

AN ALGORITHM FOR THE ANALYSIS OF SEISMIC BASE ISOLATED SHEAR FRAME STRUCTURES

Mohammad Ahmad Al-Samara

Professor, Dean of the Higher Institute for Earthquake Studies & Research,
Damascus University, Syria

Thaer Mohammad Nael Trisi, M.Sc. Student, Damascus University

(Received October 10, 2010 Accepted November 1, 2010)

In this research the governing relationships of the behavior of seismic isolated shear frame structures are presented and algorithm solution was written for multi degrees of freedom "MDOF" model, considering the masses lumping at the center of diaphragm in each story and taking into consideration the bilinear model of the isolators. To verify the algorithm a computer program was written using "Visual Basic" and a numerical example was solved. The results are compared with those obtained by using "SAP 2000" Program.

KEYWORDS: Seismic Base Isolation, Bilinear model, Rubber Isolators, Damping

خوارزمية لتحليل المنشآت القصية المعزولة زلزالياً

أ.د/محمد أحمد السمارة, عميد المعهد العالي للبحوث والدراسات الزلزالية, جامعة دمشق
م/ثائر تريسي, طالب ماجستير - جامعة دمشق

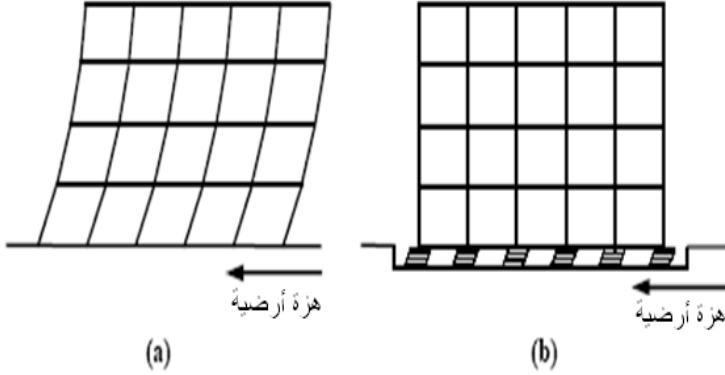
1. ملخص البحث:

تم في هذا البحث صياغة العلاقات الحاكمة لسلوك المنشآت القصية المعزولة زلزالياً وكتابة الخوارزمية لنموذج إطار مستوي متعدد درجات الحرية معتبرين إن الكتل مجتمعة في مراكز الديافرامات في كل طابق مع أخذ تأثير المساند العازلة كعناصر ذات سلوك ثنائي الخطية ثم تمت كتابة برنامج بلغة "Visual Basic" بهدف اختبار خوارزمية الحل السابقة و التأكد من دقتها من خلال حل مثال لمنشأ إطار قصي ومقارنة النتائج مع ما ينتج عن التحليل باستخدام برنامج "SAP2000".
مفاتيح الكلمات: العزل الزلزالي, سلوك ثنائي الخطية, مساند عزل مطاطية, تخامد.

2. مقدمة:

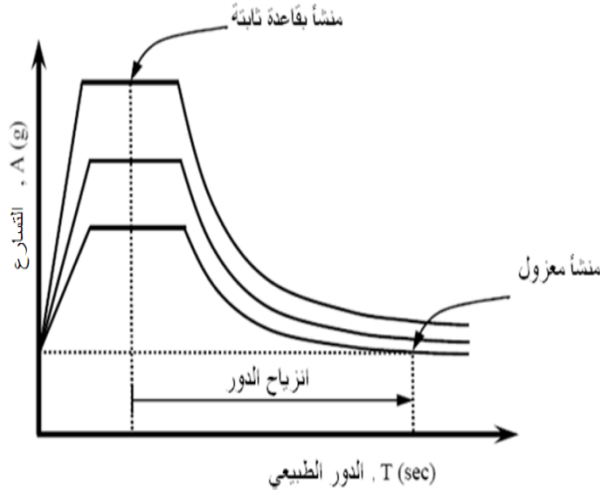
يعتمد مبدأ العزل الزلزالي على جعل المنشأ خارج نطاق الخطر الناتج عن الهزات الأرضية وذلك بتقليل القوة الزلزالية المؤثرة عليه بدلاً من تقوية عناصره, ويتم ذلك بفصل المنشأ عن الأرض بعناصر مرنة في الاتجاه الأفقي وعالية الصلابة في الاتجاه الشاقولي حيث يصبح المنشأ شبيهاً بكتلة صلبة تتحرك فوق مستوى العزل, انظر الشكل رقم (1).

تؤدي هذه العناصر إلى زيادة زمن الاهتزاز الاساسي للمنشأ المنشأ بالإضافة إلى تبديد الطاقة نتيجة التخماد مما يحد من مقدار القوة الزلزالية وبالتالي إلى تخفيف الضرر الذي تتعرض له العناصر الإنشائية وغير الإنشائية.



الشكل (1) a: منشأ ذو قاعدة ثابتة [1] b: منشأ معزول زلزالياً

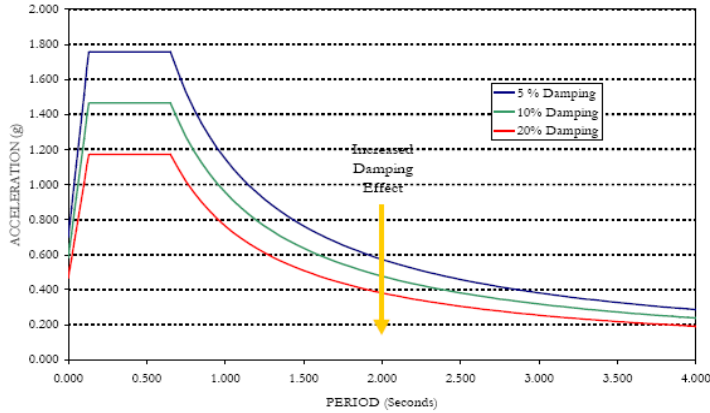
تتراوح فترة الاهتزاز لمعظم الحركات الزلزالية بين (0.1 – 1) ثانية وتكون قيمها أعظمية عادة في المجال (0.2 – 0.6) ثانية ولذلك فإن المنشآت ذات زمن الاهتزاز الاساسي ضمن الحدود السابقة الذكر تكون عرضة للمخاطر الزلزالية بشكل كبير [2]. إن الخاصية الأكثر أهمية في المنشآت المعزولة زلزالياً هي زيادة المرونة في الاتجاه الأفقي مما يؤدي إلى زيادة زمن الاهتزاز الاساسي المنشأ ليصبح أكبر من 1.5 ثانية (وعادة 2-3 ثانية) وبالتالي تخفيض قيمة القوى الزلزالية المطبقة عليه كما هو موضح في الشكل (2)



الشكل (2): تأثير زيادة زمن الاهتزاز الاساسي على التسارع الزلزالي [1]

تتراوح نسبة التخماد في المنشآت التقليدية حول (5%) وهي ناتجة عن التشوهات الحاصلة في العناصر الإنشائية والتي قد تؤدي لحدوث أضرار في العناصر غير الإنشائية وهذا التخماد يساهم في تبديد جزء من الطاقة الزلزالية الداخلة إلى المنشأ. أما بالنسبة للمنشآت المعزولة زلزالياً فإن قيمة التخماد الناشئ في الجملة الإنشائية يتضاءل ليصبح (2%) وذلك بسبب انخفاض قيمة التشوهات بشكل كبير نتيجة وجود نظام العزل الزلزالي الذي يقوم بدوره بتبديد الجزء الأكبر من الطاقة حيث أن أنظمة العزل الزلزالي تعطي قيمة عالية للتخماد تصل إلى (25%) عند استخدام المساند المطاطية عالية التخماد أو المزودة بنواة رصاصية.

يوضح الشكل (3) تأثير ازدياد قيمة التخماد على منحنى طيف الاستجابة حيث يمكن ملاحظة انخفاض قيمة التسارع مع ازدياد التخماد.



الشكل (3): تأثير زيادة التخماد على منحنى طيف الاستجابة [3]

قدم الباحثان Masaru Kikuchi , Ian D.Aiken (1997) [4] نموذج تحليلي ترددي هستيري لمساند العزل الزلزالي المطاطية عالية التخماد وأجرى تحليل ديناميكي لاختي للنموذج وتبين أنه من الممكن نمذجة العازل كعنصر ربط ثنائي الخطية "Bilinear" عندما تكون تشوهات القص متوسطة أو صغيرة أما عندما تزداد التشوهات فإن النموذج يتعرض إلى تقسية أفقية لذلك تم وضع نموذج تحليلي بعوامل جديدة توافق السلوك التجريبي للنموذج. وقد استنتج الباحثان أن سلوك الأبنية المعزولة زلزالياً يكون مماثلاً لسلوك منشأ بدرجة حرية واحدة عندما تكون الجملة الإنشائية ذات صلابة عالية.

وفي عام (1999) قدم الباحث Young-Sang Kim [5] بحث حول فعالية أنظمة العزل الزلزالي في تخفيض الاستجابة الزلزالية للمنشآت وذلك من خلال دراسة منشأ معزول زلزالياً مؤلف من خمسة طوابق معرض لعدة هزات أرضية وقد بينت النتائج أن نظام العزل أدى إلى تخفيض كبير في الاستجابة الزلزالية لمعظم الهزات الأرضية مثل El Centro , Taft ,San Fernando 1971 لكن نظام العزل لم يكن فعالاً في تخفيض الاستجابة الزلزالية عند تعرض المنشأ لزلزال Mexico الذي يتميز زمن اهتزاز كبير.

قام الباحث Trevor E Kelly (2001) [3] بمقارنة بين استجابة منشأ مؤلف من خمسة طوابق لموجة زلزالية تسارعها $0.56g$ وذلك بحالتي الأساسات التقليدية والمعزولة وباستخدام عدة أنواع من أنظمة العزل الزلزالي وبأدوار مختلفة (3 - 2.5 - 2 - 1.5) T حيث تم اعتماد النموذج التحليلي باعتبار كتل الطوابق مجمعة في مراكز الديافرامات وبينت النتائج أن العزل أدى إلى انخفاض التسارع بشكل كبير مقارنة مع المنشأ بالحالة التقليدية وكذلك مع ازدياد زمن الاهتزاز الاساسي لجميع الحالات.

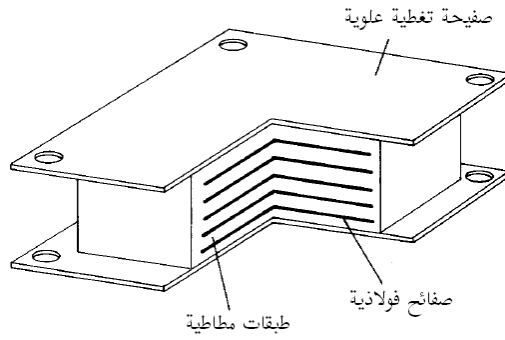
قدم الباحثون Seval Pinarbasi, Dimitrios Konstantinidis, James M. Kelly (2007) [6] بحثاً حول تأثير أنظمة العزل الزلزالي على المنشآت الحاوية على طابق لين وأجروا مقارنات على عدة منشآت تحتوي طابق لين في حالتي الأساسات التقليدية والمعزولة وباستخدام أنظمة العزل الزلزالي وتمت النمذجة باعتبار أن الكتل مجمعة في مراكز الطوابق وقد بينت النتائج بأن العزل الزلزالي أدى إلى تخفيض في القوى الزلزالية وتحسين أداء المنشأ رغم وجود طابق لين.

من أهم المساند المستخدمة في عزل المنشآت هي المساند المطاطية الطبيعية أو عالية التخماد أو المزودة بنواة رصاصية.

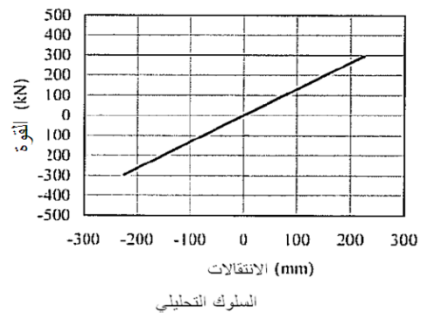
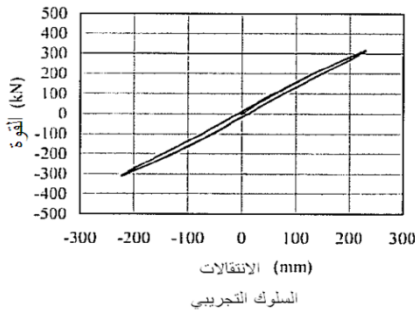
أ- المساند المطاطية منخفضة التخماد: Natural Rubber Bearing(NRB)

يتكون طرفاها العلوي والسفلي من صفائح فولاذية سميكة إضافة إلى حشوات من صفائح فولاذية رقيقة توجد بينها طبقات مطاطية بسمكة تتراوح بين (5-20)مم الشكل(4).

تزداد الطبقات المطاطية العازل بمرونة عالية في الاتجاه الأفقي بينما تقوم الصفائح الفولاذية بتزويده بصلابة عالية بالاتجاه الشاقولي. تكون هذه المساند ذات سلوك مرن وذات قدرة ضعيفة على تبديد الطاقة ويبين الشكل(5) النموذج التحليلي والتجريبي لعلاقة (القوى-الانتقالات).

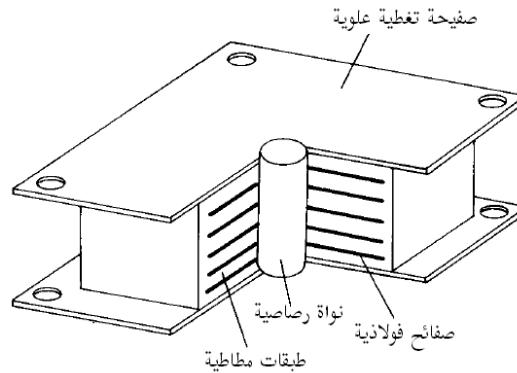


الشكل (4): مسند مطاطي منخفض التخماد [1]

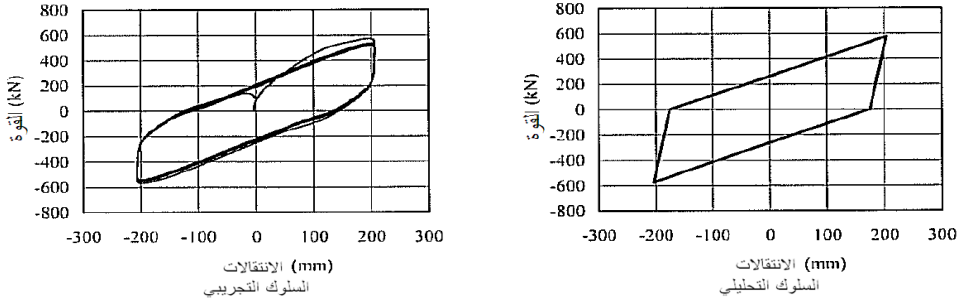


الشكل (5): علاقة القوى-الانتقالات لمسند مطاطي منخفض التخماد [7]

ب- مساند مطاطية منخفضة التخماد مزودة بنواة رصاصية: (LRB) Lead Rubber Bearing تكون عادة مزودة بنواة أو أكثر من الرصاص تحشر ضمن فتحات في المسند المطاطي وذلك بجعل قطر النواة أكبر بقليل من قطر الفتحة [8] الشكل (6).
تمتلك النواة الرصاصية القدرة على تبديد الطاقة نتيجة التشوهات اللدنة وهي تزود المسند بسلوك ثنائي خطية [8] الشكل (7).



الشكل (6): مسند مطاطي منخفض التخماد مزود بنواة رصاصية [8]

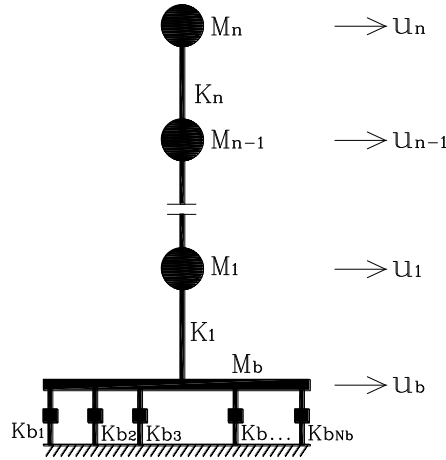


الشكل (7): علاقة القوى-الاجهادات لمسند مطاطي مزود بنواة رصاصية [7]

ج- **المساند المطاطية عالية التخماد:** High Damping Rubber Bearing (HDRB) في عام 1982 تم تطوير مُركب مطاط طبيعي عالي التخماد للتخلص من الحاجة إلى عناصر تخامد مكملة وذلك بإضافة كمية من الكربون الناعم جداً والزيوت أو الصمغ إلى المطاط [8]. يتراوح التخماد الناتج عن هذا النوع من المساند العازلة (8-20%) من التخماد الحرج. يتمتع هذا المسند بسلوك ثنائي الخطية كما في المساند المطاطية منخفضة التخماد المزودة بنواة رصاصية.

3. خوارزمية الحل

يوضح الشكل (8) نموذج المنشأ المدروس حيث أن عدد درجات الحرية يساوي عدد الطوابق +1 وكتل الطوابق مجمعة في مراكز الكتل في كل طابق مع أخذ تأثير سلوك كل عازل على حدا.



الشكل (8): نموذج (MDOF) لمنشأ معزول زلزاليا

الصلابات الأفقية للمساند العازلة : K_{bi} ($i=1$ to N_b)

عدد المساند العازلة : N_b

كتلة الديافرام فوق مستوى العزل مباشرة : M_b

صلابات الطوابق : $K_{1,2,..,n}$

الكتل المجمعة في الطوابق : $M_{1,2,..,n}$

عدد الطوابق فوق مستوى العزل : n

سنقوم بدراسة نموذج معرض لسجل زمني لهزة أرضية "Time history" بطريقة نيومارك للتكامل المباشر
 (كما هو موضح في الخطوات التالية: $\beta=1/6$, $\gamma=1/2$):

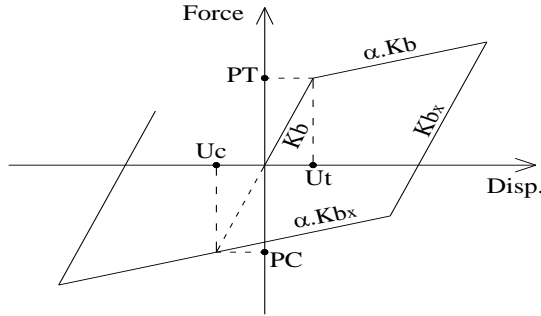
تحدد مصفوفة الكتلة [M] على النحو التالي :

$$[M] = \begin{bmatrix} Mb & 0 & . & 0 \\ 0 & M1 & . & . \\ . & . & . & . \\ 0 & . & . & Mn \end{bmatrix} \quad \text{Eq(1)}$$

تشكيل مصفوفة الصلابة [K] :

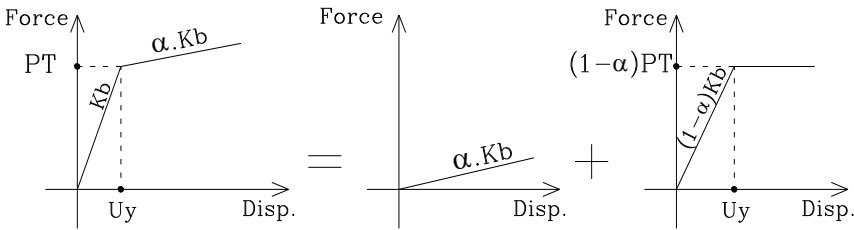
تحديد سلوك المساند العازلة في اللحظة الزمنية t :

كما أشرنا سابقاً أن لكل من هذه المساند المطاطية سلوكاً ثنائي الخطية كما في الشكل (9)



الشكل (9): نمذجة لسلوك العازل ثنائي الخطية

من الممكن تجزئة علاقة القوى-الانتقالات السابقة للعازل كما في الشكل (10)



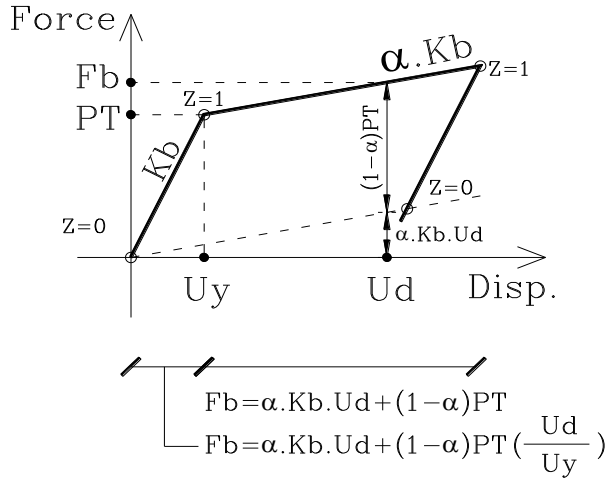
الشكل (10): تجزئة علاقة القوى-الانتقالات للعازل

K_b : الصلابة المرنة للمسد

PT: القوة عند عتبة اللدونة

U_y : الانتقال عند عتبة اللدونة

α : نسبة الصلابة بعد عتبة اللدونة إلى الصلابة المرنة الأولية.



الشكل (11): قوى القص الناشئة ضمن المسند

من الشكل نستنتج ما يلي:

قوة القص الناشئة ضمن المسند في مرحلة المرنة

$$F_b = \alpha * K_b * U_d + (1-\alpha) * PT * (U_d/U_y)$$

قوة القص الناشئة ضمن المسند في مرحلة ما بعد التلدن

$$F_b = \alpha * K_b * U_d + (1-\alpha) * PT$$

يمكن كتابة العلاقتين السابقتين بالشكل :

$$F_b = \alpha * K_b * U_d + (1-\alpha) * PT * z$$

حيث :

$$-1 \leq z = \frac{U_d}{U_y} \leq 1$$

Ud: انتقال المسند في اللحظة الزمنية المدروسة

عندما $U_d < U_y$ يكون سلوك المسند مرن

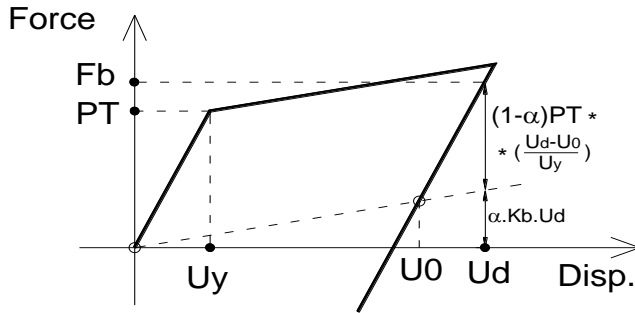
عندما $U_d > U_y$ يكون سلوك المسند لدن

عندما يكون المسند لدن ثم يعود ليصبح مرن بعد تغير إشارة شعاع السرعة

$$z = U_d / U_y < 1$$

$$z = U_d / U_y \geq 1 \Rightarrow$$

$$z=1$$



الشكل (12)

في هذه الحالة تكون قوة القص الناشئة ضمن المسند

$$F_b = \alpha * K_b * U_d + (1-\alpha) * PT * (U_d - U_o / U_y)$$

حيث :

U_o : المبدأ الجديد للانتقالات الذي يهتز حوله المنشأ

بالتالي تصبح العلاقة النهائية لقوى القص في المسند

$$F_b = \alpha * K_b * U_d + (1-\alpha) * PT * z \quad \text{Eq(2)}$$

حيث :

$$-1 \leq z = \frac{U_d - U_o}{U_y} \leq 1$$

يجب تحديد قيمة جديدة لـ U_o في كل لحظة يكون فيها المنشأ لدن ثم يعود ليصبح مرن

بفرض

U_i : الانتقال في اللحظة (t)

αu_i : التغير في الانتقال في اللحظة (t)

αu_{i-1} : التغير في الانتقال في اللحظة (t- Δt)

عندما $\alpha u_i * \alpha u_{i-1} < 0$ تكون $U_o = U_i - U_y$

صلابة العازل:

$K_b = -1 > z > 1$: العازل ضمن مرحلة المرونة وصلابته

$z = 1, z = -1$: العازل دخل ضمن مرحلة اللدونة وصلابته $\alpha.K_b$

نقوم بتكرار الحلقة السابقة على جميع المساند العازلة لنتمكن من حساب صلابة نظام العزل الزلزالي خلال كل خطوة زمنية Δt .

$$K_b = \sum_{i=1}^{N_b} K_{bi} \quad \text{Eq(3)}$$

قوة القص الكلية عند منسوب العزل $Force_b$

$$Force_b = \sum_{i=1}^{N_b} F_{bi} \quad \text{Eq(4)}$$

وعليه فتكتب مصفوفة صلابة الجملة الإنشائية مع نظام العزل على النحو التالي:

$$[K] = \begin{bmatrix} K_b + K_1 & -K_1 & 0 & . & 0 \\ -K_1 & K_1 + K_2 & -K_2 & 0 & . \\ 0 & -K_2 & . & . & 0 \\ . & 0 & . & K_{n-1} + K_n & -K_n \\ 0 & . & 0 & -K_n & K_n \end{bmatrix} \quad \text{Eq(5)}$$

وكما بينا سابقاً فإن التخميد الطبيعي ضمن الجملة الإنشائية يكاد يكون مهملاً بالمقارنة مع التخميد الناتج في نظام

العزل وعليه سنكتفي بالتخامد الناتج عن تبديد الطاقة ضمن المساند العازلة.

بالاعتماد على ما سبق تكتب معادلة الحركة للجملة الإنشائية مع نظام العزل كما يلي:

$$[M] \cdot \{\ddot{U}\} + [K] \cdot \{U\} = \{Fe\} \quad \text{Eq(6)}$$

حيث:

$$\{U\} = \{U_b \quad U_1 \quad U_2 \quad \dots \quad U_n\}^T$$

$$\{\ddot{U}\} = \{\ddot{U}_b \quad \ddot{U}_1 \quad \ddot{U}_2 \quad \dots \quad \ddot{U}_n\}^T$$

$$\{Fe\} = \{Fe_b \quad Fe_1 \quad Fe_2 \quad \dots \quad Fe_n\}^T$$

باستخدام طريقة نيومارك في التكامل العددي المباشر نكتب:

$$\dot{U}^{i+1} = \dot{U}^i + [(1-\delta)\ddot{U}^i + \delta\ddot{U}^{i+1}]\Delta t \quad [9]$$

$$U^{i+1} = U^i + \dot{U}^i \cdot \Delta t + \left[\left(\frac{1}{2} - \alpha \right) \ddot{U}^i + \alpha \ddot{U}^{i+1} \right] \Delta t^2 \quad [9]$$

يمكن كتابة العلاقتان السابقتان على الشكل التالي :

$$\Delta \dot{U}^{i+1} = [(1-\delta)\ddot{U}^i + \delta\ddot{U}^{i+1}]\Delta t \quad [9]$$

$$\Delta U^i = \dot{U}^i \cdot \Delta t + \left[\left(\frac{1}{2} - \alpha \right) \ddot{U}^i + \alpha \ddot{U}^{i+1} \right] \Delta t^2 \quad [9]$$

بالتعويض في معادلة الحركة Eq(6) ينتج:

$$[K_t] \cdot \{\Delta U\} = \{\Delta Fe\} \quad \text{Eq(7)}$$

حيث :

$$[K_t] = [K] + \frac{1}{\alpha \cdot \Delta t^2} [M] \quad \text{Eq(8)}$$

متجه التغير في القوى $\{\Delta Fe\}$:

$$\{\Delta Fe_i\} = \{Fe_{i+1}\} - \{Fe_i\} + \frac{6}{\Delta t} [M] \{\dot{U}\}_i + 3[M] \{\ddot{U}\}_i \quad \text{Eq(9)}$$

متجه التغير في الانتقالات $\{\Delta U\}$ والسرعة $\{\dot{U}\}$

يتم إيجاد متجه التغير في الانتقالات خلال كل خطوة زمنية Δt وذلك بحل جملة المعادلات:

$$[K_t] \cdot \{\Delta U_i\} = \{\Delta Fe_i\} \quad \text{Eq(10)}$$

$$\{\Delta \dot{U}_i\} = \frac{3}{\Delta t} \{\Delta U_i\} - 3\{\dot{U}_i\} - \frac{\Delta t}{2} \{\ddot{U}_i\} \quad \text{Eq(11)}$$

ثم نوجد متجهي الانتقالات والسرعة:

$$\{\dot{U}_{i+1}\} = \{\dot{U}_i\} + \{\Delta \dot{U}_i\} \quad \{U_{i+1}\} = \{U_i\} + \{\Delta U_i\}$$

نوجد متجه القوى المطبقة في جميع الطوابق

$$\{Force\} = [K] \cdot \{UD\} \quad \text{Eq(12)}$$

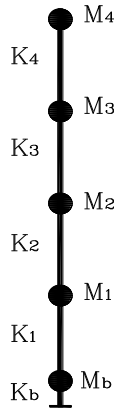
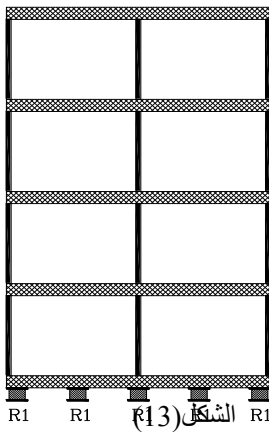
نوجد قيمة التسارع من العلاقة الأساسية لتوازن المنشأ

$$[M] \cdot \{\ddot{U}\}_{i+1} + [K] \cdot \{U\}_{i+1} = \{Fe\}_{i+1} \quad \text{Eq(13)}$$

خطوات الحل العددي:

1. تشكيل مصفوفة الكتلة [M] Eq(1)
 2. تحديد صلابة نظام العزل Kb Eq(3)
 3. تشكيل مصفوفة الصلابة [K] Eq(5)
 4. إيجاد مصفوفة الصلابة الديناميكية [Kt] Eq(8)
 5. إيجاد شعاع التغير في القوى $\{\Delta Fe\}_i$ Eq(9)
 6. حل المعادلة Eq(10) لإيجاد شعاع التغير في الانتقالات
 7. إيجاد شعاع التغير في السرعة Eq(11)
 8. تحديد سلوك المساند العازلة وفق المعامل z Eq(2)
- $K_b = -1 > z > 1$: العازل ضمن مرحلة المرونة وصلابته
- $z = 1, z = -1$: العازل دخل ضمن مرحلة اللدونة وصلابته $\alpha \cdot K_b =$
9. تحديد قوة القص الكلية عند منسوب العزل Eq(4)
 10. تحديد متجه القوى Eq(12)
 11. تحديد قيمة التسارع Eq(13)
 12. العودة إلى الخطوة 2 لتكرار الخطوات السابقة حتى انتهاء تابع التحريض.

4. مثال توضيحي



إطار قصي مؤلف من أربعة طوابق موضح في الشكل (13)
الكتل المجمعة في الطوابق:

$$M_b = M_1 = M_2 = M_3 = M_4 = 50000 \text{ kg}$$

أبعاد مقاطع الأعمدة: $50 \times 50 \text{ cm}$

$$E = 2.5 \times 10^4 \times E_{10} \text{ N/m}^2$$

ثابت المرونة

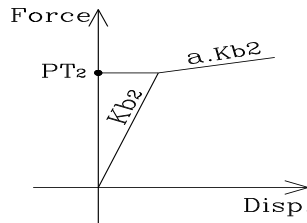
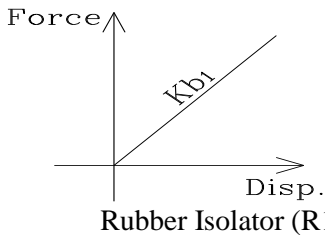
صلابيات العوازل:

بفرض وجود خمسة مساند اثنتان منها ذات سلوك خطي من

نوع R1

وثلاثة ذات سلوك ثنائي الخطية "Bilinear" من نوع

R2. الشكل (14) يوضح سلوك المسندين



$$K_{b1} = 1.10^6 \text{ N/m}$$

$$K_{b2} = 5.10^6 \text{ N/m}$$

$$P_{T2} = 1.10^5 \text{ N}$$

$$\alpha = 0.15$$

تم تعريض قاعدة الإطار لهزة Elconting

تم إيجاد استجابة المنشأ باستخدام برنامج كتب وفق الخوارزمية السابقة بلغة "Visual Basic" ثم باستخدام برنامج التحليل الإنشائي "SAP2000" للتأكد من دقة النتائج وذلك بأخذ قيمة الخطوة الزمنية $\Delta t=0.01$ sec

الحل:

تشكيل مصفوفة كتلة الإطار:

$$[M] = \begin{bmatrix} M_b & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & M_1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & M_2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & M_3 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & M_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 50 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 50 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 50 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 50 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 50 \end{bmatrix} \cdot 10^3$$

تشكيل مصفوفة صلابة الإطار:

الصلابة الأولية لنظام العزل K_b :

$$K_b = K_{b1} * 2 + K_{b2} * 3 = 17.10^6 \quad N/m$$

صلابة العمود K_c :

$$K_c = \frac{12EI}{L^3} = \frac{12Ebh^3}{12L^3} = \frac{Ebh^3}{L^3} = 24414000 \quad N/m$$

الصلابة الطابقية للإطار:

$$K_1=K_2=K_3=K_4=3 * K_c = 73242000 \quad N/m$$

تمت كتابته بلغة "Visual Basic" (الكود البرمجي ضمن الملحق) لحل الخوارزمية واجهة المدخلات مبينة في الشكل (15)

الكتلة المجمعة عند مستوى العزل "Kg"

إدخال تابع التحريض المطبق

الخطوة الزمنية للتكامل "Δt"

Seismic Isolated Plan Frame

Mass at Base Isolation Diaphragm = 50000 Iteration Step (h) = 0.01

Stiffness / Mass Stories Data		
No. Stories	K	M
ST1	73242000	50000
ST2	73242000	50000
ST3	73242000	50000
ST4	73242000	50000

Excitation Data			
No.	t(sec)	y"(g)	
1	0	0	
2	0.01	0.0108	
3	0.161	-0.0001	
4	0.291	0.0059	
5	0.429	-0.0237	
6	0.623	0.0094	
7	0.7201	-0.0256	
8	0.872	-0.0232	
9	0.9411	-0.0603	
10	1.0661	-0.0381	
11	1.315	-0.1696	
12	1.44	-0.0945	
13	1.537	-0.128	
14	1.8	0.1428	
15	2.007	-0.3194	

Isolation Bearings Data			
No.	KB (g)	PT (g)	Alfa (g)
1	5000000	100000	0.15
2	5000000	100000	0.15
3	5000000	100000	0.15
4	1000000	200000	1
5	1000000	200000	1

الكتلة المجمعة والصلابيات الطابقية

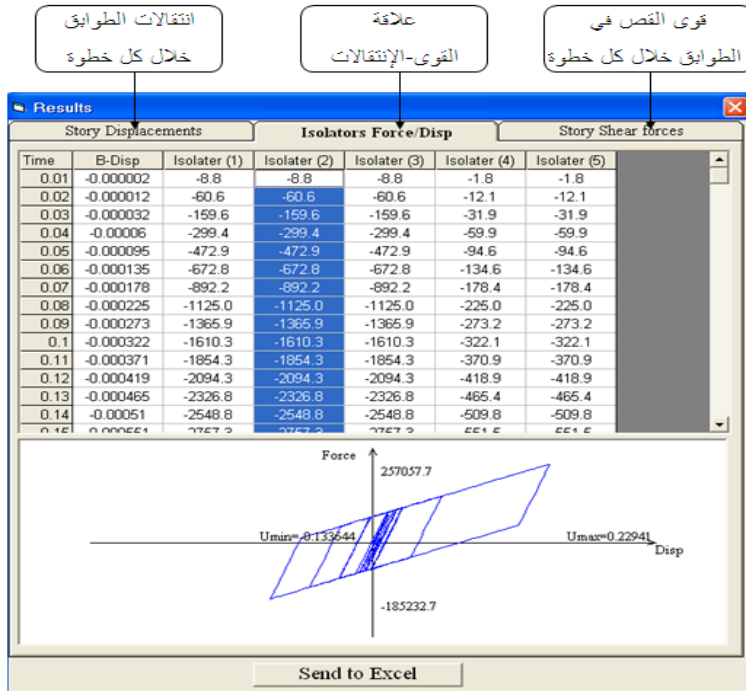
عدد وخصائص المساند المستخدمة

Run Analysis Refresh

Open Save

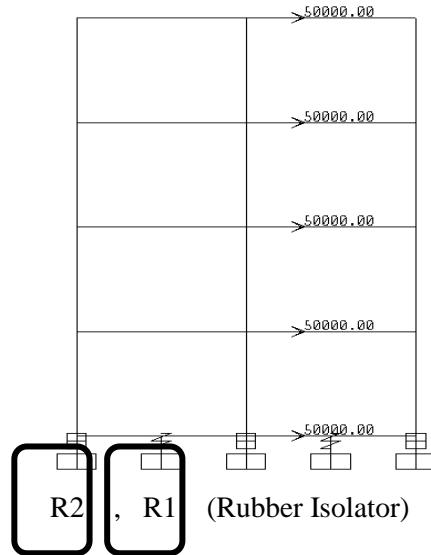
الشكل (15): واجهة المدخلات للبرنامج

بالضغط على زر "Run Analysis" يبدأ البرنامج بإجراء التحليل وتظهر الواجهة الموضحة في الشكل (16) لعرض الانتقالات و قوى القص في جميع الطوابق في كل لحظة زمنية وكذلك قيم قوى القص الناشئة ضمن كل مسند عازل وبالتالي رسم الحلقات الهستيرية الناتجة عن الهزة الأرضية المطبقة .



الشكل (16) : واجهة عرض النتائج

نمذجة الإطار ضمن برنامج "SAP2000" وتعريف خصائص المساند العازلة موضحة في الأشكال (17-18)- (19)



الشكل (17): نمذجة الإطار ضمن برنامج "SAP2000"

Link/Support Directional Properties

Identification

Property Name: RUB2

Direction: U2

Type: Rubber Isolator

NonLinear: Yes

Properties Used For Linear Analysis Cases

Effective Stiffness: 1000000.

Effective Damping: 0.

Shear Deformation Location

Distance from End-J: 0.

Properties Used For Nonlinear Analysis Cases

Stiffness: 5000000.

Yield Strength: 100000.

Post Yield Stiffness Ratio: 0.15

OK Cancel

Link/Support Directional Properties

Identification

Property Name: RUB1

Direction: U2

Type: Rubber Isolator

NonLinear: No

Properties Used For All Analysis Cases

Effective Stiffness: 1000000.

Effective Damping: 0.

Shear Deformation Location

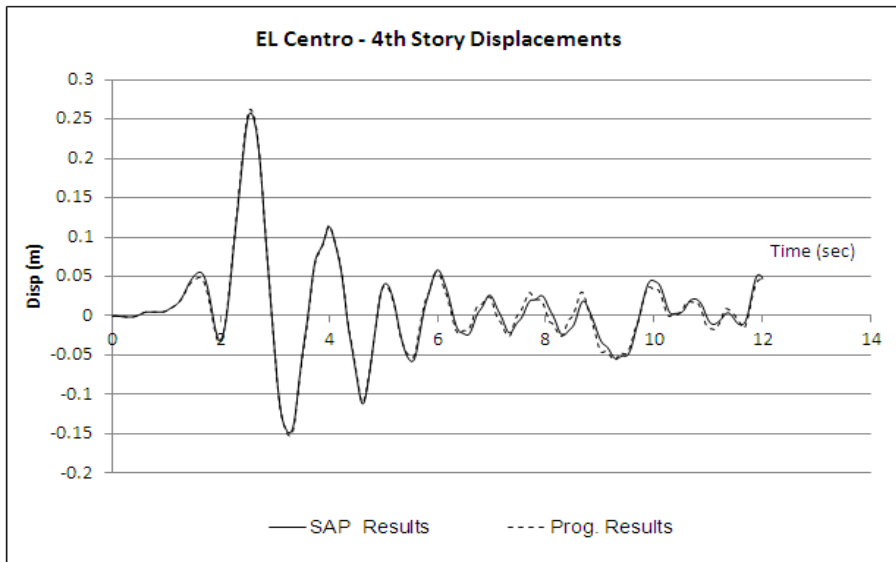
Distance from End-J: 0.

OK Cancel

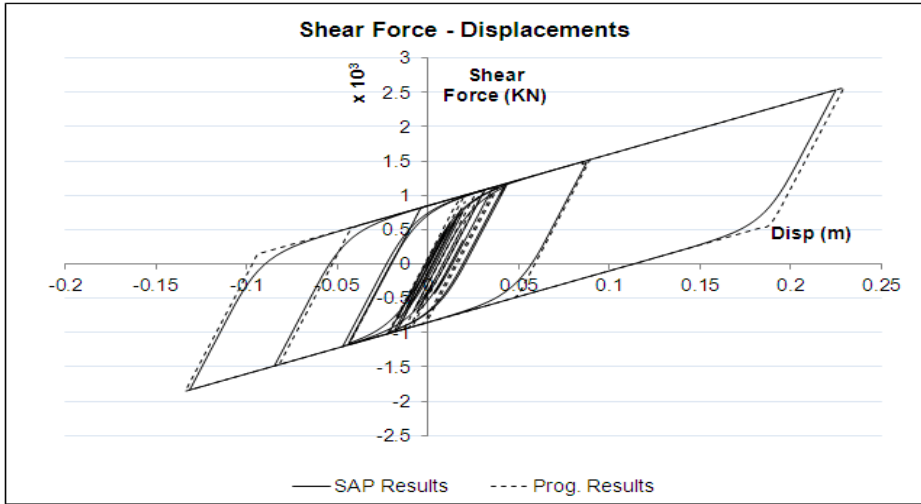
الشكل(19): خصائص المسند "R2"

الشكل(18): خصائص المسند "R1"

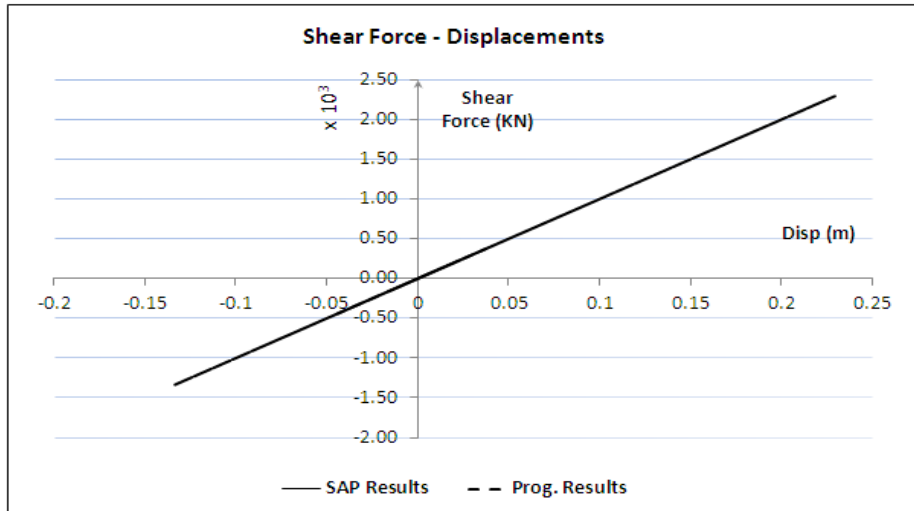
مقارنة النتائج: يبين الشكل (20) مقارنة بين انتقالات الطابق الأخير الناتجة عن كل من البرنامجين, كما ويبين الشكلين (21 , 22) علاقة القوة بالانتقال في المسندين (R1 , R2)



الشكل(20): الانتقالات عند الطابق الرابع



الشكل(21): علاقة (القوى – الانتقالات) للمسند “R2”



الشكل(22): علاقة (القوى – الانتقالات) للمسند “Ry”

مقارنة القيم الأعظمية للنتائج : يبين الجدولين (1 , 2) الفرق بين القوى والانتقالات العظمى اللذين تم الحصول عليهما بالبرنامجين

Max. Disp (cm)	SAP	Prog.	%
Isolators	22.50	22.90	1.8
4 th Story	25.80	26.26	1.6

الجدول(2): مقارنة القيم العظمى للانتقالات عند منسوب العزل والطابق الأخير

Max. Force (KN)	SAP	Prog.	%
R1	225.00	229.50	2.0
R2	253.70	257.10	1.3

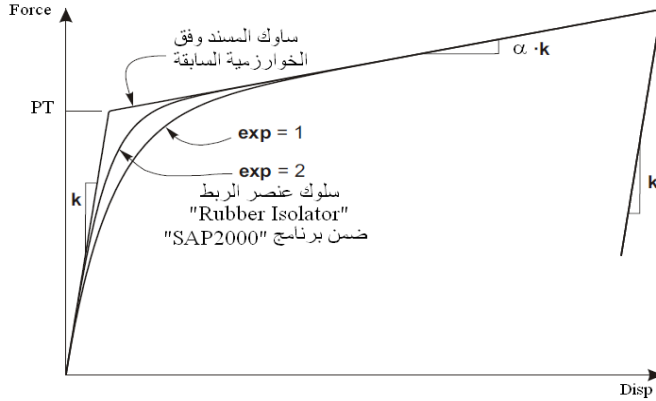
الجدول (1): مقارنة القيم العظمى

للقص في المسندين (R1,R2)

نلاحظ وجود فرق في القيم العظمى يتراوح بين (1 - 2 %))

5. مناقشة النتائج :

بالعودة إلى مراجع برنامج التحليل الإنشائي "SAP2000" تبين إن سبب الاختلاف في النتائج هو أن السلوك المعتمد للمسدند ضمن الخوارزمية هو سلوك ثنائي الخطية بينما يعتمد برنامج "SAP" على نموذج "Wen" لتحديد سلوك عنصر الربط "Rubber Isolator" مع قيمة ثابتة تساوي $1/2$ للمعامل "Yielding Exponent (exp)" ضمن نموذج "Wen" [10] وبالتالي يكون الربط بين الصلابتين المرنة واللينة ذات شكل منحني. علماً بأن المعامل "exp" يتعلق بشكل الانتقال من المجال المرن إلى المجال اللدن وكلما ازدادت قيمته تزداد شدة الانحناء ليصبح سلوكه أقرب لثنائي الخطية كما تم اعتباره ضمن الخوارزمية السابقة. انظر الشكل(23).



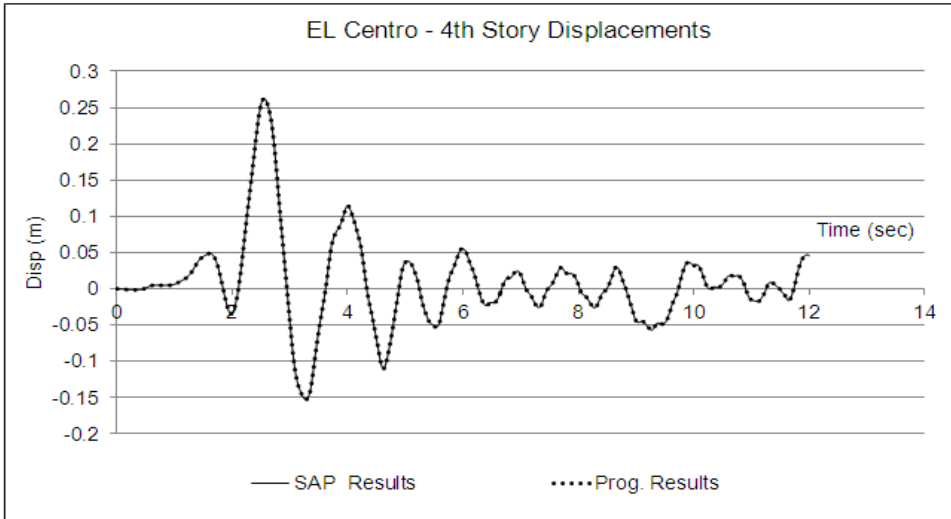
الشكل(23): مقارنة بين سلوك العازل حسب الخوارزمية وسلوكه ضمن برنامج "SAP"

Link/Support Directional Properties	
Identification	
Property Name	Wen
Direction	U2
Type	Plastic (Wen)
NonLinear	Yes
Properties Used For Linear Analysis Cases	
Effective Stiffness	1000000.
Effective Damping	0.
Shear Deformation Location	
Distance from End-J	0.
Properties Used For Nonlinear Analysis Cases	
Stiffness	5000000.
Yield Strength	100000.
Post Yield Stiffness Ratio	0.15
Yielding Exponent	50.
<input type="button" value="OK"/> <input type="button" value="Cancel"/>	

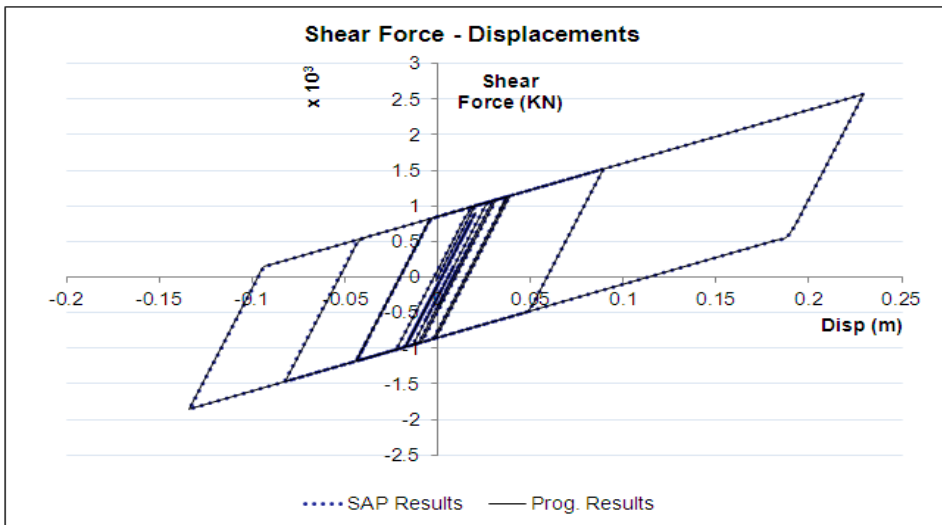
للتأكد من النتائج سنقوم بتعديل المساند ضمن برنامج "SAP" لتصبح عناصر ربط لاخطي وفق نموذج "Wen" مع فرض قيمة كبيرة نسبياً $1/50$ للمعامل "exp" الشكل(24) وبالتالي يصبح سلوك عنصر الربط مشابهاً لسلوك العازل المقدم وفق الخوارزمية.

نقوم بتكرار التحليل ومقارنة النتائج فنجد أن هناك تطابق تام تقريباً كما هو مبين في الشكلين(25) , (26).

الشكل(24): نموذج "Wen"



الشكل(25): الانتقالات عند الطابق الرابع



الشكل(26): علاقة (القوى - الانتقالات) للمسند "R2"

كما يتضح من الجدولين (3 , 4) أن الفرق في الانتقالات الأعظمية الناتجة عن البرنامجين هو 0.02% وكذلك فإن الفرق في قيم القص الأعظمية في العنصر R2 هو بحدود 0.003%

Max. Disp (cm)	SAP	Prog.	%
4th Story	26.255	26.26	0.02

الجدول(4): مقارنة القيم العظمى للانتقالات في الطابق الأخير

Max. Force (KN)	SAP	Prog.	%
R2	257.136	257.144	0.003

الجدول (3): مقارنة القيم العظمى للقص في المسند (R2)

6. النتائج :

في هذا البحث تم عرض خوارزمية لحل المنشآت القصية المعزولة زلزالياً وذلك من خلال اعتبار المنشأ كنموذج مستوي متعدد درجات الحرية وأن الكتل مجمعة في مراكز الديافرامات. تم اعتبار الجملة الإنشائية فوق نظام العزل ذات سلوك مرن مع أخذ تأثير المساند العازلة كعناصر ذات سلوك ثنائي الخطية.

تم كتابة الخوارزمية باستخدام طريقة نيومارك في التكامل المباشر وتقديم برنامج لحلها وكانت النتائج مطابقة إلى حد كبير مع نتائج برنامج "SAP2000" عند اختيار نموذج "Wen" مع سلوك ثنائي الخطية للمساند العازلة وبفارق نسبي لا يتجاوز (2%) عند اختيار نموذج "Rubber Isolator" للمساند العازلة.

المراجع:**REFERENCES**

1. Master of Science a "Comparison OF Design Specifications for Seismically Isolated Buildings" by EMRE ACAR (2006)
2. Master of Science an "Overview of the Technology and Design of Base Isolated Buildings in High Seismic Regions in the UNITED STATES" by JESSICA IRENE WILES (2008)
3. Kelly, Trever (2001) "Base Isolation of Structures".
4. Masaru Kikuchi , Ian D.Aiken. An Analytical Hysteresis Modal For Elastomeric Seismic Isolation Bearings, Earthquake Engineering and Structural Dynamics, Vol.26, No.2, February (1997).
5. Young-Sang Kim. Study of the effective Stiffness of Base Isolation System for Reducing Acceleration and Displacement Responses, Journal of the Korean Nuclear Society , Volume 31, No.6, pp.586/594, December(1999).
6. Seval Pinarbasi, Dimitrios Konstantinidis, James M. Kelly. Seismic Isolation for Soft-Story Buildings, 10th World Conference on Seismic Isolation, Energy Dissipation and Active Vibrations Control of Structures, Istanbul, Turkey , May 28-31, 2007.
7. Higashino, Masahiko and Okamoto, Shin (2006) "Response Control and Seismic Isolation of Buildings".
8. Naeim, Farzad and Kelly, James (1999) "Design of Seismic Isolated Structures".
9. Chopra, Anil 2001 "Dynamics of Structures".
10. Computers & Structures, CSI Analysis Reference Manual, Berkeley, California