التحليل الإنشائي للأحمال الزلزالية بطريقة المكافئ الستاتيكي لتصميم المنشآت الهامة

الدكتور إبراهيم عطية

قسم الهندسة الإنشائية ـ كلية الهندسة المدنية

جامعة دمشق

الملخص

تعتمد طريقة المكافئ الستاتيكي للتصميم المقاوم للزلازل كطريقة مبسطة لتصميم المنشآت ذات المصادر الإشعاعية المحدودة وفق إرشادات الوكالة الدولية للطاقة الذرية، لضمان الأمان الكامل وتجنب الكوارث التي قد تنجم عن أي خلل في التشغيل. ويهدف البحث عرض وتطبيق الطريقة ومقارنة النتائج بإجراء التحليل الإنشائي باستخدام نظام برمجي للتحليل الديناميكي باعتماد تسجيل لهزة أرضية حقيقية للتحقق من حدود صلاحية الطريقة والمقترحات التي يمكن استنتاجها لضمانات الأمان في التحليل الإنشائي.

1 - المقدمة:

تنص كودات التصميم الإنشائي على الشروط الأساسية للتصميم المقاوم للهزات الأرضية في المنشـآت العادية ذات الجمل الإنشائية البسيطة، واعتماد طرائق مبسطة لإجراء التحليـل الـديناميكي بطريقـة ستاتيكية مكافئة لتحديد الأحمال الأفقية على المنشأة اعتماداً على المعطيـات الزلزاليـة المتـوافرة أو المتوقعة، والخواص الديناميكية للجملة الإنشائية والخواص الجيوتكنيكية لتربة التأسيس، أما في حالـة المنشآت الهامة كالمنشآت الصناعية الكميائية الضخمة ومحطات توليد الطاقة والمحطات الذريـة فـإن الطرائق المبسطة لا تصلح في التصميم، كون هذه المنشآت ذات جمل إنشائية معقـدة، ويصـبح مـن الضروري إجراء تحليل ديناميكي بمساعدة النظم البرمجية باستخدام الحاسوب، وبطرائق دقيقة لنمذجة المنشأة وتحديد تصرفها الحقيقي خلال الحدث الزلزالي باعتماد تسجيلات للهزات الأرضـية للتسـارع بدلالة الزمن، أو استخدام أطياف الاستجابة التي تكون بمنزلة مغاف للأحـداث الزلزاليـة بالتسـارع الأعظمي، والمتوقعة وفقاً لدراسات إحصائية للأحداث الزلزالية تاريخياً. يسمح استخدام الطرائق الدقيقة بتعزيز التصميم للأمان من الأخطار الزلزالية لهذه المنشآت، نظراً لخصوصيتها الناجمة عن ضـخامة هذه المنشآت وتعقيداتها من جهة، وضرورة توافر الأمان التام للتشغيل مـن جهـة أخـرى، لتجنـب الكوارث التي قد تنجم عن أي خلل في التشغيل، وضرورة التقيـد بالقواعـد والتعليمـات التشـريعية المتشددة التي تضعها السلطات المختصة لضمان الحماية للبيئة والسكان والأمن الصناعي، ومنعاً للآثار السلبية في حال حدوث خلل قد يؤدي إلى تسرب الغازات والسوائل الملوثة كيميائياً أو إشعاعياً.

دفعت خصوصيات المنشآت النووية الوكالة الدولية للطاقة الذريـة لوضـع مجموعـة مـن الوثـائق وإرشادات الأمان [1] ، [2] الخاصة بالهزات الأرضية والتحليل الزلزالي للمنشآت النووية وتوصـيات لضرورة تطبيق مفومات التصميم المقاوم للهزات الأرضية، كما أجرى البـاحثون دراسـات معمقـة لتطوير معايير وتقانات تحليل الفعل المتبادل بين التربة والمنشـأة، وأمـا المنشـآت ذات المصـادر الإشعاعية والراديولوجية المحدودة لمفاعلات البحوث والخلايا الحـارة، ومحطـات صـناعة وقـود اليورانيوم، فهي منشآت صناعية خاصة ذات جمل إنشائية بسيطة إلا أنها تحتاج إلى درجة عالية مـن الأمان، نظراً لخصوصية هذه المنشآت. وليس من الضروري استخدام الطرائق الدقيقة الخاصة بمباني المفاعلات النووية وبذل الجهود الكبيرة اللازمة لجمع المعلومات والمعطيات الدقيقة اللازمة للتحليل، إذ إن اعتماد الأسلوب التقليدي للتصميم لا يحقق الأمان المطلوب في هذه المنشآت، إذ يشترط عدم فقـدان وظيفة الأداء خلال الحدث الزلزالي، أو ضمان الأمان ضد الانهيار حالة وقوع الحدث. فقد اعتمـدت الوكالة الدولية للطاقة الذرية لمثل هذه المنشآت طريقة مبسطة للتصميم المقـاوم للهـزات الأرضـية

للمنشآت ذات المصادر الإشعاعية المحدودة [3]. وهي طريقة تعتمد التحليل الستاتيكي المكافئ للتحليل الديناميكي إلا أنه يختلف عن طرائق الكودات للأبنية العادية، وتهدف هذه الطريقة إلى تجنب الحسابات المعقدة وبطريقة واضحة وتحقق هامشاً كبيراً في الأمان.

2 ـ عرض طريقة المكافئ الستاتيكي للتصميم الزلزالي للمنشآت ذات المصادر الإشعاعية المحدودة:

يتم تقويم معطيات التصميم الزلزالي وفق الشدة الزلزالية التسجيلية القصوى في منطقة يبلغ نصف قطرها 100 إلى 200 كيلو متر حول الموقع، أو دراسة المعطيات التسجيلية التاريخية لفترة تمتد إلى 100 سنة على الأقل. ويتم تصنيف الشدة التصميمية في ثلاثة مستويات وفق الجدول (1) من خلال المعلومات الأساسية عن زلزالية المنطقة.

الجدول رقم ـ 1 ـ تصنيف الشدة التصميمية [3]

مستوى الشدة التصميمية	معدل الشدة التسجيلية العظمى I_{max}	التسارع التصميمي a_b	
1	$VIII < I_{max} \leq VII$	0.08g	I_{max} : الشدة التسجيلية وفق مقياس MERCALL المعدل. g: تسارع الجاذبية
2	$IX < I_{max} < VIII$	0.15g	
3	$< I_{max}$ IX	0.30g	

وينصح بإجراء التحريات الجيوتكنيكية والجيولوجية في الموقع لتقدير تحمل التربة وخواصها الميكانيكية بإجراء سبور كافية وتحديد عمق طبقة التأسيس الصلبة.

وتعتمد قيم التسارع التصميمي في الجدول (1) عند طبقة التأسيس الصلبة. ويؤخذ أثر التضخيم بتأثير التشكيلات الجيولوجية المتوضعة فوق مستوى التأسيس وفق العلاقة:

$$a_g = \gamma . a_b$$

a_g : التسارع الأرضي التصميمي

γ : معامل يتعلق بصنف التربة وفق الجدول (2).

الجدول رقم ـ 2 ـ معامل التضخيم [3]

صنف التربة	طبقة صلبة	تربة عادية	تربة ردميات بعمق أكثر من 25 m
قيمة γ	1,0	1,25	1,50

يتم تحديد الأحمال الأفقية الناجمة عن الزلازل بطريقة المكافئ الستاتيكي بالصيغة:

$$F_i = a_g C_i w_i$$

a_g : التسارع التصميمي المطبق على مستوى سطح الأرض وفق العلاقة (1) والجدول رقم (2)

C_i : معامل يتعلق بارتفاع البناء ومعامل الاستجابة لمادة المنشأة وفق العلاقة:

$$C_i = \frac{S_i}{\mu}$$

w_i : الوزن الإجمالي للبناء في الطابقi

أما قيمة S_i و μ فتعطى وفقاً للجدولين (3) و(4)

الجدول رقم ـ 3 ـ معامل الارتفاع [3]

مستوى الطابق	معامل الارتفاع S_i	
الجزء المطمور	0,75	تحدد قيم S_i في الارتفاعات المختلفة بالاستيفاء الخطي
مستوى الأرض	1,00	
مركز ثقل البناء	1,50	
قمة البناء	2.25	

الجدول رقم ـ 4 ـ معامل التخامد وفقاً لنوع الجملة الإنشائية [3]

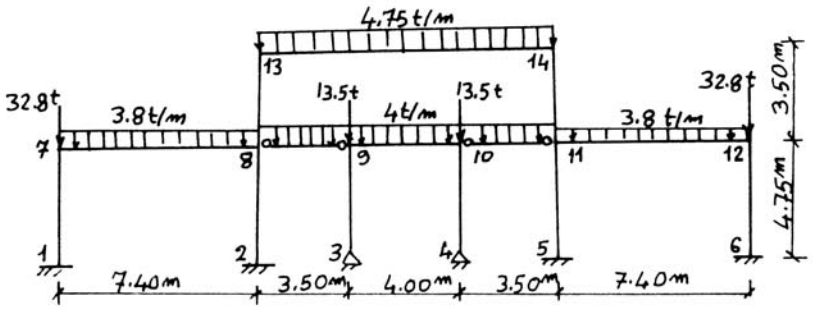
نوع الجمل الإنشائية	معامل التخامد μ

جملة إنشائية إطارية للأحمال الشاقولية وإطارات خاصة مدعمة أو جـدران قص للأحمال الأفقية:	
- إطارات خفيفة وألواح قص.	3,5
- جملة إطارية وجدران قص من البيتون المسلح.	2,7
- جملة إطارية مع جدران قص من البيتون العادي أو تسليح خفيف.	1,0
جملة إطارية مقاومة للعزوم للأحمال الشاقولية والأفقية:	
إطارات معدنية.	2,2
إطارات من البيتون المسلح.	1.0

3 ـ تطبيق لطريقة المكافئ الستاتيكي:

تم تطبيق طريقة المكافئ الستاتيكي لتصميم إطارات مقاومة للزلازل في منشأة صناعية خاصـة بأبعاد 25.8 m ×25.8 ذات صالة مركزية بأبعاد 11×11، الجملة الإنشائية مؤلفة من أربعة إطارات رئيسية، إطارين لكل اتجاه، ويرتبط طرفا الإطار في المجاز الوسطي بجملة ثانوية من جوائز وأعمـدة داعمة للشد والضغط ونقل الأحمال الأفقية.وتتألف الجملة الداعمة من إطار وسطي يرتبط مع الجملـة الأساسية بعناصر متمفصلة الطرفين العنصرين 11 - 10 و 9 - 8، والتـي تقـوم بنقـل الأحمـال المحورية فقط دون نقل عزوم الانعطاف.

أما العناصر الرئيسية للإطار فهي ذات مقطع متماثل وعطالة ثابتة، ويبين الشـكل رقـم (1) الأبعـاد والأحمال الدائمة المطبقة على الإطار.



الشكل ـ 1ـ الأحمال الشاقولية

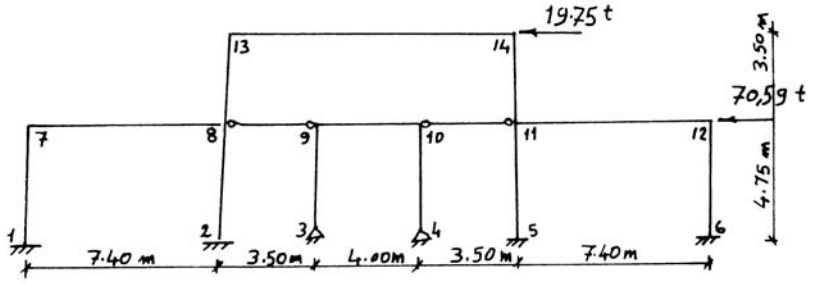
أما الأحمال الأفقية الناجمة عن الهزة الأرضية والمبينة في الشكل (2) فقد تم تحديدها وفـق طريقـة المكافئ الستاتيكي وفقاً للمعطيات الزلزاليه والجيولوجية في الموقع، إذ تقع المنشأة في منطقة متوسطة الشدة الزلزالية وقد اعتمد للتصميم المستوى الثاني للشدة التصميمية على الجدول رقم (1).

كما أظهرت التحريات الجيولوجية في مستوى التأسيس وجود كتل صخرية بازلتية على عمق2.5 m – 2 من سطح الأرض، واعتمدت لذلك قيمة وسطية لمعامل التضخيم بين التربة الصخرية والتربة العادية لوجود الكتل البازلتية 1.12= γ

وبتطبيق العلاقة (2) من أجل:

1= μ جملة إطارات بيتونية مقاومة للعزوم وفق الجدول رقم (4) وبتحديد معاملات الارتفاع: 2.25 عند أعلى البناء وفق الجدول (3) أما معامل الارتفاع عند المستوى 4.75 فيحسب بالاستيفاء الخطـي:

$$S = 1 + \frac{1.25}{8.25} \times 4.75 = 1.72$$



الشكل ـ 2 ـ الأحمال الأفقية

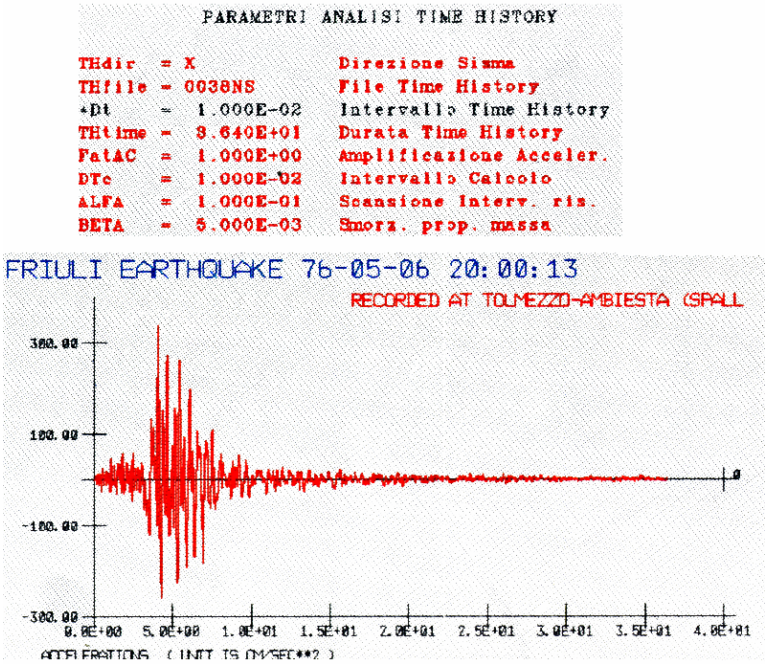
ويلخص الجدول رقم (5) معطيات التصميم الزلزالي والأحمال الأفقية.

جدول رقم ـ 5 ـ معطيات التصميم الزلزالي

المستوى	F_i	W_I	$C_i \gamma_i$	معامل التخامد	التسارع التصميمي
8,25	19,75	52,25 t	2,52	$\mu=1$	0,15
4,75	70.59	245,1 t	1,92		

3-1- التحليل الإنشائي للأحمال الشاقولية:

تم تحليل الإطار بطريقة توزيع العزوم لحالتي الأحمال الشاقولية الدائمة والأحمال الأفقية الناجمة عـن الزلازل ، وهي إحدى الطرائق الشائعة المعتمدة في التحليل الكلاسيكي وبإهمـال تـأثير التشـوهات الناجمة عن القوى المحورية في العناصر، وتم اعتمادها في التحليل في هذه الورقة لإظهار الفروقـات العظمى في نتائج التحليل بالمقارنة مع التحليل الديناميكي الدقيق باستخدام النظام البرمجي DRAIN-2DX[4] ومن أجل مخطط تسارع تسجيلي لزلزال حقيقي الشكل رقم (3).



الشكل رقم ـ 3 ـ مخطط التسارع الزلزالي

(FRIOLI Earthquake – 05 – 06 – 76) حد ث في إيطاليا لفترة زلزال 3.64 ثانية ويتسارع مقارب 0.15g في منطقة كثافة التولترات في حين يتجاوز هذه القيمة بكثير خلال الحدث الزلزالي وقد أدرجت المعطيات والنتائج في الملحق رقم (1). وتم اختياره للتحقق من حدود ضمان الأمان لطريقة المكافئ الستاتيكي.

أما نتائج التحليل المباشر للأحمال الشاقولية بطريقة توزيع العزوم لنصف المنشأة (حالة تناظر) فمبينة في الجدول رقم (6)

الجدول رقم ـ 6 ـ نتائج التحليل للأحمال الشاقولية

العنصر	14-13	11-14	14-11	11-5	12-11	12-11	12-6	5-11	6-12
معامل توزيع العزوم	0.14	0.86	0.45	0.34	0.21	0.39	0.61	1	1
عزم الوثاقة	-47.89	-	-	-	17.34	-17.34	-	-	-
Mo التحليل المباشر	-39.71	39.71	4.03	-15.91	11.87	-13.56	13.56	-7.96	6.78
Mo التحليل بالنظام البرمجي	-39.50	39.50	2.71	-14.53	11.82	-13.68	13.68	-6.872	7.042

الجملة الثانوية:

العنصر	10 - 9	10 - 4
معامل توزيع العزم	0.44	0.56
عزم الوثاقة	- 5.33	-
Mo التحليل المباشر	- 2.98	2.98
Mo النظام البرمجي	- 3.038	+3.038

بالمقارنة مع نتائج التحليل بالنظام البرمجي يتبين أن النتائج متوافقة مع فروقات طفيفة لا تتجاوز t.m 0.2 وفقاً للدقة في عدد مراحل التوزيع المحدودة في طريقة توزيع العزوم باستثناء العقدة (8) والعقـدة (11) حيـث توجـد فروقـات فـي العـزوم فـي العناصـر (2 ـ 8) (13 ـ 8) و (5 ـ 11) و (14 ـ 11) بحدود tm 1.14 حسمت مـن عنصـر العمـود العلوي وأضيفت إلى عنصر العمود السفلي، ويعزى ذلك إلى تأثير استطالة العناصر وانتقالات جانبيـة إضافية، والتي أهملت في الحساب اليدوي، في حين يدخل تأثيرها في النظام البرمجي حيث تظهر نتائج التحليل بالنظام البرمجي انتقالات أفقية للعقدتين (8) و(11) باتجاهين متعاكسين بمقدار 1.3117cm

3 ـ 2 ـ التحليل الإنشائي للأحمال الزلزالية:

من أجل تحليل المنشأة لحالة الأحمال الأفقية الناجمة عن الهزة الأرضية، تم اعتماد أن القوى الأفقية في المستويات المختلفة، كأحمال حية لحالات مختلفة يمكن أن تكون متوافقة أو متعاكسة في الاتجاه وفقـاً لتواتر الاهتزاز في الحركة الزلزالية ونمط التشوه لمراحل الهزة الأرضية، بافتراض أن انعكاس الاتجاه

للأحمال الأفقية في المستويات المختلفة لا يتم بآن واحد. أي استقلالية اتجـاه الأحمـال الأفقيـة فـي المستوى العلوي عن اتجاه الأحمال الأفقية في المستوى الوسطي.

ويبين الجدولان (7) و(8) نتائج التحليل للأحمال الأفقية لحالتي انتقال المستوى العلوي وانتقال المستوى الوسطي لعزوم افتراضية (حاله تناظر عكسي) ويتم التصحيح وفق معاملات التصحيح التـي تحسـب بالطريقة الكلاسيكية لتوازن القوى القاصة بالمعادلتين:

- الحالة الأولى: الأحمال في المستوى العلوي فقط:

$$Q_{11}K_1 + Q_{21}K_2 = 9.88 \qquad (4)$$
$$Q_{12}K_1 + Q_{22}K_2 = 9.88$$

ومن أجل قيمة افتراضية للانتقال في المستوى العلوي: $\frac{6EI}{l^2_{14-11}}\Delta_1 = 70$

- الحالة الثانية: الأحمال في المستوى الوسطي فقط:

$$Q_{11}K_1 + Q_{21}K_2 = 0 \qquad (5)$$
$$Q_{12}K_1 + Q_{22}K_2 = 35.29$$

ومن أجل قيمة افتراضية لانتقال في المستوى الوسطي:

$$\frac{6EI}{l^2_{11-5}}\Delta_2 = 70$$

وينتقل تأثير الانزياح إلى الجملة الثانوية بعزم وثاقه على طرفي العنصر 4-10 ذي النهاية المفصلية:

$$\frac{3EI}{l^2_{10-4}}\Delta_2 = 35$$

جدول رقم ـ 7 ـ

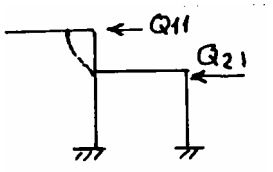
نتائج التحليل للأحمال الأفقية لانزياح المستوى العلوي لانتقال افتراضي

العنصر	14-13	14-11	11-14	11-5	11-12	12-11	12-6	5-11	6-12
معامل التوزيع	0.33	0.67	0.45	0.34	0.21	0.39	0.61	1	1

عزم الوثاقة	-	-70	-70	-	-	-	-	-	-
M1	19.28	-19.28	-27.26	+17.52	+9.74	+3.27	-3.27	+8.74	-1.64

$Q_{11} = 13.30$

$Q_{21} = -4.50$



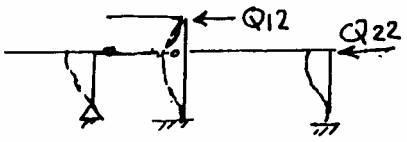
جدول رقم ـ 8 ـ نتائج التحليل للأحمال الأفقية انزياح المستوى الوسطي انتقال افتراضي

الجملة الأساسية:

العنصر	14-13	14-11	11-14	11-5	-12 11	-11 12	12-6	5-11	6-12
معامل التوزيع	0.33	0.67	0.45	0.34	0.21	0.39	0.61	1	1
عزم الوثاقة	-	128.93	128.93	-70	-	-	-70	-70	-70
M2	40.13 -	40.13	73.57	-81.07	7.50	25.21	-25.21	-75.52	47.59 -

الجملة الثانوية:

العنصر	10-9	10-4
معامل التوزيع	0.704	0.296
عزم الوثاقة	0	-35
M2	24.64	-24.64



$Q_{12} = -32.49$

$Q_{22} = 53.49$

بحساب عوامل التصحيح والعزوم الناتجة عن كلتا الحالتين وفق الجدولين (9)، (10)

جدول رقم ـ 9 ـ

نتائج التحليل للأحمال الأفقية في المستوي العلوي فقط (لنصف المنشأة اليميني)

الجملة الرئيسية:

العنصر	14-13	14-11	11-14	11-5	11-12	12-11	12-6	5-11	6-12
k_1M_1	28.98	-28.98	-40.97	26.33	14.64	4.92	-4.92	13.14	-2.47
k_2M_2	-12.48	12.48	22.88	-25.21	2.33	7.84	-7.84	-23.49	-14.80
ME_1	16.50	-16.50	-18.09	1.12	16.97	12.76	-12.76	-10.35	-17.27

الحالة الأولى: الأحمال الأفقية في المستوى العلوي فقط:

الجملة الثانوية:

العنصر	10 - 9	10 - 4
k_1M_1	-	-
k_2M_2	7.66	-7.66
ME_1	7.66	-7.66

$$13.30k_1 - 32.49k_2 = 9.88$$
$$-4.50k_1 + 53.49k_2 = 9.88$$
$$k_1 = 1.503$$
$$k_2 = 0.311$$

الحالة الثانية: الأحمال الأفقية في المستوي الوسطي فقط.

جدول رقم ـ 10 ـ

نتائج التحليل للأحمال الأفقية في المستوى الوسطي فقط (لنصف المنشأة اليميني)

الجملة الرئيسية:

العنصر	14-13	14-11	11-14	11-5	11-12	12-11	12-6	5-11	6-12
k_1M_1	39.10	-39.10	-55.28	35.53	19.75	6.63	-6.63	17.73	-3.33
k_2M_2	-33.31	33.31	61.06	-67.29	6.23	20.92	-20.92	-62.68	-39.50
ME_2	5.79	-5.79	5.78	-31.76	25.98	27.55	-27.55	-44.95	-42.83

الجملة الثانوية:

العنصر	10- 9	10- 4
k_1M_1	-	-
k_2M_2	+20.45	-20.45
ME_2	20.45	20.45

$$13.30k_1 - 32.49k_2 = 0$$
$$-4.50k_1 + 53.49k_2 = 35.29$$
$$k_1 = 2.028$$
$$k_2 = 0.830$$

كما يبين الجدولان (11) و(12) تجميع النتائج للحصول على مغلف العزوم للأحمال الشاقولية الدائمة والأحمال الحية الأفقية مع الإشارة إلى أن إشارة العزوم الناتجة عن الأحمال الزلزالية في كلتا العقدتين (5-11) و (14-11) متخالفة من أجل أحمال أفقية في المستوى العلوي والوسطي بالاتجاه نفسه، لذلك اعتمدت في هاتين العقدتين القيم العظمى الموجبة والسالبة عند تخالف اتجاه الأحمال الأفقية في المستوى العلوي مع اتجاه الأحمال الأفقية في المستوى الوسطي، والذي يعطي نتائجَ أفضل بالمقارنة مع نتائج النظام البرمجي، ويعد ذلك نتيجة هامة من نتائج هذا البحث في اعتماد استقلالية اتجاه القوى الأفقية عن بعضها في المستويات المختلفة، ويفسر ذلك بأن الاجهادات الأعظمية لا تنجم عن نمط تشوه وحيد في النقاط كافة، إذ تنتج الحالة الأخطر للاجهادات في العقدتين (5-11) و (4-11) عن نمط تشوه يختلف عن نمط التشوه للاجهادات العظمى في باقي النقاط.

الجدول رقم ـ11ـ مغلف العزوم لجزء المنشأة اليميني

	العنصر	14-13	14-11	11-14	11-5	11-12	12-11	12-6	5-11	6-12	10-9
نتائج التحليل المباشر (ستاتيكي)	$M_{max}(+)$	-	62.0	27.9	16.97	54.82	26.75	53.87	47.34	66.88	25.13
	$M_{max}(-)$	-62.0	-	-19.84	-48.79	-31.08	-53.87	-26.75	-63.26	-53.32	-31.09
نتائج النظام البرمجي (ديناميكي)	$M_{max}(+)$	-	73.87	29.97	15.25	51.76	20.99	61.98	54.15	77.34	19.86
	$M_{max}(-)$	-73.87	-	-19.16	-36.01	-42.93	-61.98	-20.99	-50.20	-43.25	-35.08

الجدول رقم ـ 12 ـ مغلف العزوم لجزء المنشأة اليساري

	العنصر	13-14	13-8	8-13	8-2	8-7	7-8	7-1	2-8	1-7	9-10
نتائج التحليل المباشر (ستاتيكي)	$M_{max}(+)$	62.0	-	19.84	48.79	31.08	53.87	26.75	63.26	53.33	31.09
	$M_{max}(-)$	-	-62.0	-27.9	-16.97	-54.82	-26.75	-53.87	-47.34	-66.88	-25.13
نتائج النظام	$M_{max}(+)$	65.48	-	24.55	44.31	28.12	48.36	34.62	67.89	63.25	25.93
		-		-24.59	-6.95	-66.56	-34.62	-48.36	-36.46	-57.33	-29.00

البرمجي (ديناميكي)	M_{max} (–)		-65.48								

4 ـ مقارنة النتائج:

قبل عرض نتائج المقارنة للتحليل المباشر بطريقة المكافئ الستاتيكي والتحليـل الـديناميكي باسـتخدام النظام البرمجي تجدر الإشارة إلى ما يلي:

1 ـ العزوم الناتجة عن الهزة الأرضية المعتمدة باستخدام النظام البرمجي ليست متناظرة بالقيم الموجبة والسالبة ذلك أن سعة الاهتزاز في المخطط التسـجيلي غيـر متنـاظرة أيضـاً ويتجاوز التسارع الأعظمي في أحد الاتجاهين القيم العظمى للاتجاه الآخر.

2 ـ اعتمد التحليل المباشر مستوى للشدة الزلزالية بقيمة أعظمية 0.15 من تسـارع الجاذبيـة الأرضية وهي قيمة موافقة للشدة الزلزالية المختارة في التسجيل الزلزالي في منطقة كثافة تواتر الاهتزاز السائد، ويتجاوز التسارع هذه القيمة خلال الحدث الزلزالـي كمـا يبـين المخطط التسجيلي.

3 ـ تم إهمال التشوهات المحورية للعناصر في التحليل المباشر للأحمال الزلزالية كما في حالة الأحمال الشاقولية في حين يدخل تأثير هذه التشوهات في التحليل الـديناميكي باسـتخدام النظام البرمجي.

يتبين من مقارنة النتائج ما يلي:

من مقارنة القيم العظمى الموجبة والسالبة في مغلف العزوم في حالتي التحليل المباشر والبرمجي، يتبين أن التحليل المباشر يغطي إحدى القيمتين الموجبة في عناصر الجوائز أو السالبة في عناصر الأعمـدة لمغلف العزوم الناتج عن التحليل الديناميكي، أي أن الأحمال الزلزالية نحو اليسار تعطي نتائج متوافقة في كل من التحليل الستاتيكي والديناميكي، عدا العمودين (11-14) و (8-13) والجائز (13-14)، أما القيم الموجبة في الأعمدة والقيم السالبة في الجوائز فتظهر تبايناً في النتائج يصل إلى 25% في مغلف العزوم، ويعزى ذلك إلى الملاحظات المنوه عنها أعلاه، والنتائج مقبولة من الناحية التصـميمية عنـد الأخذ بالحسبان تعديل مخطط التسجيل الزمني للتسارع الزلزالي إلى شكل نظامي لتتوافـق فيـه قـيم التسارع بشكل متناظر على طرفي محور الزمن، ويمكن إجراء ذلك مباشرة على النتائج بتعديل القـيم الموجبة والسالبة في مغلف العزوم بمقدار نصف الفرق بين قيمة العزم الموجب فـي العقـدة والعـزم السالب في نظيرتها في النصف الآخر من المنشأة، الجدول رقم (13)، حيث تبقى الفروقات البسيطة

الناتجة عن إهمال تأثير القوى المحورية، ويمكن اعتماد تعديل العزوم الطرفية للعنصر الجائزي الطويل بزيادة العزوم في المساند على حساب العزوم في المجاز وبنسبة لا تتجاوز 25% حيث تصبح النتـائج كافة مقبوله ومتوافقة، ومن ثَم فإن التحليل بطريقة المكافئ الستاتيكي من أجل تسارع 0.15 g يغطـي أمان المنشأة من أجل تسارع أكبر من ذلك، وتجدر الإشارة إلى أن مقارنة مغلف القوى القاصه يعطى نتائج بفروقات قليلة بحدود 5 t للعمود (11-5) و7t للجائز الطويل (14-11) ويغطى مغلف قوى القص بالتحليل الستاتيكي قيم التحليل الديناميكي في بعض النقاط كما في حالة مغلف العزوم، الجـدول (14) وللأسباب ذاتها التي أدت إلى فروقات في العزوم، وتصبح الفروقات أقل من ذلك عنـد تعـديل مخطط التسارع الزمني إلى مخطط متناظر مع محور الزمن. إذ إن مجموع قـوى القـص الفاعـدي الأعظمية الموجبة في التحليل الديناميكي 103.66 t ومجموع قوى القص القاعدي الأعظمية السالبة 72.48 t ،وتصبح عند إجراء التعديل لمحور الزمن 88.07 t لكلٍ منهما وبالمقارنة مع قـوى القـص الفاعـدي للتحليـل الستاتيكي والتـي تبلـغ 90.34 t فـإن نسـبة الفـرق لا تتجـاوز 2.6 % ولصالح الأمان في التحليل الستاتيكي المكافئ.

جدول ـ 13 ـ

القيم المعدلة لمغلف العزوم من أجل مخطط تسارع متناظر لنصف المنشأة اليميني

العنصر	13-14	11-14	11-14	11-5	11-12	12-11	12-6	5-11	6-12	4-10
$M_{\max}(+)$	-	69.68	27.28	11.10	59.16	27.81	55.17	45.31	67.34	24.43
			21.86	40.16	35.53	55.17	27.81	59.05	53.25	30.51
$M_{\max}(-)$	69.68	-	-	-	-	-		-	-	-

جدول ـ 14 ـ مغلف القوى القاصة

نصف المنشأة اليميني:

	العنصر	14-13	14-11	11-14	11-5	11-12	12-11	12-6	5-11	6-12	4-10
التحليل المباشر	$Q_{\max}(+)$	30.18	-	22.38	23.12	25.08	25.54	16.87	13.06	25.43	6.56
(ستاتيكي)	$Q_{\max}(-)$	-	-22.38	-	-13.06	-	-	-25.43	-23.12	-16.78	-5.28

التحليل بالنظام البرمجي (ديناميكي)	$Q_{max}(+)$	32.37	1.59	29.57	18.04	23.89	28.24	13.52	14.61	29.33	7.39
	$Q_{max}(-)$		-29.57	-1.59	-14.61	-1.18	-	-29.33	-18.04	-13.52	-4.18

نصف المنشأة اليساري:

	العنصر	13-14	13-8	8-13	8-2	8-7	7-8	7-1	2-8	1-7	3-9
التحليل المباشر (ستاتيكي)	$Q_{max}(+)$	30.18	22.38	-	13.06	25.08	25.54	25.43	23.12	16.78	5.28
	$Q_{max}(-)$	-	-	-22.38	-23.12	-	-	-16.87	-13.06	-25.43	-6.56
التحليل بالنظام البرمجي (ديناميكي)	$Q_{max}(+)$	30.84	25.71	5.45	9.03	27.73	24.39	22.25	25.62	20.60	6.11
	$Q_{max}(-)$	-	-5.45	-25.71	-23.62	-	-	-20.60	-9.03	-22.25	-5.46

5 ـ التوصيات والمقترحات:

1 ـ تظهر نتائج هذا البحث أن طريقة المكافئ الستاتيكي لتصميم المنشآت ذات المصادر الإشعاعية المحدودة والمعتمدة وفق إرشادات الوكالة الدولية للطاقة الذرية ذات نتائج ممتازة بالمقارنة مع التحليل الديناميكي الدقيق. إذا تم تقدير المعطيات الزلزالية تقديراً صحيحاً، وتحقق تصميماً آمناً للمنشآة حتى في حال تجاوز التسارع الزلزالي القيمة المعتمدة في التصميم، إذ إن التباين في النتائج بين الطريقة المكافئة ستاتيكياً والتحليل الديناميكي باستخدام النظام البرمجي من أجل مخطط تسارع يتجاوز القيمة المعتمدة، قد نجمت عن الملاحظات المنوه عنها في عرض النتائج وهي بشكل أساسي بسبب عدم تناظر مخطط التاريخ الزمني للتسارع، وإهمال تأثير القوى المحورية في العناصر الجائزية.

2 ـ يفضل أن تكون عناصر المنشأة ذات أطوال متقاربة لضمان توزيع العزوم بشكل مناسب، إذ أظهرت النتائج فروقات في العنصر الجائزي الطويل، وينصح بزيادة العزوم الطرفية في المساند في مثل هذه العناصر على حساب العزوم في المجاز ضمن الحدود التي تنص عليها الكودات [5].

3 ـ أظهر البحث من خلال استخدام طريقة توزيع العزوم ومقارنه إشارة العزوم الناتجة عن حالات التحميل للقوى الزلزالية نتيجة هامة لمعالجة الأحمال الأفقية الناتجة عن الهزة الأرضية وعلى أساس أنها أحمال حية تؤخذ حالات التراكيب الممكنة كافة في حالة الإطارات متعددة الطوابق للحصول على نتائج أفضل، حيث تؤخذ بالحسبان الحالات

المختلفة لاتجاه القوى الأفقية في المستويات المتعددة يمكن أن تكون متوافقة أو متعاكسة في الاتجاه بأن واحد. إذ يعطي ذلك حالة أقرب إلى الواقع لأنماط التشوه الناتجة عن تغيرات تواتر التسارع. ومن ثَم الحصول على نتائج أفضل لمغلفات العزوم في الحالة الأكثر خطورة.

4 ـ يمكن اعتماد طريقة المكافئ الستاتيكي لتصميم المنشأة الهامة لمقاومة الزلازل عند وجود متطلبات ضرورية ومتشددة للأمان بما يخص البيئة والسلامة العامة، وعندما تؤدي نتائج الانهيار لمثل هذه المنشأة إلى كارثة. حيث بَينَ البحث أنها ذات نتائج مضمونه للأمان من أجل شده زلزالية تتجاوز القيمة المعتمدة للحساب الستاتيكي.

5 ـ يمكن اعتماد ما ورد في البند 3 للتطبيق في اشتراطات الكود العربي السوري للمباني العادية واعتماد الأحمال الأفقية للحالة الأخطر للتراكيب مع استقلالية الاتجاه في المستويات المختلفة للحصول على نتائج أقرب ما يمكن للواقع توافق أنماط التشوه للمنشأة متعددة الطوابق، إذ إن العزوم الأعظمية في مغلف العزوم لا تتوافق بالضرورة القيم الأعظمية للقص القاعدي في حالة المنشآت متعددة الطوابق، ويفضل استخدام طرائق للتحليل الإنشائي تأخذ بالحسبان تأثير التشوهات المحورية.

الملحق رقم (1)

المعطيات ونتائج التحليل بالنظام البرمجي DRAIN – 2DX

```
***********************************************
DRAIN-2DX RESULTS PRINTOUT. FILE = 0Y000000.OUT
***********************************************
PROBLEM NAME  = 0Y000000
PROBLEM TITLE =  Y000000  XZ   Y = 0.000E+00  0038NS

********************************
RESULTS FOR ANALYSIS SEGMENT   1
********************************
ANALYSIS TYPE  = *GRAV
ANALYSIS TITLE =

ENVELOPES FOR NODAL DISPLACEMENTS
LOAD FACTOR =  1.0000E+00, ANALYSIS SEGMENT   1

     Node            X-Displacement                  Y-Displacement                   R-Rotation
    Number      Positive Step    Negative Step    Positive Step    Negative Step    Positive Step    Negative Step

        3     0.0000E+00    0  0.0000E+00    0  0.0000E+00    0  0.0000E+00    0  1.1652E-04    1  0.0000E+00    0
        4     0.0000E+00    0  0.0000E+00    0  0.0000E+00    0  0.0000E+00    0  0.0000E+00    0 -1.1652E-04    1
        7     0.0000E+00    0 -6.6841E-03    1  0.0000E+00    0 -4.4587E-02    1  0.0000E+00    0 -7.0069E-04    1
        8     0.0000E+00    0 -1.3117E-02    1  0.0000E+00    0 -4.2757E-02    1  8.0782E-04    1  0.0000E+00    0
        9     0.0000E+00    0 -4.6078E-03    1  0.0000E+00    0 -2.8629E-02    1  0.0000E+00    0 -2.0394E-04    1
       10     4.6078E-03    1  0.0000E+00    0  0.0000E+00    0 -2.8629E-02    1  2.0394E-04    1  0.0000E+00    0
       11     1.3117E-02    1  0.0000E+00    0  0.0000E+00    0 -4.2757E-02    1  0.0000E+00    0 -8.0782E-04    1
       12     6.6841E-03    1  0.0000E+00    0  0.0000E+00    0 -4.4587E-02    1  7.0069E-04    1  0.0000E+00    0
       13     1.3216E-02    1  0.0000E+00    0  0.0000E+00    0 -6.0971E-02    1  0.0000E+00    0 -2.0521E-03    1
       14     0.0000E+00    0 -1.3216E-02    1  0.0000E+00    0 -6.0971E-02    1  2.0521E-03    1  0.0000E+00    0

ENVELOPES FOR ELEMENT GROUP   1, LOAD FACTOR =  1.0000E+00, ANALYSIS SEGMENT   1

TRUSS ELEMENTS (TYPE 01)

  Elem       Node       Node        Maximum Axial Forces            Maximum Extensions      Acc. Plastic Extensions
   No.        I          J       Tension Step Compression Step   Positive Step   Negative Step    Positive    Negative

    1         8          9  1.22026E+04    1  0.00000E+00    0  8.510E-03    1  0.000E+00    0  0.0000E+00  0.0000E+00
    2        10         11  1.22026E+04    1  0.00000E+00    0  8.510E-03    1  0.000E+00    0  0.0000E+00  0.0000E+00

ENVELOPES FOR ELEMENT GROUP   2, LOAD FACTOR =  1.0000E+00, ANALYSIS SEGMENT   1

BEAM COLUMN ELEMENTS (TYPE 02)

  Elem       Node             Bending Step      Shear Step      Axial Step Plas Hinge Step Accumulated
   No.       No.               Moment  No.      Force  No.      Force  No.   Rotation  No.   Rotations

    1         7 Positive  1.368E+06    1  1.431E+04    1  4.363E+03    1  0.000E+00    0  0.0000E+00
```

ENVELOPES FOR ELEMENT GROUP 3, LOAD FACTOR = 1.0000E+00, ANALYSIS SEGMENT 1

BEAM COLUMN ELEMENTS (TYPE 02)

Elem No.	Node No.		Bending Moment	Step No.	Shear Force	Step No.	Axial Force	Step No.	Plas Hinge Rotation	Step No.	Accumulated Rotations
		Negative	0.000E+00	0	0.000E+00	0	0.000E+00	0	0.000E+00	0	0.0000E+00
	8	Positive	0.000E+00	0	1.381E+04	1	0.000E+00	0	0.000E+00	0	0.0000E+00
2		Negative	-1.182E+06	1	0.000E+00	0	-4.363E+03	1	0.000E+00	0	0.0000E+00
	9	Positive	3.038E+05	1	8.000E+03	1	0.000E+00	0	0.000E+00	0	0.0000E+00
		Negative	0.000E+00	0	0.000E+00	0	-1.156E+04	1	0.000E+00	0	0.0000E+00
	10	Positive	0.000E+00	0	8.000E+03	1	1.156E+04	1	0.000E+00	0	0.0000E+00
		Negative	-3.038E+05	1	0.000E+00	0	0.000E+00	0	0.000E+00	0	0.0000E+00
3	11	Positive	1.182E+06	1	1.381E+04	1	4.363E+03	1	0.000E+00	0	0.0000E+00
		Negative	0.000E+00	0	0.000E+00	0	0.000E+00	0	0.000E+00	0	0.0000E+00
	12	Positive	0.000E+00	0	1.431E+04	1	0.000E+00	0	0.000E+00	0	0.0000E+00
		Negative	-1.368E+06	1	0.000E+00	0	-4.363E+03	1	0.000E+00	0	0.0000E+00
4	13	Positive	3.950E+06	1	2.612E+04	1	1.206E+04	1	0.000E+00	0	0.0000E+00
		Negative	0.000E+00	0	0.000E+00	0	0.000E+00	0	0.000E+00	0	0.0000E+00
	14	Positive	0.000E+00	0	2.612E+04	1	0.000E+00	0	0.000E+00	0	0.0000E+00
		Negative	-3.950E+06	1	0.000E+00	0	-1.206E+04	1	0.000E+00	0	0.0000E+00
	1	Positive	0.000E+00	0	0.000E+00	0	4.711E+04	1	0.000E+00	0	0.0000E+00
		Negative	-7.042E+05	1	-4.363E+03	1	0.000E+00	0	0.000E+00	0	0.0000E+00
	7	Positive	0.000E+00	0	4.363E+03	1	0.000E+00	0	0.000E+00	0	0.0000E+00
		Negative	-1.368E+06	1	0.000E+00	0	-4.711E+04	1	0.000E+00	0	0.0000E+00
2	2	Positive	6.872E+05	1	4.505E+03	1	4.518E+04	1	0.000E+00	0	0.0000E+00
		Negative	0.000E+00	0	0.000E+00	0	0.000E+00	0	0.000E+00	0	0.0000E+00
	8	Positive	1.453E+06	1	0.000E+00	0	0.000E+00	0	0.000E+00	0	0.0000E+00
		Negative	0.000E+00	0	-4.505E+03	1	-4.518E+04	1	0.000E+00	0	0.0000E+00
3	3	Positive	7.907E-12	1	0.000E+00	0	3.025E+04	1	0.000E+00	0	0.0000E+00
		Negative	0.000E+00	0	-6.395E+02	1	0.000E+00	0	0.000E+00	0	0.0000E+00
	9	Positive	0.000E+00	0	6.395E+02	1	0.000E+00	0	0.000E+00	0	0.0000E+00
		Negative	-3.038E+05	1	0.000E+00	0	-3.025E+04	1	0.000E+00	0	0.0000E+00
4	4	Positive	2.983E-11	1	6.395E+02	1	3.025E+04	1	0.000E+00	0	0.0000E+00
		Negative	0.000E+00	0	0.000E+00	0	0.000E+00	0	0.000E+00	0	0.0000E+00
	10	Positive	3.038E+05	1	0.000E+00	0	0.000E+00	0	0.000E+00	0	0.0000E+00
		Negative	0.000E+00	0	-6.395E+02	1	-3.025E+04	1	0.000E+00	0	0.0000E+00
5	5	Positive	0.000E+00	0	0.000E+00	0	4.518E+04	1	0.000E+00	0	0.0000E+00
		Negative	-6.872E+05	1	-4.505E+03	1	0.000E+00	0	0.000E+00	0	0.0000E+00
	11	Positive	0.000E+00	0	4.505E+03	1	0.000E+00	0	0.000E+00	0	0.0000E+00
		Negative	-1.453E+06	1	0.000E+00	0	-4.518E+04	1	0.000E+00	0	0.0000E+00
6	6	Positive	7.042E+05	1	4.363E+03	1	4.711E+04	1	0.000E+00	0	0.0000E+00
		Negative	0.000E+00	0	0.000E+00	0	0.000E+00	0	0.000E+00	0	0.0000E+00
	12	Positive	1.368E+06	1	0.000E+00	0	0.000E+00	0	0.000E+00	0	0.0000E+00
		Negative	0.000E+00	0	-4.363E+03	1	-4.711E+04	1	0.000E+00	0	0.0000E+00
7	8	Positive	0.000E+00	0	0.000E+00	0	2.612E+04	1	0.000E+00	0	0.0000E+00

		Negative	-2.711E+05	1	-1.206E+04	1	0.000E+00	0	0.000E+00	0	0.0000E+00
	13	Positive	0.000E+00	0	1.206E+04	1	0.000E+00	0	0.000E+00	0	0.0000E+00
		Negative	-3.950E+06	1	0.000E+00	0	-2.612E+04	1	0.000E+00	0	0.0000E+00
	11	Positive	2.711E+05	1	1.206E+04	1	2.612E+04	1	0.000E+00	0	0.0000E+00
8		Negative	0.000E+00	0	0.000E+00	0	0.000E+00	0	0.000E+00	0	0.0000E+00
	14	Positive	3.950E+06	1	0.000E+00	0	0.000E+00	0	0.000E+00	0	0.0000E+00
		Negative	0.000E+00	0	-1.206E+04	1	-2.612E+04	1	0.000E+00	0	0.0000E+00

WORK DONE IN ELEMENT GROUPS, LOAD FACTOR = 1.0000E+00, ANALYSIS SEGMENT 1

Group Number	Elasto-Plast Work	Second Order Work
1	0.00000E+00	0.00000E+00
2	0.00000E+00	0.00000E+00
3	0.00000E+00	0.00000E+00

****

RESULTS FOR ANALYSIS SEGMENT 2

****

ANALYSIS TYPE = *ACCN

ANALYSIS TITLE = LI EARTHQUAKE 76-05-06 20:00:13

ENVELOPES FOR NODAL DISPLACEMENTS

TIME = 3.6400E+01, ANALYSIS SEGMENT 2

Node Number	X-Displacement Positive	Step	Negative	Step	Y-Displacement Positive	Step	Negative	Step	R-Rotation Positive	Step	Negative	Step
3	0.0000E+00	0	0.0000E+00	0	0.0000E+00	0	0.0000E+00	0	3.2641E-03	417	-4.2885E-03	436
4	0.0000E+00	0	0.0000E+00	0	0.0000E+00	0	0.0000E+00	0	3.0311E-03	417	-4.5216E-03	436
7	1.5350E+00	436	-1.1077E+00	417	0.0000E+00	0	-5.4129E-02	555	9.4782E-04	417	-3.0212E-03	436
8	1.5414E+00	436	-1.1240E+00	417	0.0000E+00	0	-5.0144E-02	435	3.3043E-03	555	-2.5729E-03	436
9	1.5526E+00	436	-1.1173E+00	417	0.0000E+00	0	-3.9463E-02	417	5.2824E-04	417	-1.2286E-03	436
10	1.5618E+00	436	-1.1081E+00	417	0.0000E+00	0	-4.3791E-02	436	9.3611E-04	417	-8.2075E-04	436
11	1.5676E+00	436	-1.0978E+00	417	0.0000E+00	0	-4.7994E-02	416	1.6886E-03	555	-4.1885E-03	436
12	1.5483E+00	436	-1.0944E+00	417	0.0000E+00	0	-5.7767E-02	436	2.3492E-03	417	-1.6199E-03	436
13	2.9114E+00	436	-2.1128E+00	555	0.0000E+00	0	-6.4368E-02	433	6.0591E-05	555	-4.0460E-03	437
14	2.8850E+00	436	-2.1392E+00	555	0.0000E+00	0	-6.3755E-02	412	4.1648E-03	555	-7.4187E-04	437

ENVELOPES FOR ELEMENT GROUP 1, TIME = 3.6400E+01, ANALYSIS SEGMENT 2

TRUSS ELEMENTS (TYPE 01)

Elem No.	Node I	Node J	Maximum Axial Forces Tension	Step	Compression	Step	Maximum Extensions Positive	Step	Negative	Step	Acc. Plastic Extensions Positive	Negative
1	8	9	1.65465E+04	433	0.0000E+00	0	1.154E-02	433	0.000E+00	0	0.0000E+00	0.0000E+00

2	10	11	1.58302E+04	412	0.00000E+00	0	1.104E-02	412	0.000E+00	0	0.0000E+00	0.0000E+00	

ENVELOPES FOR ELEMENT GROUP 2, TIME = 3.6400E+01, ANALYSIS SEGMENT 2

BEAM COLUMN ELEMENTS (TYPE 02)

Elem No.	Node No.		Bending Moment	Step No.	Shear Force	Step No.	Axial Force	Step No.	Plas Hinge Rotation	Step No.	Accumulated Rotations
1	7	Positive	4.836E+06	555	2.439E+04	555	1.185E+04	419	0.000E+00	0	0.0000E+00
		Negative	-3.462E+06	436	0.000E+00	0	-4.907E+03	438	0.000E+00	0	0.0000E+00
	8	Positive	2.812E+06	555	2.773E+04	436	4.907E+03	438	0.000E+00	0	0.0000E+00
		Negative	-6.657E+06	436	0.000E+00	0	-1.185E+04	419	0.000E+00	0	0.0000E+00
2	9	Positive	2.593E+06	417	1.945E+04	417	0.000E+00	0	0.000E+00	0	0.0000E+00
		Negative	-2.900E+06	436	-8.021E+03	436	-1.156E+04	430	0.000E+00	0	0.0000E+00
	10	Positive	1.986E+06	417	2.402E+04	436	1.156E+04	430	0.000E+00	0	0.0000E+00
		Negative	-3.508E+06	436	-3.447E+03	417	0.000E+00	0	0.000E+00	0	0.0000E+00
3	11	Positive	5.176E+06	555	2.389E+04	555	1.363E+04	438	0.000E+00	0	0.0000E+00
		Negative	-4.293E+06	436	-1.180E+02	436	-3.124E+03	419	0.000E+00	0	0.0000E+00
	12	Positive	2.099E+06	555	2.824E+04	436	3.124E+03	419	0.000E+00	0	0.0000E+00
		Negative	-6.198E+06	436	0.000E+00	0	-1.363E+04	438	0.000E+00	0	0.0000E+00
4	13	Positive	6.548E+06	555	3.084E+04	555	1.206E+04	548	0.000E+00	0	0.0000E+00
		Negative	0.000E+00	0	0.000E+00	0	0.000E+00	0	0.000E+00	0	0.0000E+00
	14	Positive	0.000E+00	0	3.237E+04	437	0.000E+00	0	0.000E+00	0	0.0000E+00
		Negative	-7.387E+06	437	0.000E+00	0	-1.206E+04	548	0.000E+00	0	0.0000E+00

ENVELOPES FOR ELEMENT GROUP 3, TIME = 3.6400E+01, ANALYSIS SEGMENT 2

BEAM COLUMN ELEMENTS (TYPE 02)

Elem No.	Node No.		Bending Moment	Step No.	Shear Force	Step No.	Axial Force	Step No.	Plas Hinge Rotation	Step No.	Accumulated Rotations
1	1	Positive	6.325E+06	436	2.060E+04	436	5.719E+04	555	0.000E+00	0	0.0000E+00
		Negative	-5.733E+06	417	-2.225E+04	417	0.000E+00	0	0.000E+00	0	0.0000E+00
	7	Positive	3.462E+06	436	2.225E+04	417	0.000E+00	0	0.000E+00	0	0.0000E+00
		Negative	-4.836E+06	555	-2.060E+04	436	-5.719E+04	555	0.000E+00	0	0.0000E+00
2	2	Positive	6.789E+06	435	2.362E+04	435	5.298E+04	435	0.000E+00	0	0.0000E+00
		Negative	-3.646E+06	416	-9.025E+03	416	0.000E+00	0	0.000E+00	0	0.0000E+00
	8	Positive	4.431E+06	435	9.025E+03	416	0.000E+00	0	0.000E+00	0	0.0000E+00
		Negative	-6.951E+05	415	-2.362E+04	435	-5.298E+04	435	0.000E+00	0	0.0000E+00
3	3	Positive	1.351E-09	429	6.106E+03	436	4.170E+04	417	0.000E+00	0	0.0000E+00
		Negative	-1.295E-09	448	-5.459E+03	417	0.000E+00	0	0.000E+00	0	0.0000E+00
	9	Positive	2.900E+06	436	5.459E+03	417	0.000E+00	0	0.000E+00	0	0.0000E+00
		Negative	-2.593E+06	417	-6.106E+03	436	-4.170E+04	417	0.000E+00	0	0.0000E+00
4	4	Positive	1.436E-09	429	7.385E+03	436	4.627E+04	436	0.000E+00	0	0.0000E+00
		Negative	-1.172E-09	547	-4.181E+03	417	0.000E+00	0	0.000E+00	0	0.0000E+00
	10	Positive	3.508E+06	436	4.181E+03	417	0.000E+00	0	0.000E+00	0	0.0000E+00

```
                Negative -1.986E+06  417 -7.385E+03  436 -4.627E+04  436  0.000E+00    0  0.0000E+00
          5     Positive  5.415E+06  435  1.461E+04  435  5.071E+04  416  0.000E+00    0  0.0000E+00
                Negative -5.020E+06  416 -1.804E+04  416  0.000E+00    0  0.000E+00    0  0.0000E+00
         11     Positive  1.525E+06  435  1.804E+04  416  0.000E+00    0  0.000E+00    0  0.0000E+00
                Negative -3.601E+06  415 -1.461E+04  435 -5.071E+04  416  0.000E+00    0  0.0000E+00
          6     Positive  7.734E+06  436  2.933E+04  436  6.104E+04  436  0.000E+00    0  0.0000E+00
                Negative -4.325E+06  417 -1.352E+04  417  0.000E+00    0  0.000E+00    0  0.0000E+00
         12     Positive  6.198E+06  436  1.352E+04  417  0.000E+00    0  0.000E+00    0  0.0000E+00
                Negative -2.099E+06  555 -2.933E+04  436 -6.104E+04  436  0.000E+00    0  0.0000E+00
          7     Positive  2.455E+06  438  5.453E+03  437  3.084E+04  555  0.000E+00    0  0.0000E+00
                Negative -2.459E+06  419 -2.571E+04  419  0.000E+00    0  0.000E+00    0  0.0000E+00
         13     Positive  0.000E+00    0  2.571E+04  419  0.000E+00    0  0.000E+00    0  0.0000E+00
                Negative -6.548E+06  555 -5.453E+03  437 -3.084E+04  555  0.000E+00    0  0.0000E+00
          8     Positive  2.997E+06  438  2.957E+04  437  3.237E+04  437  0.000E+00    0  0.0000E+00
                Negative -1.916E+06  419 -1.585E+03  419  0.000E+00    0  0.000E+00    0  0.0000E+00
         14     Positive  7.387E+06  437  1.585E+03  419  0.000E+00    0  0.000E+00    0  0.0000E+00
                Negative  0.000E+00    0 -2.957E+04  437 -3.237E+04  437  0.000E+00    0  0.0000E+00

WORK DONE IN ELEMENT GROUPS, TIME =  3.6400E+01, ANALYSIS SEGMENT   2

                Group Elasto-Plast Beta-K Dampg Second Order
               Number          Work        Work        Work
                    1  0.00000E+00  0.00000E+00  0.00000E+00
                    2  0.00000E+00  0.00000E+00  0.00000E+00
                    3  0.00000E+00  0.00000E+00  0.00000E+00

**********************************************************************************************************************

*START
  0YO00000                0    1    1    0      YO00000  XZ   Y = 0.000E+00  0038NS
*NODECOORDS
C    1 0.000E+00 0.000E+00
C    2 7.400E+02 0.000E+00
C    3 1.090E+03 0.000E+00
C    4 1.490E+03 0.000E+00
C    5 1.840E+03 0.000E+00
C    6 2.580E+03 0.000E+00
C    7 0.000E+00 4.750E+02
C    8 7.400E+02 4.750E+02
C    9 1.090E+03 4.750E+02
C   10 1.490E+03 4.750E+02
C   11 1.840E+03 4.750E+02
C   12 2.580E+03 4.750E+02
C   13 7.400E+02 8.250E+02
C   14 1.840E+03 8.250E+02
```

```
*RESTRAINTS
S 111        1
S 111        2
S 110        3
S 110        4
S 111        5
S 111        6
*MASSES
S 100 0.000E+00         1                                        981.0 2.000E-02
S 100 0.000E+00         2                                        981.0 2.000E-02
S 100 0.000E+00         3                                        981.0 2.000E-02
S 100 0.000E+00         4                                        981.0 2.000E-02
S 100 0.000E+00         5                                        981.0 2.000E-02
S 100 0.000E+00         6                                        981.0 2.000E-02
S 100 4.686E+04         7                                        981.0 2.000E-02
S 100 1.931E+04         8                                        981.0 2.000E-02
S 100 3.025E+04         9                                        981.0 2.000E-02
S 100 3.025E+04        10                                        981.0 2.000E-02
S 100 1.931E+04        11                                        981.0 2.000E-02
S 100 4.686E+04        12                                        981.0 2.000E-02
S 100 2.612E+04        13                                        981.0 2.000E-02
S 100 2.612E+04        14                                        981.0 2.000E-02
*ELEMENTGROUP
    1    0    0      2.000E-02          Truss with Buckling Code 0
    1
    1 2.100E+06    .00001 2.390E+02 2.750E+03 2.750E+03    0   1.00000
    1         8         9         0    1
    2        10        11         0    1
*ELEMENTGROUP
    2    0    0      2.000E-02          Beam with Shape Code 1
    1    0    1
    1 2.100E+06    .00001 2.390E+02 1.072E+05 4.00 4.00 2.00
    1    1 1.180E+07-1.180E+07
    1         7         8         0    1    0    1    1
    2         9        10         0    1    0    1    1
    3        11        12         0    1    0    1    1
    4        13        14         0    1    0    1    1
*ELEMENTGROUP
    2    0    0      2.000E-02          Beam with Shape Code 2
    1    0    1
    1 2.100E+06    .00001 2.390E+02 1.072E+05 4.00 4.00 2.00
    1    2 1.180E+07-1.180E+07-6.572E+05 6.572E+05  1.0   .0  1.0   .0
    1         1         7         0    1    0    1    1
    2         2         8         0    1    0    1    1
    3         3         9         0    1    0    1    1
    4         4        10         0    1    0    1    1
    5         5        11         0    1    0    1    1
    6         6        12         0    1    0    1    1
```

```
    7        8        13        0    1    0    1    1
    8       11        14        0    1    0    1    1
*RESULTS
NS  2
E   2
*ELEMLOAD
 L001
G   1    2
    1    1 0.000E+00 5.250E+03 0.000E+00 8.750E+03
    2    1 0.000E+00 8.750E+03 0.000E+00 5.250E+03
    1    0    1    1      1.00
    2    0    1    2      1.00

*ELEMLOAD
 L002
G   2    3
    1    1     1.000 0.000E+00 1.406E+04 1.734E+06 0.000E+00 1.406E+04-1.734E+06
    2    1     1.000 0.000E+00 8.000E+03 5.333E+05 0.000E+00 8.000E+03-5.333E+05
    3    1     1.000 0.000E+00 2.612E+04 4.790E+06 0.000E+00 2.612E+04-4.790E+06
    1    0    1    1      1.00
    2    0    1    2      1.00
    3    0    1    1      1.00
    4    0    1    3      1.00

*NODALOAD
 NL                                     Carichi nodali
S 0.00E+00  0.00E+00  0.00E+00         1
S 0.00E+00  0.00E+00  0.00E+00         2
S 0.00E+00  0.00E+00  0.00E+00         3
S 0.00E+00  0.00E+00  0.00E+00         4
S 0.00E+00  0.00E+00  0.00E+00         5
S 0.00E+00  0.00E+00  0.00E+00         6
S 0.00E+00 -3.28E+04  0.00E+00         7
S 0.00E+00  0.00E+00  0.00E+00         8
S 0.00E+00 -1.35E+04  0.00E+00         9
S 0.00E+00 -1.35E+04  0.00E+00        10
S 0.00E+00  0.00E+00  0.00E+00        11
S 0.00E+00 -3.28E+04  0.00E+00        12
S 0.00E+00  0.00E+00  0.00E+00        13
S 0.00E+00  0.00E+00  0.00E+00        14
*ACCNREC
 ACC D2DXTH         (10F7.1)            LI EARTHQUAKE 76-05-06 20:00:13
 3641   10    0    2       1.0     1.000      .010       .00
*PARAMETERS
V       1.         1.
OS        0    0    0    0    1
OD        0             10              0              1           3641
DC  0     0    0
```

المراجع

1- Seismic Design and Qualification for Nuclear Power plants, IAEA Safety Series No 50 – SG – D15 (1992)

2- Earthquakes and associated topics in relation to Nuclear Power plant Siting, IAEA Safety series No 50 – SG – S1 (1991)

3- Earthquakes Resistant Design of Nuclear Facilities with limited Radioactive inventory '' Technical Document issued by International Atomic Energy Agency, VIENNA,(1985)

4- DRAIN – 2DX ''A computer program distributed by NISEE / Computer Application ''Department of civil Engineering University of California, Berkeley, California,(1992)

5- الكود العربي السوري لتصميم وتنفيذ المنشآت بالخرسانة المسلحة ـ «نقابة المهندسين ـ دمشق 1995».

. تاريخ ورود البحث إلى مجلة جامعة دمشق 1998/7/4.

The Seismic Desgin Using The Equivalent Static Approach For Major Facilities

Ateia – Ibrahim
Faculty of Civil Engineering
Damascus University

Abstract

The Seismic design for nuclear facilities has been subject of complex analysis of the type usually performed for nuclear power plants. For the purpose of ensuring seismic safety for nuclear facilities with limited radioactive inventory, a simplified approach was adopted by the IAEA safety guides with emphasis on appropriate construction and detailing principles rather than sophisticated dynamic analysis. This work presents the equivalent static approach, with an application for a frame element, a dynamic analysis is also achieved using a computer program (DRAIN – 2DX) with real (time – history earthquake) for the purpose of comparison, the results lead to some observations and notes which have to be taken into account for the seismic safety design.