزال تساوي 10% من الحمولة الدائمة حسب[1]، لذلك اعتبرت الكتل عند كل طابق مساوية إلى 1.1 من الحمولة الدائمة. اعتمادا على البرنامج الحسابي[8] أمكن تحديد دور الاهتزاز الأساسي للإطار ويساوي $T_1 = 0.4435Sec$ وهذا يوافق تسارعاً يساوي $a = 6.2619m/Sec^2$ بالتالي أمكن تحديد مجمل الحمولة الستاتيكية المكافئة. ركزت 10% من الحمولة الستاتيكية المكافئة في أعلى الإطار ووزعت بقية الحمولة على الارتفاع اعتمادا على العلاقة:

$$F_i = (F_{tot} - F')m_i.h_i \Big/ \sum_{i=1}^{n} m_i.h_i$$

يوضح الشكل رقم (3) النتائج الحسابية للحمولة الستاتيكية المكافئة. تم بعد ذلك حساب قوى المقطع الناجمة عن الحمولات الدائمة والزلزالية اعتمادا على البرنامج الحسابي[9]. تعتمد طريقة حساب

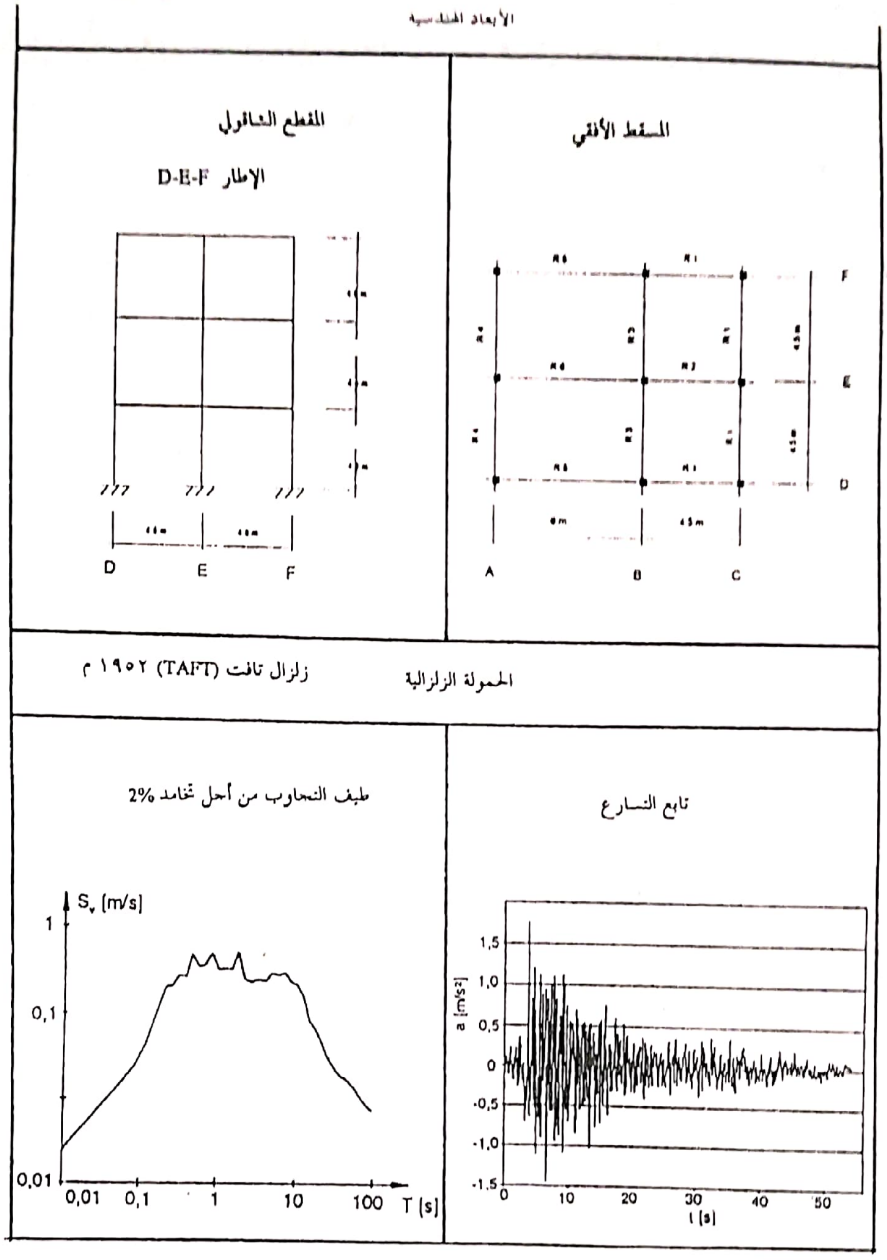
السعات على إعادة توزيع العزوم في العناصر الأفقية من الإطار وذلك من خلال تخفيض قيم العزوم السالبة الأعظمية حتى حوالي 30% أي ($\Delta M \le 0.3|M'|_{max}$).

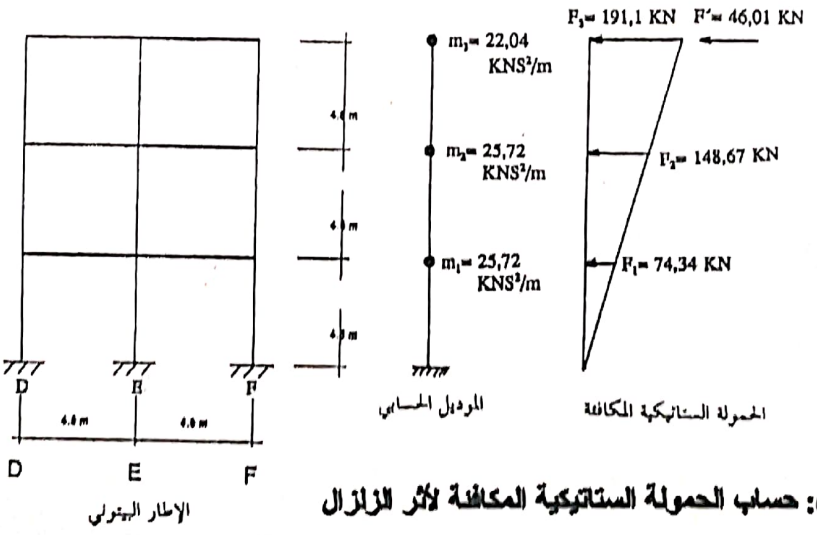
يوضح الشكل رقم (4) إعادة توزيع العزوم وذلك من أجل جهتي تأثير الزلزال وعند مختلف طوابق الإطار البيتوني. بعد تحديد مغلف العزوم النهائي يمكن حساب مقاطع التسليح الطولية والعرضية للعناصر الأفقية ولأعمدة الإطار وكذلك للعقد. تم ذلك اعتماداً على قواعد حساب التسليح في[1]. يلخص الشكل رقم (5) مقاطع التسليح المحسوبة للإطار المدروس.

4-2: الحساب بحسب نظرية تكيف المنشآت:

حسب المثال بطريقة تكيف المنشآت وذلك من خلال البرنامج STABAD[10]. نحتاج في هذه الطريقة إضافة للأبعاد الهندسية وخواص المادة أيضاً إلى مقاطع التسليح في كل عنصر من عناصر الإطار. أمكن تحديد مقاطع التسليح اعتماداً على النتائج الحسابية بطريقة السعات.

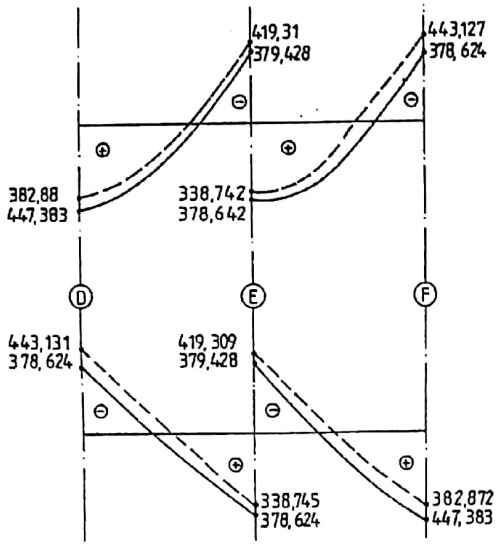
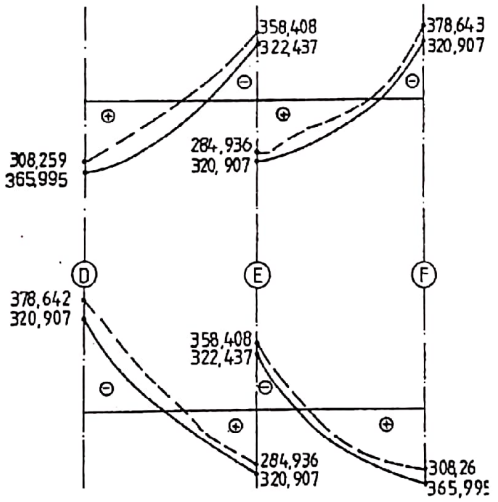
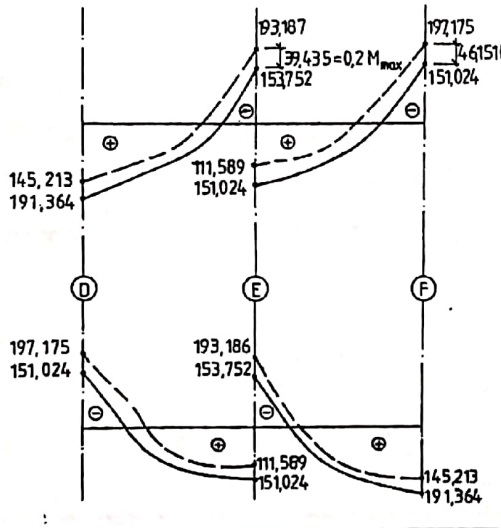
الشكل (2): معطيات المثال المدروس



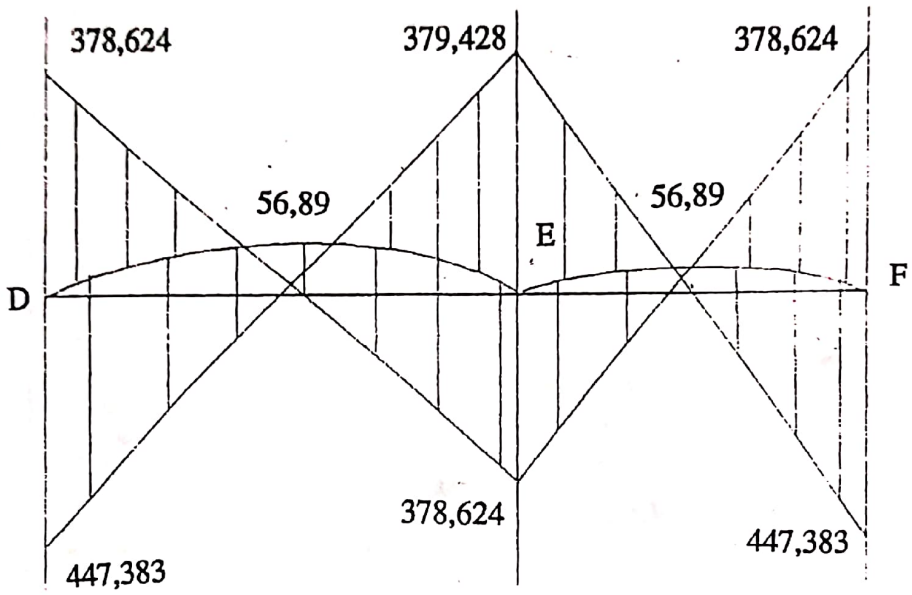


الشكل (3): حساب الحمولة الستاتيكية المكافئة لأثر الزلازل

الشكل (4): إعادة توزيع العزوم في العناصر الأفقية من الإطار

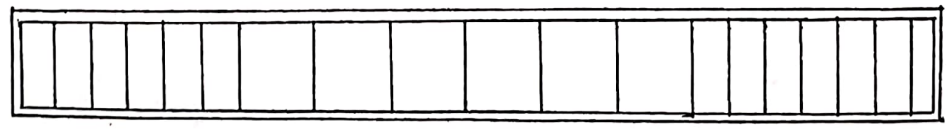
منسوب العنصر الأفقي من الإطار	اعادة توزيع العزوم	جهة تأثير الزلزال
الطابق الأول		
الطابق الثاني		
الطابق الثالث		

الشكل (5): حساب مقاطع التسليح اللازمة للعنصر الأفقي من الإطار وعند منسوب الطابق الأول

التسليح الطولي	
	مخطط اعادة توزيع العزوم النهائي في العنصر الأفقي من الاطار
$A_s^- = 22,26\ Cm^2$ — $A_s^- = 22,31\ Cm^2$ — $A_s^- = 22,26\ Cm^2$	مقطع التسليح للطبقة العلوية
$A_s^+ = 26,30\ Cm^2$ — $A_s^+ = 22,25\ Cm^2$ — $A_s^+ = 26,30\ Cm^2$	مقطع التسليح للطبقة السفلية

التسليح العرضي

أترية قطر	أترية قطر	أترية قطر
Ø 8 mm	Ø 8 mm	Ø 8 mm
4- فروع	4- فروع	4- فروع
S= 65 mm تباعد	S= 100 mm تباعد	S= 65 mm تباعد



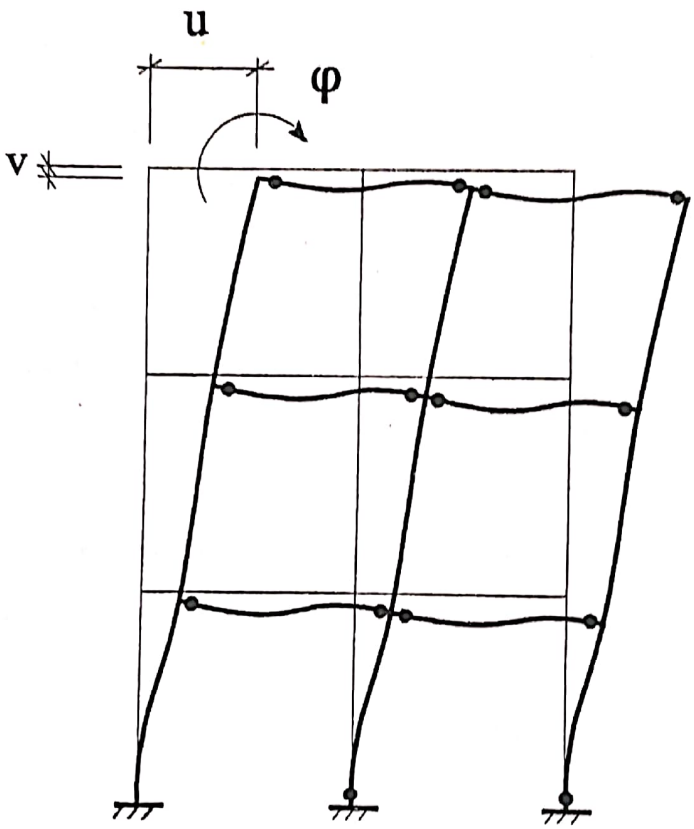
منطقة لدنة — منطقة مرنة — منطقة لدنة

$2h_p$ — 2 m — $2h_p$

2(50)= 1m — 1 m

h_p: الإرتفاع الكلي للعنصر الأفقي للإطار

تم البحث عن الحالة التي تتوافق مع طريقة السعات وذلك من ناحية تشكيل المفاصل اللدنة، حيث سمح بتشكيل مفاصل لدنة في أسفل أعمدة الطابق الأرضي وفي العناصر الأفقية من الإطار فقط. يوضح الشكل رقم (6) أماكن تشكل المفاصل اللدنة بحسب طريقة التكيف.



الشكل (6): تشكل المفاصل اللدنة في المثال المدروس بحسب طريقة التكيف

3-4: مقارنة طريقة السعات مع طريقة التكيف:

نتيجة مقارنة طريقة السعات مع طريقة التكيف (انظر الشكل 7) يمكن استنتاج ما يلي:

1- معامل الحمولة الحدية بطريقة التكيف أكبر منه بطريقة السعات، هذا يعني أن الحساب بالطريقة الغير خطية يبرهن على وجود احتياطي لتحمل الإطار البيتوني بالمقارنة مع الحساب بطريقة السعات والتي تعتمد طريقة المرونة في حساب قوى المقطع مع إعادة توزيع العزوم.

2- يعتبر البرنامج STABAD أن مقاطع التسليح المعطاة ثابتة على طول العنصر الإنشائي وهذا لا يتطابق مع حقيقة توضع قضبان التسليح مما قد يؤدي إلى زيادة معامل الحمولة الحدية بطريقة التكيف.

5- الاستنتاجات والتوصيات:

إن تصميم المنشآت الهندسية المقاومة للزلازل مسألة هامة جداً وخصوصاً بالنسبة للمنشآت الحيوية مثل المشافي والمدارس...الخ.

كما هو ملاحظ من مقارنة الطريقتين السابقتين فإن تصميم المنشآت الهندسية المقاومة للزلازل بطريقة التكيف (الطرق الغير خطية) هو عملية مجهدة ولا يمكن أن تتم يدوياً وإنما بحاجة إلى استخدام حواسب.

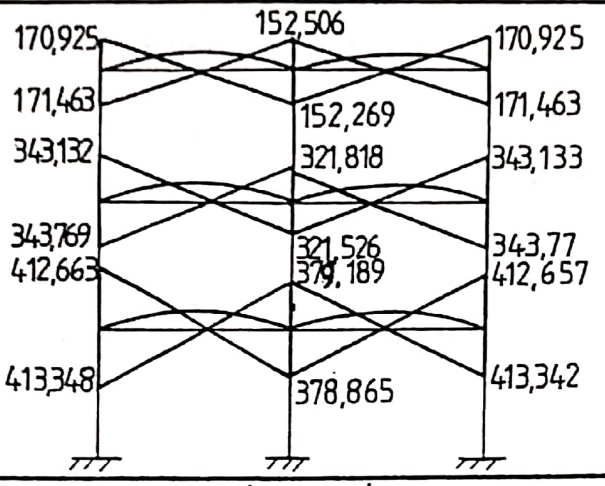
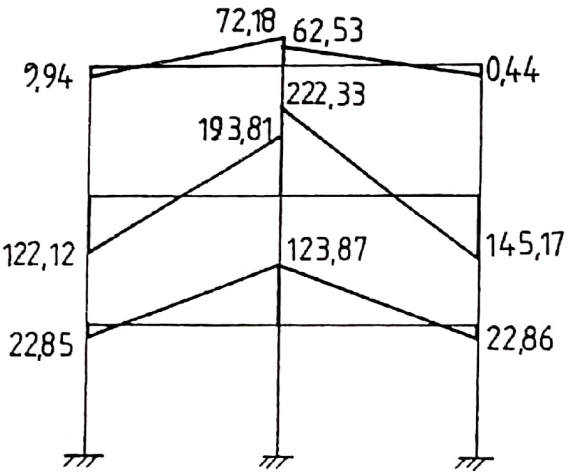
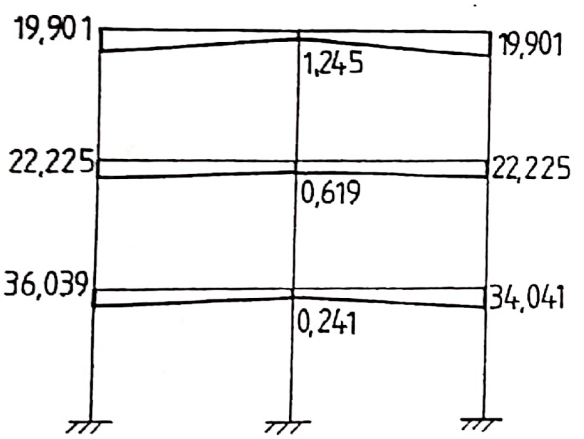
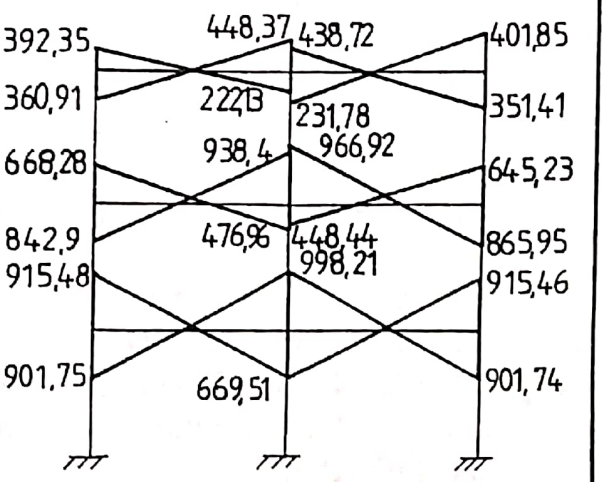
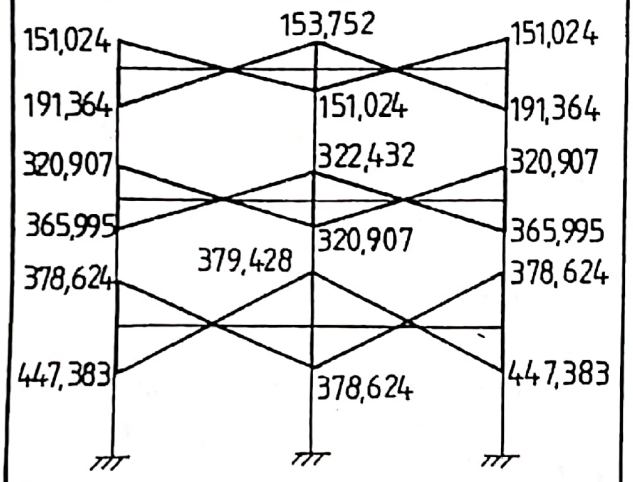
تعتمد الكودات العالمية حديثاً مثل الكود الأوروبي الموحد Eurocode8 طرقاً مبسطة وعملية لتصميم المنشآت المقاومة للزلازل مستنبطة من طريقة حساب السعات كما هو موضح في[11] مع ملاحظة أن هذه الطرق لا تكتفي بحساب القوى الناجمة عن الزلازل فقط وإنما تحدد حسابياً تفاصيل التسليح اللازمة للعناصر الإنشائية.

إن اعتماد طريقة مبسطة مستنبطة من طريقة حساب السعات في الكودات العربية يؤدي إلى التخفيف من المخاطر الزلزالية في وطننا العربي والذي عانى كثيراً من آثار الزلازل مثل:

- زلزال أغادير في المغرب 1960/2/29.
- زلزال الأصنام في الجزائر 1980/10/10.
- زلزال اليمن 1982/12/13.
- زلزال القاهرة في مصر 1992/10/12.

كما أنه من السهل على المهندسين استيعاب هذه الطرق وتطبيقها بالشكل السليم.

الشكل (7): مقارنة طريقة السعات مع طريقة التكيف

طريقة التكيف	طريقة السعات
	
$M_{el} = M_g^{el} + M_E^{el} \rightleftarrows$	
	
M_r (العزوم المتبقية)	M_r (العزوم المتبقية) $= M_{Um} - M_{el}$
	
$M = P_A \cdot M_E^{el} + M_g + M_r \quad (P_A = 2,2)$	$M_{Um} = M_{el} + M_r \quad (P = 1,00)$

REFERENCES المراجع

[1]- PAULAY, T.; BACHMANN, H.; MOSER, K.: Erdbebenbemessung von Stahlbetonhochbauten. Birkhaeuser – Verlag. Basel – Bosten, 1990.

[2]- MOSER, K.; PAULAY, T.: Kapazitaetsbemessung erdbebenbeanspruchter Stahlbetonrahmen.- In: SIA. S. 1268-1275, 1990.

[3]- BACHMANN, H.; MOSER, K.; WENK, T.: Kapazitaetsbemessung und Duktilitaesbedarf. von Stahlbetonhochbauten unter Erdbedeneinwirkung.- In: schrftenreihe der DGEB, Heft 2, Seite 105-117, 1992.

[4]- RAUE, E.: Zur Bestimmung der adaptiven Grenzlast statisch unbestimmter Tragwerke.- In: Industrie- und Spezialbau, Theorie und Anwendung, Festschrifft Erhard Hampe, Hochschule fuer Architektur und Bauwesen Weimar, Weimar 1993.

[5]- RAUE, E.; TIMMLER, H.-G.; SAAD, M.: Modelle zur Untersuchung des adaptiven Tragverhaltens dynamisch beanspruchter Tragwerke mit Methoden der mathematischen Optimierung.- In: Tagung dynamische Probleme – Modellierung und Wirklichkeit, Hannover 1993.

[6]- RAUE, E.; TIMMLER, H.-G.; SAAD, M.: Berechnungsmodelle fuer Tragwerke mit nichtlinearem Tragverhalten unter mehrfach wiederholter und unter dynamischer Belastung.- Studienmaterial zum Lehrgebiet Ausgewaehlte Kapitel des Stahlbetonbaus, Hochschule fuer Architektur und Bauwesen Weimar – Universitaet-; 1994.

[7]- RAUE, E.; TIMMLER, H.-G.; SAAD, M.; SCHUELER, H.: Adaptive load Bearing Behaviour of Seismically Excited Reinforced Concrete Structures.- In: Proceedings of the 10th European Conference on Earthquake Engineering. Vienna, Balkema Publ. 1994.

[8]- MESKOURIS, K.; KRAETZIG, W.B.; ELENAS, A.; U.A.: Meskrocomputer unterstuetzte Erdbebenuntersuchung von Tragwerken.- Programm NILDYN. Ruhr-Universitaet, Bochum.

[9]- PROGRAMM ASTA, EBENES STABWERK. Lehrstuhl Massivbau l, HAB Weimar, 1993.

[10]- STABAD – Berechnungsprogrmm an Institut fuer Industrie – und Spezialbau Weimar, 1994.

[11]- EIBL, J; HILSDORF, H.K.: Erdbebenauslegung von Massivbauten unter Beruecksichtigung des Eurocode 8.- Massivbau Baustofftechnologie, Karlsruhe, Heft 18, 1993.