



جامعة دمشق

كلية الهندسة المدنية

قسم الهندسة الإنشائية

التحليل الديناميكي بطريقة العناصر المحدودة

للسلوك الزلزالي لصواري الاتصالات المكبلة

**Dynamic Finite Element Analysis
of The Seismic Behavior
of Guyed Masts**

بحث علمي أعد لنيل درجة الماجستير في الهندسة الإنشائية

إعداد : م. عبدالله أحمد أنور المولا

إشراف : أ.د.م فيصل الخليل

2013 - 2012



جامعة دمشق

كلية الهندسة المدنية

قسم الهندسة الإنشائية

التحليل الديناميكي بطريقة العناصر المحدودة

للسلوك الزلزالي لصواري الاتصالات المكبلة

**Dynamic Finite Element Analysis
of The Seismic Behavior
of Guyed Masts**

بحث علمي أعد لنيل درجة الماجستير في الهندسة الإنشائية

إعداد : م. عبدالله أحمد أنور المولا

إشراف : أ.د.م فيصل الخليل

2013 - 2012

الموضوع	المحتوى	الصفحة
إهداء وشكر	I.....	
الملخص	II.....	
قائمة الأشكال	III.....	
قائمة الجداول	VI.....	
قائمة الرموز	VII.....	
المقدمة	1.....	
الفصل الأول : الصواري المكبلة	4.....	
أ. لمحة عن الصواري المكبلة والكبلات	5.....	
1) الصواري المكبلة	5.....	
2) الكبلات	9.....	
ب. الدراسات السابقة	16.....	
ت. سلوك الصارية المكبلة الديناميكي	20.....	
ث. سلوك الكبلات الديناميكي	26.....	
ج. العمليات العشوائية	30.....	
الفصل الثاني : النمذجة والتحليل	32.....	
أ. الصارية المكبلة المدروسة	33.....	
ب. الحملات الزلزالية المستخدمة	39.....	
الفصل الثالث : النتائج	41.....	
أ. التحليل النمطي	42.....	
ب. التحليل الديناميكي بطريقة السجل الزمني	44.....	
1) الانتقالات	47.....	
2) القص القاعدي	54.....	
3) قوة الضغط المحورية في قاعدة المنشأ	60.....	
4) قوى الشد في الكبلات	64.....	

71.....	الاستنتاجات و التوصيات
73.....	المراجع
75.....	الملحق
99.....	Abstract

إهداء و شكر

إهدائي

إلى أسرتي الصغيرة ...

التي شجعتني على الاستمرار في طريق العلم و قدمت لي كل الدعم

إلى أسرتي الكبيرة سورية ...

التي وفرت لي الحضان الدافئة لإنجاز هذه الرسالة

و أود أن أشكر بالدرجة الأولى أستاذي المشرف العزيز الأستاذ الدكتور المهندس فيصل الخليل الذي كان سنداً لي في اختيار هذه الرسالة، و زودني بالمعلومات و التوجيهات اللازمة لإتمامها.

وأتقدم بالشكر الجزيل إلى عمادة الكلية ممثلة بالأستاذ الدكتور المهندس محمد غريب ، وأعضاء

الهيئة التدريسية قسم الهندسة الإنشائية، و على رأسهم الدكتور المهندس قاسم الزحيلي على

حضورهم و دعمهم هذه الرسالة.

الملخص

Abstract

تعتبر الصواري المكبلة حلاً مثالياً لجميع متطلبات الإرسال اللاسلكي المتضمن البث التلفزيوني، المذياع، الهواتف النقالة والانترنت، حيث تتميز بقدرتها على بلوغ ارتفاعات أعلى بكثير من الأبراج المدعومة ذاتياً، بالإضافة إلى حمل هوائيات بأوزان أكبر.

ركزت معظم الأبحاث التي أجريت على الصواري المكبلة على حمولات الرياح و الثلج التي اعتبرت العامل الأساسي في التصميم، بينما تمت أبحاث بشكل أقل بكثير على تأثير الحمولات الزلزالية التي تعتبر في بعض الأحيان عاملاً مهماً في تصميم الصواري، لذلك يدرس السلوك الزلزالي لهذه الصواري بحالتين هما المنشأ السليم (مع كامل كبلاته) ، والمنشأ المتضرر (بعد انقطاع أحد كبلاته)، حيث يقارب انقطاع الكبلات على أحد المستويات بطريقة مبسطة، وهو بالمناسبة من الأبحاث الجديدة التي تدرس في قسم الهندسة الإنشائية.

يستخدم لهذا الغرض صارية مكبلة موجودة في مركز الإذاعة و التلفاز بمدينة بولندية (Przysucha–Kozłowiec) بارتفاع 182.7 م، حيث يتم تحليلها تحليلاً ديناميكياً بطريقة السجل الزمني تحت تأثير زلزال El Centro 1940 باستخدام برنامج العناصر المحدودة SAP2000، و يتم دراسة حالتها المنشأ السليم والمنشأ المتضرر، و مقارنة قيم الدور والتردد، الانتقالات، القص القاعدي، قوة الضغط المحورية في قاعدة المنشأ وقوى الشد في الكبلات.

الكلمات المفتاحية : الصواري المكبلة، التحليل الديناميكي، السلوك الزلزالي، انقطاع أحد الكبلات

قائمة الأشكال

Figures List

- الشكل (1) – تمثيل عام ثلاثي الأبعاد للصواري المكبلة
- الشكل (1-1) – مثال لصارية مكبلة معدنية شبكية
- الشكل (1-2) – مثال لصارية مكبلة معدنية مفرغة
- الشكل (1-3) – مثال لكبل ذي أسلاك مجدولة 7x7
- الشكل (1-4) – مثال لكبل ذي أسلاك مجدولة 7x19
- الشكل (1-5) – مثال لكبل مجدول لوليباً 1x108 ذي القطر 60 مم
- الشكل (1-6) – مثال لكبل ملفوف مغلق ذي القطر 60 مم
- الشكل (1-7) – مثال لكبل ذي أسلاك مجدولة مغطى بمادة البولي بروبيلين
- الشكل (1-8) – قيم عامل المرونة للأنواع المختلفة من الكبلات المعدنية
- الشكل (1-9) – أشكال الأنماط و الترددات لصارية مكبلة بارتفاع 152 م
- الشكل (1-10) – أشكال الأنماط و الترددات لصارية مكبلة بارتفاع 607 م
- الشكل (1-11) – الشكل العام لكبل صارية
- الشكل (1-12) – اختلاف الترددات الطبيعية للكبل الواقع في المستوي مع ارتخاء الكبل
- الشكل (1-13) – اختلافات شكل النمط الأول المتناظر للكبل في المستوي مع ارتخاء الكبل
- الشكل (1-14) – العملية العشوائية (لمتغير واحد)
- الشكل (2-1) – مقطع الكبل المستخدم
- الشكل (2-2) – الصارية المكبلة المدروسة بارتفاع 182.7 م
- الشكل (2-3) – صورة الصارية المكبلة المدروسة الموجودة بمركز الإذاعة و التلفزيون بمدينة (Przysucha–Kozłowiec) البولندية بارتفاع 182.7 م
- الشكل (2-4) – النمذجة ببرنامج SAP2000 للصارية المكبلة المدروسة

- الشكل (2-5) – أسماء الكبلات المدروسة
- الشكل (2-6) – السجل الزمني للمركبة الأفقية الأولى ل (ELC180) El Centro
- الشكل (2-7) – السجل الزمني للمركبة الأفقية الثانية ل (ELC270) El Centro
- الشكل (2-8) – السجل الزمني للمركبة الشاقولية ل (ELC-UP) El Centro
- الشكل (3-1) – مخطط مقارنة قيم الدور لحالتي المنشأ لأنماط الخمسة الأولى
- الشكل (3-2) – التمثيل البياني لتحليل و نتائج البحث
- الشكل (3-3) – المناسيب المدروسة للصارية المكبلة
- الشكل (3-4) – مخطط مقارنة قيم الانتقالات الأفقية المطلقة لحالتي المنشأ بالاتجاه X
- الشكل (3-5) – مخطط مقارنة قيم الانتقالات الأفقية المطلقة لحالتي المنشأ بالاتجاه Y
- الشكل (3-6) – مخطط مقارنة قيم القص القاعدي المطلقة لحالتي المنشأ
- الشكل (3-7) – الاتجاهات 1&2&3 المدروسة
- الشكل (3-8) – مخطط مقارنة قيم قوة الضغط المحورية لحالتي المنشأ
- الشكل (3-9) – أسماء كبلات الصارية المكبلة
- الشكل (3-10) - مخطط مقارنة قيم معامل التضخيم لحالتي المنشأ للكبلات G1&G2&G3
- الشكل (3-11) - مخطط مقارنة قيم معامل التضخيم لحالتي المنشأ للكبلات G4&G5&G6
- الشكل (3-12) - مخطط مقارنة قيم معامل التضخيم لحالتي المنشأ للكبلات G7&G8&G9
- الشكل (A-1) – تغير الانتقالات لأعلى الصارية بالاتجاه X مع الزمن ل TH(H+V)
- الشكل (A-2) – تغير الانتقالات للمنسوب الأعلى C بالاتجاه X مع الزمن ل TH(H+V)
- الشكل (A-3) – تغير الانتقالات للمنسوب الأوسط B بالاتجاه X مع الزمن ل TH(H+V)
- الشكل (A-4) – تغير الانتقالات للمنسوب الأدنى A بالاتجاه X مع الزمن ل TH(H+V)
- الشكل (A-5) – تغير الانتقالات لأعلى الصارية بالاتجاه Y مع الزمن ل TH(H+V)
- الشكل (A-6) – تغير الانتقالات للمنسوب الأعلى C بالاتجاه Y مع الزمن ل TH(H+V)
- الشكل (A-7) – تغير الانتقالات للمنسوب الأوسط B بالاتجاه Y مع الزمن ل TH(H+V)

الشكل (A-8) – تغير الانتقالات للمنسوب الأدنى A بالاتجاه Y مع الزمن ل TH(H+V)

الشكل (A-9) – تغير القص القاعدي بالاتجاه X مع الزمن ل TH(H+V)

الشكل (A-10) – تغير القص القاعدي بالاتجاه Y مع الزمن ل TH(H+V)

الشكل (A-11) – تغير القص القاعدي بالاتجاه Z مع الزمن ل TH(H+V)

الشكل (A-12) – تغير القوة المحورية بالاتجاه 1 مع الزمن ل TH(H+V)

الشكل (A-13) – تغير القوة المحورية بالاتجاه 2 مع الزمن ل TH(H+V)

الشكل (A-14) – تغير القوة المحورية بالاتجاه 3 مع الزمن ل TH(H+V)

الشكل (A-15) – تغير قوة الشد بالكبل G1 مع الزمن ل TH(H+V)

الشكل (A-16) – تغير قوة الشد بالكبل G2 مع الزمن ل TH(H+V)

الشكل (A-17) – تغير قوة الشد بالكبل G3 مع الزمن ل TH(H+V)

الشكل (A-18) – تغير قوة الشد بالكبل G4 مع الزمن ل TH(H+V)

الشكل (A-19) – تغير قوة الشد بالكبل G5 مع الزمن ل TH(H+V)

الشكل (A-20) – تغير قوة الشد بالكبل G6 مع الزمن ل TH(H+V)

الشكل (A-21) – تغير قوة الشد بالكبل G7 مع الزمن ل TH(H+V)

الشكل (A-22) – تغير قوة الشد بالكبل G8 مع الزمن ل TH(H+V)

الشكل (A-23) – تغير قوة الشد بالكبل G9 مع الزمن ل TH(H+V)

قائمة الجداول

Tables List

- الجدول (1-1) – مقارنة بين أوزان الصواري المكبلة المعدنية الاسطوانية و الشبكية
- الجدول (1-2) – بعض الأبحاث السابقة التي تناولت موضوع الصواري المكبلة
- الجدول (2-1) – مركبات El Centro 1940
- الجدول (3-1) – قيم الدور و التردد لحالتي المنشأ
- الجدول (3-2) – حالات تحليل المنشأ
- الجدول (3-3) – قيم الانتقالات الأفقية الأعظمية لحالتي المنشأ ل TH(H+V)
- الجدول (3-4) – قيم الانتقالات الأفقية الأعظمية المطلقة لحالتي المنشأ ل TH(H+V)
- الجدول (3-5) – قيم الانتقالات الأفقية الأعظمية لحالتي المنشأ ل TH(H)
- الجدول (3-6) – قيم الانتقالات الأفقية الأعظمية المطلقة لحالتي المنشأ ل TH(H)
- الجدول (3-7) – قيم القص القاعدي الأعظمية لحالتي المنشأ ل TH(H+V)
- الجدول (3-8) – قيم القص القاعدي الأعظمية المطلقة لحالتي المنشأ ل TH(H+V)
- الجدول (3-9) – قيم القص القاعدي الأعظمية لحالتي المنشأ ل TH(H)
- الجدول (3-10) – قيم القص القاعدي الأعظمية المطلقة لحالتي المنشأ ل TH(H)
- الجدول (3-11) – قيم قوة الضغط المحورية الأعظمية لحالتي المنشأ ل TH(H+V)
- الجدول (3-12) – قيم قوة الضغط المحورية الأعظمية لحالتي المنشأ ل TH(H)
- الجدول (3-13) – قيم قوى الشد الأعظمية بالكبلات لحالتي المنشأ ل TH(H+V)
- الجدول (3-14) – قيم معامل التضخيم بالكبلات لحالتي المنشأ ل TH(H+V)
- الجدول (3-15) – قيم قوى الشد الأعظمية بالكبلات لحالتي المنشأ ل TH(H)
- الجدول (3-16) – قيم معامل التضخيم بالكبلات لحالتي المنشأ ل TH(H)

قائمة الرموز

Symbols List

- H: ارتفاع الصارية (متر)
- T: الدور الطبيعي الأساسي (ثانية)
- BS: القص القاعدي الأعظمي (كنسبة من الوزن الإجمالي)
- P_{dyn} : القوة المحورية الناتجة عن التحليل الديناميكي في الصارية
- BA: القوة المحورية الناتجة عن التحليل الديناميكي عند قاعدة الصارية
- h: ارتفاع معين من الصارية (متر)
- S: مسقط الكبل الأفقي (متر)
- Δ : تدلي الكبل (متر)
- θ : زاوية ميل الكبل عن الأفق (درجة)
- w_G : وزن واحدة الطول للكبل
- ω_0 : التردد الطبيعي الأساسي لسلك مشدود بشكل تام (راديان/ثانية)
- \bar{T} : الدور الطبيعي الأساسي لسلك مشدود بشكل تام (ثانية)
- L: طول الكبل (متر)
- m_G : الكتلة بوحدة الطول للكبل
- x: المسافة من النهاية السفلى للكبل مقاسة على طول الوتر
- λ^2 : بارمتر الصلابة
- ϕ : القطر الخارجي للأنابيب المفرغة المشكلة للصارية (مم)
- f_y : حد الخضوع لمادة الأنابيب (Mpa)
- f_u : حد الانقطاع لمادة الكبلات (Mpa)
- A: مساحة مقطع الكبل (سم²)

المقدمة

Introduction

يتسارع التقدم التكنولوجي في عصرنا الحاضر بشكل كبير، وتعتبر الاتصالات عموداً فقرياً لهذا التقدم، وأصبحت حاجة ماسة، حيث قام المتخصصون في الهندسة الإنشائية والميكانيك الإنشائي بتطوير بنيتها التحتية الضخمة المؤلفة من أبراج مدعمة ذاتياً و صواري مكبلة.

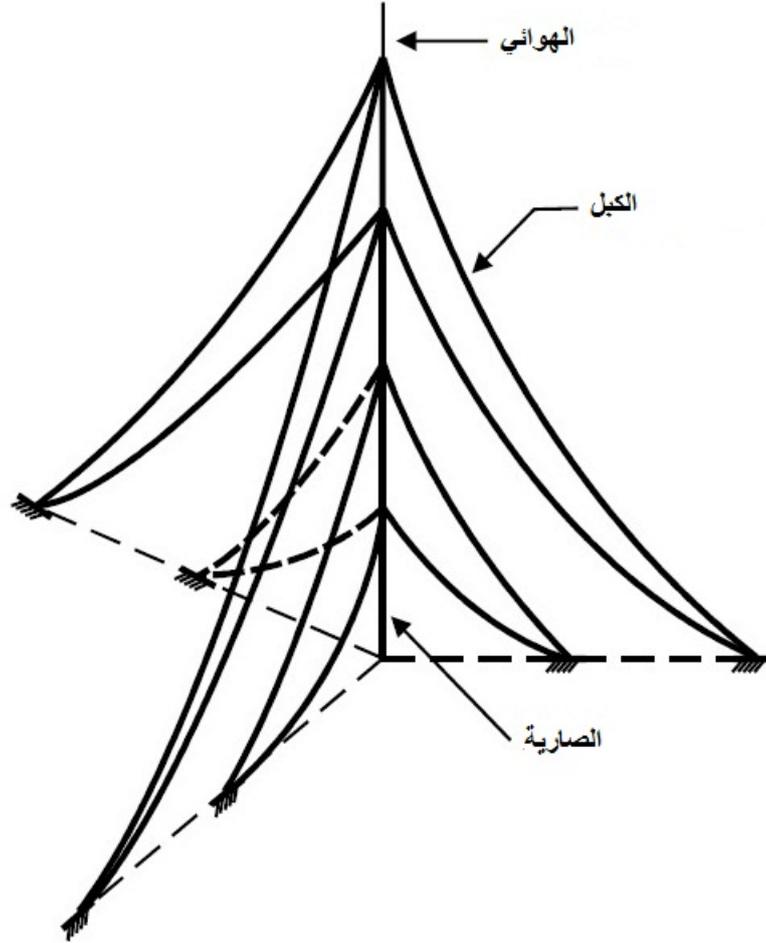
تعتبر الصواري المكبلة حلاً مثالياً لجميع متطلبات الإرسال اللاسلكي بما فيها البث التلفزيوني، المذياع، الهواتف النقالة والشبكة العنكبوتية العالمية (الانترنت)، فالصواري المكبلة ترتفع أعلى بكثير من الأبراج المدعمة ذاتياً، كما يمكنها حمل هوائيات بأوزان أكبر.

تتألف الصواري المكبلة عادة من صارية معدنية واحدة بطول قد يصل حتى 600 م، و تكون عادة متمفصلة في القاعدة، و مسنودة جانبياً بكبلات عالية المقاومة مرساة في الأرض، يختلف عدد هذه الكبلات حسب ارتفاع الصارية وشكل المقطع العرضي، ويوضح الشكل (1) تمثيلاً عاماً لهذه الصواري، أما مقطع الصارية الأكثر شيوعاً في أمريكا الشمالية فهو مقطع مثلثي، بينما هو مقطع مربع في أوروبا و أماكن أخرى من العالم حيث تكون موصولة بعناصر أفقية و مائلة لها أشكال عدة تبعاً للتصميم، حيث تتألف هذه العناصر من مقاطع مفرغة أو مصمتة. تقدم الصواري المكبلة التي هي أطول من 150 م عادة الحلول الأكثر اقتصاداً مقارنة بالأبراج المدعومة ذاتياً، لذلك يعتبر هذا الطول هو الحد الأدنى المعياري لتصنيف الصواري المكبلة تبعاً لارتفاعاتها [3].

تنتج الحملات الديناميكية عن الرياح والزلازل والانقطاع المفاجيء لأحد الكبلات و انزياح الجليد بشكل مفاجيء عن أحد الكبلات [2].

إن السلوك الإنشائي للصواري المكبلة الطويلة هو عملية متداخلة، حيث ينشأ هذا التداخل عن السلوك اللاخطي المهم الذي ينتج بالدرجة الأولى عن ارتخاء الكبلات، والتفاعل بين الكبلات و الصارية إضافة إلى نحافة الصارية نفسها، لهذا السبب فإن تصميم هذه المنشآت على مقاومة

الزلازل لا يمكن استقراؤه من القواعد البسيطة المتوافرة للأبنية، حيث إن مقاربات التصميم المستخدمة حالياً يمكن أن تؤدي إلى صواري غير آمنة أو غير مستقرة كما هو موضح في التحقيقات التي أجريت على عدة انهيارات حدثت في الماضي القريب [1].



الشكل (1) - تمثيل عام ثلاثي الأبعاد للصواري المكبلة [5]

هدف البحث :

يركز هذا البحث على دراسة المنشأ بحالتين هما المنشأ السليم (مع كامل كبلاته) ، والمنشأ المتضرر (بعد انقطاع أحد كبلاته)، حيث لم تتطرق معظم الأبحاث السابقة التي درست الصواري المكبلة لهذه المسألة، و اكتفت بدراسة المنشأ السليم تحت تأثير حمولات مختلفة.

يقارب انقطاع الكبلات على أحد المستويات بطريقة مبسطة، و يتم دراسة تأثير الحمولات الزلزالية، حيث يستخدم لهذا الغرض صارية مكبلة موجودة في مركز الإذاعة و التلفاز بمدينة (Przysucha–Kozłowiec) البولندية بارتفاع 182.7م^[6]، و يتم تحليلها تحليلاً ديناميكياً بطريقة السجل الزمني تحت تأثير زلزال El Centro 1940 باستخدام برنامج العناصر المحدودة SAP2000، و يتم دراسة حالتها المنشأ السليم (مع كامل كبلاتها) والمنشأ المتضرر(بعد انقطاع أحد كبلاتها) ، و مقارنة قيم الدور والتردد، الانتقالات، القص القاعدي، قوة الضغط المحورية في قاعدة المنشأ وقوى الشد في الكبلات ، كما يتم أيضاً دراسة تأثير إدخال المركبة الشاقولية للزلازل من عدمها، وفي النهاية يتم استخراج النتائج التي تساعد على فهم أعمق لسلوك الصواري المكبلة، و وضع التوصيات اللازمة.

الفصل الأول : الصواري المكبلة

Chapter 1: Guyed Masts

أ. لمحة عن الصواري المكبلة و الكبلات [11] :

1) الصواري المكبلة :

تقسم الصواري المكبلة إلى ثلاثة أقسام رئيسية :

أ. الصواري المكبلة المعدنية الشبكية (Lattice Guyed Masts):

تنشأ الصواري المكبلة المعدنية الشبكية من جوائز تقليدية وعناصر تربيط بنظام معروف مع بعض التعديلات الصغيرة لمناسبة شروط معينة و تركيب الهوائيات، وتعتمد المسافة بين نقاط إرساء الكبلات على المتطلبات الانشائية، و يحدد طول الصارية حسب متطلبات الهوائيات المركبة، وللتأكد من عدم ملامسة الكبلات المرتخية للمرسلات تحت تأثير حملات الرياح يجب أن تفصل مسافات كافية بين الكبلات والهوائيات، كما إن قوة الرفع الشاقولية الكبيرة نتيجة قوى الشد بالكبلات يمكن أن تنقل عبر الصارية إلى كتلة الأساسات.

مقطع الصارية العرضي ثابت من الأسفل للأعلى، وقد يتغير عند واحد أو أكثر من مستويات الكبلات العليا، حيث يستخدم المقطع المثلث عندما تسمح متطلبات التصميم بذلك، فهو يحتاج لعدد أقل من الكبلات ويفضل المقطع المربع عندما يكون الوزن كبيراً، فعلى سبيل المثال فإن الوزن النسبي لصارية مثلثة المقطع مع مقاطع دائرية مصممة ارتفاعها 200 م قد يبلغ 100 طن، بينما يبلغ الوزن 300 طن لنفس الارتفاع بمقطع مربع مع استخدام زوايا.

تستخدم المقاطع الدائرية مفرغة أو مصممة بشكل متزايد للعناصر الشاقولية (Leg) والعناصر المائلة (Diagonal) مع نهايات ملحومة، و تجمع العناصر الشاقولية عموماً بالموقع بقطع معدنية بوساطة براغي.

تعتمد مقاومة الرياح لهذه الصواري بشكل جوهري على شكل المقطع العرضي، تشكيل العناصر المائلة و شكل المقاطع المختارة للعناصر الشاقولية و المائلة.

يكون عدد الكبلات بشكل عام للصارية ثلاثة كبلات، إلا أن عدد مستويات الكبلات للصارية له تأثير مهم على التصميم، بالإضافة إلى عدد أساسات الكبلات و توضعها. إن المتطلبات الهندسية للهوائيات تتحكم بدرجة معينة بتوضع مستويات الكبلات، و في بعض البلدان هناك عرف باستخدام عدد من مستويات الكبلات أكثر مما هو في بلدان أخرى، و هذا ناتج عن الكودات المحلية والشروط للتحليل و التصميم، و هناك أيضاً تجمع الجليد على الكبلات له تأثير مباشر على العدد الأمثل لعدد مستويات الكبلات، ففي المناطق التي يحصل فيها تجمع كثيف للجليد على الكبلات، ليس من الجيد تقليل عدد مستويات الكبلات فحسب، بل جعلها مائلة بدرجة كبيرة حتى تقلل تجمع الجليد عليها.

و من الخيارات الأخرى التي يجب أخذها بالحسبان في مرحلة التصميم، هل سيكون الارتباط في قاعدة الصارية وثيقة أو مفصلياً، حيث إن تصميم صارية بقاعدة وثيقة هو أمر سهل جداً إلا أن هذا التصميم له سلبيات، حيث يتطلب أن تكون قاعدة الصارية قادرة على تحمل عزوم الانعطاف الكبيرة نسبياً المتولدة في الصارية، بالإضافة إلى حساسيته العالية لهبوط التربة، و يوضح الشكل (1-1) مثلاً لهذا النوع من الصواري :



الشكل (1-1) – مثال لصارية مكبلة معدنية شبكية [11]

II. الصواري المكبلة المعدنية المفرغة (Tubular Guyed Masts) :

تم تطوير هذا النوع من الصواري خلال فترة الستينات، وتم إنشاء العديد منها في انكلترا و ألمانيا لما تتمتع به من العديد من الايجابيات منها :

- إن معامل سحب ضغط الرياح أقل نسبة لمقاطع أخرى.
 - تنشأ المصاعد و الأدراج و غيرها داخل الصارية، وبالتالي لا أثر لها في حساب حمولات الرياح.
 - إن تأثير تشكل الجليد على حمولات الرياح يكون أقل عنه بالنسبة للصواري الشبكية.
 - إن أعمال التركيب سهلة و أرخص بشكل ما من الصواري الشبكية.
- لكن لها بعض السلبيات :
- إن تركيب هوائيات إضافية لأغراض التجربة يكون صعباً على الأجزاء الخارجية الملساء.
 - يمكن ان تتكثف الرطوبة بداخل الصارية.
 - تكون الكلفة الكلية أعلى بشكل ما من الصواري الشبكية المكافئة.

تتألف الصواري الاسطوانية التي أنشئت في انكلترا للبحث الاعلاني من مقاطع مفرغة حتى مستويات تركيب الهوائيات، وبعدها أنشئت بشكل شبكة تقليدية. ولحمايتها من الظروف الجوية تغلف هذه المجازات بأغطية اسطوانية من مادة GRP(Glass Reinforced Plastic).
مثال:

في هيئة الاذاعة البريطانية ثلاث صواري مكبلة اسطوانية على كامل الارتفاع، حيث تم تركيب الهوائيات خارجياً على منصات. تم بناء هذه الصواري من 120 قطعة من الصفائح المعدنية من ثخانة 8-11 مم و بطول 3 م التي تم ربطها ببراعي مع إضافة حلقات تسليح عرضية خلال التركيب لتشكيل اسطوانة بقطر من 2 - 2.75 م، ولقد تم استخدام المقاطع المغلفة على الساخن كعامل حماية رئيسي ضد الصدأ.

تم استخدام ثلاثة كبلات و تم ربطها على مسافة 40-70 م شاقولياً على حدا حيث تكون كتل الإرساء الأبعد على نصف قطر مساوية تقريباً ل 75% من ارتفاع الصارية.
 إن المثال الأحدث على هذا النوع هي الصارية الموجودة في النرويج، والتي بنيت عام 1988 و يبلغ ارتفاعها 242 م و القطر الخارجي 2 م للاسطوانة و ثخانة المعدن 13 مم، و تم استخدام خمسة مستويات للكبلات الثلاثة، حيث إن السبب الرئيسي لاختيار الاسطوانة كان تشكل الجليد و استمراره لعدة أشهر كل سنة، و يوضح الشكل الشكل (1-2) مثلاً لهذا النوع من الصواري :



الشكل (1-2) – مثال لصارية مكبلة معدنية مفرغة [11]

الصواري الشبكية			الصواري الاسطوانية			الصارية
3	2	1	3	2	1	
305	306	342	242	301	386	الارتفاع (م)
						وزن الفولاذ (طن)
0	0	0	219	175	198	(1) الاسطوانية
134	119	144	0	0	46	(2) الشبكية
134	119	144	219	175	244	الوزن الاجمالي للفولاذ (طن)
4.4	3.9	4.2	9.0	5.8	6.3	الوزن الاجمالي للفولاذ بالمتر (كيلونيوتن/م)

الجدول (1-1) – مقارنة بين أوزان الصواري المكبلة المعدنية الاسطوانية و الشبكية [11]

III. الصواري المكبلة الخرسانية (Concrete Guyed Masts) :

يتم استخدام مادة الخرسانة في ظروف خاصة للصواري، حيث يعتبر الحديد و الألمنيوم المادتين المستخدمتين بشكل عملي في الصواري.

إن البيتون المسلح لديه ميزات تقنية و اقتصادية عن الحديد، حيث لديه قدرة أكبر على التخמיד، و عرضة أقل لتأثير تغيرات الحرارة، و يحتاج صيانة أقل من الصواري المعدنية التي تحتاج للطلاء بشكل دوري.

و بمقابل هذه الميزات هناك العديد من السلبيات التي تتمثل بالتشققات التي يمكن أن تحدث تحت تأثير الرياح الشديدة، و بالتالي تعرض الحديد في البيتون المسلح للصدأ، إضافة إلى الصلابة العالية نسبياً للصارية البيتونية يؤدي إلى نظام إنشائي أقل فعالية.

(2) الكبلات :

يعتبر تأمين الصلابة الجانبية للصارية الهدف الرئيسي للكبلات، مع تزايد القوة المحورية الضاغطة في الصارية، كما يجب أن تؤمن أيضاً حلاً اقتصادياً من حيث التكلفة الأولية، التركيب و الصيانة طوال عمر المنشأ.

إن الكبل المثالي يجب أن يحقق الشروط التالية :

• وزنه خفيف بوحدة الطول

• لديه معامل مرونة كبير جداً

• لا يحتاج لصيانة دائمة

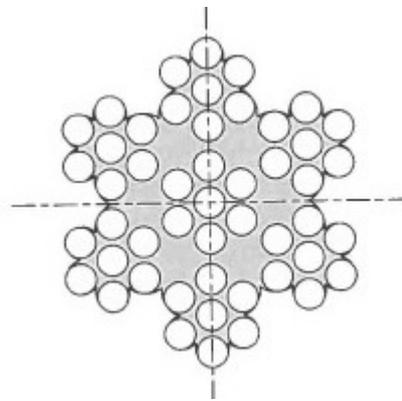
• مساحته صغيرة جداً بالنسبة لموضوع الرياح

تستخدم أنواع متعددة من الكبلات للصواري حسب حجم المنشأ، متطلبات الأداء للمنشأ و

إجراءات الصيانة حيث تقسم الكبلات إلى ستة أنواع رئيسية :

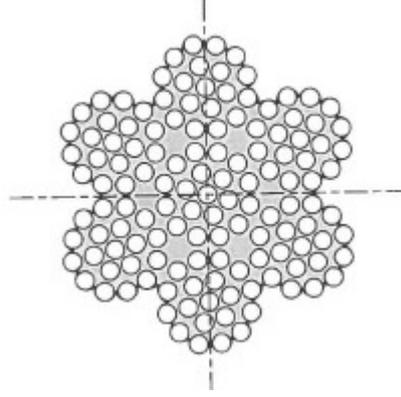
i. الكبلات ذات الأسلاك المجدولة للاستخدامات العامة (General Multi-strand Wire Ropes):

تستخدم الأسلاك المجدولة في معظم التطبيقات العامة، وتتألف من ستة جداول ملفوفة بشكل حلزوني على طبقة واحدة أو على عدة طبقات حول نواة مركزية. تكون وظيفة النواة كأساس للجدائل المحيطة، حيث تقدم لها الدعامة و تبقىها في أماكنها عند الاستخدام. يمكن أن تكون النواة بالنسبة للصواري المكبلة جديدة معدنية مفردة عموماً بالاختصار (IWRC (Independent Wire Rope Core)، بينما تعتبر الألياف غير مناسبة حيث إنها لا تقدم الصلابة الكافية و المقاومة للكبل، و تستخدم فقط في التطبيقات المؤقتة. يتم استخدام عدد من الجداول حول النواة يقل عن ستة بشكل نادر، وفي بعض التطبيقات الخاصة يتم استخدام عدد أكبر. تتألف كل جديدة من عدد من الأسلاك المفردة يصل عددها حتى 91 سلكاً. وفي التطبيق العملي يشار إلى الكبل أولاً بعدد الجداول (متضمنة النواة إن كانت نفس مواصفات الجداول الخارجية)، وثانياً بعدد الأسلاك في كل جديدة. على سبيل المثال الكبل 7X7 يشير إلى أن عدد الجداول المشكلة للكبل هو 7، و كل جديدة مؤلفة من 7 أسلاك كما يوضح الشكل (1-3) :



الشكل (1-3) – مثال لكبل ذي أسلاك مجدولة 7x7 [11]

بينما يوضح الشكل (1-4) عدد الجدائل نفسه ، لكن تكون عدد الأسلاك المشكلة لكل جديلة مؤلفة من 19 سلكاً :



الشكل (1-4) – مثال لكبل ذي أسلاك مجدولة 7x19^[11]

تعرف المسافة 'lay' بأنها المسافة المقاسة بشكل موازٍ لمحور الكبل، والتي تكمل فيها الجديلة دورة واحدة كاملة حول محور الكبل. إن الاختلافات في المسافة 'lay' تؤثر في الخواص المرنة للكبل مثل الصلابة و المقاومة.

إن الأسلاك المجدولة الأكثر ملائمة هي التي يكون فيها اتجاه 'lay' للطبقة الخارجية للأسلاك في الجدائل معاكساً لاتجاه 'lay' للجدائل في الكبل، و هو يعرف بالنوع المألوف ل 'lay'، و هو المفضل بسبب زيادة تأثير الشد لتلامس الأسلاك الداخلية، و لكنه يتطلب عناية خاصة. إن النوع الثاني يعرف ب Lang's lay حيث يكون 'lay' للطبقة الخارجية للأسلاك في الجدائل هو بنفس اتجاه 'lay' للجدائل في الكبل.

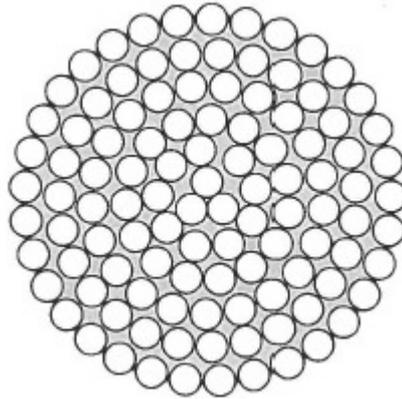
ii. الكبلات المجدولة لوليبياً (Spiral Strands):

تشكل الكبلات المجدولة لوليبياً طبقة لتشكل جديلة كبيرة واحدة، و لتقليل قابليتها للتفكك يكون اتجاه كل طبقة متناوباً مع اتجاه الطبقة الأخرى.

يختلف قطر الجديلة من حوالي 13 مم حتى حوالي 150 مم، و بالنسبة لقطر معطى تكون

المقاومة للكبلات المجدولة لوليبياً أعلى من مقاومة الأسلاك المجدولة المكافئة، حيث إن نسبة الحديد تكون أعلى.

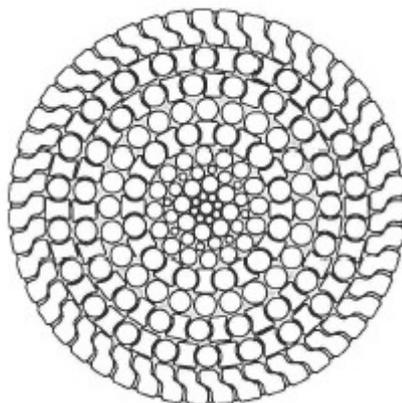
على سبيل المثال تكون حمولة الانقطاع للكبل ذي الأسلاك المجدولة 6X19 800 كيلونيوتن، بينما تكون للكبل المجدول لوليبياً 1x42 ذي القطر 35 مم المكافئ هي 1125 كيلونيوتن. في الحالة السابقة تكون مساحة المقطع المعدني في الأسلاك المجدولة حوالي 500 مم²، بينما تكون أعلى بنسبة 50% في الكبل المجدول لوليبياً. إن التراص الموجود في هذا النوع يعطي صلابة أعلى و بالتالي معامل مرونة أعلى، لذلك يعتبر هو المفضل في الصواري المكبلة خصوصاً في الصواري المكبلة العالية، ويوضح الشكل (5-1) مثلاً لكبل مجدول لوليبياً :



الشكل (5-1) – مثال لكبل مجدول لوليبياً 1x108 ذي القطر 60 مم [11]

iii. الكبلات الملفوفة المغلقة (Locked-coil Ropes):

طورت الكبلات الملفوفة لغرض صناعة المناجم، و هي عبارة عن كبلات مجدولة لوليبياً لديها طبقة خارجية من الأسلاك على شكل Z، بينما تكون للأسلاك الداخلية أشكال معينة بين كل سلك دائري لزيادة مساحة الحديد في المقطع كما يوضح الشكل (6-1):



الشكل (1-6) – مثال لكبل ملفوف مغلق ذي قطر 60 مم [11]

تكون مقاومة الكبلات الملفوفة المغلقة مساوية لمقاومة الكبلات المجدولة لولبياً لنفس القطر، على الرغم من أن الأشكال غير الدائرية لها تجعل مقاومتها أقل، ولديها صلابة كبيرة على الفتل بسبب الطبقة الخارجية المغلقة للكبلات.

iv. الكبلات ذات الأسلاك المتوازية (Parallel Laid Wires in a Strand)

تستخدم الكبلات ذات الأسلاك المتوازية للصواري المكبلة، حيث تكون الأسلاك متوضعة على شكل لولب طويل جداً بحيث تساعد على تماسك الجذيلة، وهذا يفيد في تحقيق حمولة انقطاع قريبة من حمولة الانقطاع للأسلاك المفردة (98.5% - 99%).

يكون معامل المرونة لهذه الكبلات أعلى بـ 20% مقارنة بالكبلات المجدولة لولبياً، لذلك تستخدم لحمولات شد أعلى.

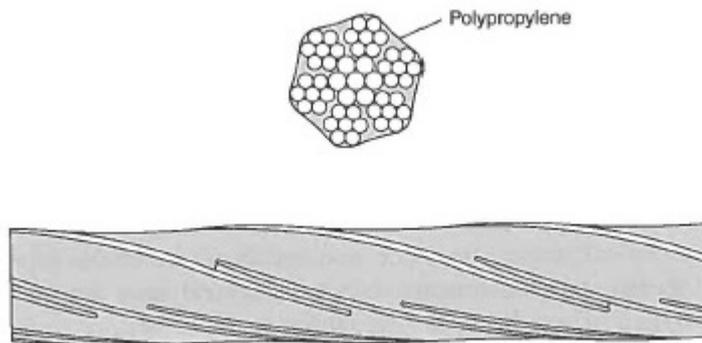
إن السلبية لهذا النوع هو انتشار الأسلاك المفردة بسبب الاختلافات الطفيفة للأطوال بسبب تدلي الكبل، حيث بالنسبة للجسور تكون هذه الكبلات جزءاً من منظومة كبلات مربوط بعضها مع بعض أو مغطاة في أنابيب معدنية تشكل مقاومة للصدا، يعتبر هذا العامل ليس خطيراً، لكن في حالة الصواري المكبلة من الصعب تحقيق هذا العامل، إضافة إلى أن هذه الكبلات تتطلب عناية خاصة.

هناك العديد من التقارير عن حدوث حالات صدأ في هذه الكبلات، وبالرغم من ذلك استمر عمل منشآت مدعومة بهذه الكبلات على مدى 30 عاماً دون حدوث صدأ واسع أو نقصان المقاومة، كما أن هناك سلبية أخرى لهذه الكبلات هي حاجتها إلى بكرات كبيرة للنقل و هو أمر غير عملي للتركيب.

v. الكبلات المغطاة بالبولي بروبيلين (Polypropylene Impregnated Ropes):

تغطي الكبلات ذات الجداول المعدنية المفردة ذات قطر حتى 20 مم بمادة البولي بروبيلين لحمايتها من الصدأ، وعند استخدام هذا النوع من الكبلات يجب إيلاء عناية خاصة لتصميم و تركيب نهايات الكبل لتوفير حماية كافية من الصدأ على السطح، حيث يكون الحل الأمثل بوضع مادة مالئة و استخدام غلاف.

إن الكبلات ذات الجداول المعدنية المغطاة فقط بمادة البولي بروبيلين هي غير مناسبة للصواري المكبلة بسبب خطر حدوث صدأ ناتج عن تمزق الغلاف المحيط بالكبل خلال مرحلة الخدمة أو خلال تركيب الصارية ، و هو أمر من الصعب ملاحظته.



الشكل (1-7) – مثال لكبل ذي أسلاك مجدولة مغطى بمادة البولي بروبيلين [11]

vi. الكبلات غير المعدنية (Non-metallic Ropes):

استخدمت الخيوط الصناعية و البلاستيك المقوى بالزجاج ككبلات، حيث إنها توفر خواص عزل كهربائية جيدة، لكن لديها معامل مرونة منخفض، إضافة إلى قابليتها للاحتراق عند وقوعها في حقول كهربائية عالية الشدة، و عوامل التعب و الزحف. و على الرغم من ذلك تم استخدامهم بنجاح خصوصاً في المنشآت التي تتطلب أن تكون الكبلات فوق مستوى الهوائيات حيث تكون الكبلات المعدنية غير مقبولة، وكمثال عليها كبلات Parafil التي لديها معامل مرونة كبير، و من التي تم استخدامها في الصواري المكبلة.

عند استخدام كبلات البلاستيك المقوى بالزجاج يجب الانتباه إلى منع تشكل الاهتزازات ذات التردد العالي لتفادي الانهيارات الناجمة عن ظاهرة التعب.

إن كبلات الأراميد و ألياف الكربون توفر مقاومة و صلابة عالية، لكنها في عصرنا الحالي تكلف مبالغ ضخمة، و على الرغم من ذلك تم تطويرها و اقتراحها للاستخدام في الجسور ذات المجازات الكبيرة جداً (أكثر من 4500 م) حيث تعتبر خفة وزن الكبلات و ديمومتها هي الأكثر أهمية، و هناك العديد من المسائل التي يجب التغلب عليها مثل الجليد الذي يؤدي إلى التآكل، و حساسية هذه الكبلات للأعمال التخريبية، و إمكانية تعرضها لأضرار من الصواعق.

● مقاومة الكبلات :

اعتمدت وسائل مختلفة لتعريف مقاومة الكبلات لأن المقاومة الحقيقية تعتمد على تركيب الكبل، حيث تعرف مقاومة الانقطاع الدنيا لكبل المقاومة المحددة التي يجب ألا تنقطع دونها قطعة من الكبل عندما تختبر على الانهيار، و يمكن الحصول عليها عادة بالحسابات باعتماد القطر الاسمي للكبل .

● معامل المرونة :

يحدد معامل المرونة بالنسبة للكبلات المعدنية بالتجربة أو من الحسابات، حيث يجب أن يعتمد على مساحة المعدن الفعلية بالمقطع العرضي، و يوضح الشكل (8-1) قيم هذا العامل :

10^6 N/mm^2	0.10	0.15	0.20
Parallel wire/strand			■
Spiral strand		■	
Locked coil		■	
Six-strand rope	■		
Multi-strand rope	■		

الشكل (1-8) – قيم عامل المرونة لأنواع المختلفة من الكبلات المعدنية [11]

يعتمد معامل المرونة على عدة عوامل مثل تركيبية الكبل، نوع و طول 'lay' ، مستوى الاجهاد بالكبل، و فيما إذا كان الكبل معرضاً للتحميل للمرة الأولى، كما يجب أن يعنى بمعامل المرونة المنخفض للكبلات غير المعدنية.

ب. الدراسات السابقة :

لقد تم إجراء العديد من الأبحاث حول السلوك الزلزالي للصواري المكبلة نذكر منها على سبيل المثال لا الحصر بالترتيب الزمني :

(1) قام الباحث (Amiri, 2002) [3] بتحليل ثمانية صواري مكبلة يتراوح طولها من 150 م

حتى 607 م متوزعة بين الأرجنتين وكندا و الولايات المتحدة الأمريكية باستخدام برنامج

ADINA بطريقة السجل الزمني لثلاثة هزات معيارية

1940 El Centro, 1966 Parkfield & 1952 Taft بمركباتها الثلاثة، حيث تمت نمذجة

الصواري المكبلة بأبعادها الثلاثة، ويمكن تلخيص النتائج التي توصل إليها الباحث كمايلي :

• الدور الطبيعي الأساسي :

لقد وجد الباحث أن الأدوار الرئيسية تتراوح من 0.6 حتى 4.3 ثانية، مما يدل على وجود مجال واسع من الاستجابة الزلزالية.

و تم استخراج معادلة لتقدير قيمة الدور الطبيعي الأساسي عندما تتعرض الكبلات لشد مسبق بحدود 10% من القيمة القصوى لتحمل الكبلات وهي :

$$T = 0.0083 \times H - 0.74$$

حيث H : ارتفاع الصارية بالمتري

T: الدور الطبيعي الأساسي بالثانية

و هذه المعادلة صالحة فقط لمقاطع مثلثة الشكل، و بارتفاع يتراوح من 150 – 350 م.

• القص القاعدي :

لقد وجد الباحث بالنسبة للصواري الأقصر من 200 م أن القص القاعدي الأعظمي هو بحدود 40 – 80% من الوزن الإجمالي للصارية، فيما تنخفض هذه النسبة إلى 15 - 30 % لتلك الأطول من 300 م.

و تم اقتراح المعادلة التالية لتقدير قيمة القص القاعدي الأعظمي كنسبة من الوزن الإجمالي :

$$BS = 28300 \times H^{-1.17} (\% \text{ of } W)$$

حيث H : ارتفاع الصارية بالمتري

BS : القص القاعدي الأعظمي كنسبة من الوزن الإجمالي

و هذه المعادلة صالحة فقط لارتفاعات تتراوح من 150 – 350 م.

• القوة المحورية في قاعدة الصارية :

لقد وجد الباحث أن القوة المحورية الناتجة عن التحليل الديناميكي تختلف بشكل كبير بالنسبة للزلازل الثلاثة المدروسة من 25-125% من الوزن الإجمالي.

• قوى الشد في الكبلات :

لقد تم أخذ تقييمها كنسبة مئوية بين قيمة الشد الناتجة عن التحليل الديناميكي إلى قيمة الشد المسبقة، حيث وجد الباحث أن هذه النسبة تتراوح من 30% (للكبلات العليا لصارية بارتفاع 607 م) إلى 290% (للكبلات العليا لصارية ذات الارتفاع 200 م)، و بأخذ قيم معيارية

للصواري التي ارتفاعها من 150 – 350 م تتراوح بين 50% (للكبلات العليا لصاربية ذات الارتفاع 150 م) و 200% (للكبلات العليا لصاربية ذات الارتفاع 152 م).

• القوى المحورية :

اقترح الباحث المعادلة التالية لتقدير قيمة القوة المحورية :

$$\left(\frac{P_{dyn}}{BA}\right) = 100 - 95 \left(\frac{h}{H}\right) \quad (in \%)$$

حيث $\frac{P_{dyn}}{BA}$: النسبة المئوية القوة المحورية الناتجة عن التحليل الديناميكي في الصاربية في مقطع على ارتفاع h إلى القوة المحورية الناتجة عن التحليل الديناميكي عند قاعدة الصاربية.

• قوى القص و عزوم الانعطاف الأعظمية :

أكدت النتائج أنه بالنسبة للصواري التي يتراوح ارتفاعها من 150 – 213 م فإن قوى القص تختلف حوالي 6-7% عن الوزن الإجمالي، كما أن نسبة عزم الانعطاف إلى جداء عرض المقطع العرضي بالوزن الإجمالي يختلف حوالي 36 – 48%، و بالنسبة للصواري التي يتراوح ارتفاعها من 313 – 607 م، فإن قوى القص تختلف حوالي 2.5-5% عن الوزن الإجمالي، كما أن نسبة عزم الانعطاف إلى جداء عرض المقطع العرضي بالوزن الإجمالي يختلف حوالي 14 – 35%.

• الانتقالات و الدورانات :

تكون الانتقالات الجانبية في اتجاه الزلازل صغيرة بحدود 0.05 – 0.12 % من ارتفاع الصاربية، بينما تكون الدورانات أقل من 0.4° .

(2) قام الباحثان (Hensley & Plaut , 2007) [6] بتحليل صاربية مكيلة بارتفاع 120 م باستخدام برنامج ABAQUS بطريقة السجل الزمني تحت تأثير amp1940 El Centro و 1994 Northridge بمركباتها الثلاثة، حيث تمت نمذجة الصاربية بمقطع جائر مكافئ، و دراسة تأثير قوة الشد المسبقة و كتلة الصاربية واتجاه الحمل الزلزالي، و يمكن تلخيص النتائج التي توصل إليها الباحثان كمايلي :

- إن الحمولات الزلزالية تعتبر في بعض الأحيان عاملاً مهماً في تصميم الصواري المكبلة.
 - لا تحدث الانتقالات الأفقية العظمى دائماً في الاتجاه الأعظمي للمركبة الزلزالية.
 - إن قيمة القص القاعدي الأعظمي حوالي 20% من وزن الصارية.
 - إن القوة الشاقولية الناتجة عن التحليل الديناميكي في الصارية ناتجة بشكل كبير عن المركبة الشاقولية للحمل الزلزالي، و قيمتها كبيرة بالنسبة لوزن الصارية.
 - إن قوة الشد الناتجة عن التحليل الديناميكي في الكبلات كانت في بعض الأحيان كبيرة مقارنة بقوة الشد المسبقة .
 - تنقص الانتقالات الأفقية الأعظمية غالباً عندما تزداد قوة الشد المسبقة أو صلابة الكبلات، بينما تزداد الانتقالات الشاقولية الأعظمية.
 - تميل عزوم الانعطاف و قوى القص القاعدي للنقصان عندما يزداد وزن الصارية.
 - إن اختلافات اتجاه المركبات الزلزالية بالنسبة للكبلات لم يسبب أي اختلاف كبير في الاستجابة.
 - إن الحمولات الزلزالية هي حمولات ثلاثية الأبعاد، و من المهم إدخال المركبات الثلاثة عند تحليل الصواري المكبلة.
- و يوضح الجدول (1-2) بعض الأبحاث السابقة التي تناولت موضوع الصواري المكبلة :

Research	Author	Tall (m)	Panel Width (m)	Type	Country
Calculation of guyed masts in accordance with EN 1993-3-1 standard taking into account mast shaft geometrical imperfections (2011) [7]	Monika Matuszkiewicz	204	2.7	Existing	Poland
Wind Tunnel Test for Guyed Mast Dynamic Characteristics Under Wind Loads (2007) [5]	Ningli Zhu	300	3	Fictitious	Canada
Finite Element Seismic Analysis of Guyed Mast (2006) [4]	Matthew Gery	99.88	2.1	Existing	UK
		245	1.98	Existing	UK
		239.3	2.4	Existing	UK
		313.6	2.44	Existing	UK
Seismic Sensitivity Indicators for tall Guyed Telecommunication Towers (2002) [3]	G.Ghodrati Amiri	607.1	3	Existing	USA
		342.2	2	Existing	Canada
		313.9	2.14	Existing	Canada
		213.4	1.52	Existing	Canada
		200	1.8	Existing	Argentina
		198.1	2.13	Existing	Canada
		152.4	0.84	Existing	Canada
		150	1.3	Existing	Canada

الجدول (1-2) - بعض الأبحاث السابقة التي تناولت موضوع الصواري المكبلة

ت. سلوك الصارية المكبلة الديناميكي [9] :

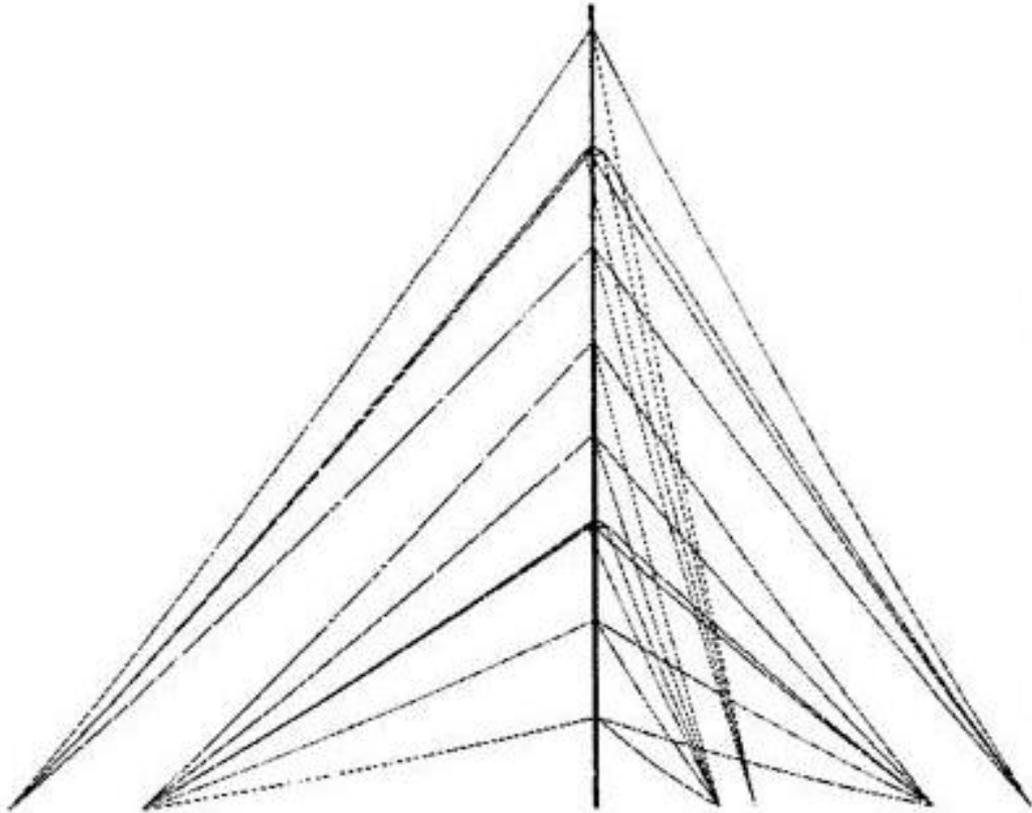
إن الصواري المكبلة لا تملك أنماط اهتزاز عادية بسبب سلوكها الهندسي اللاخطي، لكن تقييم الأنماط و الترددات الطبيعية من أجل حمولات محددة يمكن أن يكون عملاً توجيهياً لتقدير الحساسية الديناميكية للصارية. و من المفيد دراسة مجموعتين من الخواص الأولى تتعلق بالكبلات على حده من أجل تقييم أية اهتزازات موضعية كامنة (ناتجة عن الرياح – المطر – تساقط الجليد المتجمع ...)، و الثانية تتعلق بالصارية ككل.

إن الصواري المكبلة على العكس من الأبراج ذاتية الدعم تملك عدة أنماط انعطاف متقاربة (غالباً الأنماط الخمسة عشر الأولى تكون بتردد تحت 3 هرتز). على سبيل المثال أكدت النتائج الرقمية التي نشرت في (Sparling, 1995) أن صارية مكبلة بارتفاع 300 م مع كبلات عند أربعة

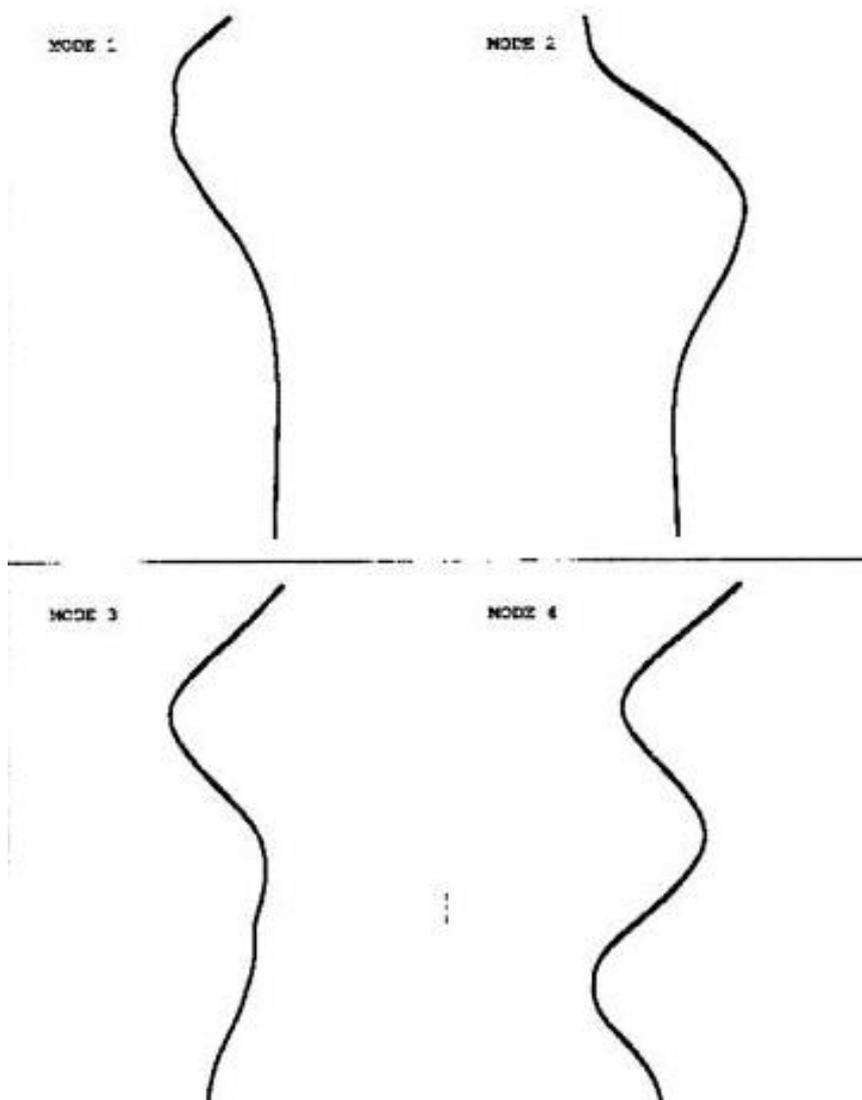
مستويات، و مجموعتين من نقاط إرساء للكبلات كان النمط الأساسي بتردد 0.25 هرتز و النمط السادس العشر بتردد 2.8 هرتز.

تتأثر أشكال الأنماط المسيطرة لصارية مكبلة بشكل كبير بترتيب الكبلات، و الصلابة الجانبية لمستويات الكبلات المختلفة (Amiri, 1997). تكون الصارية عادة متمفصلة في القاعدة، لكن الكبلات القصيرة الصلبة الواقعة بالقرب من القاعدة توفر تقييداً جانبياً للصارية، بينما تكون الكبلات الطويلة الواقعة عند أعلى الصواري المكبلة الطويلة مرنة، و توفر تقييداً جانبياً قليلاً حيث يتصرف أعلى الصارية كظفر، و بحالات عدة هناك قسم قصير من الصارية يكون بشكل ظفر.

توضح الأشكال (2-1) و (2-2) على سبيل المثال أشكال الأنماط و الترددات لصاريتين مكبلتين الأولى بارتفاع 152 م و الثانية بارتفاع 607 م بصلاطات مختلفة للكبلات على الترتيب، محسوبة في ظروف الهواء الساكن (Amiri and McClure, 1996a&b, 1998).

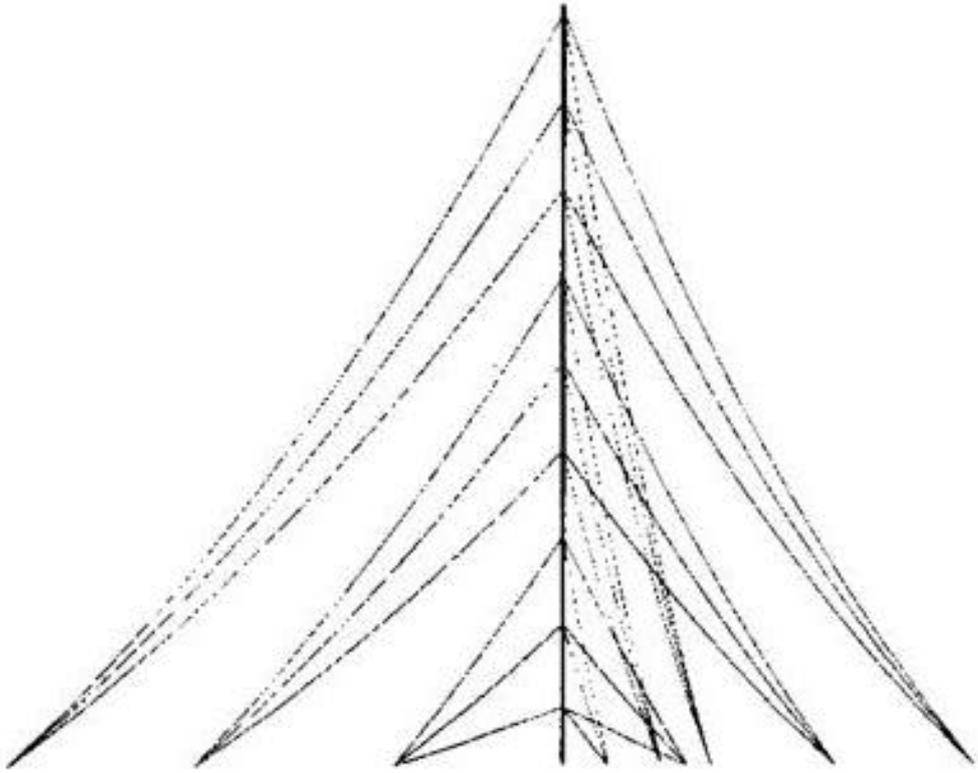


الشكل (أ) – صارية مكبلة بارتفاع 152 م

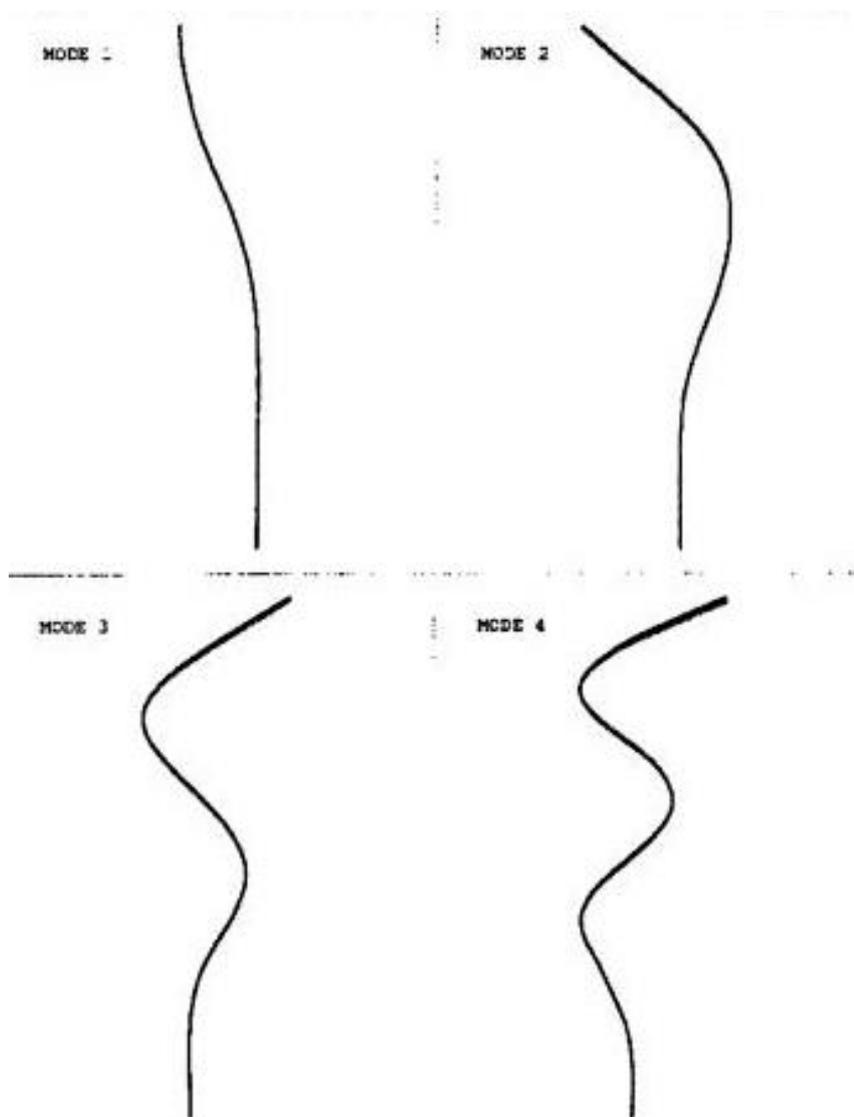


الشكل (ب) – أشكال الانماط الأربعة الأولى للصارية (الترددات هي 1.7 هرتز - 1.9 هرتز - 2.1 هرتز - 2.2 هرتز على الترتيب)

الشكل (1-9) – أشكال الأنماط و الترددات لصارية مكبلة بارتفاع 152 م [9]



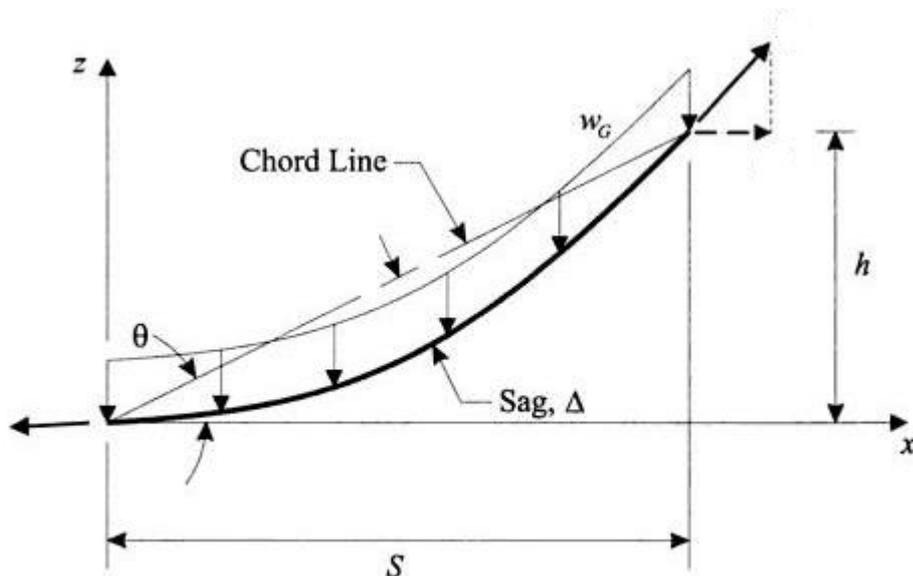
الشكل (أ) – صارية مكبلة بارتفاع 607 م



الشكل (ب) – أشكال الانماط الأربعة الأولى للصارية (الترددات هي 0.23 هرتز - 0.28 هرتز - 0.36 هرتز - 0.54 هرتز على الترتيب)

الشكل (10-1) – أشكال الأنماط و الترددات لصارية مكبلة بارتفاع 607 م [9]

ث. سلوك الكبلات الديناميكي :



الشكل (1-11) – الشكل العام لكبل صارية [9]

إن الصارية ذات وزن صغير نسبياً، بينما تساهم الكبلات بنسبة أكبر في الوزن الكلي للصارية المكبلة خصوصاً في الصواري المكبلة ذات الارتفاعات العالية. لذلك من الضروري تضمين قوى العطالة الناتجة عن حركة الكبلات في أي تحليل ديناميكي للصواري المكبلة. بالإضافة إلى ذلك فإن السعة الكبيرة للحركة المترافقة مع اهتزازات الكبل يمكن أن تولد مقادير كبيرة من التخميد الايروديناميكي. يكون هذا التخميد عادة إيجابياً يساهم في تبديد الطاقة للجلمة، وتخميد أنماط الاهتزاز التي تساهم فيها الكبلات بشكل فعال.

يمكن أن تولد حركة الكبلات تحت ظروف معينة مثل تراكم الجليد الكثيف عليها تخميدياً ايروديناميكياً ذا تأثير سلبي حيث تضيف طاقة إضافية للجلمة، وبالتالي تشكل مصدراً لعدم الاستقرار.

يشكل السلوك الهندسي للاخطي للكبلات قدراً كبيراً من التداخل في النموذج الديناميكي للجملة، يفترض عموماً بأن الكبلات تهتز بشكل خطي حول وضع توازن ستاتيكي مرجعي. يمكننا هذا الافتراض من استخدام نماذج الكبلات الديناميكية الخطية المطلوبة لطرق تحليل نطاق التردد المستخدمة لحسابات استجابة الرياح.

• الترددات الطبيعية و أنماط الاهتزاز :

اقترح العالم (Irvine, 1978) المعادلات التحليلية للترددات الطبيعية وأشكال الأنماط لكبلات مائلة مشدودة مرنة. حيث تعتبر الكبلات مشدودة عندما تكون نسبة التخلي إلى المجاز 1/8 أو أقل، وهذا المتطلب مستوفى للكبلات في أبراج الاتصالات في ظروف الهواء الساكن. يتم التمييز بالنسبة للاهتزازات الواقعة بالمستوي بين الأنماط ذات الأشكال المتناظرة حول منتصف الكبل وغير المتناظرة. بالاعتماد على تقريب مقطع الكبل لقطع مكافئ، تولد الأنماط المتناظرة فقط استطالة محورية عند نهاية الكبل و بالتالي قوة شد إضافية بالكبل. لذلك تعتبر الأنماط المتناظرة فقط هي المهمة في تحديد استجابة الصواري المكبلة.

يحدد التردد الطبيعي للنمط n من الأنماط غير المتناظرة بالعلاقة :

$$\omega_n^A = 2 n \omega_0 ; \quad n = 1,2,3, \dots$$

حيث ω_0 هو التردد الطبيعي الأساسي (راديان/ ثانية) لسلك مشدود بشكل تام، و يعطى بالعلاقة :

$$\omega_0 = \frac{\pi}{L} \sqrt{\frac{T}{m_G}}$$

حيث m_G هي الكتلة بوحدة الطول للكبل

و يعطى شكل النمط غير المتناظر الموافق بالعلاقة التالية :

$$\phi_n^A(x) = \sin \left[\frac{2 n \pi x}{L} \right]$$

حيث x هي المسافة من النهاية السفلى للكبل مقاسة على طول الوتر.

إن الترددات الطبيعية و أشكال الأنماط للأنماط المتناظرة على عكس غير المتناظرة تتأثر بدرجة الشد و القساوة المحورية للكبل. حسب (Irvine, 1978) فإن هذه التأثيرات يمكن أن توصف ببارمتر الصلابة λ^2 الذي يعبر عن المشاركة النسبية للصلابة

$$\lambda^2 = \left(\frac{w_G L \cos \theta}{\bar{T}} \right)^2 \frac{\left(\frac{A E L}{\bar{T}} \right)}{L \left[1 + 8 \left(\frac{\Delta}{L} \right)^2 \right]} \approx 12 \frac{k_e}{k_g}$$

تحدد الترددات الطبيعية لأنماط الاهتزاز المتناظرة ω_n^S بإيجاد جذور المعادلة التالية :

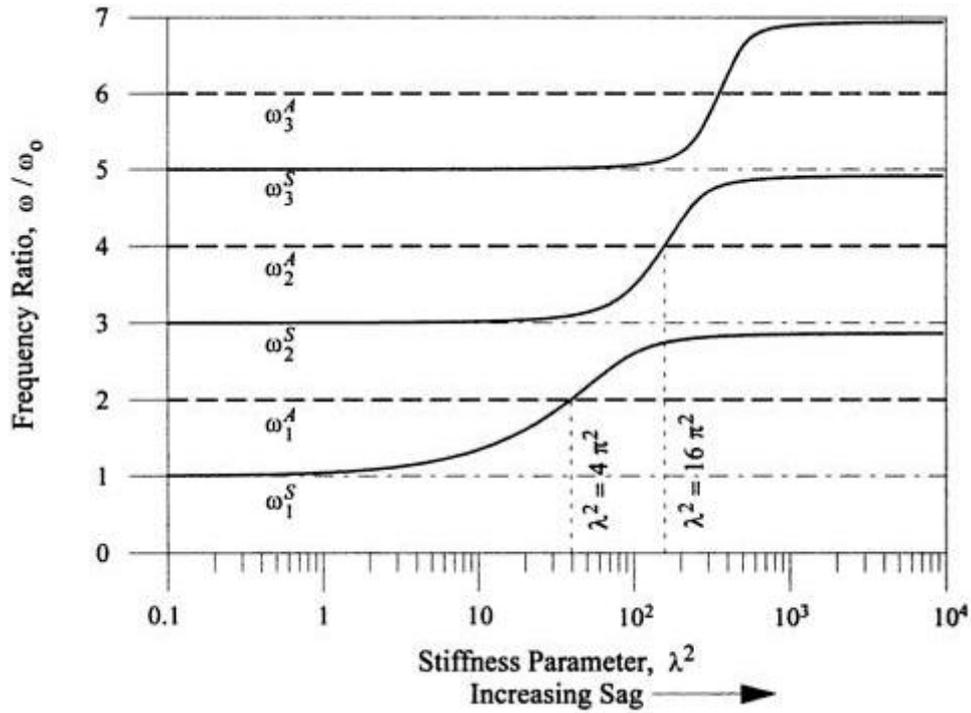
$$\tan \left(\frac{\omega_n^S L}{2} \sqrt{\frac{m_G}{\bar{T}}} \right) = \left(\frac{\omega_n^S L}{2} \sqrt{\frac{m_G}{\bar{T}}} \right) - \frac{4}{\lambda^2} \left(\frac{\omega_n^S L}{2} \sqrt{\frac{m_G}{\bar{T}}} \right)^3$$

و تعطى أشكال الأنماط المتناظرة الموافقة بالعلاقة التالية :

$$\begin{aligned} \phi_n^S(x) = & 1 - \tan \left(\frac{\omega_n^S L}{2} \sqrt{\frac{m_G}{\bar{T}}} \right) \sin \left(\omega_n^S \sqrt{\frac{m_G}{\bar{T}}} x \right) \\ & - \cos \left(\omega_n^S \sqrt{\frac{m_G}{\bar{T}}} x \right); \quad n = 1, 2, 3, \dots \end{aligned}$$

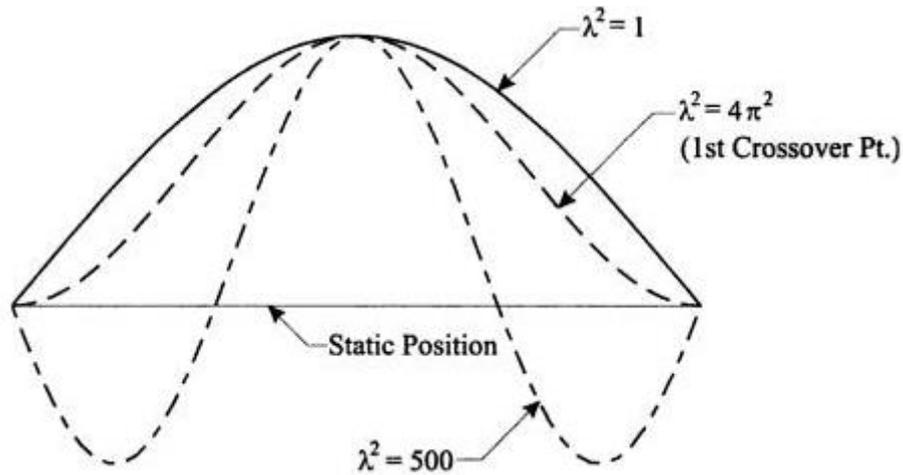
إن التردد الطبيعي الأقل بالنسبة للكبلات المشدودة (ذات قيم λ^2 منخفضة) هو النمط الأول المتناظر ω_1^S و بعده تتناوب الأنماط المتناظرة و غير المتناظرة كما يوضح الشكل (2-4) . و عندما يتزايد تدلي الكبل (تزداد قيم λ^2) تزداد الترددات الطبيعية للأنماط المتناظرة بينما تبقى الترددات للأنماط غير المتناظرة ثابتة بشكل أساسي، و عند مرحلة ما تصبح ترددات الأنماط المتناظرة و غير المتناظرة متساوية و ذلك عندما يساوي بارمتر الصلابة :

$$\lambda^2 = (n + 1)^2 \pi^2$$



الشكل (1-12) – اختلاف الترددات الطبيعية للكبل الواقع في المستوي مع ارتخاء الكبل [9]

إن اختلاف التردد الطبيعي للأنماط المتناظرة يكون مترافقاً بتغيير مقابل في أشكال الأنماط. يوضح الشكل (2-5) تغيرات أشكال الأنماط المتناظرة ذات التردد الأقل من كبل مشدود عند قيم λ^2 منخفضة (ارتخاء قليل) إلى شيء مشابه لسلسلة معلقة عند قيم ارتخاء كبيرة.



الشكل (1-13) – اختلافات شكل النمط الأول المتناظر للكبل في المستوي مع ارتخاء الكبل [9]

إن أنماط الاهتزاز خارج المستوى تستجيب بدون تمييز بين الأنماط المتناظرة و غير المتناظرة، لذلك تعطى الترددات الطبيعية بالصيغة التالية :

$$\omega_n^0 = n \omega_0 ; n = 1,2,3, \dots$$

و أشكال الأنماط الموافقة بالصيغة :

$$\phi_n^0(x) = \sin \left[\frac{n \pi x}{L} \right]$$

ج. العمليات العشوائية (Random Processes) [8] :

العملية العشوائية هي مجموعة من n متحول عشوائي مترابط بظاهرة واحدة، و التي يمكن أن تكون توابع لمتغير أو عدة متغيرات مستقلة. على سبيل المثال يفترض n جهاز لقياس التسارع مثبتة على هياكل ل n سيارة لغرض قياس التسارعات الشاقولية عندما تسير على طريق ترابي

وغير. إن إشارات أجهزة التسارع $x_i(t) (i = 1,2, \dots, n)$

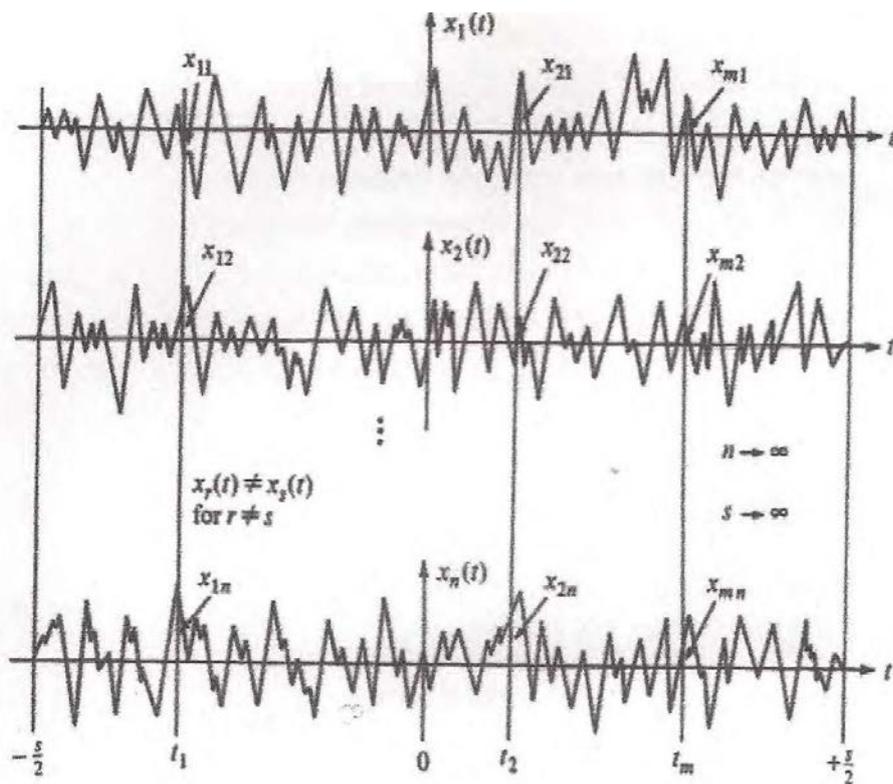
التي هي توابع لمتغير مستقل هو الوقت t ، يمكن أن تكون على شكل موجات كما في الشكل التالي. كل موجة تختلف عن الموجات الأخرى بمعنى

$$x_r(t) \neq x_s(t) \text{ for } r \neq s$$

و من الضروري إنشاء تابع الكثافة الاحتمالية متعدد المتغيرات لتوصيف هذه العملية بالحس الاحتمالي كما في العلاقة:

$$P(X_1, X_2, \dots, X_m) dx_1 dx_2 \dots dx_m =$$

$$\Pr(X_1 < x_1 < X_1 + dx_1, X_2 < x_2 < X_2 + dx_2, \dots, X_m < x_m < X_m + dx_m)$$



الشكل (1-14) – العملية العشوائية (لمتغير واحد) [8]

الفصل الثاني : النمذجة و التحليل

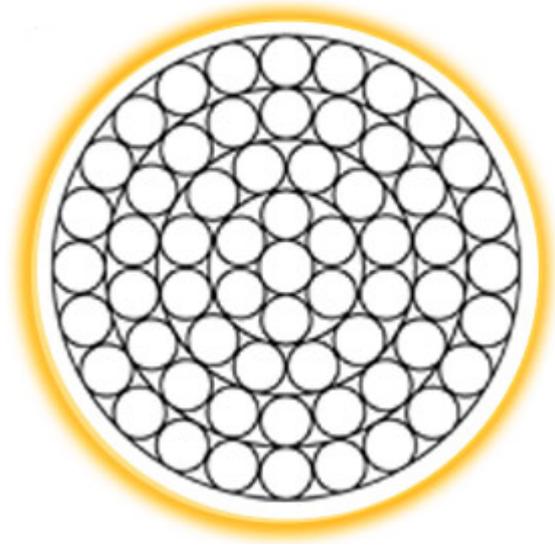
Chapter 2: Modeling and Analysis

أ.الصارية المكبلة المدروسة :

تم الحصول على المواصفات المفصلة للصارية المكبلة المدروسة من الباحثة

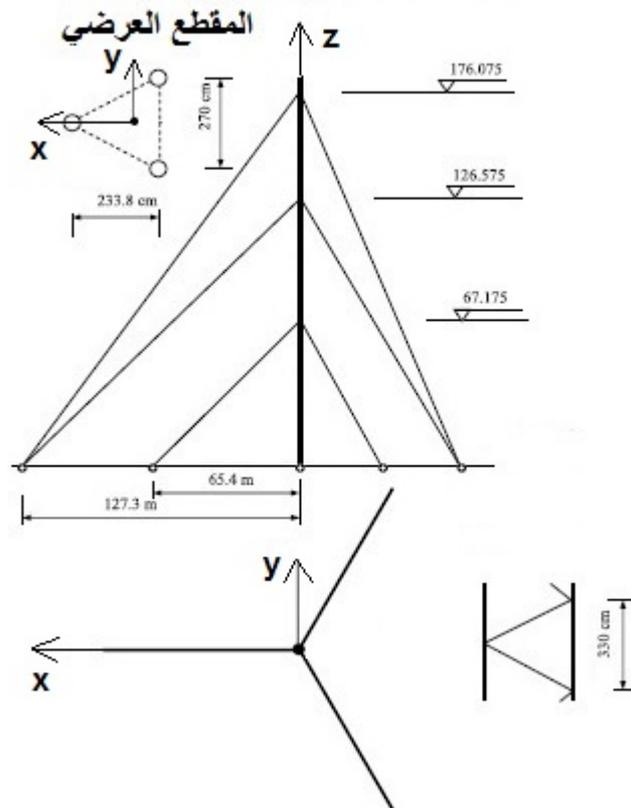
(Matuszkiewicz, 2011)^[7] و هي :

- الطول : 182.7 م
- الشروط المحيطية : متمفصلة في القاعدة
- المقطع العرضي : مثلث
- العناصر الأفقية : لا يوجد
- العناصر الشاقولية : أنابيب مفرغة $\phi 193.7$ مم بسماكة 10 مم
حد الخضوع لمادة الأنابيب $f_y = 355 \text{ MPa}$
- العناصر المائلة : أنابيب مفرغة $\phi 88.9$ مم بسماكة 5 مم
حد الخضوع لمادة الأنابيب $f_y = 355 \text{ MPa}$
- الكبلات :
 - ثلاثة مستويات
 - (1) المنسوب الأدنى 67.175 م
 - (2) المنسوب الأوسط 126.575 م
 - (3) المنسوب الأعلى 176.075 م
- ضفائر معدنية 1x61 مجدولة لوليباً موضحة بالشكل (2-1)
- القطر 36 مم
- المساحة 7.66 سم²
- حد الانقطاع لمادة الكبلات $f_u = 1570 \text{ MPa}$
- قوة الانقطاع 1195 كيلونيوتن
- الوزن : 0.0644 كيلونيوتن/ م



الشكل (2-1) – مقطع الكبل المستخدم^[7]

يوضح الشكل (2-2) شكل الصارية المكبلة المدروسة و مقطوعها العرضي و مستويات الكبلات :



الشكل (2-2) – الصارية المكبلة المدروسة بارتفاع 182.7 م^[7]

يوضح الشكل (2-3) صورة حقيقية للصارية المكبلة المدروسة :



الشكل (2-3) - صورة الصارية المكبلة المدروسة الموجودة بمركز الإذاعة و التلفاز بمدينة
البولندية بارتفاع 182.7م^[16]

• الصارية :

من المعلوم ان العناصر المشكلة للصارية تعمل فقط على الشد أو الضغط، لذلك بالعودة إلى مكتبة برنامج SAP2000 تتم نمذجتها بعناصر خطية (Frame) متمفصلة من الطرفين. يستخدم من مكتبة البرنامج الجاهزة (BSShapes.PRO) لبرنامج SAP2000 المقطع CHHF193.7x10 للعناصر الشاقولية ، والمقطع CHHF88.9x5 للعناصر المائلة، كما تستخدم المادة EN 10025-2 S355 لجميع العناصر ذات حد الخضوع $f_y = 355 \text{ Mpa}$

• الكبلات :

من المفيد التذكير ببعض المعلومات المهمة عن الكبلات :

▪ تعتمد قوة الشد الأولية بالكبلات على عدة عوامل منها طول الكبل و قطره، والانزياح

المسموح به للصواري [12].

▪ يمكن افتراض قيمة معامل المرونة للكبلات 23,000 ksi التي تساوي حوالي

158.5 Gpa في حال تعذر معرفة خواص الكبل الدقيقة [13].

▪ تتراوح قوة الشد المسبقة بالكبلات من (5 – 10)% من قوة الانقطاع لهذه الكبلات [14].

يستخدم من مكتبة برنامج SAP2000 عنصر كبل (Cable) لنمذجة الكبلات، حيث تعرف

مادة جديدة ذات حد انقطاع $f_u = 1570 \text{ MPa}$ ، ويعرف مقطع الكبل ذي المساحة

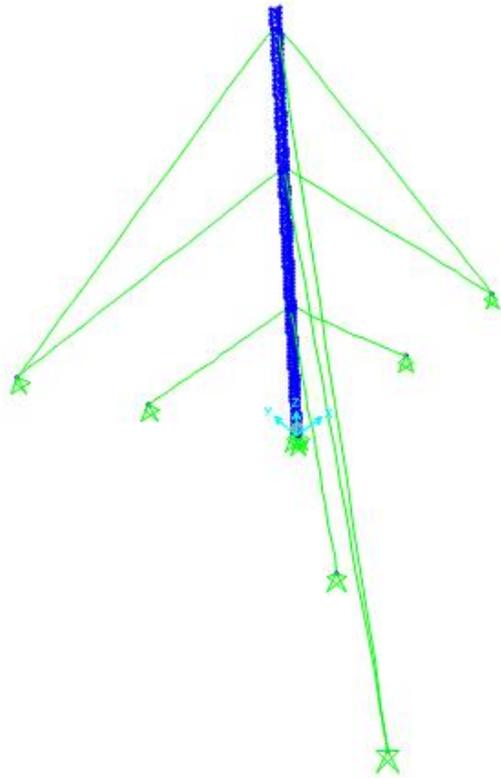
$$.A = 7.66 \text{ cm}^2$$

تم افتراض قوى الشد المسبقة 40 - 70 - 100 كيلونيوتن على مستويات الكبلات 67.175 –

126.575 - 176.075 م على الترتيب، حيث تتراوح نسبها من (4 – 8)% من قوة انقطاع

الكبلات التي تساوي قيمتها 1195 كيلونيوتن، وهذا ضمن المجال المقترح من قبل الكودات.

و يوضح الشكل (2-4) نمذجة الصارية المكبلة المدروسة ببرنامج SAP2000 :



الشكل (2-4) – النمذجة ببرنامج SAP2000 للصارية المكبلة المدروسة

• انقطاع الكبلات :

ينجم انقطاع أحد كبلات الصارية المكبلة عادة عن أعمال تخريبية أو حوادث أو غيرها، وإن تأثير عدة عوامل مثل (طبيعة الانقطاع ، و التخمين الذي يحصل بالكبلات و الصارية ، و اهتزاز الكبلات و الصارية ...) على سلوك الصارية مباشرة بعد انقطاع الكبل هو تأثير غير مطروق ، مما يجعل من التحليل الديناميكي الدقيق للصواري المكبلة نتيجة لانقطاع مفاجيء

لأحد الكبلات أمراً غير ممكن عملياً ، حيث يقارب تأثير الانقطاع بتطبيق المركبة الأفقية لقوة الشد في الكبل قبل الانقطاع كقوة إضافية تؤثر في الصارية في نقطة انقطاع الكبل [9].

يقارب انقطاع أحد الكبلات على أحد المتسويات بالشكل التالي :

(1) يتم تطبيق المركبة الأفقية لقوة الشد و التي تساوي قوة الشد المسبقة بالكبل قيد الدراسة

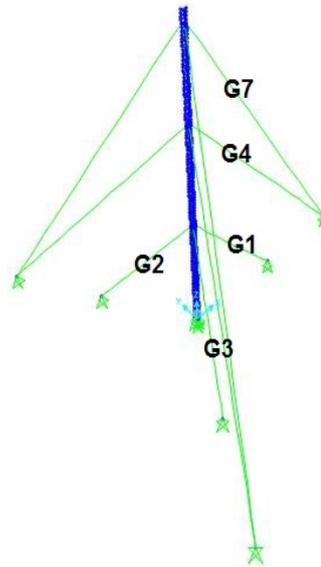
مضروبة بتجيب زاوية ميل الكبل مع الأفق عند نقطة اتصال الكبل بالصارية و

بنفس اتجاه الكبل كقوة ضاغطة على الصارية .

(2) يتم إلغاء الكبل قيد الدراسة .

يتم دراسة انقطاع الكبلات G1,G2&G3 الواقعة على المنسوب 67.175 م، و الكبل G4 الواقع على المنسوب 126.575 م، و الكبل G7 الواقع على المنسوب 176.075 م كما يوضح

الشكل (2-5) :



الشكل (2-5) – أسماء الكبلات المدروسة

ب. الحمولات الزلزالية المستخدمة :

تم اختيار زلزال El Centro ، وهو عبارة عن زلزال مرجعي حدث عام 1940 ، و كان مقداره (Magnitude) 7.1 على مقياس ريختر ، و شدته (Intensity) X على مقياس ميركالي المعدل، و سجل بوساطة محطة واحدة فقط للرصد الزلزالي ، و بياناته موجودة بقاعدة بيانات PEER^[17] ، حيث يوضح الجدول (2-1) مركباته الثلاث :

المركبة	الاتجاه	PGA (g)
ELC180	H	0.313
ELC270	H	0.215
ELC-UP	V	0.205

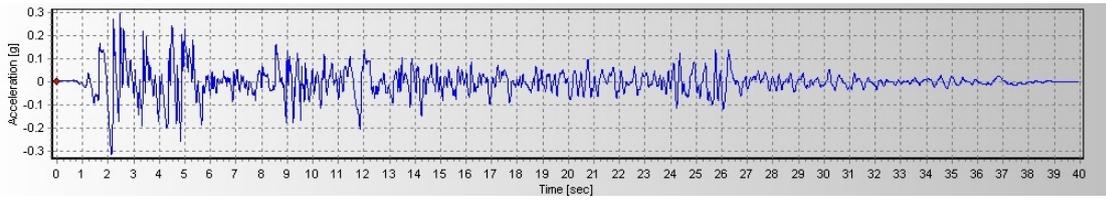
الجدول (2-1) – مركبات El Centro 1940^[20]

حيث إن PGA هو تسارع الأرض الأعظمي و قد سجلت البيانات بتزايد زمني مقداره 0.01 ثانية ، حيث تبلغ المدة الكلية له 40 ثانية .
تم اختيار زلزال El Centro بالذات كونه زلزالاً مرجعياً استخدم في دراسات سابقة كثيرة بما فيها تلك الدراسات المهمة المتعلقة بالمنشآت النووية Erie Nuclear Power Plant (Alkhalil, 1970) حيث أنه يحتوي على مغلفات قدرة بنطاق واسع من الترددات ، و عدة قيم زلزالية عالية.

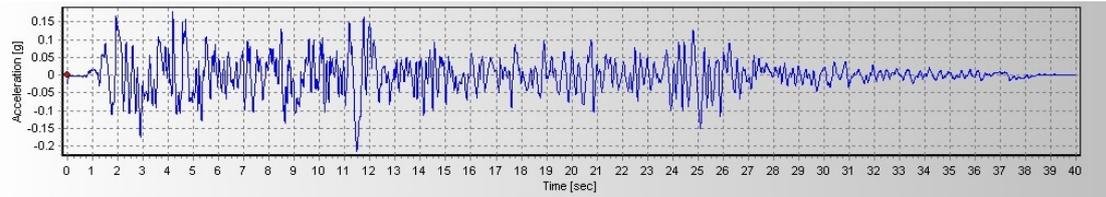
يتم تطبيق المركبات الثلاثة لزلزال El Centro على المنشأ في هذا البحث بما يوافق الواقع العملي في أن الزلازل هي ظاهرة ثلاثية الأبعاد ، حيث اكتفت بعض الأبحاث السابقة باستخدام مركبة الاتجاه الأقوى (في حالتنا هي ELC180) فقط على المنشأ، و من المفيد أيضاً المقارنة باستخدام المركبتين الأفقيتين فقط أي تأثير عدم وجود المركبة الشاقولية.

توضح الأشكال الثلاث التالية (2-6) و (2-7) و (2-8) السجلات الزمنية لمركبات

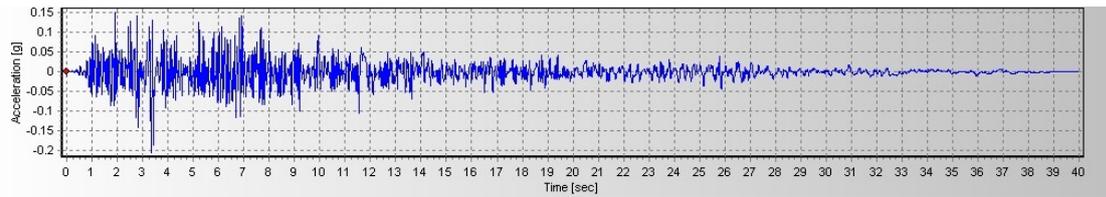
El Centro ، مرسومة ببرنامج SeismoSignal :-



الشكل (2-6) – السجل الزمني للمركبة الأفقية الأولى ل El Centro (ELC180)



الشكل (2-7) – السجل الزمني للمركبة الأفقية الثانية ل El Centro (ELC270)



الشكل (2-8) – السجل الزمني للمركبة الشاقولية ل El Centro (ELC-UP)

الفصل الثالث : النتائج

Chapter 3: Results

أ. التحليل النمطي (Modal Analysis) [10] :

التحليل النمطي هو تحليل خطي يستخدم لتحديد أنماط الاهتزاز للمنشأ، حيث إنها تعتبر مفيدة في فهم سلوك المنشأ، ويمكن استخدامها في ترتيب الأنماط في التحليل بطريقة طيف الاستجابة والسجل الزمني النمطي.

تستخدم طريقة أشعة ريتز (Ritz Vectors) لإيجاد الأنماط الناتجة عن تحريض المنشأ بحمولة محددة، حيث يقدم أساساً أفضل مما تقدمه طريقة الأشعة الذاتية (Eigen Vectors) عند استخدامها في التحليل بطريقة طيف الاستجابة والسجل الزمني التي تعتمد على ترتيب الأنماط. يكون عدد الأنماط المستخدمة 15 نمطاً، ويوضح الجدول (3-1) قيم الدور و التردد لحالتي المنشأ السليم و المتضرر، حيث يلاحظ بالنسبة لحالة المنشأ السليم أن قيمة الدور الطبيعي الأساسي هو 0.884 ثانية و هي قيمة قريبة من قيمة الدور الطبيعي الأساسي المستخرج بالعلاقة المقترحة من قبل الباحث (Amiri, 2002)

$$T = 0.0083 \times H - 0.74$$

$$T = 0.0083 \times 182.7 - 0.74 = 0.776 \text{ sec}$$

أما بالنسبة لحالة المنشأ المتضرر فنميز مايلي:

□ المنسوب الأدنى :

يلاحظ اختلاف طفيف في نتائج الدور نتيجة لانقطاع أحد الكبلات على المنسوب الأدنى، حيث إن انقطاع الكبل القصير أدى إلى نقصان الصلابة و الكتلة بشكل متناسب، و بالتالي عدم اختلاف قيمة الدور حسب العلاقات الناظمة للدور.

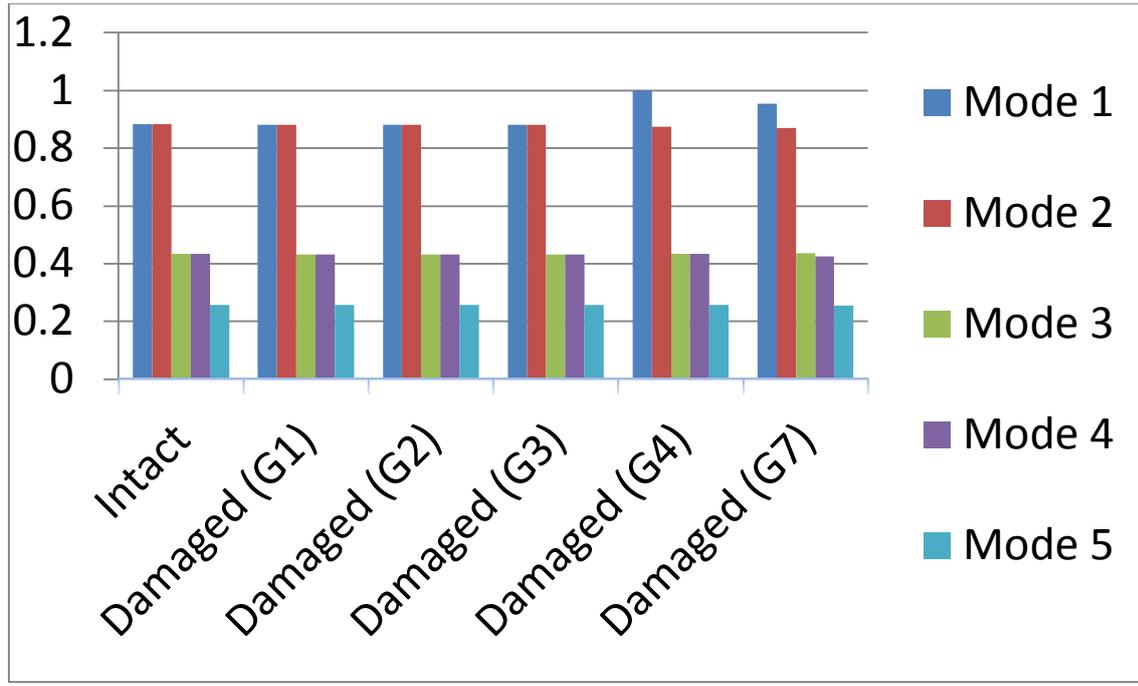
□ المنسوبان الأوسط و الأعلى :

يلاحظ ازدياد قيم الدور نتيجة انقطاع الكبل الواقع على المنسوب الأوسط أو الأعلى، حيث إن انقطاع الكبل الطويل ذي الصلابة المنخفضة نسبياً و الكتلة الكبيرة أدى إلى نقصان الكتلة بشكل أكبر من الصلابة، و بالتالي ازدياد الدور حسب العلاقات الناظمة للدور.

النمط	المنشأ السليم		المنشأ المتضرر									
			المنسوب 67.175 م (الأدنى)				المنسوب 126.575 م (الأوسط)		المنسوب 176.075 م (الأعلى)			
			انقطاع الكبل G1		انقطاع الكبل G2		انقطاع الكبل G3		انقطاع الكبل G4		انقطاع الكبل G7	
الدور ثانية	التردد (هرتز)	الدور	التردد (هرتز)	الدور (ثانية)	التردد (هرتز)	الدور (ثانية)	التردد (هرتز)	الدور (ثانية)	التردد (هرتز)	الدور (ثانية)	التردد (هرتز)	
1	0.884	1.132	0.881	1.135	0.881	1.135	0.881	1.135	1.000	1.000	0.953	1.049
2	0.884	1.132	0.881	1.135	0.881	1.135	0.881	1.135	0.875	1.143	0.871	1.148
3	0.434	2.306	0.431	2.323	0.431	2.323	0.431	2.323	0.434	2.305	0.436	2.292
4	0.434	2.306	0.431	2.323	0.431	2.323	0.431	2.323	0.434	2.306	0.426	2.346
5	0.258	3.875	0.258	3.883	0.258	3.883	0.258	3.883	0.258	3.878	0.256	3.903
6	0.175	5.710	0.258	3.883	0.258	3.883	0.258	3.883	0.255	3.926	0.254	3.934
7	0.130	7.719	0.183	5.475	0.177	5.649	0.179	5.584	0.182	5.491	0.181	5.513
8	0.102	9.783	0.175	5.720	0.175	5.721	0.176	5.674	0.174	5.731	0.174	5.736
9	0.083	12.061	0.129	7.773	0.155	6.446	0.175	5.721	0.170	5.896	0.171	5.831
10	0.068	14.793	0.102	9.778	0.129	7.772	0.129	7.772	0.130	7.720	0.129	7.761
11	0.059	16.947	0.096	10.399	0.102	9.797	0.102	9.795	0.101	9.885	0.102	9.849
12	0.052	19.095	0.082	12.217	0.082	12.143	0.082	12.132	0.082	12.188	0.082	12.136
13	0.040	24.888	0.061	16.344	0.062	16.004	0.063	15.922	0.062	16.158	0.062	16.111
14	0.028	35.321	0.043	23.306	0.044	22.687	0.044	22.531	0.044	22.825	0.044	22.772
15	0.014	69.112	0.023	43.395	0.024	42.172	0.024	41.858	0.024	42.432	0.024	42.357

الجدول (3-1) – قيم الدور و التردد لحالتي المنشأ

و يوضح الشكل (3-1) مخطط مقارنة قيم الدور لحالتي المنشأ للأنماط الخمسة الأولى :



الشكل (3-1) – مخطط مقارنة قيم الدور لحالتي المنشأ لأنماط الخمسة الأولى

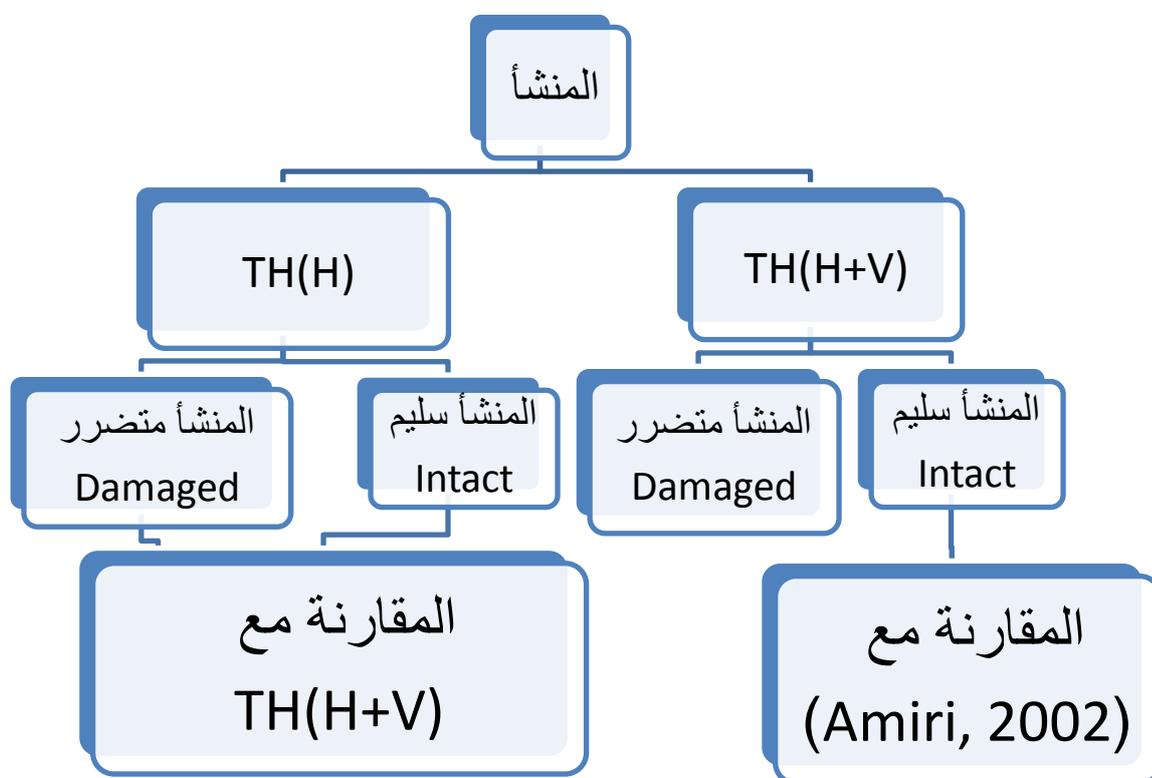
ب. التحليل الديناميكي بطريقة السجل الزمني (Time History Analysis) :

لقد نصت النسخ الأولية ل Eurocode8 Part 6^[18] أنه يجب تحليل الصواري المكبلة تحليلاً لاخطياً بطريقة السجل الزمني، حيث يجرى هذا التحليل باستخدام طريقة Direct Integration حيث تستخدم Newark مع اعتماد المعاملات التالية $\beta=0.25$, $\gamma = 0.5$ ، و تؤخذ نسبة التخميد 2% كقيمة مناسبة للانشاءات المعدنية^[15]، حيث يجرى التحليل باستخدام المركبات الثلاثة ل El Centro (حالة التحميل (TH(H+V))، و أيضاً باستخدام المركبتين الأفقيتين فقط (حالة التحميل (TH(H))، و ذلك لحالتي المنشأ السليم، و المنشأ المتضرر (انقطاع أحد كبلاته)، حيث تصبح حالات تحليل المنشأ 12 حالة كما يوضحها الجدول (3-2) :

حالة المنشأ	الحمولة الزلزالية	حالة التحميل
المنشأ سليم	ELC180 X ELC270 Y ELC-UP Z	TH(H+V)
انقطاع الكبل G1		
انقطاع الكبل G2		
انقطاع الكبل G3		
انقطاع الكبل G4		
انقطاع الكبل G7		
المنشأ سليم	ELC180 X ELC270 Y	TH(H)
انقطاع الكبل G1		
انقطاع الكبل G2		
انقطاع الكبل G3		
انقطاع الكبل G4		
انقطاع الكبل G7		

الجدول (3-2) – حالات تحليل المنشأ

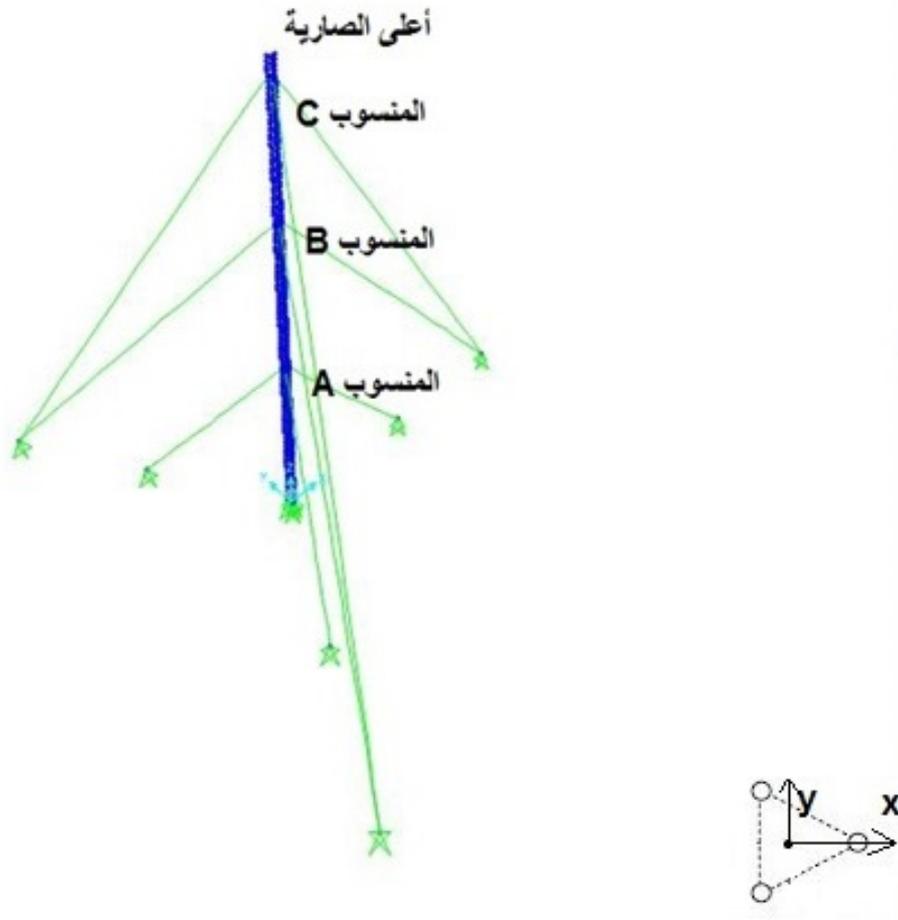
يتم دراسة قيم الدور و التردد، الانتقالات، القص القاعدي، قوة الضغط المحورية في قاعدة المنشأ، قوى الشد في الكبلات مع نتائج الباحث (Amiri, 2002) وذلك لحالة المنشأ السليم فقط لحالتي التحميل TH(H) و TH(H+V)، حيث لم تلاحظ دراسته حالة انقطاع أحد الكبلات، وهذه النتائج المذكورة في الدراسة المرجعية، و يمكن توضيح ذلك بيانياً على الشكل (3-2) :



الشكل (3-2) – التمثيل البياني لتحليل و نتائج البحث

(1) الانتقالات (Displacements) :

تعتبر الانتقالات من الأمور المهمة في عمل الصواري المكبلة لضمان استمرار عمل الهوائيات المتصلة بها، حيث يمكن أن تؤثر الحمولات الزلزالية على أعلى الصارية تحديداً، و هذا يمكن أن ينجم عنه انقطاع في البث، لذلك يتم التركيز على حالتَي الانتقالات في أعلى الصارية، وعند مناسب اتصال الكبلات بالصارية المنسوب الأدنى A، المنسوب الأوسط B، المنسوب الأعلى C، و ذلك بالاتجاهين X و Y كما يوضح الشكل (3-3):



الشكل (3-3) – المناسيب المدروسة للصارية المكبلة

يوضح الجدول (3-3) الانتقالات الأفقية الأعظمية بالنسبة لحالة التحميل TH(H+V) و ذلك

لحالاتي المنشأ :

حالة المنشأ	الاتجاه	الانتقال الأفقي الموجب في أعلى الصارية (m)	الانتقال الأفقي السالب في أعلى الصارية (m)	الانتقال الأفقي الموجب في المنسوب C (m)	الانتقال الأفقي السالب في المنسوب C (m)	الانتقال الأفقي الموجب في المنسوب B (m)	الانتقال الأفقي السالب في المنسوب B (m)	الانتقال الأفقي الموجب في المنسوب A (m)	الانتقال الأفقي السالب في المنسوب A (m)
المنشأ السليم	X	0.164	- 0.261	0.165	- 0.261	0.162	- 0.263	0.134	- 0.247
انقطاع الكبل G1		0.180	- 0.260	0.181	- 0.260	0.183	- 0.262	0.148	- 0.247
انقطاع الكبل G2		0.130	- 0.270	0.130	- 0.270	0.126	- 0.265	0.117	- 0.248
انقطاع الكبل G3		0.187	- 0.263	0.187	- 0.263	0.183	- 0.264	0.141	- 0.247
انقطاع الكبل G4		0.179	- 0.259	0.179	- 0.259	0.167	- 0.261	0.131	- 0.246
انقطاع الكبل G7		0.162	- 0.268	0.163	- 0.268	0.172	- 0.267	0.143	- 0.250
المنشأ السليم	Y	0.268	- 0.210	0.270	- 0.209	0.278	- 0.177	0.237	- 0.135
انقطاع الكبل G1		0.288	- 0.177	0.288	- 0.177	0.281	- 0.168	0.225	- 0.136
انقطاع الكبل G2		0.261	- 0.197	0.263	- 0.197	0.275	- 0.177	0.244	- 0.123
انقطاع الكبل G3		0.268	- 0.188	0.269	- 0.188	0.276	- 0.167	0.238	- 0.121
انقطاع الكبل G4		0.271	- 0.151	0.271	- 0.152	0.261	- 0.142	0.215	- 0.109
انقطاع الكبل G7		0.209	- 0.219	0.211	- 0.216	0.223	- 0.171	0.199	- 0.124

الجدول (3-3) – قيم الانتقالات الأفقية الأعظمية لحالاتي المنشأ ل TH(H+V)

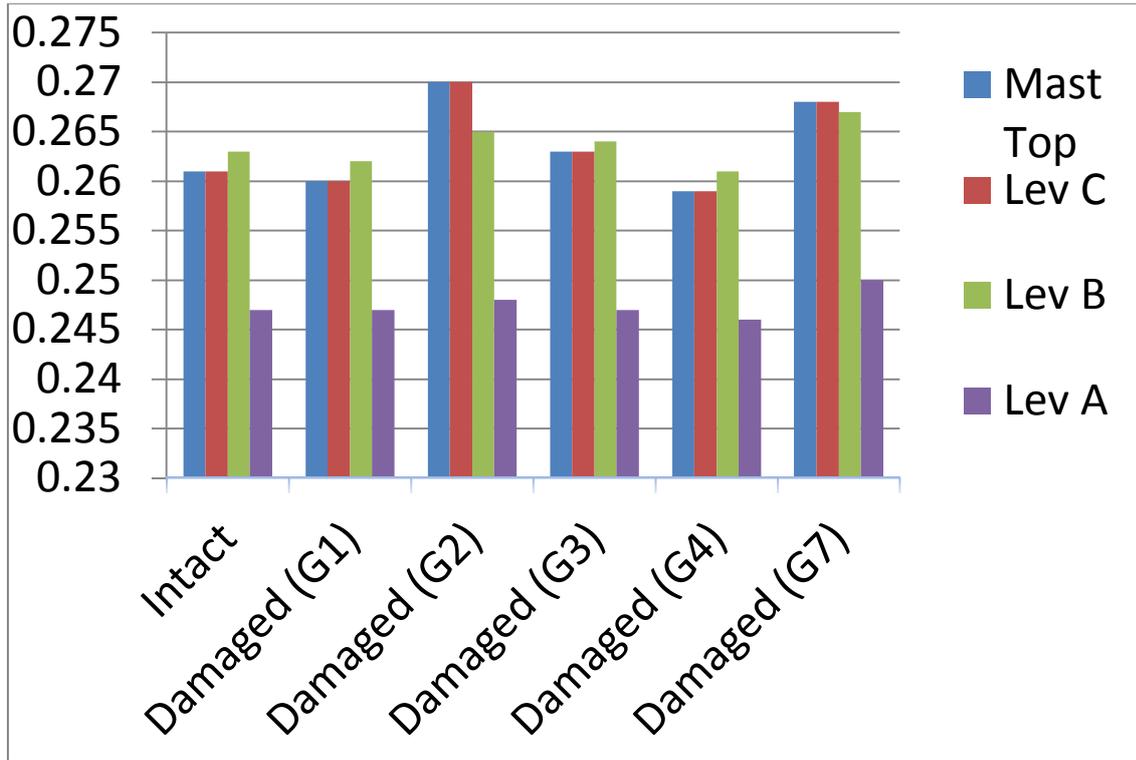
و بأخذ القيم المطلقة نحصل على الجدول (3-4):

حالة المنشأ	الاتجاه	الانتقال الأفقي الأعظمي في أعلى الصارية (m)	الانتقال الأفقي الأعظمي في المنسوب C (m)	الانتقال الأفقي الأعظمي في المنسوب B (m)	الانتقال الأفقي الأعظمي في المنسوب A (m)
المنشأ السليم	X	0.261	0.261	0.263	0.247
انقطاع الكبل G1		0.260	0.260	0.262	0.247
انقطاع الكبل G2		0.270	0.270	0.265	0.248
انقطاع الكبل G3		0.263	0.263	0.264	0.247
انقطاع الكبل G4		0.259	0.259	0.261	0.246
انقطاع الكبل G7		0.268	0.268	0.267	0.250
المنشأ السليم	Y	0.268	0.270	<u>0.278</u>	0.237
انقطاع الكبل G1		0.288	0.288	0.281	0.225
انقطاع الكبل G2		0.261	0.263	0.275	0.244
انقطاع الكبل G3		0.268	0.269	0.276	0.238
انقطاع الكبل G4		0.271	0.271	0.261	0.215
انقطاع الكبل G7		0.219	0.216	0.223	0.199

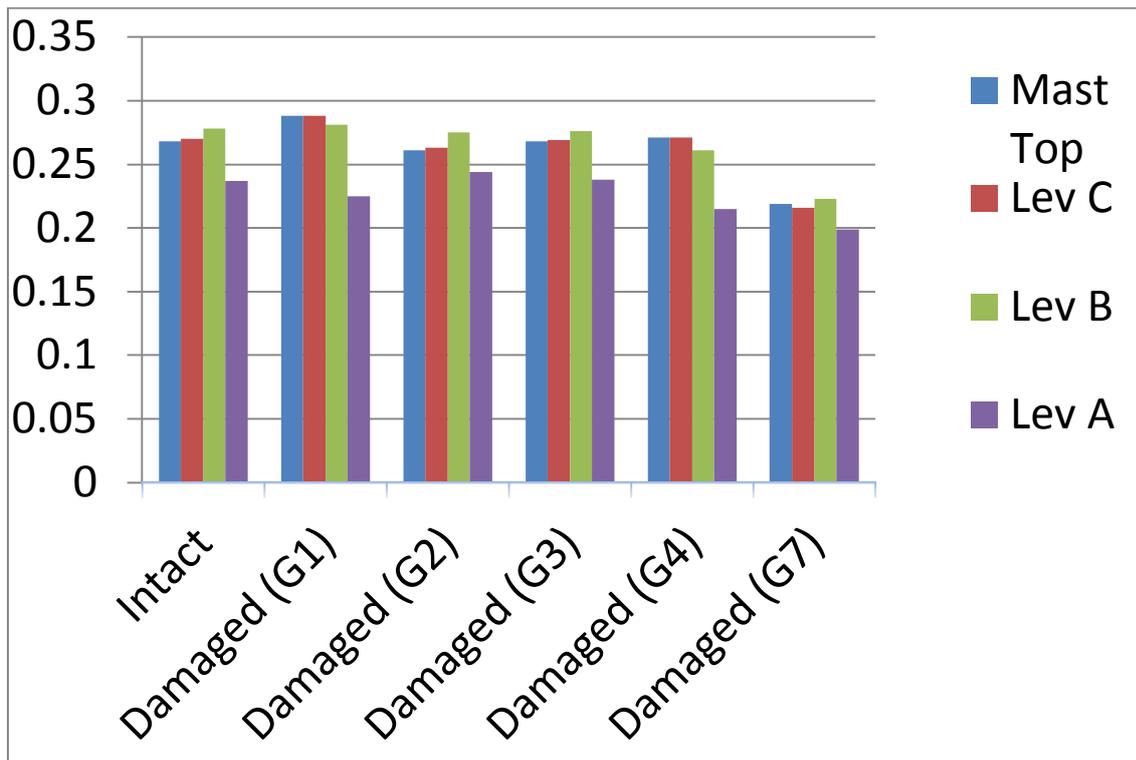
الجدول (3-4) – قيم الانتقالات الأفقية الأعظمية المطلقة لحالتي المنشأ ل TH(H+V)

يوضح الشكلان (3-4) و(3-5) مخططات مقارنة قيم الانتقالات الأفقية المطلقة لحالتي المنشأ

بالاتجاهين X و Y على الترتيب :



الشكل (3-4) – مخطط مقارنة قيم الانتقالات الأفقية المطلقة لحالتي المنشأ بالاتجاه X



الشكل (3-5) – مخطط مقارنة قيم الانتقالات الأفقية المطلقة لحالتي المنشأ بالاتجاه Y

• المنشأ السليم :

يلاحظ أن الانتقال الأفقي الأعظمي في حالة المنشأ السليم هو 0.278 م، و بتقسيمه على ارتفاع المنشأ الذي يساوي 182.7 م نجد النسبة تساوي 0.15%، حيث إن هذه النسبة أكبر من النسب التي حصل عليها الباحث (Amiri, 2002) حيث تراوحت من 0.05 – 0.12%، و يرجع ذلك إلى انخفاض قوة الشد المسبقة بالكبلات المدروسة عن 10%.

• المنشأ المتضرر :

□ الاتجاه X :

يلاحظ سلوك لا يمكن البناء عليه للانتقالات نتيجة انقطاع أحد الكبلات في الاتجاه X (اتجاه تطبيق المركبة الأفقية العظمى ل EL Centro)، وتكون الانتقالات في أعلى الصارية و المنسوب الأعلى C هي الأكبر بين قيم الانتقالات نتيجة وجود ظفر.

□ الاتجاه Y :

يلاحظ أن الانتقالات تكون أكبر في هذا الاتجاه عما هو في الاتجاه X، وتكون الانتقالات في أعلى الصارية و المنسوب الأعلى C هي الأكبر بين قيم الانتقالات نتيجة وجود ظفر.

يوضح الجدول (3-5) الانتقالات الأفقية الأعظمية بالنسبة لحالة التحميل TH(H) و ذلك

لحالاتي المنشأ :

حالة المنشأ	الاتجاه	الانتقال الأفقي الموجب في أعلى الصارية (m)	الانتقال الأفقي السالب في أعلى الصارية (m)	الانتقال الأفقي الموجب في المنسوب C (m)	الانتقال الأفقي السالب في المنسوب C (m)	الانتقال الأفقي الموجب في المنسوب B (m)	الانتقال الأفقي السالب في المنسوب B (m)	الانتقال الأفقي الموجب في المنسوب A (m)	الانتقال الأفقي السالب في المنسوب A (m)
المنشأ السليم	X	0.164	- 0.261	0.165	- 0.261	0.162	- 0.263	0.134	- 0.247
انقطاع الكبل G1		0.180	- 0.260	0.181	- 0.260	0.183	- 0.262	0.148	- 0.247
انقطاع الكبل G2		0.130	- 0.270	0.130	- 0.270	0.126	- 0.265	0.117	- 0.248
انقطاع الكبل G3		0.187	- 0.263	0.187	- 0.263	0.184	- 0.264	0.141	- 0.247
انقطاع الكبل G4		0.179	- 0.258	0.179	- 0.259	0.167	- 0.261	0.132	- 0.246
انقطاع الكبل G7		0.161	- 0.268	0.162	- 0.268	0.171	- 0.267	0.143	- 0.250
المنشأ السليم	Y	0.268	- 0.210	0.270	- 0.209	0.278	- 0.177	0.237	- 0.135
انقطاع الكبل G1		0.288	- 0.177	0.288	- 0.177	0.280	- 0.168	0.225	- 0.136
انقطاع الكبل G2		0.261	- 0.197	0.263	- 0.197	0.275	- 0.177	0.244	- 0.123
انقطاع الكبل G3		0.268	- 0.188	0.269	- 0.188	0.276	- 0.167	0.238	- 0.121
انقطاع الكبل G4		0.270	- 0.151	0.271	- 0.152	0.261	- 0.141	0.215	- 0.109
انقطاع الكبل G7		0.209	- 0.218	0.210	- 0.216	0.223	- 0.171	0.199	- 0.124

الجدول (3-5) – قيم الانتقالات الأفقية الأعظمية لحالاتي المنشأ ل TH(H)

و بأخذ القيم المطلقة نحصل على الجدول (3-6):

حالة المنشأ	الاتجاه	الانتقال الأفقي الأعظمي في أعلى الصارية (m)	الانتقال الأفقي الأعظمي في المنسوب C (m)	الانتقال الأفقي الأعظمي في المنسوب B (m)	الانتقال الأفقي الأعظمي في المنسوب A (m)
المنشأ السليم	X	0.261	0.261	0.263	0.247
انقطاع الكبل G1		0.260	0.260	0.262	0.247
انقطاع الكبل G2		0.270	0.270	0.265	0.248
انقطاع الكبل G3		0.263	0.263	0.264	0.247
انقطاع الكبل G4		0.258	0.259	0.261	0.246
انقطاع الكبل G7		0.268	0.268	0.267	0.250
المنشأ السليم	Y	0.268	0.270	0.278	0.237
انقطاع الكبل G1		0.288	0.288	0.280	0.225
انقطاع الكبل G2		0.261	0.263	0.275	0.244
انقطاع الكبل G3		0.268	0.269	0.276	0.238
انقطاع الكبل G4		0.270	0.271	0.261	0.215
انقطاع الكبل G7		0.218	0.216	0.223	0.199

الجدول (3-6) – قيم الانتقالات الأفقية الأعظمية المطلقة لحالتي المنشأ ل TH(H)

يلاحظ بشكل عام أن قيم الانتقالات الأفقية للتحميل TH(H) شبه مطابقة لقيمها في حالة التحميل

TH(H+V)، مما يدل على محدودية تأثير المركبة الشاقولية ل EL Centro على قيم

الانتقالات الأفقية.

(2) القص القاعدي (Base Shear) :

يعتبر القص القاعدي واحداً من المؤشرات الأكثر أهمية في مجال تصميم مقاومة الزلازل للحواري المكبلة.

يوضح الجدول (3-7) قيم القص القاعدي الأعظمية بالنسبة لحالة التحميل $TH(H+V)$ و ذلك لحالتي المنشأ :

حالة المنشأ	القص القاعدي الموجب في الاتجاه X (kN)	القص القاعدي السالب في الاتجاه X (kN)	القص القاعدي الموجب في الاتجاه Y (kN)	القص القاعدي السالب في الاتجاه Y (kN)	القص القاعدي الموجب في الاتجاه Z (kN)	القص القاعدي السالب في الاتجاه Z (kN)
المنشأ السليم	238	- 242	182	- 160	261	- 203
انقطاع الكبل G1	238	- 230	184	- 153	260	- 207
انقطاع الكبل G2	212	- 231	105	- 102	260	- 207
انقطاع الكبل G3	228	- 227	196	- 162	260	- 207
انقطاع الكبل G4	191	- 230	165	- 132	255	- 192
انقطاع الكبل G7	168	- 212	159	- 148	185	- 143

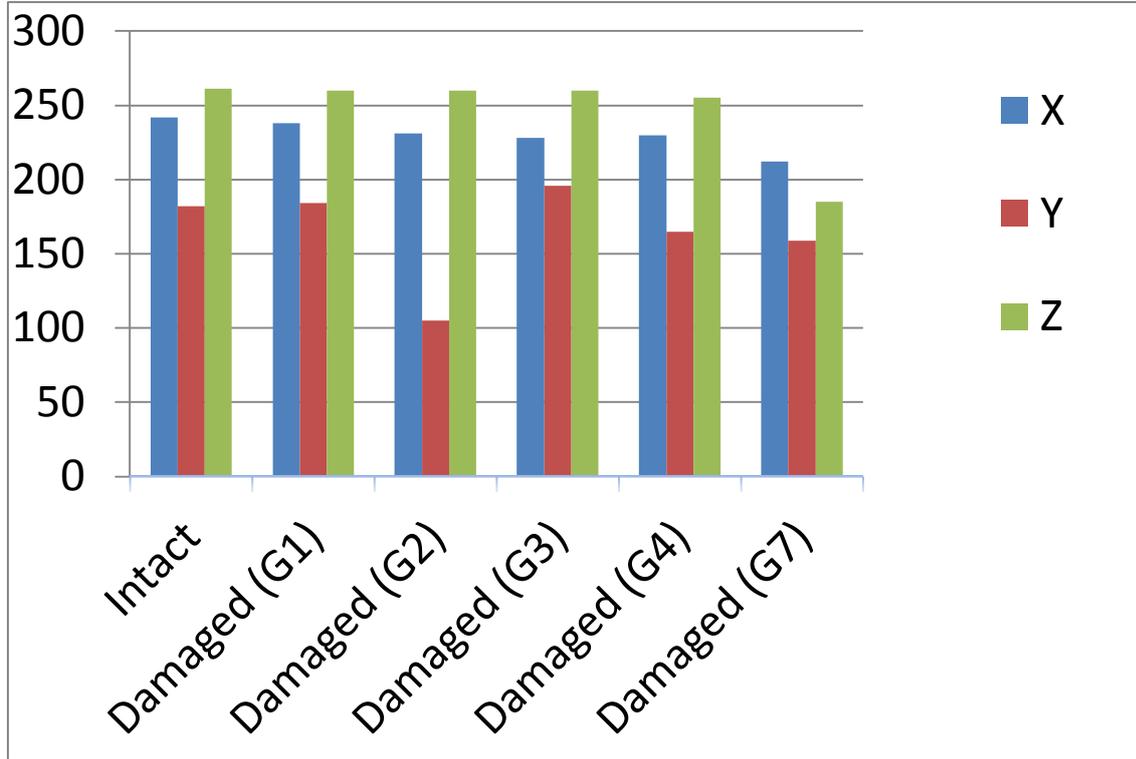
الجدول (3-7) – قيم القص القاعدي الأعظمية لحالتي المنشأ ل $TH(H+V)$

و بأخذ القيم المطلقة نحصل على الجدول (3-8):

حالة المنشأ	القص القاعدي الأعظمي في الاتجاه X (kN)	القص القاعدي الأعظمي في الاتجاه Y (kN)	القص القاعدي الأعظمي في الاتجاه Z (kN)
المنشأ السليم	242	182	<u>261</u>
انقطاع الكبل G1	238	184	260
انقطاع الكبل G2	231	105	260
انقطاع الكبل G3	228	196	260
انقطاع الكبل G4	230	165	255
انقطاع الكبل G7	212	159	185

الجدول (3-8) – قيم القص القاعدي الأعظمية المطلقة لحالتي المنشأ ل TH(H+V)

يوضح الشكل (3-6) مخطط مقارنة قيم القص القاعدي المطلقة لحالتي المنشأ :



الشكل (3-6) – مخطط مقارنة قيم القص القاعدي المطلقة لحالتي المنشأ

• المنشأ السليم :

يلاحظ أن قيمة القص القاعدي العظمى هي في الاتجاه Z و تساوي 261 كيلونيوتن، و بتقسيمها على الوزن الكلي للمنشأ البالغ 456 كيلونيوتن نجد النسبة تساوي 57% وهي مختلفة قليلاً عن القيمة الناتجة عن المعادلة التي اقترحها الباحث (Amiri, 2002):

$$BS = 0.95(28300 \times H^{-1.17}) (\% \text{ of } W)$$

$$BS = 0.95(28300 \times 182.7^{-1.17}) = 61\% \text{ of } W$$

• المنشأ المتضرر :

□ الاتجاه X :

يلاحظ تغير صغير في قيمة القص القاعدي بالنسبة لانقطاع أحد الكبلات الواقعة على المنسوبين الأدنى والأوسط، بينما يطرأ انخفاض بحوالي 12% على قيمة القص القاعدي عند انقطاع الكبل الواقع على المنسوب الأعلى.

□ الاتجاه Y :

يلاحظ عدم تغير قيمة القص القاعدي بشكل كبير عند انقطاع أحد الكبلات على أحد المستويات إلا في حالة الكبل G2 الواقع على المنسوب الأدنى، حيث تنخفض قيمة القص القاعدي بنسبة 42%.

□ الاتجاه Z :

يلاحظ تغير ضئيل في قيمة القص القاعدي بالنسبة لانقطاع أحد الكبلات الواقعة على المنسوبين الأدنى والأوسط، بينما يطرأ انخفاض بحوالي 29% على قيمة القص القاعدي عند انقطاع الكبل الواقع على المنسوب الأعلى.

يوضح الجدول (3-9) قيم القص القاعدي الأعظمية بالنسبة لحالة التحميل TH(H) و ذلك لحالتي المنشأ :

حالة المنشأ	القص القاعدي الموجب في الاتجاه X (kN)	القص القاعدي السالب في الاتجاه X (kN)	القص القاعدي الموجب في الاتجاه Y (kN)	القص القاعدي السالب في الاتجاه Y (kN)	القص القاعدي الموجب في الاتجاه Z (kN)	القص القاعدي السالب في الاتجاه Z (kN)
المنشأ السليم	237	- 240	182	- 160	262	- 205
انقطاع الكبل G1	237	- 231	183	- 152	260	- 209
انقطاع الكبل G2	214	- 230	106	- 103	260	- 209
انقطاع الكبل G3	227	- 226	197	- 163	260	- 209
انقطاع الكبل G4	189	- 231	165	- 132	255	- 194
انقطاع الكبل G7	167	- 211	160	- 148	185	- 145

الجدول (3-9) – قيم القص القاعدي الأعظمية لحالتي المنشأ ل TH(H)

و بأخذ القيم المطلقة نحصل على الجدول (3-10):

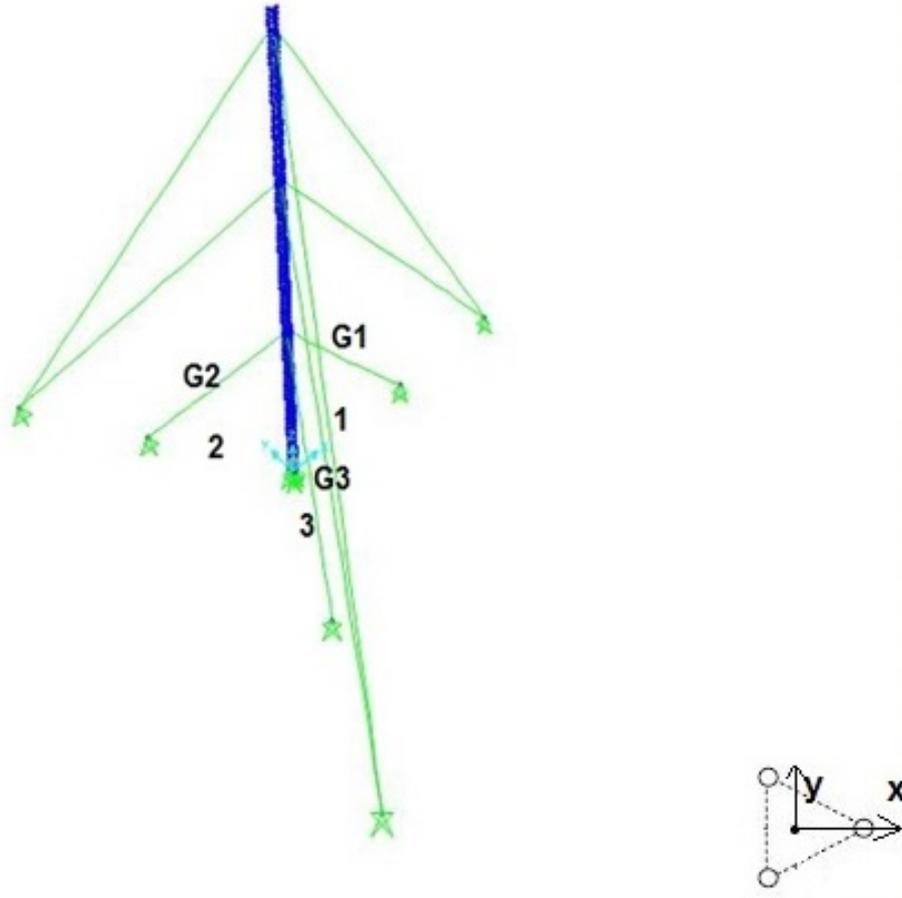
حالة المنشأ	القص القاعدي الأعظمي في الاتجاه X (kN)	القص القاعدي الأعظمي في الاتجاه Y (kN)	القص القاعدي الأعظمي في الاتجاه Z (kN)
المنشأ السليم	240	182	<u>262</u>
انقطاع الكبل G1	237	183	260
انقطاع الكبل G2	230	106	260
انقطاع الكبل G3	227	197	260
انقطاع الكبل G4	231	165	255
انقطاع الكبل G7	211	160	185

الجدول (3-10) – قيم القص القاعدي الأعظمية المطلقة لحالتي المنشأ ل TH(H)

يلاحظ بشكل عام أن قيم القص القاعدي للتحميل TH(H) شبه مطابقة لقيمتها في حالة التحميل TH(H+V)، مما يدل على محدودية تأثير المركبة الشاقولية ل EL Centro على قيم القص القاعدي.

(3) قوة الضغط المحورية في قاعدة المنشأ (Axial Force at Mast Base) :

تدرس قوة الضغط المحورية في الاتجاهات: الاتجاه 1 الموافق للاتجاه X، والاتجاه 2 الموافق للاتجاه الكبل G2، والاتجاه 3 الموافق للاتجاه الكبل G3 للعناصر الشاقولية المشكلة لقاعدة الصارية كما يوضح الشكل (3-7) :



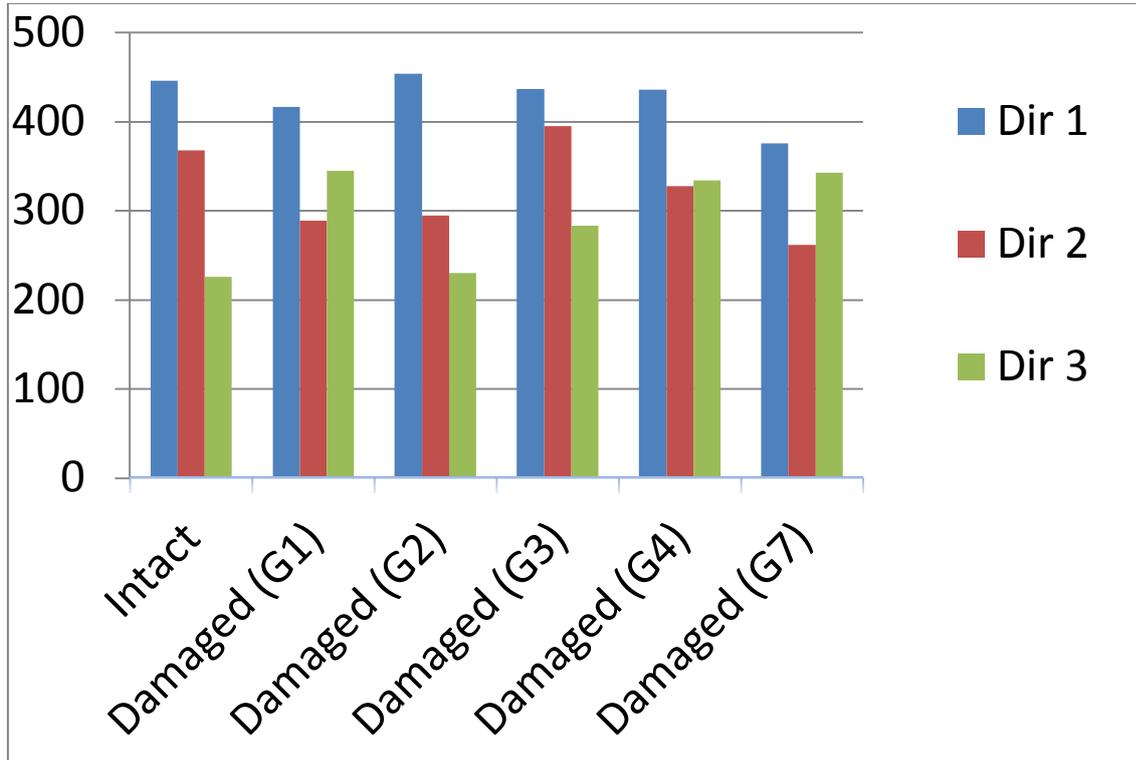
الشكل (3-7) – الاتجاهات 1 و2 و3 المدروسة

يوضح الجدول (3-11) قيم قوة الضغط المحورية الأعظمية بالنسبة لحالة التحميل TH(H+V) و ذلك لحالتي المنشأ :

حالة المنشأ	قوة الضغط المحورية في الاتجاه 1 (kN)	قوة الضغط المحورية في الاتجاه 2 (kN)	قوة الضغط المحورية في الاتجاه 3 (kN)
المنشأ السليم	- 446	- 368	- 226
انقطاع الكبل G1	- 417	- 289	- 345
انقطاع الكبل G2	- 454	- 295	- 230
انقطاع الكبل G3	- 437	- 395	- 283
انقطاع الكبل G4	- 436	- 328	- 334
انقطاع الكبل G7	- 376	- 262	- 343

الجدول (3-11) – قيم قوة الضغط المحورية الأعظمية لحالتي المنشأ ل TH(H+V)

يوضح الشكل (3-8) مخطط مقارنة قيم قوة الضغط المحورية لحالتي المنشأ :



الشكل (3-8) – مخطط مقارنة قيم قوة الضغط المحورية لحالتي المنشأ

• المنشأ السليم :

يلاحظ أن قوة الضغط المحورية الأعظمية هي في الاتجاه 1 الموافق للاتجاه X (اتجاه تطبيق المركبة الأفقية العظمى ل EL Centro)، وتبلغ قيمتها 446 كيلونيوتن أي بحدود 98% من الوزن الكلي للمنشأ البالغ 456 كيلونيوتن، وهذا ضمن المجال (25-125%) الذي وجدته الباحثة (Amiri, 2002).

• المنشأ المتضرر :

□ الاتجاه 1:

يلاحظ تغير صغير في قيمة قوة الضغط المحورية بالنسبة لانقطاع أحد الكبلات الواقعة على المنسوبين الأدنى والأوسط، بينما يطرأ انخفاض بحوالي 16% على قيمة قوة الضغط المحورية عند انقطاع الكبل الواقع على المنسوب الأعلى.

□ الاتجاهين 3&2:

يلاحظ عدم وجود سلوك يمكن البناء عليه لقيمة قوة الضغط المحورية عند انقطاع أحد الكبلات على المستويات الأدنى والأوسط و الأعلى.

يوضح الجدول (3-12) قيم قوة الضغط المحورية الأعظمية بالنسبة لحالة التحميل TH(H) و ذلك لحالتي المنشأ :

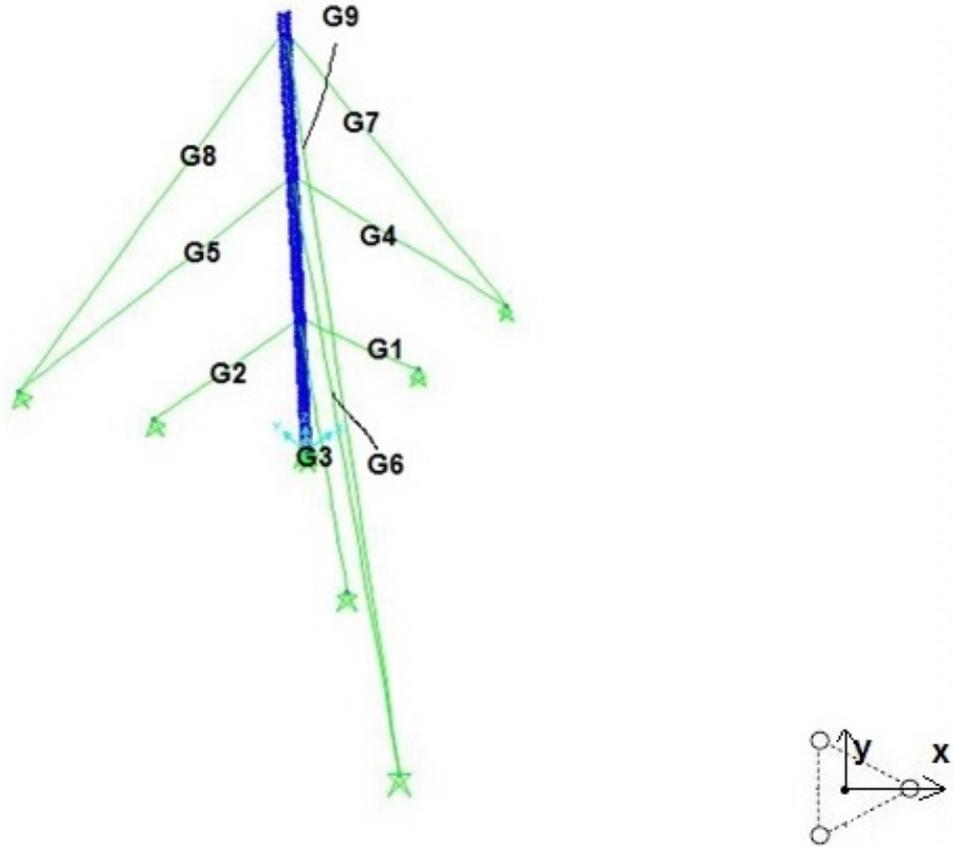
حالة المنشأ	قوة الضغط المحورية في الاتجاه 1 (kN)	قوة الضغط المحورية في الاتجاه 2 (kN)	قوة الضغط المحورية في الاتجاه 3 (kN)
المنشأ السليم	- 444	- 355	- 228
انقطاع الكبل G1	- 409	- 292	- 330
انقطاع الكبل G2	- 456	- 293	- 219
انقطاع الكبل G3	- 439	- 380	- 271
انقطاع الكبل G4	- 429	- 313	- 327
انقطاع الكبل G7	- 364	- 259	- 322

الجدول (3-12) – قيم قوة الضغط المحورية الأعظمية لحالتي المنشأ ل TH(H)

يلاحظ أن قيم قوة الضغط المحورية للتحميل TH(H) مشابهة تقريباً لحالة التحميل TH(H+V) مما يدل على محدودية تأثير المركبة الشاقولية ل El Centro على قوة الضغط المحورية.

(4) قوى الشد في الكبلات (Guy Tensions) :

يمكن أن تكون قوى الشد الديناميكية في الكبلات من المؤشرات المهمة على شدة خطورة تأثير الخواص الديناميكية على الصواري المكبلة، ولتقدير هذه القوى تقديراً جيداً نأخذ معامل التضخيم و الذي يساوي نسبة قوة الشد الناتجة عن التحليل الديناميكي إلى قوة الشد المسبقة، و يوضح الشكل (3-9) أسماء كبلات الصارية المكبلة :



الشكل (3-9) – أسماء كبلات الصارية المكبلة

يوضح الجدول (3-13) قيم قوة الشد الأعظمية بالكبلات بالنسبة لحالة التحميل TH(H+V) و

ذلك لحالتي المنشأ :

حالة المنشأ	قوة الشد الأعظمية بالكبل G1 (kN)	قوة الشد الأعظمية بالكبل G2 (kN)	قوة الشد الأعظمية بالكبل G3 (kN)	قوة الشد الأعظمية بالكبل G4 (kN)	قوة الشد الأعظمية بالكبل G5 (kN)	قوة الشد الأعظمية بالكبل G6 (kN)	قوة الشد الأعظمية بالكبل G7 (kN)	قوة الشد الأعظمية بالكبل G8 (kN)	قوة الشد الأعظمية بالكبل G9 (kN)
المنشأ السليم	63	57	38	80	69	48	129	119	98
انقطاع الكبل G1	-	41	38	90	54	56	131	106	111
انقطاع الكبل G2	55	-	31	78	57	42	128	107	96
انقطاع الكبل G3	64	59	-	79	73	55	127	124	107
انقطاع الكبل G4	73	51	43	-	62	56	137	113	107
انقطاع الكبل G7	64	32	39	101	39	50	-	91	102

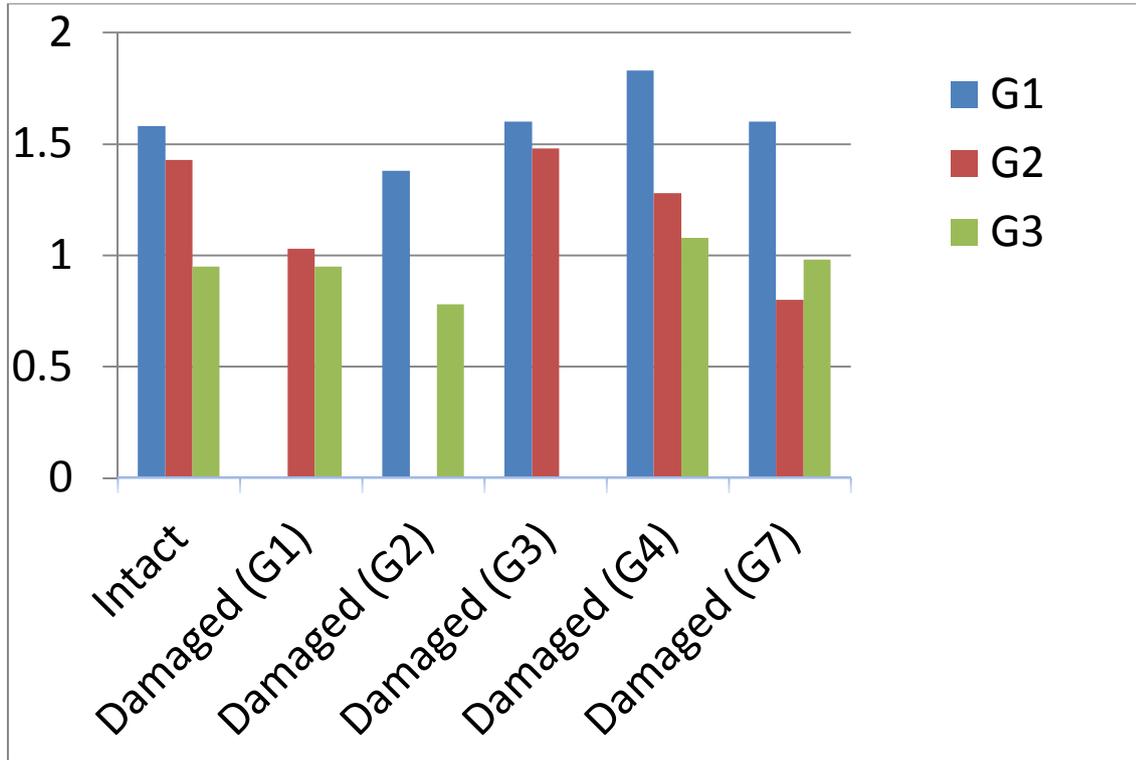
الجدول (3-13) – قيم قوى الشد الأعظمية بالكبلات لحالتي المنشأ ل TH(H+V)

و بأخذ قيم معامل التضخيم نحصل على الجدول (3-14):

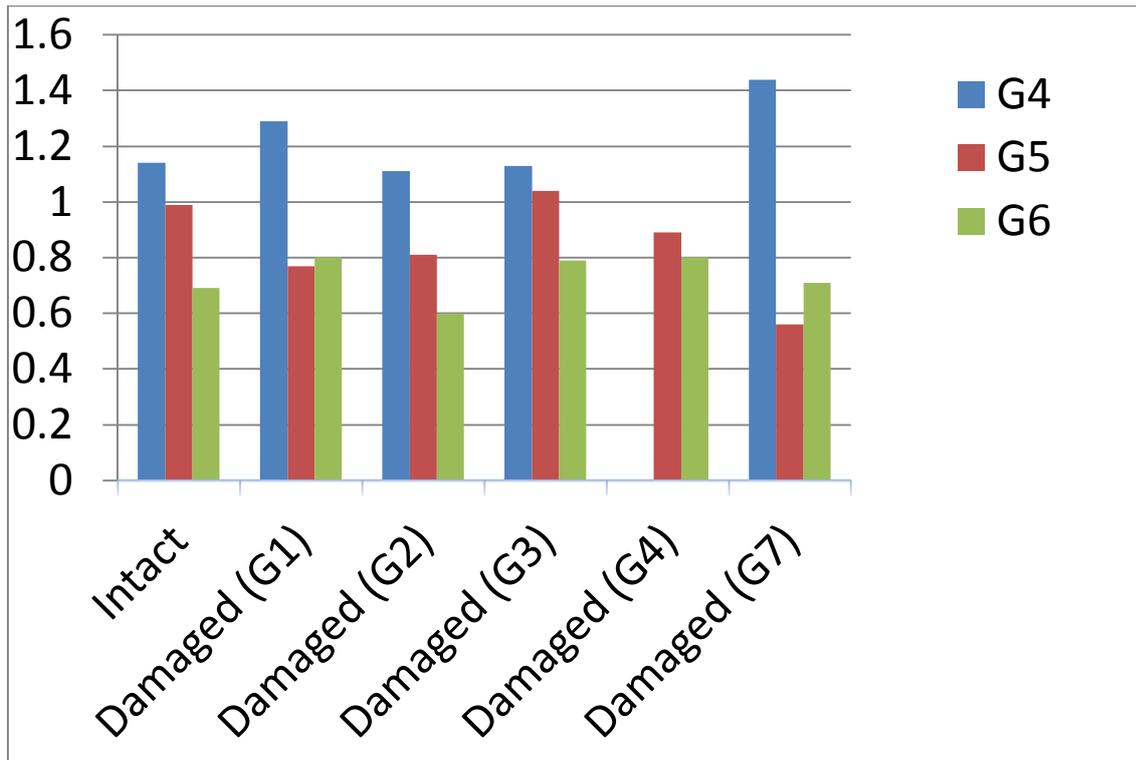
حالة المنشأ	معامل التضخيم بالكبل G1	معامل التضخيم بالكبل G2	معامل التضخيم بالكبل G3	معامل التضخيم بالكبل G4	معامل التضخيم بالكبل G5	معامل التضخيم بالكبل G6	معامل التضخيم بالكبل G7	معامل التضخيم بالكبل G8	معامل التضخيم بالكبل G9
المنشأ السليم	1.58	1.43	0.95	1.14	0.99	0.69	1.29	1.19	0.98
انقطاع الكبل G1	-	1.03	0.95	1.29	0.77	0.80	1.31	1.06	1.11
انقطاع الكبل G2	1.38	-	0.78	1.11	0.81	0.60	1.28	1.07	0.96
انقطاع الكبل G3	1.60	1.48	-	1.13	1.04	0.79	1.27	1.24	1.07
انقطاع الكبل G4	1.83	1.28	1.08	-	0.89	0.80	1.37	1.13	1.07
انقطاع الكبل G7	1.60	0.80	0.98	1.44	0.56	0.71	-	0.91	1.02

الجدول (3-14) – قيم معامل التضخيم بالكبلات لحالتي المنشأ ل TH(H+V)

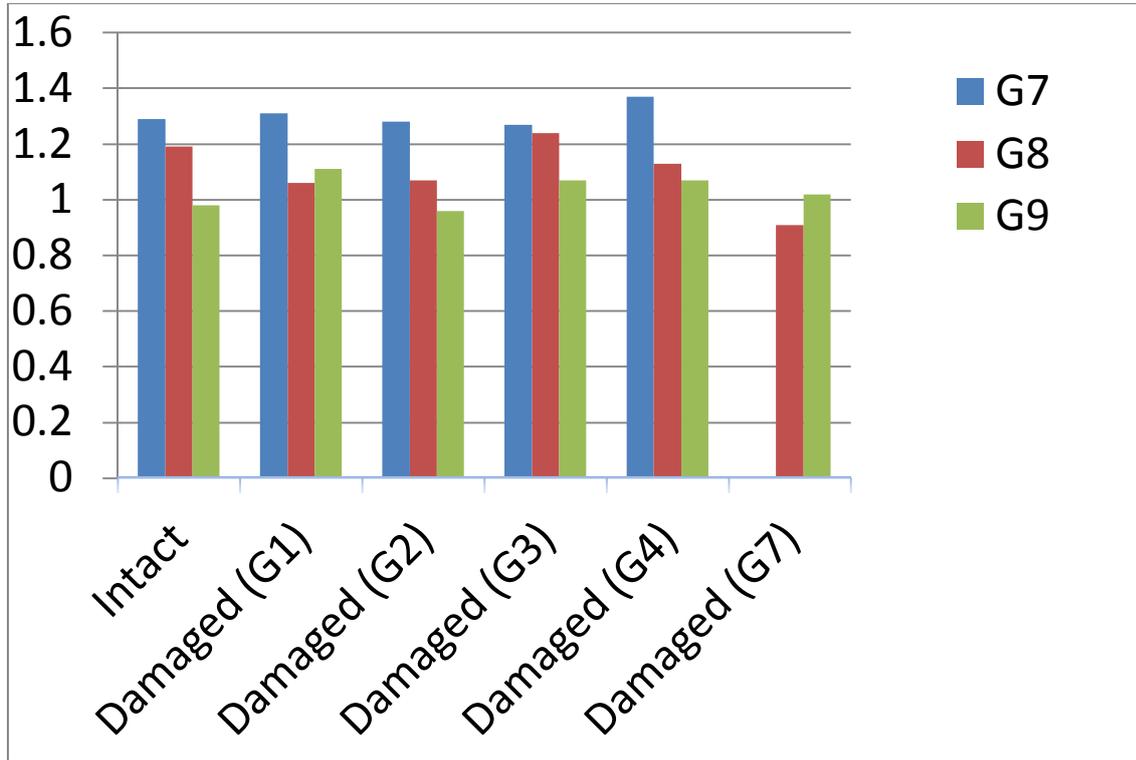
توضح الأشكال (3-10) و(3-11) و (3-12) مخططات مقارنة قيم معامل التضخيم لحالتي المنشأ:



الشكل (3-10) - مخطط مقارنة قيم معامل التضخيم لحالتي المنشأ للكبلات G1&G2&G3



الشكل (3-11) - مخطط مقارنة قيم معامل التضخيم لحالتي المنشأ للكبلات G4&G5&G6



الشكل (3-12) - مخطط مقارنة قيم معامل التضخيم لحالتي المنشأ للكبلات G7&G8&G9

• المنشأ السليم :

يلاحظ أن قيم معامل التضخيم تتراوح بين 70-160%، وهذا يتوافق مع نتائج الباحث (Amiri, 2002) بهذا الخصوص حيث تراوحت النسب من 50-200%، كما يلاحظ أن القيم في الكبلات الموافقة للاتجاه X (اتجاه تطبيق المركبة الأفقية العظمى ل EL Centro) هي الأكبر، وهذا أمر متوقع.

• المنشأ المتضرر :

□ المنسوب الأدنى :

يلاحظ أن قيم معامل التضخيم تتراوح بين 60-160%.

□ المنسوب الأوسط :

يلاحظ أن قيم معامل التضخيم تتراوح بين 80-185%.

□ المنسوب الأعلى :

يلاحظ أن قيم معامل التضخيم تتراوح بين 55-160%.

كما يوضح الجدول (3-15) قيم قوة الشد الأعظمية بالكبلات بالنسبة لحالة التحميل TH(H) و ذلك لحالتي المنشأ :

حالة المنشأ	قوة الشد الأعظمية بالكبل G1 (KN)	قوة الشد الأعظمية بالكبل G2 (KN)	قوة الشد الأعظمية بالكبل G3 (KN)	قوة الشد الأعظمية بالكبل G4 (KN)	قوة الشد الأعظمية بالكبل G5 (KN)	قوة الشد الأعظمية بالكبل G6 (KN)	قوة الشد الأعظمية بالكبل G7 (KN)	قوة الشد الأعظمية بالكبل G8 (KN)	قوة الشد الأعظمية بالكبل G9 (KN)
المنشأ السليم	63	59	38	81	67	47	129	118	98
انقطاع الكبل G1	-	40	38	89	53	56	130	107	111
انقطاع الكبل G2	54	-	32	79	58	41	129	106	95
انقطاع الكبل G3	63	60	-	79	72	55	128	123	107
انقطاع الكبل G4	72	51	42	-	62	55	136	113	106
انقطاع الكبل G7	63	33	40	100	39	50	-	91	102

الجدول (3-15) – قيم قوى الشد الأعظمية بالكبلات لحالتي المنشأ ل TH(H)

و بأخذ قيم معامل التضخيم نحصل على الجدول (3-16):

حالة المنشأ	معامل التضخيم بالكبل G1	معامل التضخيم بالكبل G2	معامل التضخيم بالكبل G3	معامل التضخيم بالكبل G4	معامل التضخيم بالكبل G5	معامل التضخيم بالكبل G6	معامل التضخيم بالكبل G7	معامل التضخيم بالكبل G8	معامل التضخيم بالكبل G9
المنشأ السليم	1.58	1.48	0.95	1.16	0.96	0.67	1.29	1.18	0.98
انقطاع الكبل G1	-	1.00	0.95	1.27	0.76	0.80	1.30	1.07	1.11
انقطاع الكبل G2	1.35	-	0.80	1.13	0.83	0.59	1.29	1.06	0.95
انقطاع الكبل G3	1.58	1.50	-	1.13	1.03	0.79	1.28	1.23	1.07
انقطاع الكبل G4	1.80	1.28	1.05	-	0.89	0.79	1.36	1.13	1.06
انقطاع الكبل G7	1.58	0.83	1.00	1.43	0.56	0.71	-	0.91	1.02

الجدول (3-16) – قيم معامل التضخيم بالكبلات لحالتي المنشأ ل TH(H)

يلاحظ أن قيم قوى الشد في الكبلات للتحميل TH(H) مشابهة تقريباً لحالة التحميل TH(H+V) مما يدل على محدودية تأثير المركبة الشاقولية ل El Centro على قوى الشد في الكبلات.

الاستنتاجات والتوصيات :

- إن انقطاع أحد الكبلات الواقعة على المنسوب الأدنى لم يغير قيم الدور بنسب كبيرة، بينما أدى انقطاع الكبل الواقع على المنسوبين الأوسط والأعلى إلى زيادة هذه القيمة، وبالتالي نقصان قيمة التردد وتأثر أقل للصواري المكبلة بالحمولات الزلزالية.
- إن انقطاع أحد الكبلات الواقعة على المنسوب الأدنى والأوسط لم يغير قيم القص القاعدي بنسب كبيرة، في حين أن انقطاع الكبل الواقع على المنسوب الأعلى يخفض هذه القيم بنسبة 12-29%.
- إن انقطاع أحد الكبلات الواقعة على المنسوب الأدنى والأوسط لم يغير قيم قوة الضغط المحورية في قاعدة المنشأ بنسب كبيرة، في حين أن انقطاع الكبل الواقع على المنسوب الأعلى يخفض هذه القيم بنسبة 16-18%.
- يجب ألا تقل قوة الشد المسبقة بالكبلات عن 10% من قوة انقطاع الكبلات العظمى عند تصميم الصواري المكبلة حيث إن ذلك يساعد على تقليل الانتقالات الأفقية الناتجة عن الحمولات الزلزالية.
- يتوجب في تصميم الصواري المكبلة إعطاء الانتباه الخاص لحساب العناصر الشاقولية المشكلة لقاعدة الصارية، و جميع العناصر الحرجة على قوة الضغط المحورية الناتجة من الحمولات الزلزالية، و العناية بتركيبات الحمولات التي توصي بها الكودات، والتي تتضمن جميع الحمولات بما فيها الحمل الزلزالي، و المقارنة بين النظم المختلفة التي تتبع فيها أحمال التركيب.
- يمكن أن يكتفى بإدخال تأثير المركبتين الأفقيتين للحمولة الزلزالية فقط حيث تأثير المركبة الشاقولية على النتائج كان محدوداً.

- إن انقطاع الكبلات هو موضوع متداخل يتطلب دراسة تفصيلية بطرق معقدة مثل طريقة السلاسل الزمنية (Time Series Analysis) أو طريقة التحليل العشوائي (Random Vibration Analysis) .

المراجع :

● المقالات و الأوراق العلمية

[1] C.Gantes, R.Khoury, J.J.Connor and C.Pouangare, Modeling, Loading and Preliminary Design Considerations for Tall Guyed Towers, Computers and Structures, Vol.49,No.5, pp.797-805, 1993

[2] Murty K.S. Madugula , Yohanna M.F. Wahba and Gerard R. Monforton, Dynamic Response of Guyed Masts, Engineering Structures, Vol.20, No.12, pp.1097-1101, 1998

[3] G. Ghodrati Amiri, Seismic Sensitivity Indicators for Tall Guyed Telecommunication Towers, Computers and Structures, 80, 349-364, 2002

[4] Matthew Grey, Finite Element Seismic Analysis of Guyed Masts, MSc Thesis, University of Oxford, 2006

[5] Nigli Zhu, Wind Tunnel Test for Guyed Mast Dynamic Characteristics Under Wind Loads , MSc Thesis, University of Saskatchewan, 2007

[6] Gregory M. Hensley, Raymond H. Plaut, Three-dimensional Analysis of the Seismic Response of Guyed Mast, Engineering Structures, 29, 2254-2261, 2007

[7] Monika Matuszkiewicz, Calculation of Guyed Masts in Accordance with EN 1993-3-1 Standard Taking Into Account Mast Shaft Geometrical Imperfections, Engineering Structures, 33, 2044-2048, 2011

● الكتب

[8] Ray W.Clough, Joseph Penzien, Dynamics of Structures, McGraw-Hill, USA, 1975

[9] Murty K.S. Madugula, Dynamic Response of Lattice Towers and Guyed Mast, American Society of Civil Engineers, Virginia, USA, 2002

[10] CSI Analysis Reference Manual For SAP2000, ETABS and SAFE, Computers and Structures, Inc., Berkeley, California, USA, 2005

[11] Brian W. Smith, Communication Structures, Thomas Telford, London, Britain, 2007

• الكودات

[12] ASCE Manuals and Reports on Engineering Practice No.52 Guide for Design of Steel Transmission Towers, American Society of Civil Engineers, NY , USA, 1988

[13] ASCE Manuals and Reports on Engineering Practice No.72 Guide for Design of Steel Transmission Towers, American Society of Civil Engineers, NY , USA, 1990

[14] ASCE Manuals and Reports on Engineering Practice No.91 Design of Guyed Electrical Transmission Structures, American Society of Civil Engineers, NY, USA, 1997

[15] European Standard, Eurocode 8: Design of Structures for Earthquake Resistance, Part 6: Towers, Masts and Chimneys, 2003

• المواقع الالكترونية

[16] <http://perfektwerner.pl/en/najwazniejsze-realizacje>

[17] <http://peer.berkeley.edu/svbin/Detail?id=P0006>

• البرامج المستخدمة

SAP2000 Ultimate, ver 15.0.1, Structural Analysis Program, Computers and Structures, Inc., Berkeley, California, USA

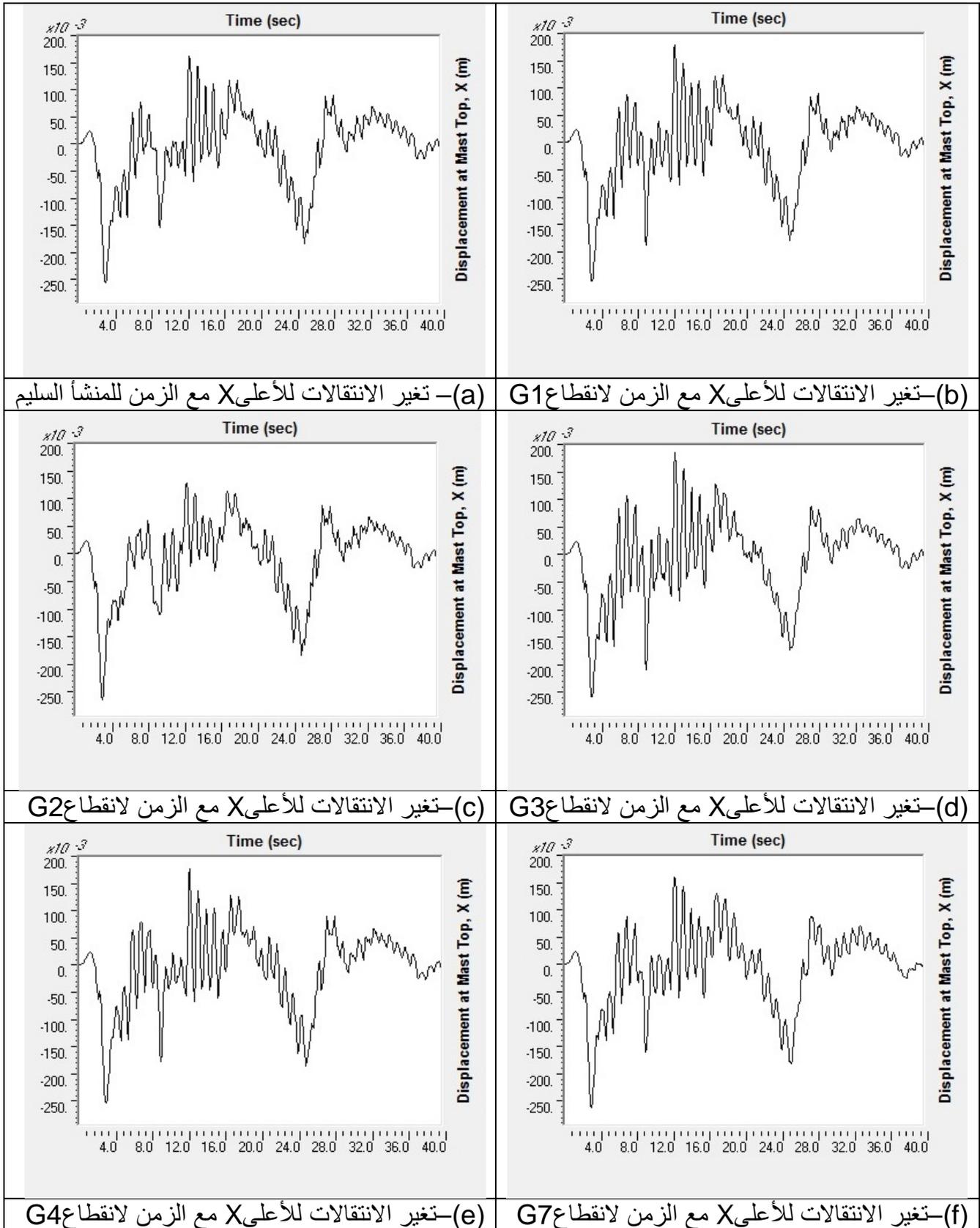
SeismoSignal ,ver 4.3.0, SeismoSoft

Microsoft Excel 2010

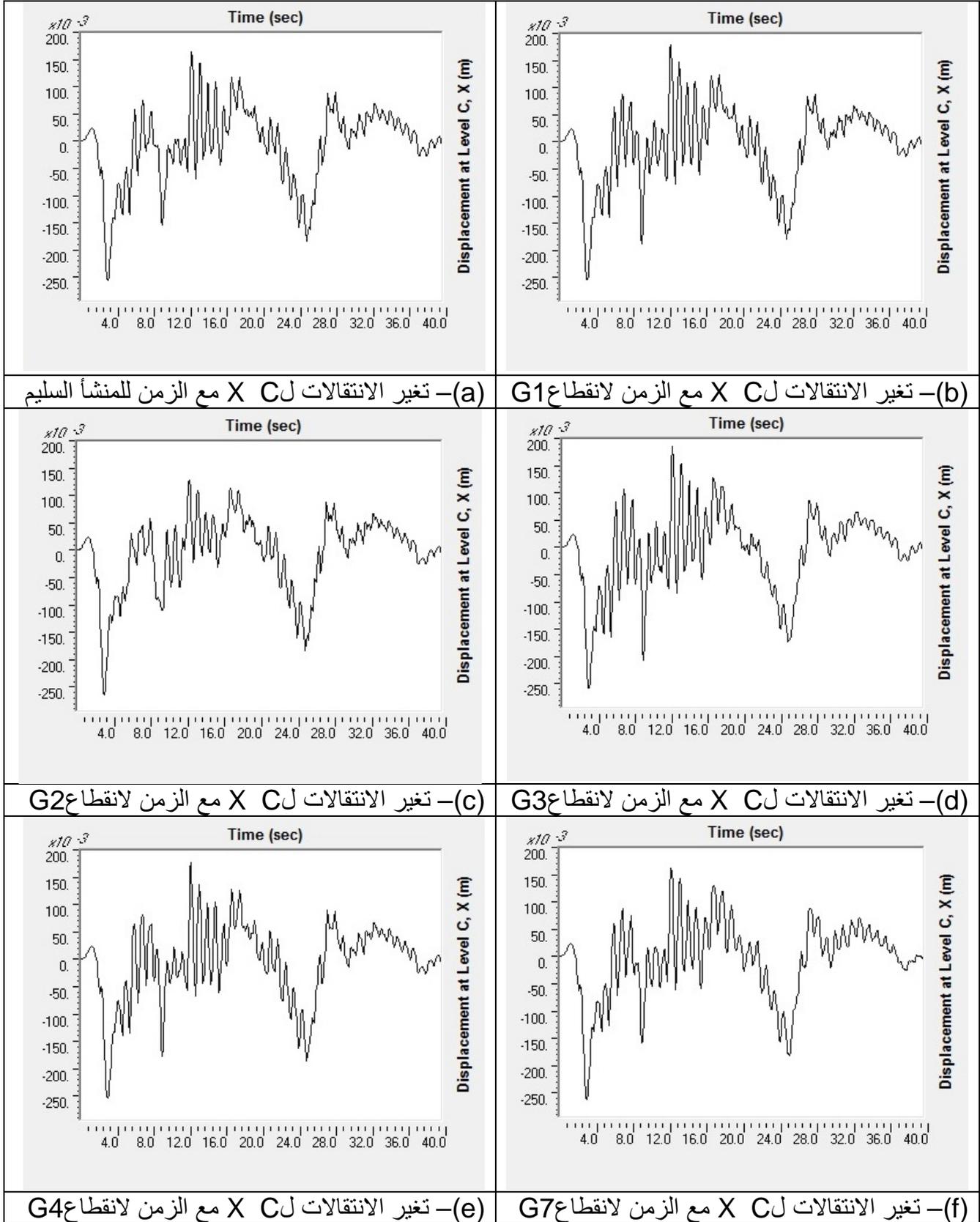
الملحق :

يتضمن الملحق مخططات تغير قيم الانتقالات، و القص القاعدي، و القوة المحورية في قاعدة

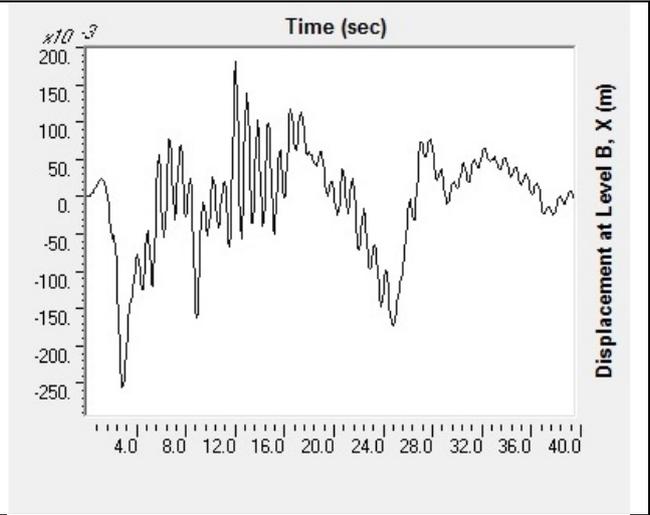
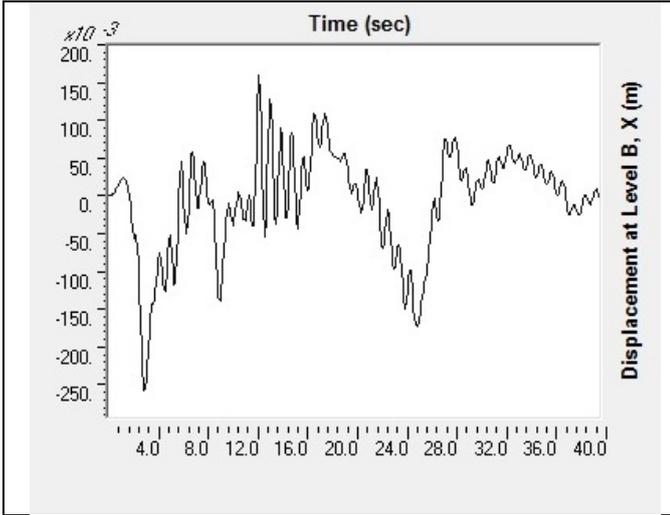
المنشأ، و قوى الشد بالكبلات مع الزمن لحالة التحميل $TH(H+V)$.



الشكل (A-1) - تغيير الانتقالات لأعلى الصارية بالاتجاه X مع الزمن ل TH(H+V)

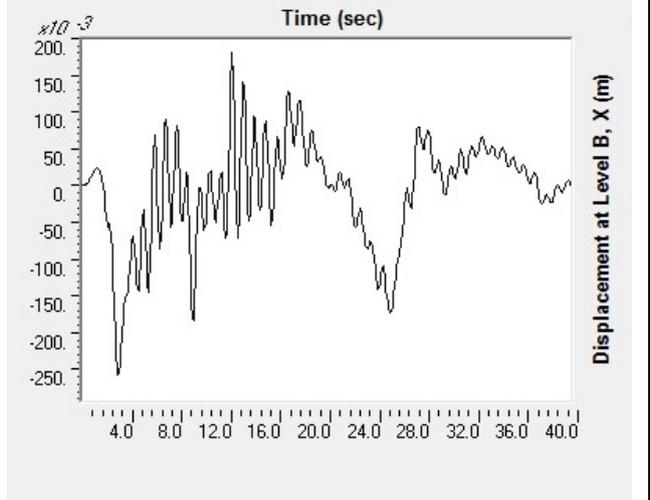
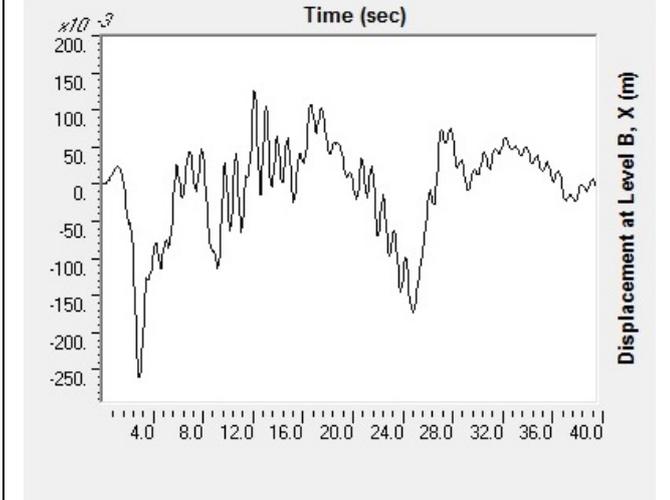


الشكل (A-2) - تغير الانتقالات للمنسوب الأعلى C بالاتجاه X مع الزمن ل TH(H+V)



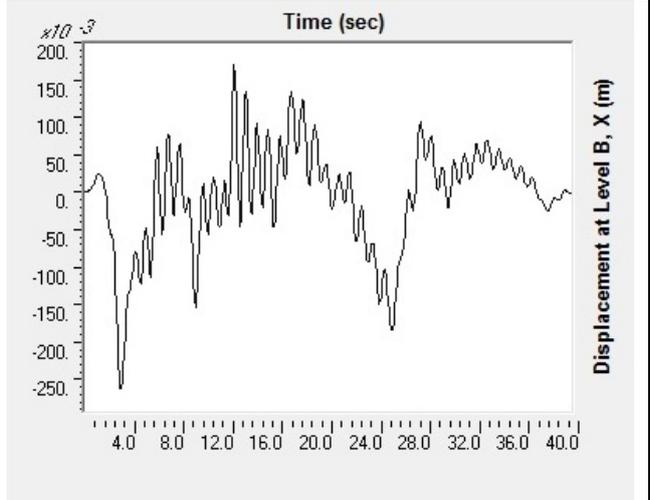
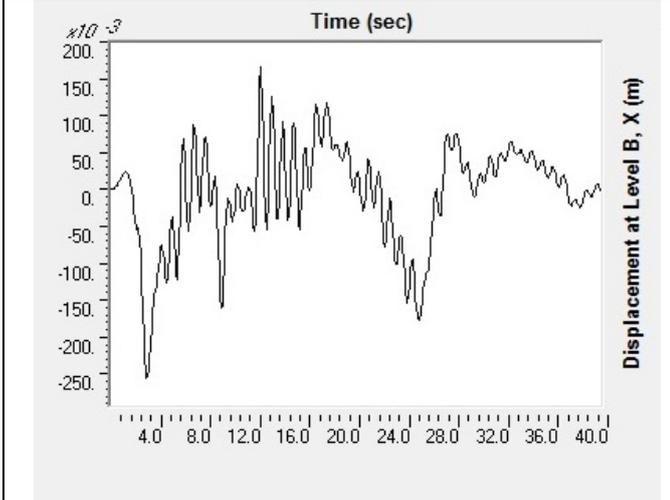
(a) - تغير الانتقالات لـ B مع الزمن للمنشأ السليم

(b) - تغير الانتقالات لـ B مع الزمن لانقطاع G1



(c) - تغير الانتقالات لـ B مع الزمن لانقطاع G2

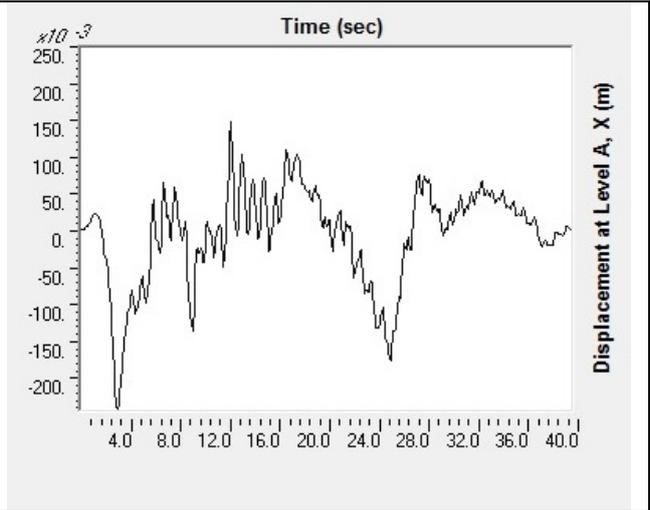
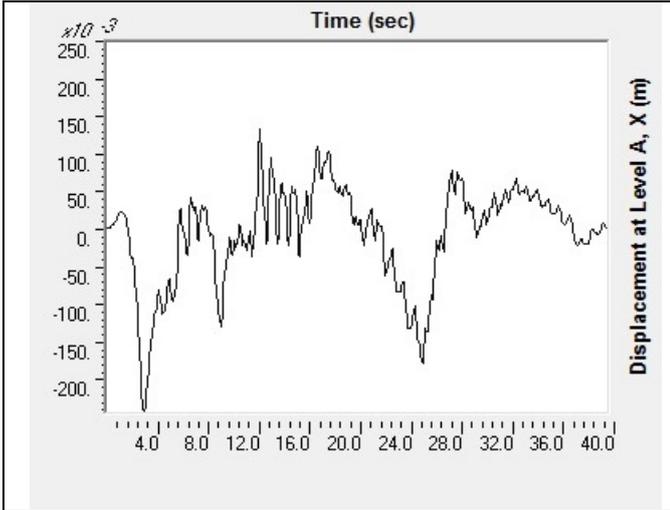
(d) - تغير الانتقالات لـ B مع الزمن لانقطاع G3



(e) - تغير الانتقالات لـ B مع الزمن لانقطاع G4

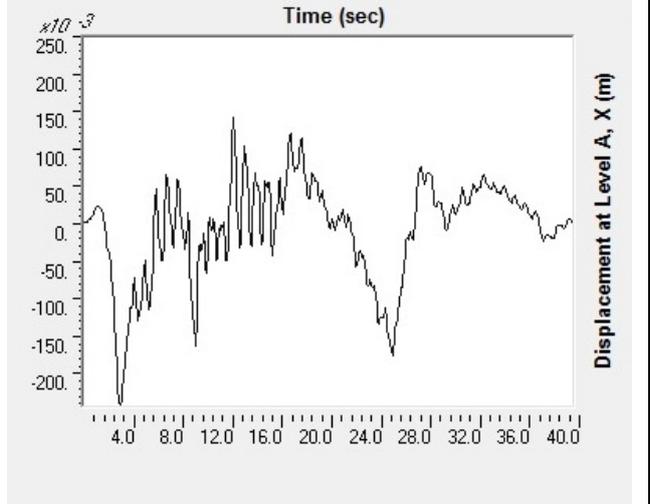
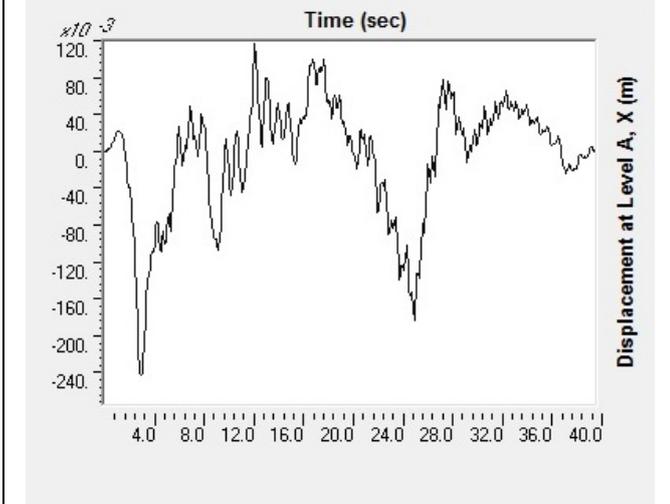
(f) - تغير الانتقالات لـ B مع الزمن لانقطاع G7

الشكل (A-3) - تغير الانتقالات للمنسوب الأوسط B بالاتجاه X مع الزمن لـ TH(H+V)



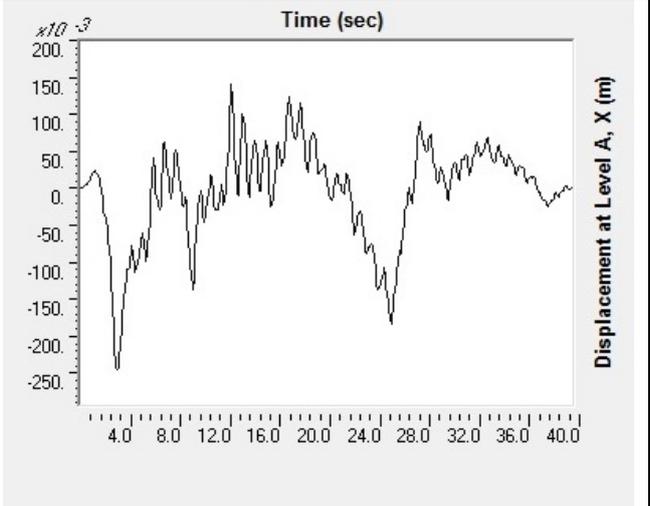
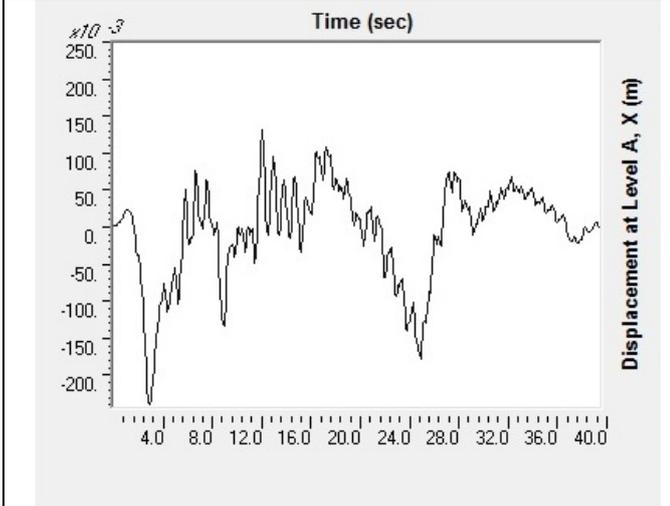
(a) - تغير الانتقالات لـ A مع الزمن للمنشأ السليم

(b) - تغير الانتقالات لـ A مع الزمن لانقطاع G1



(c) - تغير الانتقالات لـ A مع الزمن لانقطاع G2

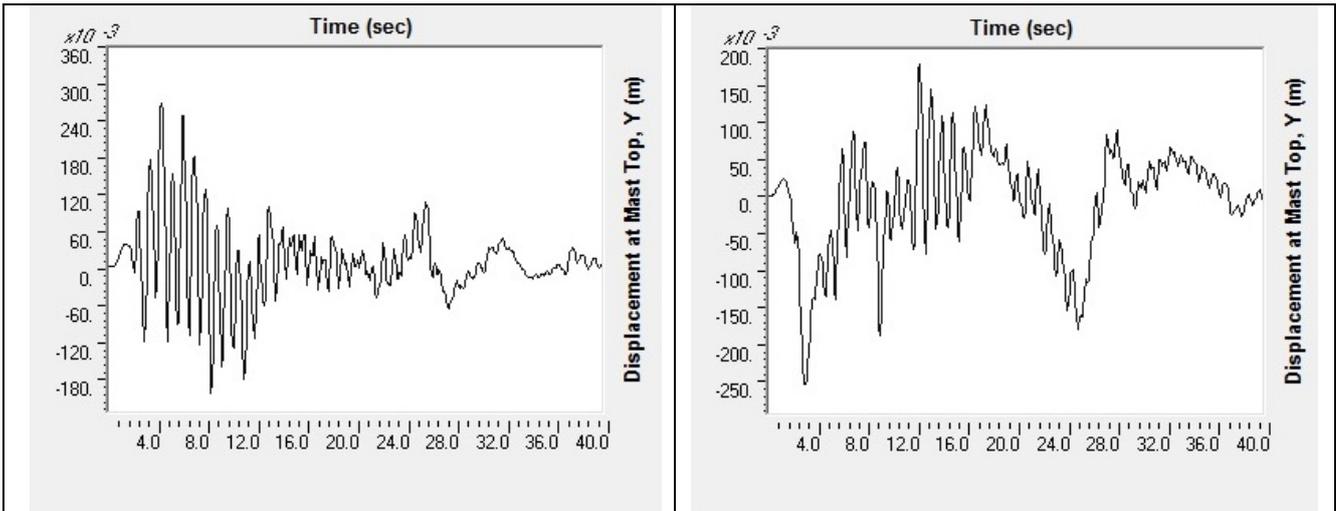
(d) - تغير الانتقالات لـ A مع الزمن لانقطاع G3



(e) - تغير الانتقالات لـ A مع الزمن لانقطاع G4

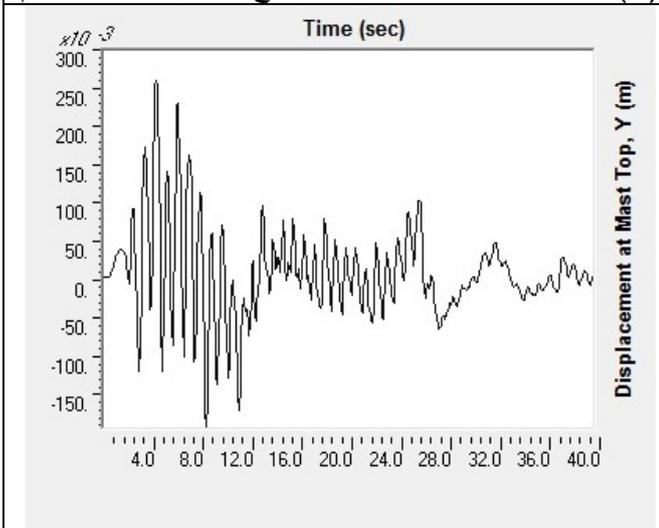
(f) - تغير الانتقالات لـ A مع الزمن لانقطاع G7

الشكل (A-4) - تغير الانتقالات للمنسوب الأدنى A بالاتجاه X مع الزمن لـ TH(H+V)

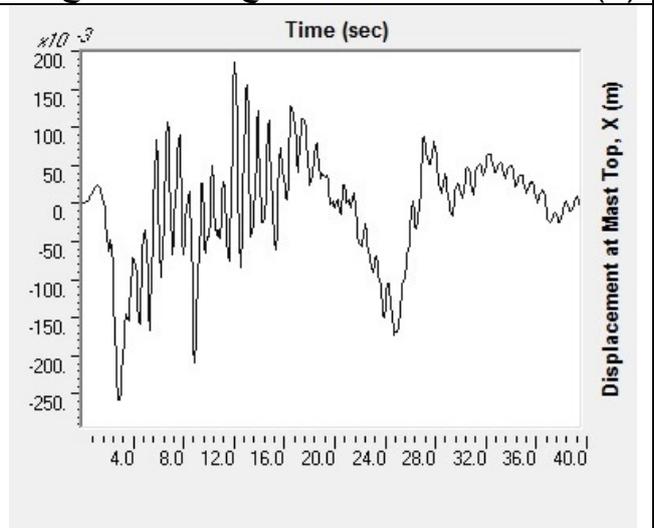


(a) - تغيير الانتقالات للأعلى Y مع الزمن للمنشأ السليم

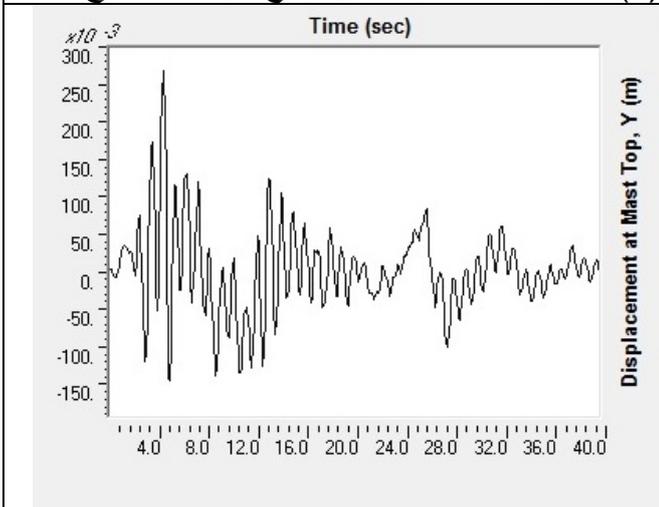
(b) - تغيير الانتقالات للأعلى Y مع الزمن لانقطاع G1



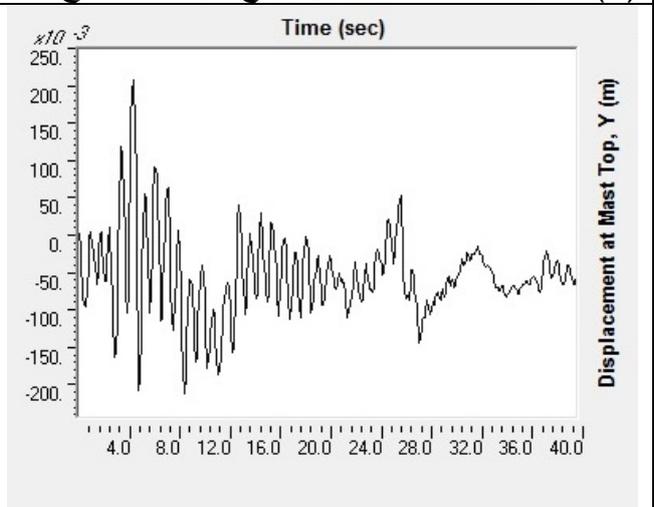
(c) - تغيير الانتقالات للأعلى Y مع الزمن لانقطاع G2



(d) - تغيير الانتقالات للأعلى Y مع الزمن لانقطاع G3

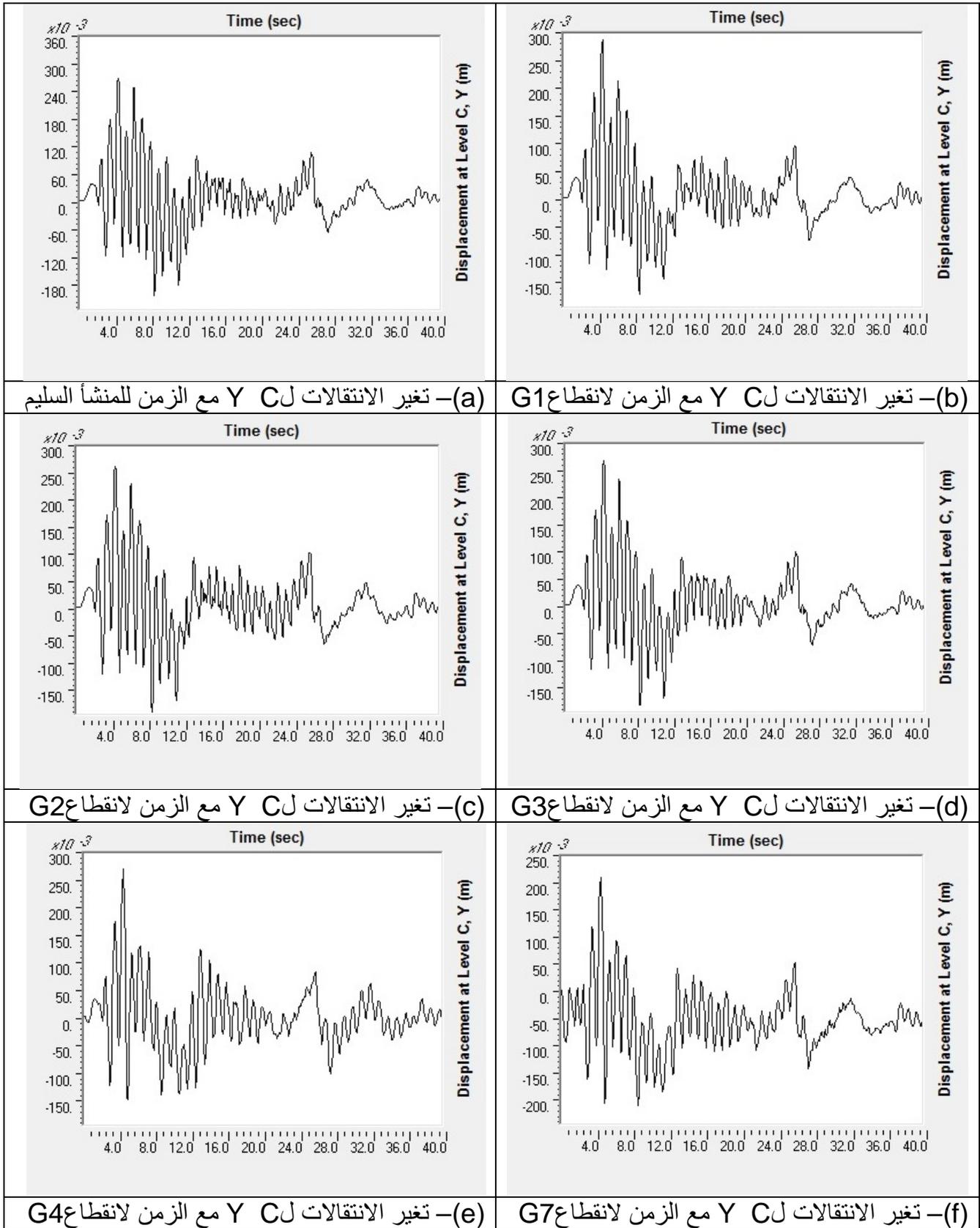


(e) - تغيير الانتقالات للأعلى Y مع الزمن لانقطاع G4

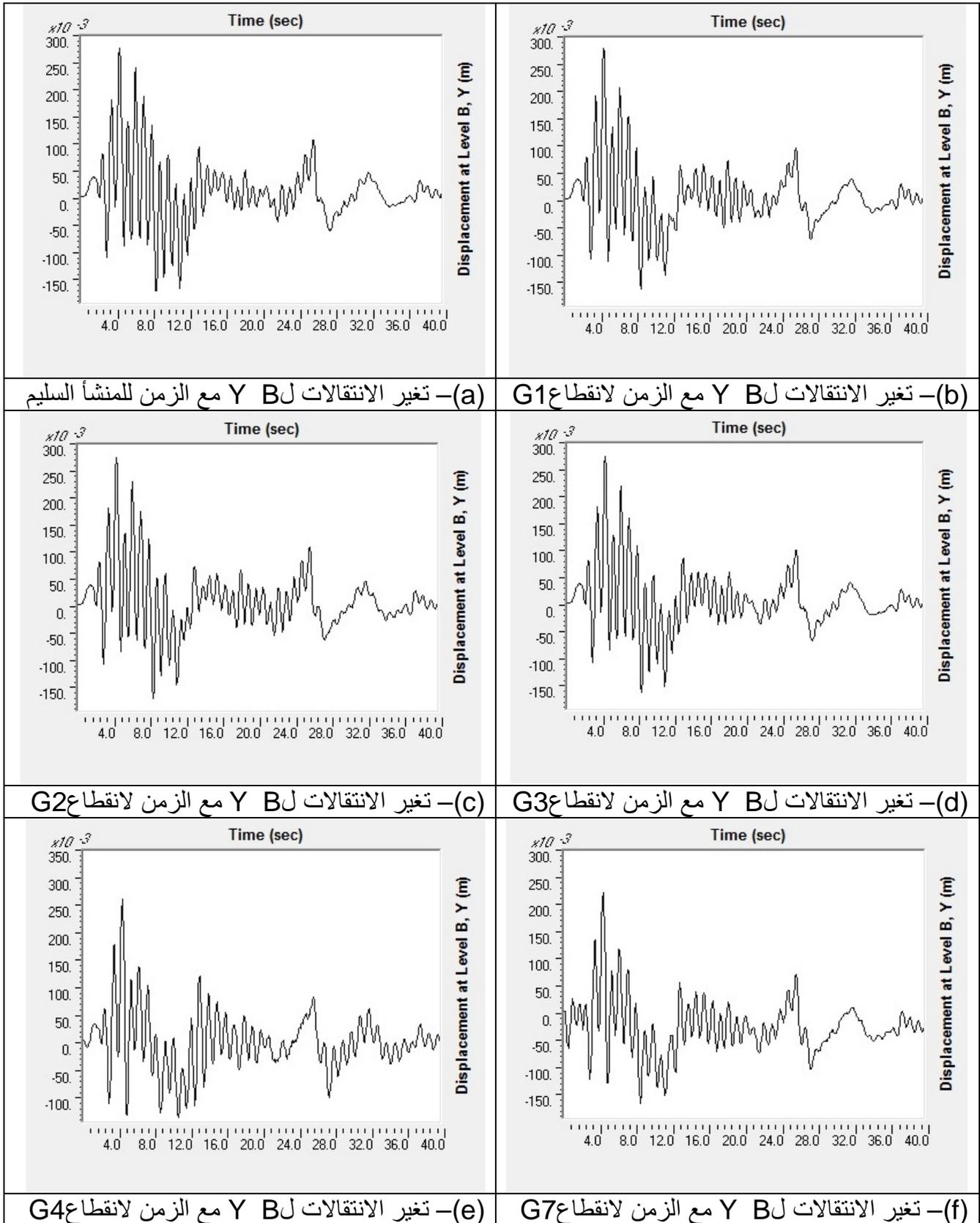


(f) - تغيير الانتقالات للأعلى Y مع الزمن لانقطاع G7

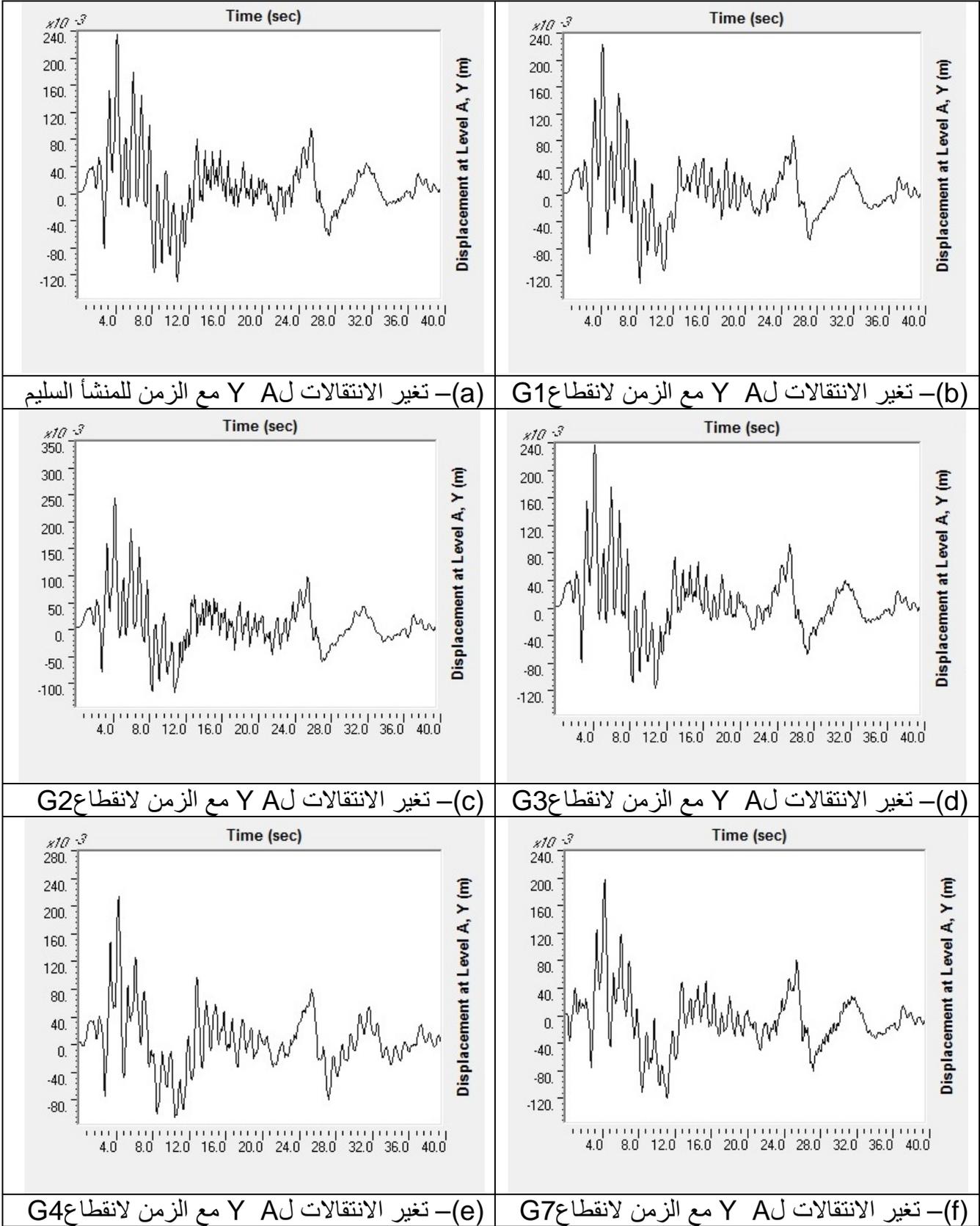
الشكل (A-5) - تغيير الانتقالات لأعلى الصارية بالاتجاه Y مع الزمن ل TH(H+V)



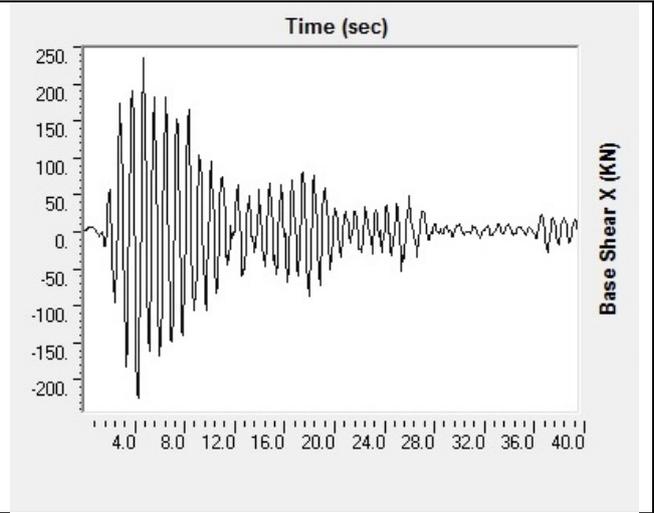
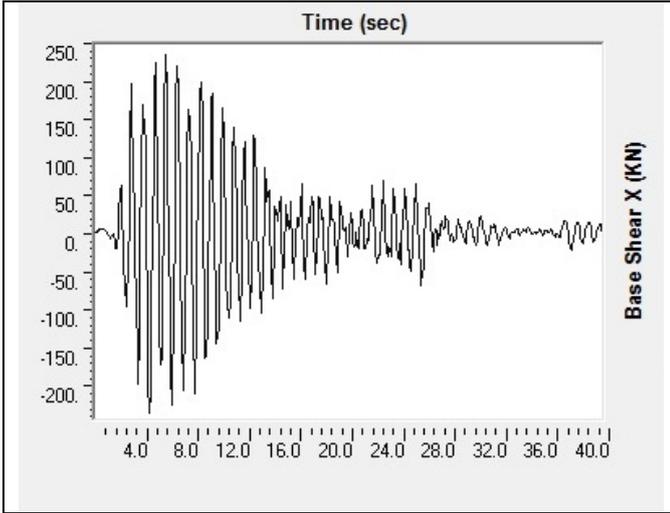
الشكل (A-6) - تغير الانتقالات للمنسوب الأعلى C بالاتجاه Y مع الزمن ل TH(H+V)



الشكل (A-7) - تغير الانتقالات للمنسوب الأوسط B بالاتجاه Y مع الزمن ل TH(H+V)

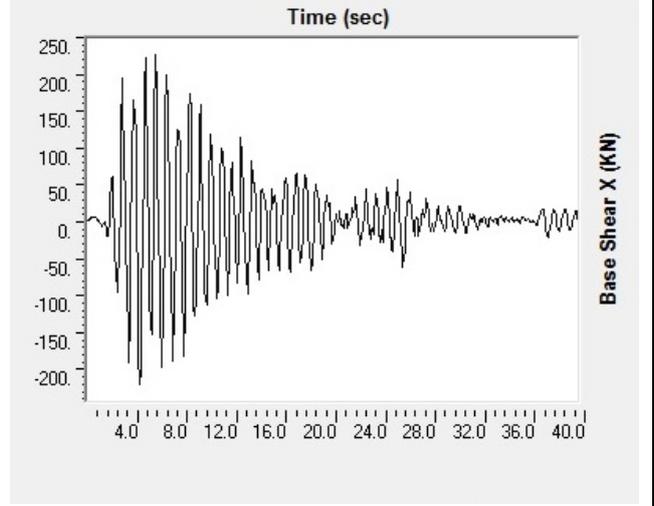
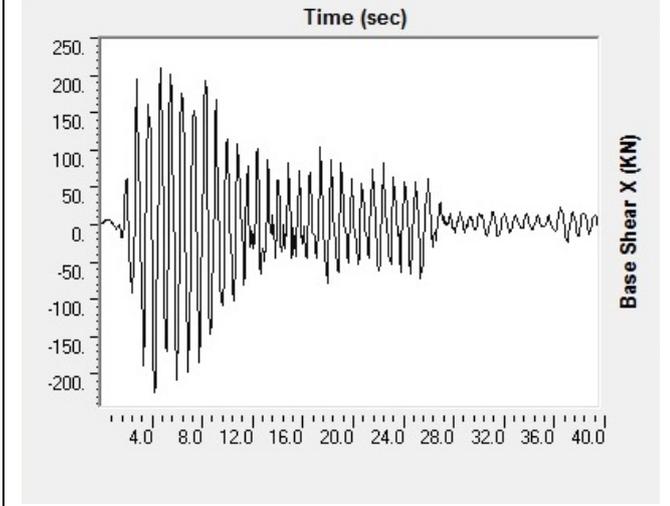


الشكل (A-8) - تغير الانتقالات للمنسوب الأدنى A بالاتجاه Y مع الزمن ل TH(H+V)



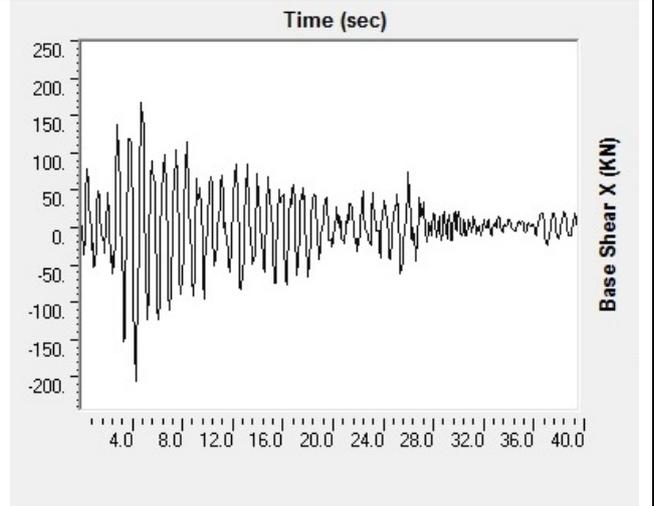
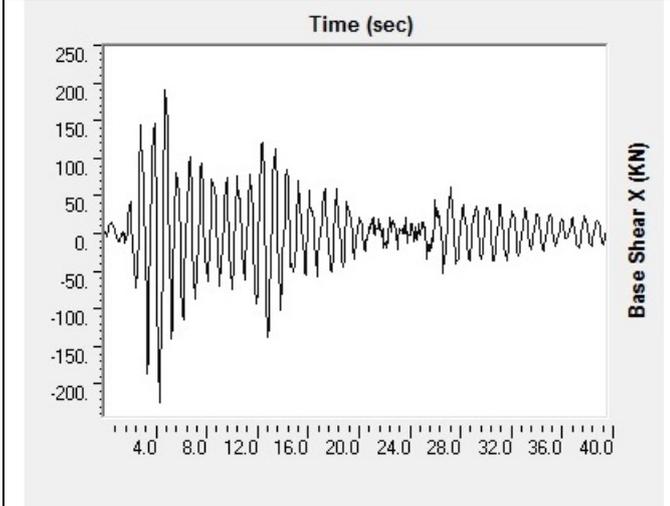
(a) - تغير القص القاعدي X مع الزمن للمنشأ السليم

(b) - تغير القص القاعدي X مع الزمن لانقطاع G1



(c) - تغير القص القاعدي X مع الزمن لانقطاع G2

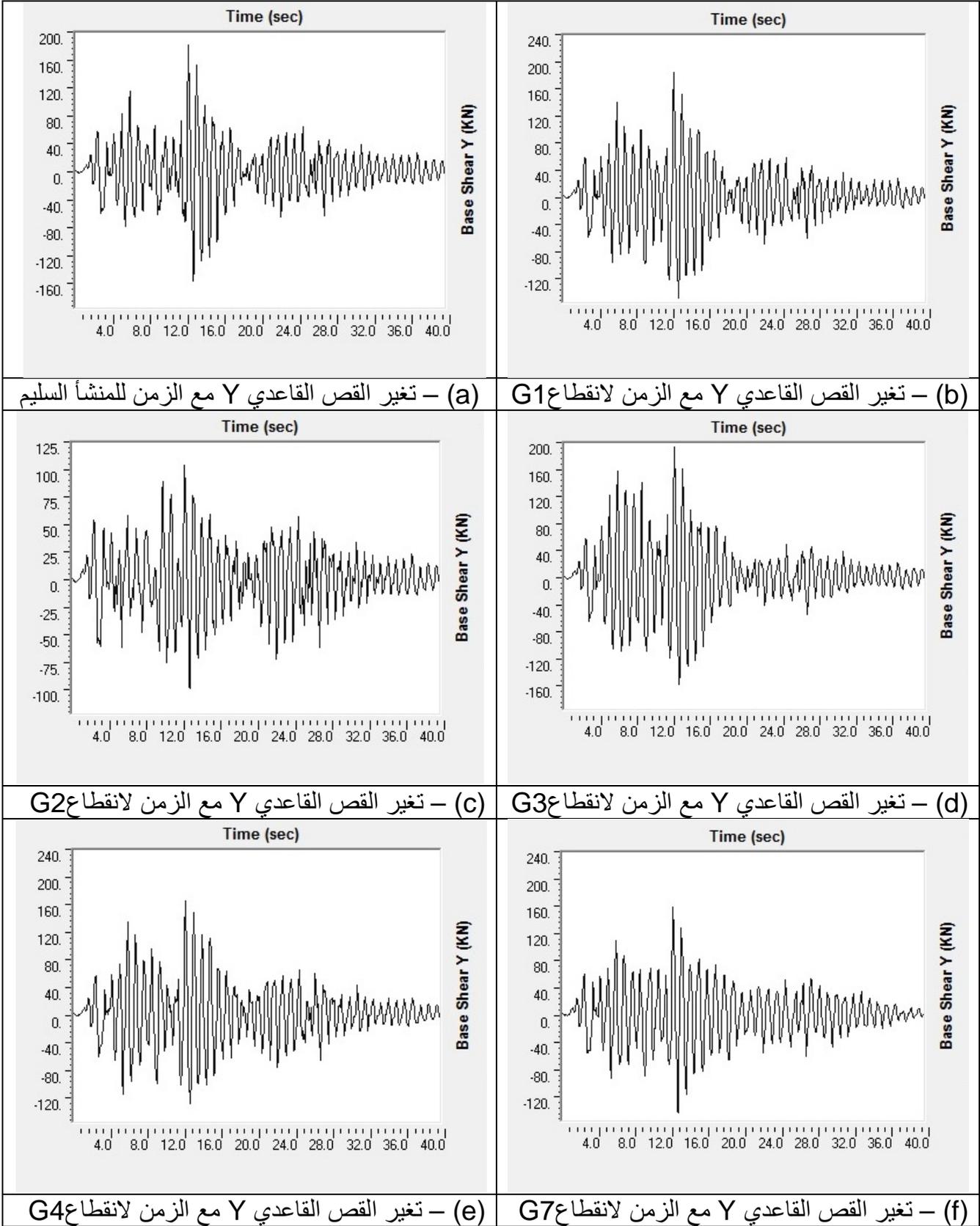
(d) - تغير القص القاعدي X مع الزمن لانقطاع G3



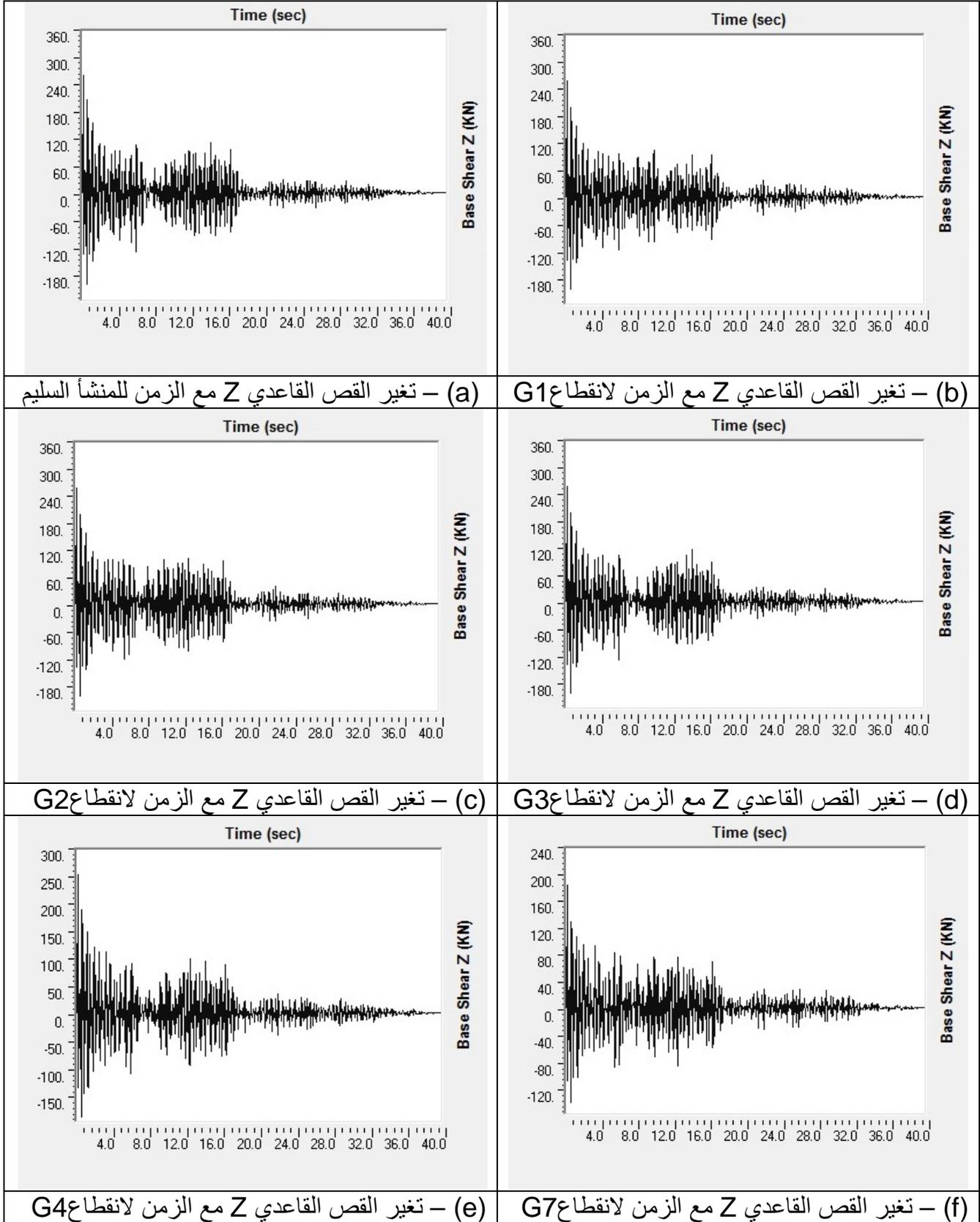
(e) - تغير القص القاعدي X مع الزمن لانقطاع G4

(f) - تغير القص القاعدي X مع الزمن لانقطاع G7

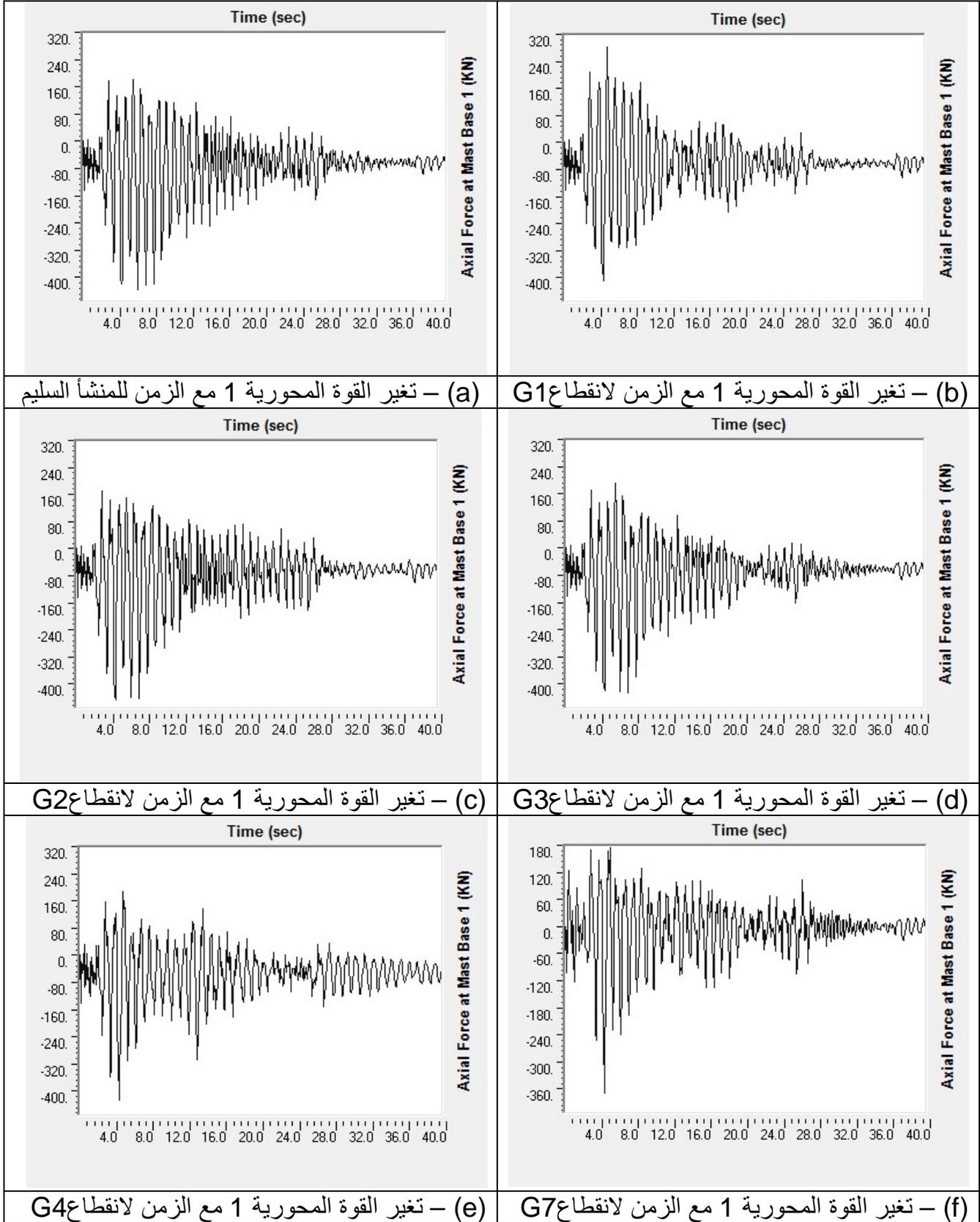
الشكل (A-9) - تغير القص القاعدي بالاتجاه X مع الزمن ل TH(H+V)



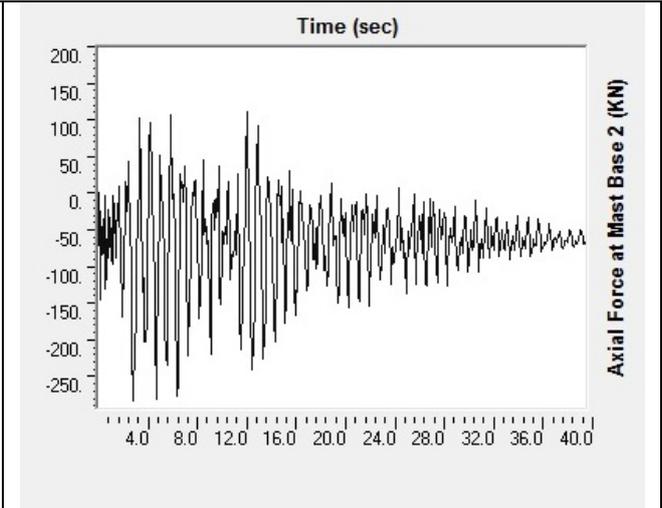
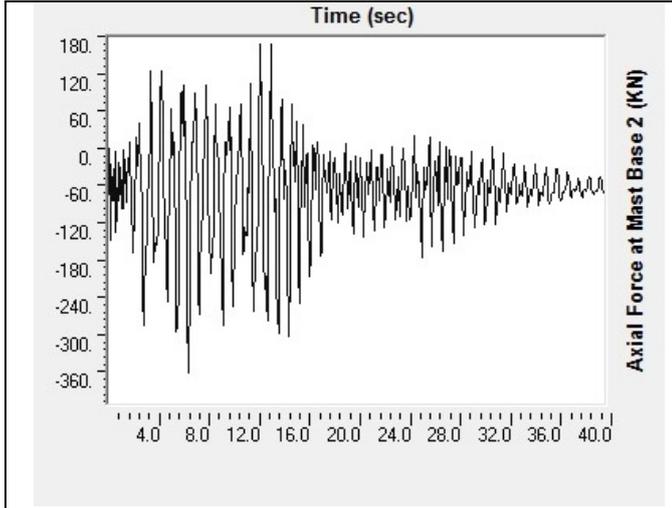
الشكل (A-10) - تغير القص القاعدي بالاتجاه Y مع الزمن ل TH(H+V)



الشكل (A-11) – تغير القص القاعدي بالاتجاه Z مع الزمن ل TH(H+V)

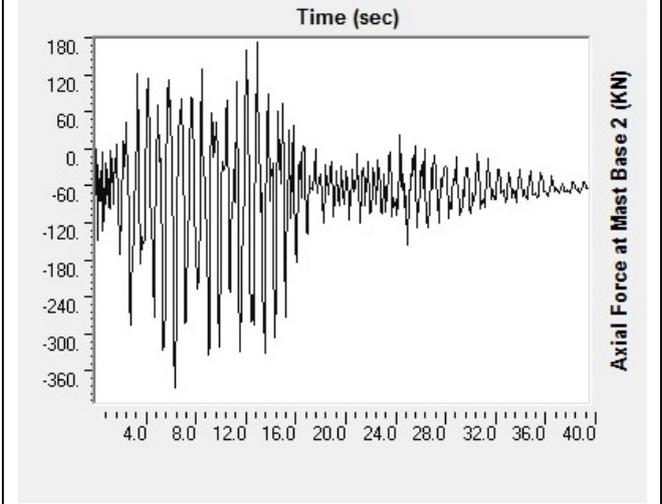
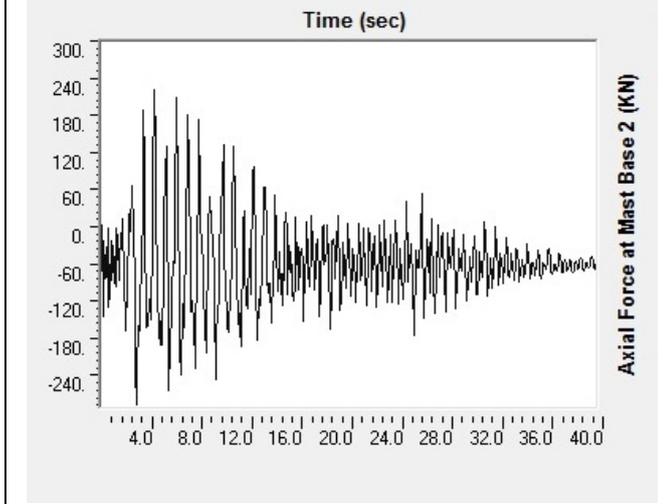


الشكل (A-12) - تغير القوة المحورية بالاتجاه 1 مع الزمن ل TH(H+V)



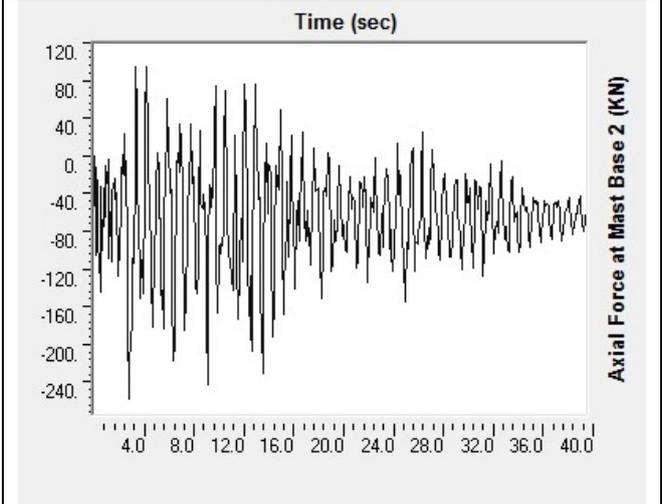
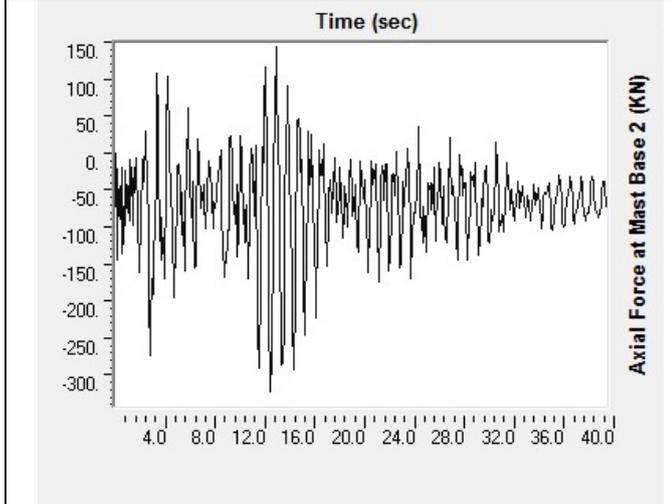
(a) - تغير القوة المحورية 2 مع الزمن للمنشأ السليم

(b) - تغير القوة المحورية 2 مع الزمن لانقطاع G1



(c) - تغير القوة المحورية 2 مع الزمن لانقطاع G2

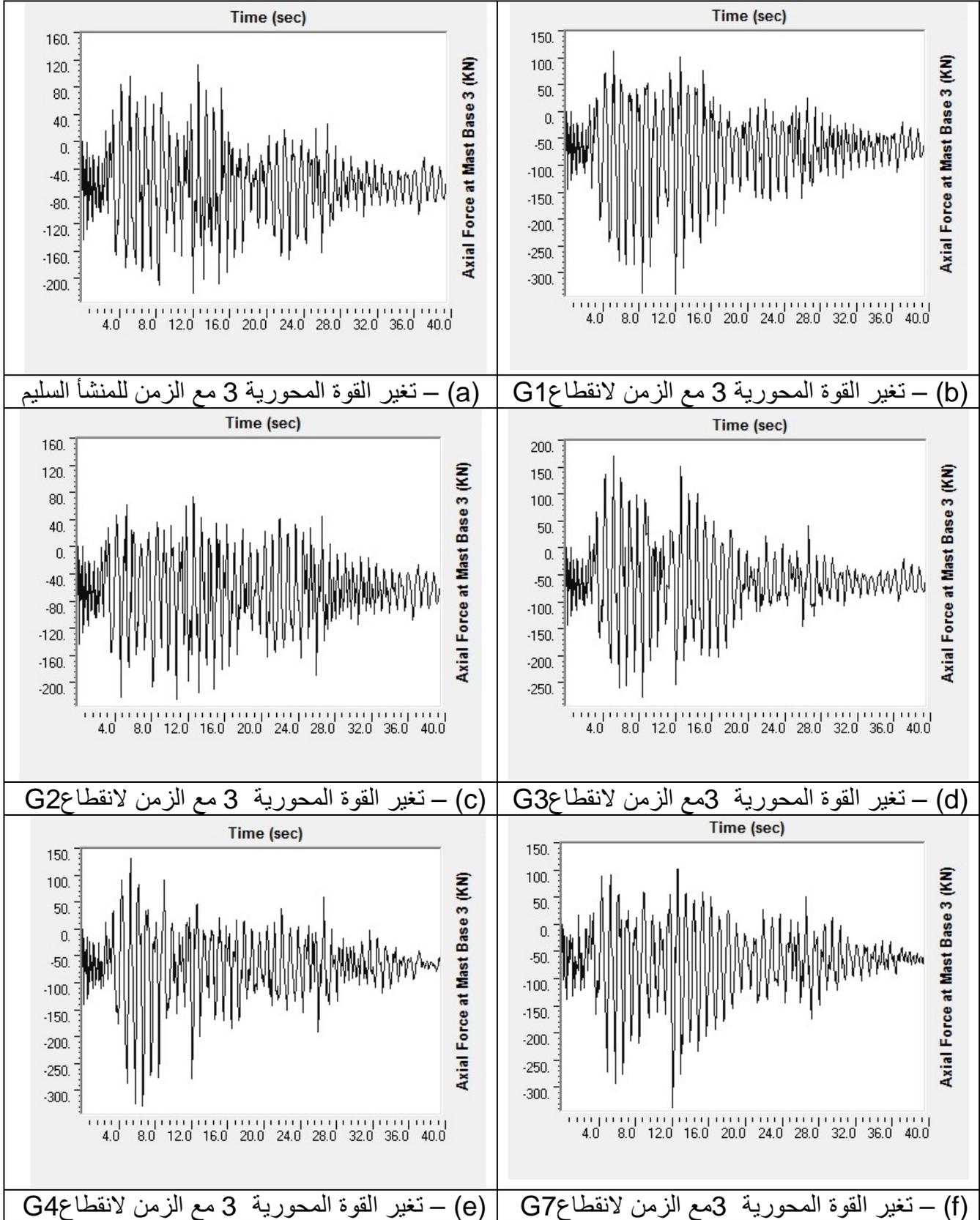
(d) - تغير القوة المحورية 2 مع الزمن لانقطاع G3



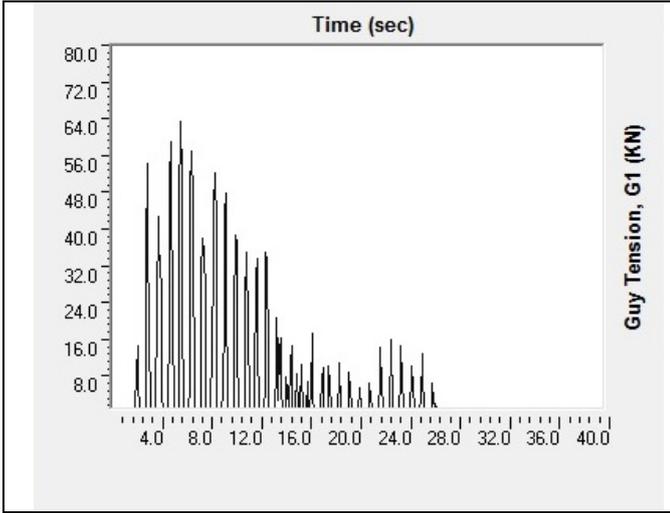
(e) - تغير القوة المحورية 2 مع الزمن لانقطاع G4

(f) - تغير القوة المحورية 2 مع الزمن لانقطاع G7

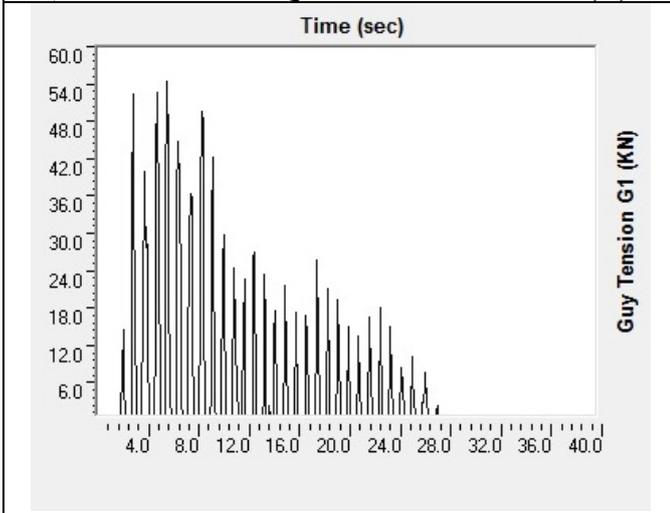
الشكل (A-13) - تغير القوة المحورية بالاتجاه 2 مع الزمن ل TH(H+V)



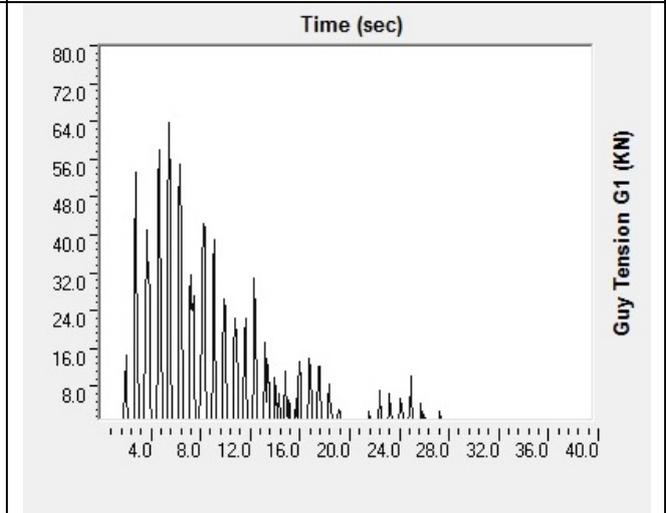
الشكل (A-14) - تغير القوة المحورية بالاتجاه 3 مع الزمن ل TH(H+V)



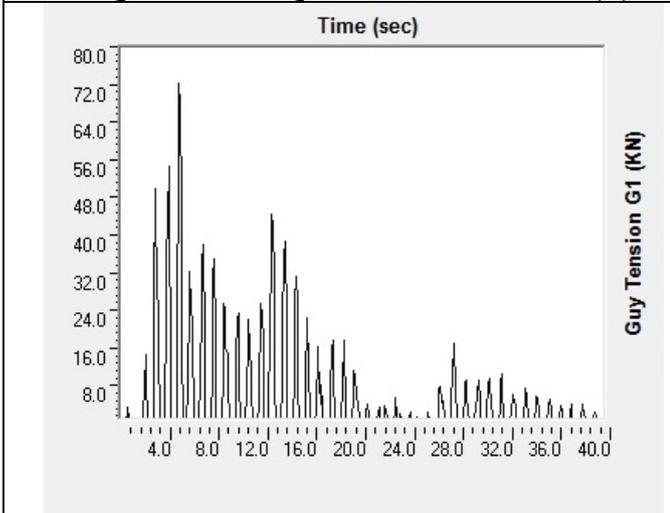
(a) - تغيير قوة الشد G1 مع الزمن للمنشأ السليم



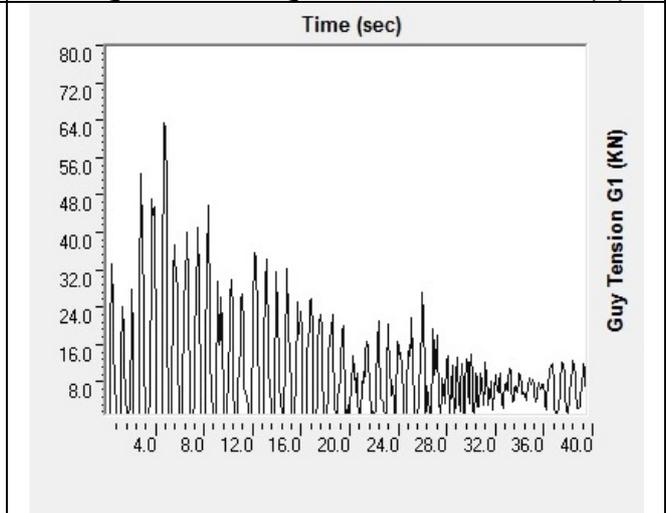
(c) - تغيير قوة الشد G1 مع الزمن لانقطاع G2



(d) - تغيير قوة الشد G1 مع الزمن لانقطاع G3

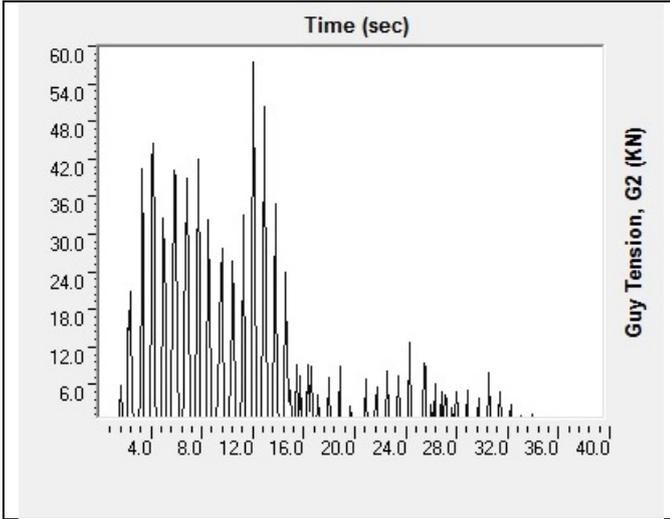


(e) - تغيير قوة الشد G1 مع الزمن لانقطاع G4

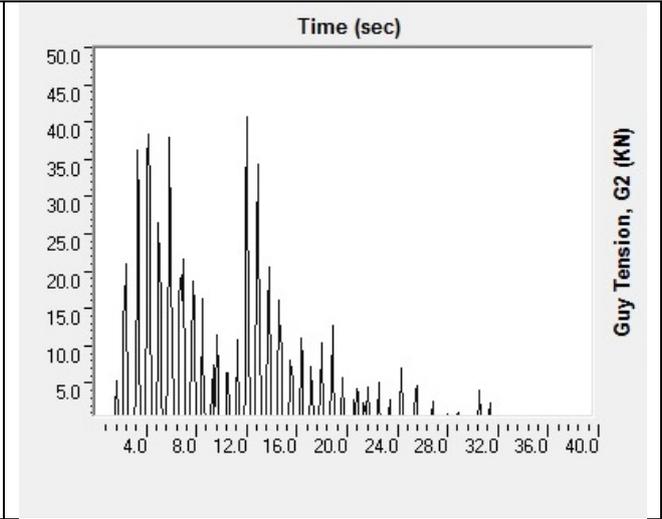


(f) - تغيير قوة الشد G1 مع الزمن لانقطاع G7

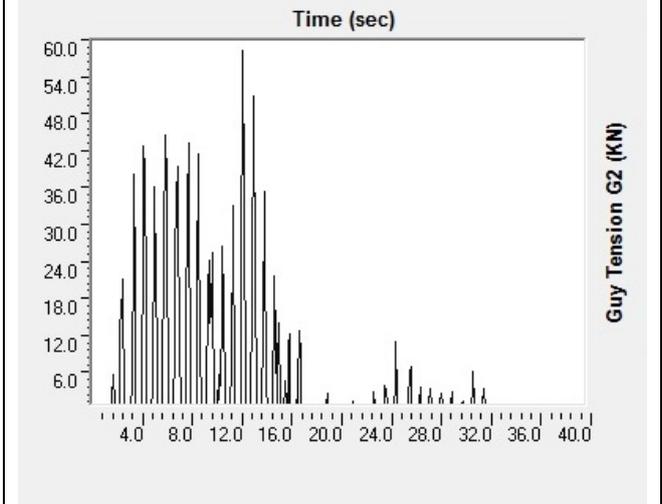
الشكل (A-15) - تغيير قوة الشد بالكبل G1 مع الزمن ل TH(H+V)



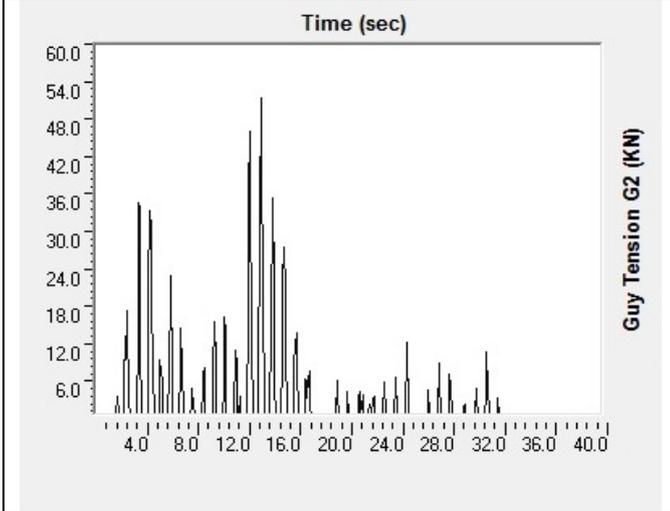
(a) - تغيير قوة الشد G2 مع الزمن للمنشأ السليم



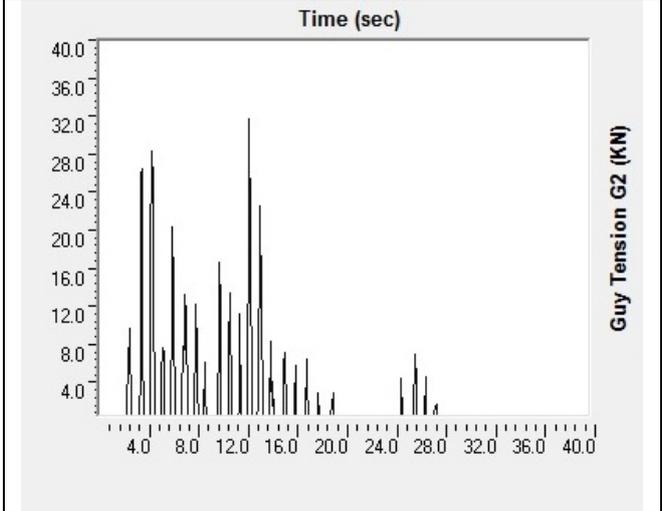
(b) - تغيير قوة الشد G2 مع الزمن لانقطاع G1



(d) - تغيير قوة الشد G2 مع الزمن لانقطاع G3

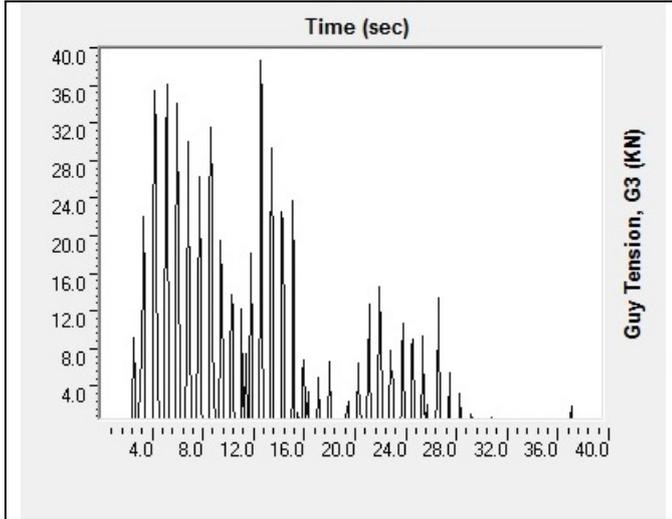


(e) - تغيير قوة الشد G2 مع الزمن لانقطاع G4

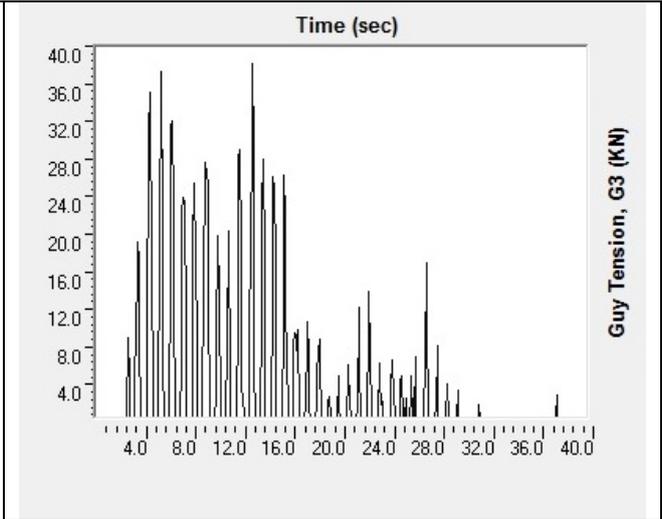


(f) - تغيير قوة الشد G2 مع الزمن لانقطاع G7

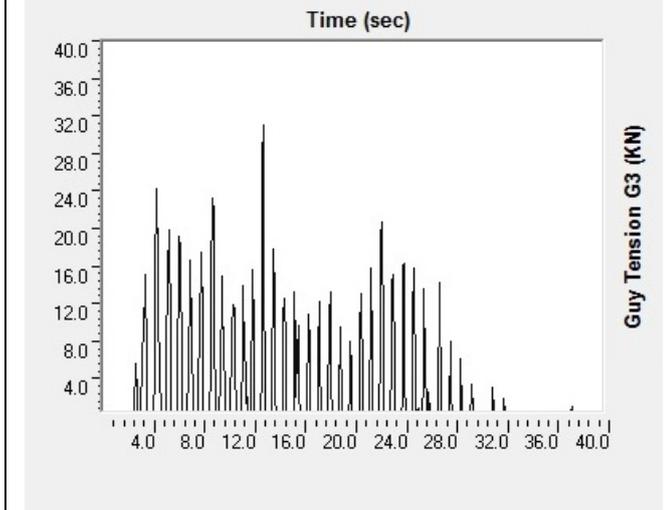
الشكل (A-16) - تغيير قوة الشد بالكبل G2 مع الزمن ل TH(H+V)



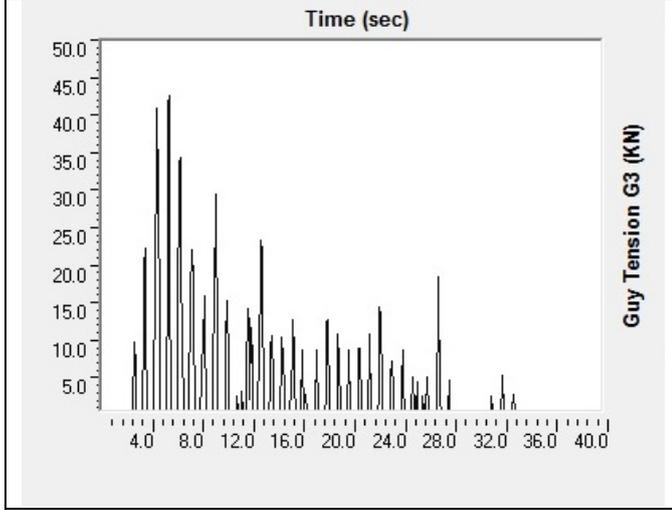
(a) - تغيير قوة الشد G3 مع الزمن للمنشأ السليم



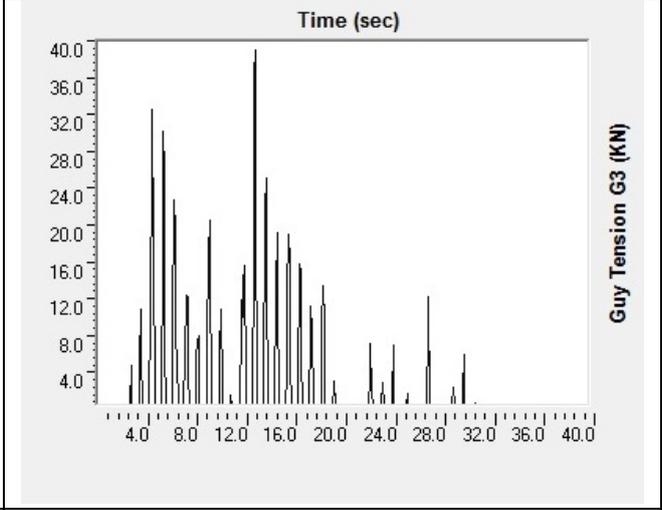
(b) - تغيير قوة الشد G3 مع الزمن لانقطاع G1



(c) - تغيير قوة الشد G3 مع الزمن لانقطاع G2

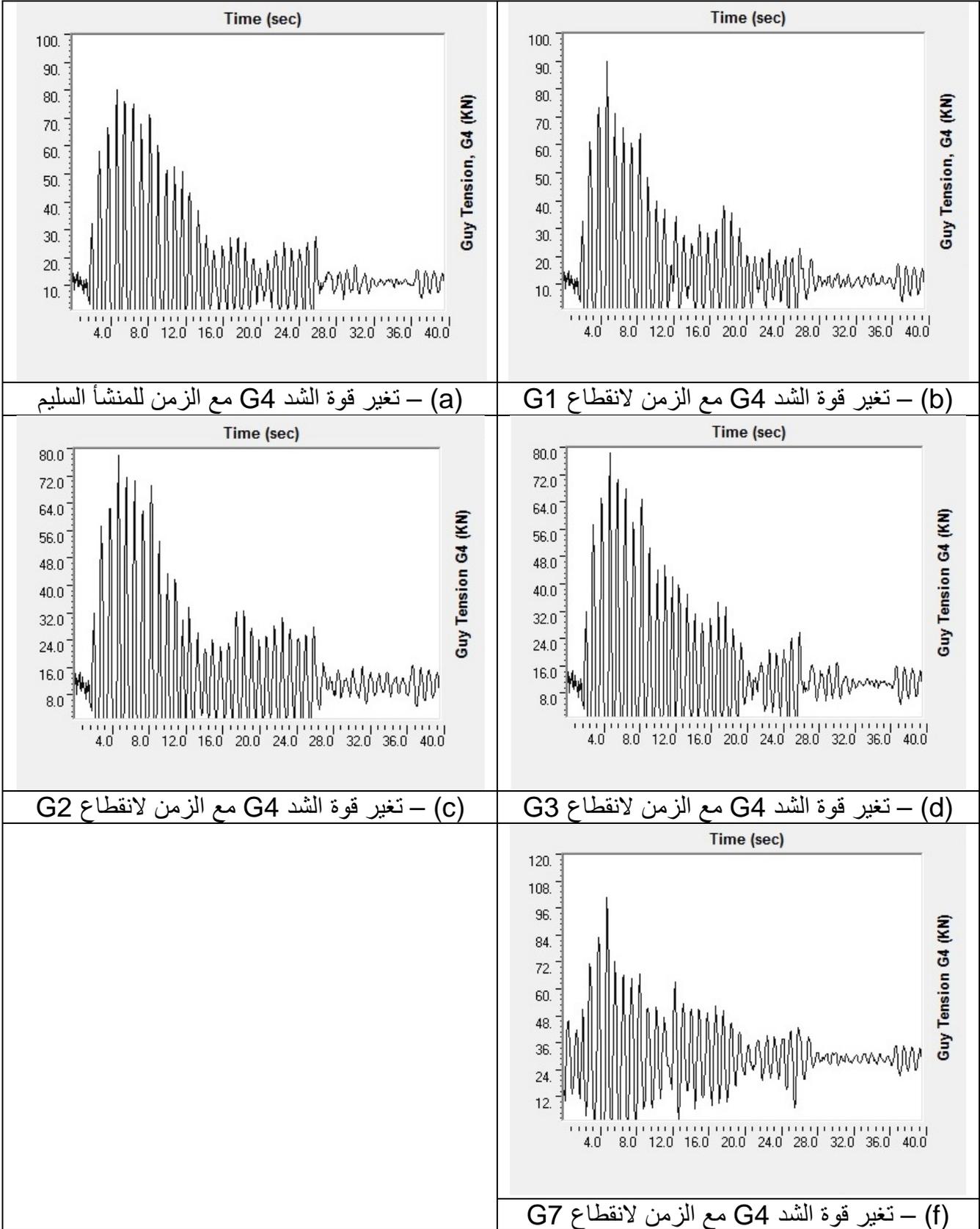


(d) - تغيير قوة الشد G3 مع الزمن لانقطاع G4

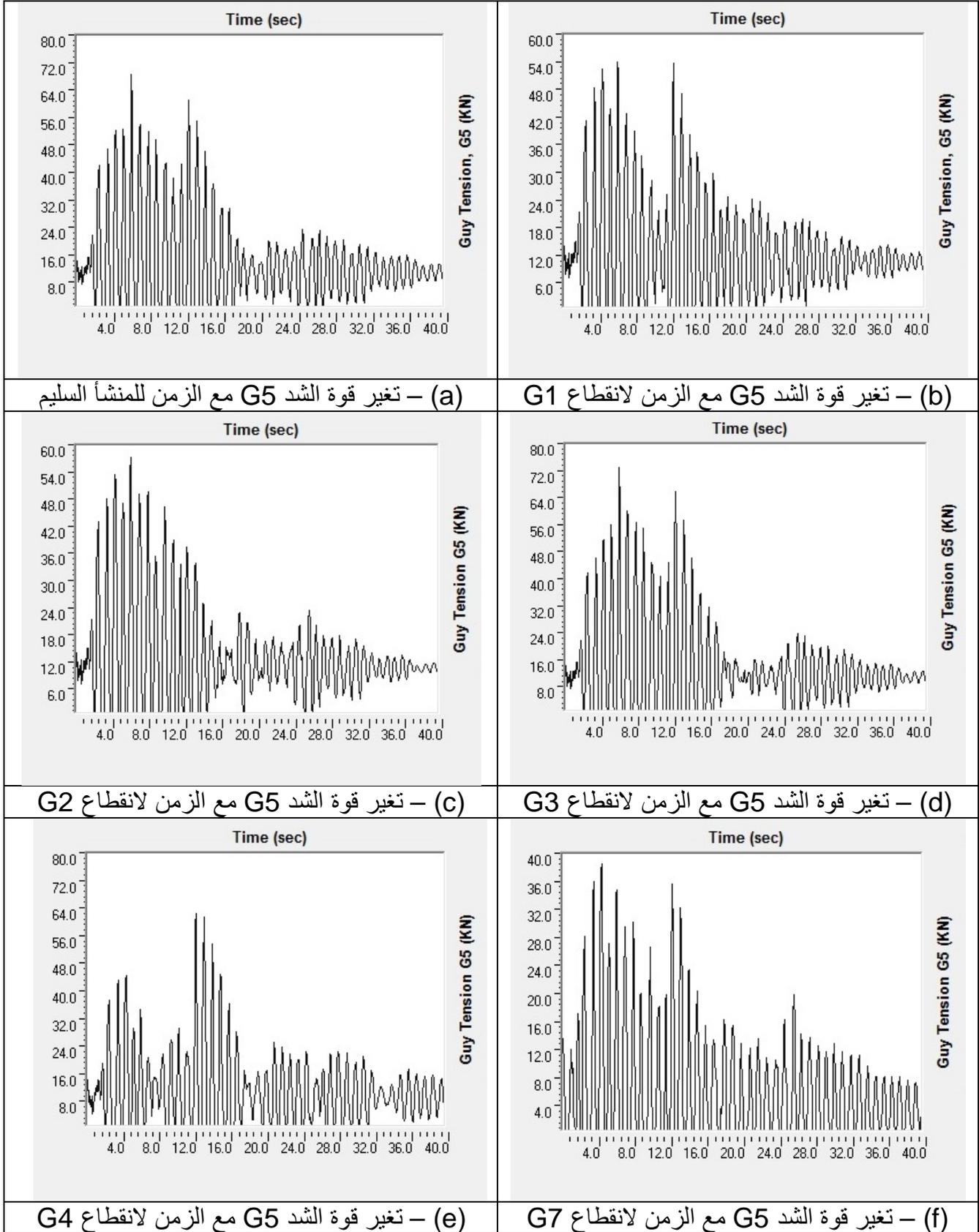


(e) - تغيير قوة الشد G3 مع الزمن لانقطاع G7

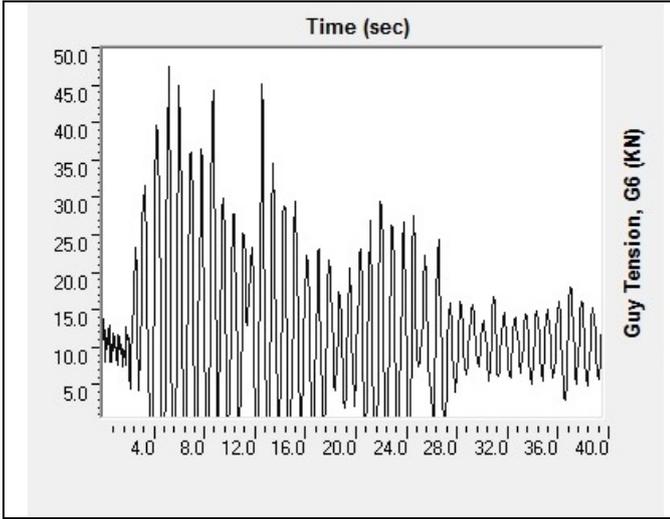
الشكل (A-17) - تغيير قوة الشد بالكبل G3 مع الزمن ل TH(H+V)



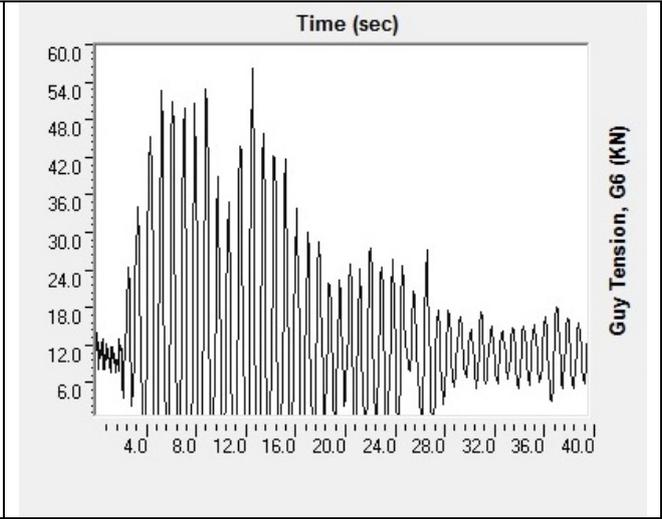
الشكل (A-18) - تغيير قوة الشد بالكبل G4 مع الزمن ل TH(H+V)



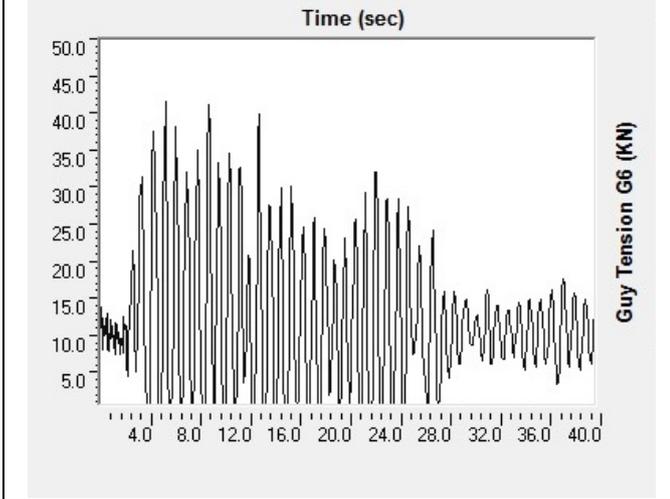
الشكل (A-19) - تغيير قوة الشد بالكبل G5 مع الزمن ل TH(H+V)



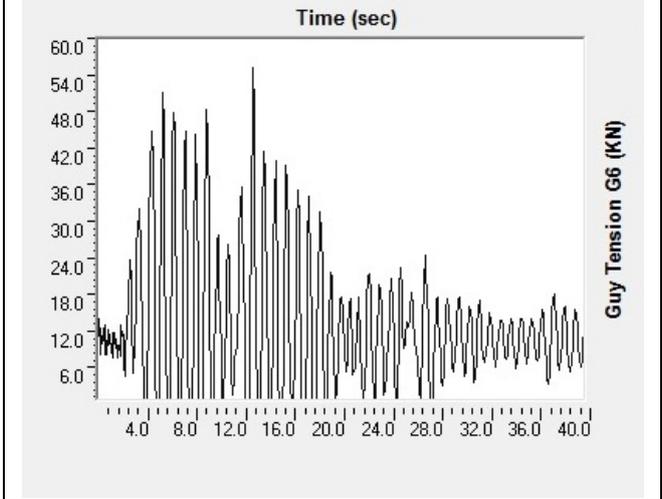
(a) - تغير قوة الشد G6 مع الزمن للمنشأ السليم



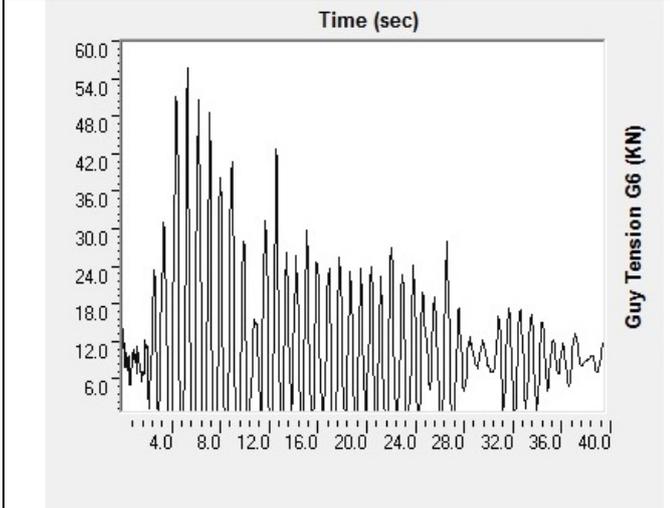
(b) - تغير قوة الشد G6 مع الزمن لانقطاع G1



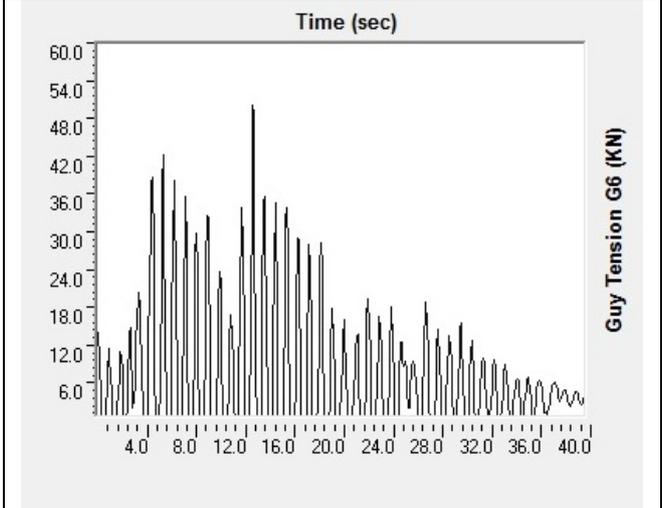
(c) - تغير قوة الشد G6 مع الزمن لانقطاع G2



(d) - تغير قوة الشد G6 مع الزمن لانقطاع G3

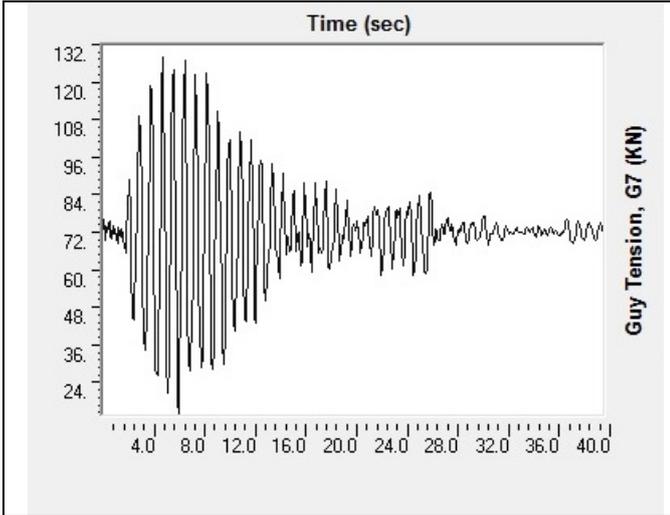


(e) - تغير قوة الشد G6 مع الزمن لانقطاع G4

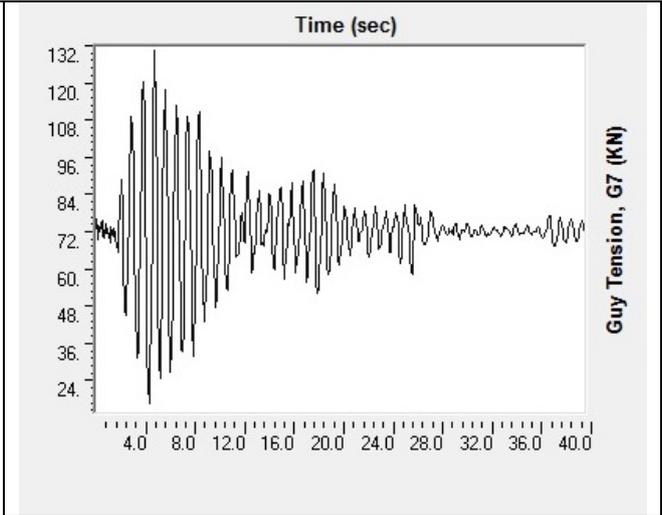


(f) - تغير قوة الشد G6 مع الزمن لانقطاع G7

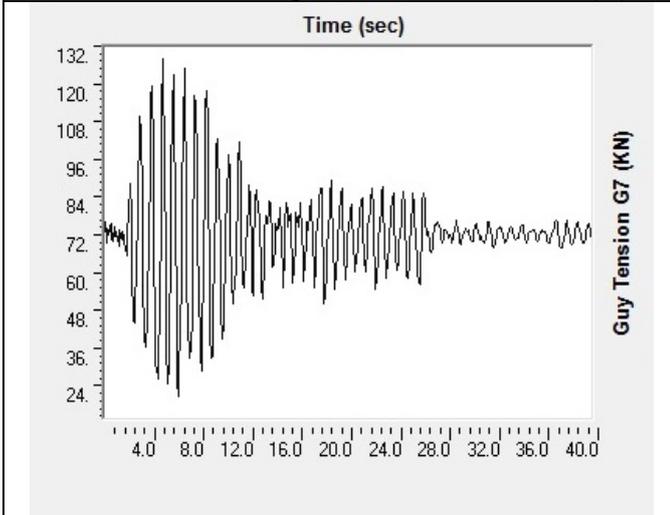
الشكل (A-20) - تغير قوة الشد بالكبل G6 مع الزمن ل TH(H+V)



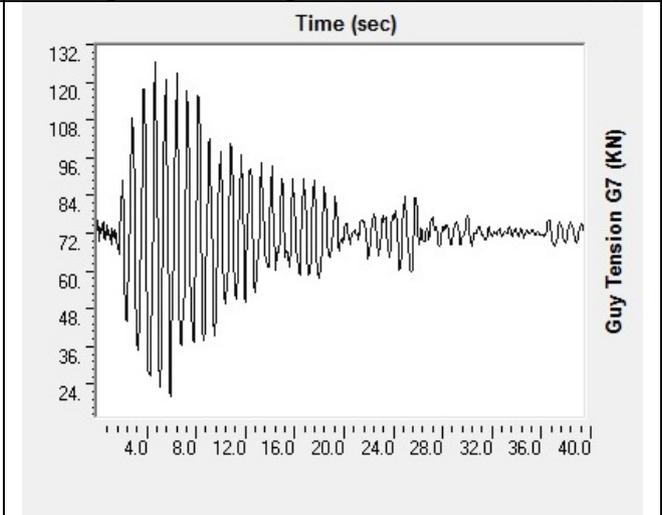
(a) - تغير قوة الشد G7 مع الزمن للمنشأ السليم



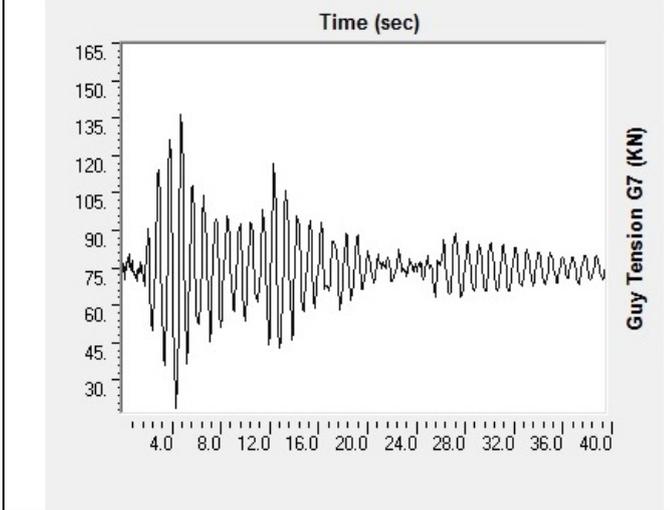
(b) - تغير قوة الشد G7 مع الزمن لانقطاع G1



(c) - تغير قوة الشد G7 مع الزمن لانقطاع G2

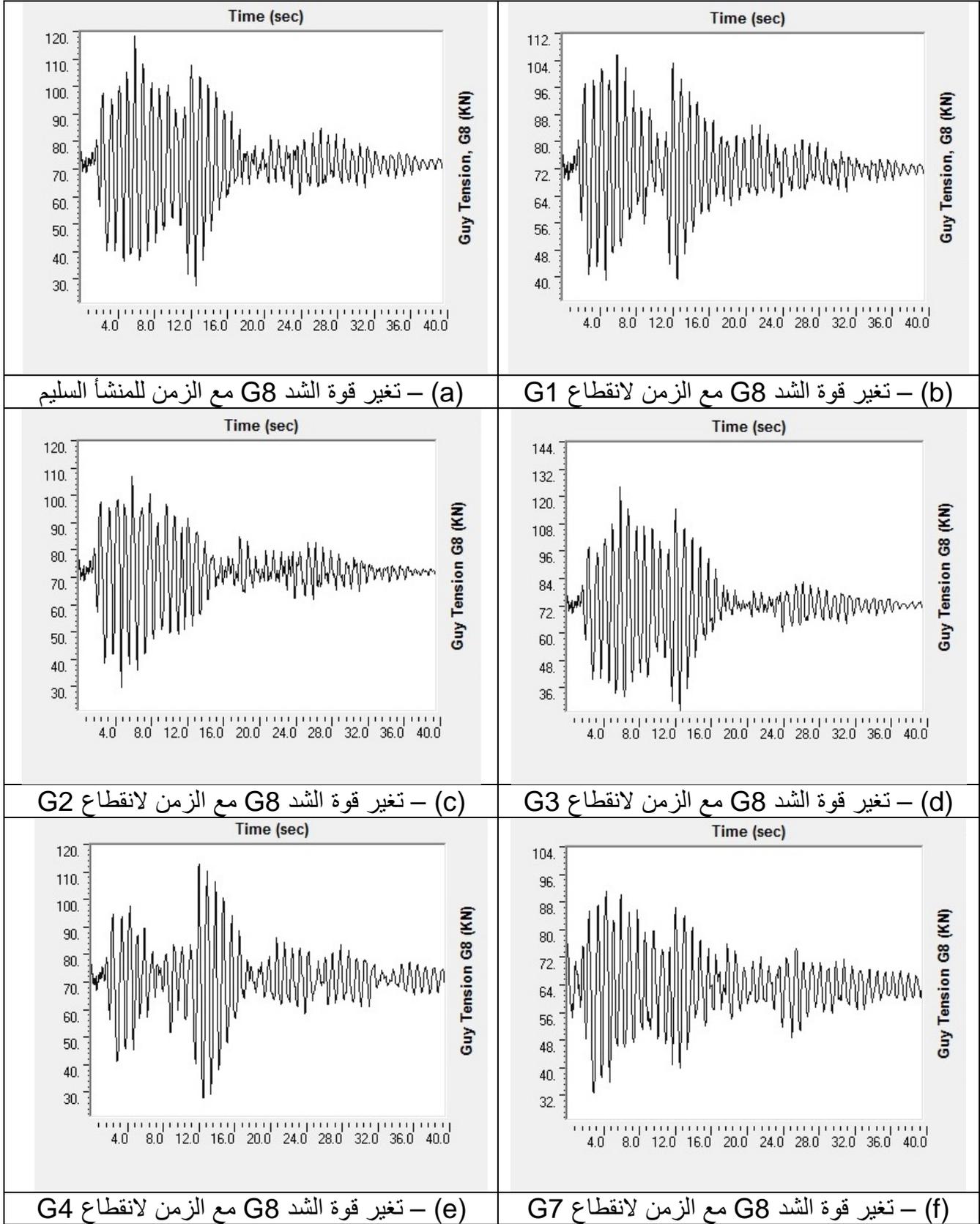


(d) - تغير قوة الشد G7 مع الزمن لانقطاع G3

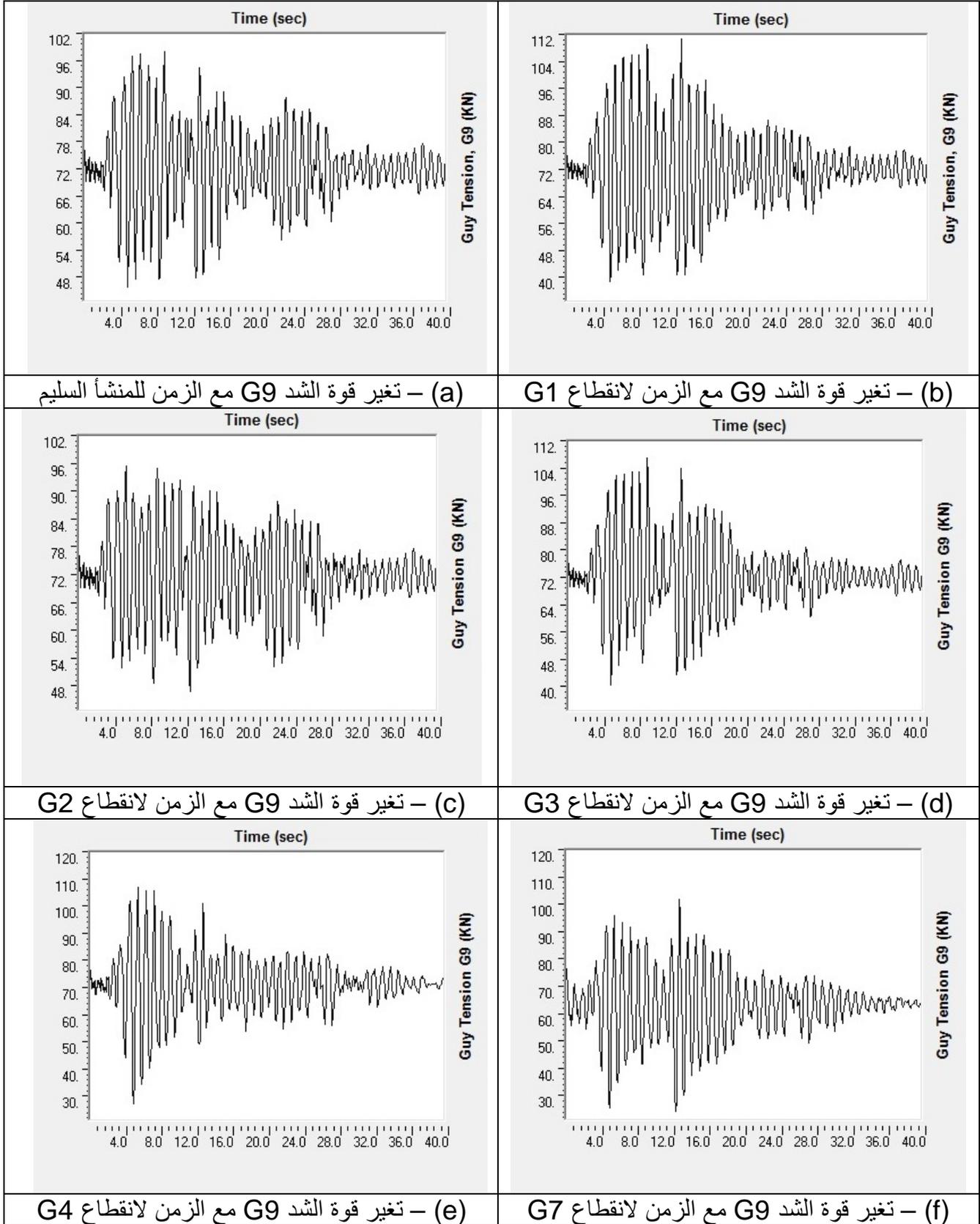


(e) - تغير قوة الشد G7 مع الزمن لانقطاع G4

الشكل (A-21) - تغير قوة الشد بالكبل G7 مع الزمن ل TH(H+V)



الشكل (A-22) - تغيير قوة الشد بالكبل G8 مع الزمن ل TH(H+V)



الشكل (A-23) - تغيير قوة الشد بالكبل G9 مع الزمن ل TH(H+V)

Abstract

Guyed masts are considered a perfect solution for cordless telecommunication which include TV, radio, cell phones and internet, since they are able to reach much higher than self-supported towers, in addition to carry heavier antennas.

Most previous studied have focused on the wind and snow loads, which consider the main in design, while less researches have been carried out on the effect of seismic loads that sometimes play important role in design, therefore the seismic behavior of guyed mast in two states the intact structure (with all cables), and the damaged structure (after rupture of one cable), where this rupture is approached by simplified method, and by the way it is new in the structural engineering department.

For this purpose an existing guyed mast in the radio and TV broadcasting center in (Przysucha-Kozlowiec) city in Poland with a 182.7m height shall be dynamically analyzed by Time History Method under El Centro 1940 loading using Finite Element program SAP2000, where the intact and damaged states shall considered and results of period and frequency, displacements, base shear, axial compression force at mast base and guys tension shall be studied.

Keywords : guyed masts, dynamic analysis, seismic behavior, rupture of cables