

الجمهورية العربية السورية، دمشق

جامعة دمشق، المعهد العالي للبحوث والدراسات الزلزالية

قسم الهندسة الانشائية الزلزالية

تحسين استجابة المنشآت الزلزالية بوساطة

أجهزة التحكم شبه الإيجابي

اطروحة أعدت كجزء من متطلبات الحصول على درجة الماجستير

في الهندسة الانشائية الزلزالية

في المعهد العالي للبحوث والدراسات الزلزالية، جامعة دمشق

إعداد

يزن محمود الغصين

المشرف المشارك

د. م. تركي طبق

مركز الدراسات والبحوث العلمية

الدكتور المشرف

د. م. هاله توفيق حسن

المعهد العالي للبحوث والدراسات الزلزالية

دمشق 2015

الجمهورية العربية السورية، دمشق

جامعة دمشق، المعهد العالي للبحوث والدراسات الزلزالية

قسم الهندسة الانشائية الزلزالية

تحسين استجابة المنشآت الزلزالية بوساطة أجهزة التحكم شبه الإيجابي

اطروحة اعدت كجزء من متطلبات الحصول على درجة الماجستير

في الهندسة الانشائية الزلزالية

في المعهد العالي للبحوث والدراسات الزلزالية، جامعة دمشق

إعداد

يزن محمود الغصين

يعتمد من لجنة الممتحنين:

عضواً رئيساً

الدكتور المهندس / محمد أحمد السمارة

استاذ في قسم الهندسة الانشائية/ كلية الهندسة المدنية/جامعة دمشق

عضواً مشرفاً

الدكتورة المهندس / هاله توفيق حسن

مدرس في قسم الهندسة الانشائية الزلزالية/ المعهد العالي للبحوث والدراسات الزلزالية/ جامعة دمشق

عضواً

الدكتور المهندس/ ربيع الصفدي

مدرس في قسم الهندسة الانشائية/ كلية الهندسة المدنية / جامعة دمشق

الملخص:

يشهد العالم طلباً متزايداً على أبنية مقاومة للزلازل الشديدة، وبالرغم من تطور أساليب التصميم ومساهمتها في تخفيض المخاطر الزلزالية وكودات التصميم، لا زلنا نعاني من الخسائر البشرية والاقتصادية خاصة في الأبنية الهامة (مثل المشافي وابنية المصارف ...). لذلك يسعى الباحثون دوماً لإيجاد حلول أفضل لتحسين الاستجابة الزلزالية للمنشآت وتقليل مخاطر الزلازل.

تأتي طريقته التحكم شبه الايجابي بالاستجابة الديناميكية للمنشآت (Semi Active Control) كحل ذكي ومتكيف لهذه المشكلة، من خلال وضع مخدمات يمكن التحكم بخواصها (من خلال حاسب وبرنامج تحكم) في أماكن محدده في البناء، وبالتالي التحكم باستجابة البناء في الوقت الحقيقي للحركة الديناميكية، ولا تتطلب هذه المخدمات طاقة كهربائية عالية مقارنة مع التحكم الايجابي (الذي يتطلب وضع مكابس هيدروليكية ومحركات)، ويمكن ضبطها للتكيف مع الحمل الديناميكي الذي يخضع له المبنى مما يجعلها الحل الأمثل لتحسين استجابة المباني التي لا يمكن تحسين استجابتها بالعزل الزلزالي (كالأبنية العالية).

تم في هذه الدراسة تقييم أثر استخدام التحكم شبه الإيجابي على استجابة الأبنية التي تتعرض للزلازل باستخدام المخدمات الهيدروليكية المغناطيسية (MR damper)، والتي يتم التحكم بها بواسطة نظرية التحكم الخطي وبرنامج (Matlab)، بأوامر كهربائية تتغير في المجال (0~2.5A)، ثم مقارنة النتائج مع أبنية بدون مخدمات (Uncontrolled)، وأبنية مزودة بالتحكم السلبي التقليدي (Passive control) حيث تعمل المخدمات طوال الوقت بأمر كهربائي ثابت (2.5A)، وذلك من خلال دراسة تحليلية لأبنية مشروع (SAC)، وهو مشروع يهدف الى جمع الجهد المبذول في دراسة أساليب تحسين استجابة المنشآت من خلال مجموعة أبنية معيارية وبعض سجلات الزلازل التي تم دراسة الأبنية عليها لمقارنة النتائج.

تم في هذا البحث استخدام ابنىة من 3 ، 9 ، 20 طابق، وهي أبنىة نموذجية للأبنىة المنخفضة والمتوسطة والعالية الارتفاع لمنطقة لوس انجليس، كاليفورنيا، وبالرغم انه لم يتم انشائها فإنها تحقق شروط الكود الأميركي للأبنىة، ولكونها ابنىة معيارية لدراسات (SAC) فقد أعطت أساساً أوسع لمقارنة نتائج هذه الدراسة، وتم اختبار اداء المتحكم (H_{∞}) المطور في هذا البحث على اربعة سجلات زلزالية أساسية هي السنترو، وهاشينو، ونورث ريج، وكوبي، و6 مشتقة منها مستخدمة في مشروع (SAC) وهي تشكل سجلات هزات زلزالية معيارية لزلزال قد تؤثر على منطقه زلزالية باحتمال 50% و 10% و 2% في خمسين عام و لزلزال قريبة او بعيدة الموقع (near and far field)، يزيد من دقة اداء المتحكم في نظام التحكم شبه الإيجابي تحت هذه الزلازل، ويعطي نتائج دقيقة وموثوقة في تحسين الاستجابة الديناميكية.

أظهرت نتاءج الدراسة التحلية فاعليه التحكم شبه الإيجابي في تحسين استجابة المبنى من خلال تقليل الانتقال الاعظمي لأعلى البناء، والانزياح النسبي بين الطوابق، وتقليل تشكل المفاصل اللدنة مما يثبت أنّ التحكم شبه الإيجابي هو حل مهم لتحسين استجابة الأبنىة وتخفيف المخاطر الزلزالية على الأبنىة.

الكلمات المفتاحية: التحكم شبه الإيجابي، الاستجابة الزلزالية للأبنىة، مخمدات الهيدروليكية المغناطيسية.

الفهرس:

I.....	الملخص:
III.....	الفهرس:
VII.....	لائحة الجداول:
VIII.....	لائحة الأشكال:
XIV.....	لائحة الرموز والمصطلحات:
2.....	الفصل الأول المقدمة
2.....	1.1. مقدمة:
2.....	2.1. مشكلة البحث:
4.....	3.1. أهداف البحث (Research Objectives):
4.....	4.1. خطوات البحث (Scope of Work):
5.....	5.1. الخطوط العامة للرسالة (Thesis Outlines):
7.....	الفصل الثاني مراجعة الأبحاث والتقنيات السابقة
7.....	1.2. مقدمة:
8.....	2.2. أنواع التحكم باستجابة المنشآت:
10.....	1.2.2. أجهزة التحكم باستجابة المنشآت:
21.....	2.2.2. أنواع المتحكمات:
26.....	3.2. الدراسة المرجعية _1:
27.....	1.3.2. نموذج المخدم المستخدم في التحليل المشتق من الدراسة المرجعية:
30.....	الدراسة المرجعية _2:
34.....	4.2. نتائج الدراسة المرجعية:
36.....	الفصل الثالث بناء المتحكم باستخدام ماتلاب

13.	مقدمة:	36
23.	أهم مشاكل تصميم المتحكم:	36
1.23	الاثارة الديناميكية المتنوعة:	36
2.23	حدود آلات القياس والحساسات:	37
3.23	نظام المخدم الديناميكي اللاخطي:	37
4.23	أثر التخلفية (Hysteresis) في مخدم (MR):	37
5.23	التأخر الزمني للمشغل:	38
6.23	بارامترات البناء غير المؤكدة (Uncertain parameters):	38
3.3	بناء المتحكم باستخدام الماتلاب:	38
1.33	كتابة معادلات الحركة الديناميكية للنظام الانشائي مع المخدمات:	39
2.33	تحويل المعادلات من الشكل التفاضلي الى شكل فضاء الحالة:	40
3.33	ايجابيات التمثيل في فضاء الحالة:	42
4.33	سلبيات التمثيل في فضاء الحالة:	43
5.33	معادلات التمثيل في فضاء الحالة:	40
6.33	معادلات التحويل من معادلات الحركة الى معادلات فضاء الحالة:	42
7.33	التحكمية والرصدية:	42
4.3	طريقة عمل المتحكم وحسابه:	44
1.43	طريقه تغيير أقطاب النظام:	45
2.43	طريقة المتحكم التربيعي الخطي:	46
3.43	حساب الراصد:	46
4.43	تطوير متحكم (LQR):	47

49.....	5.43. متحكم (H^∞) المستخدم في الدراسة:
55.....	6.43. إضافة متحكم (Clipped optimal):
57.....	الفصل الرابع الدراسة التحليلية باستخدام MATLAB و SAP2000
57.....	1.4. مقدمة:
57.....	2.4. نماذج الأبنية المستخدمة:
57.....	1.24. بناء معدني من 3 طوابق (3-Story Benchmark Building):
58.....	2.24. بناء معدني من 9 طوابق (9-Story Benchmark Building):
60.....	3.24. بناء معدني من 20 طابق (20-Story Benchmark Building):
62.....	4.24. بناء وتحليل النموذج في الماتلاب:
65.....	5.24. أداة التحليل اللاخطي في (Nonlinear Analysis Tool):
66.....	3.4. السجلات الزلزالية المستخدمة في التحليل:
68.....	4.4. البرنامج المطور بواسطة (MATLAB) و (SAP2000):
69.....	5.4. تحقيق النموذج بالمقارنة مع الدراسة المرجعية و (SAP2000):
72.....	الفصل الخامس مناقشة النتائج
72.....	1.5. مقدمة:
72.....	2.5. نتائج بناء 3 طوابق:
72.....	1.25. مقارنة نتائج المبنى (3-story) بدون مخمدات مع مبنى مزود بالتحكم السلبي:
75.....	2.25. مقارنة نتائج المبنى (3-story) المزود بالتحكم السلبي بشدات تيار مختلفة:
76.....	3.25. مقارنة نتائج المبنى (3-story) المزود بالمتحكم (LQR) مع المتحكمات المرجعية:
78.....	4.25. مقارنة نتائج المبنى (3-story) المزود بالمتحكم (H^∞) مع مبنى مزود بالتحكم السلبي:
91.....	3.5. نتائج بناء 3 طوابق مع توزيع مختلف للمخمدات:

1.3.5.	المخمد في الطابق الأول:	91
2.3.5.	المخمد في الطابق الأخير:	92
3.3.5.	المخمد في الطابقين الثاني والثالث:	93
4.5.	نتائج بناء 9 طوابق:	96
1.4.5.	مقارنة نتائج المبنى (9-story) بدون مخمدات مع مبنى مزود بالتحكم السلبي:	96
2.4.5.	مقارنة نتائج المبنى (9-story) المزود بالتحكم السلبي مع المبنى بالتحكم شبه الايجابي:	96
5.5.	نتائج بناء 20 طابقا:	103
1.5.5.	مقارنة نتائج المبنى (9-story) بدون مخمدات مع مبنى مزود بالتحكم السلبي:	103
2.5.5.	مقارنة نتائج المبنى (20-story) المزود بالتحكم السلبي مع المبنى بالتحكم شبه الايجابي:	104
6.5.	مقارنة نتائج الأبنية باختلاف الارتفاع:	110
الفصل السادس: ملخص النتائج والتوصيات		112
1.6.	ملخص النتائج:	112
2.6.	التوصيات والعمل المستقبلي:	114
المراجع:		115
الملاحق:		121
Abstract:		122

لائحة الجداول:

- الجدول (1-2): استخدام أجهزة التحكم الإيجابي في الأبنية قبل عام 2000. (Spencer Jr and Soong 1999) 13
- الجدول (1-4): مقارنة نتائج التحكم شبه الايجابي والتحكم السلبي لبناء 3 طوابق في (testing 2011) 68
- الجدول (2-4): مقارنة نتائج الأبنية المعيارية بدون تحكم في (Ohtori et al. 2004) مع البحث باستخدام السنترو... 68
- الجدول (3-4): مقارنة نتائج التحكم السلبي للنماذج: الدراسة المرجعية_1 والماتلاب و (SAP2000) 70
- الجدول (1-5): نتائج المبنى الثلاث طوابق على استراتيجيات تحكم جديدة والمرجعية (testing 2011) بالسنترو... 77
- الجدول (2-5): نتائج انتقال الطوابق لمبنى الثلاث طوابق على استراتيجيات تحكم وزلازل مختلفة. 89
- الجدول (3-5): متوسط نتائج الانتقالات للزلازل العشرة باستخدام استراتيجيات التحكم المختلفة. 90
- الجدول (4-5): متوسط نتائج معايير الأداء للزلازل العشرة باستخدام استراتيجيات التحكم المختلفة. 90
- الجدول (5-5): نتائج انتقال طوابق مبنى الثلاث طوابق باستخدام توزيع مخمدات مختلف. 94
- الجدول (6-5): نتائج معايير الأداء باستخدام استراتيجيات التحكم لمبنى 3 طوابق باستخدام توزيع مخمدات مختلف. .. 94
- الجدول (7-5): نتائج انتقالات طوابق مبنى 9 طوابق باستخدام استراتيجيات تحكم مختلفة 101
- الجدول (8-5): متوسط الانتقالات الاعظمية لاستراتيجيات التحكم المدروسة باستخدام زلازل التحليل العشرة 102
- الجدول (9-5): متوسط نتائج معايير الأداء لاستراتيجيات التحكم على عشر زلازل لمبنى 9 طوابق 102
- الجدول (10-5): انتقالات الطوابق لمبنى العشرين طابق وفق استراتيجيات التحكم المختلفة 108
- الجدول (11-5): متوسط الانتقالات الاعظمية لاستراتيجيات التحكم المدروسة لمبنى 20 طابق 109
- الجدول (12-5): متوسط نتائج معايير الأداء لاستراتيجيات التحكم على عشر زلازل لمبنى 20 طابق 109

لائحة الأشكال:

- الشكل (1-2): بناء (11-story Kyobashi Seiwa) المزود بمخمدات الكتلة الإيجابية. 7
- الشكل (2-2): آليات التحكم باستجابة المنشآت. 8
- الشكل (3-2): توضيح عمل التحكم شبه الإيجابي. (Spencer Jr and Soong 1999) 10
- الشكل (4-2): رسم توضيحي لمكونات التحكم الإيجابي. (Spencer Jr and Soong 1999) 11
- الشكل (5-2): طريقة عمل مخمد الكتلة النشط. (Villamizar Mejia 2005) 12
- الشكل (6-2): طريقة عمل مخمد السائل المضبوط. (Villamizar Mejia 2005) 14
- الشكل (7-2): استخدام مخمد هيدروليكي متغير الفوهة شبه الإيجابي في جسر موصلات. 15
- الشكل (8-2): نتائج دراسة (Symans and Constantinou 1997) باستخدام استراتيجيات تحكم مختلفة. 16
- الشكل (9-2): بناء Kajima Shizuoka المزود بمخمدات (SAHD) (Kurata et al. 2000) 17
- الشكل (10-2): أجزاء مخمد (20t_MR). (Spencer Jr et al. 1997) 19
- الشكل (11-2): عمل متحكم (Clipped optimal). (Dyke 1996) 24
- الشكل (12-2): الدراسة الهجينة لمخمدات (MR) في بناء (3-story building) 27
- الشكل (13-2): مخمد (Lord Corporation 200kN_MR damper) (Christenson et al. 2007) 28
- الشكل (14-2): سائل (MR) الهيدروليكي المغناطيسي (Christenson et al. 2007) 28
- الشكل (15-2): استجابة مخمد (MR) على شدة تيار مختلفة (Christenson et al. 2007) 29
- الشكل (16-2): نموذج المخمد الرياضي وبارومتريته. (Christenson et al. 2007) 29
- الشكل (17-2): مقارنة النتائج التجريبية والتحليلية لمخمد (MR) (Jiang 2012) 30
- الشكل (18-2): نموذج التجربة (RTHS) لبناء (3_story prototype building) 31
- الشكل (19-2): بناء (3_story prototype building) المستخدم في التجربة. 31
- الشكل (20-2): إطار الدراسة التجريبية لبناء (3_story prototype building). 32
- الشكل (21-2): تجربة (RTHS) المرجعية لبناء ثلاث طوابق مزودة بمخمدات (MR). 32
- الشكل (22-2): طريقة تجربة (RTHS) لبناء 9 طوابق مزود بمخمد (MR) في الطابقين الأول والثاني. 33

- الشكل (2-23): نتائج تجربة (RTHS) لبناء 9 طوابق مزود بمخمدي (MR) في الطابقين الأول والثاني 33
- الشكل (2-24): مقارنة النتائج التحليلية (SIM) والتجريبية (RTHS) لانتقالات وسرع وتسارعات مبنى (9-story) ... 34
- الشكل (3-1): القوة المؤثرة على مستوي الطابق (Cheng et al. 2010) 39
- الشكل (3-2): النظام الديناميكي لمعادلات فضاء الحالة 41
- الشكل (3-3): ترابط فضاءات الخل والخرج وفضاء الحالة 43
- الشكل (3-4): النظام الديناميكي للتحكم الخطي 45
- الشكل (3-5): النظام الديناميكي للرصد (State Estimator) 46
- الشكل (3-6): النظام الديناميكي للبناء مع راصد ومتحكم 47
- الشكل (3-7): متحكم (LQR) المطور 48
- الشكل (3-8): النظام الديناميكي الأساسي مع متحكم (Guide 1998) 49
- الشكل (3-9): نظام البناء التقليدي من اجل كتابة متحكم (H_{∞} controller) (Guide 1998) 50
- الشكل (3-10): تطوير نظام البناء الديناميكي من اجل كتابة متحكم (H_{∞} controller) 50
- الشكل (3-11): التضخيم الترددي (Bode diagram) لتابع وزن التسارع الزلزالي (Wground Acc) التقليدي 51
- الشكل (3-12): التضخيم الترددي (Bode diagram) لوزن تابع وزن التسارع الزلزالي (Wground Acc) 52
- الشكل (3-13): التضخيم الترددي (Bode diagram) لتابع وزن رد فعل المشغل (W Actuator) 53
- الشكل (3-14): التضخيم الترددي (Bode diagram) لتابع وزن تسارع الطوابق (Wfloor Acc) 53
- الشكل (3-15): التضخيم الزلزالي الترددي (Bode diagram) لوزن تابع وزن التسارع الزلزالي (Wfloor dis) 54
- الشكل (3-16): متحكم (Clipped optimal) (Dyke et al. 1996a) 55
- الشكل (3-17): بنية المتحكم في برنامج (Matlab Simulink) 55
- الشكل (4-1): بناء 3 طوابق المعياري 58
- الشكل (4-2): بناء 9 طوابق المعياري 59
- الشكل (4-3): بناء 20 طوابق المعياري 61
- الشكل (4-4): النسب الطيفية للتضخيم الزلزالي لانتقالات وتسارع الطابق الأخير للابنية المعيارية 63

الشكل (4-5): أنماط الاهتزاز الثلاثة الأولى للابنية المعيارية.	64
الشكل (4-6): أماكن المفاصل اللدنة في مبنى 3 طوابق ونموذج تخلفي ثنائي الخطية	65
الشكل (4-7): السجلات الزلزالية الرئيسية المستخدمة في التحليل	66
الشكل (4-8): خواص السجلات الزلزالية المستخدمة بالتحليل	67
الشكل (4-9): الانحراف المعياري (Stander deviation)	67
الشكل (4-10): نموذج الساب والماتلاب المطور	69
الشكل (5-1): توزيع المخدمات في المبنى (3-story)	73
الشكل (5-2): مقارنة نتائج الطابق العلوي (3-story) بدون مخمدات مع مبنى بالتحكم السلبي على السنترو	73
الشكل (5-3): مقارنة نتائج التسارع الاعظمي والانتقال النسبي لطوابق مبنى (Udb_3) مع نتائج المبنى (Cdb_3) على زلزال (El_Centro)	74
الشكل (5-4): أثر التحكم السلبي على انتقالات مبنى 3 طوابق بتغيير شدة التيار الكهربائي.	75
الشكل (5-5): تغير شكل الحلقة التخلفية (Hysteresis loop) بتغير شدة التيار الكهربائي لمخمد (MR)	76
الشكل (5-6): مقارنة نتائج انتقال الطوابق لمبنى الثلاث طوابق باستخدام استراتيجيات التحكم المطورة والاستراتيجيات المرجعية (testing 2011) وزلازل السنترو	77
الشكل (5-7): نتائج انتقال الطوابق لمبنى الثلاث طوابق على استراتيجيات التحكم مقارنةً بالتحكم السلبي للمقارنة وزلازل السنترو	78
الشكل (5-8): مقارنة السجل الزمني لانتقال وتسارع الطابق الأخير لمبنى الثلاث طوابق (Pdb_3) ومبنى (Cdb_3)	79
الشكل (5-9): مقارنة لنتائج الانتقال النسبي الاعظمي والتسارع الطابقي الاعظمي للمبنى (Pdb_3) ومبنى (Cdb_3) باستخدام السنترو	80
الشكل (5-10): مقارنة نتائج الانتقال والتسارع الطابقي لمبنى (Pdb_3) و (Cdb_3) على زلازل السنترو باستخدام متحكم (H_{∞})	81
الشكل (5-11): مقارنة نتائج الانتقال والتسارع الطابقي لمبنى (Pdb_3) ومبنى (Cdb_3) على زلازل هاشينوهي باستخدام متحكم (H_{∞})	82

- الشكل (5-12): مقارنة نتائج الانتقال والتسارع الطائقي لمبنى (Pdb_3) ومبنى (Cdb_3) على زلزال نورث ريدج باستخدام متحكم (H_{∞}) 83
- الشكل (5-13): مقارنة نتائج الانتقال والتسارع الطائقي لمبنى (Pdb_3) ومبنى (Cdb_3) على زلزال كوبي باستخدام متحكم (H_{∞}) 84
- الشكل (5-14): مقارنة نتائج الانتقال والتسارع الطائقي لمبنى (Pdb_3) ومبنى (Cdb_3) على زلزال السنترو باستخدام متحكم (H_2) 85
- الشكل (5-15): مقارنة نتائج الانتقال والتسارع الطائقي لمبنى (Pdb_3) ومبنى (Cdb_3) على زلزال هاشينوهي باستخدام متحكم (H_2) 86
- الشكل (5-16): مقارنة نتائج الانتقال والتسارع الطائقي لمبنى (Pdb_3) ومبنى (Cdb_3) على زلزال نورث ريدج باستخدام متحكم (H_2) 87
- الشكل (5-17): مقارنة نتائج الانتقال والتسارع الطائقي لمبنى (Pdb_3) ومبنى (Cdb_3) على زلزال كوبي باستخدام متحكم (H_2) 88
- الشكل (5-18): متوسط نتائج الانتقالات للزلازل العشرة باستخدام استراتيجيات التحكم المختلفة. 90
- الشكل (5-19): نتائج الانتقال والتسارع لمبنى الثلاث طوابق والمخمدات في الطابق الأول على استراتيجيات التحكم وزلزال السنترو. 91
- الشكل (5-20): نتائج الانتقال والتسارع لمبنى الثلاث طوابق والمخمدات في الطابق الأخير على استراتيجيات التحكم وزلزال السنترو. 92
- الشكل (5-21): نتائج الانتقال والتسارع لمبنى الثلاث طوابق والمخمدات في الطابقين الثاني والثالث على استراتيجيات التحكم وزلزال السنترو. 93
- الشكل (5-22): قيم الانزياح النسبي لمبنى الثلاث طوابق بتوزيعات مختلفة للمخمدات. 95
- الشكل (5-23): قيم الانزياح النسبي لمبنى الثلاث طوابق بتوزيعات مختلفة للمخمدات نسبةً للتحكم السلبي. 95
- الشكل (5-24): مقارنة انتقال وتسارع الطابق الاخير لمبنى 9 طوابق المزود بالمخمدات مع المبنى بدون مخمدات. ... 96
- الشكل (5-25): مقارنة انتقال وتسارع الطابق الاخير لمبنى 9 طوابق المزود بالتحكم السلبي والتحكم شبه الايجابي. ... 97

الشكل (5-26): مقارنة الانتقال النسبي والتسارع الأعظمي الطوابق لمبنى 9 طوابق المزود بالتحكم السلبي والتحكم شبه	
الايجابي .	97
الشكل (5-27): مقارنة الانتقال النسبي والتسارع الأعظمي لطوابق المبنى 9 طوابق على استراتيجيات التحكم	
باستخدام هاشينوهي .	98
الشكل (5-28): مقارنة الانتقال النسبي والتسارع الأعظمي لطوابق المبنى 9 طوابق على استراتيجيات التحكم	
باستخدام نورث رديج .	99
الشكل (5-29): مقارنة الانتقال النسبي والتسارع الأعظمي لطوابق المبنى 9 طوابق على استراتيجيات التحكم	
باستخدام كوبي .	100
الشكل (5-30): متوسط الانتقالات الاعظمية لاستراتيجيات التحكم المدروسة باستخدام تسجيلات الزلازل العشرة في	
التحليل .	102
الشكل (5-31): مقارنة انتقال وتسارع الطابق الأخير لمبنى 20 طابق المزود بالمخمدات مع المبنى بدون مخمدات .	103 .
الشكل (5-32): مقارنة الانتقال النسبي والتسارع الأعظمي لطوابق المبنى 20 طابق على استراتيجيات التحكم	
باستخدام زلزال السننرو .	104
الشكل (5-33): مقارنة الانتقال النسبي والتسارع الأعظمي لطوابق المبنى 20 طابق على استراتيجيات التحكم	
باستخدام زلزال هاشينوهي .	105
الشكل (5-34): مقارنة الانتقال النسبي والتسارع الأعظمي لطوابق المبنى 20 طابق على استراتيجيات التحكم	
باستخدام زلزال نورث ريدج .	106
الشكل (5-35): مقارنة الانتقال النسبي والتسارع الأعظمي لطوابق المبنى 20 طابق على استراتيجيات التحكم	
باستخدام زلزال كوبي .	107
الشكل (5-36): متوسط الانتقالات الاعظمية لاستراتيجيات التحكم المدروسة باستخدام زلازل التحليل العشرة لمبنى 20	
طابق .	109
الشكل (5-37): مقارنة الانتقال الأعظمي للأبنية (3 طوابق و9 طوابق و20 طابقاً) على استراتيجيات التحكم باستخدام	
زلزال السننرو .	110

الشكل (5-38): مقارنة الانتقال الاعظمي للأبنية (3 طوابق و 9 طوابق و 20 طابقاً) منسوباً للتحكم السلبي باستخدام زلزال

السنثرو. 110.....

الشكل (5-39): مقارنة الانزياح النسبي الأعظمي للأبنية (3 طوابق و 9 طوابق و 20 طابقاً) على استراتيجيات التحكم

باستخدام زلزال السنثرو. 111.....

الشكل (5-40): مقارنة الانزياح النسبي الاعظمي للأبنية (3 طوابق و 9 طوابق و 20 طابقاً) منسوباً للتحكم

السلبي باستخدام زلزال السنثرو. 111

لائحة الرموز والمصطلحات:

الرمز	التعريف
MR	المخمد السائل المتحكم به مغناطيسياً (Magneto Rheological)
ER	المخمد السائل المتحكم به كهربائياً (Electro Rheological)
SAC	هي مشروع مشترك للمنظمات (CUREE& ATC&SEAOC) للدراسات الزلزالية.
H_{∞} (H_{inf})	متحكم ديناميكي خطي يعتمد على إيجاد أصغر قيمة للنورم (H_{∞}).
H_2	متحكم ديناميكي خطي يعتمد على إيجاد أصغر قيمة للنورم (H_2).
AMD	مخمد الكتلة النشط (Active mass damper).
SAVS	مخمد الصلابة المتغيرة شبه الايجابي (Semi Active Variable stiffness).
HMD	مخمد الكتلة الهجين (Hybrid mass Damped).
SAHD	المخمد الهيدروليكي شبه الايجابي (Semi Active Hydraulic damper).
TLCD	مخمد عمود السائل المعابر (Tune liquid column damper).
MDOF	متعدد درجات الحرية (malty degree of freedom).
LQR	المتحكم الخطي التربيعي ويعتمد على شعاع الحالة كاملاً في حسابه.
LQG	المتحكم الخطي التربيعي الغوسي.
Fd	القوى التي يطلبها المتحكم من المخمد.
Fmr	القوى المتولدة في المخمد.
P	النظام الديناميكي المتحكم به (Plant System).
$\bar{Z}$	شعاع الحالة للنظام الديناميكي وتكون من الانتقالات والسرع في الدراسة.
A	مصفوفة الحالة للنظام الديناميكي وتعبّر عن خواصه الديناميكية الذاتية.
A_{red}	مصفوفة الحالة للنظام الديناميكي المختصر (Reduced).

B	مصفوفة الدخل للنظام الديناميكي تعبر عن أثر المدخلات.
B_{red}	مصفوفة الدخل للنظام الديناميكي المختصر (Reduced) وتعبر عن أثر المدخلات.
C	مصفوفة الرصد (أثر شعاع الحالة على مخرجات النظام الديناميكي).
C_{red}	مصفوفة الرصد (أثر شعاع الحالة على مخرجات النظام الديناميكي المختصر).
D	مصفوفة الارجاع (أثر الدخل المباشر على مخرجات النظام الديناميكي).
D_{red}	مصفوفة الارجاع (أثر الدخل المباشر على مخرجات النظام الديناميكي المختصر).
E_{red}	مصفوفة الدخل للنظام الديناميكي المختصر (أثر المدخلات غير المتحكم بها).
W_{red}	مصفوفة الارجاع (أثر الدخل غير المتحكم به على مخرجات النظام المختصر).
$\vec{U}, \vec{u}$	شعاع مدخلات النظام الديناميكي ويضم مدخلات التحكم والتسارع الارضي.
$\vec{F}$	شعاع مدخلات قوى التحكم بالنظام الديناميكي للبناء.
R_n	فضاء من البعد n.
sys	النظام الديناميكي (System).
ss (A,B,C,D)	النظام الديناميكي بالاعتماد على معادلات الحالة.
k	مصفوفة التحكم.
K	مصفوفة القساوة للمبنى.
M	مصفوفة الكتل للمبنى.
C	مصفوفة التخميد للمبنى.
$\ddot{x}_g$	التسارع الزلزالي
X	شعاع انتقالات المبنى
$\dot{X}$	شعاع سرع طوابق المبنى.
$\ddot{X}$	شعاع تسارعات طوابق المبنى.

$\hat{x}$	شعاع حالة المبنى المقدر أو المستقرأ.
ζ_i	التخميد الموافق للنمط (i) .
ϕ_i	الموافق للنمط (i) .
$\ P\ _\infty$	نورم (H_∞) يتم حسابه من معادلات النظام الديناميكي.
ω_i	التردد الموافق للنمط (i) .
e_i	الموافق لشعا المخرجات رقم (i) .
e	العدد النبري.
$\det$	محدد المصفوفة.

المصطلحات:

الحلقة التخلفية: تم في هذه الدراسة اصطلاح تعبير تخلفية على أثر (Hysteresis) وذلك لاستخدامه

من قبل عدة مراجع عربية وعدة تخصصات هندسية، إن معنى كلمة (Hysteresis :the phenomenon in) هو التخلّف في تغيرات الخواص الفيزيائية عن المؤثر الخارجي الذي تسبب بها حيث أن الخواص في لحظة تعتمد على الخواص الفيزيائية للعنصر في اللحظة التي تسبقها، والذي يجب تميزه عن المصطلح الطبي "هستييري" (Hysteria: exaggerated or uncontrollable emotion or excitement) والذي يعني الانفعال في المشاعر.

مناعة المتحكم (Robust): تعبر مناعة المتحكم على قدرة على الأداء الجيد رغم المتغيرات الطارئة

التي يخضع لها، وهي الميزة الأهم للمتحكمات في الواقع العملي حيث لا يمكن السيطرة على هذه المتغيرات. تم استخدامها في البحث لتعبر عن أداء المتحكم عند تغير خواص السجل الزلزالي (الشدة وأثر الموقع) وتغير خواص المبنى (الارتفاع الطائقي).

الفصل الأول

المقدمة

Introduction

الفصل الأول

المقدمة

Introduction

1-1. مقدمة:

تعد الزلازل من الكوارث الطبيعية الخطرة جداً والمتكررة وخلال الوقت اللازم لقراءة هذه الجملة هناك احتمال 3% ان يضرب زلزال بقدر 5 درجات او أكبر في مكان ما دون ان يلاحظها العالم الا بواسطة آلات قياس الحركات الارضية ومع ذلك، عندما يضرب زلزال كبير منطقة آهلة بالسكان يمكن أن تكون النتائج كارثية مع أضرار واسعة بالمباني وشبكات النقل والخدمات الأساسية.

شهدت الاعوام السابقة خاصة العام 2011 أكبر الزلازل خسائراً من الناحية الاقتصادية والبشرية في تاريخ عدة بلدان مثل اليابان ونيوزيلندا حيث أثبت زلزال وتسونامي Tohoku (M9.0) أنه الزلزال الأكثر كلفة، فقد تسبب بحوالي 400~700 بليون دولار أمريكي في إجمالي الخسائر ووفاة ما يقرب من 19000 نسمة، في حين أن زلزال Christchurch (6.3M) تسبب بخسائر ضخمة في بناء الأوراق المالية وفقدان حوالي 15~20 بليون دولار أمريكي ضرر مع خسائر في قطاع تأمين بنحو 80%. وتسببت الهزات الارتدادية في كل منهما المزيد من الضرر. وشوهدت أيضاً خسائر كبيرة في تركيا من وقوع زلزال Van، وفي الصين من الزلازل العديدة في مقاطعتي Xinjiang & Yunnan، الولايات المتحدة من وقوع زلزال ولاية فرجينيا. (earthquakes 2014)

2-1. مشكلة البحث:

يعتبر انهيار المنشآت خلال الزلزال سبب في خسائر مادية كبيرة، وخسائر في الأرواح، وتحدث عندما يتجاوز الطلب الزلزالي للعناصر الانشائية قدرة تحملها، وقد تتحمل بعض المنشآت زلزال كبيرة، ولكن في كثير من الأحيان تصبح غير صالحة للاستعمال دون اصلاحات كبيرة أو إعادة البناء. يعود السبب الأهم لهذه الاضرار الى تصميم البناء، ومن الضروري العمل على تصميم جيد للمباني واستعمال مواد ذات مطاوعة ومقاومة عالية في تنفيذ عناصره ووصلاته، والتي تسهم في تبديد الطاقة من خلال تشكل المفاصل اللدنة (طريقة المطاوعة التقليدية).

لكن تتطلب مباني الخدمات الهامة كالمستشفيات، ومباني الدفاع المدني، قدرة اشغال فوري مباشرة بعد وقوع الزلازل القوية، لذلك فإنه من الضروري الحفاظ على هذه المباني بحيث تحقق متطلبات الامان والسلامة، ويسمح بأضرار انشائية يمكن اصلاحها بعد الزلازل مباشرة.(Myrtle et al. 2005)

نصت معظم الكودات العالمية للتصميم على ضرورة تصميم المباني لمقاومة احمال الزلازل، كما تضمن الكود العربي السوري لتصميم وتنفيذ المنشآت الخرسانية المسلحة فقرات خاصة بتصميم المباني لمقاومة احمال الزلازل في المرحلة المرنة دون ضرر انشائي وينتج عن عدم السماح بالضرر الانشائي ارتفاع كلفة تنفيذ المنشأة. يتم عادة تصميم المنشأة لتحقيق المقاومة والاستقرار والثبات منعاً لأي انهيار جزئي أو كلي، وتجنباً لحدوث خسائر بشرية وذلك عند تعرضها لزلازل معتدلة الشدة، المحتمل حدوثها في عمر المنشأة التصميمي باحتمال لا يتجاوز 90%. ولكن في حال تعرض المنشأة الى زلزال عنيف شدته عالية جداً نسبة الى الشدة المحتمل حدوثها مرة واحدة في عمرها التصميمي (وهي عملياً اعلى شدة زلزالية يحتمل حدوثها في موقع المنشأة خلال الزمن مهما طال) وعندها يسمح بظهور شقوق كبيرة نسبياً في عناصرها الانشائية وغير الانشائية، بشرط بقاء المنشأة مترابطة أثناء الزلازل ولكن لا يسمح بحدوث انهيار كلي في المنشأة ينجم عنه خسائر بالأرواح. حيث نميز معيارين اساسيين في تصميم المنشآت:

1- معيار الحفاظ على الحياة والأرواح (life safety).

2- معيار الاشغال الفوري للمنشآت (Immediate Occupancy).

توجد أكثر من آلية تزود المنشأة بإمكانية تبديد الطاقة الزلزالية:

1- آلية السلوك غير المرن للضرر الانشائي الموضعي والتشققات (structural local damage)

الذي يزود المنشأة بإمكانية لتبديد الطاقة الكامنة ويخوله للنجاة والبقاء من آثار الزلازل، ان اعتبار

هذا السلوك في التصميم سوف يقودنا الى تصميم اقتصادي وملائم للمنشأة.

2- آلية إضافة مخمدات وعناصر تقوم بتبديد الطاقة أثناء تشوهها (التحكم السلبي باستجابة المنشأة).

قدم (Yao) عام 1972 مفهوماً بديلاً عن الأساليب التقليدية حيث اقترح تحسين الاستجابة الديناميكية المنشآت بإضافة قوى وردود أفعال إضافية، من خلال التحكم الإيجابي (Active control) وشبه الإيجابي (Semi active control)، ولأن هذا نوع يتفاعل مع معطيات الهزة الأرضية واستجابة المنشآت فإنه يعطي أفضل استجابة ممكنة. (Spencer Jr and Sain 1997)

من هنا تأتي مشكلة البحث في دراسة قدرة التحكم شبه الإيجابي على تحسين الاستجابة الزلزالية للمنشآت خاصةً بعد قصور الطرق التقليدية عن حماية المنشآت كما أثبتت الأحداث الزلزالية السابقة.

3-1. أهداف البحث (Research Objectives):

يهدف هذا البحث لدراسة دراسة فعالية وجدوى التحكم شبه الإيجابي (Semi Active Control) بالمقارنة مع التحكم السلبي لتحسين استجابة المنشآت الزلزالية من خلال إضافة تخميد وصلابة للمنشآت التي تتعرض لزلازل شديدة القدر.

4-1. خطوات البحث (Scope of Work):

بناء متحكم بواسطة برنامج ماتلاب (MATLAB Control Toolbox) ويتضمن ما يلي:

- تطوير متحكم LQR التقليدي من خلال فصل الاهتزاز الحر عن الاهتزاز القسري.
- برمجة وبناء متحكم خطي ديناميكي بطريقة (H_∞)، ومتحكم H_2 .
- ❖ دراسة مقارنة بين استجابة المباني بنظام التحكم شبه الإيجابي والسلبي وبدون تحكم.
- ❖ دراسة فعالية التحكم شبه الإيجابي على استجابة الأبنية مع تغير الارتفاع:
- دراسة تحليلية لبناء معدني من ثلاث طوابق (3_story benchmark).
- دراسة أثر موقع المخدمات على كفاءة المتحكم.
- دراسة تحليلية لبناء معدني من 9 طوابق (9_story benchmark).
- دراسة تحليلية لبناء معدني من 20 طابق (20_story benchmark).
- ❖ تحري متطلبات المطاوعة للأبنية المزودة بأجهزة التحكم بالمقارنة مع الابنية التقليدية.
- ❖ استخلاص النتائج والتوصيات.

5-1. الخطوط العامة للرسالة (Thesis Outlines):

يتم عرض البحث في هذه الرسالة من خلال ستة فصول كما يلي:

الفصل الاول (المقدمة): مقدمه عن البحث تتناول تعريف بأهم خسائر الزلازل ومخاطرها على الأبنية ثم

نستعرض مشكلة واهداف البحث وخطوات البحث.

الفصل الثاني (مراجعة الأبحاث والتقنيات السابقة): نستعرض فيه أنواع التحكم باستجابة المنشآت (التحكم

السلبي، التحكم الإيجابي، والتحكم شبه الايجابي)، وبعض أنواع مشغلات التحكم وأهم خوارزميات التحكم بها،

كما نستعرض الدراسات المرجعية المعتمدة في البحث لتحقيق المتحكم والنموذج.

الفصل الثالث (بناء المتحكم باستخدام برنامج ماتلاب): يعرض هذا الفصل مشاكل التحكم الخطي باستجابة

الأنظمة الديناميكية وطريقة حلها، والتغلب عليها من خلال المتحكم الذي تم تصميمه وتطويره وهو متحكم

خطي ديناميكي بطريقة (H_{∞}) تم برمجته وتطويره بواسطة (Matlab Control tool box).

الفصل الرابع (الدراسة التحليلية باستخدام ماتلاب): يعرض الفصل تحليل النموذج باستخدام (Matlab

Simulink) والملحقات به من برنامج التحليل اللاخطي للأبنية (spencer)، وبعده استراتيجيات تحكم تحت

تأثير الزلازل العشرة.

الفصل الخامس (مناقشة النتائج): حيث يتم مناقشة نتائج أمثلة الدراسة الثلاثة (3، 9، 20 طابق) وذلك

على عدة زلازل وبعده استراتيجيات للتحكم.

الفصل السادس (ملخص النتائج والتوصيات): حيث يتم تلخيص النتائج من الفصل الخامس واستخلاص

التوصيات منها.

الفصل الثاني

مراجعة الأبحاث والتقنيات السابقة

Review of previous researches and techniques

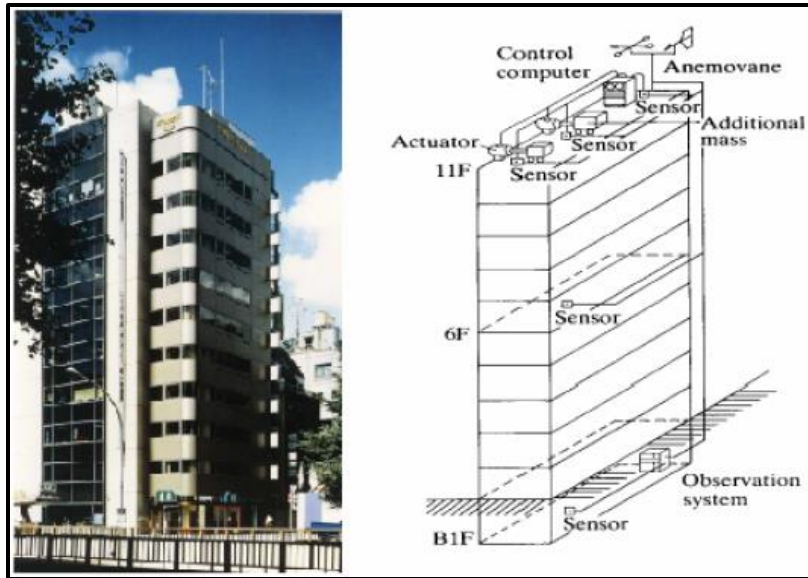
الفصل الثاني

مراجعة الأبحاث والتقنيات السابقة

Review of previous researches and techniques

1.2. مقدمة:

بدأ التحكم باستجابة المنشآت أساساً في حل المشكلات الهندسية في هندسة الفضاء والطيران، ثم سرعان ما بدأ بالانتقال إلى الهندسة المدنية في سبعينيات القرن الماضي لحماية المنشآت أثناء الاحمال الشديدة كالزلازل أو لتأمين راحة مستخدمي هذه المنشآت أثناء الاحمال المتوسطة كالرياح والزلازل متوسطة الشدة (Housner et al. 1997)، وذلك بواسطة العزل الزلزالي والمخمّدت اللزجة المرنة (Viscoelastic) والمخمّدت ذات السوائل المعاييرة (Tuned liquid damper). بعد عدة سنوات ظهر مبدأ التحكم الإيجابي في أول استخدام له في بناء (11-story Kyobashi Seiwa) في طوكيو، (Spencer Jr and Soong 1999)، لتخفيض اهتزاز المبنى تحت تأثير الرياح القوية والزلازل متوسطة الشدة. نجحت مؤخراً طريقة التحكم شبه الإيجابي في شق طريقها للتحكم باستجابة الأبنية في الولايات المتحدة الأمريكية واليابان. يقسم هذا الفصل الى قسمين: الأول يتناول أجهزة ومشغلات التحكم (Actuator) والقسم الثاني يتناول أكثر نظريات التحكم استخداماً في التحكم بهذه الأجهزة وأخيراً عرض للمشكلة الرئيسية في التحكم باستجابة المنشآت.

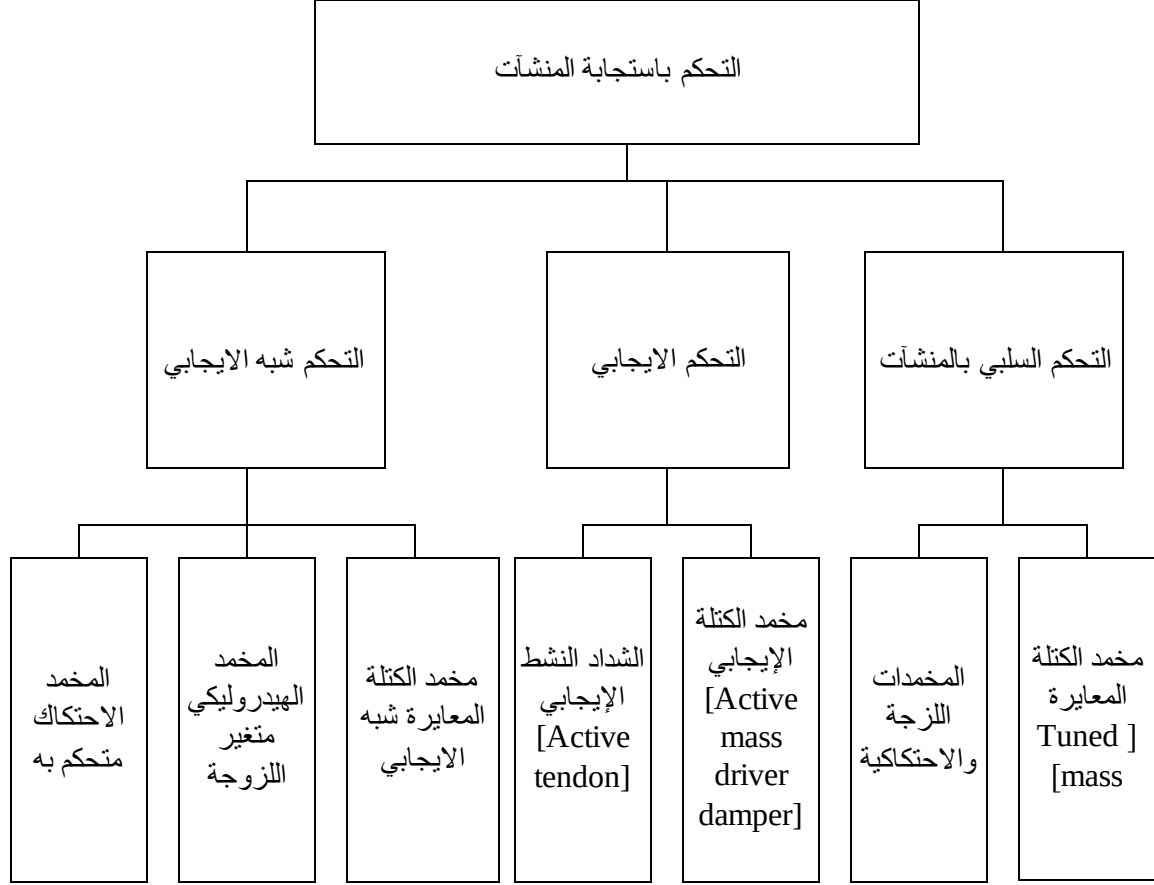


الشكل (1-2): بناء (11-story Kyobashi Seiwa) المزود بمخمّدت الكتلة الإيجابي. (Spencer Jr and Soong 1999)

2-2. أنواع التحكم باستجابة المنشآت:

تقسم آليات التحكم باستجابة المنشآت إلى ثلاث أنواع رئيسية هي التحكم السلبي (Passive control)،

التحكم الايجابي (Active control)، التحكم شبه الايجابي (Semi active control):



الشكل (2-2): آليات التحكم باستجابة المنشآت

التحكم السلبي (Passive control):

يعتبر هذا النظام الأكثر انتشاراً بين أنظمة التحكم باستجابة المنشآت وهو يعتمد على تبديد الطاقة

بإضافة أجهزة تخميد للمنشأ، لذلك لا يحتاج لمصدر خارجي للطاقة. يتم ضبط التخميد الإضافي ليتوافق مع

استجابة المنشأ وتردداته، مما يجعله غير قادر على الاستجابة للتعديلات التي تطرأ على المنشأ مع الزمن أو أي

خطأ في النمذجة والتنفيذ. تقتصر نظم التحكم السلبي للكفاءة بسبب صعوبة الحصول على استجابة دقيقة وموثوقة

تتفق مع الاستجابة الفعلية للمنشأ. يضم التحكم السلبي إضافة مخمد الكتلة المعاييرة (Tuned mass damper)،

المخمّدات اللزجة (Viscous damper). المخمدات الاحتكاكية (Friction damper).

التحكم الإيجابي (Active control):

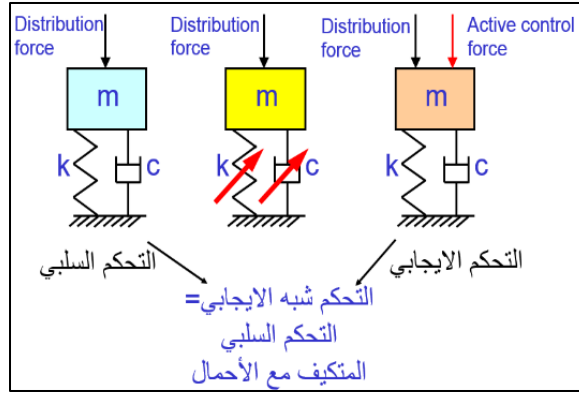
يملك هذا النظام القدرة على إضافة وتخميند الطاقة من خلال القوى التي تولدها أجهزة التحكم (actuator) الكهريائية أو الهيدروليكية، كما يتيح مراقبة حركة ورد فعل المنشأ باستمرار مما يحقق تخفيضاً كبيراً لاستجابة المنشآت أثناء الأحداث الزلزالية وذلك بالمقارنة مع نظام التحكم السلبي البسيط، وسبب التحسن يرجع إلى استخدام حساسات تراقب حركة المنشأ وتعديل القوى التي تولدها الأجهزة وفقاً لها، وتوفير قوة خارجية.

إن توليد قوى إضافية يتطلب مصدر خارجي كبير للطاقة لا يستطيع تأمينها مولد محلي، وهذا يعرض تساؤلات حول إمكانية التطبيق العملي له لحماية المنشأ خلال الزلازل حيث تكون شبكة الكهرباء غير مستقرة وعرضة لانقطاع التيار الكهربائي، ومن ناحية أخرى، فإن أجهزة التحكم (actuator) تعتبر مصدر قوى إضافية وليست مخمدات ، وبالتالي تطرح أسئلة عديدة بشأن استقرار المنشأ، وعلى الرغم من الجهود الكبيرة التي بذلت في اتجاه التخفيف من حدة هذه المشكلة من خلال تطبيق نظريات التحكم، ولكن عدم اليقين في طبيعة نماذج الهندسة المدنية اثار مخاوف كبيرة لا تزال دون حل.

التحكم الشبه الإيجابي (Semi Active Control):

يعتبر هَذَا النظام حل وسط بين أنظمة التحكم الإيجابية والسلبية وهي تقنية مهمة ذات أداء عالي في تحسين استجابة المنشأ، يتم التحكم من خلال مبددات للطاقة (المخمدات) كأجهزة التحكم السلبي، ولكنها تمتاز بخصائصها المتغيرة بسرعة و التي يمكن ضبطها في الوقت الحقيقي اللازم لتحسين الاستجابة الديناميكية للمنشآت، وعلى الرغم من محدودية مثل هذه الأجهزة فإنها تملك بعضاً من الخصائص الجذابة للنظم الإيجابية، تتجلى في أنها قادرة على مراقبة القوة في الوقت الحقيقي، كما يمكنها تحسين صفات المخمدات المزروعة بأماكن محددة من المنشأ استناداً إلى الاستجابة، وبالتالي تحسين استجابة المنشأ بأكمله. إن الطاقة الوحيدة اللازمة لتشغيل أنظمة التحكم شبه الإيجابية هي اللازمة لأجهزة الاستشعار وحواسب السيطرة، وإلى جهاز ضبط صفات المخمدات، وعادة ما تكون هذه المتطلبات أقل بكثير من متطلبات أجهزة التحكم الإيجابي.

يوضح الشكل (2-3) طريقة عمل التحكم شبه الإيجابي من خلال مقارنته بالتحكم السلبي والتحكم الإيجابي:



الشكل (2-3): توضيح عمل التحكم شبه الإيجابي. (Spencer Jr and Soong 1999)

1.2.2. أجهزة التحكم باستجابة المنشآت:

طورت العديد من أجهزة التحكم باستجابة المنشآت ويمكن تقسيمها الى ثلاث أنواع بحسب طريقة تبديدها للطاقة:

أجهزة تحكم سلبية: تقوم بتبديد الطاقة الاهتزازية بتعديل خواص المنشأ من قساوة وتخمد، ولا تحتاج أي

مصدر خارجي للطاقة.

أجهزة تحكم إيجابية: تقوم هذه الأجهزة بتقديم طاقة للمنشأ بطريقة تخدم، وتعاكس حركته الاهتزازية لذلك

هي محركات هيدروليكية وكهربائية.

أجهزة تحكم شبه إيجابية: تقوم هذه الأجهزة بتبديد الطاقة مثل أجهزة التحكم السلبية، ولكن يتم ضبط

الطاقة المبددة من خلال ضبط بارامترات الجهاز - القساوة والتخميد - مباشرة أثناء الحركة من خلال إشارة

هيدروليكية، او مغناطيسية، او كهربائية.

أجهزة التحكم السلبية:

تضم أجهزة التحكم السلبية مجموعة من المواد والأجهزة التي تقوم بتحسين صفات المنشأ من متانة

وصلابة وتخمد، ويمكن استخدامها للحماية من المخاطر الطبيعية او تدعيم المنشآت القائمة. تقسم هذه الأجهزة

عن بعضها بحسب طريقة تحسين تخمد الطاقة في المنشأ الى نوعين:

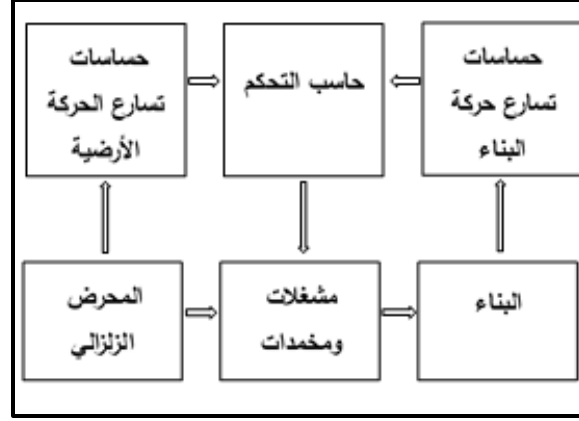
النوع الأول: يحول الطاقة الحركية الى طاقة حرارية كمخمدات الاحتكاك وعناصر المنشأ التي تبدد الطاقة بواسطة

خضوع موادها وتشكل المفاصل اللدنة فيها.

النوع الثاني: كأجهزة العزل الزلزالي ومخمد الكتلة المعاكسة التي تتجاوب مع الحركة الديناميكية بدلاً عن المنشأ.

أجهزة التحكم الإيجابي:

تعد أفضل أداءً من أجهزة التحكم السلبي بسبب قدرتها على استخدام معلومات عن الاستجابة الكلية للبناء، وبالتالي تحديد القوة المطلوبة لتخفيض هذه الاستجابة، ويمكن لاستراتيجية التحكم أن تقدر استجابة المنشأ الكلية لتحديد قوة التحكم المطلوبة، وبالتالي فهي أكثر تعقيداً من التحكم السلبي وتحتاج إلى حساسات وأجهزة تقييم وتحكم (حاسب)، كما يوضح الشكل (4-2):



الشكل (4-2): رسم توضيحي لمكونات التحكم الإيجابي. (Spencer Jr and Soong 1999)

يمتاز التحكم الإيجابي بفاعليته على مجال واسع من الترددات (transient vibration and wide range of freq)، ولكنه محدود بقدرة أجهزة التحكم على تأمين القوة المطلوبة للتحكم بالمنشأ عند تعرضه للمعرض الزلزالي، ويوجد مشكلة أخرى تواجه أجهزة التحكم الإيجابي وهي إمكانية حدوث حالة من عدم استقرار في المنشأ لعدة أسباب أهمها أن المعرض الزلزالي ذو صفات متنوعة لا يمكن التنبؤ بها وبسبب أخطاء النمذجة أو تعديل المنشأ وبسبب الضجيج الحاصل في أجهزة القياس.

تم استخدام استراتيجية التحكم الإيجابي في عدة منشآت مدنية تقدر بأكثر من 40 بناء و برج وأكثر من 15 جسر (Tanida 1995)، يبين (Spencer Jr and Soong 1999) في الجدول (1-2) مجموعه من هذه الأبنية مزودة بعدد من استراتيجيات التحكم الإيجابي كالعزل الزلزالي النشط (Active base isolation)، التبريط النشط (Active bracing)، مخمد السائل المضبوط (Tuned liquid column damping)، مخمدات الاصطدام (Impact absorbers)، والابنية المتصلة ببعضها بواسطة أجهزة التحكم الإيجابي، ومخمد الكتلة النشط (Active mass driver).

اثبتت دراسة (spencer and Soong 1999) أنه على الرغم من استخدام التحكم شبه الإيجابي حالياً

من أجل تحسين استجابة المنشآت على الرياح المتوسطة لتحقيق راحة قاطني البناء إلا أن نظام التحكم شبه

الإيجابي قادر على تحسين استجابة المنشأ، ورفع قدرة تحمله على شدة رياح، ومخاطر زلزالية أعلى.

كما أثبتت الدراسة أن تطور أجهزة التحكم شبه الإيجابية يساهم في زيادة المرونة والاقتصاد في عملية

الإنشاء من حيث التعامل مع احتمالات مختلفة للأحمال (شدات منخفضة، متوسطة، وعالية من الرياح أو

الزلازل) حيث يمكن أن يحتوي البناء تخميد بنظام تحكم سلبي يقاوم الأحمال الأساسية ونظام تحكم إيجابي أو

شبه إيجابي يقاوم الاحمال الخاصة والطارئة بحيث يتكيف المبنى مع الاحمال التي يتعرض لها.

مخمد الكتلة النشط (Active mass driver: AMD):

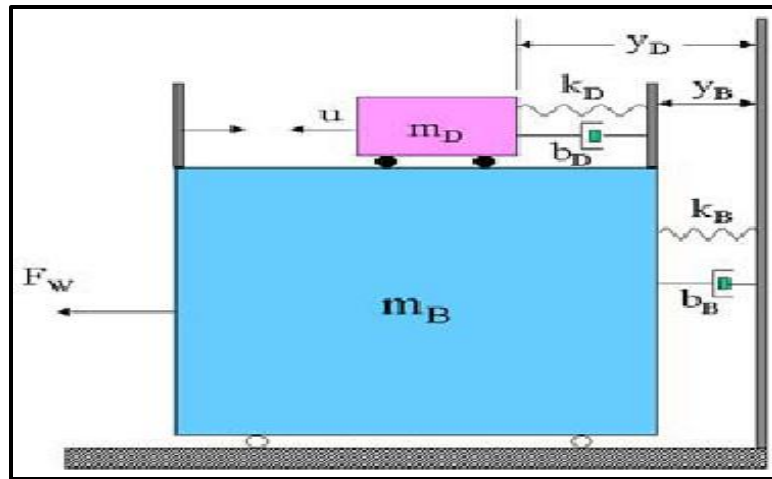
يتكون من كتلة موصولة بالمنشأ بوساطة محرك هيدروليكي أو كهربائي، حيث تصمم المجموعة المكونة

من الكتلة والمحرك ليكون الدور الناتج لهذه المجموعة قريباً من دور المنشأ وبالتالي يحدث طنين لهذه الكتلة أثناء

اهتزاز المنشأ، لكن بفرق صفحة يؤدي بهذه الكتلة لتخميد حركة المبنى. يقوم المحرك بإعطاء قوة تحكم (F)

تعاكس أو تخمد حركة المنشأ. يعتبر مبنى (11-story Kyobashi Seiwa) أول مبنى يزود بهذا النوع من

الأجهزة. (spencer and Soong 1999)



الشكل (5-2): طريقة عمل مخمد الكتلة النشط. (Villamizar Mejia 2005)

يبين الجدول (1-2) أهمية التحكم الإيجابي وشبه الإيجابي ومقدار الثقة بهذه الأنظمة التي سمحت

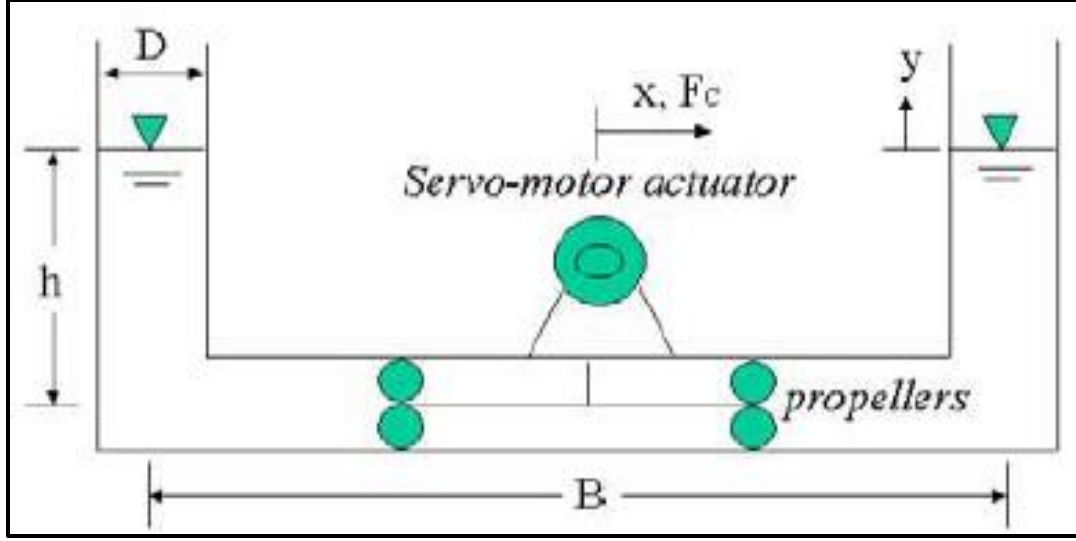
باستخدامها في العديد من الأبنية والتي منذ انشائها تثبت فاعلية في تحسين الأداء.

الجدول (1-2): استخدام أجهزة التحكم الإيجابي في الأبنية قبل عام 2000. (Spencer Jr and Soong 1999)

Location	Building	year completed	Building Use	No. of Stories	Control Device
Japan	Kyobashi Seiwa , Tokyo	1989	Office	11	AMD
	Kajima Research Lab, Tokyo	1990	Office	3	SAVS
	Shimizu Tech. Lab.	1991	Lab.	7	AMD
	sendagaya Intes, Tokyo	1992	Office	11	HMD
	Elevator Tech. Lab	1992	Lab.	60 m	AGS
	Hankyu Chayamachi, Osaka	1992	Hotel	34	HMD
	Kansi Intl, Tokyo	1992	Control Tower	88 m	HMD
	Land Mark Tower, Yokohama	1993	Hotel	70	HMD
	Osaka Resort City 200, Osaka	1993	Hotel	50	HMD
	Long Term Credit Bank, Tokyo	1993	Office	21	HMD
	Ando Nishikicho, Tokyo	1993	Office	14	HMD
	NTT Kur, hiroshima	1993	Office	35	HMD
	PentaOcean, Tokyo	1994	Experimental	6	HMD
	Shinjuku Park Tower, Tokyo	1994	Office	52	HMD
	Dowa Fire Mrine, Osaka	1994	Office	29	HMD
	Porte Kanazawa, Kanazawa	1994	Hotel	30	AMD
	Mitsubisishi Heavy Ind, Yokohama	1994	Office	34	HMD
	ACT Tower, Hamamtsu	1994	Office	212 m	HMD
	Riverside Sumida, Tokyo	1994	Office	33	AMD
	Hotel Ocean, Miyazki	1994	Hotel	43	HMD
	RIHGA Royal Hotel, Hiroshima	1994	Hotel	35	HMD
	Hikarigaoko J City, Tokyo	1994	Office	46	HMD
	Osaka WTC, Osaka	1994	Office	52	HMD
	Dowa Kasai Phoenix, Tokyo	1995	Office	28	HMD
	Rinku Gata Tower, Osaka	1995	Office	56	HMD
	Hirobe Miyake, Tokyo	1995	Office	9	HMD
	Plaza Ichihara, Chiba	1995	Office	12	HMD
	Herbis Osaka, Osaka	1995	Hotel	38	AMD
	Nisseki Yokohama, Yokohama	1997	Office	30	HMD
	Itoyama Tower, Tokyo	1997	Office	18	HMD
	Otis Shibyama Test Tower, Ohita	1997	Lab.	39	HMD
	Bunka Gakuen, Tokyo	1998	School	20	HMD
	Daiichi Hotel Oasis Tower, Ohita	1998	Hotel	21	HMD
	Odakuu Southern Tower, Tokyo	1998	Office	36	HMD
	Kajima Shizuoka, Yakohama	1998	Office	5	SAHD
	Sotetsu Kyoto, Yakoham	1998	Hotel	27	HMD
	Century Park Tower, Tokyo	1999	Resid.	54	HMD
USA	Highway 1-35 Bridge, OK	1999	Highway	-	SAHD
Taiwan	Shin-Jei, Taipei	1999	Office	85	HMD
	TC Tower, Kaoshiung	1999	Office	22	HMD
China	Nanjing Communication Tower	1999	Comm.	310 m	AMD

محمد السائل المضبوط (Tuned liquid column damping: TLCD):

يتكون الجهاز من خزانين على شكل أعمدة متصلة ببعضها من الأسفل بواسطة قسم أفقي، يبين الجدول (1-2) أهمية التحكم الإيجابي وشبه الإيجابي ومقدار الثقة بهذه الأنظمة التي سمحت باستخدامها في العديد من الأبنية والتي منذ انشائها تثبت فاعلية في تحسين الأداء)، يحتوي القسم الأفقي على مضخات تقوم بضخ السائل داخل الخزانات بحيث تعاكس حركه السائل الحركة الزلزالية. تمت دراسة المخدم تحليلياً وتجريباً في عمل (Hochrainer 2005)، كما تم استخدامه (Hochrainer and Ziegler 2006) في النظم الهجينة لتحسين الحركة الديناميكية للأبنية العالية على الرياح.

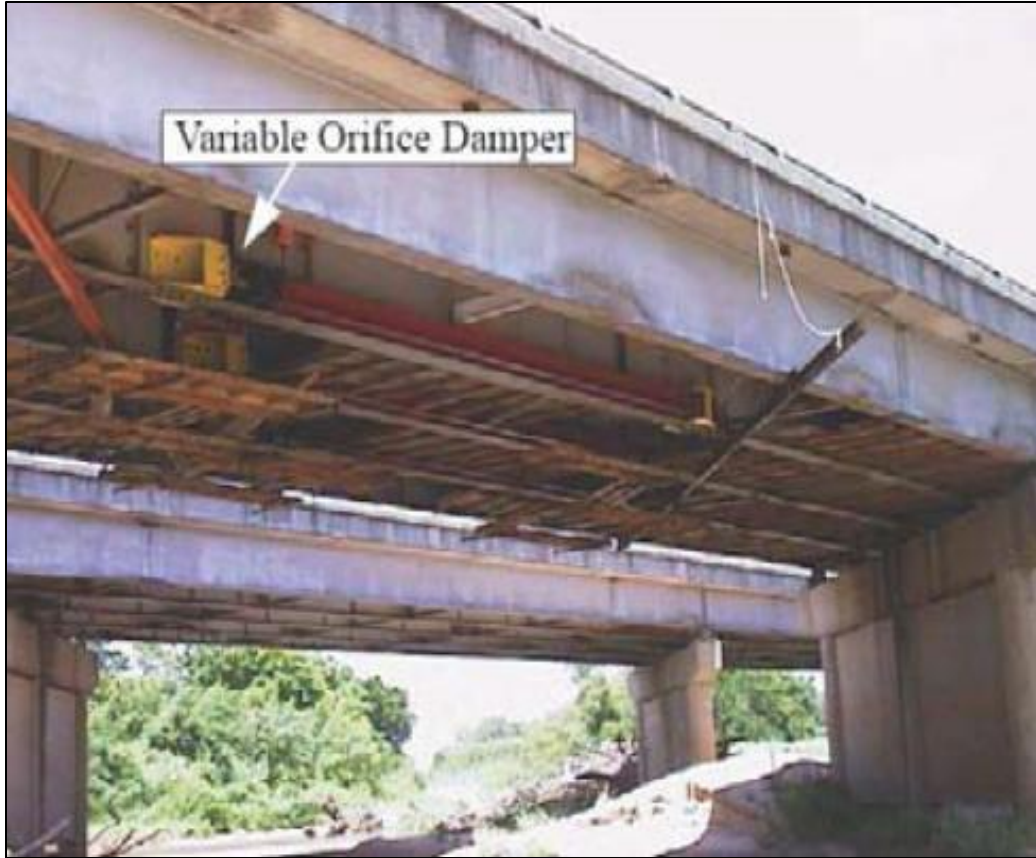


الشكل (6-2) : طريقة عمل مخدم السائل المضبوط. (Villamizar Mejia 2005)

درس الباحثان (Hochrainer and Ziegler 2006) أثر استخدام مخدم السائل المعايير (TLCD) على الأبنية العالية حيث يقوم المصمم بمعايرة مخدم (TLCD) في مجال تردد منخفض (أقل من 5Hz) مع أخذ دور البناء في الاعتبار حيث يقوم المخدم بتحسين أداء المبنى متعدد درجات الحرية (MDOF) في الدور المجاور لدور المخدم المصمم. كما درس الباحثان أثر أغلاق فتحة خزان المخدم وأثر الغاز المضغوط في تحسين استجابة المخدم والمنشأ حيث اثبت المخدم فاعلية في تحسين الاستجابة كما أوصى البحث باعتماد المخدم مع تقنية العزل الزلزالي (حيث نلاحظ أن المخدم أكثر فاعلية في تحسين المنشأ المعزول والذي يمثل عادةً بدرجة حرية واحدة ذات تردد منخفض وذلك لبطء استجابة المخدم التي تعتمد على عمل المضخات).

أجهزة التحكم شبه الإيجابية:

تعد هذه الأجهزة أدوات واعدة في حماية المنشآت المدنية لأنها تجمع الخواص الايجابية لكلاً من التحكم السلبي والايجابي، وتوفر نوعاً من التكيف مع الحمل الديناميكي بدون الحاجة لطاقة كبيرة لتشغيلها حيث تعتبر هذه الخاصية مهمة جداً في الأوضاع الحرجة مثل الزلازل والرياح الشديدة عندما تكون خطوط الكهرباء مقطوعة عادةً، حيث لا يمكن لأجهزة التحكم شبه الايجابية أن تطبق قوى على المنشأ المتحكم به، و لكن يمكن لبعض خواصها أن تتغير ديناميكياً، و كذلك فإن هذه الاجهزة تساهم في استقرار المنشأ (لا تطبق قوى خارجية قد تساهم في عدم استقراره)، وهذه ميزة اساسية تسمح بتطبيق نظريات تحكم متعددة دون وجود مشكلة في تحقيق استقرار المنشأ، ولذلك من المتوقع ان يعطي التحكم شبه الإيجابي نتائج أفضل من التحكم الإيجابي.



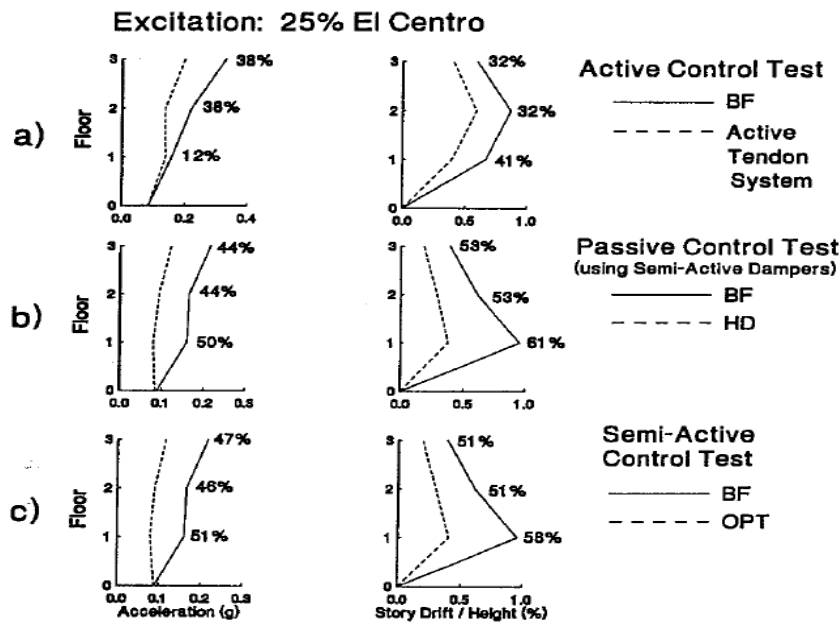
الشكل (7-2) : استخدام مخمد هيدروليكي متغير الفوهة شبه الإيجابي في جسر مواصلات. (Spencer Jr and Sain 1997)

يوضح الشكل (7-2) أول جسر مواصلات مزود بنظام تحكم شبه الايجابي في الولايات المتحدة الاميركية بواسطة مخمد هيدروليكي متغير الفوهة. تضم أجهزة التحكم شبه الايجابية المخمد الهيدروليكي متغير الفوهة، ومخمدات الاحتكاك المتحكم به، ومخمد السائل ذو اللزوجة المتحكم بها.

المخمد الهيدروليكي متغير الفوهة (Variable-orifice fluid dampers):

يتصف هذا المخمد بمعامل تخميد يمكن تعديله، من خلال تعديل فتحه صمام (الفوهة التي يمر بها السائل ضمن حجرتي المخمد) لتغير المقاومة التي يتعرض لها السائل الهيدروليكي، وبالتالي يمكن التحكم بالقوة المتولدة في المخمد بواسطة قوة صغيرة لازمة لتعديل فتحه الصمام. (Symans and Constantinou 1997) استخدم هذا الجهاز (Semi Active Hydraulic damper: SHD) مع عدة استراتيجيات تحكم في (Kurino and Kobori 1998)، كما اثبتت دراسة (Kurino and Kobori 1998) أن الجهاز يمكن ان يبدد ضعف الطاقة المخمدة بواسطة المخمد الهيدروليكي السلبي.

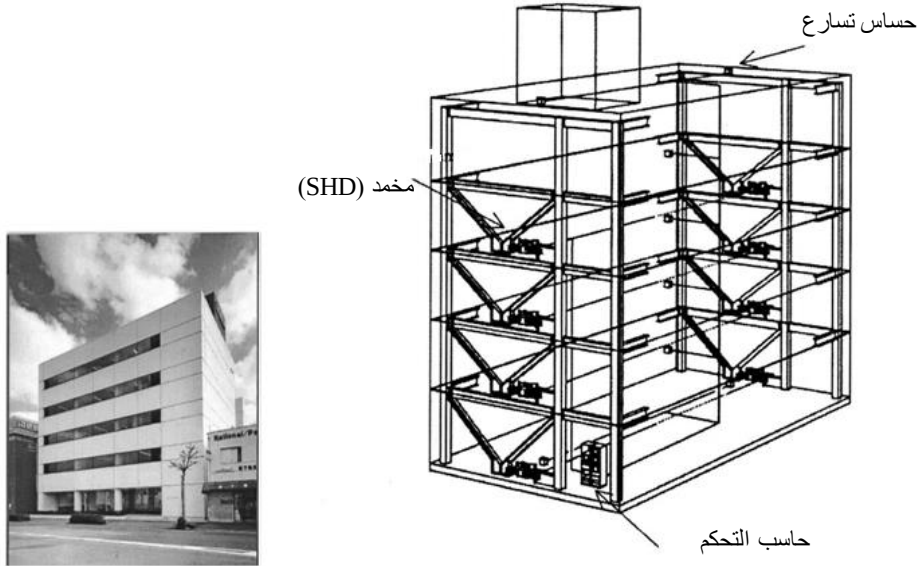
أكد الباحثان (Symans and Constantinou 1997) على أهمية المقارنة بين حالتين: حالة التحكم السلبي وحالة التحكم الايجابي وشبه الايجابي في تقييم أداء المخمد الهيدروليكي (الذي يمكن اطفائه وتشغيله بواسطة صمام كهربائي) في تحسين استجابة المنشأ من خلال دراسة تحليلية وتجريبية على الطاولة الهزازه. قارن الباحث بين استجابة مبنى من ثلاث طوابق على سجل (0.25 El_Centro) بحالة بدون تخميد، حالة التحكم الايجابي باستخدام الشداد الفعال، حالة التحكم السلبي بمخمد (SAHD) وهو يعمل طول الوقت، حالة التحكم شبه الايجابي باستخدام مخمد (SAHD) المتحكم به حيث أثبت المتحكم المقترح بطريقة (H_{∞}) مناعةً (Robustness) وتخميداً هاماً وتحسيناً في استجابة المنشأ مقارنة باستراتيجيات التحكم الأخرى، كما في الشكل (2-7):



الشكل (2-8) : نتائج دراسة (Symans and Constantinou 1997) باستخدام استراتيجيات تحكم مختلفة

تم استخدام المخمد الهيدروليكي شبه الإيجابي (SAHD) في العديد من الأبنية العالية أهمها:

- ❖ تم استخدامه في بناء من 11 طابقاً وتم أثبات قدرته في تحسين التخميد. (Kurata et al. 2000)
- ❖ تم استخدامه في بناء (Shiodone Kejima Tower) في طوكيو في اليابان، حيث طور الباحث (Kurata et al. 2000) مخمد هيدروليكي شبه إيجابي (SAHD) استخدمه في البناء عام 1998 والذي يعتبر أول استخدام للمخمد في بناء طابقي حيث درس الباحث أثر المخمد على استجابة المنشأ بالاهتزاز الطبيعي المستقر (Steady State) حيث أثبت فاعلية المخمد.
- ❖ أجريت عليه دراسة تجريبية بمثال بالحجم الطبيعي في مخبر (Kobori research complex) في اليابان. (Kurata et al. 2000)
- ❖ تم استخدامه في دراسة تجريبية على جسر موصلات الشكل (7-2) الذي يعتبر أول بناء مزود بالتحكم شبه الإيجابي في الولايات المتحدة الأمريكية. (Kuehn et al. 1999; Neff Patten et al. 1999)



الشكل (9-2) : بناء Kajima Shizuoka المزود بمخمدات (SAHD) (Kurata et al. 2000)

كما درس الباحث سيد عبد السلام (Salam et al. 2012) وزملاؤه عملية أمثلة توضع هذه الأجهزة في بناء برج طابقي حيث وجد أن استخدام المخمد وربطه بين عدة طوابق يعطي نتائج أفضل في تحسين الاستجابة الزلزالية وأقترح طريقة لحساب الأماكن المثلى لتوضعها. إن استخدام هذه الطريقة في التوزيع (ربط عدة طوابق معاً) سمحت بتخفيض عدد المخمدات (حل اقتصادي)، تحسين استجابة المنشأ، ورفع كفاءة المنشأ ومنعه من الانهيار على شدة زلزالية أعلى.

استخدم الباحث (Kuehn et al. 1999; Neff Patten et al. 1999) المخمد الهيدروليكي شبه الإيجابي (SAHD) والذي يتم تغذيته من خلال بطارية (12Volt) في جسر موصلات، الشكل (2-7) ، وتجربة المخمد على مدى عامين. حيث أثبتت الدراسة ان النظام يخفض الاجهاد الاعظمي (50%)، كما اثبتت دراسة الجمعية الوطنية لبرامج بحوث الطرق (NCHRP) أن هذه الطريقة في التحكم تزيد العمر الأمان لاستخدام الجسر مدة 50 عام، وأن كلفة هذا النظام لا تتجاوز (10%) من كلفة استبدال الجسر.

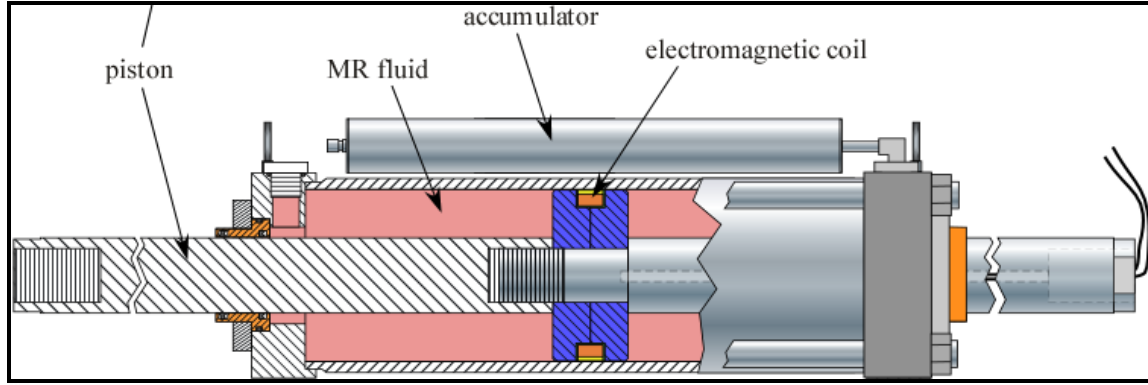
مخمد السائل المتحكم بلزوجته (Controllable fluid dampers):

يمكن لهذا الجهاز التحكم بخواص السائل الداخلي من خلال إشارة كهربائية أو مغناطيسية، وبالتالي تعديل قوة التخميد، وأهم ميزات هذه الأجهزة أن المكبس هو الجزء الوحيد المتحرك فيه، وكذلك يتميز بالقدرة السريعة على تغير خواصه (من مخمد لزج مرن الى مخمد شبه صلب في ميلي ثانية)، وذلك بتعريضه لحقل كهربائي أو مغناطيسي.

يوجد نوعان لهذه الأجهزة بحسب السائل المستخدم فيها: المخمد (Electrorheological: ER) الذي يحوي سائل متغير اللزوجة كهربائياً، والمخمد (Magnetorheological: MR) الذي يحوي سائل متغير اللزوجة مغناطيسياً. تم تطوير مخمد (ER) لاستخدامه في تطبيقات الهندسة المدنية معظم هذه التطويرات درست من قبل (Gavin 2001; Gavin et al. 1996; Hanson and Filisko 1996; Leitmann and Reithmeier 1993) وآخرون.

اهتمت دراسة (Gavin) بإيجاد نماذج رياضية لمخمد السائل المتحكم بلزوجته كهربائياً (ER) _ القابل لتعديل قساوته وتخميده أنياً _ من أجل عملية النمذجة والتحكم بالمخمد ومن ثما تجربته من خلال مجموعة ابنية وأمثلة، حيث اثبت فاعلية المتحكم في تحسين استجابة المنشآت على الزلازل وذلك لسرعة استجابة المخمد (ميلي ثانية). لكن الاستطاعة المحدودة لهذا النوع من المخمدات أدت لتطوير نوع مشابه هي مخمدات السائل المتحكم بلزوجته مغناطيسياً (MR) ذو سرعة الاستجابة العالية والاستطاعة التي قد تصل (30ton).

يوضح الشكل (10-2) جهاز (20t_MR) صنع شركة (Lord co.) مخمد (MR) استطاعة (20 ton) والذي يعتبر أحد أكبر مخمدات (MR) لاستخدامه في تطبيقات الهندسة المدنية (Spencer Jr et al. 1997) حيث نلاحظ بساطة الجهاز بما أن الجزء المتحرك الوحيد هو المكبس الداخلي.



الشكل (10-2) : أجزاء مخمد (20t_MR). (Spencer Jr et al. 1997)

يعتبر مخمد (MR) بديلاً عن مخمد (ER) وذلك لاستطاعته العالية مقارنة مع مخمد (ER) حيث يعتمد مبدأ عمله على التحكم بمواصفات سائل (MR) بوساطة حقل مغناطيسي عوضاً عن كهربائي والذي يحول السائل من حالته السائلة اللزجة الى حالة شبه صلبة ويمنحه خواص لزجة لدنة (viscoplastic). يملك مخمد (MR) مجال استطاعة واسع يمكن التحكم به بوساطة تيار منخفض الجهد (12~24 V) وشدة تيار منخفضة (1~2 A) والتي يمكن تأمينها من خلال بطارية. كذلك تستطيع مخمدات (MR) العمل في درجات حرارة متنوعة (-40°C ~ 150°C) بتغير قليل في مقاومتها. يمكن تعديل خواص الجهاز بسرعة عالية تصل الى (10 ميلي ثانية). طور مخمد (MR) في (Dyke et al. 1996b)، حيث استخدم نموذج ميكانيكي بسيط لدراسة سلوكه. كما تم العديد من الدراسات التحليلية والتجريبية لعرض فاعلية مخمدات (MR) في (Dyke and Spencer Jr 1996; Dyke and Spencer Jr 1997; Dyke et al. 1996a; Dyke et al. 1996b; Dyke 1996)، حيث اثبتت الدراسات قدرة المخمد على العمل بشكل يشبه أجهزة التحكم الإيجابية لكن بجزء بسيط من الطاقة التي يحتاجها التحكم الإيجابي.

قامت دراسات الباحثة (Shirley Dyke) الدكتورة المهندسة في اختصاص تحسين المنشآت زلزالياً والتحكم بها وزملائها بدراسة مخمد السائل المتحكم به مغناطيسياً (MR) _ القابل لتعديل قساوته وتخميده أنياً _ ، حيث أوجدت مجموعة من النماذج الرياضية للمخمد تم اعتماد أحدها في الدراسة التحليلية. كما درست طرق التحكم بهذه المخمدات حيث طورت متحكم (Clipped optimal) الذي يقوم بترجمة أوامر الحاسب (القوة المطلوبة من المخمد) الى أوامر تحكم كهربائية (on-off). تأتي أهمية المتحكم في سرعته وقدرته على التحكم بالمخمد دون الحاجة لاستخدام معادلاته اللاخطية المعقدة التي تعتمد على شدة التيار الكهربائي وانتقال وسرعة مكبس المخمد النسبية في حساب قوى التخميد وذلك من خلال مقارنة القوة المطلوبة من المخمد بالقوة المتولدة في المخمد في أجزاء زمنية أصغر بكثير من الخطوة الزمنية التي يطلب بها حاسب التحكم القوة وبالتالي يقوم متحكم (Clipped optimal) بإطفاء الجهاز وتشغيله ضمن هذه الأجزاء مجبرة الجهاز العمل وفق القوة المطلوبة عندما تتحقق شروط الانتقال والسرعة الكافية لإحداث هذه القوة.

مخمد الاحتكاك المتحكم به:

يعمل مخمد الاحتكاك على تحويل الطاقة الحركية الى حرارية وبالتالي تخميد الطاقة من خلال القوة المتشكلة في سطح الاحتكاك، يمكن تعديل القوة المتولدة في المخمد من خلال إشارة كهربائية أو ضغط غاز والذي يغير معامل الاحتكاك. في (Dowdell and Cherry 1994) درس قابلية هذه الأجهزة تخفيض الانتقال والانزياح النسبي للمبنى طابقي يتعرض للزلازل، وفي (Feng et al. 1993; Fujita et al. 1994) استخدمت هذه الأجهزة مع العزل الزلزالي لتحسين أدائه. طورت أبحاث (Akbar and Aktan 1990; Pandya et al.) (1996) جهاز احتكاك يسمح المتحكم به بانزلاق (controlled slip) وذلك في جامعة (British Columbia).

2.2.2. أنواع المتحكمات:

تم دراسة عدد كبير من استراتيجيات التحكم في العقدين الماضيين، وذلك بالاعتماد على المعلومات المتوفرة عن المنشأ المتحكم به، ونموذجه الرياضي، ونوع القياسات المتاحة فيه، ونوع أجهزة التخميد، ونوع الاثارة الديناميكية التي يتعرض لها المنشأ (زلازل، رياح، حركة مركبات...). يستطيع كل حل من حلول التحكم أن يلبي نوعاً محدداً من المنشآت وليس كل الأنواع. تم في هذا الجزء من البحث استعراض أكثر أنواع التحكم استخداماً في تطبيقات الهندسة المدنية.

التحكم الأمثل (Optimal control):

يعرف التحكم الأمثل بأنه المتحكم الذي يجعل مؤشر الأداء اصغرياً (مؤشر يعتمد على متغيرات النظام كالانزياح النسبي مثلاً وهو مؤشر يرتبط بانقالات الطوابق-بعض متغيرات النظام الديناميكي-)، بأقل جهد ممكن (أقل ما يمكن من القوة المطلوبة للتخميد).

يمكن إيجاد قوة التحكم بهذه الطريقة لنظام ديناميكي من الدرجة الثانية (Second order dynamic systems) اعتماداً على مؤشر أداء يمكن أن يحوي أي من معطيات المبنى كالانتقالات والسرع والتسارعات، أو بعض معايير الأداء الكلاسيكية كالانزياح النسبي أو الطاقة في المفاصل اللدنة، أو أي متغيرات يراها المصمم ضرورية.

يوجد هدفين لتصميم متحكم ما:

■ الأول (Regulator) هو جعل النظام الديناميكي مستقراً وبالتالي إبقاء حالة المبنى (System

state) ومخرجاته صغيرة ما أمكن.

■ الثاني هو (Tracker) والذي يجعل مخرجات النظام الديناميكي (Outputs) تتبع مساراً محدداً

مسبقاً وتبقى حالته محدودة.

أهم نظريات التحكم الأمثل هي المتحكم الخطي التربيعي (Linear Quadratic Regulator: LQR)،

والمتحكم الخطي التربيعي الغوسي (Linear Quadratic Gaussian: LQG)، ومتحكم (Clipped Optimal

control)، ومتحكم (Bang-Bang control).

التحكم التريبيعي الخطي (LQR):

تستخدم هذه الخوارزمية في كلا من التحكم الإيجابي والتحكم شبه الإيجابي لكن لا يمكن استخدامها دوماً ذلك لأنها تتطلب أن تكون جميع حالات المبنى مقاسة ومتوفرة، وهذا صعب بسبب محدودية عدد أجهزة القياس. كما لا تستطيع هذه الخوارزمية أخذ لا خطية المنشأ والمخمد في الحسبان.

تأخذ معادلة أوامر التحكم شكل معادلة خطية $(\vec{u} = -K * \vec{x})$ من هنا أتت تسميتها بالخطية، حيث (K) هي مصفوفة الارجاع والتحكم (feedback) و $(\vec{x})$ هو شعاع حالات المبنى (system states) و $(\vec{u})$ هو شعاع مدخلات المبنى التي يتحكم بها وهي في حالتنا قوى التحكم. يربط التحكم بالنظام الديناميكي تنتج لدينا دائرة مغلقة (close loop)، الشكل، تعمل وفق السلوك المطلوب.

يتم إيجاد مصفوفة الارجاع والتحكم (K) من خلال تخفيض مؤشر أداء تريبيعي، معادلة (1-2)، ومن هنا أتت تسمية متحكم تريبيعي.

$$J(X, U) = \int_0^{\infty} (X^T(\tau) * Q * X^T(\tau) + U^T(\tau) * R * U^T(\tau)) * d\tau \quad (1-2)$$

تم استخدام هذه الخوارزمية في عدد من الدراسات (Agrawal et al. 1998; Fujita et al. 1994; Kurata et al. 1999; Nagarajaiah and Mate 1998; Sadek and Mohraz 1998; Symans and Constantinou 1997) وذلك باعتبارها أساساً للمقارنة، وفي (Symans and Constantinou 1997) تم اجراء تجربة عملية لاستخدام هذه الطريقة في التحكم.

تعتبر طريقة التحكم التريبيعي الخطي الأساس النظري لمجموعة من المتحكمات لذلك اتفقت الدراسات على أهمية دراستها والمقارنة بها حيث اثبتت قدرتها على تحسين استجابة المنشآت بشكل ملحوظ في عدة معايير كالانتقال والانزياح النسبي والتسارع الطائفي، وذلك بالرغم من أن هذه الطريقة بالتحكم لا يمكنها أخذ أثر اللاخطية في المنشأ أو مشغل التحكم.

تعد هذه الطريقة صعبة الاستخدام للتحكم بالمنشآت متعددة درجات الحرية وذلك لحاجتها لفرض عدد كبير من المعطيات (مصفوفة اوزان (Q) الاستجابة وأوزان التحكم (R)) والتي تصبح معاييرها أصعب كلما زادت درجات الحرية وعدد المشغلات.

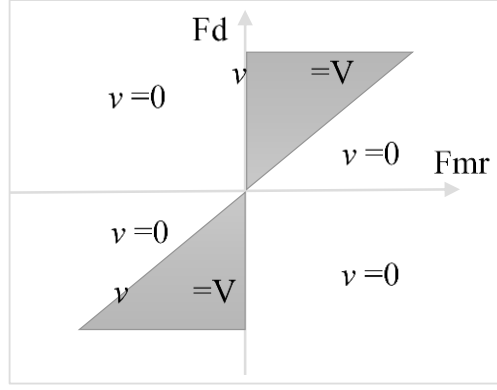
التحكم التريبيعي الخطي الغوسي (LQG):

تختلف هذه الطريقة عن سابقتها بوجود (Observer) راصد ديناميكي (L) يقوم بإيجاد شعاع حالة تقريبي ($\hat{x}$) من خلال بعض القياسات وليس جميعها حيث تدخل معادلة الراصد في معادلات التحكم: يجب حساب مصفوفتي التحكم (K) والرصد (L) وذلك لتأمين مناعة للمتحكم (Robustness) وأداء عالي على الضجيج الحاصل في أجهزة القياس (ضجيج الحساسات) وأخطاء النمذجة (القصور في النمذجة). تم تطبيق هذه النظرية في عدد من المنشآت المدنية المتحكم بها إيجابياً وشبه إيجابياً في أبحاث (Yi and Dyke 2000; Yoshida et al. 1994).

اثبتت هذه الطريقة في التحكم قابليتها على استخدام عدد أقل من الحساسات، ومناعة في تحسين الاستجابة الزلزالية للمنشآت حيث تقوم هذه الطريقة بالتحكم بإلغاء الخطأ بين القياس الطبيعي (المسجل في الحساسات) وبين القياس المتوقع حسابياً (الذي يقوم بحسابه الراصد الديناميكي) والناتج عن ضجيج الموقع، جودة الحساسات، أخطاء النمذجة وقصورها عن تمثيل جميع خواص المنشأ الديناميكية.

متحكم (Clipped optimal):

تعد طريقة التحكم (Clipped optimal) التطبيق العملي للمتحكمين السابقين خاصة في التحكم شبه الإيجابي حيث أن أجهزة التحكم اللاخطية عادةً والتي تعتمد على استجابة المنشأ في توليد القوى لا يمكنها إعطاء القوة المطلوبة بمجرد أمر كهربائي، حيث يقوم المتحكم بعد حساب مصفوفة التحكم (K) بوساطة (LQR) و (LQG) والتي تقوم بحساب القوة المطلوبة ($F_d=[f_1, f_2, f_3, \dots]$) يقوم متحكم (Clipped optimal) بمقارنة القوة المتولدة في جهاز المخمد مع القوة المطلوبة وبالتالي زيادة أو تخفيض شدة التيار بحسب الحاجة لزيادة أو تخفيض القوة في الجهاز، يوضح الشكل (2-11) عمل هذا المتحكم حيث يقوم بإطفاء أو تشغيل الجهاز بسرعة عالية (تصل إلى أجزاء ميلي ثانية) وبالتالي الحصول على القوة المطلوبة من الجهاز.



الشكل (11-2) : عمل متحكم (Clipped optimal). (Dyke 1996)

استخدمت هذه الطريقة في أبحاث (Dyke and Spencer Jr 1996; Dyke and Spencer Jr 1996)

حيث تبينت فاعلية هذه الطريقة. (Dyke 1996; Dyke et al. 1996a; Dyke et al. 1996b; 1997)

تعتمد فاعلية هذه الطريقة على سرعة استجابة المخمد، وتستمد أهميتها من صعوبة تمثيل معادلات المخمد اللاخطي مثل مخمد (MR) اللزج اللدن حيث تعتبر هذه الطريقة الحل الأمثل للتحكم به. أثبتت الدراسة النظرية للباحثين والدراسة الحالية قدرة المتحكم على إعطاء الأوامر المطلوبة بحيث تكون القوة المتولدة في المخمد تساوي القوة المطلوبة.

متحكم (Bang-Bang controller):

تعتبر هذه الطريقة فعالة عندما يكون معيار الأداء للمتحكم تابعاً للزمن، كما في المعادلة (2-2):

$$J = \int_{t_0}^{t_f} f(t) dt \quad (2-2)$$

لذلك يكون الحل من خلال تطبيق قوة تحكم لامحدودة في فترة متناهية الصغر. حيث يستخدم تابع (Lyapunov) في تخفيض المعدل الذي تنتقل الطاقة في المنشأ بين طاقة كامنة وطاقة حركية من خلال تخفيض سرعة المنشأ ($\dot{V}$).

تعتبر مخمدات (ER) ومخمدات (MR) جيدة للاستخدام مع هذا المخمد وذلك لسرعة استجابتها ويمكن

إيجاد هذه التطبيقات في أبحاث (Dyke and Spencer Jr 1996; Dyke and Spencer Jr 1997;)

(Leitmann and Reithmeier 1993; McClamroch and Gavin 1995).

التحكم المنيع (Robust control):

يهدف هذا التحكم لإيجاد حل تحكم منيع ضد تغيرات بارامترات النظام الديناميكي غير المؤكدة بقيمتها ضمن مجال معين (Uncertain). يعتبر النظام الديناميكي للدائرة المغلقة من البناء والمتحكم منيعاً مستقراً إذا تحققت شروط الأداء المطلوب ضمن مجال الشك ببارامترات النظام.

أنت الحاجة لهذا النوع من التحكم لأن نماذج المنشآت تحوي عدداً من المجاهيل الملموسة والبارامترات المشكوك بقيمتها والتي يتم نمذجتها عادةً من خلال مجال تغيير هذه البارامترات. أهم طرق هذا التحكم هي متحكم (H^∞) ، ومتحكم (Lyapunov)، ومتحكم (Sliding Mode).

متحكم (H^∞) :

يقوم المصمم بإيجاد تابع تحويل يعبر عن المنشأ (Transfer function) يقوم بحساب مخرجات النظام الديناميكي (y) الذي يتعرض لإثارة ديناميكية أقل من قيمة محددة سابقاً. حيث يكون هدف المتحكم إيجاد مصفوفة ارجاع وتحكم (K) لتجعل النظام الديناميكي المتحكم به (P) مستقراً، ولتجعل الشرط $\|F_1(P, K)\|_\infty < 1$ وذلك لاستجابة الدارة المغلقة للنظام والمتحكم.

يصمم متحكم (H^∞) في المجال الترددي لذلك يمكن استخدام نظام معادلات الديناميكية الترددية بسهولة. ويعتبر المتحكم جيد للنظم التي تتعرض لإثارة غير معروفة.

درس (Yang et al. 1996) أثر استخدامه مع الأبنية المحرصة زلزالياً، وتم دراسة هذه المتحكم في بحث (Yang et al. 2003) وذلك بوضع حدود أعظمية للاستجابة والطاقة، وتم استخدام هذه الطريقة في الأبنية المدنية في أبحاث (Schmitendorf et al. 1994; Wang 2003).

درس الباحثان أثر استخدام متحكم (H^∞) على النظام الايجابي المتغير الصلابة (Active Stiffness System) للأبنية التي تتعرض للزلازل. إن هذه الأنظمة تحتوي لاختيه لا يمكن إدخالها في معادلات التحكم لذلك تم استخدام المتحكم (H^∞) بالبحث بالإضافة لمجموعة من المتحكمات حيث أثبت المتحكم فاعلية في تحسين الاستجابة الزلزالية، مناعة ضد تغيرات النظام وقصور المعادلات الخطية عن التعبير عن الأثر اللاخطي.

متحكم (Lyapunov):

يعتمد المصمم على اختيار تابع محدد موجب يدعى تابع (Lyapunov). يعرف (Lyapunov) النظام مستقراً عندما يكون معدل تغير تابع (Lyapunov) سالبا وشبه محدد للدائرة المغلقة للنظام والمتحكم. الهدف من المتحكم اختيار مصفوفة تحكم تجعل مشتق تابع (Lyapunov) سالبا قدر الإمكان. تكمن أهمية المتحكم في قدرته على جعل أي متغير يريده المصمم اصغرياً (حالات النظام، خطأ التحكم، قوة التحكم ...).

متحكم (Sliding mode control):

يعتبر هذا التحكم من أنواع التحكم اللاخطي الغير مستمر، والذي يقوم بالحد من حركة حالات البناء بالنسبة لسطح (Sliding surface) يهتز البناء على جانبيه في فضاء معادلات فضاء الحالة. تتطلب الطريقة من المصمم أن يختار سطح (Sliding surface) محدد في فضاء الحالة (state space). ثم يقوم المتحكم بجعل حالات النظام تسعى نحو هذا السطح والبقاء في هذه الحالة حتى الرجوع الى الحالة المبدئية. تمتاز هذه الطريقة بمناعتها العالية.

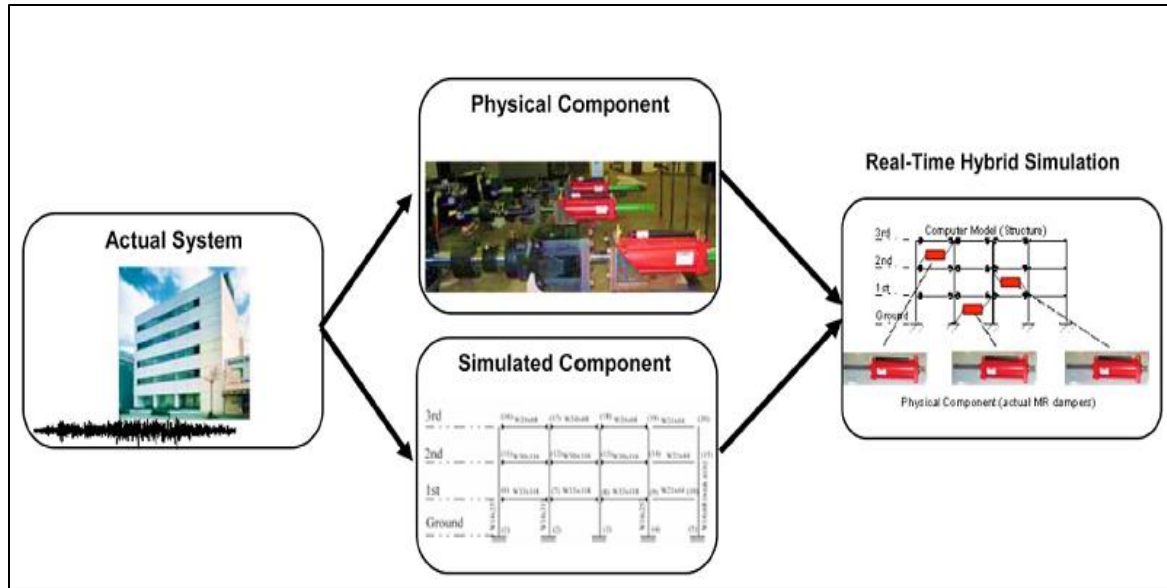
في هذا المتحكم يقوم بتحقيق الشرطين $(\sigma = Sx = 0)$ _معادلة سطح الانزلاق_ و $(\dot{\sigma} = 0)$ لإيجاد قانون التحكم، بينما في طريقة (Lyapunov) يحدد تابع (Lyapunov) من الشكل $(V = \frac{1}{2} * \sigma^2)$ ويقوم المتحكم بجعل مشتق التابع $(\dot{V} = \sigma * \dot{\sigma} = \sigma * S\dot{x} = \sigma * S(Ax + Bu))$ سالبا وذلك من خلال توابع غير مستمرة والتي تستخدم معلومات عن المجال الذي تتغير فيه بارامترات النظام الديناميكي للمنشأ.

3-2. الدراسة المرجعية _1: (testing 2011)

قام عدد من الباحثون (Richard Christenson & Shirley Dyke...) بتعاون مع عدد من الجامعات (Texas University, University of Colorado at Boulder, University of Connecticut,) ومخبر (Utah State University, Washington University NEES: Network of Earthquake) للبحوث الزلزالية بتجربة مشتركة تهدف للجمع الجهد لتطوير التحكم الشبه الإيجابي للأبنية اللاخطية بواسطة مخمد الهيدروليكي متغير اللزوجة (MR damper) حيث استمر المشروع من عام 2005 حتى عام 2010.

قام البحث على تجربة نموذج هجين مكون من النموذج الحاسوبي لبناء يخضع للزلازل، والمخمدات

المختبرة في المخبر، الشكل (2-12)، والتي يتم تحريضها بواسطة محركات هيدروليكية.



الشكل (2-12): الدراسة الهجينة لمخمدات (MR) في بناء (3-story building)

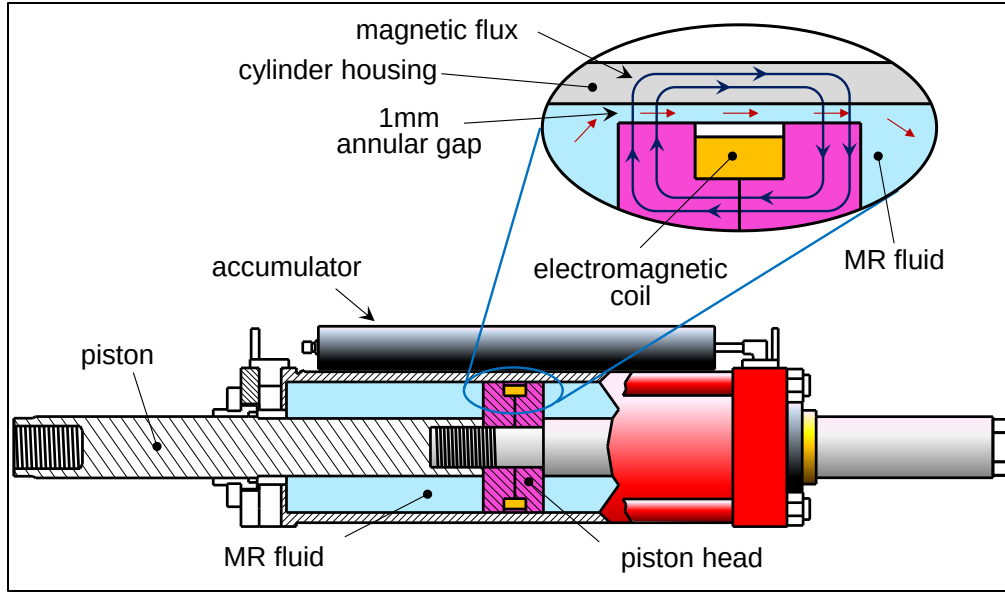
وذلك لعدة أهداف أهمها:

- إيجاد نموذج رياضي لمخمد (MR) المستخدم في دراستنا.
- اختبار عدد من العوامل مثل التأخر الزمني (Time Delay) بشكل واقعي وحقيقي والتجهيزات الكهربائية والحساسات المستخدمة والضجيج الحقيقي الممكن.
- تجميع عدد من المتحكمات وتجربتها وهذا ما قام به طلاب الجامعات المشاركة.
- إعطاء نتائج موثوقة ذلك بسبب عدد المتغيرات الكبير والمجاهيل المشكوك بها في مسألة التحكم شبه الإيجابي.

1.3.2. نموذج المخمد المستخدم في التحليل المشتق من الدراسة المرجعية: (2011 testing)

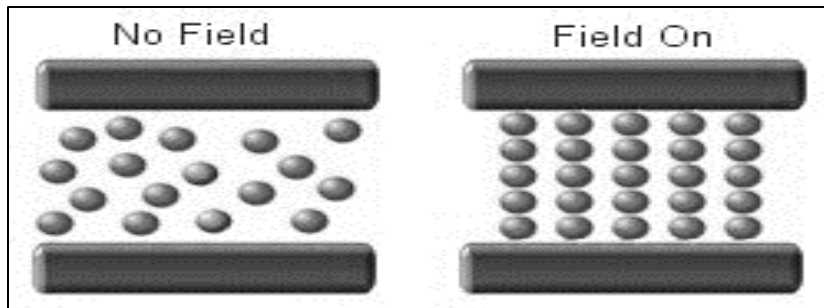
تمت التجربة على مخمد (200kN_MR damper) صنع شركه (Lord Corporation)، كما هو

مبين في الشكل (2-13)، ذو المواصفات التالية:



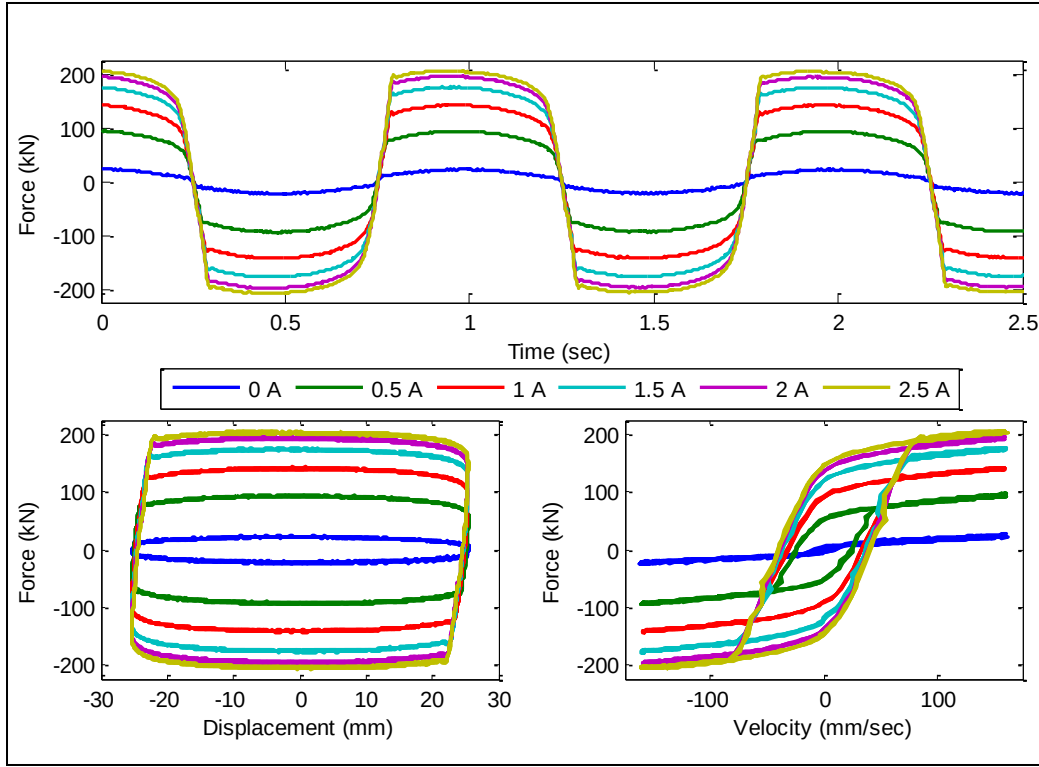
الشكل (13-2): مخمد (Lord Corporation 200kN_MR damper) (Christenson et al. 2007)

- استطاعة الجهاز (200 kN) عند سرعة ($V=0.1\text{m/sec}$) وشدة تيار ($I=2.5\text{A}$).
- طول الجهاز (58 inches = 1.47 m).
- مجال حركة الجهاز (23 inches=584 mm).
- وزن الجهاز (2.734 kN).
- يتحكم به بواسطة (Bang-Bang controller).
- يشبه مخمد (MR) المخمد الهيدروليكي التقليدي لكن سائله يحوي ذرات معدنية ترتصف عند تعرضها لحقل مغناطيسي بشكل سلاسل تكبح الحركة، الشكل (14-2)، حيث يمكن ضبط هذا الجهاز في (1/1024) ثانيه ليعطي قوه الكبح المطلوبة.



الشكل (14-2): سائل (MR) الهيدروليكي المغناطيسي (Christenson et al. 2007)

يتم التحكم بالمخمد بواسطة تيار كهربائي (0-2.5) أمبير، يوضح الشكل (15-2) القوة المتولدة في المخمد بتغيير الإشارة الكهربائية والانتقال والسرعة ضمن المخمد.

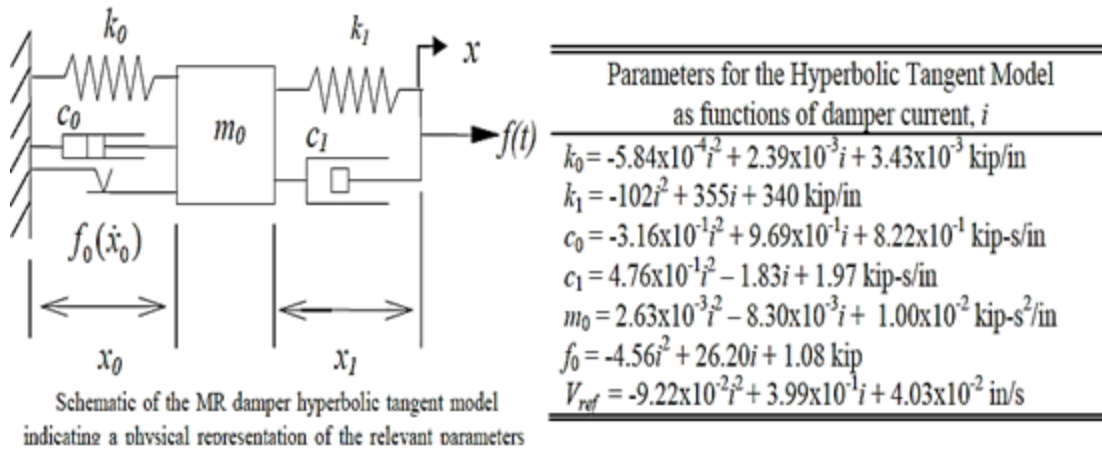


الشكل (15-2): استجابة مخمد (MR) على شدة تيار مختلفة (Christenson et al. 2007)

نموذج المخمد الرياضي:

تم استخدام نموذج الظل القطعي (Hyperbolic Tangent Damper Model) في الدراسة وهو أحد

النماذج التخلفية (hysteresis) المستخدمة في نمذجة الأجهزة اللاخطية كما هو مبين في الشكل (16-2):

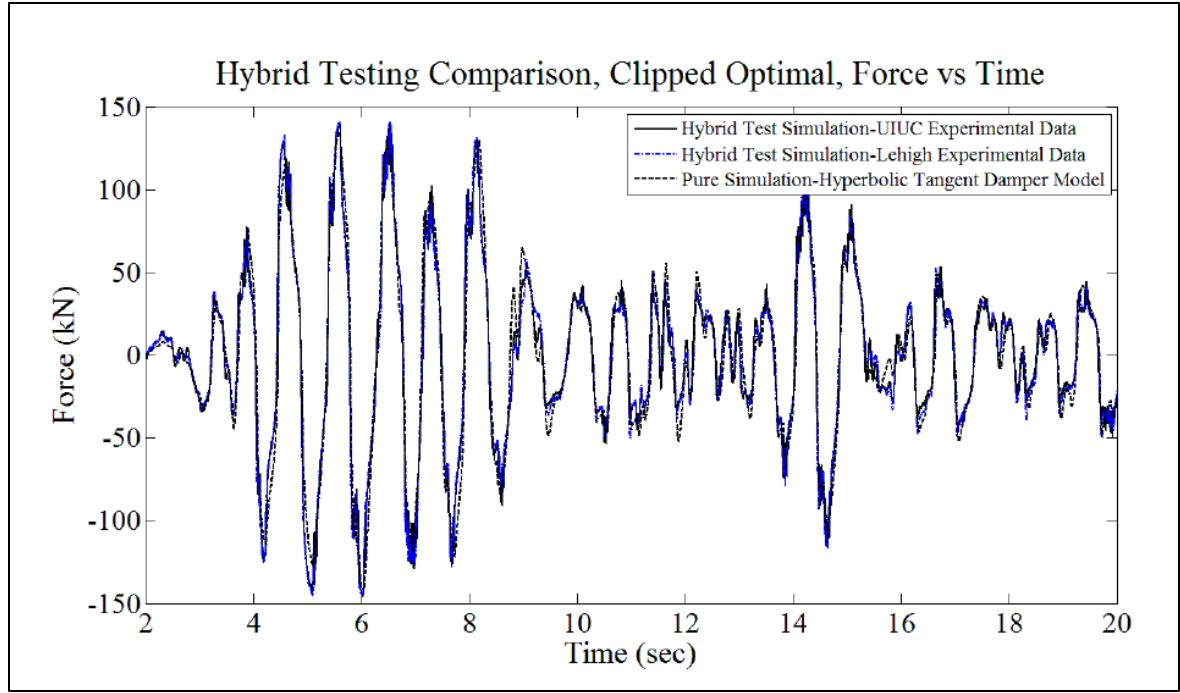


الشكل (16-2): نموذج المخمد الرياضي وبارومتريته. (Christenson et al. 2007)

يوضح الشكل (17-2) النتائج التجريبية لنموذج المخمد في ورشة مخبر (NEES Lehigh) وجامعة

(UIUC) والنتائج التحليلية للنموذج الرياضي (Hyperbolic Tangent Damper Model) للمخمد حيث

نلاحظ انطباق النتائج تقريباً وأن نموذج المخمد المقترح يستطيع نمذجة القوة بشكل جيد.



الشكل (17-2) : مقارنة النتائج التجريبية والتحليلية لمخمد (MR) (Jiang 2012)

الدراسة المرجعية 2_ (Friedman and Dyke 2012)

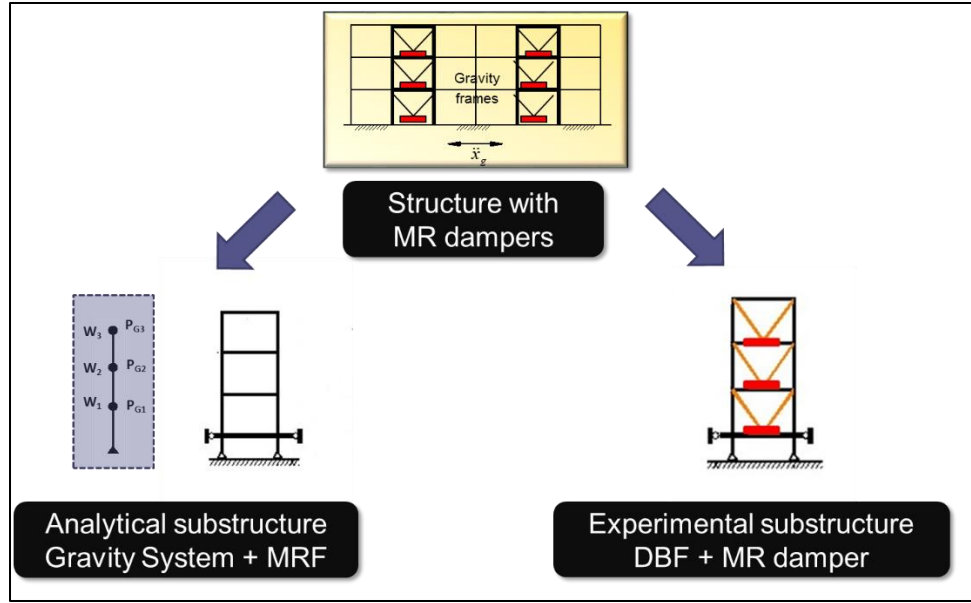
قام عدد من الباحثون (Richard Christenson & Shirley Dyke...) ومخبر (NEES) للبحوث الزلزالية بتجربة (RTHS: Real-Time Hybrid Simulation) تهدف لاختبار التحكم شبه الإيجابي بوساطة (MR damper)، وذلك على إطار معدني بالحجم الطبيعي لمبنى (3_story prototype building) وعلى نموذج هجين ل (9_story benchmark) حيث استمر المشروع من 2008 حتى 2012.

الدراسة لإطار بناء (3_story prototype building):

تهدف الدراسة لإيجاد إجراءات تصميم مقبولة لأجهزة (MR) والأبنية (Controlled structure) مقبولة في حالة استخدامها في الواقع، وذلك من خلال دراسة هجينة للبناء في الوقت الحقيقي (RTHS).

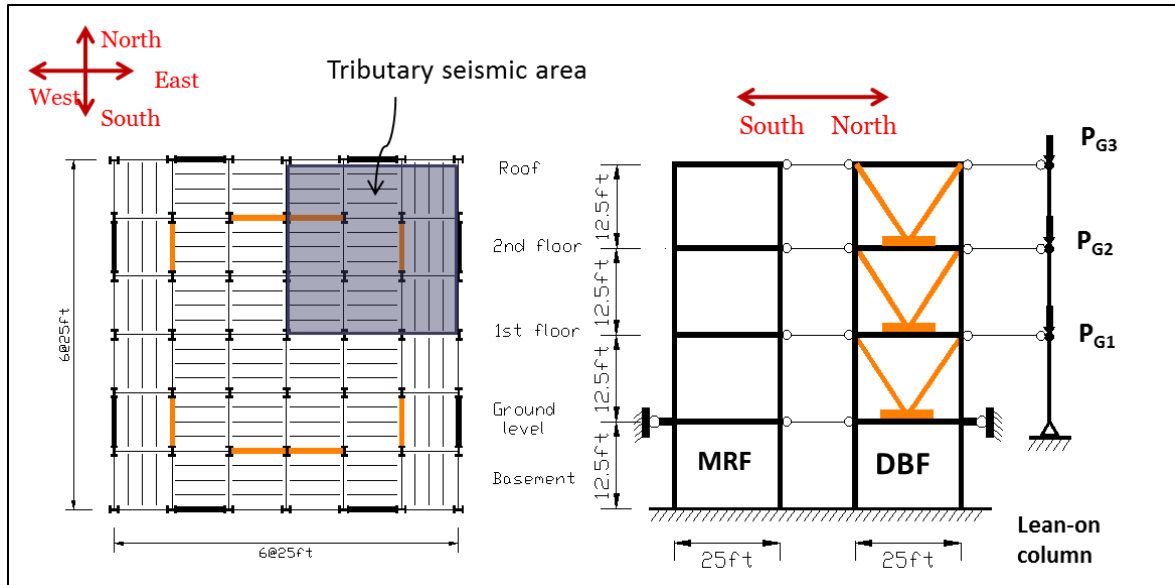
تم تصميم البناء بهدف إجراء دراسات (RTHS) عليه حيث تختصر هذه الدراسة نموذج البناء الكلي إلى

نموذج تحليلي حاسوبي ونموذج تجريبي، الشكل (18-2):



الشكل (18-2): نموذج التجربة (RTHS) لبناء (3_story prototype building) (Friedman and Dyke 2012)

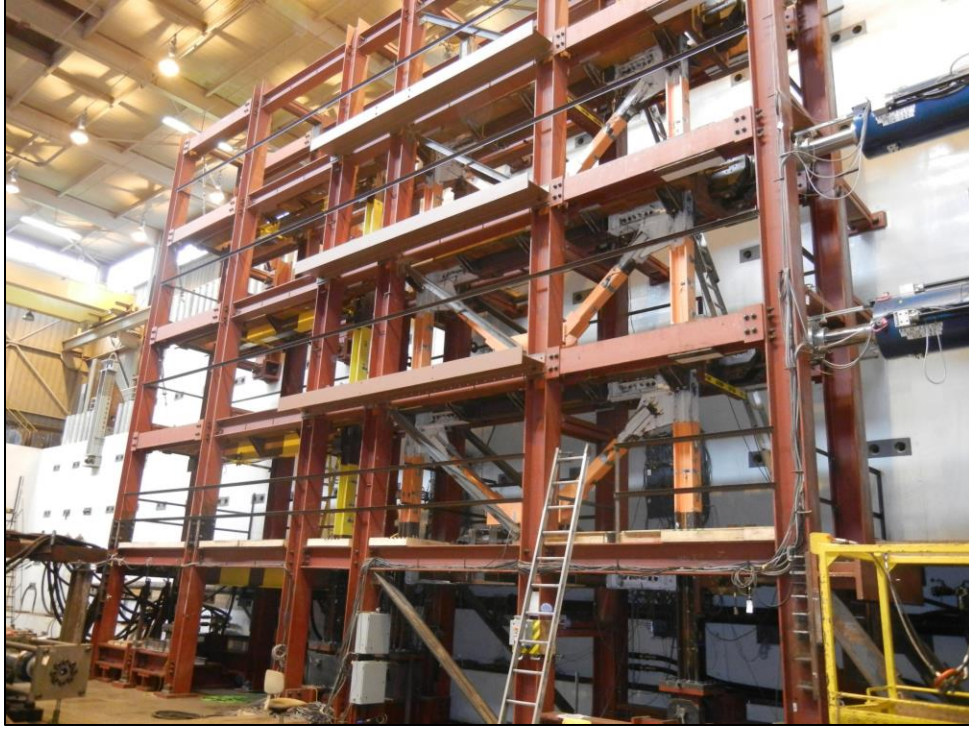
مختصر للبناء مكون من إطارين أحدهم يعبر عن القساوة الأفقية للمبنى بدون تخميد (MRF)، والآخر يقاوم القوى الأفقية بواسطة المخمدرات (DBF) حيث تم بناء الاطارين في المختبر كما هو مبين في الشكل (19-2):



الشكل (19-2): بناء (3_story prototype building) المستخدم في التجربة. (Friedman and Dyke 2012)

يقوم حاسب تحكم بالتجربة بحساب قوة الدفع التي يجب تطبيقها على الإطار الموضح في

الشكل (20-2) من نموذج البناء التحليلي الذي يتعرض للهزة الأرضية وذلك لصعوبة استخدام الطاولة الهزاة وكلفتها العالية.

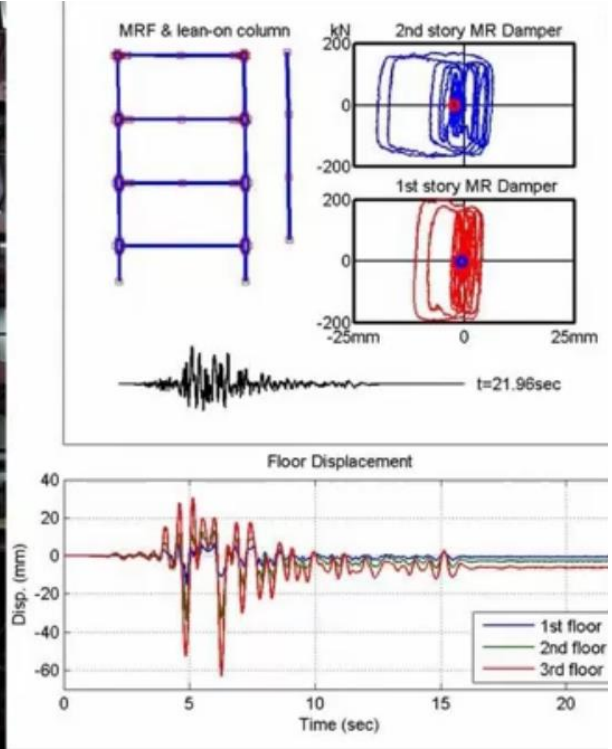


الشكل (20-2): إطار الدراسة التجريبية لبناء (3_story prototype building). (Friedman and Dyke 2012)

نتائج الدراسة:

كانت نتائج الدراسة أن النماذج التجريبية والتحليلية تعطي نتائج متشابهة، يوضح الشكل (21-2)

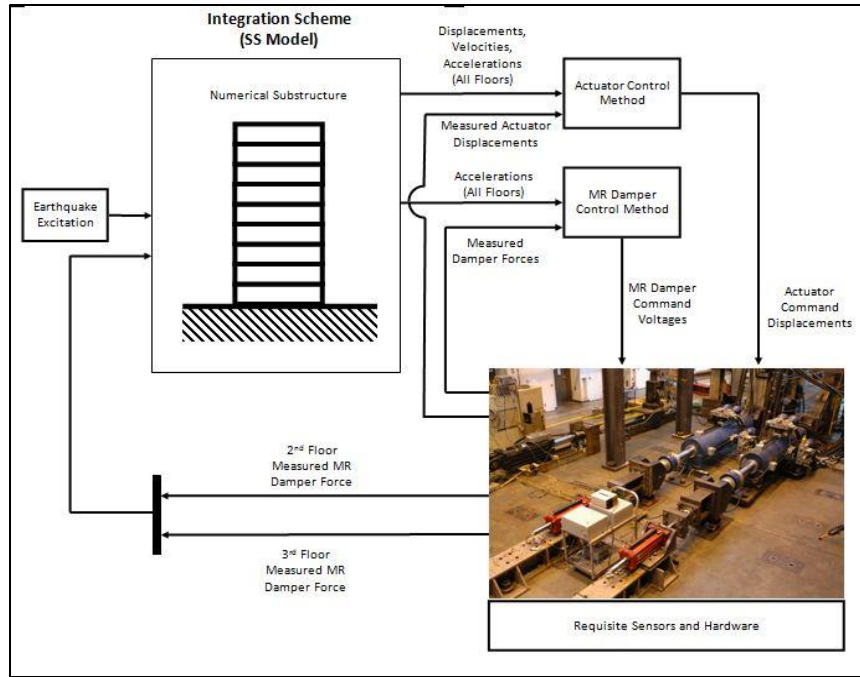
استجابة البناء والمخمدات لسجل زلزالي:



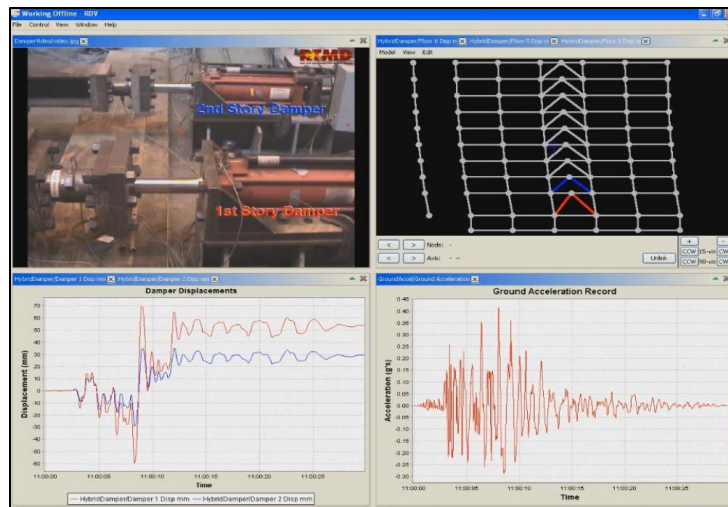
الشكل (21-2): تجربة (RTHS) المرجعية لبناء ثلاث طوابق مزودة بمخمدات (MR). (Friedman and Dyke 2012)

الدراسة لإطار بناء (9_story benchmark):

بطريقة مماثلة للدراسة التجريبية الأولى تمت الدراسة المرجعية الثانية على نموذج مبنى (9_story benchmark) حيث نموذج البناء المستخدم على الحاسب ومخمدى الطابق الأول والثاني يوضح الشكل (22-2) نموذج البناء على الحاسب مع نموذج المتحكم بمخمدات (MR) ونموذج المتحكم بالمحركات الهيدروليكية التي تترجم استجابة البناء للمخمدات في ورشة المخبر.

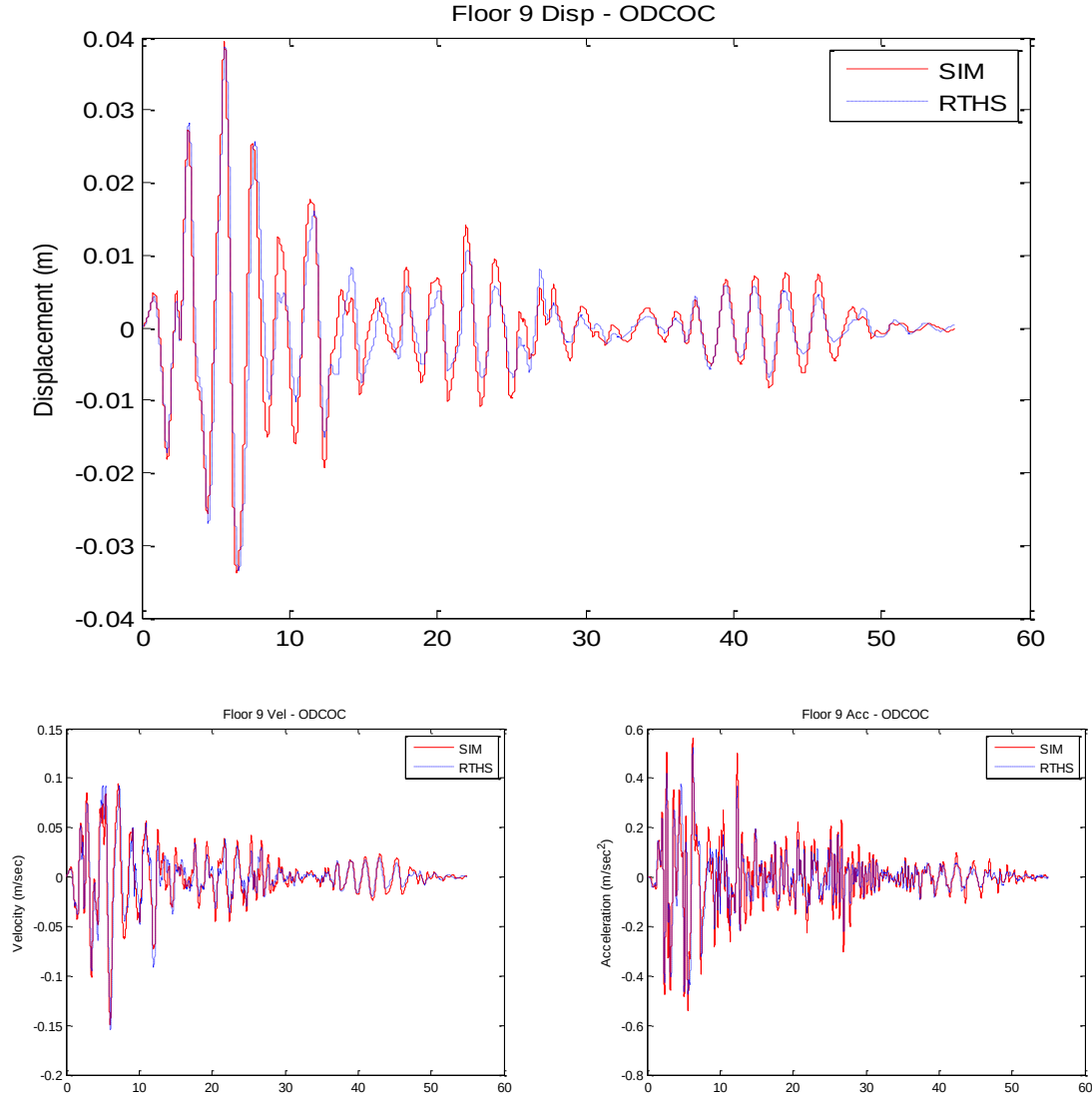


الشكل (22-2): طريقة تجربة (RTHS) لبناء 9 طوابق مزود بمخمدى (MR) في الطابقين الأول والثاني. (Friedman and Dyke 2012)



الشكل (23-2): نتائج تجربة (RTHS) لبناء 9 طوابق مزود بمخمدى (MR) في الطابقين الأول والثاني

تطابق النتائج التجريبية والتحليلية لبناء (9_story benchmark):



الشكل (24-2): مقارنة النتائج التحليلية (SIM) والتجريبية (RTHS) لانتقالات وسرعة وتسارعات مبنى (9-story)

4-2. نتائج الدراسة المرجعية:

- تتوافق النتائج التحليلية مع التجربة، كما هو موضح في الشكل (24-2).
- أعطى التحكم شبه الإيجابي انتقالات أصغر بوساطة قوة أصغر من التحكم السلبي.
- أعطت المتحكمات التي تعتمد قياسات التسارع الطوابق كمعيار التخفيض نتائج أفضل من المتحكمات الأخرى.

الفصل الثالث

بناء المتحكم باستخدام ماتلاب

Building the controller using MATLAB

الفصل الثالث

بناء المتحكم باستخدام ماتلاب

Building the controller

1.3. مقدمة:

يعتمد التحكم على بناء متحكم منيَّع، ذو أداء عالي، قابل للتطبيق العملي، يعتمد عليه، مع أقل جهد

تحكم. ولكن هناك صعوبة في تحقيق ذلك للأسباب التالية:

- تنوع أنواع الاثارة الديناميكية
- عدم القدرة على تحديدها بدقة
- وجود اللاخطية في المنشآت
- وجود اللاخطية في المخرجات
- المجاهيل والبارامترات المتنوعة في نظام المنشأ الديناميكي
- حدود آلات القياس والحساسات.

اذن تبقى هذه المشاكل مفتوحة امام الباحثين بالرغم من وجود دراسات عديدة. سيتم في هذا الفصل

تصميم متحكم باستخدام خوارزمية (H_∞) وفق مراحل واستعراض أهم المشاكل في تصميم المتحكم وطرق الحل.

2.3. أهم مشاكل تصميم المتحكم:

سيتم التعرف على أهم مشكل تصميم المتحكم من ناحية نوع الاثارة وحدود آلات القياس والحساسات

والتغلب على اللاخطية في المخرجات

1.2.3. الاثارة الديناميكية المتنوعة:

تكون الاثارة التي يخضع لها المنشأ عادةً غير معروفة ومتوقعة كالتسارع الزلزالي الأرضي والرياح

الشديدة، والأحمال الديناميكية كالسيارات والأشخاص

إن صعوبة معرفة زمن حدوث الاثارة وتقييم أثرها الديناميكي تؤثر بشكل كبير على تصميم متحكم فعال، ولكن

بالاعتماد على السجلات الزلزالية المتوفرة يمكن إيجاد تقريب من أجل إدخال طبيعة الاثارة في تصميم المتحكم.

2.2.3. حدود آلات القياس والحساسات:

تتخفض فاعلية نظام التحكم عندما تكون قياسات مخرجات النظام غير دقيقة ويمكن ان يؤثر ذلك على الاستقرار، لذلك لابد الأخذ بعين الاعتبار عدم الدقة في تصميم المتحكم. توجد مشكلة أخرى هي عدم القدرة على قياس جميع قيم الاستجابة في الهندسة المدنية وعادةً ما يستخدم عدد حساسات أقل من عدد القيم المطلوبة (قيم الانتقال والسرعة والتسارع لكافة درجات الحرية) لذلك يجب إيجاد راصد ديناميكي يقوم بحساب المجاهيل المطلوبة من خلال معادلات النظام الديناميكي.

3.2.3. الأثر الديناميكي للمخمد:

يجب أن يعطي المخمد في التحكم شبه الإيجابي أو المكبس في التحكم الايجابي القوة المطلوبة منه تماماً في الحالة المثالية، لكن في الشروط الحقيقية يعتبر هذا الأمر مستحيل لأن خواص المخمد الديناميكية تحول دون ذلك، ويعتبر وصول مشغل التحكم لطاقته القصوى دون تحقيق القوة المطلوبة (F_d) من أهم المشاكل في التحكم الإيجابي، كذلك التأخر في تطبيق القوى الناتج عن الوقت اللازم للمكبس لتطبيق القوة المطلوبة والاحتكاك. ينما في أجهزة التحكم شبه الإيجابي فإن المشكلة تكمن في اعتماد المخمدات على حركة البناء (الانتقالات والسرعة) لذلك لا يمكنها إعطاء القوة المطلوبة منها دوماً ويصعب التحكم بها، لذلك يجب إدخال خواص المخمد ديناميكية في تصميم المتحكم.

يجب ان تكون استجابة المخمد (المشغل) سريعة للتحكم بالاستجابة الزلزالية للمنشآت ذلك بسبب الاحمال الزلزالية المتغيرة بسرعة وبشكل غير متوقع، لذلك يجب إدخال أثر التأخر في استجابة المشغل في تصميم المتحكم.

4.2.3. أثر التخلفية (Hysteresis) في مخمد (MR):

تعتبر ظاهرة التخلفية مهمة جداً في التحكم الإيجابي وشبه الإيجابي خاصةً لمخمد (MR) المدروس في هذا البحث الذي تم اختياره لسهولة استجابته والتأكيد على أهميته في التطبيقات العملية (السيارات) والتي تثبت ان هذه المخمدات واعدة مستقبلياً. مما سيطرر تحدين:

الأول ادخال أثر التخلفية في حساب المتحكم.

الثاني هو إيجاد امر التحكم (امر كهريائي) لتشغيل مخمد (MR).

لم يتم دراسة المشكلة الأولى بشكل كافٍ في هندسة التحكم لكن تم حل المشكلة الثانية في أبحاث (Dyke 1996) بوساطة متحكم (Clipped Optimal). حيث يتم التحكم بها من خلال مقارنة القوة المطلوبة (F_d) بالقوة المتولدة (F_{mr}) في مخمد (MR) ومن ثم تشغيل الجهاز واطفاؤه في أجزاء الملي ثانية للحصول على القوة المطلوبة.

5.2.3. التأخر الزمني للمشغل:

يعتبر عامل التأخر الزمني لاستجابة المشغل (Actuator) أو المخمد عاملاً مهماً في حساب المتحكم لان اهم متطلبات التحكم أن يكون فعل التحكم سريعاً ذلك أن الإثارة التي يخضع لها المنشأ كالزلازل والرياح تحدث في وقت قصير بتأثير مدمر. في هذه الدراسة لن يؤخذ أثر التأخر الزمني في حساب المتحكم لكنه سيدخل في معادلات مخمد (MR) سريع الاستجابة.

6.2.3. بارامترات البناء غير المؤكدة (Uncertain parameters):

تبنى معظم المتحكمات اعتماداً على معادلات المبنى الرياضية، وذلك لسهولة اشتقاقها من نموذج العناصر المحدودة (FEM). لكن لابد من وجود بعض الشكوك في بارامترات الجمل الانشائية بسبب تغير قساوة العناصر الانشائية عند تشققها أو بسبب تدهور مواد البناء، أو بسبب اهمال بعض العوامل الديناميكية كالقساوة والتخميد التي لا يمكن تحديدها بدقة ويتم تقديرها عادةً، كعامل مرونة البيتون، كذلك إن تعرض البناء لإثارة غير محددته يجعله يهتز وفق ترددات هذه الاثارة الغير مرغوب بها والتي تختلف عن ترددات البناء الأساسية.

يواجه مصمم المتحكم تحدياً كبيراً ليستطيع أخذ هذه العوامل في الحساب حيث يتم ذلك بوساطة متحكم

منيع (Robust control).

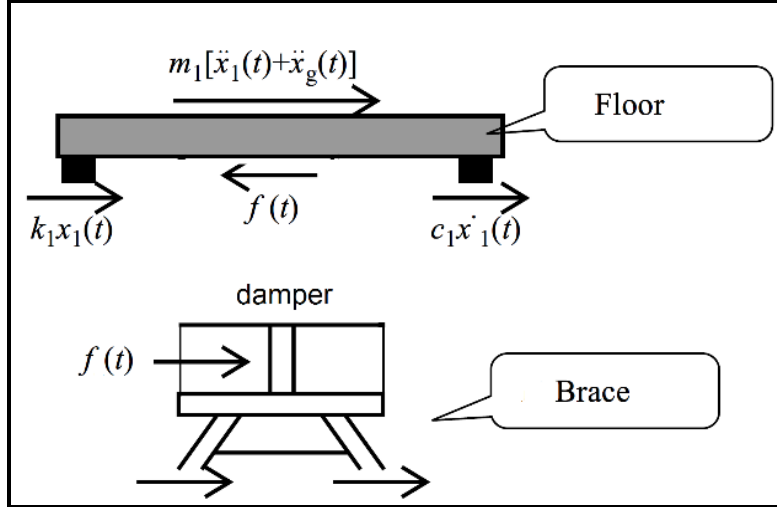
3-3. بناء المتحكم باستخدام الماتلاب:

يهدف هذا الجزء من البحث تقديم المبادئ الأساسية للتحكم بالنظم الخطية متعددة المتغيرات (Linear Multivariable System) مع تقديم حلول عملية لمسائل التحكم مع تحليل رياضي دقيق. ومع التركيز على التمثيل في فضاء الحالة:

1.3.3. كتابة معادلات الحركة الديناميكية للنظام الانشائي مع المخمدات:

يعتمد حساب المتحكم بشكل أساسي على معرفة معادلات الديناميك الحاكمة لحركة المبنى، يبين الشكل

(1-3) القوى التي يتعرض لها أحد الطوابق حيث نلاحظ تولد رد الفعل في المخمد والتربيط الحامل له.



الشكل (1-3): القوة المؤثرة على مستوي الطابق (Cheng et al. 2010)

يمكن كتابته معادله الحركة للمبنى بتجميع معادلات الحركة لكل طابق من خلال المعادلة التفاضلية التالية:

$$M * \ddot{\vec{X}} + C * \dot{\vec{X}} + K * \vec{X} = \Gamma * \vec{F} - M * \vec{\Lambda} * \ddot{x}_g \quad (1-3)$$

حيث $(\ddot{\vec{X}}, \dot{\vec{X}}, \vec{X})$ هي أشعة انتقالات وسرع وتسارعات المبنى:

$$\vec{X} = \begin{bmatrix} x1 \\ x2 \\ x3 \end{bmatrix} \quad \dot{\vec{X}} = \begin{bmatrix} \dot{x1} \\ \dot{x2} \\ \dot{x3} \end{bmatrix} \quad \ddot{\vec{X}} = \begin{bmatrix} \ddot{x1} \\ \ddot{x2} \\ \ddot{x3} \end{bmatrix} \quad (2-3)$$

و (M) هي مصفوفة الكتل المجمعة للمبنى:

$$M = \begin{bmatrix} m1 & 0 & 0 \\ 0 & m2 & 0 \\ 0 & 0 & m3 \end{bmatrix} \quad (3-3)$$

و (K) مصفوفة القساوة و (C) مصفوفة التخميد للمبنى

$$K = \begin{bmatrix} k1 + k2 & -k2 & 0 \\ -k2 & k2 + k3 & -k3 \\ 0 & -k3 & k3 \end{bmatrix} \quad C = \begin{bmatrix} c1 & 0 & 0 \\ 0 & c2 & 0 \\ 0 & 0 & c3 \end{bmatrix} \quad (4-3)$$

و (F) شعاع يعبر عن رد فعل المخمدات على المبنى:

$$\vec{F} = \begin{bmatrix} f1 \\ f2 \\ f3 \end{bmatrix}, \quad \Gamma = \begin{bmatrix} +1 & 0 & 0 \\ -1 & +1 & 0 \\ 0 & -1 & +1 \end{bmatrix} \quad (5-3)$$

و $(\vec{\Lambda} * \ddot{x}_g)$ شعاع يعبر عن أثر التسارع الزلزالي على طوابق المبنى:

$$\vec{\Lambda} * \ddot{x}_g = \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix} * \ddot{x}_g \quad (6-3)$$

2.3.3. تحويل المعادلات من الشكل التفاضلي الى شكل فضاء الحالة: (Gawronski 2004)

تتطلب دراسة النظم في المجال الزمني معرفة المعادلات التفاضلية وإجراء عمليات معقدة نسبياً كالتكاملات، وقد دفعت صعوبة تطبيق هذه التقنيات إلى الانتقال إلى معادلات فضاء الحالة والتي هي معادلات خطية تفاضلية من الدرجة الأولى (تحتوي اشتقاق وحيد). إن هذا التمثيل يحمل معلومات عن حالة النظام (انتقالات وسرعات الطوابق على سبيل المثال) كما يقوم بوصف النموذج الديناميكي من خلال مدخلاته (القوى في الطوابق، تسارع الجاذبية الأرضية...) ومخرجاته (حساسات التسارع...). يعتبر التمثيل في فضاء الحالة مناسباً لتحليل النظم الديناميكية الخطية متعددة المدخلات والمخرجات والتحكم بها. كما يمكن استخدامها في تصميم المتحكم (تمثيل المتحكم من خلال فضاء الحالة باعتبار مدخلاته حساسات البناء ومخرجاته قوى التحكم بالبناء).

3.3.3. معادلات التمثيل في فضاء الحالة:

يتم تمثيل أي نظام بفضاء الحالة بمعادلتين، الأولى معادلة الحالة كما في المعادلة (3-7):

$$\dot{\vec{Z}} = Ared * \vec{Z} + Bred * \vec{U} \quad (7-3)$$

ندعو الشعاع $(\vec{Z} = [\vec{X}, \dot{\vec{X}}])$ شعاع الحالة للنظام الديناميكي المدروس وهو شعاع من انتقالات وسرعات الطوابق، عند معرفة شعاع الحالة في اللحظة (t_0) ، ومعرفة شعاع مدخلات النظام الديناميكي $(\vec{U} = [\dot{x}g, \vec{F}])$ ضمن المجال الزمني $([t_0, t_1])$ فيمكن عندئذ معرفة $(\vec{Z}(t_1))$ بشكل وحيد لكل $(t_1 \geq t_0)$. أي أن الحالة باللحظة (t_0) تعبر بشكل مكثف عن ماضي النظام (حالة النظام في اللحظة (t_{-1})) وتسمح بتحديد مستقبله (حالة النظام في اللحظة (t_1)). حيث ينتمي شعاع الحالة لفضاء من (n) بعد $(\vec{Z}(t) \in Rn)$.

الثانية معادلة القياس والخرج كما في المعادلة (3-8):

$$\vec{Y} = Cred * \vec{Z} + Dred * \vec{U} \quad (8-3)$$

حيث $(Y \in [Z, \dot{X}])$ شعاع مخرجات النظام الديناميكي ويعبر عن الحساسات الموزعة في المبنى التي تقيس حالات النظام أو أي مخرجات أخرى للنظام كتسارعات الطوابق على سبيل المثال. حيث ينتمي شعاع الحالة لفضاء من (m) بعد، كما في المعادلة (3-9):

$$\vec{Y} \in [X, \dot{X}, \ddot{X}] \in Rm \quad (9-3)$$

يتم عادة فصل مدخلات النظام الديناميكي ($\vec{U} = [\ddot{x}_g, \vec{F}]$) التي يتم التحكم بها (قوى المخمدات) عن

المدخلات التي لا يتحكم بها (قوى التسارع الزلزالي) بالمعادلات (10-3) التالية:

$$\begin{aligned}\vec{\ddot{Z}} &= A_{red} * \vec{\ddot{Z}} + B_{red1} * \vec{F} + E_{red} * \ddot{x}_g \\ \vec{Y} &= C_{red} * \vec{\ddot{Z}} + D_{red1} * \vec{F} + W_{red} * \ddot{x}_g\end{aligned}\quad (10-3)$$

وبالتالي يكون نظام الحركة الخطي في كل طابق للبناء (Building Reduced Model System)

حيث تم تخفيض درجات الحرية بتجميعها في مستوي الطوابق (lamped mass model) للحصول على نموذج

مختصر (Reduced Model System: red)، المعادلة، والتي يعبر عنها بوساطة الشكل (2-3):

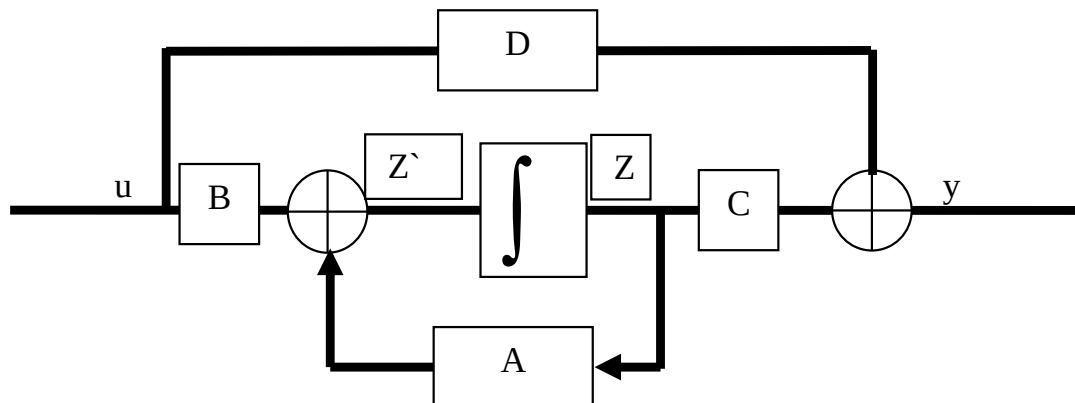
$$SYS_{ssbuilding} = ss(A_{red}, B_{red}, C_{red}, D_{red}) \quad (11-3)$$

نلاحظ في الشكل (2-3) الطريق التي تمر بها المدخلات (u) خلال النظام الديناميكي لينتج لدينا

المخرجات (y) نلاحظ أن المصفوفة (B) تعبر عن أثر المدخلات على شعاع حالة النظام الديناميكي، والمصفوفة

(D) تعبر عن أثر المدخلات (u) المباشر على المخرجات (y)، ونلاحظ أن المصفوفة (A) تعبر عن أثر

الاهتزاز الحر للمنشأ حيث ليس لها علاقة مباشرة بالمدخلات (u).



الشكل (2-3): النظام الديناميكي لمعادلات فضاء الحالة

A : مصفوفة الحالة أبعادها $(n \times n)$ فإن (n) ضعف عدد درجات الحرية أو عدد عناصر شعاع الحالة.

B : مصفوفة التحكم (مصفوفة الدخل) أبعادها $(n \times m)$ فإن (m) عدد مدخلات النظام.

C : مصفوفة الرصد أبعادها $(p \times n)$ فإن (p) عدد مخرجات النظام.

D : مصفوفة تعبر عن العلاقة المباشرة بين الدخل والخرج أبعادها $(p \times m)$.

عدد بارامترات النظام: $n^2 + n \times m + p \times n + p \times m$

يمكن تمثيل النظام بالرباعيّة: $\Sigma(A, B, C, D)$

4.3.3. معادلات التحويل من معادلات الحركة الى معادلات فضاء الحالة:

يتم التحويل من معادلات الحركة التفاضلية (Equation of motion of structure) للمبنى، كما هو وارد في المعادلة (1-3)، الى معادله فضاء الحالة للمبنى (State space model)، كما في المعادلة (10-3)، بالتحويلات التالية، كم في المعادلات (12-3):

$$A = \begin{bmatrix} 0 & I \\ -M_s^{-1} * K_s & -M_s^{-1} * C_s \end{bmatrix}, B = \begin{bmatrix} 0 \\ -M_s^{-1} * \Lambda \end{bmatrix}, E = \begin{bmatrix} 0 \\ \Gamma \end{bmatrix} \quad (12-3)$$

$$C = [-M_s^{-1} * K_s \quad -M_s^{-1} * C_s], D = [-M_s^{-1} * \Lambda], W = [\Gamma]$$

5.3.3. ايجابيات التمثيل في فضاء الحالة:

يمكن التمثيل في فضاء الحالة من توصيف النظام ومنه يمكن الحصول على تفسير فيزيائي مباشر ومن أهم ميزات وإيجابيات التمثيل في فضاء الحالة:

- يمثل بشكل منفصل تأثير الدخل وتأثير الاهتزاز الحر:
- نلاحظ في معادلة الحالة، المعادلة (10-3)، كيف أن مصفوفة الحالة (A) تعبر عن أثر الاهتزاز الحر فهي مصفوفة تتعلق بكتلة المبنى وقساوته وتخميده ولا تتأثر بمدخلات المبنى، بينما مصفوفة الدخل المتحكم به (B) ومصفوفة الدخل غير المتحكم به (E) تتعلق بتوزع المخدمات أو بكتل الطوابق التي تتأثر بالتسارع الأرضي. عند جداء مصفوفات الدخل بالمدخلات ينتج لدينا أثر المدخلات على النظام الديناميكي.
- يمكن تمثيل الاثارة كمدخل إضافي غير متحكم به:
- نلاحظ ان مصفوفة الدخل (E) في المعادلة (10-3) تعبر عن أثر المدخل غير المتحكم به (الاثارة الزلزالية في دراستنا).

- هناك خوارزميات تحكم متعددة تسمح بتصميم قوانين التحكم للأنظمة الممثلة بالتمثيل في فضاء الحالة: يتيح برنامج ماتلاب العديد من أدوات التحكم والتي تتطلب أن يكون نظام البناء ممثلاً بفضاء الحالة.

- يصلح للأنظمة ذات مدخل ومخرج وحيد (SISO) والأنظمة المتعددة المدخلات والمخرجات (MIMO) حيث يمكن تمثيل الترابط بعدد أصغري من المتحولات من خلال عناصر المصفوفة (D) في معادلة الخرج التي عند جدائها بمدخلات النظام الديناميكي ينتج أثر كل مدخل على كل مخرج وبجميع هذه الآثار ينتج ترابط المدخلات بالمخرجات.

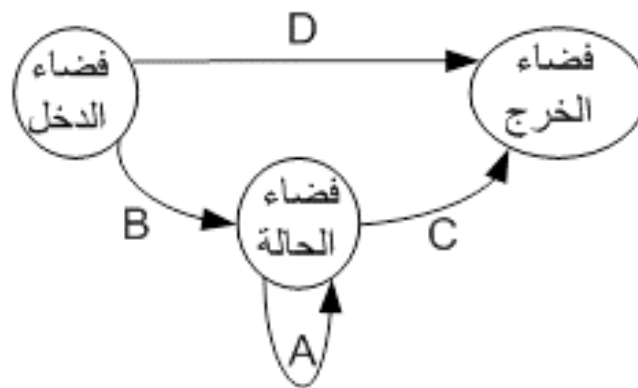
6.3.3. سلبيات التمثيل في فضاء الحالة:

- يمكن التعبير عن النظام الديناميكي في فضاء الحالة بعدة طرق بحسب اختيار شعاع الحالة حيث يمكن تمثيل النظام الديناميكي بعدد لانهائي من معادلات فضاء الحالة بحسب طريقة اختيار شعاع الحالة على سبيل المثال اختيار شعاع حالة يتكون من الانتقالات أو الانتقالات والسرع معاً أو من الترددات والانماط الموافقة لها (Natural modes and frequencies). وبالتالي فهو تمثيل غير وحيد ويمكن أن يكون معقداً دون فائدة وقد يستخدم متحولات لا داعي لها وبالتالي سيكون التمثيل غير أصغري وهذا يعتمد على طريقة التعبير عن النظام الديناميكي ونلاحظ في التحويلات في المعادلة (3-12) حاجتنا لاضافة أصفار ووحدات للمصفوفات لترتيب شعاع الحالة المكون من الانتقالات والسرع معاً والتي لن نحتاجها عند اختيار شعاع حالة من الانتقالات فقط.

7.3.3. التحكمية والرصدية:

تمثل المصفوفات (A, B, C, D) تحويلات بين فضاء الدخل، وفضاء الحالة، وفضاء الخرج كما هو

مبين في الشكل (3-3) التالي:



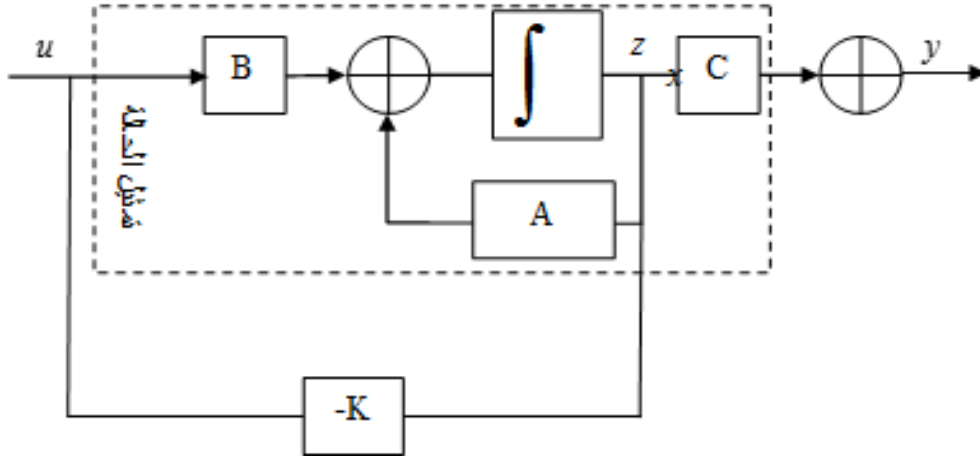
الشكل (3-3): ترابط فضاءات الدخل والخرج وفضاء الحالة

ويطرح هنا السؤالين التاليين:

- هل من الممكن تحديد مدخل تحكم (u) مقبول ينقل نظام الجملة من حالة ما إلى حالة أخرى؟
ويتم الاجابة عليه من خلال مفهوم التحكمية (Controllable) الذي يرتبط بالمصفوفتين A, B .
 - هل من الممكن تحديد شعاع الحالة انطلاقا من قياس الخرج؟
ويتم الاجابة عليه من خلال مفهوم الرصدية (Observable) الذي يرتبط بالمصفوفتين A, C .
- تعريف التحكمية:** نقول عن نظام أنه قابل للتحكم إذا كان لدينا (t_0) وحالتان (x_0, x_1) وكان من الممكن إيجاد ($t_1 \geq t_0$) وتحكم مقبول (u) على المجال $[t_0, t_1]$ ينقل النظام من الحالة (x_0) في اللحظة (t_0) إلى الحالة (x_1) في اللحظة (t_1).
- تعريف الرصدية:** نقول عن نظام أنه قابل للرصد إذا كان لدينا (t_0) ويوجد ($t_1 \geq t_0$) بحيث يسمح قياس الخرج (y) على المجال $[t_0, t_1]$ بتحديد شعاع الحالة الابتدائية في اللحظة (t_0).
- تقسيم كالمات:** يقسم كل نظام إلى أربعة أقسام: قسم رصدي غير تحكمي - قسم رصدي تحكمي - قسم غير رصدي تحكمي - قسم غير رصدي غير تحكمي.
- يسمح لنا برنامج ماتلاب معرفة خواص النظام الديناميكي التحكمية والرصدية بشكل مباشر من خلال حساب مصفوفة التحكمية ومصفوفة الرصدية حيث يعتبر النظام الديناميكي للبناء تحكمي (يمكن التحكم به من خلال القوة في الطوابق) ورصدي (يمكن رصد واستقراء (estimate) الانتقالات والسرعة - شعاع الحالة - من خلال حساسات التسارع الموزعة في الطوابق).

4-3. طريقة عمل المتحكم وحسابه:

بفرض أن النظام قابل للتحكم وأن عناصر شعاع الحالة قابلة للقياس وأن الدخل الرجعي (أثر المدخلات (u) المباشر على المخرجات (y)) معدوم ($D = [0]$) حيث يمكن تمثيل النظام الديناميكي بالمصفوفات (A, B, C) يمكن وضع متحكم (Controller) كما هو مبين في الشكل (4-3):



الشكل (4-3): النظام الديناميكي للتحكم الخطي.

تم استخدام متحكم خطي (K) عند جدائه بشعاع الحالة ($\vec{Z}$) ينتج لدينا القوى المطلوبة من المخرجات من

المعادلة ($\vec{F} = -K * \vec{Z}$) عند تعويض المتحكم في معادلات المبنى:

$$\begin{aligned}\vec{Z} &= Ared * \vec{Z} + Bred1 * \vec{F} \\ \vec{Z} &= (Ared - Bred1 * K) * \vec{Z}\end{aligned}\quad (13-3)$$

تدعى (s_0) جذور المعادلة (16-3) بأقطاب النظام الديناميكي للمبنى (System poles) أو القيم

الذاتية (Eigen Values) لمصفوفة الحالة (A) والتي تحدد استجابة المبنى.

$$\det(s_0 I - Ared) = 0 \quad (14-3)$$

نلاحظ أن (s) جذور المعادلة (17-3) هي أقطاب النظام الديناميكي الجديد للمبنى مع التحكم حيث

نلاحظ بتغيير (K) يمكن تغيير (s) حلول هذه المعادلة لتعطي الاستجابة المطلوبة من المبنى.

$$\det(sI - (Ared - Bred1 * K)) = 0 \quad (15-3)$$

يتم حساب (K) بواسطة (Matlab control toolbox) الذي يتيح عدد من الطرق لحساب المتحكم

(K) اهم هذه الطرق هي:

1.4.3. طريقه تغيير أقطاب النظام: (Ogata and Yang 1970)

يتم فيها حساب الأقطاب الجديدة (s) من الاستجابة المطلوبة للمبنى والتي يمكن تطبيقها من خلال

المدخلات المتحكم بها (قوى المتولدة في المخرجات) وبالتالي حساب مصفوفة التحكم (K) من المعادلة (18-3):

$$\det(sI - (Ared - Bred1 * K)) = 0 \implies K \quad (16-3)$$

2.4.3. طريقة المتحكم التربيعي الخطي: (Ogata and Yang 1970)

يعتبر المتحكم التربيعي الخطي (Linear Quadratic Regulator: LQR) أحد طرائق التحكم المثالي (Optimal Control)، وهو متحكم بإرجاع الحالة (feedback controller) وذلك يعني أننا بحاجة إلى حساسات لتعطينا شعاع حاله النظام. يعتبر هذا المتحكم أحد المتحكمات المثالية لأنه يتم في هذه الطريقة حساب المتحكم (K) الذي يصغر دالة تربيعية (J)، كما في المعادلة (3-17):

$$J(X, U) = \int_0^\infty \begin{pmatrix} X(\tau) * Q * X^T(\tau) + \\ U(\tau) * R * U^T(\tau) \end{pmatrix} * d\tau \quad (17-3)$$

حيث (Q) و (R) هي أوزان نعطيهها لشعاع حالة النظام (X) ومدخلات النظام المتحكم بها (U).

نلاحظ أن كلا المتحكمين يتطلب وضع حساسات تقيس جميع انتقالات وسرعات الطوابق (شعاع الحالة) وهذا ليس عملي، لذلك يجب بناء راصد يعطي جميع القيم المطلوبة بواسطة بعض الحساسات.

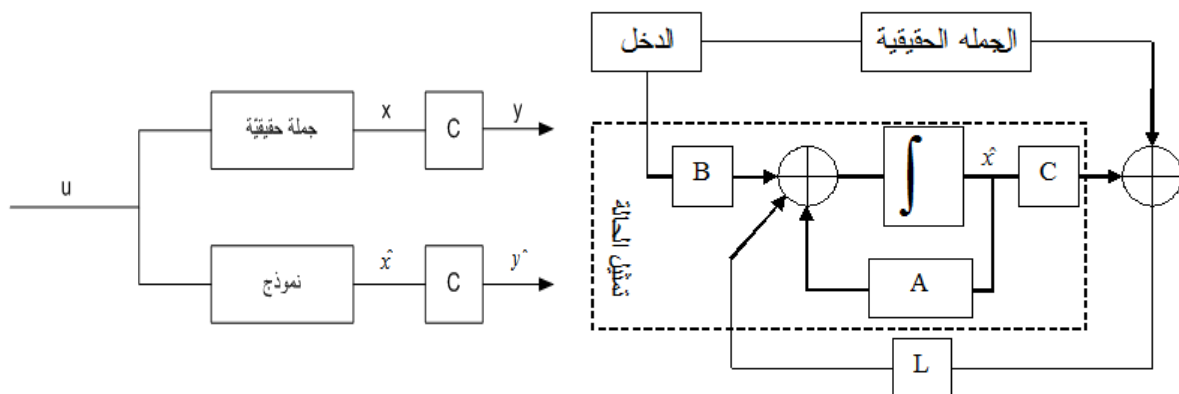
3.4.3. حساب الرائد: (Gawronski 2004)

يبين الشكل (3-5) طريقة استخدام راصد (L) يقوم بحساب شعاع حاله ($\hat{X}$) تقريبي وذلك بفضل معادلات الحركة للبناء وذلك بحيث يكون:

$$(X - \hat{X}) \rightarrow 0 \quad (18-3)$$

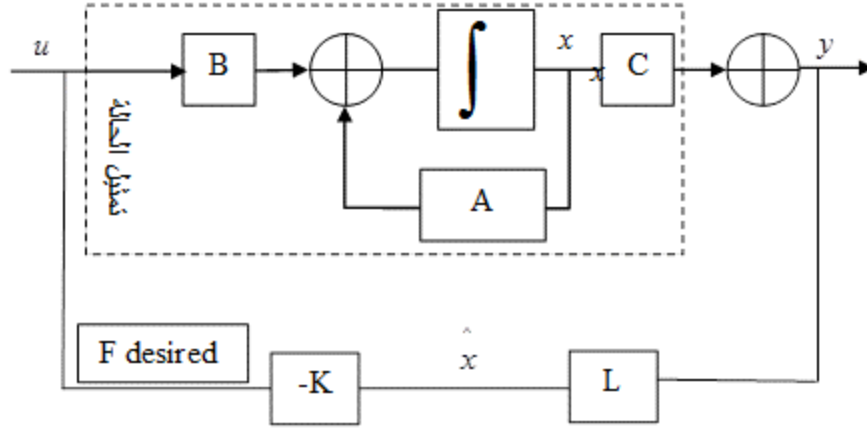
يتم حساب (L) حيث تبقى جذور المعادلة (3-21) وهي ارقام عقدية_ ذات جزء حقيقي سالب مما يجعل نظام الديناميكي للراصد مستقرًا يسعى دوماً لتصغير الفرق بين شعاع حالة النظام الحقيقي والنظام التقريبي.

$$\det(sI - (A - L * c)) = 0 \quad (19-3)$$



الشكل (5-3): النظام الديناميكي للراصد (State Estimator).

يوضح الشكل (6-3) النظام الديناميكي النهائي للبناء بإضافة متحكم (K) وراصد (L) ليعطي القوة المطلوبة من مخدمات (MR damper).



الشكل (6-3): النظام الديناميكي للبناء مع راصد ومتحكم

4.43. تطوير متحكم (LQR):

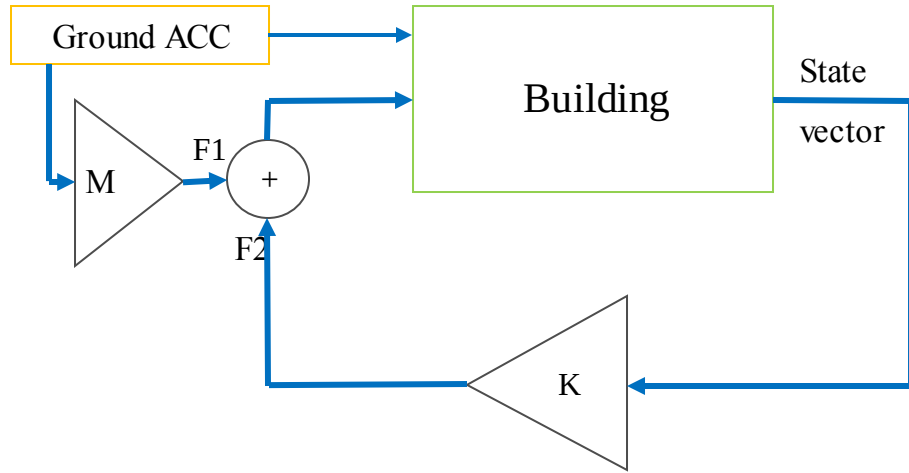
نظراً لأهمية هذه الطريقة باعتبارها الأساس النظري خلف معظم المتحكمات وبساطتها نلاحظ اعتمادها من قبل أغلب الدراسات في عملية المقارنة، حيث تم تطوير متحكم (LQR) لدراسة أثره على البناء المعياري المكون من 3 طوابق.

تعتمد هذه الطريقة على إيجاد مصفوفتي الوزن المناسبين: (Q) مصفوفة وزن المخرجات (انتقالات الطوابق) و (R) مصفوفة وزن المدخلات (قوى التخميد) اللتان تدخلان في حساب الدالة (J)، كما في المعادلة (3-19) والتي تعبر عن مقدار الخطأ وكلفة التحكم الذي يجب أن يكوناً أصغر ما يمكن، ثم حساب مصفوفة التحكم (K) والتي عند ضربها بشعاع الحالة في لحظة معينة ينتج لدينا قوى التحكم المطلوبة في الخطوة التي تليها.

يتم عادةً اختيار (Q) تكون كبيرة بحيث يكون الخطأ الناتج عن الانتقالات كبيراً، واختيار (R) بحيث تكون قيمتها صغيرة بحيث تكون كلفة التحكم (مقدار القوى المطلوبة) أصغر ما يمكن، لكن هذه الطريقة لا تلج دوماً في إيجاد متحكم أمثلي يخفض الانتقالات بقوة تحكم صغيرة وتحتاج لمعايرة (Q) و (R) بحيث يطلب المتحكم قوى ضمن استطاعة المخدمات ويخفض الانتقالات للحد الأدنى.

تأتي الصعوبة عندما تزداد درجات الحرية والانتقالات التي يجب تصغيرها وعدد المدخلات (القوى) المتحكم بها حيث تزداد عدد عناصر المصفوفتين وتصبح عملية المعايرة صعبة جداً، خاصة عندما تكون الاثارة التي يتعرض لها المنشأ مجهولة الصفات.

من أجل التغلب على هذه المشكلة تم فصل أثر الاهتزاز الحر عن أثر التسارع المباشر على أهرزاز الطوابق بحيث يصبح لدينا متحكم من جزئين، الشكل (7-3):



الشكل (7-3): متحكم (LQR) المطور.

الجزء الأول: جزء يولد قوى تساوي قوى العطالة المتولدة في الطوابق نتيجة التسارع الأرضي $(F1 = -M * \ddot{x}_g)$.

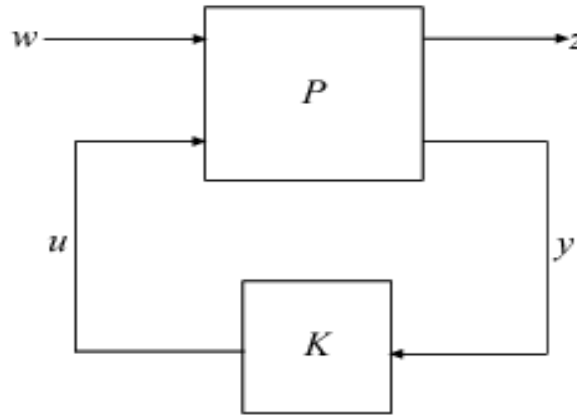
الجزء الثاني: يعاكس أثر الاهتزاز الحر يتم حسابه بطريقة (LQR)، تم التغلب بهذه الطريقة على مشكلة الاثارة مجهولة الصفات كما أن جزء المتحكم الذي يعطي قوى تعاكس قوى العطالة جعل انتقالات المبنى قريبة من التحكم السلبي (أكبر قليلاً) وبالتالي فإن عملية تحسين الاستجابة بواسطة المتحكم بحيث يعطي نتائج أفضل (أصغر) من التحكم السلبي أصبحت أقل صعوبة.

لكن صعوبة اختيار (Q) و (R) وخاصة عند زيادة عدد درجات الحرية دفعت للبحث عن متحكم آخر، تم اختيار متحكم (H_∞) الذي يقوم بحساب متحكم أعقد (ليس مصفوفة وأنما نظام ديناميكي) والذي يتم حسابه بواسطة ماتلاب من خلال تصغير نورم يدعى (H_∞) يتعلق بخواص نظام البناء الديناميكي.

5.43. متحكم (H_∞) المستخدم في الدراسة:

يهدف المتحكم (H_∞) الى إيجاد شعاع ارجاع وتحكم (u) يجعل الشعاع (z) الذي يتكون من مخرجات النظام الديناميكي (P)، وأي جزء من شعاع الحالة للنظام الديناميكي (P) مستقراً (يسعى دوماً للاستقرار في حالتنا الانتقال البدائي $=0$)، وأن يحقق معيار الأداء ($H_\infty norm$) شرط ($\|F_1(z, u)\|_\infty < \lambda=1$) وذلك لاستجابة الدارة المغلقة للنظام والمتحكم.

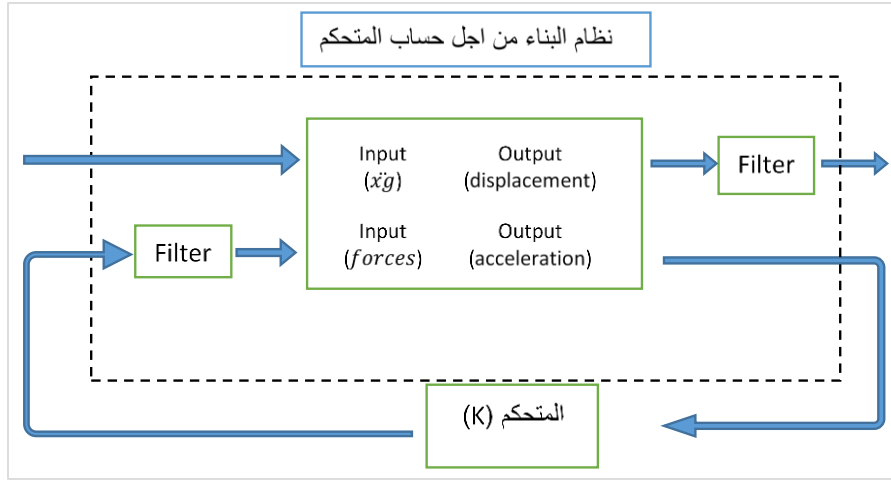
يقوم ماتلاب بحساب المتحكم (K) والذي يكون في هذه الحالة نظام ديناميكي جديد (controller system)، للنظام الديناميكي الأساسي للمبنى (Plant system)، كما هو مبين في الشكل (8-3):



الشكل (8-3): النظام الديناميكي الأساسي مع متحكم. (Guide 1998)

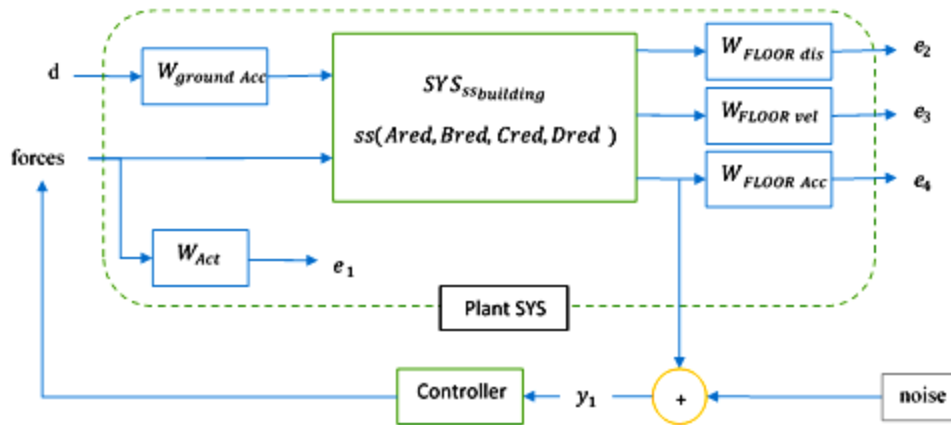
يقوم هذا النظام بعمل الراسد والمتحكم معاً وذلك لنظام المبنى الديناميكي (P) المقسم، كما في المعادلة (20-3) حيث نلاحظ تقسيم النظام الديناميكي، كما هو مبين في الشكل (9-3)، حيث المدخلات إلى ($B1$) هي اضطرابات (disturbances)، والمدخلات إلى ($B2$) هي مدخلات التحكم (control inputs)، والخرج من ($C1$) هي الأخطاء (Errors) التي يجب أن تبقى صغيرة، ومخرجات ($C2$) هي المخرجات المقاسة (output measurements) المقدمة إلى وحدة تحكم.

$$P = \begin{bmatrix} A & B1 & B2 \\ C1 & D11 & D12 \\ C2 & D21 & D22 \end{bmatrix} \quad (20-3)$$



الشكل (9-3): نظام البناء التقليدي من أجل كتابة متحكم (H_∞ controller). (Guide 1998)

من أجل تحسين نتائج المتحكم تم تعديل نموذج النظام الديناميكي للمبنى بحيث تكون مخرجاته هي معايير أداء (norm) أصغر من قيم ثابتة ($\|H_\infty\| \leq \lambda = 1$)، حيث تم فصل المخرجات (انتقالات وسرعات وتسارعات) عن بعضها، تم أيضاً إضافة مخرج لخطأ التحكم وهو يعبر عن الخطأ الحاصل عندما تزيد القوة المطلوبة في المخدم عن استطاعته، كذلك تم إضافة فلاتر لكل مخرج وكل مدخل الشكل (10-3) وذلك لنمذجة أثر كل مدخل ومخرج على حده. نلاحظ أيضاً في الشكل (10-3) إضافة أثر الضجيج كمدخل إضافي للبناء.



الشكل (10-3): تطوير نظام البناء الديناميكي من أجل كتابة متحكم (H_∞ controller).

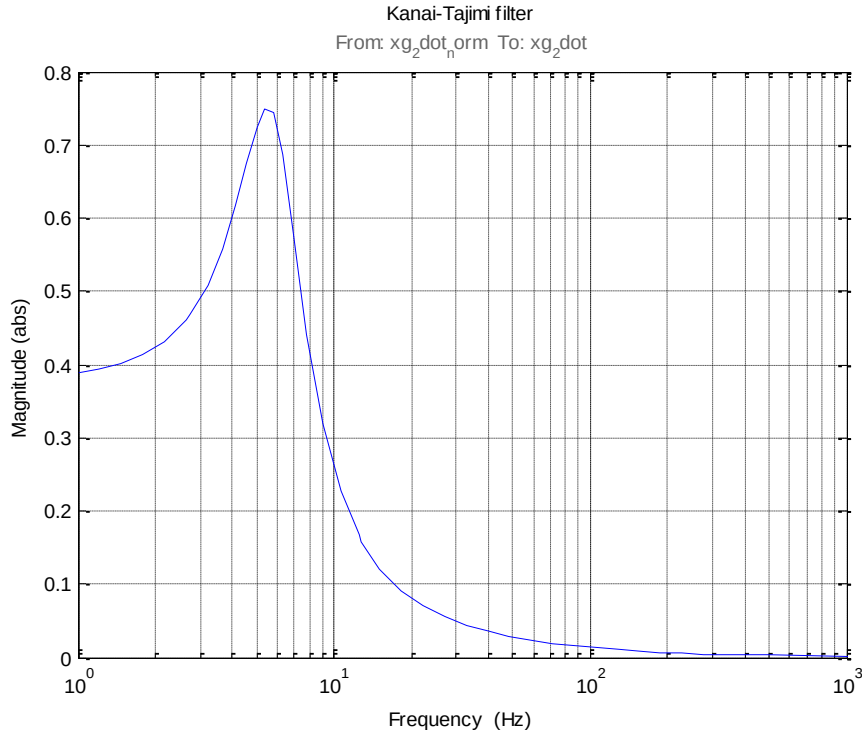
تقوم توابع الوزن (Wight function: W) بإعطاء وزن لمخرجات النظام على النطاق الترددي، وذلك لتحسين أداء المتحكم ضمن ترددات معينة حيث مخرجات توابع الوزن هي الأخطاء التي يجب أن تكون أصغر من (1). كما يقوم ($W_{ground Acc}$) بتحويل الاضطراب العشوائي (Gaussian white noise) الى اضطراب يماثل الاضطراب الزلزالي الذي يخضع له المبنى في الفقرات القادمة سأقدم الحلول المتبعة في تصميم هذه التوابع.

تابع ($W_{ground Acc}$) وزن التسارع الأرضي الزلزالي:

تستخدم الأبحاث عادةً توابع وزن ترددية ليحول الاضطراب العشوائي الغوسي الذي يفرضه المتحكم في حساب الضجيج الذي يخضع له نظام المبنى الديناميكي (Gaussian white noise) الى ضجيج يشبه الاضطراب الزلزالي الحقيقي الذي يخضع له المنشأ وعادةً ما تقوم هذه الأبحاث بالاعتماد على توابع تحويل كتابع (Kanai-Tajimi filter) الذي يقوم بإيجاد عامل التضخيم الزلزالي الترددي للتسارع الزلزالي في الطبقة الصخرية الأساس ضمن تربة معينة ذات خواص معينة. تبين المعادلة (21-3) تابع ($W_{ground Acc}$) ويوضح الشكل (11-3) قيم التضخيم الزلزالي الترددي للتسارع الزلزالي نلاحظ أنه يضخم التسارع الزلزالي في مجال تردد (5~6 Hz) _ مجال تردد اهتزاز البناء بدون تخميد _ بعيداً عن المجال الترددي (0.1~0.4 Hz) الذي تهتز فيه

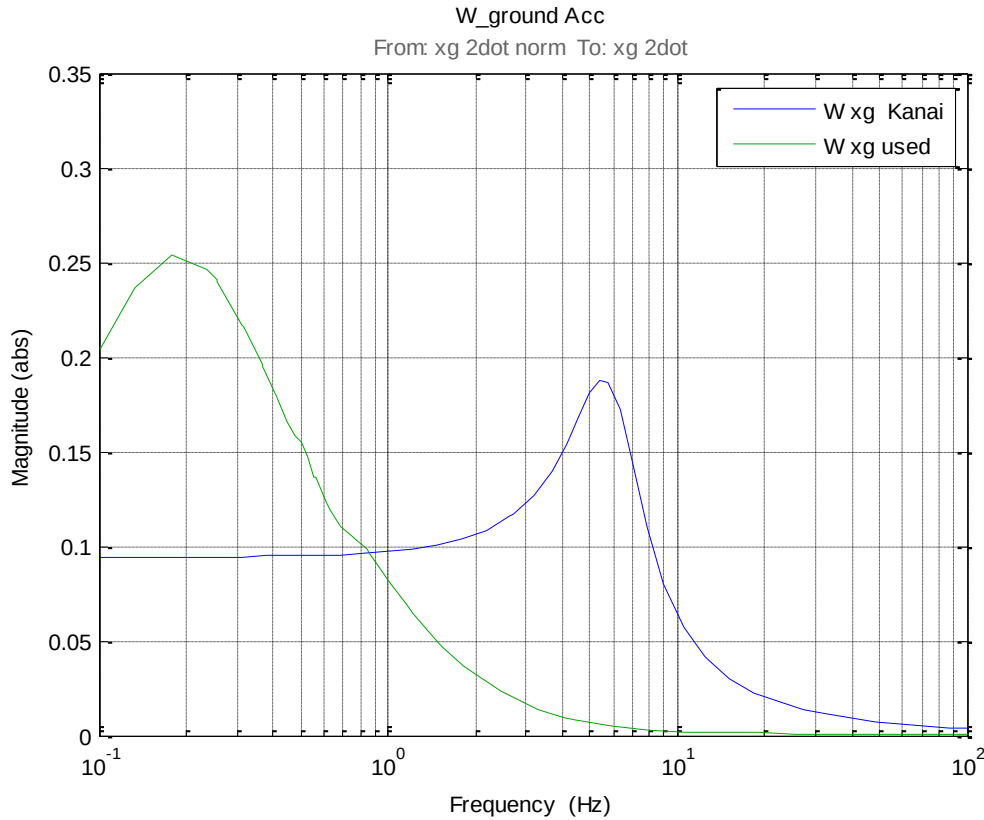
للأبنية الزلزالية المزودة بالمخمّدات كما أن تجربته في تصميم متحكم لم تغلح في إيجاد متحكم جيد.

$$\begin{aligned} z_g &= 0.3; \quad w_g = 37.3; \\ S_0 &= 0.03 * z_g / (\pi * w_g * (4 * z_g^2 + 1)) \\ num &= \text{sqrt}(S_0) * [2 * z_g * w_g, w_g^2] \\ den &= [1, 2 * z_g * w_g, w_g^2] \\ W_{ground Acc} &= \text{Transfer Function}(num, den) \end{aligned} \quad (21-3)$$



الشكل (11-3): التضخيم الزلزالي الترددي (Bode diagram) لتابع وزن التسارع الزلزالي ($W_{ground Acc}$) التقليدي.

تم استبدال هذا التابع بتابع مشتق من مخطط طيف الاستجابة الشكل (12-3) وذلك باستخدام ماتلاب حيث نلاحظ في الشكل (12-3) طيف الاستجابة المستخدم في اشتقاق تابع الوزن واستجابة التضخيم لتابع الوزن:

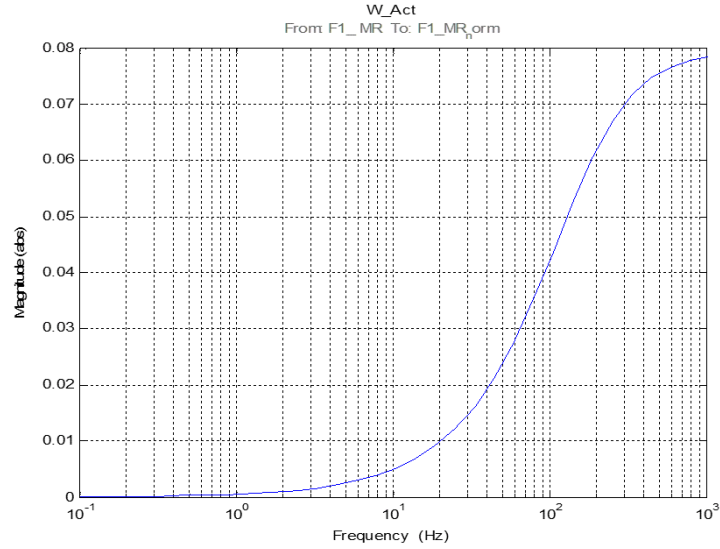


الشكل (12-3): التضخيم الزلزالي الترددي (Bode diagram) لوزن تابع وزن التسارع الزلزالي ($W_{ground Acc}$).

تحسنت نتائج المتحكم بشكل ملحوظ عند استخدام طيف الاستجابة لانتقال طوابق المبنى المخمد كتابع وزن ولم نعد بحاجة لعمليات معايرة كثيرة في الحصول على متحكم ينافس التحكم السلبي في النتائج.

تابع (W_{Act}) وزن القوة الترددي في مشغلات التحكم:

من أجل أن يعمل المتحكم بشكل منطقي وعملي يجب أن يبقى المتحكم جهد مشغلات التحكم تحت قيمة معينة هي استطاعة تلك المشغلات وألا تتجاوز قيمة القوة المطلوبة تلك القيمة لذلك يجب نمذجة ديناميكي المشغل (Actuator dynamics) في معادلات التحكم وإضافة وزن على جهد التحكم. بسبب صعوبة نمذجة معادلات مخمدات (MR) تم استخدام وزن تردد يقوم بإبقاء قوة المخمد تحت قيمة استطاعته لكن يزيد أو يخفض الوزن ترددياً ليبقي عمل المشغل ضمن سرعة محدد تم اختيار مجال عمل المخمد بتردد أصغر من (100Hz)، كما يبين الشكل (13-3) الوزن الترددي المختار لمخمد (MR).



الشكل (3-13): التضخيم الترددي (Bode diagram) لتابع وزن رد فعل المشغل ($W_{Actuator}$).

تم تجربة عدة مجالات للسرعة التي يعمل بها المخمد للوصول للمجال الأفضل حيث تبين أثر هذا الوزن

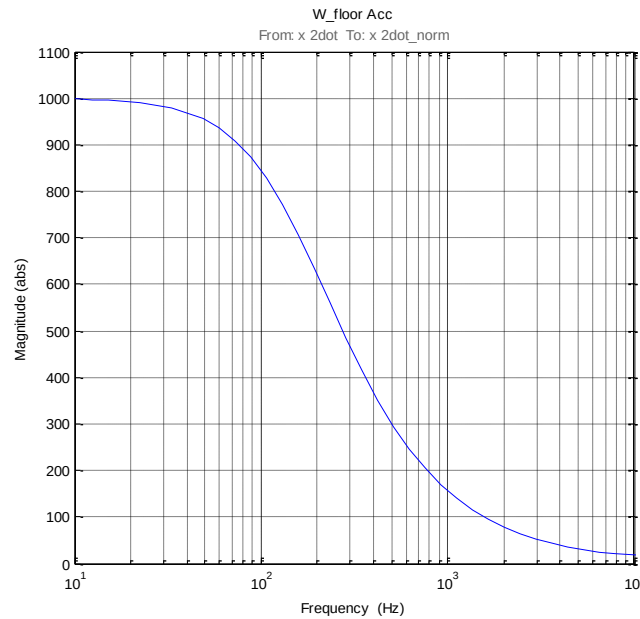
في إبقاء عمل المخمد بمجال قوة معين وسرعة معينة تجعل نتائج التحكم أفضل.

تابع ($W_{floor Acc}$) وزن تسارع الطوابق:

تم بطريقة مشابهة لحساب وزن التسارع الأرضي الزلزالي حساب تابع الوزن لتسارعات الطوابق بالاعتماد

على طيف التسارع لاستجابة البناء المدروس للطابق الأخير (amplitude spectrum) حيث تم اختيار مغلف

لطيف الاستجابة تم على أثره حساب تابع الوزن الترددي باستخدام ماتلاب كما هو مبين في الشكل (3-14):



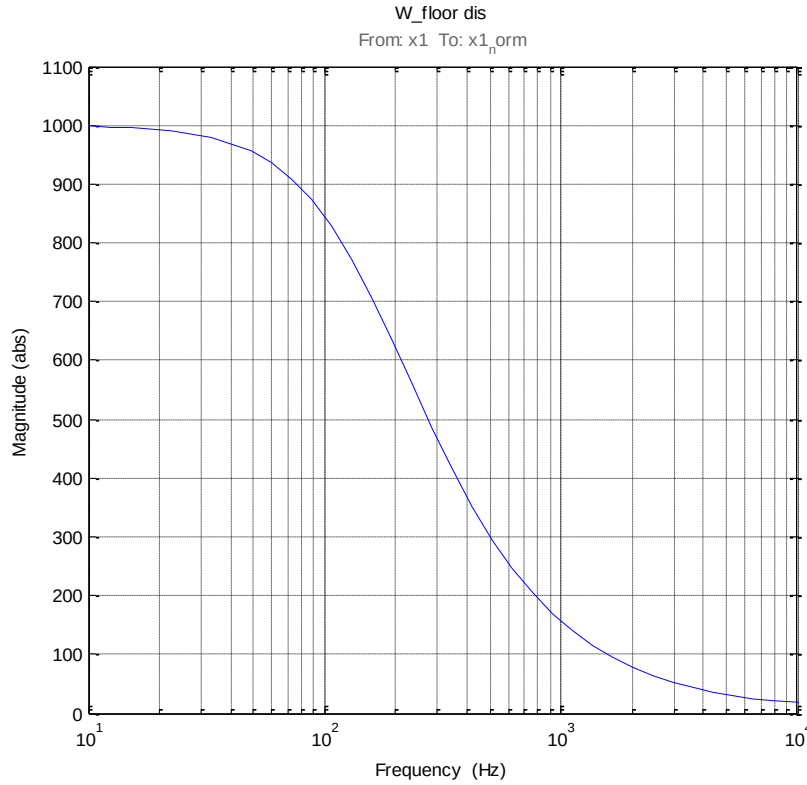
الشكل (3-14): التضخيم الترددي (Bode diagram) لتابع وزن تسارع الطوابق ($W_{floor Acc}$).

تابع ($W_{floor\ dis}$) وزن تسارع الطوابق:

تم استخدام تابعين وزن في إيجاد تابع وزن انتقال الطوابق الأول يشابه تابع وزن تسارع الطوابق، الشكل (3-15)، والثاني يقوم بحساب الانزياح النسبي وهو معيار الأداء الأهم لمصممي الأبنية الزلزالية، كما هو مبين في المعادلة (3-22):

$$Bdx = \frac{1}{dx_{max}} / h * \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ -1 & 1 & 0 \\ 0 & -1 & 1 \end{bmatrix} \quad (22-3)$$

تقوم معادلة تابع الوزن بطرح انتقال كل طابق من انتقال الطابق الذي أعلاه وتقسيمه على ارتفاع البناء (h) ثم تقسيمه على الانزياح النسبي الأعظمي المطلوب (dx_{max})، حيث يقوم المتحكم بإبقاء معيار الأداء أصغر من ($\lambda = 1$). ($Bdx \leq 1$).



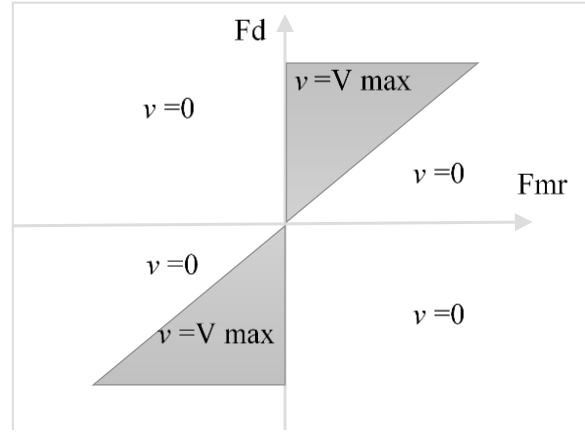
الشكل (3-15): التضخيم الزلزالي الترددي (Bode diagram) لوزن تابع وزن التسارع الزلزالي ($W_{floor\ dis}$).

تابع ($W_{floor\ vel}$) وزن التسارع الأرضي الزلزالي:

لم يستخدم تابع وزن لسرعة الطوابق وذلك بسبب عدم استخدامها في حساب خطأ المتحكم وتم إهمال أثر السرعة تماماً ذلك لعدم أهميتها في تصميم الأبنية الزلزالي.

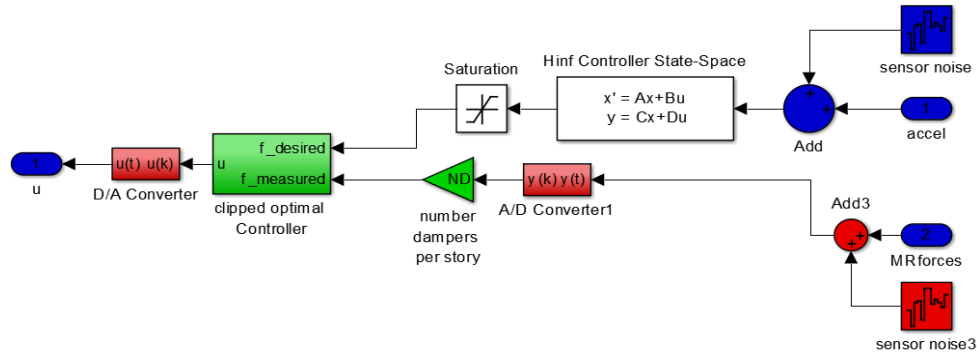
6.43. إضافة متحكم (Clipped optimal):

تعطي المتحكمات (K) السابقة جميعها القوة المطلوبة من المخدمات لكن بسبب صعوبة معادلات المخدم الهيدروليكي المغناطيسي لا يمكن تحويل القوة المطلوبة لإشارة كهربائية، لذلك نحن بحاجة لمتحكم جديد يترجم القوة المطلوبة (F_d) إلى إشارة وأوامر كهربائية (v) في المجال ($0 \sim 2.5$ A) وذلك للتحكم بالمخدمات. يبين الشكل (16-3) طريقه عمل متحكم (Clipped optimal) الذي يقوم بمقارنه القوة المطلوبة (F_d) مع القوة المتولدة في المخدم (F_{mr}) في أجزاء الثانية ($1/1024$ sec) ويقوم بتشغيل أو إطفاء المخدم للحصول على القوة المطلوبة. (Dyke 1996)



الشكل (16-3) : متحكم (Clipped optimal). (Dyke et al. 1996a)

يتم جمع الأجزاء جميعها في ماتلاب (Matlab Simulink) كما هو موضح في الشكل (17-3)، حيث اضيف ضجيج عشوائي لكل من حساسات التسارع وحساسات القوى في المخدمات، كذلك استخدم المتحكم (H_{inf} controller) الذي يعطي قيمة القوة المطلوبة من المخدم، ومتحكم (Clipped optimal controller) الذي يقوم بمقارنة القوة في المخدمات مع القوى المطلوبة وإعطاء الأمر الكهربائي بناءً على ذلك:



الشكل (17-3): بنية المتحكم في برنامج (Matlab Simulink)

الفصل الرابع

الدراسة التحليلية باستخدام MATLAB و SAP2000

The analytical study using MATLAB and SAP2000

الفصل الرابع

الدراسة التحليلية باستخدام MATLAB و SAP2000

1.4. مقدمة:

تم في هذا الفصل تحليل ثلاث مباني معدنية بارتفاعات مختلفة (3، 9، 20 طابق) تحت تأثير عدة هزات أرضية بشدات مختلفة، وهي أبنية مصممة من قبل شركة (Brandow & Johnston) لأجل مشروع (SAC Phase II) البحثي (SAC 1996)، والذي يهتم بتصميم الوصلات في الإطارات المعدنية المقاومة للعزم (Venture et al. 2000)، وبالرغم ان هذه المباني غير منفذة إلا أنها مصممة لتلبية جميع شروط الكودات لمنطقة لوس انجليس في كاليفورنيا. وقد تم اختيار هذه المباني لأنها أيضاً بمثابة مرجع قياسي لدراسات (SAC)، وبالتالي فهي توفر أساساً أوسع لمقارنة النتائج.

حيث أن (SAC) هي مشروع مشترك للمنظمات التالية:

نقابة المهندسين الإنشائيين في ولاية كاليفورنيا (SEAOC).

مجلس التكنولوجيا التطبيقية (ATC).

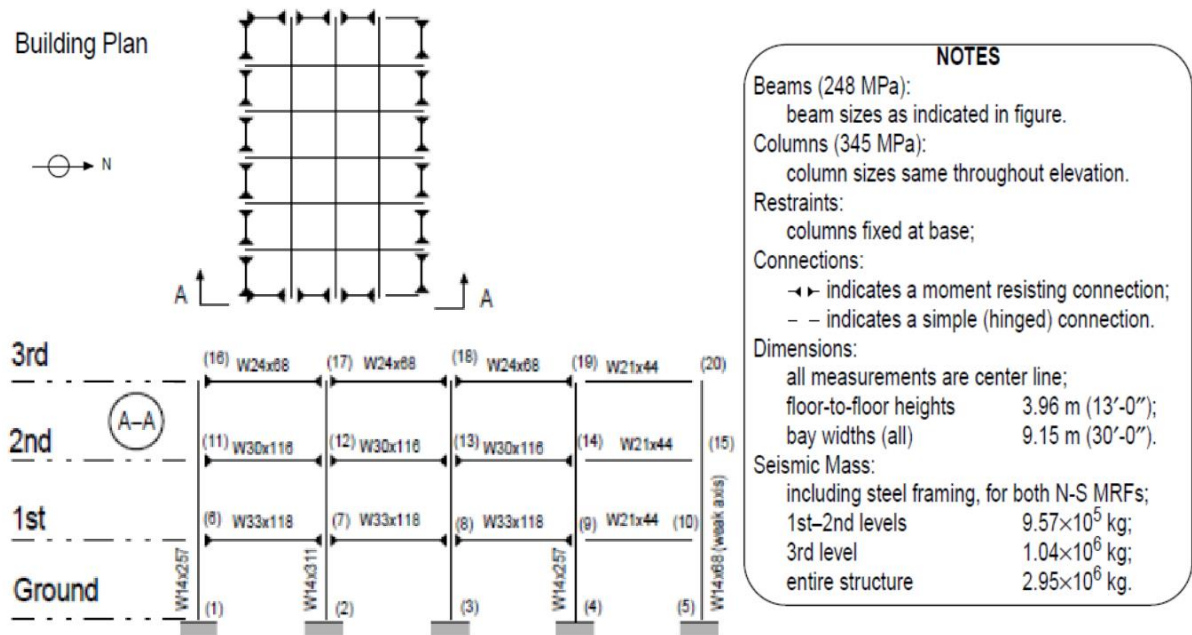
جامعات كاليفورنيا للأبحاث في مجال الهندسة الزلزالية (CUREE).

2.4. نماذج الأبنية المستخدمة:

1.2.4. بناء معدني من 3 طوابق (3-Story Benchmark Building):

يتكون البناء المعدني من 3 طوابق ارتفاع كل منها (3.96 m) وارتفاع البناء الكلي (11.89 m)، جملة البناء مكونة من أربعة إطارات محيطية مقاومة للعزم (MRF) تقاوم الأحمال الجانبية وجملة إطارات عادية داخلية تقاوم الأحمال الشاقولية. يوضح الشكل (1-4) أبعاد المسقط الأفقي (36.58 m × 54.87 m) المكون من أربع فتحات في الاتجاه شمال جنوب وستة فتحات في الاتجاه شرق غرب جميعها متساوية البعد (9.15 m). تصنع الأعمدة من فولاذ ($f_y=345$ MPa) على شكل حرف (H)، وهي موثوقة في الأساس على مستوى القاعدة وتستمر على كامل البناء.

تشكل البلاطة المكونة من بلاطة بيتونية تستند على جوائز فولاذية ($f_y=248 \text{ MPa}$) ديافرام صلب افقياً يقوم بتوزيع قوة القص الافقية بتساوي على الإطارات المحيطة حيث يقاوم كل أطار نصف الحمولة الزلزالية المطبقة على المبنى. تضم الكتلة الزلزالية (seismic mass) للمبنى جميع الاوزان والاحمال الميتة من: الجوائز المعدنية، بلاطة التغطية البيتونية، إكساء البلاطة والسقف، والجدران، والأجهزة الميكانيكية والكهربائية وغرفة السقيفة على الطابق الأخير. حيث كتلة كل من الطابقين الأول والثاني هي ($9.57 \times 10^5 \text{ kg}$)، وكتلة الطابق الثالث ($1.04 \times 10^6 \text{ kg}$)، وكتلة البناء ($2.95 \times 10^6 \text{ kg}$).



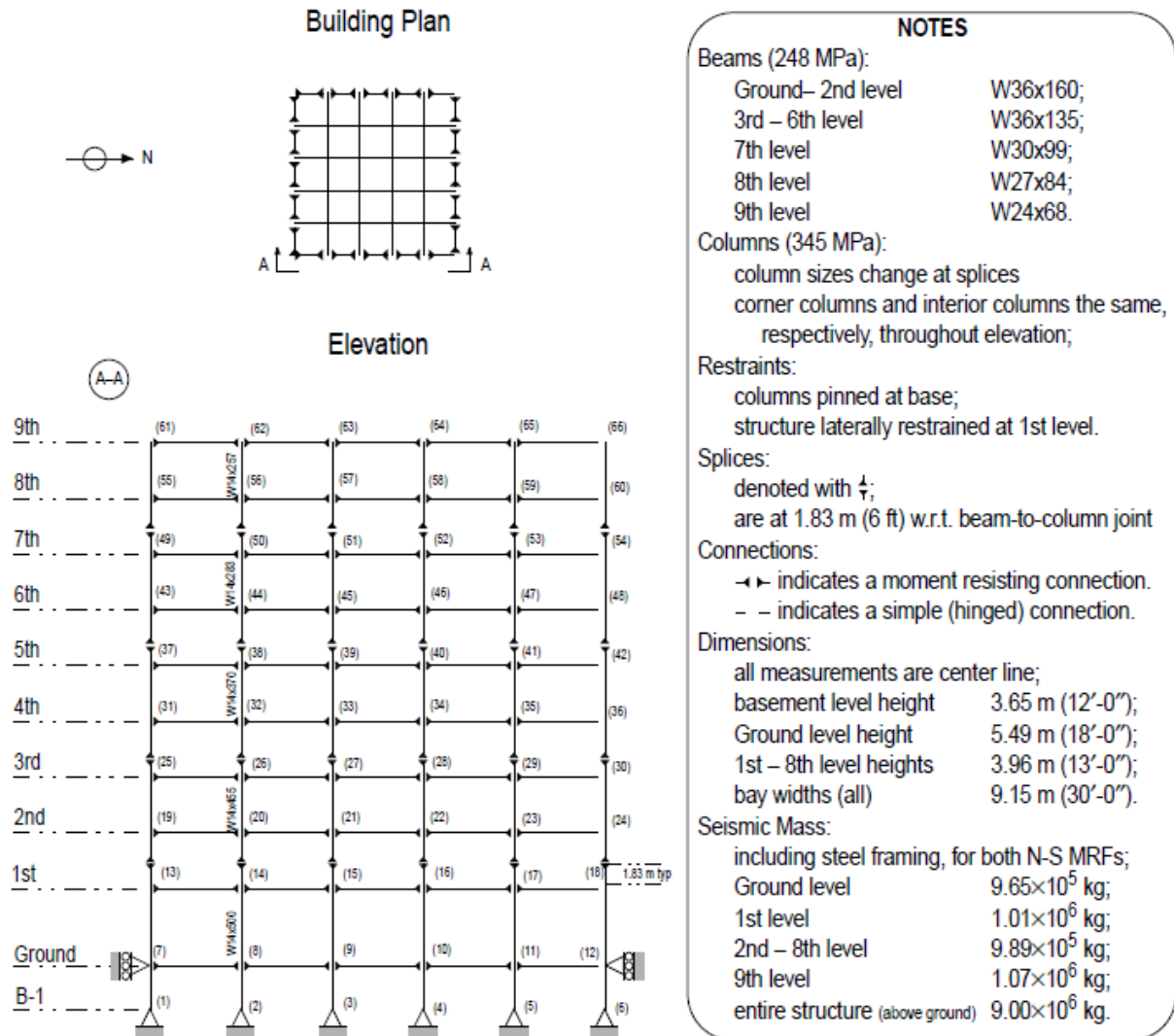
الشكل (1-4): بناء 3 طوابق المعياري .

2.2.4. بناء معدني من 9 طوابق (9-Story Benchmark Building):

يتكون البناء المعدني من 9 طوابق وقبو، ارتفاع الطابق المتكرر (3.96 m)، وارتفاع القبو (3.65 m)، وارتفاع الطابق الأول (5.49 m)، وارتفاع البناء الكلي (37.19 m). تتكون جملة البناء من أربعة إطارات محيطية مقاومة للعزم (MRF) تقاوم الأحمال الجانبية وجملة إطارات عادية داخلية تقاوم الأحمال الشاقولية. يوضح الشكل (أبعاد المسقط الافقي $45.73 \text{ m} \times 45.73 \text{ m}$) المكون من خمس فتحات في كل الاتجاهين شمال جنوب وشرق غرب جميعها متساوية البعد (9.15 m). تصنع الأعمدة من فولاذ ($f_y=345 \text{ MPa}$) على شكل حرف (H)، يتم وصل الأعمدة كل طابقين من بوصلات صلابة تقاوم الشد والقص والعزم، تتوضع الوصلات على

ارتفاع (1.83 m) من منسوب البلاطة وذلك عند الطوابق الأول والثالث والخامس والسابع، وتصمم وصلات أساسات الاعمدة كمفاصل تمنع الحركة الجانبية وتسمح بالدوران ويتم منع حركة البناء الجانبية في مستوى الطابق الأرضي (Ground) بسبب وجود جدران استنادية محاطة بالتربة تقوم بمنع حركة البناء. تشكل البلاطة المكونة من بلاطة بيتونية وجوائز فولاذية ($f_y=248 \text{ MPa}$) دياfram صلب افقياً يقوم بتوزيع قوة القص الالقية بالتساوي على الإطارات المحيطة حيث يقاوم كل إطار نصف الحمولة الزلزالية المطبقة على المبنى.

تضم الكتلة الزلزالية (seismic mass) للمبنى جميع الازران والاحمال الميتة فوق منسوب الأرض الداخلة في حساب القوى الزلزالية كما في بناء 3 طوابق. حيث كتلة الطابق المتكرر هي ($9.89 \times 10^5 \text{ kg}$)، وكتلة الطابق الأول ($1.01 \times 10^6 \text{ kg}$)، وكتلة الطابق الأخير ($1.07 \times 10^6 \text{ kg}$)، وكتلة البناء ($9.00 \times 10^6 \text{ kg}$).



الشكل (2-4): بناء 9 طوابق المعياري

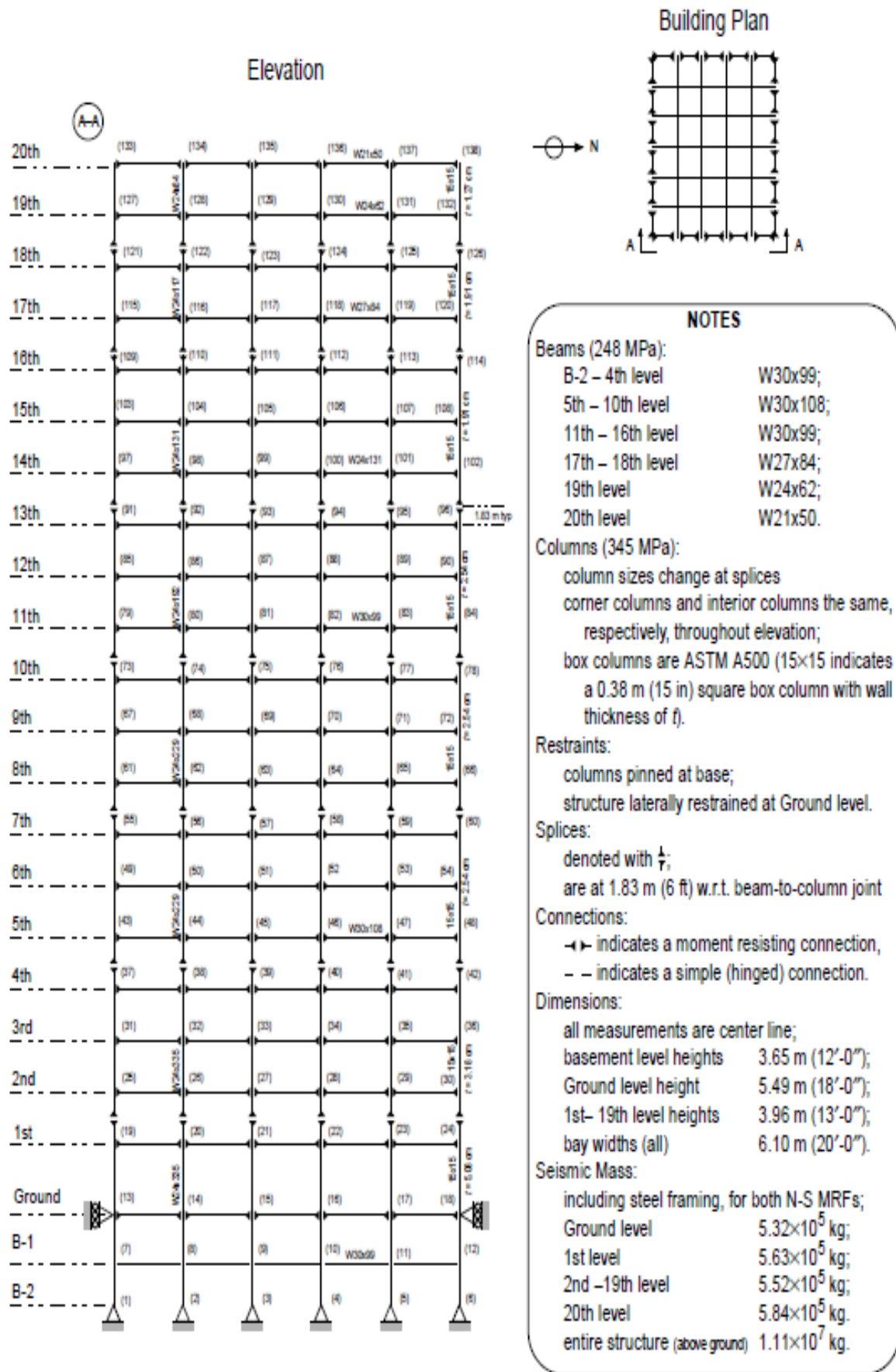
3.2.4. بناء معدني من 20 طابق (20-Story Benchmark Building):

يتكون البناء المعدني من 20 طابق وقبوين، ارتفاع المتكرر منها (3.96 m)، وارتفاع القبو (5.49 m)، وارتفاع الطابق الأرضي (3.96 m)، وارتفاع البناء الكلي (80.77 m). تتكون جملة البناء من أربعة إطارات محيطية مقاومة للعزم (MRF) تقاوم الأحمال الجانبية وجملة إطارات عادية داخلية تقاوم الأحمال الشاقولية. يوضح الشكل (3-4) أبعاد المسقط الأفقي (30.48 m × 36.58 m) المكون من خمس فتحات في الاتجاه شمال جنوب وستة فتحات في الاتجاه شرق غرب جميعها متساوية البعد (6.10 m).

تصنع الأعمدة من فولاذ ($f_y=345$ MPa) على شكل حرف (H)، يتم وصل الأعمدة كل 3 طوابق من خلال وصلة صلابة تقاوم الشد والقص والعزم، وتتوضع الوصلات على ارتفاع (1.83 m) من منسوب البلاطة وذلك في الطوابق الأولى والرابع والسابع والعاشر والثالث عشر والسادس عشر والثامن عشر.

تصمم وصلات أساسات الأعمدة كمفاصل تمنع الحركة الجانبية وتسمح بالدوران ويتم منع حركة البناء الجانبية في مستوى الطابق الأرضي (Ground) بسبب وجود جدران استنادية محاطة بالتربة تقوم بمنع حركة البناء. تشكل البلاطة المختلطة المكونة من بلاطة بيتونية وجوائز فولاذية ($f_y=248$ MPa) دياfram صلب أفقياً يقوم بتوزيع قوة القص الأفقية بالتساوي على الإطارات المحيطية، حيث كل إطار يقاوم نصف الحمولة الزلزالية المطبقة على المبنى.

تضم الكتلة الزلزالية (seismic mass) للمبنى جميع الأوزان والأحمال الميتة فوق منسوب الأرض الداخلية في حساب القوى الزلزالية كما في بناء 3 طوابق. حيث كتلة الطابق المتكرر هي (5.52×10^5 kg)، وكتلة الطابق الأول (5.63×10^5 kg)، وكتلة الطابق الأخير (5.84×10^5 kg)، وكتلة البناء (1.11×10^7 kg).



الشكل (3-4): بناء 20 طوابق المعياري

4.2.4. بناء وتحليل النموذج في الماتلاب:

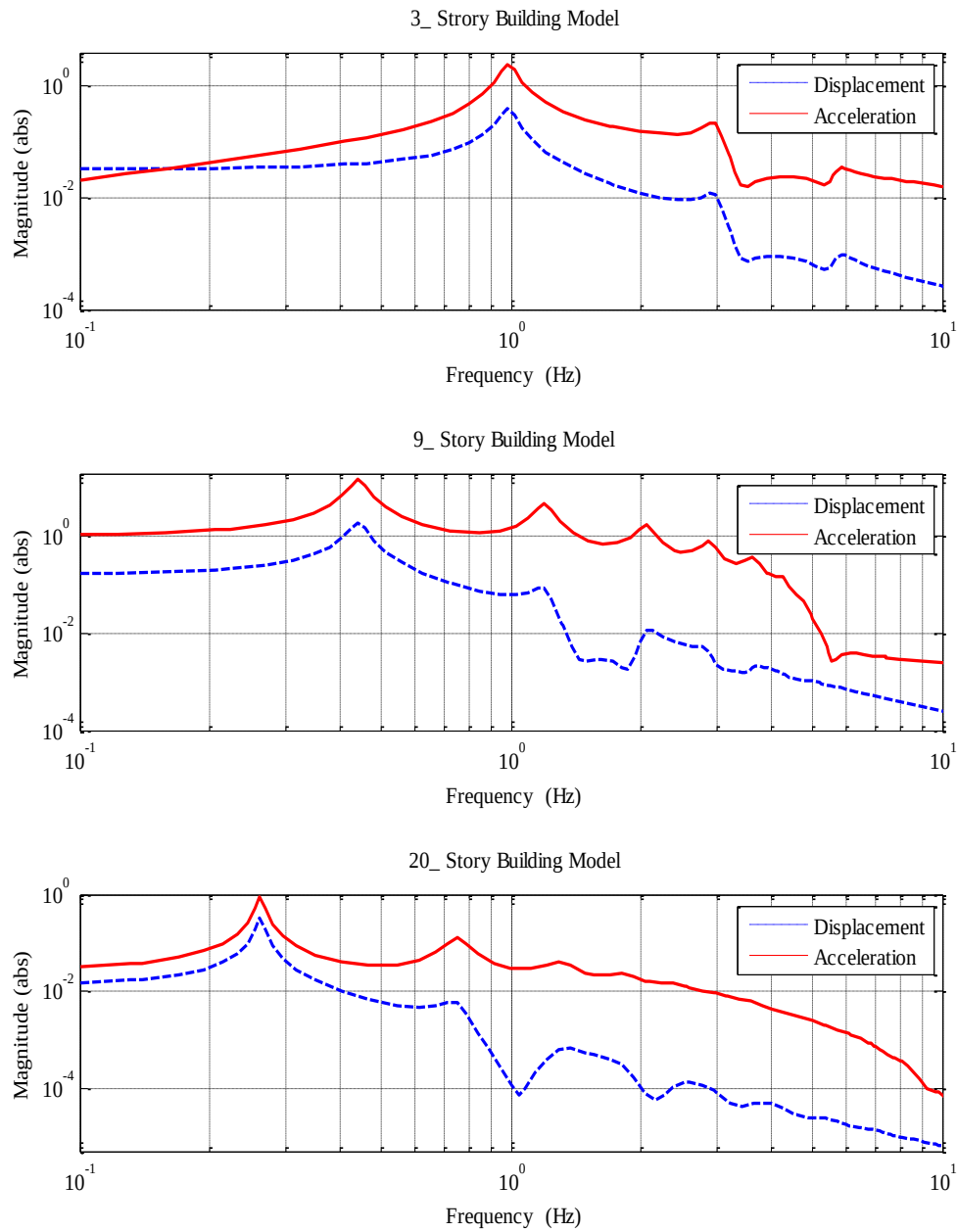
تركز الدراسة على تحليل نماذج الأبنية في المستوي (2D plane) للإطار المقاوم للعزم (MRF) في اتجاه شمال جنوب (الاتجاه القصير والضعيف للمبنى)، وذلك للأبنية السابقة (3 و 9 و 20 طابق). تم بناء نموذج عناصر محدودة في برنامج ماتلاب، وتمت نمذجة لا خطية العناصر الانشائية وتصرفها اللدن اثناء الزلازل القوية بوساطة نموذج تخلفي ثنائي الخطية (bilinear hysteresis model)، كما تمت نمذجة العناصر الانشائية كعناصر مستوية وبناءً عليه تم حساب مصفوفات الكتلة والقساوة للمنشأ ومن ثم حساب مصفوفة التخميد بواسطة طريقة (Rayleigh damping)، كما في المعادلة (1-4):

$$[C] = \alpha \times [M] + \beta \times [K] \quad \text{معادلة (1-4)}$$

حيث (M, K, C) هي مصفوفة الكتلة والقساوة والتخميد للمنشأ، و (α, β) هي أرقام حقيقية. تتوضع عقد النموذج (Nodes) في وصلة الجائز والعمود، ويتم وضع العناصر الانشائية بين هذه العقد، وذلك بإهمال منطقة التراكب (panel zone)، وتوزع الكتل في مستوي كل طابق بشكل منتظم على هذه العقد. تم إهمال نمذجة وصلات تغيير مقطع الاعمدة في نموذج ابنية 9 و 20 طابق والاستعاضة عنها بعمود بقساوة وسطية بين قساوتي عمودي الوصلة بحيث لا تنشأ لدينا عقد ودرجات حرية جديدة. كل عقدة تحوي 3 درجات حرية (شاقوليه وافقية ودورانية)، وبالتالي فان الأبنية 3 و 9 و 20 طابق تحوي 60، 198، 414 درجة حرية على التوالي قبل تطبيق الشروط المحيطية والقيود على المنشأ. تم نمذجة العناصر الانشائية كعناصر مستوية (كل عنصر بعقدتين و 6 درجات حرية)، يتم تحديد خواصها الانشائية (الكتلة والطول والمساحة وعزم العطالة وعامل المرونة والكثافة) لكل عنصر، ويتم تحديد مصفوفة الكتلة والقساوة للعناصر المجمعة غير المقيدة ثم يتم حذف الاسطر والأعمدة المقابلة للشروط المحيطية والقيود.

تم استخدام الأنماط الثلاث الأولى لبناء 3 طوابق حيث كانت الترددات الموافقة لها: (0.99, 3.06, and 5.83 Hz)، كما تم استخدام الأنماط الخمس الأولى لبناء 9 طوابق حيث كانت الترددات الموافقة لها: (0.443, 1.18, 2.05, 3.09, and 4.27 Hz)، كما تم استخدام الأنماط العشر الأولى لبناء 20 طابق،

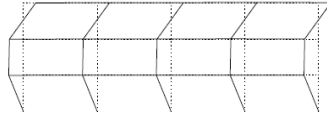
حيث كانت الترددات الموافقة لها: (0.261, 0.753, 1.30, 1.83, 2.40, 2.44, ..., and 3.68 Hz). بفرض أن البناء خطي يمكن إيجاد تابع تحويل (Transfer Function) الذي يعطي استجابة الانتقال والتسارع للطابق الأخير من خلال التسارع الأرضي، وذلك على مجال تغير الترددات، كما هو موضح في الشكل، ويوضح الشكل (4-4) اشكال أنماط الاهتزاز الثلاث الأولى للأبنية المدروسة.



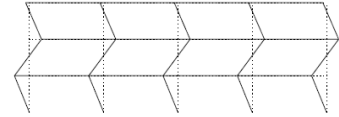
الشكل (4-4): النسب الطيفية للتضخيم الزلزالي لانتقال (الخط المنقطع) وتسارع الطابق الأخير (الخط المستمر) للأبنية المعيارية.



Mode 1 (0.99 Hz)

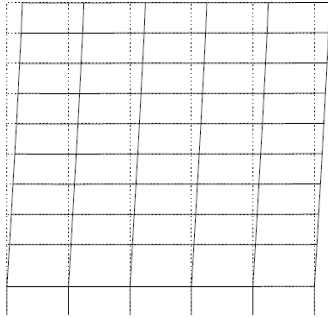


Mode 2 (3.06 Hz)

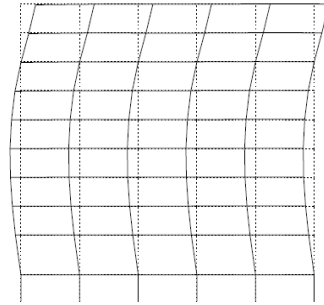


Mode 3 (5.83 Hz)

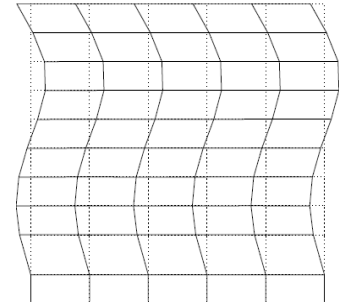
(a) 3-Story Building Model



Mode 1 (0.44 Hz)

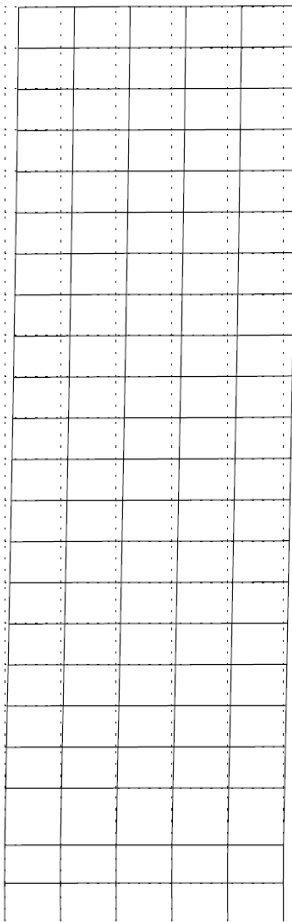


Mode 2 (1.18 Hz)

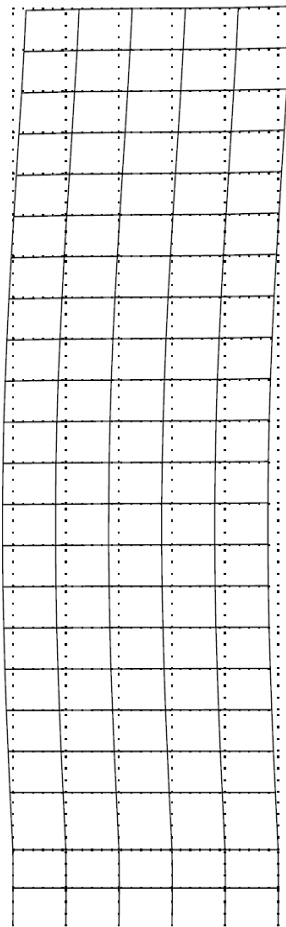


Mode 3 (2.05 Hz)

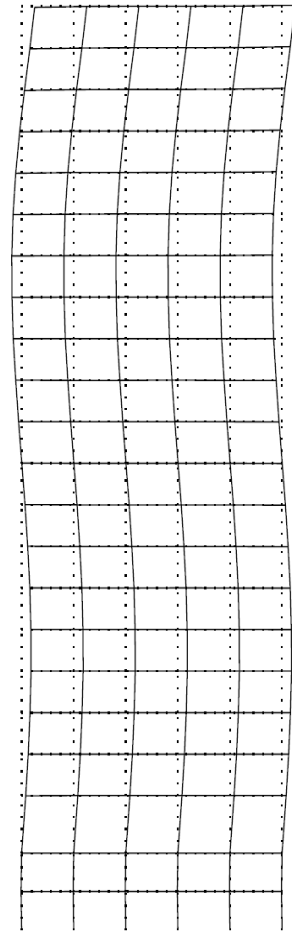
(b) 9-Story Building Model



Mode 1 (0.26 Hz)



Mode 2 (0.75 Hz)



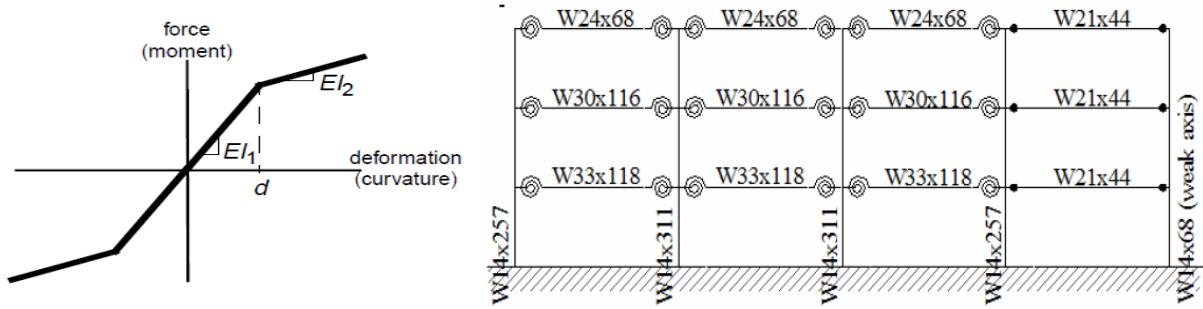
Mode 3 (1.30 Hz)

(c) 20-Story Building Model

الشكل (5-4): أنماط الاهتزاز الثلاثة الأولى للابنية المعيارية.

5.2.4. أداة التحليل اللاخطي في (Nonlinear Analysis Tool):

تسبب الزلازل القوية دخول العناصر الانشائية مرحلة العمل اللاخطي، وقد تم استخدام نموذج حلقة تخلفيه ثنائي الخطية (bilinear hysteresis model)، كما هو موضح في الشكل (4-6)، لنمذجة هذا السلوك في المفصل اللدنة (Plastic hinges). حيث يتم تحديد خواص هذا النموذج للمفاصل التي يفترض حدوثها في وصلات جوائز_عمود.



الشكل (4-6): أماكن المفصل اللدنة في مبنى 3 طوابق ونموذج تخلفيه ثنائي الخطية . (Ohtori and Spencer Jr 1999).

تم استخدام معامل مرونة الفولاذ ($E_1 = 29000 \text{ kips/in}^2 = 200000 \text{ MPa}$) لكل من الجوائز والاعمدة وتم اعتبار قيمة صغيرة جداً لـ ($E_2 = 0 \text{ MPa}$) أي الفولاذ يعمل بشكل مرن لدن تماماً، وتم اعتبار اجهاد الخضوع للجوائز ($f_y = 50 \text{ kips/in}^2 = 345 \text{ MPa}$)، واعتبار اجهاد الخضوع للأعمدة كبير جداً بحيث تبقى الاعمدة خطية، كما اعتبر إجهاد الانقطاع كبير جداً بحيث لا يحدد انفصال في العناصر.

بالرغم من احتواء برنامج ماتلاب على عدة أدوات للتحليل العددي وأدوات التحكم فانه لا يحتوي أداة مباشرة للتحليل اللاخطي لنماذج العناصر المحدودة السابقة، لذلك قام (Ohtori and Spencer Jr 1999) بتطوير أداة لهذا الغرض بالاعتماد على طريقة (New mark - β) للتحليل ضمن خطوة زمنية، ويتطلب استخدام هذه الأداة وجود برنامج ماتلاب الأساسي وبرنامج (MATLAB SIMULINK)، وإدخال الأداة كتابع (Simulink System function: S-function)، وذلك لحساب استجابة البناء اللاخطية خطوة بخطوة.

تم التحقق من دقة هذا البرنامج من قبل مصممه بواسطة برنامج (IDARKC-2D) كما تم التحقق في هذا البحث بواسطة برنامج (SAP2000)، وذلك للحصول على نتائج موثوقة.

3-4. السجلات الزلزالية المستخدمة في التحليل: (Somerville and Venture 1997)

تم استخدام أربعة سجلات زلزالية رئيسية، وستة مشتقة منها لتقييم أداء المتحكم، والسجلات الأربعة الرئيسية هي:

سجلان زمنيان قريبان من موقع الزلزال وسجلان بعيدان عنه (two far-field and two near-field)، هي:

a. سجل زلزال السنترو (*El Centro*): مركبة سجل السنترو شمال جنوب المسجلة في مركز (Imperial Valley Irrigation District substation) في كاليفورنيا بتاريخ (18 May 1940).

b. سجل زلزال هاشي-نوهي (*Hachinohe*): مركبة سجل هاشي-نوهي شمال جنوب المسجلة في (Hachinohe City during the Toka-chi-oki earthquake) في اليابان بتاريخ (16 May 1968).

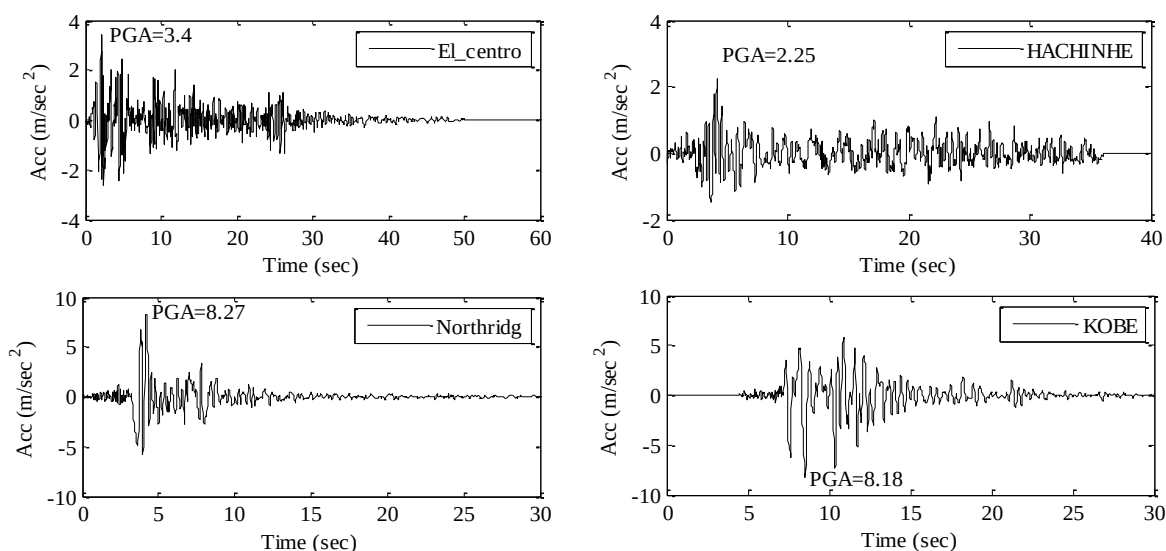
c. سجل زلزال نورث-ردج (*Northridge*): مركبة سجل نورث-ردج شمال جنوب المسجلة في (Sylmar County Hospital parking lot) في كاليفورنيا بتاريخ (17 Jan, 1994).

d. سجل زلزال كوبي (*Kobe*): مركبة سجل كوبي شمال جنوب المسجلة في (Japanese Meteorological Agency (JMA) station during the Hyogo-ken Nanbu) في اليابان بتاريخ (17 Jan, 1995).

يوضح الشكل (7-4) السجلات الأربعة ذات التسارع الاعظمي: (3.417, 2.250, 8.2676, and 8.1782 m/sec²)

على التوالي، و كذلك تم اشتقاق عدة مستويات من هذه الزلازل، الشكل (8-4). هي:

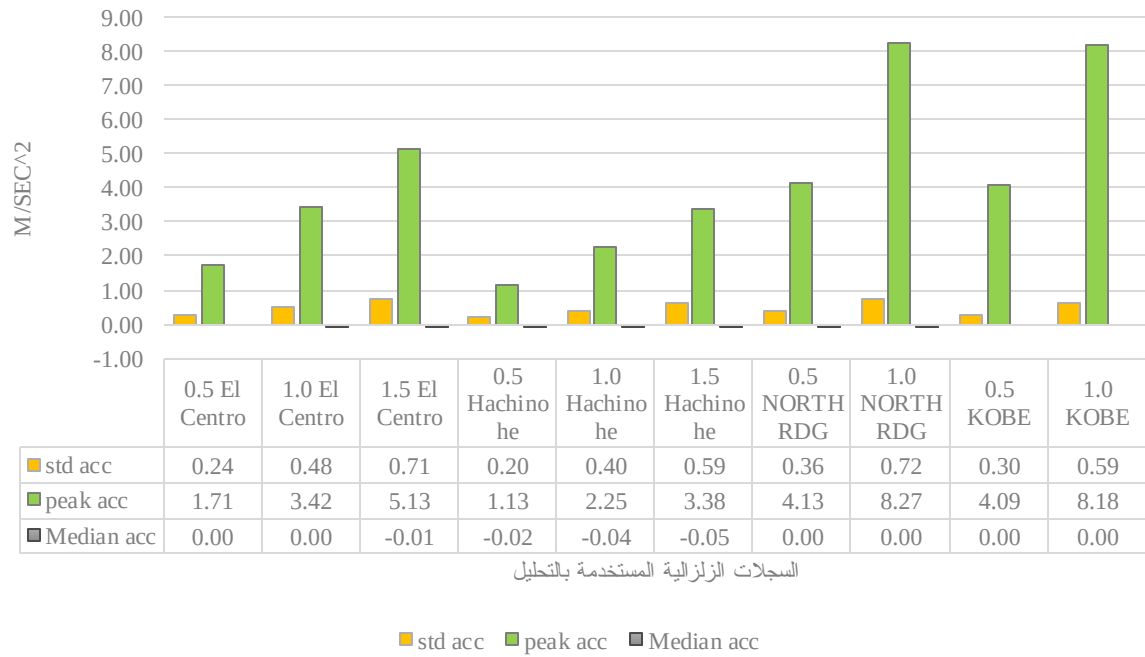
- (0.5, 1.0 and 1.5 times the magnitude of El Centro and Hachinohe)
- (0.5 and 1.0 times the magnitude of Northridge and Kobe)



الشكل (7-4): السجلات الزلزالية الرئيسية المستخدمة في التحليل

يوضح الشكل (8-4) خصائص الانحراف المعياري والقيمة الأعظمية (PGA) لتسارعات هذه الزلازل:

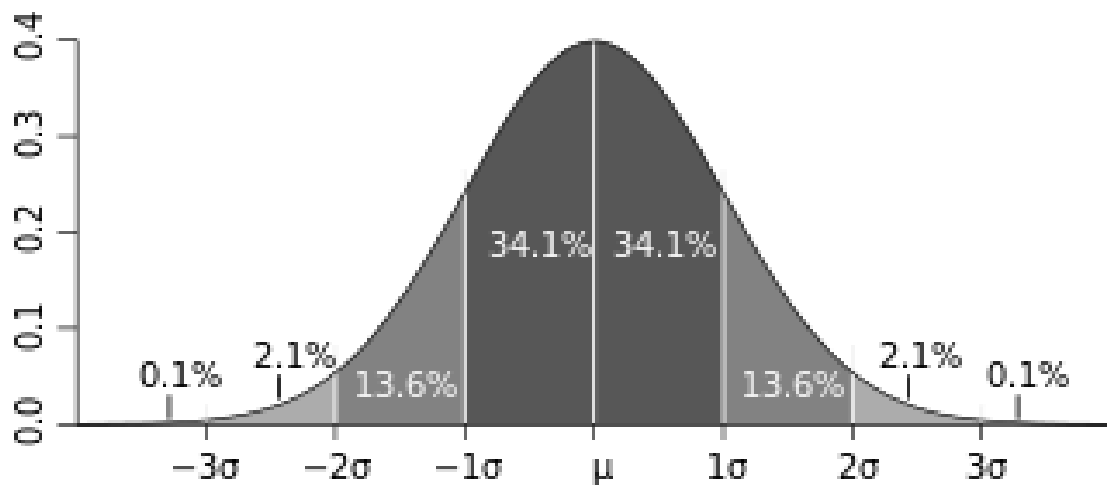
خواص السجلات الزلزالية الداخلة في التحليل



الشكل (8-4): خواص السجلات الزلزالية المستخدمة بالتحليل

يوضح الشكل (9-4) تعريف الانحراف المعياري (Stander deviation: std) ويرمز له (σ) ، وهو القيمة الأكثر استخداماً من بين مقاييس الإحصائية لقياس مدى التبعثر الإحصائي، ويدل على مدى امتداد مجالات القيم ضمن مجموعة البيانات الإحصائية.

المتوسط الحسابي (المعدل): هو قيمة (μ) تتجمع حولها قيم مجموعة ويمكن من خلالها الحكم على بقية قيم المجموعة، فتكون هذه القيمة هي الوسط الحسابي.



الشكل (9-4): الانحراف المعياري (Stander deviation)

بعض الدراسات التي اعتمدت أبنية مشروع (SAC 1996) المعيارية.

أعتمدت الدراسة المرجعية (testing 2011) بناء الثلاث طوابق المعياري حيث قام طلاب الجامعات المشاركة بوضع مجموعة من المتحكمات اعتماداً على نموذج ماتلاب للبناء والمخمد (MR)، حيث قامت الدراسة بتطبيق المتحكمات بشكل فعلي وتجربتها وسيتم المقارنة بها لاحقاً في فصل النتائج، يوضح الجدول (4-1) بعض نتائج هذه المتحكمات مقارنةً بالتحكم السلبي:

الجدول (1-4): مقارنة نتائج التحكم شبه الايجابي والتحكم السلبي لبناء 3 طوابق في الدراسة المرجعية_1 باستخدام السننرو. (testing 2011)				
Controller		1St_Story (mm)	2nd_Story (mm)	3rd_Story (mm)
Pdb_2.5A	2.5Passive	3.4	5.2	6.1
Ref_1	FLC: Fuzzy Logic	2.9	7.9	14.2
Ref_2	H2w Filter	3.3	5.1	6.0
Ref_3	LYAPUNOV	9.2	18.4	24.6
Ref_4	LQR	8.9	14.3	16.3
Ref_5	LQG	12.7	24.0	30.9

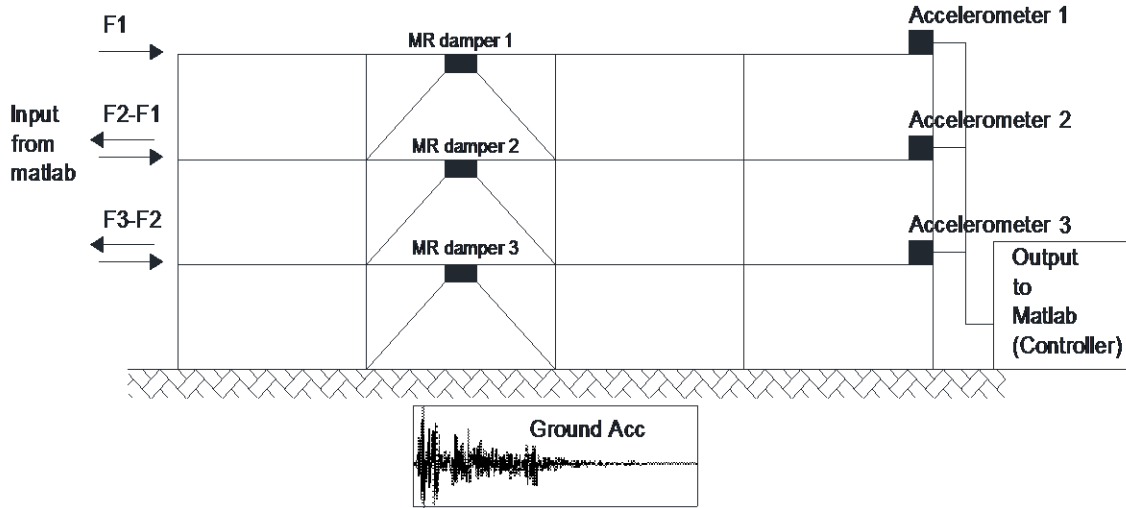
اعتمدت دراسة (Ohtori et al. 2004) الابنية الثلاثة مع استخدام التحكم الإيجابي بواسطة مشغل مثالي (يعطي القوة المطلوبة تماماً) باستطاعة (1000kN) وذلك على الابنية الثلاث وباستخدام سجل زلزال السننرو وبواسطة نفس برنامج التحليل لكن بتغيير الخطوة الزمنية (0.005sec~0.01sec) حيث أعطت الدراسة قيماً قريبة من دراستنا للأبنية بدون تحكم، كما يبين الجدول (4-2) نتائج المباني بدون تحكم: الجدول (4-2): مقارنة نتائج الأبنية المعيارية بدون تحكم في دراسة (Ohtori et al. 2004) مع نتائج البحث باستخدام السننرو.

نتائج البحث		نتائج (Ohtori et al. 2004)			
		Uncontrolled			Uncontrolled
Max Acc	Max drift	response	Max Acc	Max drift	response
m/sec ²	ratio (10 ⁻³)		m/sec ²	ratio (10 ⁻³)	
5.88	1.4	3-story (0.0001 sec)	6.5	1.5	3-story (0.005 sec)
3.8	1.1	9-story (0.001 sec)	5.4	1.5	9-story (0.005 sec)
3.7	5	20-story (0.001 sec)	5.3	7	20-story (0.01 sec)

4-4. البرنامج المطور بواسطة (MATLAB) و (SAP2000):

تم تطوير برنامج بواسطة الماتلاب (كما هو موضح في الملحقات) يقوم بإدخال النموذج اللاخطي للإطار على برنامج (SAP2000) وإدخال القوة المتولدة في المخدم خطوة بخطوة كسجل زمني للقوى في أماكن توضع مخدمات (MR) موازي لسجل التسارع الزلزالي الأرضي، الشكل (4-10). يهدف البرنامج الى ما يلي:

1. التحقق من عمل أداة التحليلي اللاخطي للإطار بواسطة ماتلاب.
2. التأكد من إمكانية العمل على منشآت أكثر تعقيدا من المنشآت الاطارية البسيطة التي يمكن نمذجتها على أداة التحليلي اللاخطي للإطار بواسطة ماتلاب.
3. محاولة ربط برنامج (SAP2000) على التوازي مع برنامج ماتلاب للتحكم ونموذج المخدم في ماتلاب.



الشكل (4-10): نموذج الساب والماتلاب المطور.

4-5. تحقيق النموذج بالمقارنة مع الدراسة المرجعية و (SAP2000):

للتحقق من ملف الماتلاب المستخدم في الدراسة التحليلية تمت مقارنة نتائج التحليل للمبنى ثلاث طوابق المزود بالتحكم السلبي حيث تعمل مخدمات (MR) بتيار كهربائي أعظمي (A 2.5) ثابت طول الوقت بين نموذج ماتلاب ونموذج (Matlab & SAP2000) مع الدراسة المرجعية، وفي جميع الطوابق.

يوضح الجدول (4-3)، نتائج الانتقال للطوابق في الدراسة المرجعية_1 ونتائج نموذج التحليلي باستخدام

(Matlab & Spencer) ونتائج برنامج مبسط (Matlab & SAP2000).

الجدول (3-4): مقارنة نتائج التحكم السلبي للنماذج: الدراسة المرجعية_1 والماتلاب و (SAP2000).

النموذج:	Max dis 1 st _story	Max dis 2 nd _story	Max dis 3 rd _story
الدراسة المرجعية	0.0033	0.0056	0.0067
النموذج التحليلي	0.0033	0.0055	0.0066
Matlab&SAP2000	0.0028	0.0054	0.008
نسبة الفرق	15%	2%	20%

بالرغم من الفروق في النتائج فقد بين نموذج (Matlab) وبرنامج (Matlab&SAP2000) التي تصل حتى 20% والتي تعود لعدم وجود تغذية راجعة (feedback) بين ماتلاب و (SAP2000)، فقد اثبت برنامج (Matlab) انه قادر على نمذجة استجابة المبنى بشكل جيد في مجال لدونة منخفض، ولذلك يمكن اعتبار نتائج (Matlab) جيدة للمقارنة خاصة أن المقارنة تتم باستخدام نموذج (Matlab) بين التحكم السلبي التقليدي وبين التحكم شبه الايجابي، حيث يوضح الفصل القادم نتائج هذه المقارنة وتثبت النتائج ان التحكم شبه الايجابي يحسن الاستجابة الزلزالية للمباني بامثلة مختلفة بقيم تتراوح بن (10-15%).

الفصل الخامس

مناقشة النتائج

Results Discussion

الفصل الخامس

مناقشة النتائج

Results Discussion

1.5. مقدمة:

تم في هذا الفصل استعراض ومناقشة نتائج التحليل اللاخطي (nonlinear) لكل من أبنية الدراسة (3&9&20-story benchmark buildings)، وذلك على ثلاث مراحل لكل بناء:

(أ). المبنى بدون مخمدات (Uncontrolled damped building: Udb).

(ب). المبنى مزود بمتحكم سلبي تقليدي (Passively damped building: Pdb) حيث تعمل المخمدات

طوال الوقت بأمر كهربائي أقصى ثابت (Constant current 2.5A).

(ج). المبنى مزود بمتحكم خطي (Controlled damped building: Cdb) الموضح في الفصل الثالث،

حيث تعمل المخمدات طوال الوقت بأمر كهربائي متغير في المجال (0~2.5 A).

تم التحليل وتقييم الأداء على السجلات الزلزالية العشرة الموضحة في الفصل الرابع، وذلك من خلال

برنامج ماتلاب، حيث تم استخدام 28 مخمد (200kN MR Damper) في كل طابق لتؤمن قوة (5600kN)

وهي نصف القوة اللازمة لإبقاء المبنى في الحالة المرنة حيث تم استخدام هذا العدد الكبير نسبياً كما في الدراسة

المرجعية_1 حيث يبقى زمن التحليل مقبولاً ويمنحنا قيماً مقبولة للمقارنة بها.

2.5. نتائج بناء 3 طوابق:

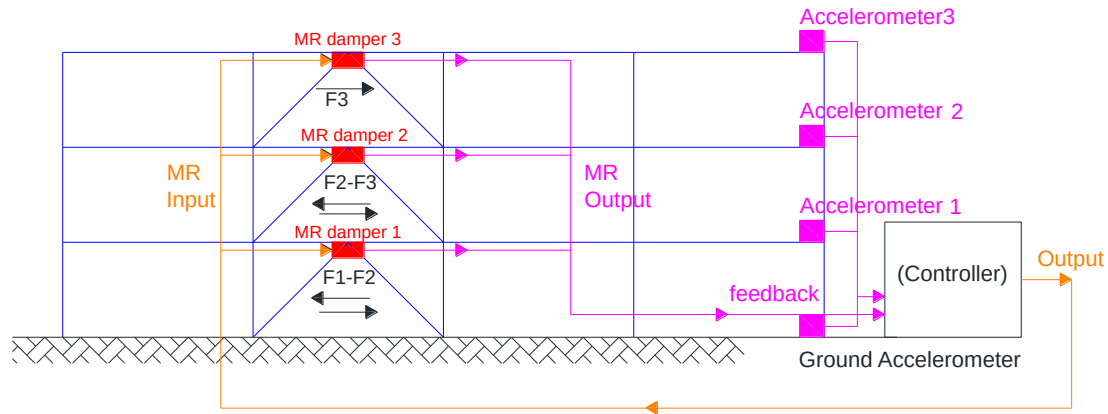
1.2.5. مقارنة نتائج المبنى (3-story) بدون مخمدات مع مبنى مزود بالتحكم السلبي:

يوضح الشكل (2-5) توزيع المخمدات على طوابق مبنى الثلاث طوابق حيث كل طابق يحوي مخمد

باستطاعة تعادل استطاعة 28 مخمد (200kN MR Damper)، حيث نلاحظ أن حساسات التسارع وحساسات

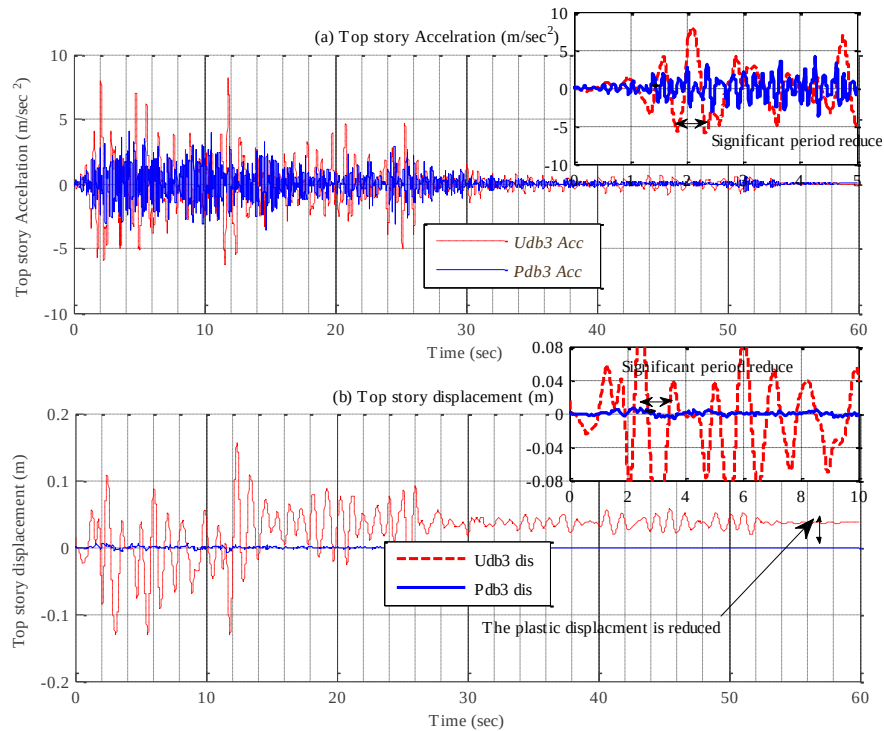
القوة المتولدة في المخمد تعطي إشارة راجعة (Feedback) للمتحكم الذي يقوم بأعطاء اوامر التحكم بالمخمدات

الموزعة.



الشكل (1-5): توزيع المخمدات في المبنى (3-story).

يوضح الشكل (2-5) مقارنة لنتائج التحليل للمبنى (3-story) وذلك للمبنى بدون تخميد إضافي (Udb_3)، والمبنى المزود بمخمدات وبالتحكم السلبي (Pdb_3) حيث نلاحظ أن استراتيجية التحكم السلبي تزيد قساوة المبنى وتضيف تخميذاً هاماً للمنشأ، مما يخفف كلاً من انتقالات وتسارعات المبنى، كما نلاحظ انخفاض الانتقال اللدن المتبقي في المبنى بعد انتهاء السجل الزلزالي بوقت كافٍ لانهاء الاهتزاز الحر.



الشكل (2-5): مقارنة نتائج الطابق العلوي لمبنى (3-story) بدون مخمدات مع مبنى مزود بالتحكم السلبي على زلزال (El_Centro).

نلاحظ من الشكل (2-5) السابق ان عملية المقارنة بين انتقالات المبنى المزود بالمخمدات وانتقالات المبنى بدون مخمدات تتعلق بعدد المخمدات والذي يؤثر في النتيجة بشكل كبير، وقد تم استخدام في الدراسة استخدام مخمد باستطاعة تعادل 28 مخمد تعمل معاً في كل طابق لعدة أسباب أهمها:

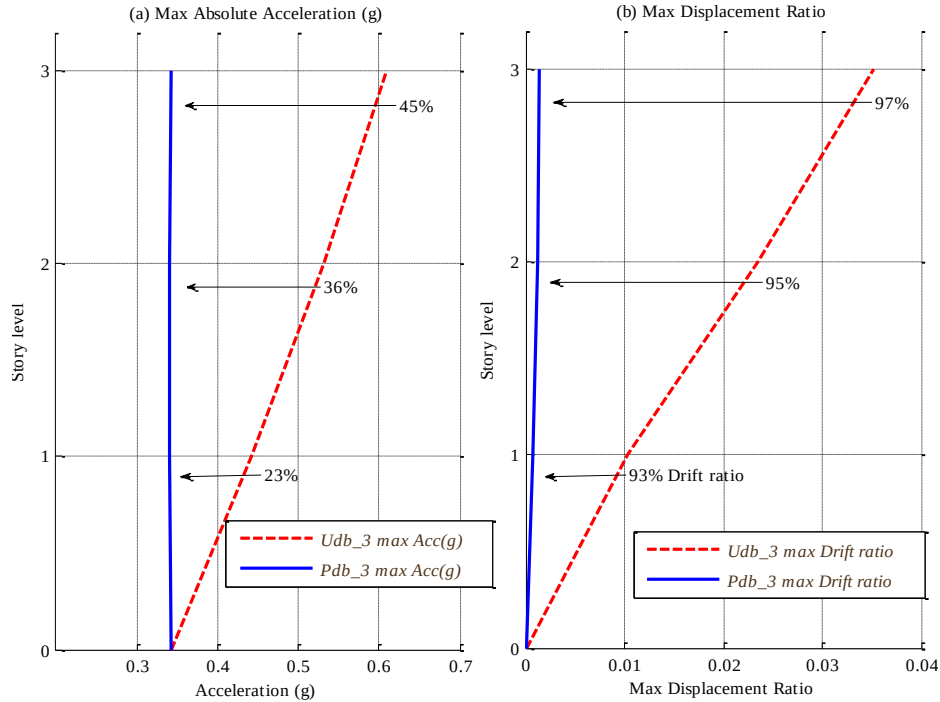
استخدام الدراسة المرجعية هذا العدد من المخدمات.

إبقاء الانتقالات اللدنة ضمن حدود مقبولة من أجل زمن التحليل ودقته.

ان القوة الكبيرة في المخدمات تشكل تحدي لإبقاء المبنى مستقراً وبالتالي يمكن اختبار كفاءة المتحكم المدروس في الحفاظ على استقرار المبنى.

ان المتحكم (H_{∞}) المدروس يعتمد على معادلات الحركة الخطية للمبنى لذلك لابد من إبقاء البناء في الحالة الخطية ما أمكن من خلال عدد كافي من المخدمات.

يوضح الشكل (a-3-5) مقارنة التسارع الاعظمي المطلق كنسبة من التسارع الجاذبية الأرضية ($g=10m/sec^2$) للمبنى بدون تخميد مع المبنى المزود بالتحكم السلبي حيث نلاحظ انخفاض التسارع الأعظمي (45%) في الطابق الاخير وتخفيض تضخيم التسارع في الطوابق حيث يتصرف المبنى (Pdb_3) كجسم صلب يهتز بتسارع الأرضي. يوضح الشكل (b-3-5) الانتقال النسبي الأعظمي للمبنى من ثلاث طوابق بحالتين بدون مخمدات، ومزود بمتحكم سلبي (Udb_3 & Pdb_3) حيث نلاحظ انخفاض كبير للانتقال النسبي (97%) في الطابق الأخير.

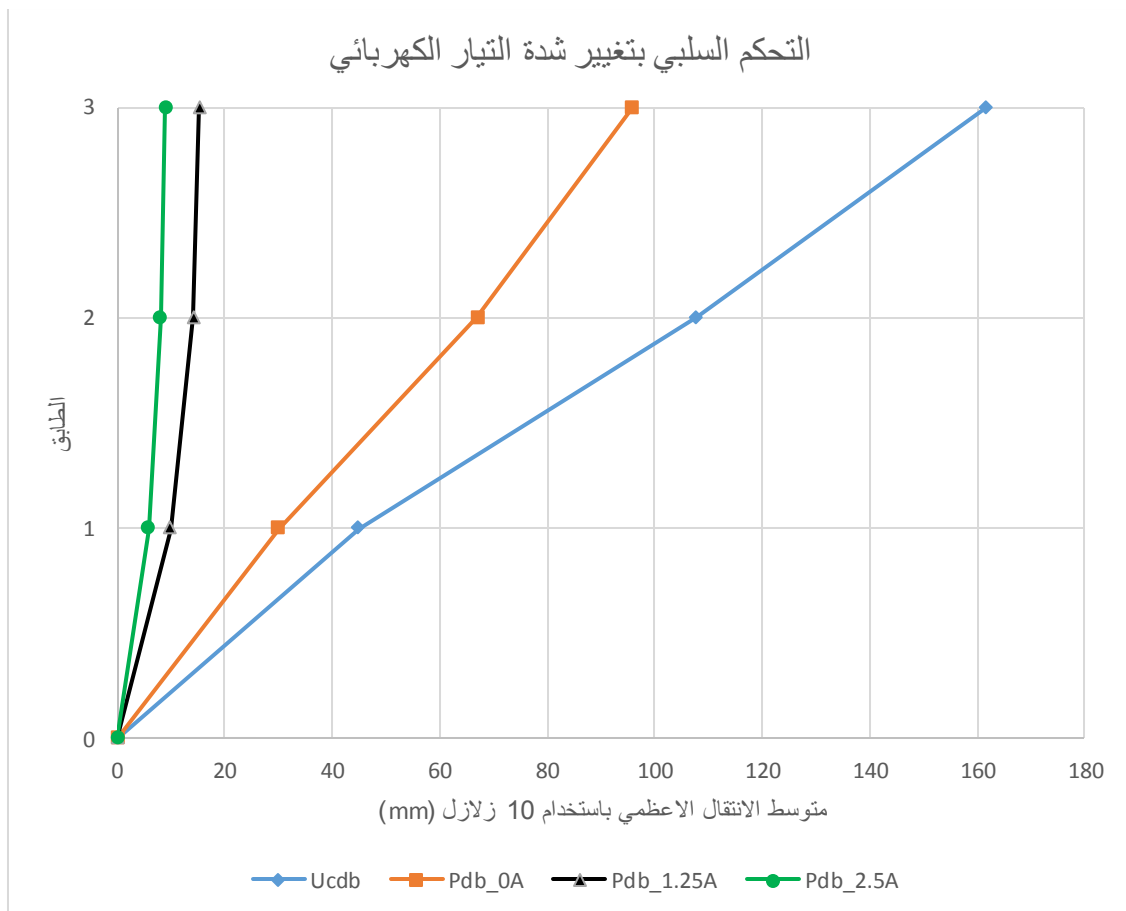


الشكل (3-5): مقارنة نتائج التسارع الاعظمي والانتقال النسبي لطوابق مبنى (Udb_3) مع نتائج المبنى (Cdb_3) على زلزال (El_Centro)

تم تخفيض عدد المفاصل اللدنة المتشكل خلال زلزال السنترو الى (0) بعد أن كانت جميع الجوائز تدخل في المرحلة اللدنة، كما انخفضت كمية الطاقة الداخلة المبددة بآلية المفاصل اللدنة الى الصفر (0 KN.m) بعد أن كان يتجاوز (5.5 KN.m)، لان المبنى المزود بالتحكم السلبي كان له أداء مميز في تبديد الطاقة الداخلة الى المبنى.

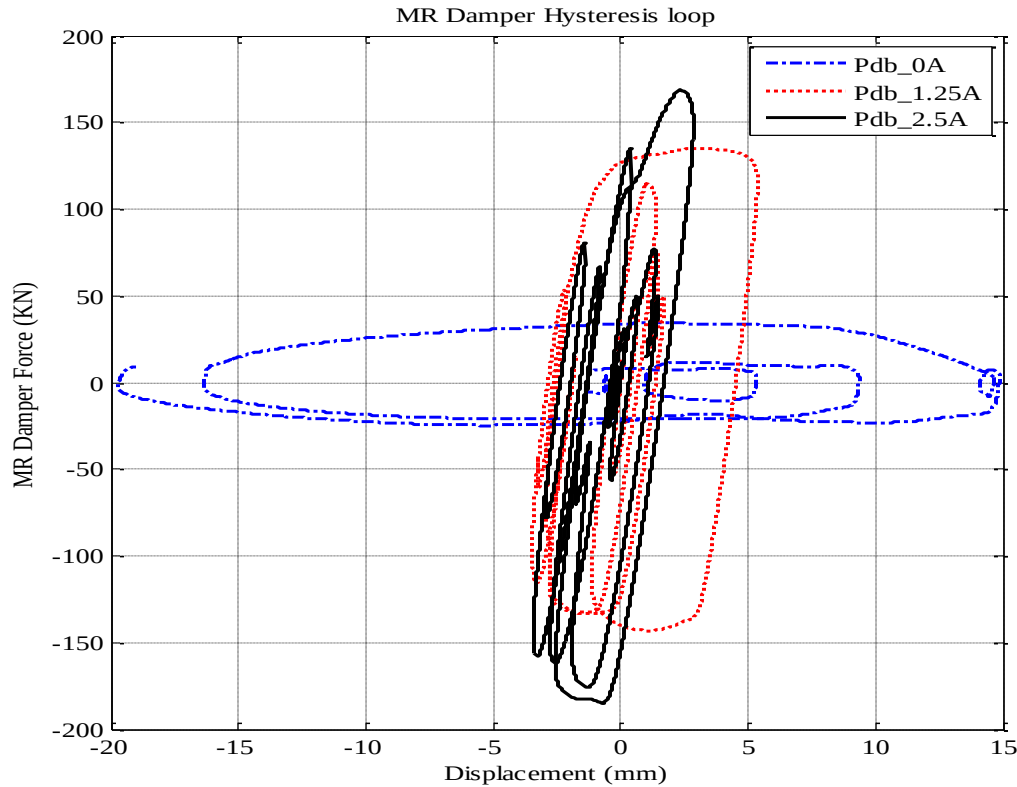
2.2.5. مقارنة نتائج المبنى (3-story) المزود بالتحكم السلبي بشدات تيار مختلفة:

يتم مقارنة نتائج المبنى 3 طوابق المزود بالتحكم السلبي بواسطة 28 مخمد في كل طابق بتغير التيار الكهربائي (0، 1.25، A2.5) وذلك بهدف توضيح أثر تغير التيار في المخمد على انتقال طوابق المبنى، وذلك من خلال دراسة انتقالات المبنى باستخدام زلازل التحليل العشرة وحساب متوسط الانتقال الطائقي الاعظمي، حيث نلاحظ قدرة مخمد (MR) على تخفيض انتقالات المبنى دون الحاجة لتيار كهربائي، كما نلاحظ ان أثر تغيير شدة التيار الكهربائي على القوة في المخمد غير خطي، الشكل (4-5).



الشكل (4-5): أثر التحكم السلبي على انتقالات مبنى 3 طوابق بتغيير شدة التيار الكهربائي.

يوضح الشكل (5-5) الحلقة التخلفية لمخمد (MR) الناتج عن الثواني الثلاث الأولى لتحليل المبنى على زلزال السنترو باستخدام التحكم السلبي بشدات تيار مختلفة حيث نلاحظ ازدياد القوة في المخمد نتيجة زيادة التيار الكهربائي كما نلاحظ تضيق الحلقة التخلفية وازدياد عدد الحلقات بزيادة شدة التيار في المخمد، وذلك بسبب تخفيض الانتقال في الطوابق وتخفيض دور المبنى.



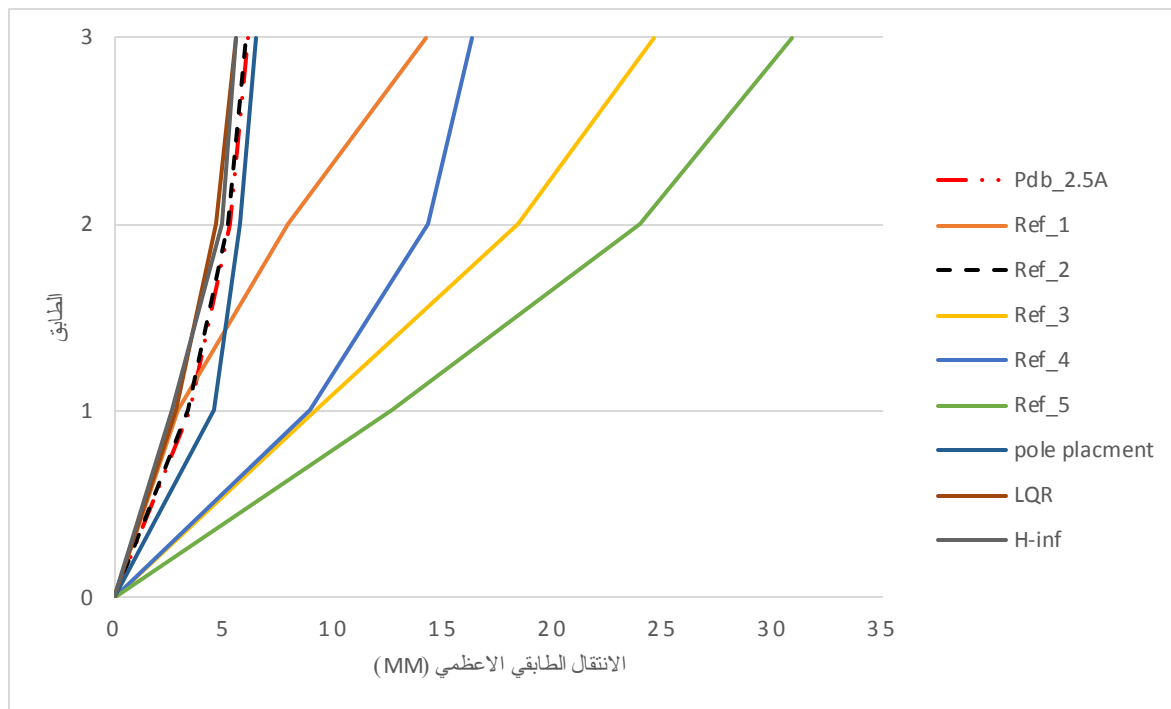
الشكل (5-5): تغيّر شكل الحلقة التخلفية (Hysteresis loop) بتغيّر شدة التيار الكهربائي لمخمد (MR).

3.2.5 مقارنة نتائج المبنى (3-story) المزود بالمتحكم (LQR) مع المتحكمات المرجعية:

يتم مقارنة نتائج المبنى المزود بمتحكم (LQR) المطور الذي تم معايرته على زلزال (El_Centro) مع التحكم السلبي بتيار أعظمي (constant current 2.5A)، ومع بعض الدراسات المرجعية التي تستخدم متحكم (LQR) وغيره، وذلك لتقييم فاعلية المتحكم المطور.

تم تحليل المبنى باستخدام المتحكمات المرفقة بالدراسة (testing 2011) التي طورها طلاب عدة جامعات على مبنى 3 طوابق المعياري وذلك باستخدام العدد الاعظمي المسموح للمخمدات (28 مخمد في الطابق) وباستخدام زلزال السنترو.

حيث نلاحظ أن أصغر قيمة للانتقال الأعظمي للطابق الأخير تتوافق مع المتحكم (LQR) المطور، وأن أصغر قيمة للانتقال الأعظمي للطابق الأول (وبالتالي الانزياح النسبي الأعظمي للبناء) يتوافق مع متحكم (H_∞)، وبالتالي يمكن اعتباره المتحكم الأفضل والذي تم دراسة أثره بشكل مفصل لاحقاً، كما نلاحظ أن أفضل المتحكمات المرجعية أداءً هو متحكم (H_2w) والذي يتشابه في أساسه النظري مع متحكم (H_∞) المطور، كما يوضح الشكل (5-6) والجدول (5-1):

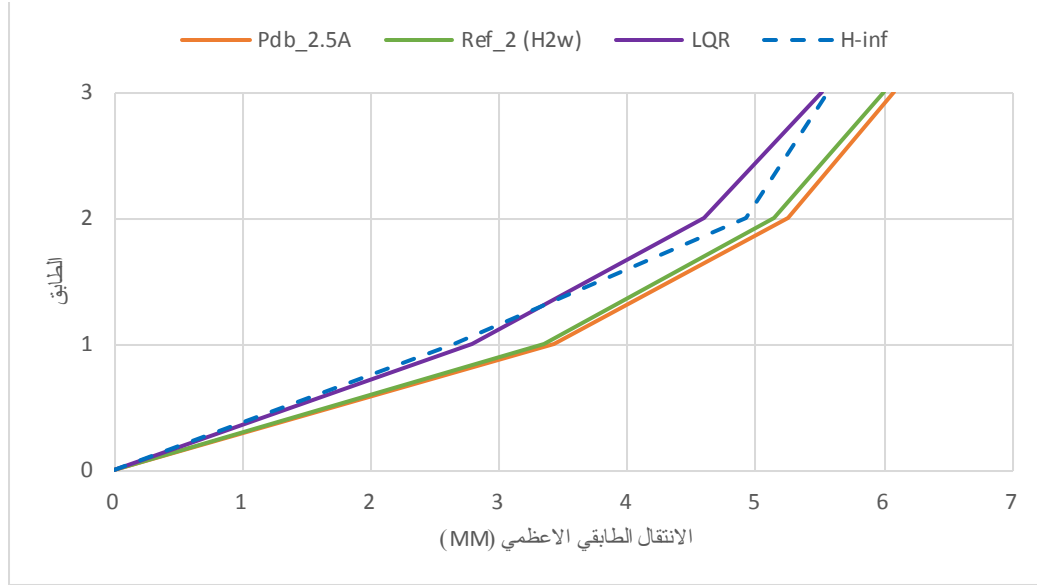


الشكل (5-6): مقارنة نتائج انتقال الطوابق لمبنى الثلاث طوابق باستخدام استراتيجيات التحكم المطورة والاستراتيجيات المرجعية (testing 2011) وزلازل السنترو.

الجدول (5-1): مقارنة نتائج انتقال الطوابق لمبنى الثلاث طوابق على استراتيجيات التحكم الجديدة والمرجعية (testing 2011) على زلازل السنترو.

Controller		1St_Story (mm)	2nd_Story (mm)	3rd_Story (mm)
Pdb_2.5A	2.5Passive	3.4	5.2	6.1
Ref_1	FLC: Fuzzy Logic	2.9	7.9	14.2
Ref_2	H2w Filter	3.3	5.1	6.0
Ref_3	LYAPUNOV	9.2	18.4	24.6
Ref_4	LQR	8.9	14.3	16.3
Ref_5	LQG	12.7	24.0	30.9
New Controller_1	pole placment	4.5	5.7	6.5
New Controller_2	المطور (LQR)	2.8	4.6	5.5
New Controller_3	H_∞	2.6	4.9	5.6

يوضح الشكل (5-7) أهم المتحكمات التي نجحت في تحسين استجابة مبنى 3 طوابق مقارنة بالتحكم السلبي حيث نلاحظ انه بالرغم من أن متحكم (LQR) المطور في البحث يعطي أفضل انتقال للطابق العلوي لكن المتحكم (H_{∞}) يعطي أفضل انزياح نسبي وهو المعيار الأهم في تصميم الأبنية.

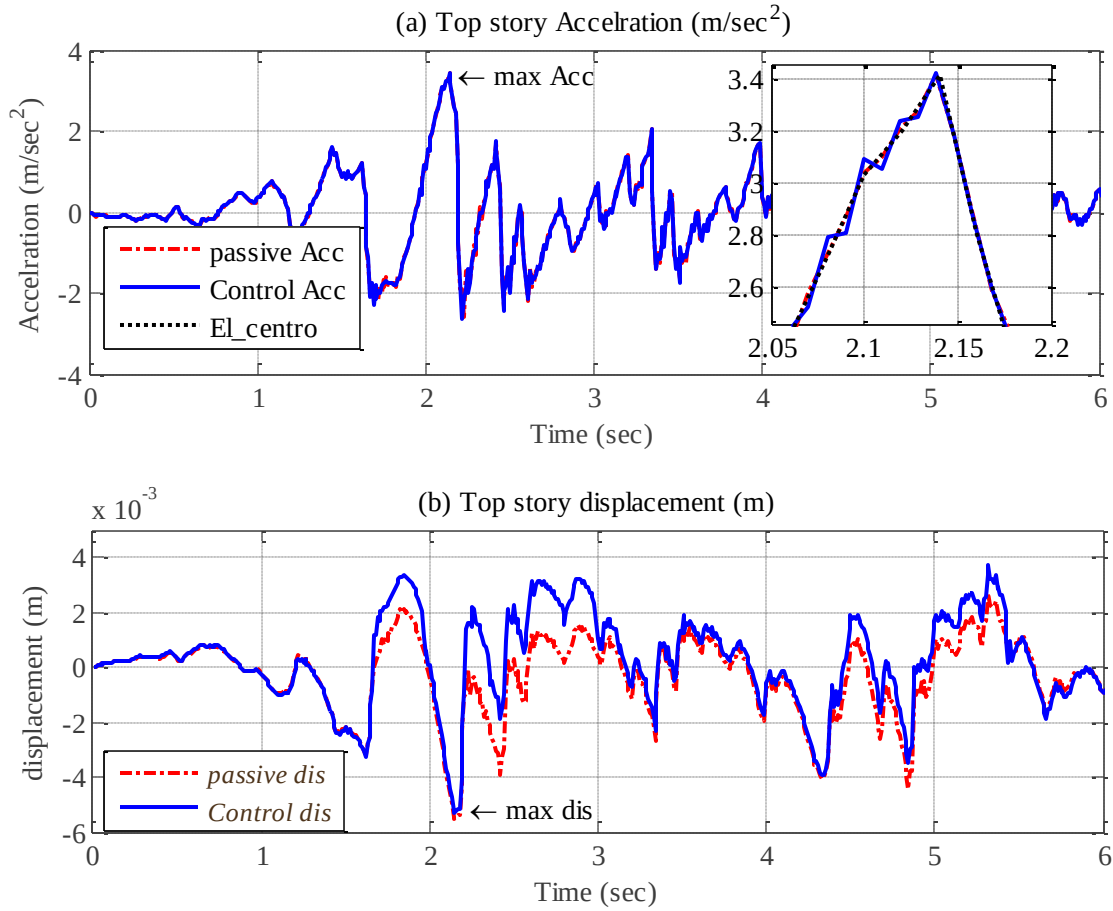


الشكل (5-7): نتائج انتقال الطوابق لمبنى الثلاث طوابق على استراتيجيات التحكم مقارنةً بالتحكم السلبي للمقارنة وزلازل السنترو.

4.2.5 مقارنة نتائج المبنى (3-story) المزود بالمتحكم (H_{∞}) مع مبنى مزود بالتحكم السلبي:

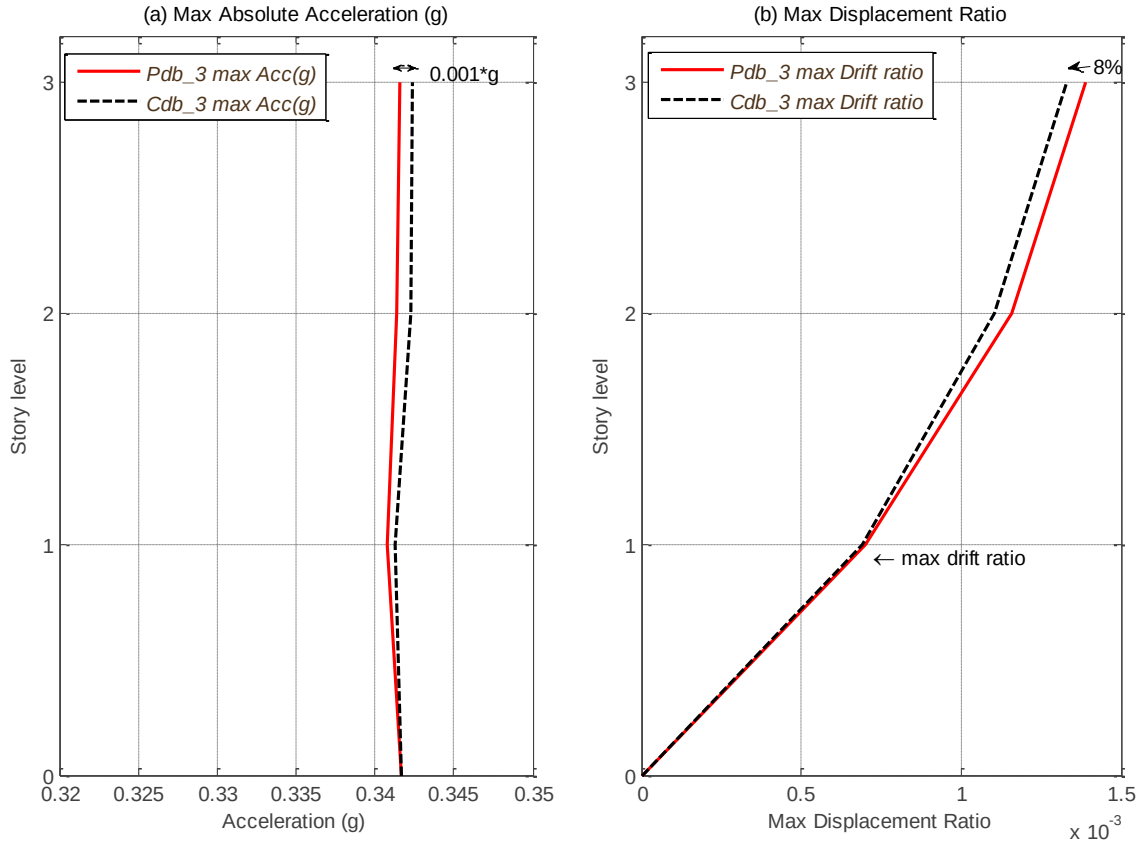
يتم مقارنة نتائج المبنى المزود بمتحكم (H_{∞}) الذي تم معايرته على نتائج زلزال (El_Centro) مع التحكم السلبي بتيار أعظمي (constant current 2.5A)، وذلك على الزلازل الاربعة الرئيسية من اجل تقييم مناعة المتحكم وقدرته على تحسين الاستجابة على مختلف الزلازل.

يوضح الشكل (5-8) مقارنة لنتائج التحليل للمبنى (3-story) وذلك للمبنى المزود بمخمدات وبالتحكم السلبي (Pdb_3)، مع المبنى المزود بالتحكم شبه الإيجابي (Cdb_3)، ولوحظ أن استراتيجية التحكم شبه الإيجابي تخفض الانتقال الاعظمي (حيث تم معايرة المتحكم بهدف تخفيض الانتقال الاعظمي المطلق كمعيار للتحكم) لكنها لا تخفض الانتقال في معظم السجل الزمني، كما نلاحظ في الشكل (5-8-a) تطابق سجل التسارع للطابق الأخير للمبنى (Cdb_3) والمبنى (Pdb_3) مع السجل الزمني للتسارع الأرضي مما يدل ان المبنى مزود بالمخمدات يهتز كجسم صلب وبشكل قسري بالتسارع الأرضي.



الشكل (8-5): مقارنة السجل الزمني لانتقال وتسارع الطابق الأخير لمبنى الثلاث طوابق (Pdb_3) ومبنى (Cdb_3)

يوضح الشكل (9-5) مقارنة لنتائج الانتقال النسبي والاعظمي والتسارع الطائقي الاعظمي للمبنى (Pdb_3) ومبنى (Cdb_3) حيث يخفض التحكم الشبه الإيجابي الانتقال النسبي بنسبة (8%)، وذلك بالرغم من عدم إضافة أي قوى جديدة للمبنى. كما نلاحظ أنه وبالرغم من ان التحكم يزيد التسارع الطائقي الاعظمي فان هذه الزيادة لا تتجاوز $(0.001 * g)$.



الشكل (9-5): مقارنة لنتائج الانتقال النسبي الاعظمي والتسارع الطائفي الاعظمي للمبنى (Pdb_3) ومبنى (Cdb_3) باستخدام السنترو.

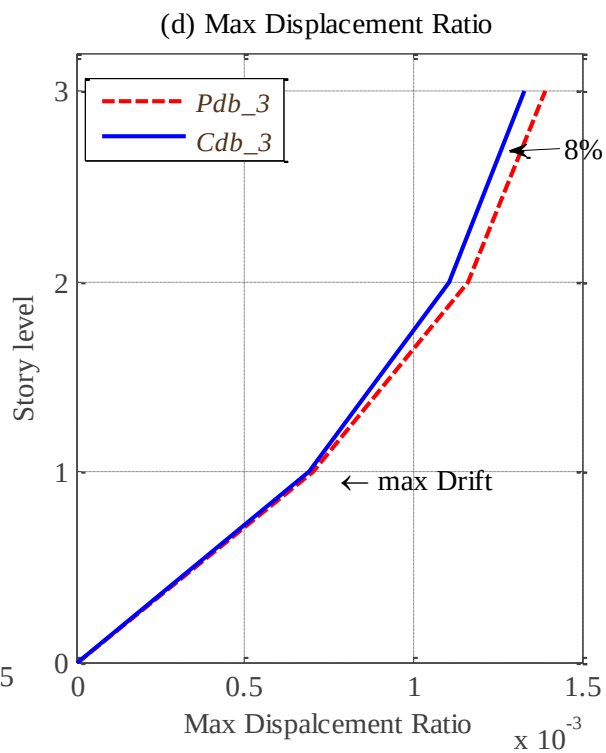
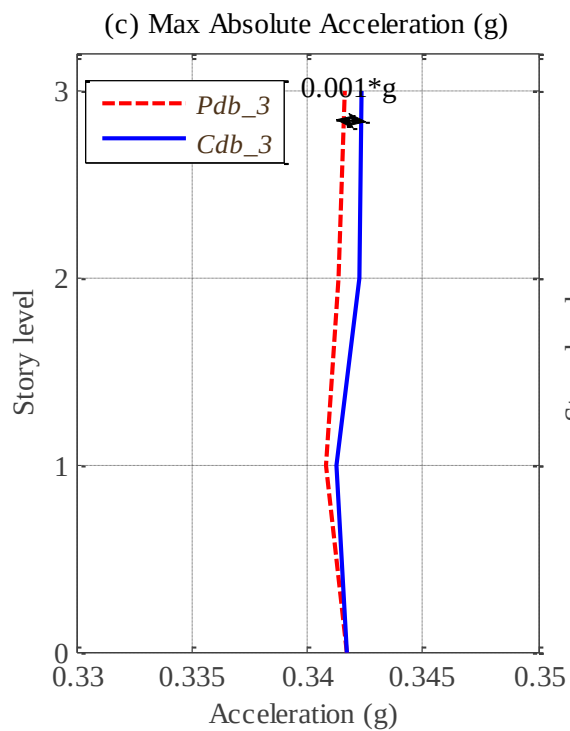
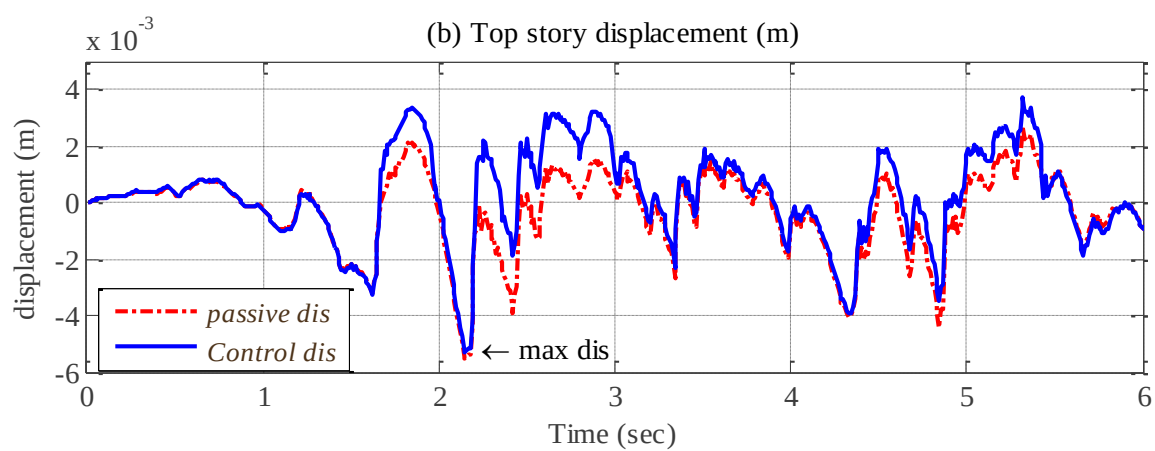
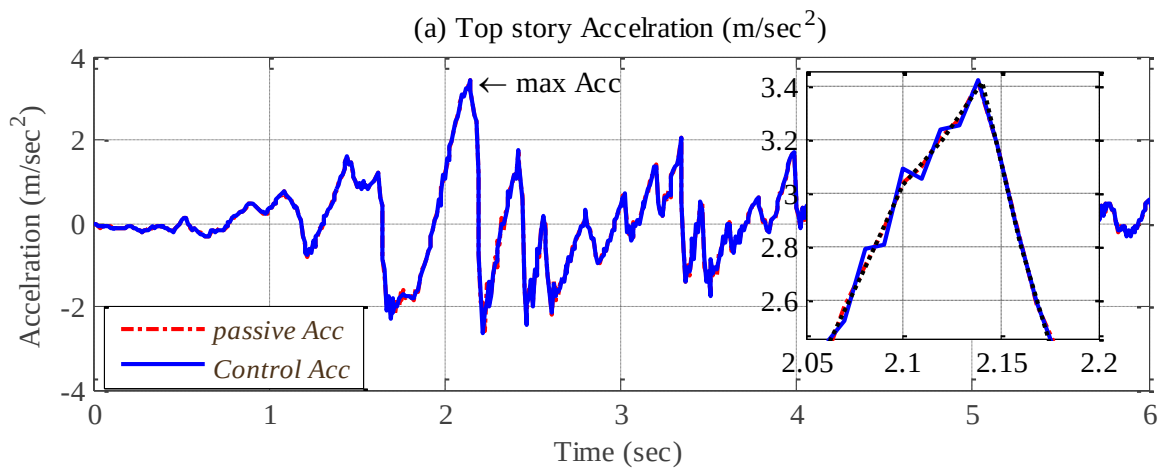
بالرغم من نجاح المتحكم (H_{∞}) على تخفيض نتائج باستخدام السنترو فلا بد من تأكد من مناعة المتحكم على سجلات زلزالية مختلفة من حيث تربة الموقع والتضخيم الزلزالي، القرب أو البعد عن المصدر الزلزالي، شدة الزلزال، وقد تمت تجربته على الزلازل العشرة المذكورة سابقاً واستعراض نتائج الزلازل الرئيسية (السنترو، هاشينوهي، نورث ريج، كوبي) الموضحة في الأشكال التالية مع ملاحظة ما يلي:

1. بقاء المبنى صلباً دون اختلاف كبير في استجابة التسارع للطوابق.

2. بقاء قيم الانتقال والانزياح قريبة من قيم التحكم السلبي.

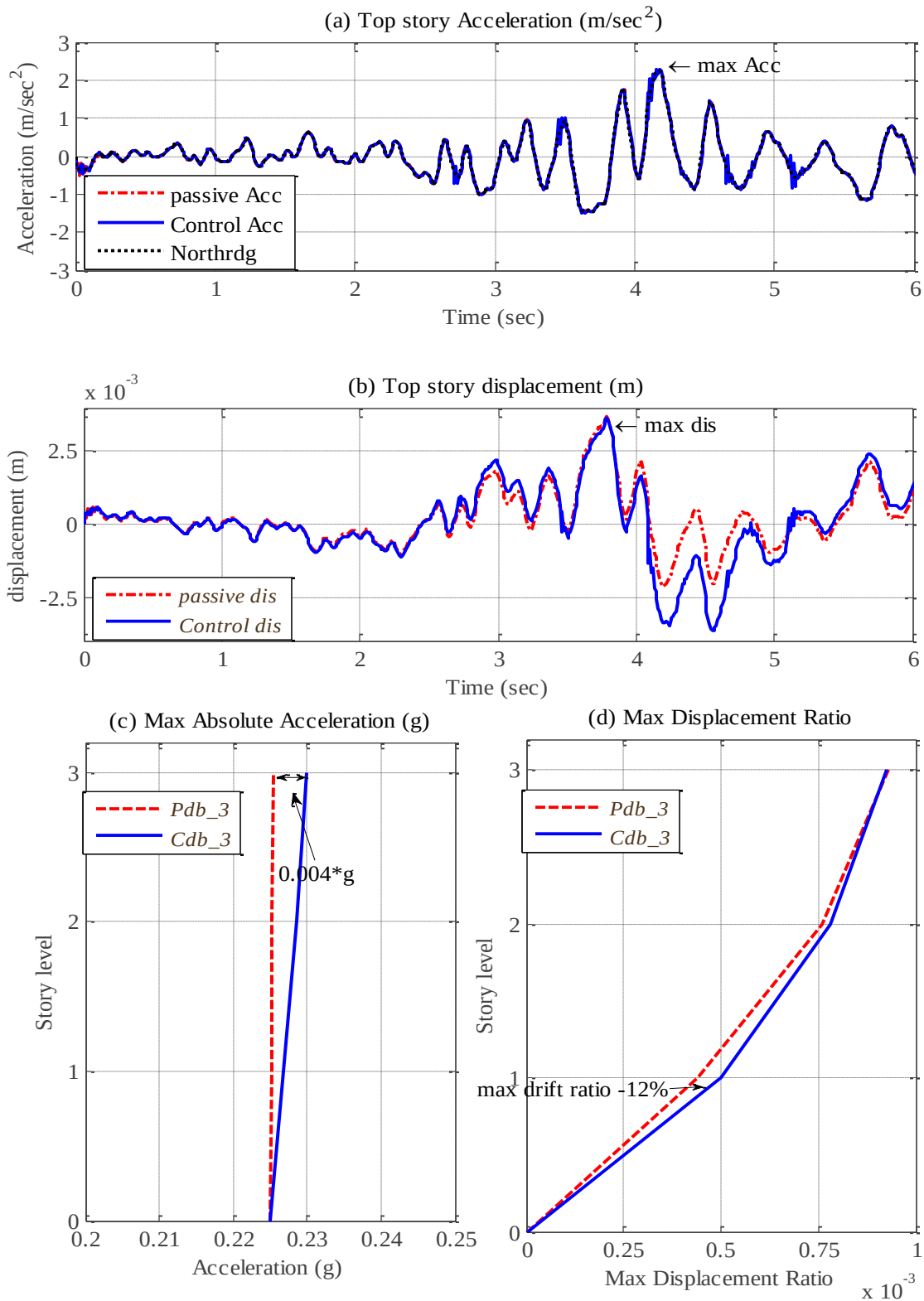
مما يدل على قدرة المتحكم على العمل في ظروف متفاوتة، التغيير في شدة الاثارة الزلزالية، بالرغم أن المتحكم معايير من أجل سجل زلزال السنترو في موقع محدد ولن يواجه البناء هذا التفاوت الشديد في الشدة الزلزالية.

تمت مقارنة نسبة الانتقال الاعظمي والتسارع الطائفي لمبنى ثلاث طوابق مع تحكم سلبي (Pdb_3)، و مبنى ثلاث طوابق مع متحكم (H_{∞}) (Cdb_3) على زلزال السنترو، كما هو مبين في الاشكال (a,b,c,d, 10-5).



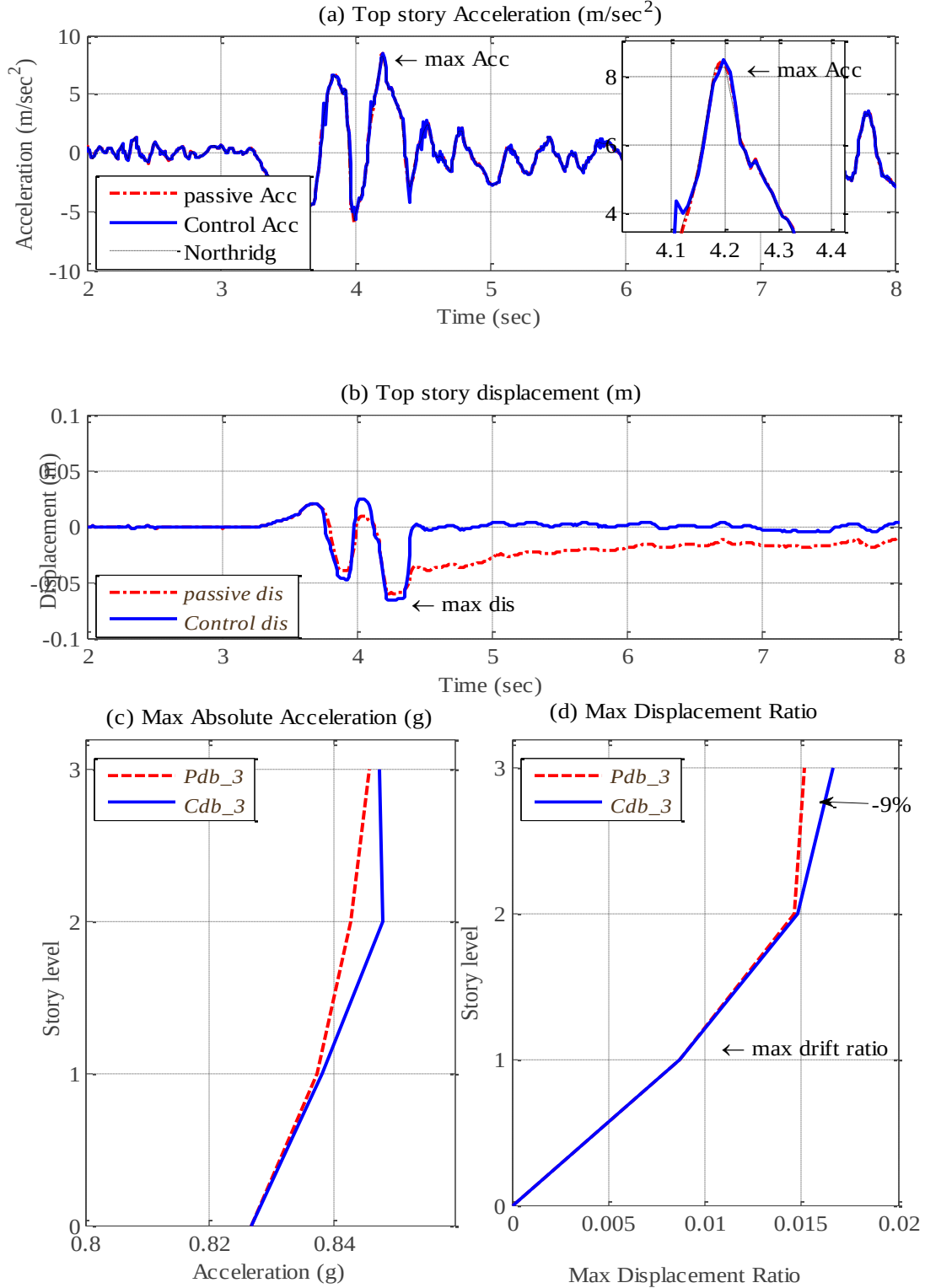
الشكل (10-5): مقارنة نتائج الانتقال والتسارع الطائفي لمبنى (Pdb_3) و (Cdb_3) على زلزال السنترو باستخدام متحكم (H_∞).

وكذلك تمت مقارنة نسبة الانتقال الاعظمي والتسارع الطائفي لمبنى ثلاث طوابق مع تحكم سلبي (Pdb_3)، و مبنى ثلاث طوابق مع متحكم (H ∞) (Cdb_3) على زلزال هاشينوهي، كما في الاشكال (5-11, a,b,c,d).

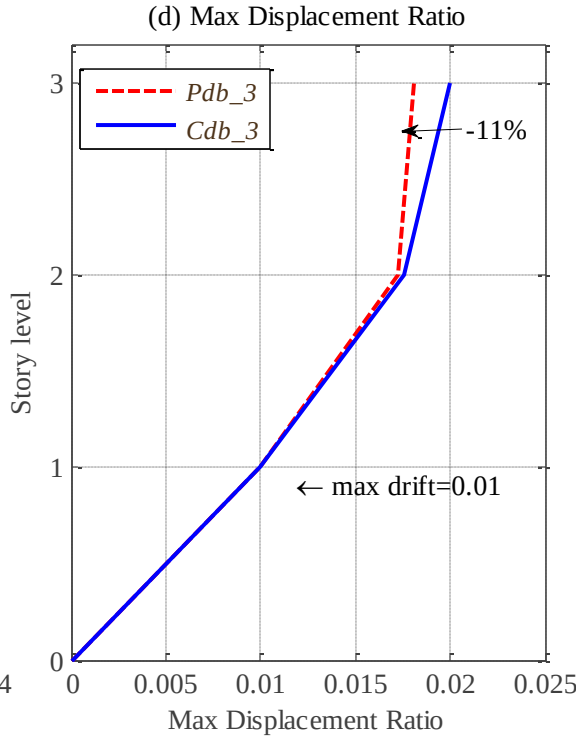
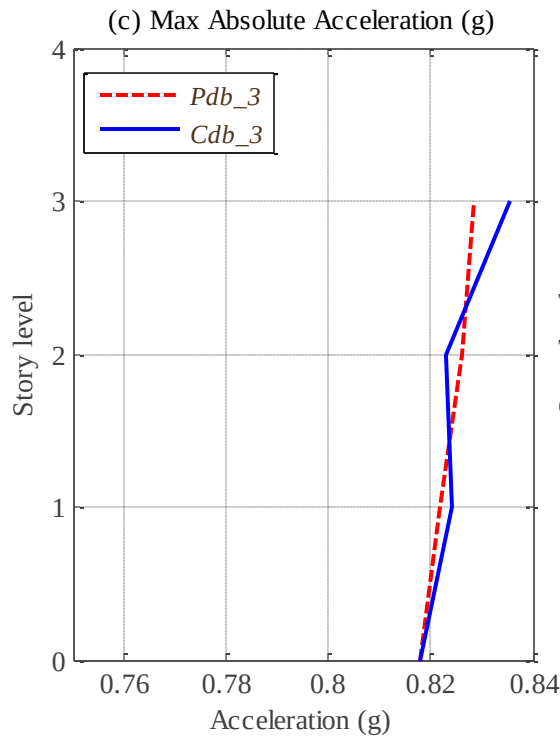
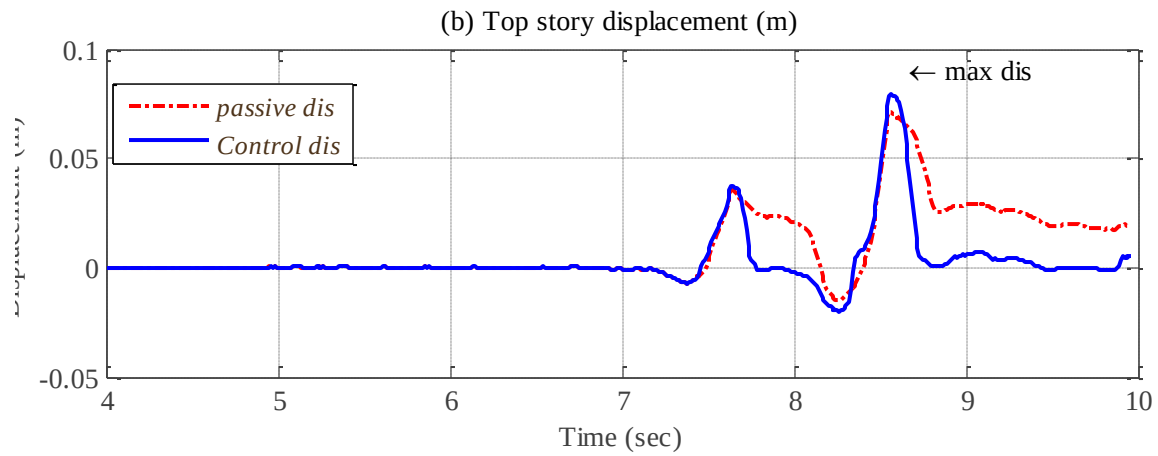
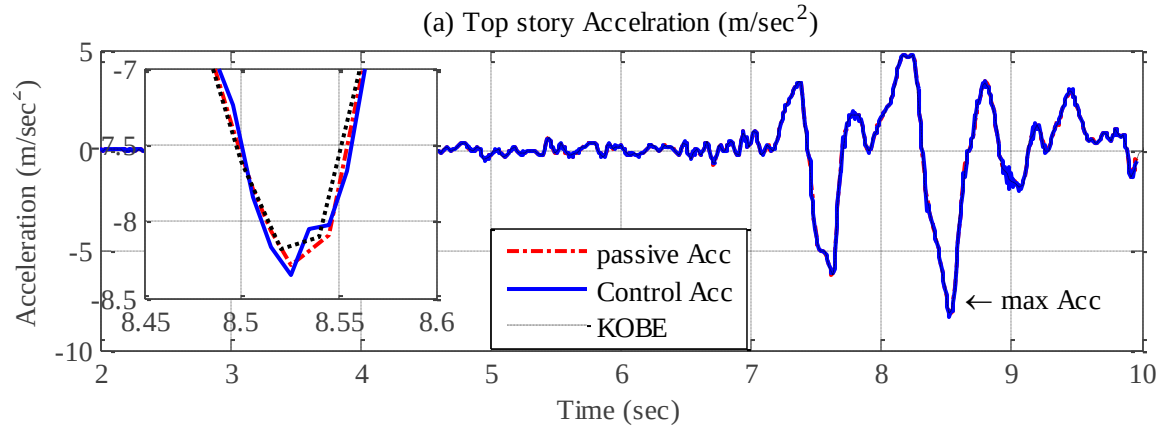


الشكل (5-11): مقارنة نتائج الانتقال والتسارع الطائفي لمبنى (Pdb_3) ومبنى (Cdb_3) على زلزال هاشينوهي باستخدام متحكم (H ∞).

وكذلك تمت مقارنة نسبة الانتقال الاعظمي والتسارع الطائقي لمبنى ثلاث طوابق مع تحكم سلبي (Pdb_3)، و مبنى ثلاث طوابق مع متحكم (H ∞) (Cdb_3) على زلزال نورث ريدج، وزلزال كوبي، كما في الاشكال (a,b,c,d, 13-5) و (a,b,c,d, 12-5) على التوالي.

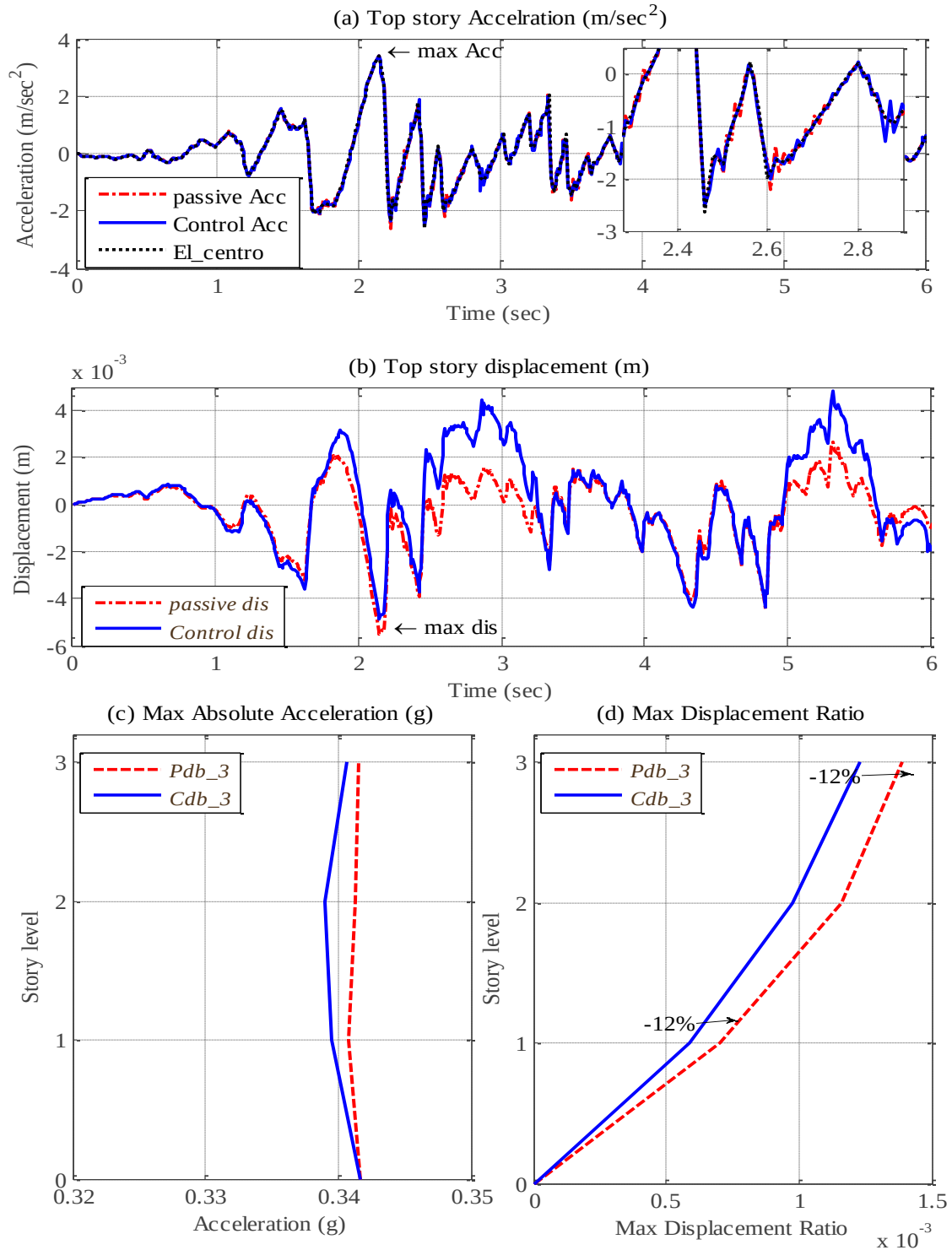


الشكل (12-5): مقارنة نتائج الانتقال والتسارع الطائقي لمبنى (Pdb_3) ومبنى (Cdb_3) على زلزال نورث ريدج باستخدام متحكم (H ∞).

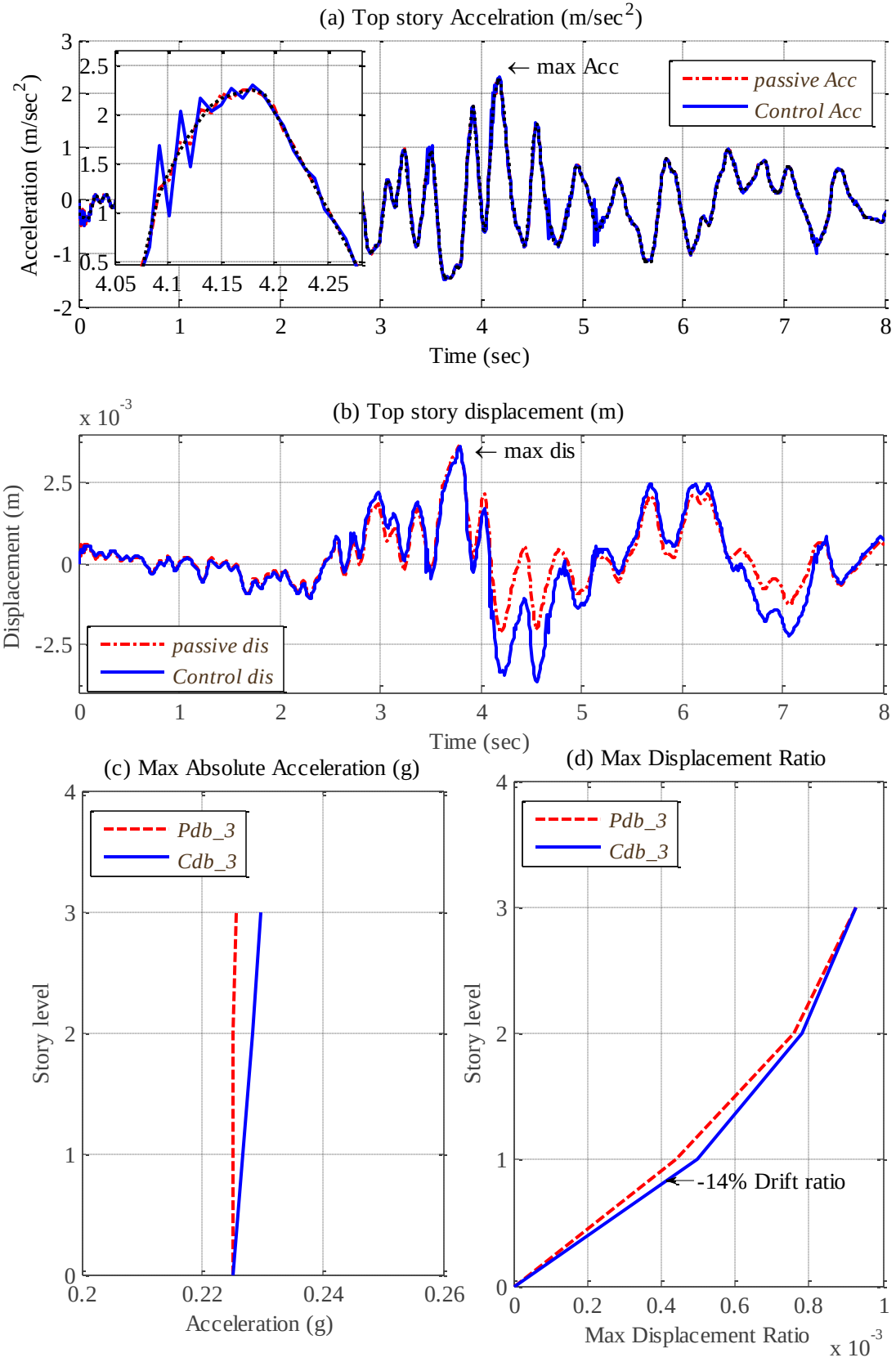


الشكل (5-13): مقارنة نتائج الانتقال والتسارع الطائفي لمبنى (Pdb_3) ومبنى (Cdb_3) على زلزال كوبي باستخدام متحكم (H_{∞}).

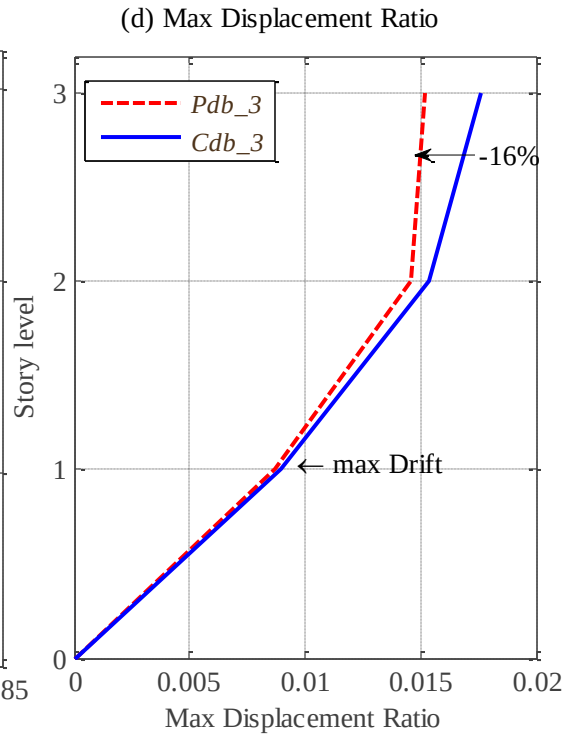
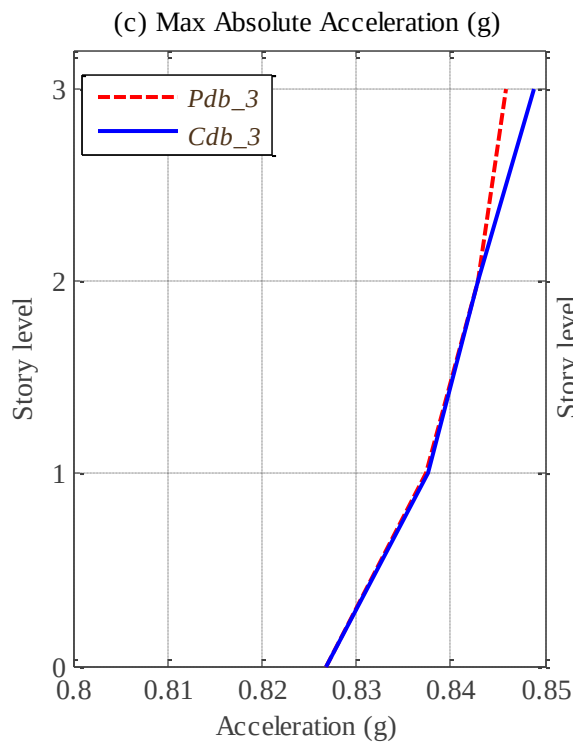
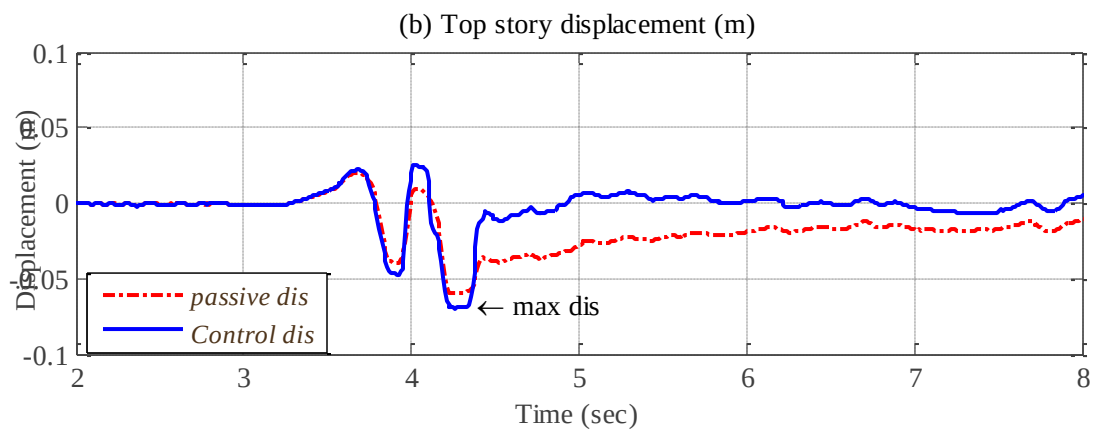
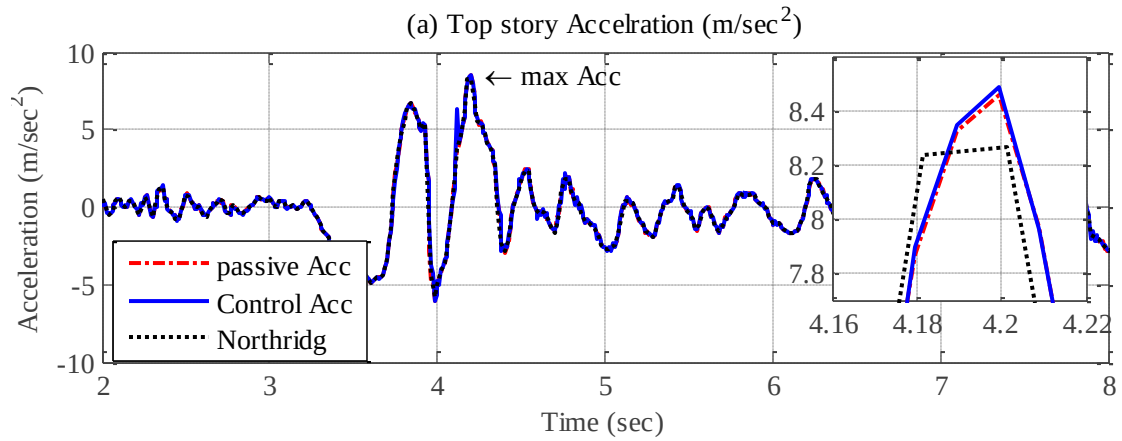
نبين نتائج متحكم (H2) الشبيه بمتحكم (H_{∞}) لكن يختلف عنه في طريقة حساب معيار الأداء حيث نلاحظ قدرة المتحكم (H2) على تخفيض استجابة الانتقال ومناعته على شدات وسجلات زلزالية مختلفة، كما في الاشكال الشكل (14-5)، والشكل (15-5)، والشكل (16-5)، والشكل (17-5) على التوالي.



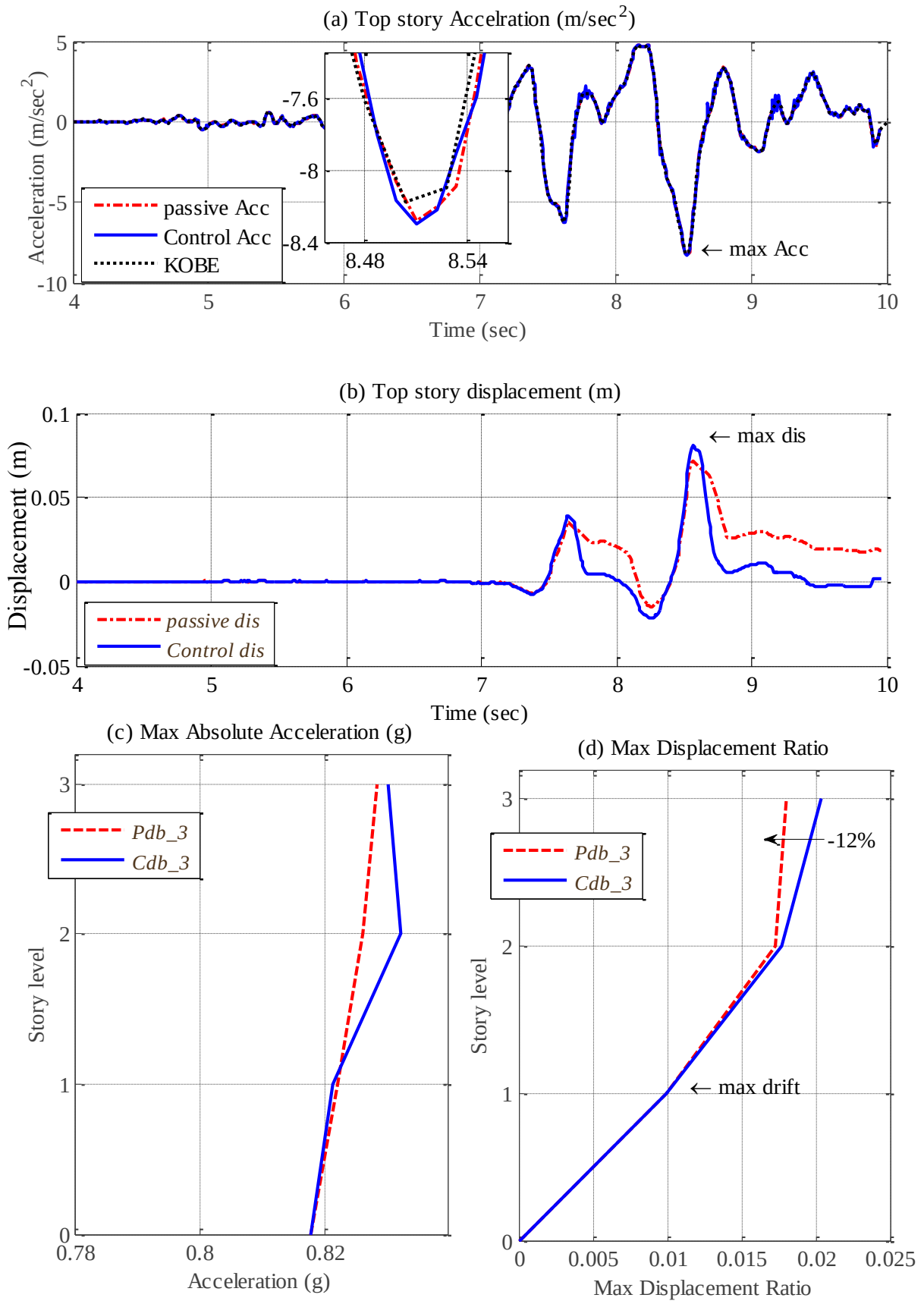
الشكل (14-5): مقارنة نتائج الانتقال والتسارع الطائفي لمبنى (Pdb_3) ومبنى (Cdb_3) على زلزال السنترو باستخدام متحكم (H2).



الشكل (15-5): مقارنة نتائج الانتقال والتسارع الطائفي لمبنى (Pdb_3) ومبنى (Cdb_3) على زلزال هاشينوهي باستخدام متحكم (H_2).



الشكل (16-5): مقارنة نتائج الانتقال والتسارع الطائفي لمبنى (Pdb_3) ومبنى (Cdb_3) على زلزال نورث ريدج باستخدام متحكم (H_2) .



الشكل (17-5): مقارنة نتائج الانتقال والتسارع الطائفي لمبنى (Pdb_3) ومبنى (Cdb_3) على زلزال كوبي باستخدام متحكم (H_2).

يبين الجدول (2-5) نتائج انتقال الطوابق لمبنى الثلاث طوابق على استراتيجيات التحكم: بدون تحكم

(UCb_3)، مع تحكم سلبي (Pdb_3) مع تحكم شبه إيجابي (Cdb_3) بواسطة (H_{∞}) وبواسطة (H_2)

المختلفة وباستخدام السجلات الزلزالية العشرة:

الجدول (2-5): نتائج انتقال الطوابق لمبنى الثلاث طوابق على استراتيجيات تحكم وزلازل مختلفة.

Story Displacement (mm)	D_S1	D_S2	D_S3	Story Displacement (mm)	D_S1	D_S2	D_S3
UCb_3_0.5 ElCentro	28	62	86	Cdb_3_0.5 ElCentro	1	2	3
UCb_3_1.0 ElCentro	41	93	140	Cdb_3_1.0 ElCentro	3	4	5
UCb_3_1.5 ElCentro	53	123	170	Cdb_3_1.5 ElCentro	12	17	18
UCb_3_0.5 Hachinohe	16	37	59	Cdb_3_0.5 Hachinohe	1	1	2
UCb_3_1.0 Hachinohe	33	80	124	Cdb_3_1.0 Hachinohe	2	3	4
UCb_3_1.5 Hachinohe	44	110	188	Cdb_3_1.5 Hachinohe	3	5	6
UCb_3_0.5 Northridg	51	105	154	Cdb_3_0.5 Northridg	6	8	9
UCb_3_1.0 Northridg	68	174	271	Cdb_3_1.0 Northridg	35	59	66
UCb_3_0.5 Kobe	46	121	187	Cdb_3_0.5 Kobe	6	9	10
UCb_3_1.0 Kobe	59	149	263	Cdb_3_1.0 Kobe	40	70	79
Pdb_3_0.5 ElCentro	1	2	3	Cdb_H2_3_0.5 ElCentro	1	2	2
Pdb_3_1.0 ElCentro	3	5	6	Cdb_H2_3_1.0 ElCentro	2	4	5
Pdb_3_1.5 ElCentro	12	16	17	Cdb_H2_3_1.5 ElCentro	12	17	19
Pdb_3_0.5 Hachinohe	1	1	2	Cdb_H2_3_0.5 Hachinohe	1	2	2
Pdb_3_1.0 Hachinohe	2	3	4	Cdb_H2_3_1.0 Hachinohe	2	3	4
Pdb_3_1.5 Hachinohe	3	5	6	Cdb_H2_3_1.5 Hachinohe	4	6	7
Pdb_3_0.5 Northridg	5	7	8	Cdb_H2_3_0.5 Northridg	6	10	13
Pdb_3_1.0 Northridg	34	58	60	Cdb_H2_3_1.0 Northridg	35	61	70
Pdb_3_0.5 Kobe	6	8	9	Cdb_H2_3_0.5 Kobe	6	8	10
Pdb_3_1.0 Kobe	39	69	72	Cdb_H2_3_1.0 Kobe	40	70	81

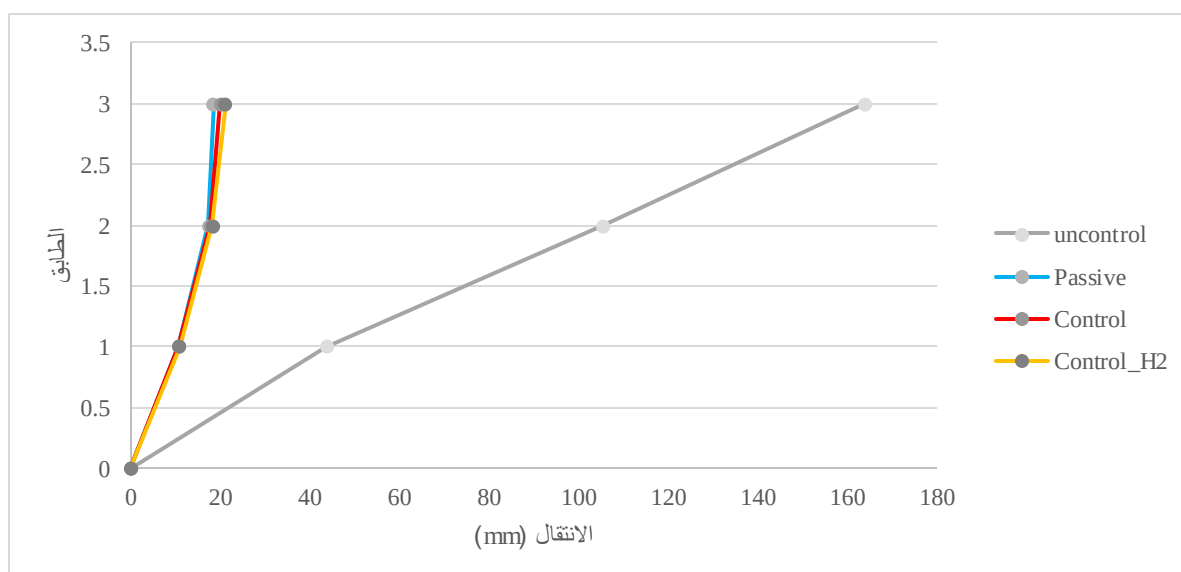
يوضح الشكل (5-18) متوسط نتائج الانتقال الطائفي للزلازل العشرة باستخدام استراتيجيات التحكم حيث نلاحظ

أنه بالرغم أن التحكم السلبي كان أفضل من التحكم شبه الإيجابي على أغلب الزلازل المدروسة وبفروق تصل لا

(10%)، لكن يجب التذكير أن المتحكم ليس مصمم ليتكيف مع هذا النوع من التفاوت في الشدات الزلزالية وإنما

مصمم ومعايير ليعمل مع زلازل السننرو وسجلات ذات طبيعة مشابهة من حيث الشدة والتردد، لذا يوصي البحث

بدراسة أثر استخدام التحكم المتكيف مع تغيير الشدات الزلزالية.



الشكل (18-5): متوسط نتائج الانتقالات للزلازل العشرة باستخدام استراتيجيات التحكم المختلفة.

الجدول (3-5): متوسط نتائج الانتقالات للزلازل العشرة باستخدام استراتيجيات التحكم المختلفة.

Control strategy displacment (mm)	D_S1	D_S2	D_S3
Uncontrol	44	106	164
Passive	11	17	18
Control_ H^∞	11	18	20
Control_H2	11	18	21

يوضح الجدول (4-5) متوسط نتائج معايير الأداء وهي على الترتيب: الانزياح الطائقي الأعظم، الانحراف المعياري للانزياح الطائقي (Drift_rms)، الانزياح الطائقي اللدن المتبقي (Drift_end)، في نهاية التحليل، التسارع الاعظمي كنسبة من (g) اي (PGA)، والانحراف المعياري للتسارع الطائقي (Acc_rms)، عدد المفاصل اللدنة، الطاقة المبذوبة في هذه المفاصل.

الجدول (4-5): متوسط نتائج معايير الأداء للزلازل العشرة باستخدام استراتيجيات التحكم المختلفة.

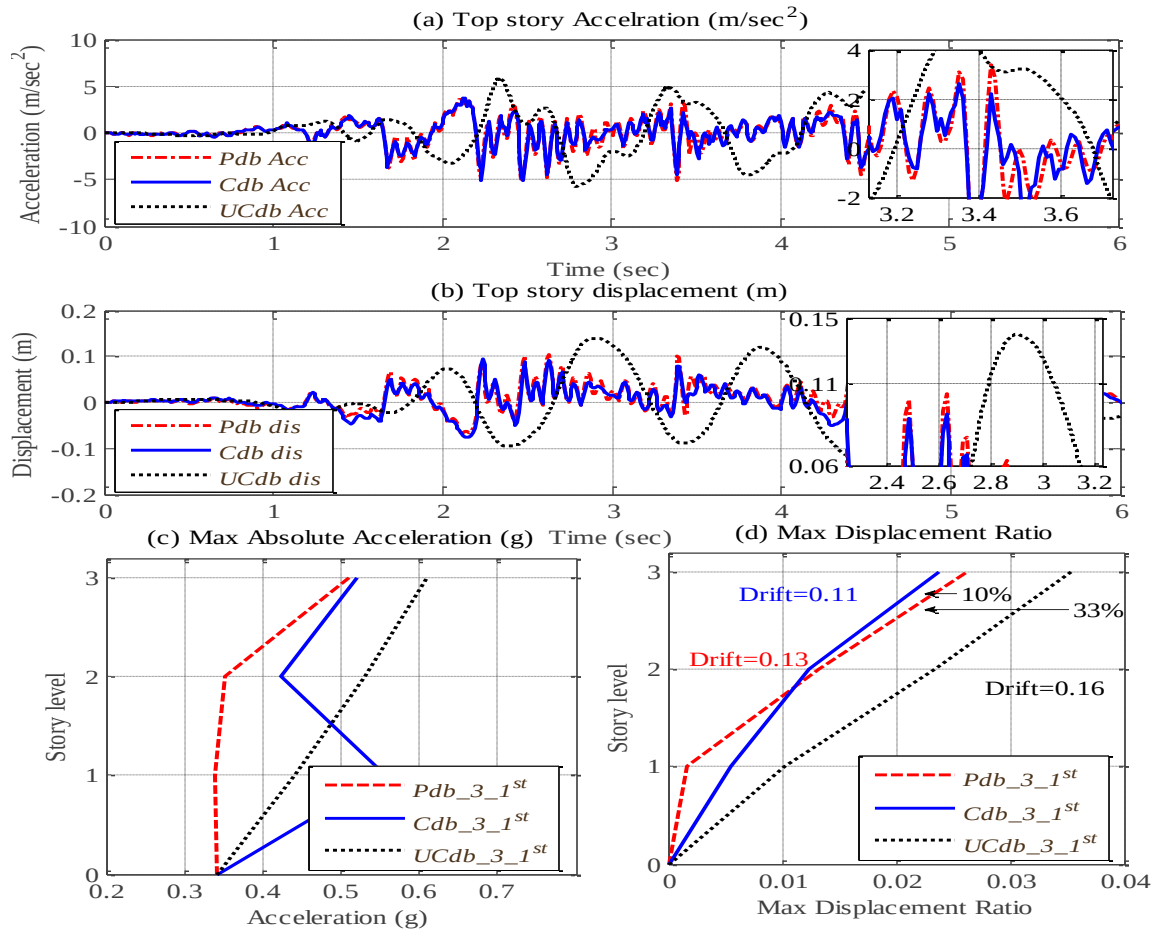
Strategy	Drift peak	Drift_rms *10 ⁻³	Drift_end	PGA	Acc rms (m.sec ²)	Number of palstic hinge	Disspate Enrgy at plastic hinge KN.m
Uncontrol	0.019	2.244	0.004	0.683	0.082	14	13.33
Passive	0.003	0.244	0.000	0.428	0.044	1	0.02
H^∞	0.003	0.438	0.000	0.431	0.093	1	0.03
H2	0.003	0.203	0.000	0.432	0.043	1	0.03

يمكن للمصمم استخدام أي من المعايير السابقة كهدف لتصميم المتحكم، وكما يجب الإشارة انه ليس من المتوقع أن يعطي المتحكم نتائجاً أفضل، ذلك لان التحكم لا يضيف أي قوى جديدة على البناء وإنما يفرض قيوداً إضافية على مخمدات المبنى ويجب استخدامه بتوزيع مختلف للمخمدات على المبنى كما توضح الفقرات القادمة.

3-5. نتائج بناء 3 طوابق مع توزيع مختلف للمخمدات:

1.3.5. المخمد في الطابق الأول:

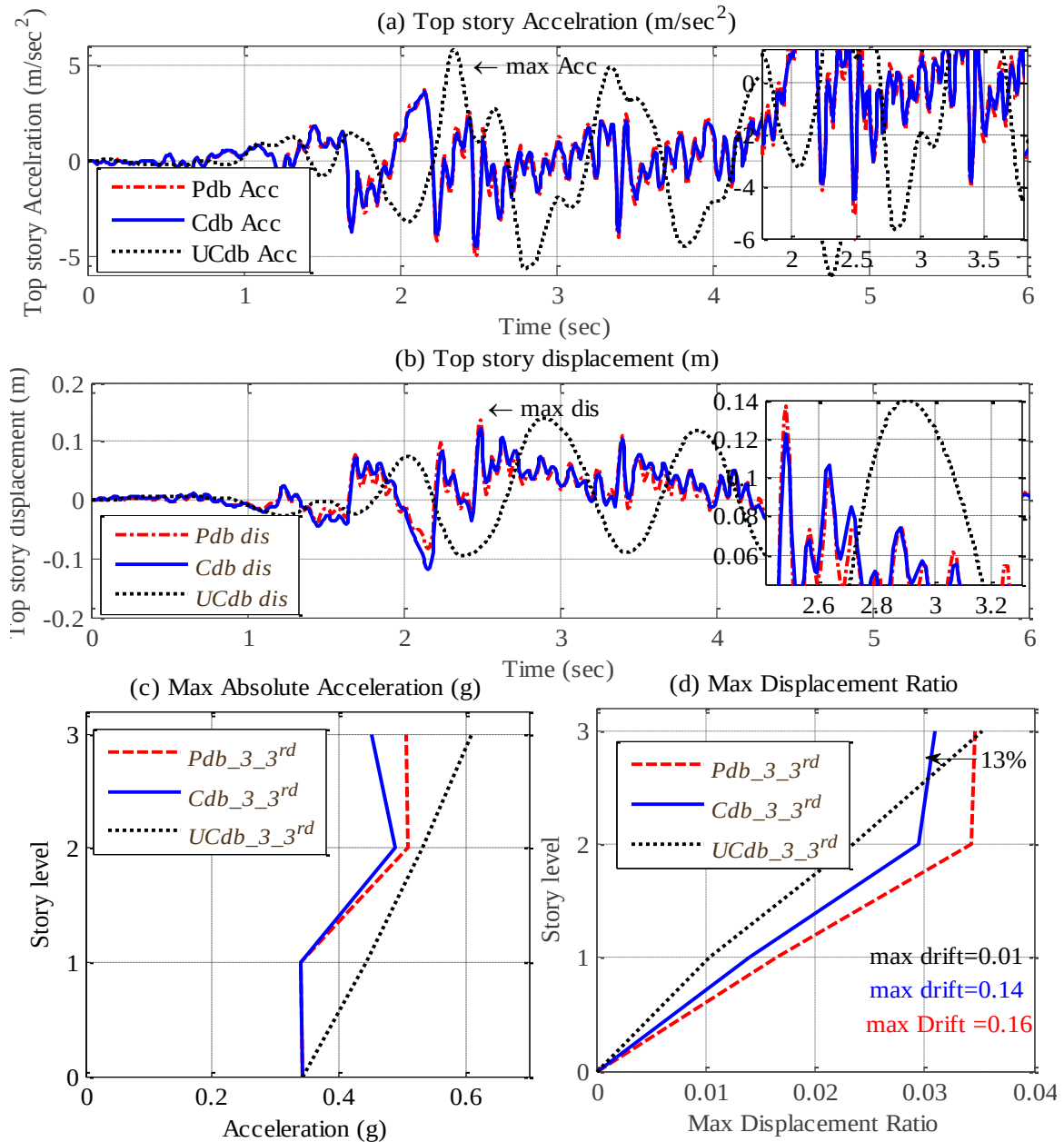
تم استخدام المخمدات في الطابق الأول فقط ومقارنتها مع المبنى بدون تحكم والمبنى مزود بالتحكم السلبي حيث نلاحظ أثر استخدام التحكم شبه الإيجابي الملحوظ في تحسين استجابة الانتقال والانزياح النسبي للطوابق على طول السجل الزمني، الشكل (5-19)، حيث قام المتحكم بتوزيع الانزياح النسبي بشكل أفضل على طوابق المبنى بعد أن كانت المخمدات تقوم بتثبيت حركة الطابق الأول ناقلة الاهتزاز الأرضي للطوابق العليا.



الشكل (5-19): نتائج الانتقال والتسارع لمبنى الثلاث طوابق والمخمدات في الطابق الأول على استراتيجيات التحكم وزلازل السنترو.

2.3.5. المخمد في الطابق الأخير:

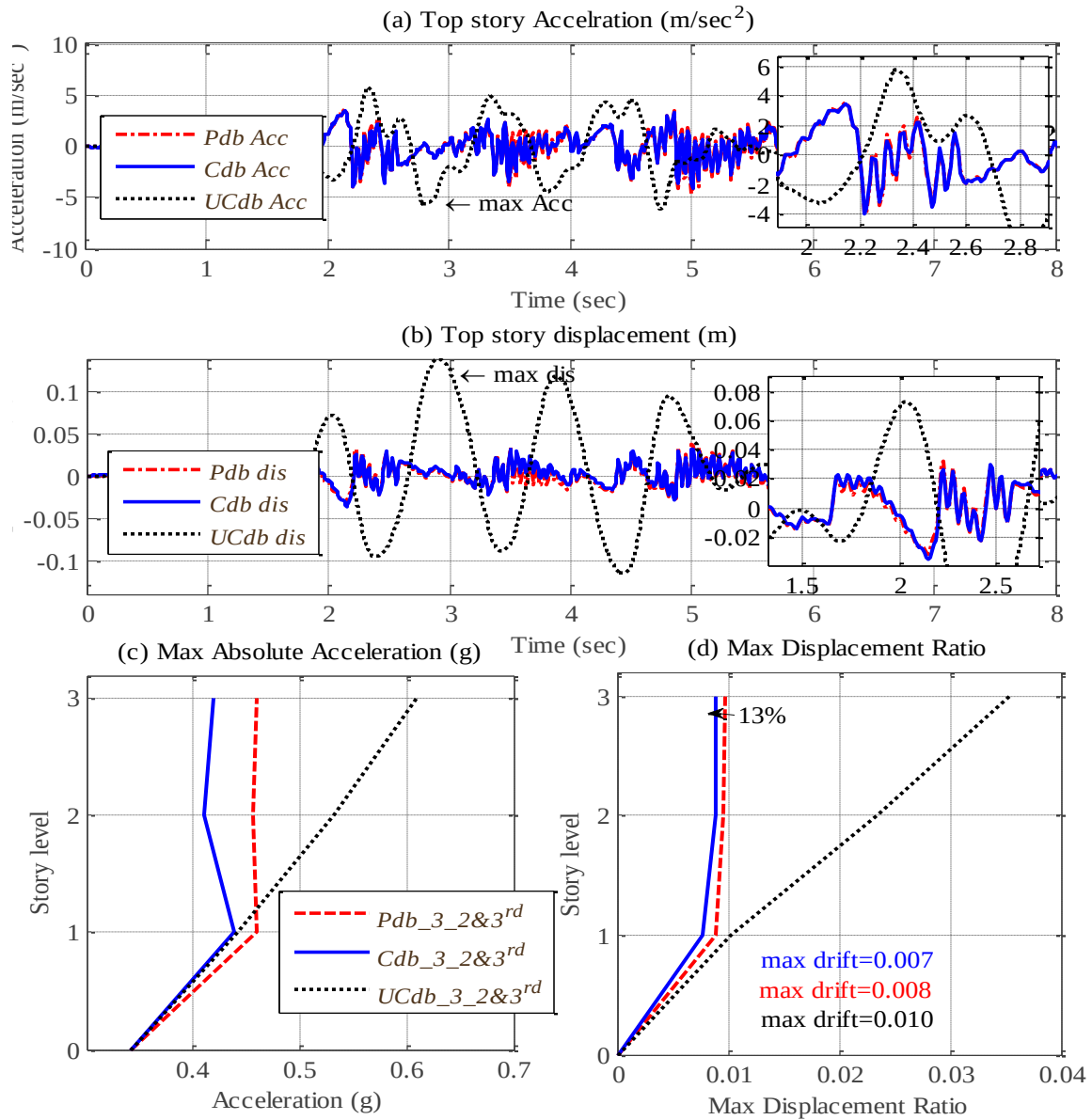
تم استخدام المخمدات في الطابق الأخير فقط ومقارنتها مع المبنى بدون تحكم والمبنى مزود بالتحكم السلبي حيث نلاحظ أثر استخدام التحكم شبه الإيجابي الملحوظ في تحسين استجابة الانتقال والانزياح النسبي للطوابق على طول السجل الزمني، الشكل (5-20)، حيث قام المتحكم بتوزيع الانزياح النسبي بشكل أفضل على طوابق المبنى بعد أن كانت المخمدات تقوم بتثبيت حركة الطابق الأخير مانعة أي تخميد للطاقة ومضخمة للأثر الزلزالي على الطوابق الدنيا.



الشكل (5-20): نتائج الانتقال والتسارع لمبنى الثلاث طوابق والمخمدات في الطابق الأخير على استراتيجيات التحكم وزلازل السنترو.

3.3.5. المخدم في الطابقين الثاني والثالث:

تم استخدام المخدمات في الطابق الثاني والثالث ومقارنتها مع المبنى بدون تحكم والمبنى مزود بالتحكم السلبي حيث نلاحظ أثر استخدام التحكم شبه الإيجابي الملحوظ في تحسين استجابة الانتقال والانزياح النسبي للطوابق على طول السجل الزمني وفي قيمه العظمى (13%)، الشكل (5-21)، حيث قام المخدم بتوزيع الانزياح النسبي بشكل أفضل على طوابق المبنى بعد أن كانت المخدمات تقوم بتثبيت حركة الطوابق العليا دون تحسن يذكر في الانزياح النسبي للطابق الأول.



الشكل (5-21): نتائج الانتقال والتسارع لمبنى الثلاث طوابق والمخدمات في الطابقين الثاني والثالث على استراتيجيات التحكم وزلازل السنترو.

يوضح الجدول (5-5) نتائج انتقال الطوابق لمبنى ثلاث طوابق باستخدام عدة توزيعات للمخمدات في الطوابق وفق استراتيجيات التحكم المختلفة (المبنى بدون مخمدات، المبنى مزود بمخمدات وتحكم سلبي، المبنى مزود بمخمدات وتحكم (H_{∞}) المطور).

الجدول (5-5): نتائج انتقال طوابق مبنى الثلاث طوابق باستخدام توزيع مخمدات مختلف.

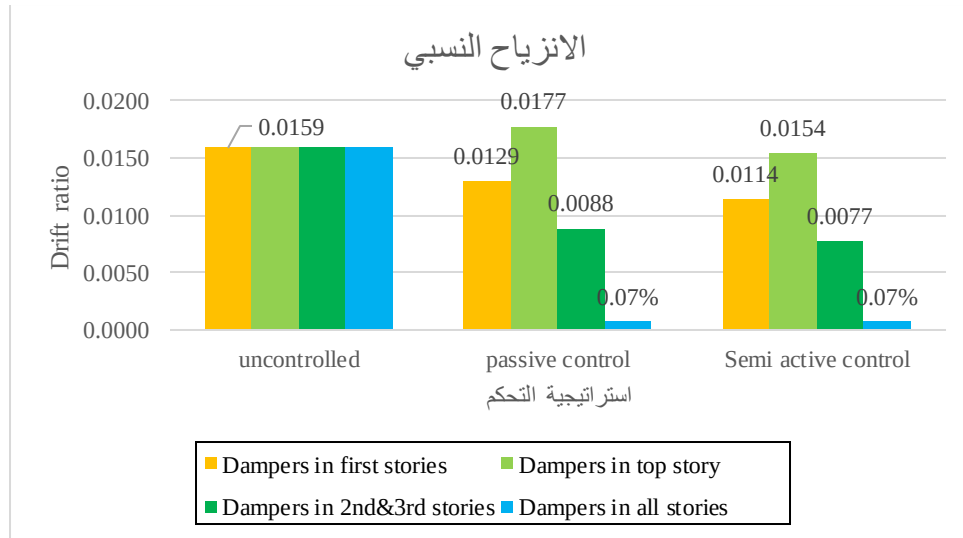
Strategy Story Displacements (mm)	D_S1	D_S2	D_S3
Uncontrolled Building	70.90	190.46	308.09
1st story passive damper	6.79	52.57	103.76
3rd story passive damper	65.28	135.52	136.88
2nd&3rd story passive damper	35.00	37.77	38.44
1st story controlled damper	21.84	48.91	93.92
3rd story controlled damper	55.89	116.91	122.60
2nd&3rd story controlled damper	30.46	34.99	35.55

يوضح الجدول (6-5) معايير الاداء للمبنى وهي على الترتيب الانزياح الاعظمي، الانحراف المعياري للانزياح الاعظمي، قيمة التسارع الاعظمي، الانحراف المعياري للتسارع الطائفي، عدد المفاصل اللدنة، وكمية الطاقة التي تبددها تلك المفاصل.

الجدول (6-5): نتائج معايير الأداء باستخدام استراتيجيات التحكم المختلفة لمبنى الثلاث طوابق باستخدام توزيع مخمدات مختلف.

Strategy	Drift peak	Drift rms 10^{-3}	PGA (g)	Acc rms m/sec^2	Number of plastic hinge	Dissipated Energy at plastic hinge KN.m
Uncontrolled Building	0.03	8.4	0.50	0.14	18.00	19.7
1st story passive damper	0.01	3	0.52	0.13	12.00	1.0
3rd story passive damper	0.02	3.5	0.52	0.13	6.00	10.5
2nd&3rd story passive damper	0.01	2.1	0.47	0.11	0.00	0.0
1st story controlled damper	0.01	2.7	0.57	0.12	12.00	0.6
3rd story controlled damper	0.02	3.4	0.50	0.12	6.00	7.2
2nd&3rd story controlled damper	0.01	2	0.45	0.11	0.00	0.0

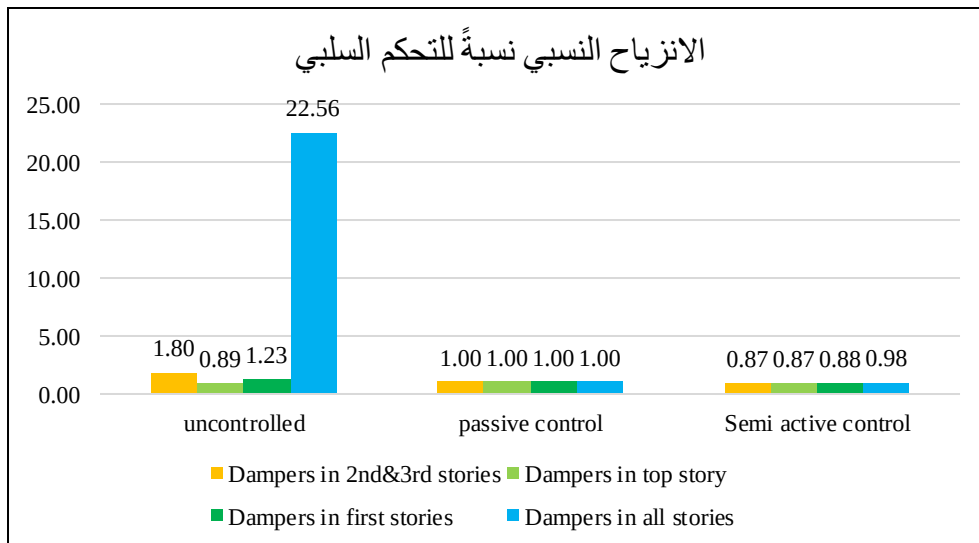
يوضح الشكل (5-22) قيم الانزياح النسبي لمبنى الثلاث طوابق بتوزيعات مختلفة للمخمدات في الطوابق (في الطابق الاول، في الطابق الأخير، في الطابقين الثاني والثالث، وفي كل الطوابق) على استراتيجيات التحكم (بدون تحكم، تحكم سلبي، تحكم شبه إيجابي)، وباستخدام سجل زلزال السنترو.



الشكل (22-5): قيم الانزياح النسبي لمبنى الثلاث طوابق بتوزيعات مختلفة للمخمدات.

يوضح الشكل (23-5) القيم السابقة بعد قسمتها على قيمة الانزياح النسبي الاعظمي للتحكم السلبي

حيث نلاحظ أن المتحكم نجح في تخفيض الانزياح النسبي (13%) للتوزيعات المختلفة للمخمدات، فقط (8%) لتوزيع المخمدات في كل الطوابق.



الشكل (23-5): قيم الانزياح النسبي لمبنى الثلاث طوابق بتوزيعات مختلفة للمخمدات نسبةً للتحكم السلبي.

إن النتائج السابقة تطرح أسئلة حول استخدام المخمدات والتحكم في العزل الزلزالي (المخمد في الطابق

الاول)، أو في مخمد الكتلة شبه الإيجابي (المخمد في الطابق الاخير)، وحتى في تحسين استجابة المباني

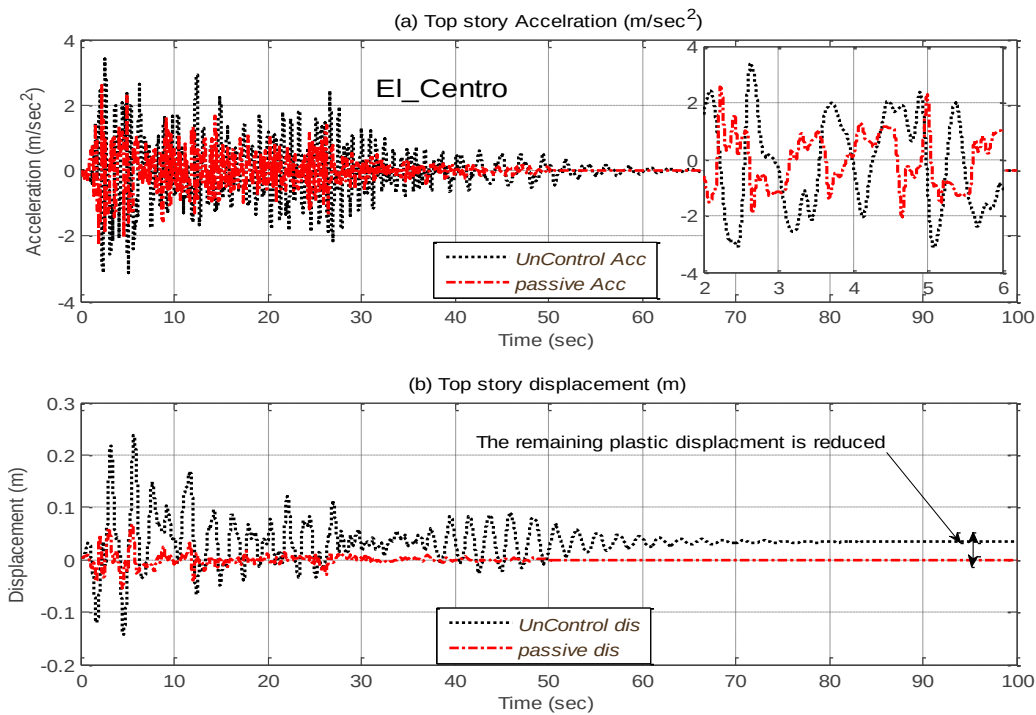
المعزولة زلزالياً بإضافتها فوق طابق العزل (المخمدات في الطابق الثاني والثالث). وهذا ما يوصي البحث في

دراسته لاحقاً.

4.5. نتائج بناء 9 طوابق:

1.4.5. مقارنة نتائج المبنى (9-story) بدون مخمدات مع مبنى مزود بالتحكم السلبي:

يوضح الشكل (24-5) مقارنة لنتائج التحليل للمبنى (9-story) وذلك للمبنى بدون تخميد إضافي (UCdb_9)، والمبنى المزود بمخمدات وبالتحكم السلبي (Pdb_9) حيث نلاحظ أن استراتيجية التحكم السلبي تزيد قساوة المبنى وتضيف تخميذاً هاماً للمنشأ، مما يخفف كلاً من انتقالات وتسارعات المبنى، كما نلاحظ انخفاض الانتقال اللدن المتبقي في المبنى بعد انتهاء السجل الزلزالي بوقت كافٍ لانهاء الاهتزاز الحر.

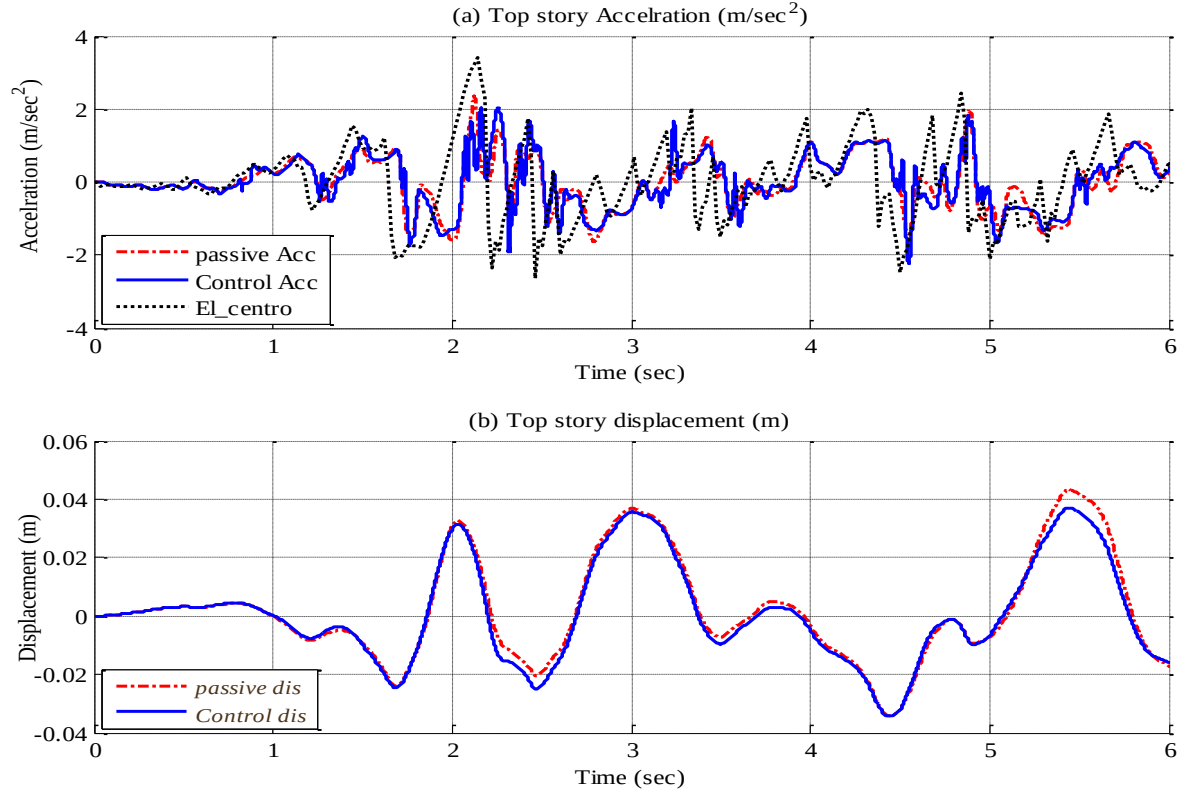


الشكل (24-5): مقارنة انتقال وتسارع الطابق الاخير لمبنى 9 طوابق المزود بالمخمدات مع المبنى بدون مخمدات.

نلاحظ من الشكل (24-5) أن مقارنة انتقالات المبنى المزود بالمخمدات مع المبنى بدون مخمدات تتعلق بعدد المخمدات، ويجب مقارنة الانتقالات بين التحكم السلبي التقليدي والتحكم شبه الإيجابي بنفس عدد المخمدات.

2.4.5. مقارنة نتائج المبنى (9-story) المزود بالتحكم السلبي مع المبنى بالتحكم شبه الايجابي:

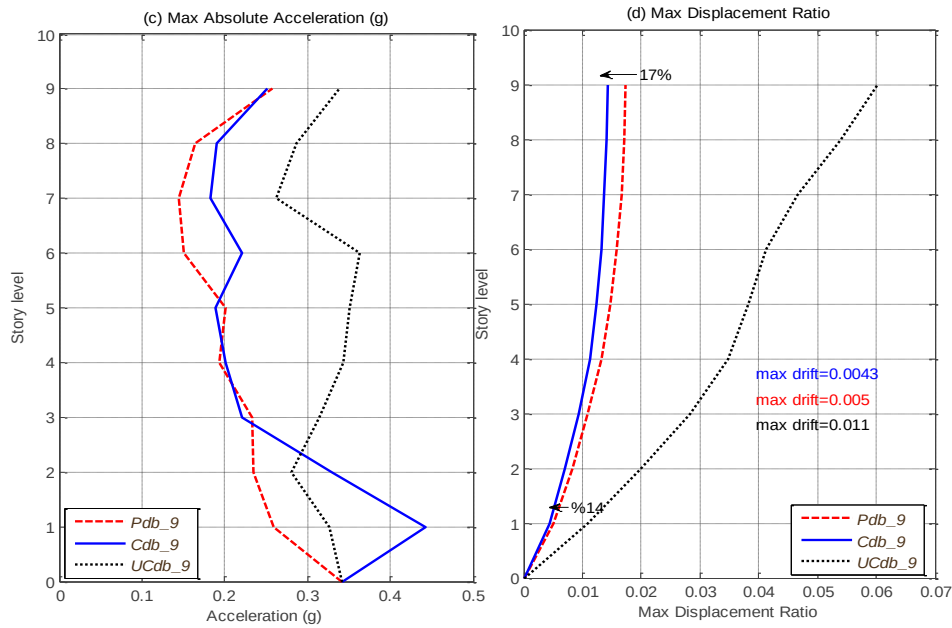
نلاحظ أن التحكم شبه الإيجابي بدأ يعطي نتائج ملموسة في تخفيض انتقالات وتسارعات المبنى 9 طوابق مقارنة بمبنى الثلاث طوابق حيث نلاحظ استمرارا التخفيض على معظم السجل الزمني تصل قيمته العظمى الى (17%) في الطابق الأخير و(14%) في الطابق الأول، الشكل (25-5):



الشكل (25-5): مقارنة انتقال وتسارع الطابق الاخير لمبنى 9 طوابق المزود بالتحكم السلبي والتحكم شبه الايجابي.

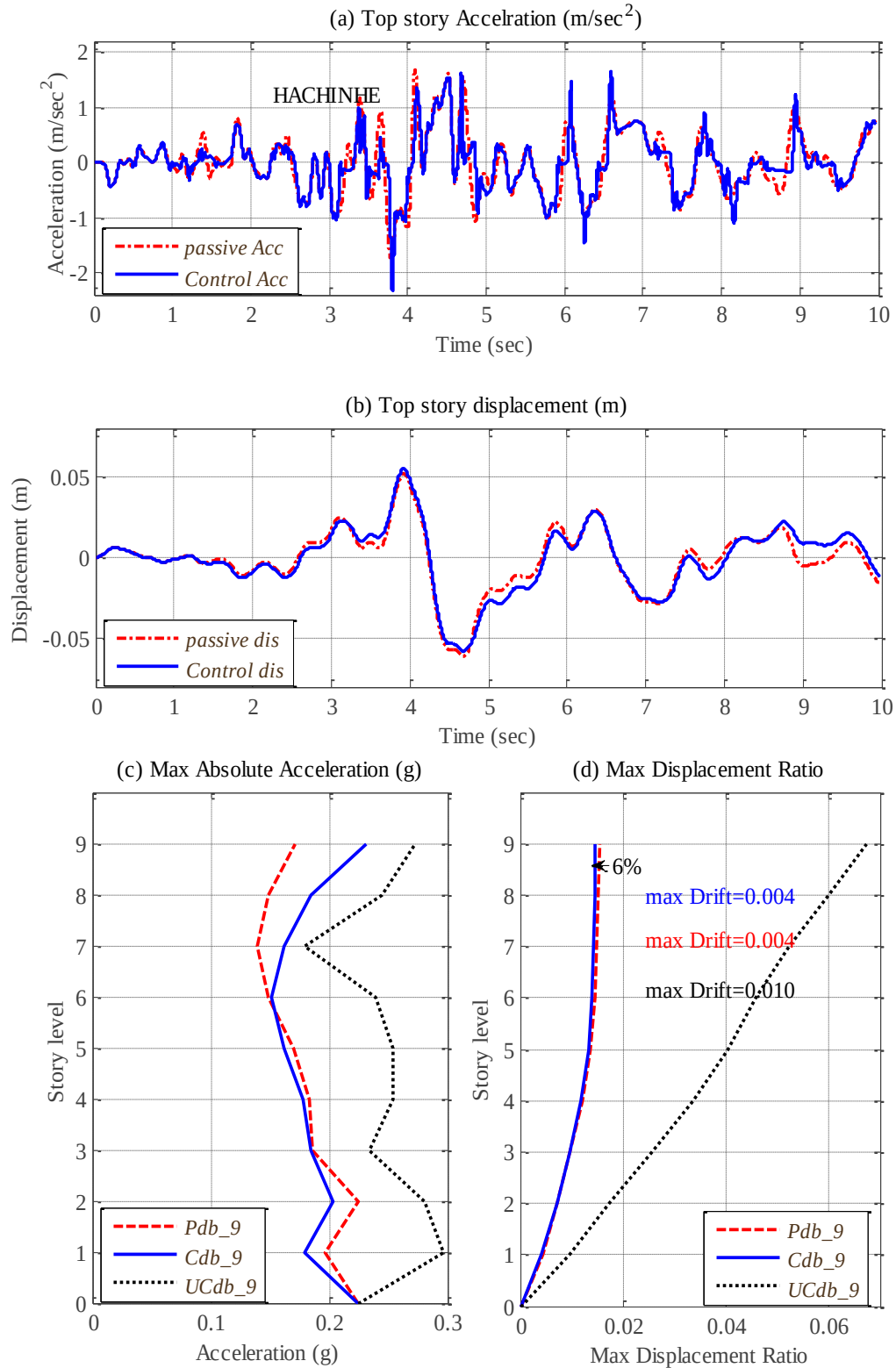
يوضح الشكل (26-5) مقارنة الانتقال النسبي الأعظمي للطوابق التسعة وتسارعات الطوابق الأعظمية

حيث نلاحظ تخفيض الانزياح النسبي الاعظمي للبناء في الطابق الأول بنسبة (14%).

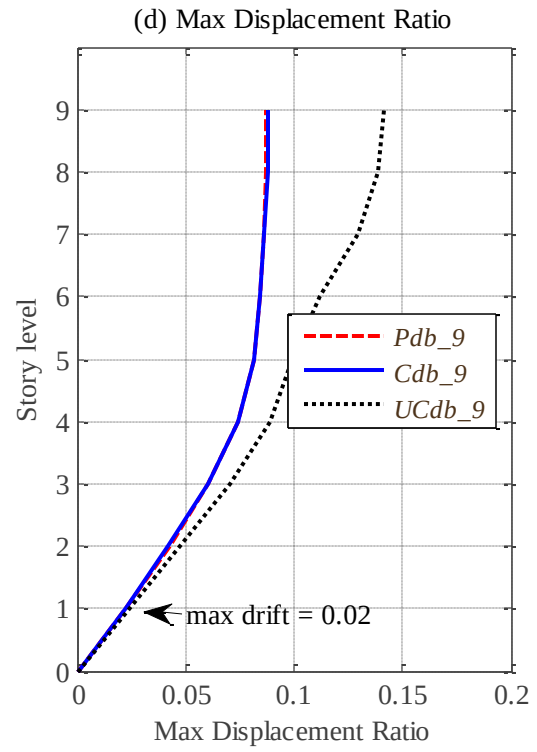
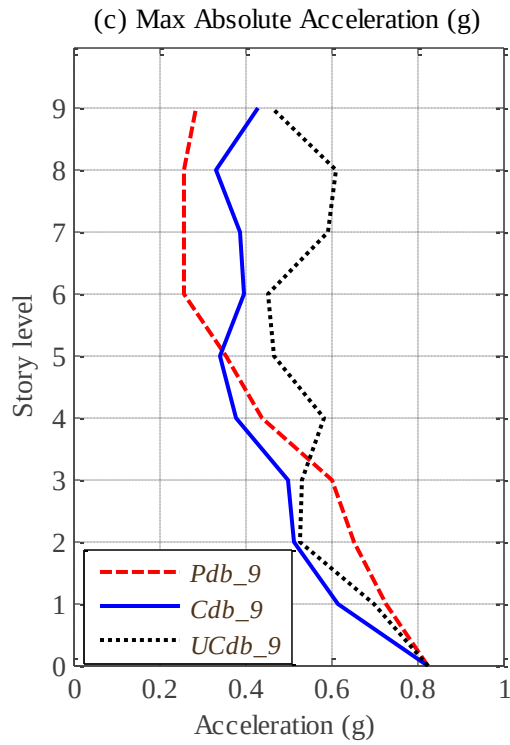
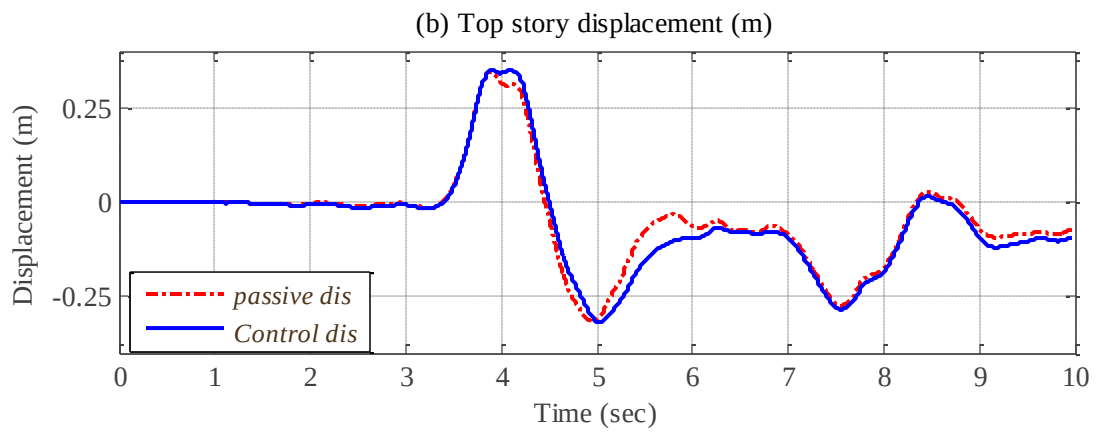
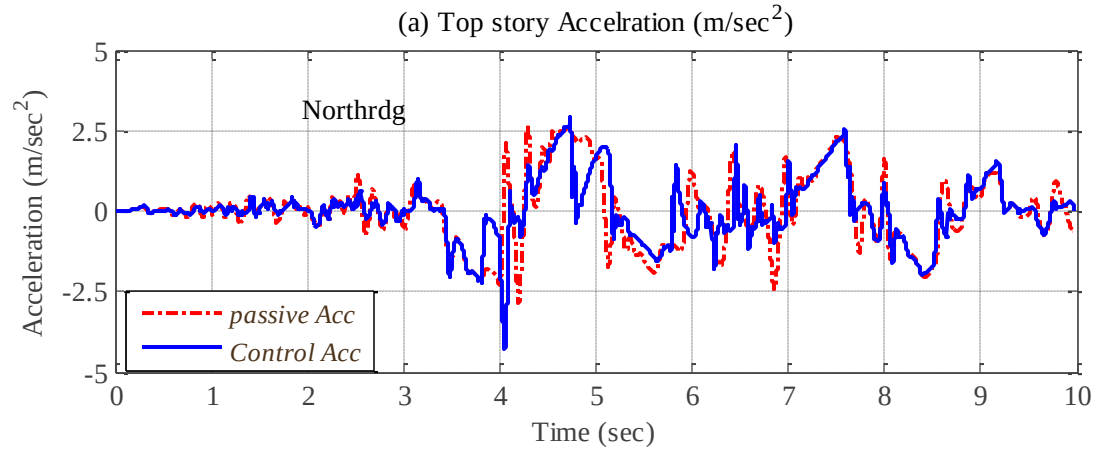


الشكل (26-5): مقارنة الانتقال النسبي والتسارع الأعظمي الطوابق لمبنى 9 طوابق المزود بالتحكم السلبي والتحكم شبه الايجابي.

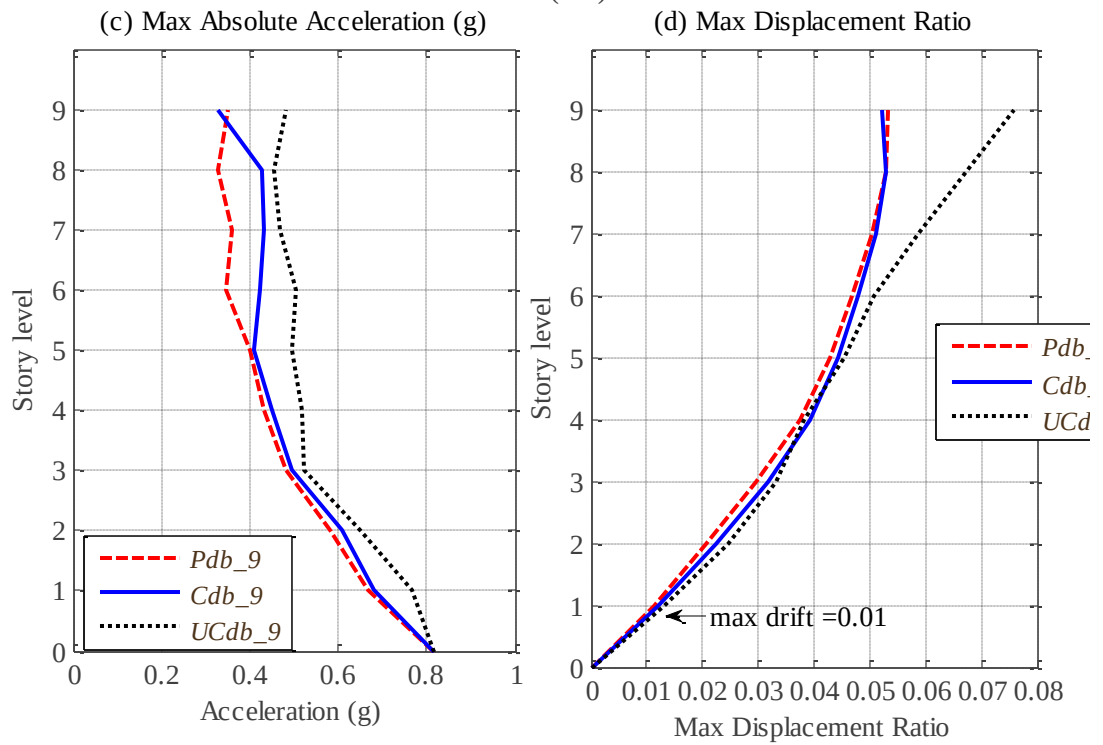
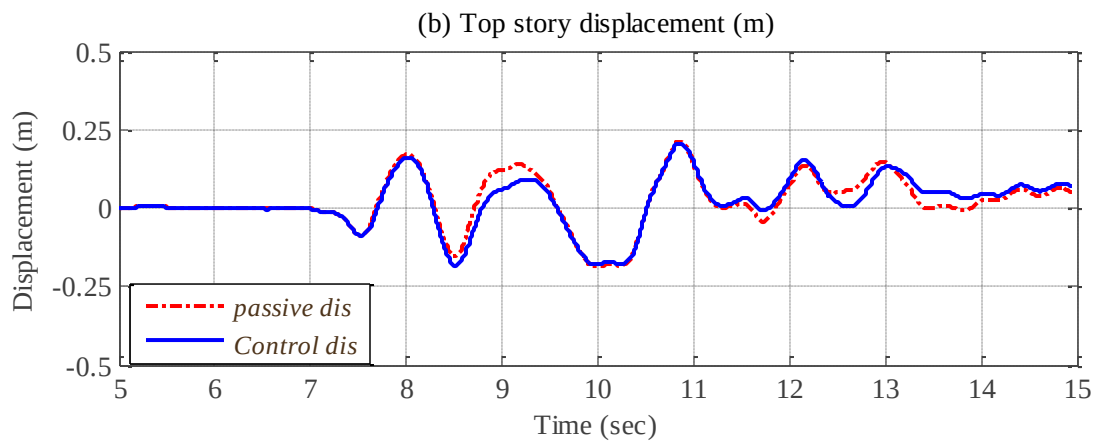
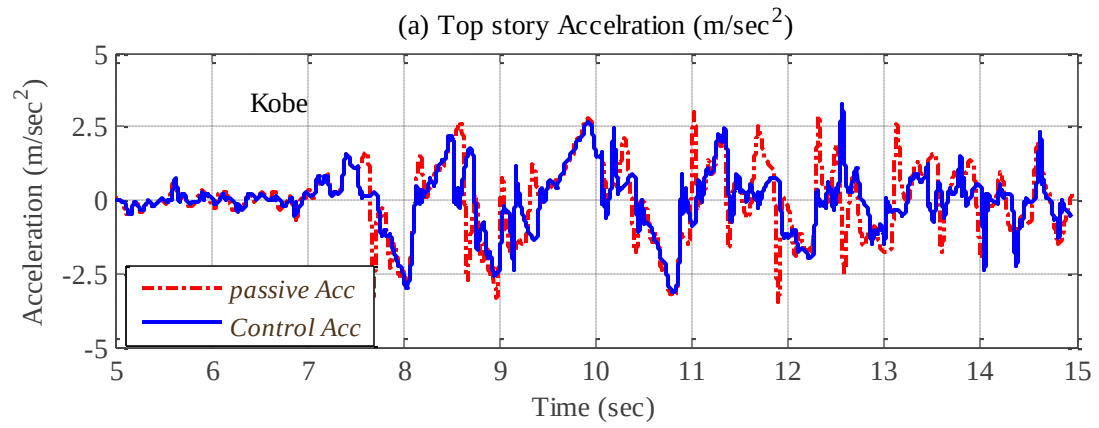
توضح الاشكال: الشكل (27-5) والشكل (28-5) والشكل (29-5) نتائج متحكم (H_{∞}) حيث نلاحظ قدرة المتحكم على تخفيض استجابة الانتقال ومناعته (قدرته على الأداء الجيد) على شذات وسجلات زلزالية مختلفة.



الشكل (27-5): مقارنة الانتقال والانتقال النسبي والتسارع الأعظمي لطوابق المبنى 9 طوابق على استراتيجيات التحكم باستخدام هاشينوي.



الشكل (28-5): مقارنة الانتقال والنسبي والتسارع الأعظمي لطوابق المبنى 9 طوابق على استراتيجيات التحكم باستخدام نورث ريج.



الشكل (5-29): مقارنة الانتقال والنسبي والتسارع الأعظمي لطوابق المبنى 9 طوابق على استراتيجيات التحكم باستخدام كوبي.

يوضح الجدول (7-5) نتائج انتقالات طوابق مبنى 9 طوابق باستخدام استراتيجيات تحكم مختلفة وزلازل التحليل

العشرة حيث تم معايرة المتحكم من أجل زلزال السنترو وتجربته على الزلازل المتبقية لدراسة مناعته.

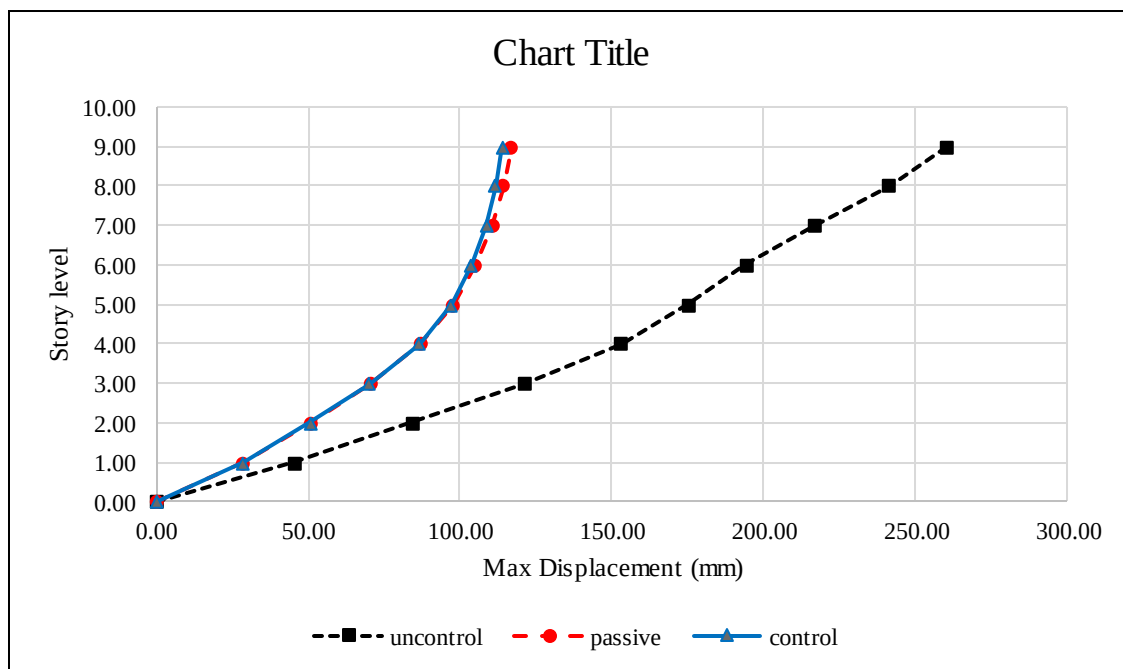
الجدول (7-5): نتائج انتقالات طوابق مبنى 9 طوابق باستخدام استراتيجيات تحكم مختلفة

Story Displacment (mm)	D_S1	D_S2	D_S3	D_S4	D_S5	D_S6	D_S7	D_S8	D_S9
UCb_9_0.5 ElCentro	32	57	79	100	113	123	133	154	175
UCb_9_1.0 ElCentro	43	79	112	138	151	163	185	214	238
UCb_9_1.5 ElCentro	51	87	112	138	158	172	183	203	231
UCb_9_0.5 Hachinohe	29	48	65	82	95	105	127	148	163
UCb_9_1.0 Hachinohe	39	69	101	134	160	182	207	238	267
UCb_9_1.5 Hachinohe	46	89	131	168	195	231	267	318	359
UCb_9_0.5 Northridg	47	86	121	153	172	185	205	235	250
UCb_9_1.0 Northridg	95	188	278	351	394	445	511	550	561
UCb_9_0.5 Kobe	26	49	73	93	107	114	115	112	113
UCb_9_1.0 Kobe	48	93	137	176	205	224	235	243	249
Pdb_9_0.5 ElCentro	6	11	15	18	21	23	24	25	26
Pdb_9_1.0 ElCentro	20	33	43	53	59	63	66	68	69
Pdb_9_1.5 ElCentro	34	59	79	98	111	119	124	127	128
Pdb_9_0.5 Hachinohe	6	10	13	16	19	21	23	24	24
Pdb_9_1.0 Hachinohe	17	29	39	48	54	57	59	60	61
Pdb_9_1.5 Hachinohe	30	50	68	87	101	111	117	120	121
Pdb_9_0.5 Northridg	40	68	91	110	122	129	139	143	144
Pdb_9_1.0 Northridg	88	168	241	295	322	333	341	345	346
Pdb_9_0.5 Kobe	15	26	35	44	52	59	65	70	74
Pdb_9_1.0 Kobe	31	57	82	103	120	135	150	163	175
Cdb_9_0.5 ElCentro	6	10	13	16	18	20	20	21	22
Cdb_9_1.0 ElCentro	17	28	37	45	49	52	55	56	57
Cdb_9_1.5 ElCentro	33	58	79	98	112	120	125	125	127
Cdb_9_0.5 Hachinohe	6	10	13	17	20	22	24	25	26
Cdb_9_1.0 Hachinohe	17	28	38	47	53	55	57	58	58
Cdb_9_1.5 Hachinohe	28	47	64	81	94	103	108	110	109
Cdb_9_0.5 Northridg	39	68	91	109	122	129	134	137	138
Cdb_9_1.0 Northridg	88	168	241	296	323	334	343	348	350
Cdb_9_0.5 Kobe	17	30	41	50	58	65	70	74	77
Cdb_9_1.0 Kobe	34	62	86	107	125	140	153	165	177

يوضح الشكل (5-30) و الجدول (5-8) متوسط الانتقالات الاعظمية لاستراتيجيات التحكم المدروسة باستخدام زلازل التحليل العشرة حيث نلاحظ ان التحكم شبه الإيجابي يخفض الانتقال الاعظمي (3%) بالنسبة للتحكم السلبي لكن يبقى الانزياح النسبي الاعظمي ثابتاً في الطابق الأول دون تخفيض يذكر.

الجدول (5-8): متوسط الانتقالات الاعظمية لاستراتيجيات التحكم المدروسة باستخدام زلازل التحليل العشرة

Story Displacment (mm)	D_S1	D_S2	D_S3	D_S4	D_S5	D_S6	D_S7	D_S8	D_S9
Uncontrol	45	85	121	153	175	194	217	241	261
Passive	29	51	71	87	98	105	111	114	117
Control	29	51	70	87	97	104	109	112	114



الشكل (5-30): متوسط الانتقالات الاعظمية لاستراتيجيات التحكم المدروسة باستخدام تسجيلات الزلازل العشرة في التحليل.

يوضح الجدول (5-9) متوسط نتائج معايير الأداء وهي على الترتيب: الانزياح الطائفي الأعظم، الانحراف المعياري للانزياح الطائفي الانزياح اللدن المتبقي في نهاية التحليل، التسارع الاعظمي كنسبة من (g) والانحراف المعياري للتسارع الطائفي، عدد المفاصل اللدنة، الطاقة المبددة في هذه المفاصل.

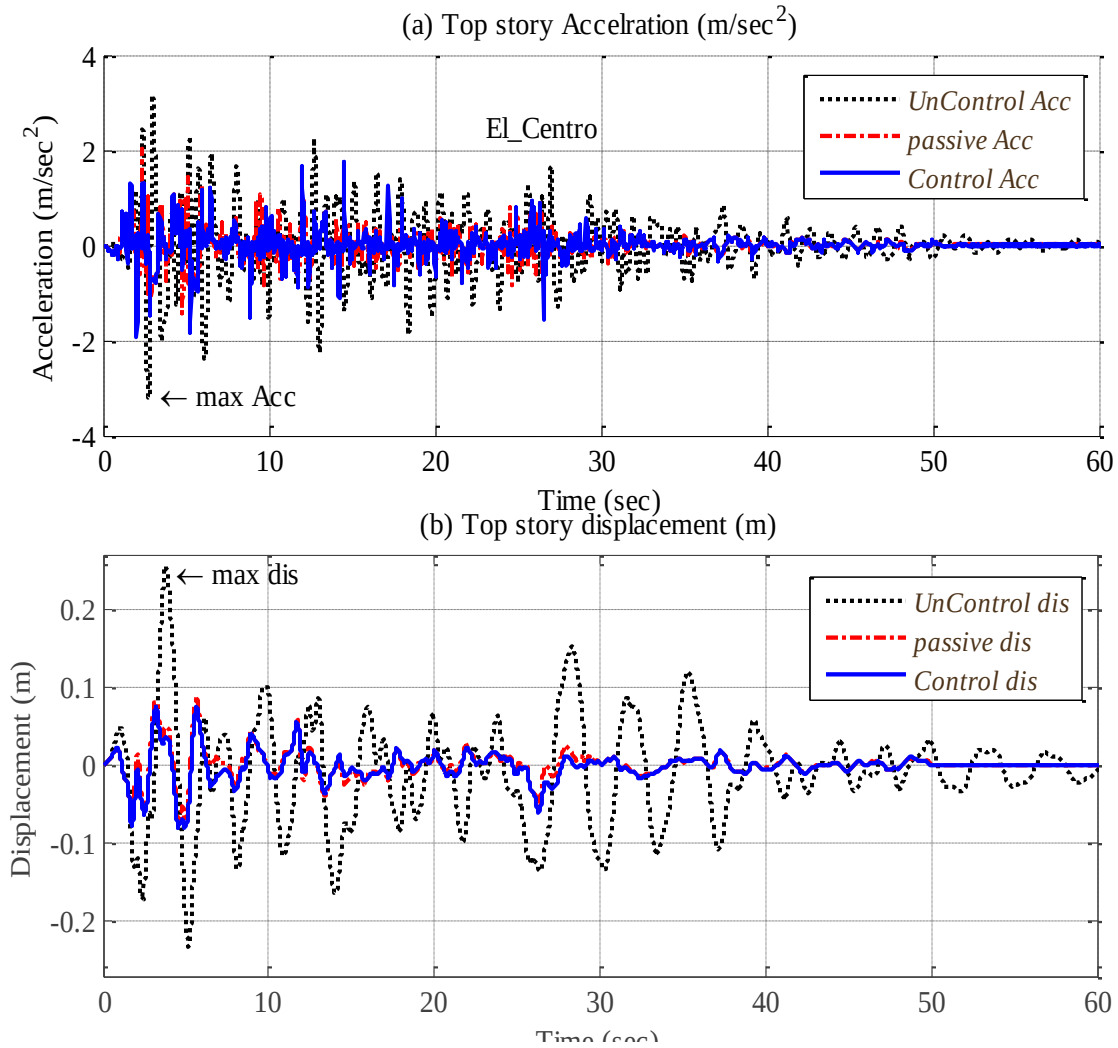
الجدول (5-9): متوسط نتائج معايير الأداء لاستراتيجيات التحكم على عشر زلازل لمبنى 9 طوابق

strategy	Drift peak	Drift end	PGA (g)	Acc rms m/sec2	Number of palstic hinge	Disspate Enrgy at plastic hinge KN.m
uncontrol	0.012	0.002	0.437	0.049	86	26.1
Passive	0.007	0.001	0.351	0.039	19	4.1
Control	0.007	0.001	0.381	0.038	21	4.0

5.5. نتائج بناء 20 طبقاً:

1.5.5. مقارنة نتائج المبنى (20-story) بدون مخمدات مع مبنى مزود بالتحكم السلبي:

يوضح الشكل (5-31) مقارنة لنتائج التحليل للمبنى (20-story) وذلك للمبنى بدون تخميد إضافي (Udb_20)، والمبنى المزود بمخمدات وبالتحكم السلبي (Pdb_20) حيث نلاحظ أن استراتيجية التحكم السلبي تزيد قساوة المبنى وتضيف تخميدياً هاماً للمنشأ، مما يخفض كلاً من انتقالات وتسارعات المبنى، كما نلاحظ انخفاض الانتقال اللدن المتبقي في المبنى بعد انتهاء السجل الزلزالي بوقت كافٍ لانهاء الاهتزاز الحر.

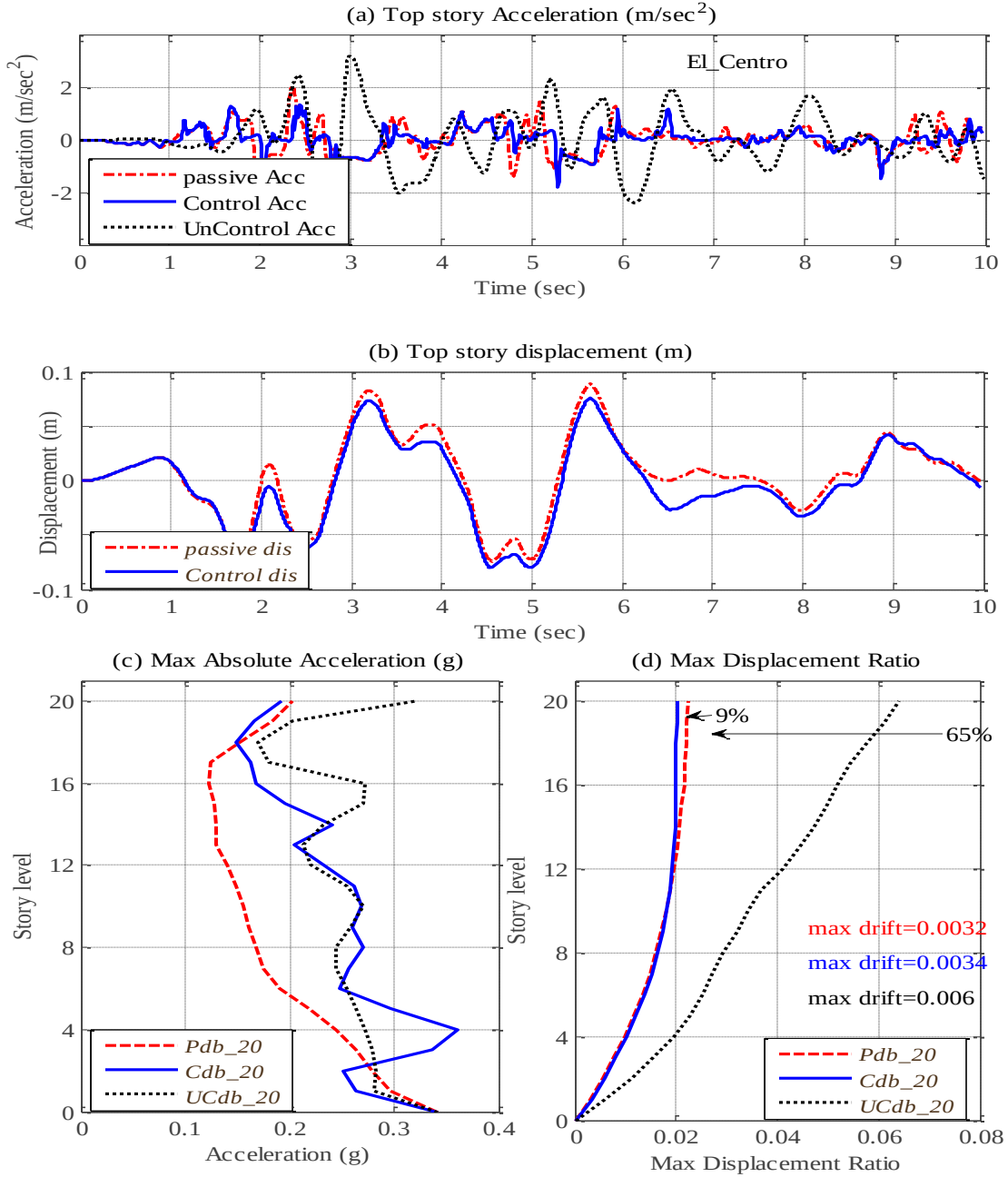


الشكل (5-31): مقارنة انتقالات وتسارع الطابق الأخير لمبنى 20 طبق المزود بالمخمدات مع المبنى بدون مخمدات.

نلاحظ من الشكل (5-31) السابق ان مقارنة انتقالات المبنى المزود بالمخمدات مع المبنى بدون مخمدات تتعلق بعدد المخمدات، لذلك يتم لاحقاً مقارنة الانتقالات بين التحكم السلبي التقليدي والتحكم شبه الإيجابي بنفس عدد المخمدات وبذلك يكون عدد المخمدات لا يؤثر في تقييم التحكم شبه الإيجابي.

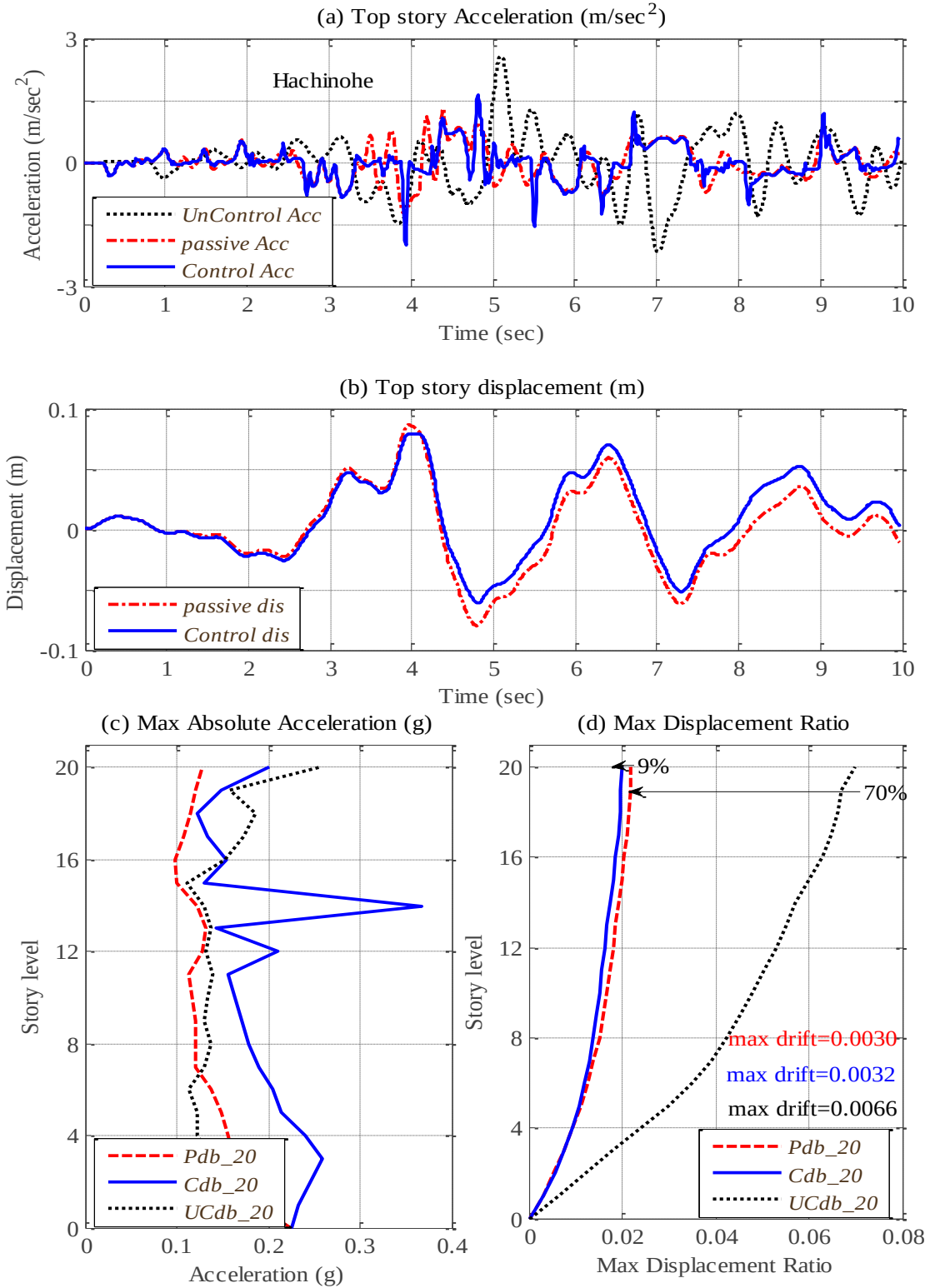
2.5.5. مقارنة نتائج المبنى (20-story) المزود بالتحكم السلبي مع المبنى بالتحكم شبه الايجابي:

نلاحظ أن التحكم شبه الإيجابي بدأ يعطي نتائج ملموسة في تخفيض انتقالات وتسارعات المبنى 20 طابق مقارنة بمبنى الثلاث طوابق حيث نلاحظ استمرار تخفيض الانتقال على معظم السجل الزمني تصل الى (9%)، كما في الشكل (5-32)، كما يوضح مقارنة الانتقال النسبي الأعظمي للطوابق العشرين وتسارعات الطوابق الأعظمية حيث نلاحظ تخفيض الانتقال النسبي الأعظمي للبناء في الطوابق العليا.

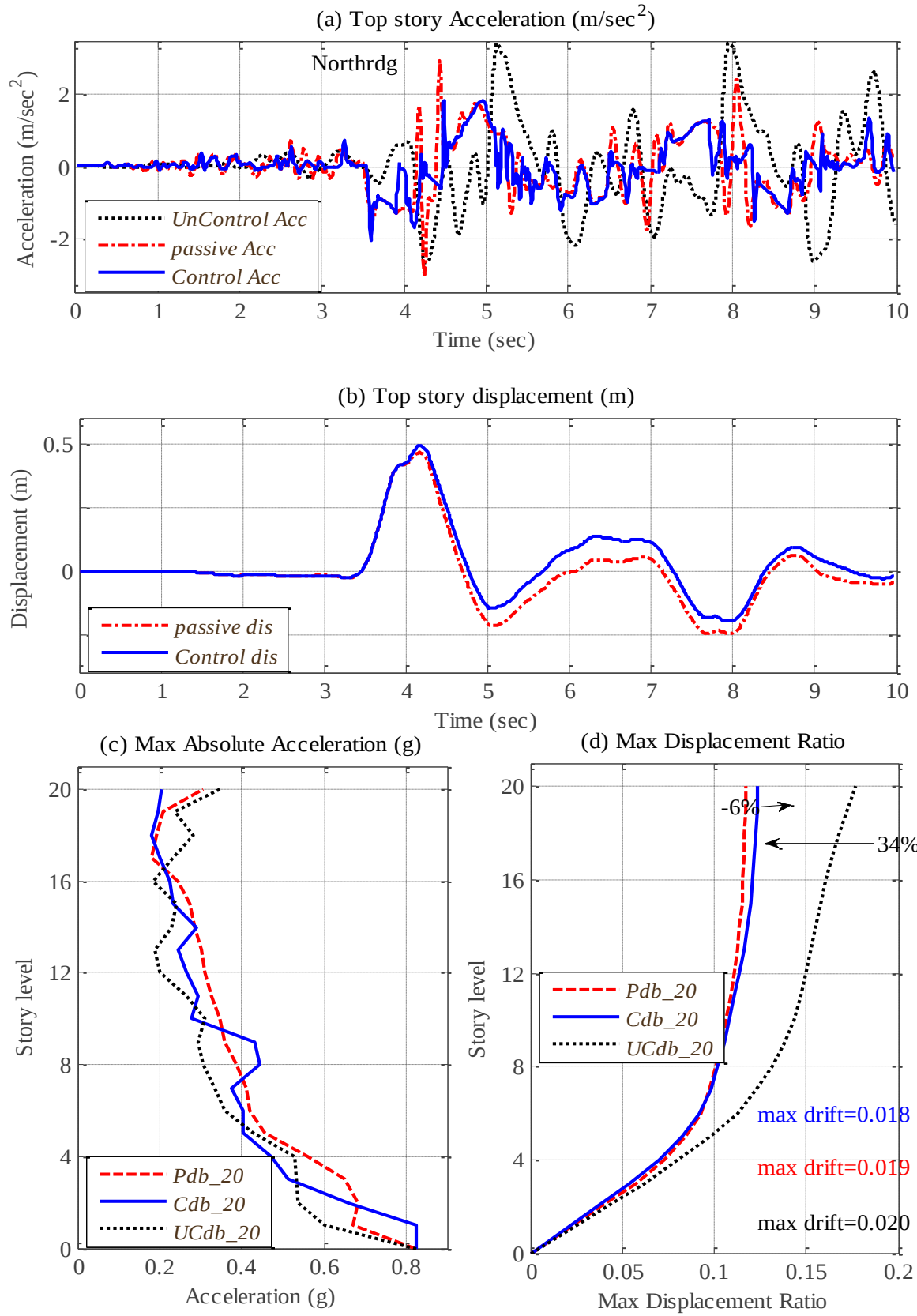


الشكل (5-32): مقارنة الانتقال والانتقال النسبي والتسارع الأعظمي لطوابق المبنى 20 طابق على استراتيجيات التحكم باستخدام زلزال السنترو.

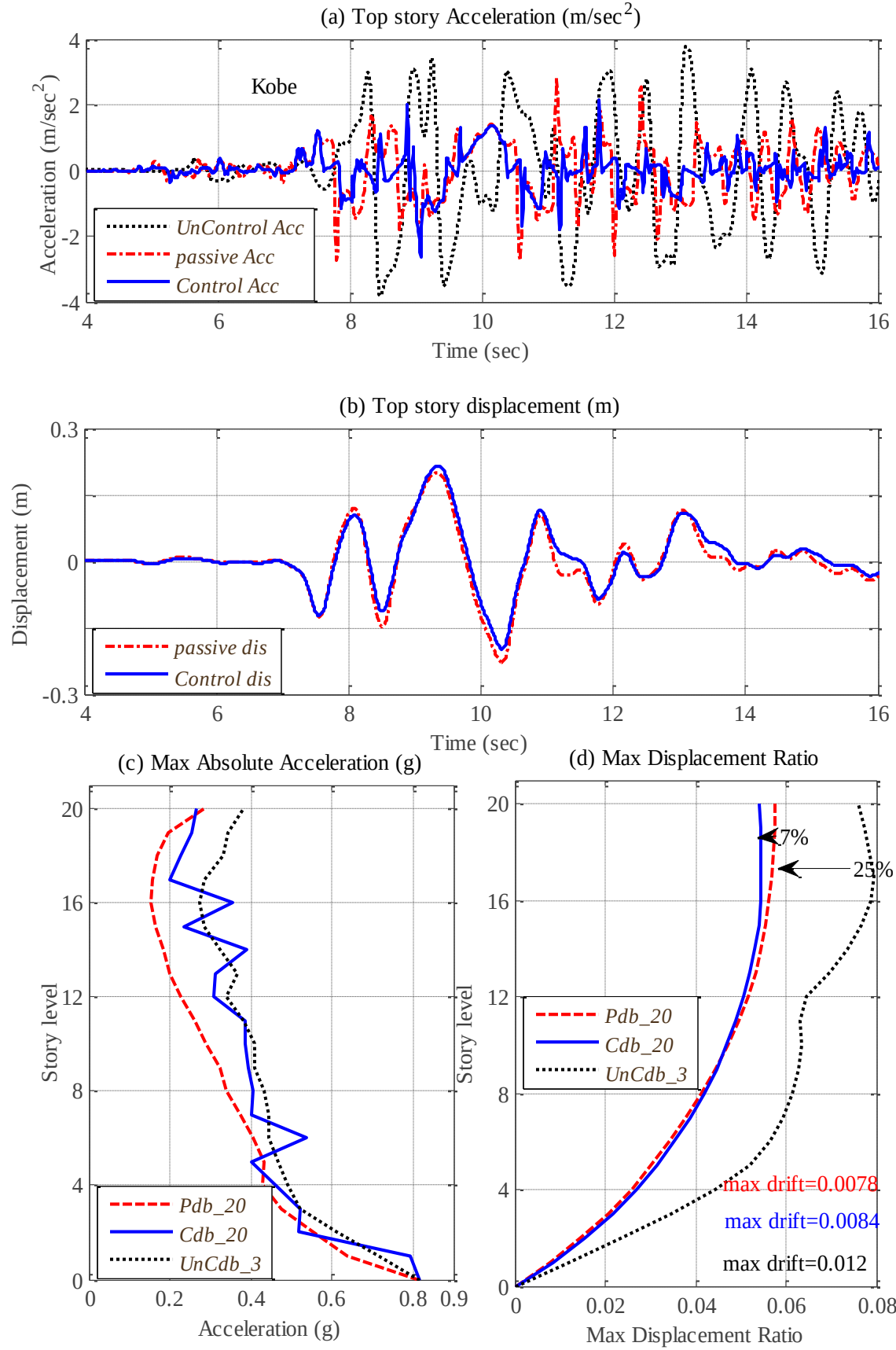
نتائج متحكم (H_{∞}) حيث نلاحظ قدرة المتحكم على تخفيض استجابة الانتقال ومناعته على سجلات زلزالية بشدات مختلفة، كما توضح الاشكال: الشكل (33-5)، والشكل (34-5) ، والشكل (35-5).



الشكل (33-5): مقارنة الانتقال والانتقال النسبي والتسارع الأعظمي لطوابق المبنى 20 طبق على استراتيجيات التحكم باستخدام زلزال هاشينوهي.



الشكل (34-5): مقارنة الانتقال والانتقال النسبي والتسارع الأعظمي لطوابق المبنى 20 طابق على استراتيجيات التحكم باستخدام زلزال نورث ريدج .



الشكل (35-5): مقارنة الانتقال والانفعال النسبي والتسارع الأعظمي لطوابق المبنى 20 طوابق على استراتيجيات التحكم باستخدام زلزال كوبي.

يوضح الجدول (5-10) نتائج انتقالات طوابق مبنى 20 طوابق باستخدام استراتيجيات تحكم مختلفة وزلازل

التحليل العشرة حيث تم معايرة المتحكم من أجل زلازل السنترو وتجربته على الزلازل المتبقية لدراسة مناعته.

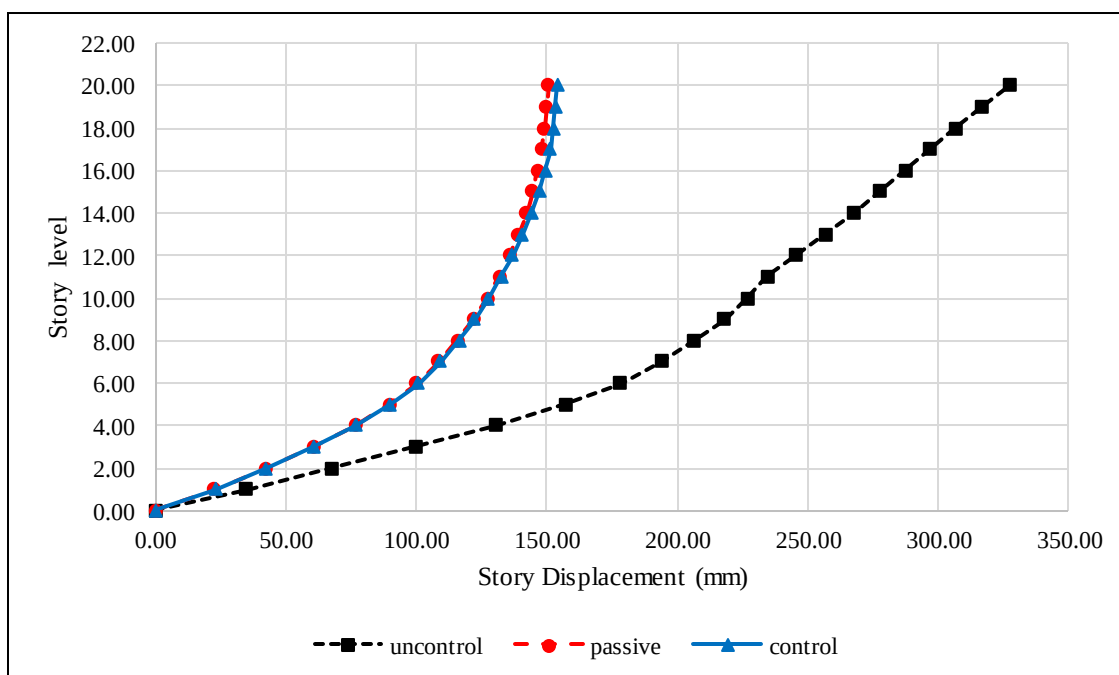
الجدول (5-10): انتقالات الطوابق لمبنى العشرين طابق وفق استراتيجيات التحكم المختلفة

Story Displacement (mm)	D_S1	D_S2	D_S3	D_S4	D_S5	D_S6	D_S7	D_S8	D_S9	D_S10	D_S11	D_S12	D_S13	D_S14	D_S15	D_S16	D_S17	D_S18	D_S19	D_S20
UnCb_20_0.5 EICentro	13	21	29	36	43	50	57	66	75	82	89	95	99	105	111	116	121	128	136	143
UnCb_20_1.0 EICentro	24	44	62	77	90	100	108	117	128	136	146	162	175	187	197	206	216	229	242	254
UnCb_20_1.5 EICentro	36	71	107	138	164	185	202	216	227	237	247	264	282	299	315	334	350	361	369	378
UnCb_20_0.5 Hachinohe	13	22	32	41	50	60	69	78	86	93	100	105	114	123	130	137	143	150	156	162
UnCb_20_1.0 Hachinohe	26	48	70	95	119	139	155	168	179	190	200	210	219	226	238	249	257	262	266	277
UnCb_20_1.5 Hachinohe	39	77	119	166	211	249	280	305	326	344	361	377	389	399	408	417	427	438	448	456
UnCb_20_0.5 Northridg	42	84	126	163	193	216	232	243	250	253	253	262	275	287	300	312	324	336	348	361
UnCb_20_1.0 Northridg	85	166	245	317	389	445	488	521	547	567	582	594	604	614	626	638	651	666	683	700
UnCb_20_1.5 Northridg	26	49	73	93	107	114	115	112	113	114	120	127	135	142	148	153	162	185	217	243
UnCb_20_0.5 Kobe	48	93	137	176	205	224	235	243	249	251	250	256	276	292	304	312	315	311	306	301
UnCb_20_1.0 Kobe	4	7	10	13	16	19	21	24	26	28	30	32	33	35	36	37	38	38	39	39
Pdb_20_0.5 EICentro	4	7	10	13	16	19	22	24	26	28	31	33	34	36	38	39	40	41	41	42
Pdb_20_1.0 EICentro	13	22	31	39	47	53	58	63	67	71	74	77	80	82	84	85	87	87	88	88
Pdb_20_1.5 EICentro	23	41	56	69	80	90	98	106	112	117	122	126	130	133	136	138	140	142	143	143
Pdb_20_0.5 Hachinohe	4	7	11	14	16	19	22	24	26	28	31	33	34	36	38	39	40	41	41	42
Pdb_20_1.0 Hachinohe	12	21	29	37	44	50	55	60	64	67	70	72	74	76	79	81	83	85	86	87
Pdb_20_1.5 Hachinohe	20	35	48	61	73	84	94	103	110	116	122	126	129	131	133	134	135	136	138	139
Pdb_20_0.5 Northridg	30	57	80	99	113	125	136	144	151	157	163	167	171	175	178	180	182	184	185	185
Pdb_20_1.0 Northridg	77	153	226	289	336	368	387	401	413	423	432	440	446	452	456	459	461	462	463	464
Pdb_20_0.5 Kobe	15	26	35	44	52	59	65	70	74	78	81	83	85	87	88	89	90	91	91	91
Pdb_20_1.0 Kobe	31	57	82	103	120	135	150	163	175	186	196	205	211	216	220	223	225	227	228	228
Cdb_20_0.5 EICentro	5	8	12	16	19	22	25	28	30	32	35	37	38	40	41	42	43	44	45	45
Cdb_20_1.0 EICentro	13	23	32	40	48	55	60	65	69	72	75	76	78	78	79	79	79	79	80	80
Cdb_20_1.5 EICentro	23	42	58	72	84	94	104	113	121	129	136	143	148	152	155	158	160	161	161	161
Cdb_20_0.5 Hachinohe	4	7	10	14	16	19	21	23	25	27	28	30	31	32	33	35	35	36	37	37
Cdb_20_1.0 Hachinohe	13	22	30	37	42	48	52	55	58	60	62	64	67	69	72	74	76	77	78	79
Cdb_20_1.5 Hachinohe	19	33	45	56	67	77	86	93	100	105	108	111	113	118	122	125	128	130	132	133
Cdb_20_0.5 Northridg	30	57	80	99	113	125	135	144	151	157	163	167	171	177	181	185	189	191	193	194
Cdb_20_1.0 Northridg	73	145	215	278	328	365	388	404	418	429	440	450	459	467	474	479	483	487	489	491
Cdb_20_0.5 Kobe	17	30	41	50	58	65	70	74	77	82	87	91	94	97	100	102	104	105	105	105
Cdb_20_1.0 Kobe	34	62	86	107	125	140	153	165	177	186	194	201	206	211	214	216	216	216	215	214

يوضح الشكل (36-5) والجدول (11_5) متوسط الانتقالات الاعظمية (D-S) لاستراتيجيات التحكم المدروسة باستخدام زلازل التحليل العشرة حيث نلاحظ ان التحكم شبه الإيجابي يزيد الانتقال الاعظمي (2%) بالنسبة للتحكم السلبي ويزيد الانزياح النسبي الاعظمي في الطابق الأول (1.3%) نسبةً للمبنى بدون تحكم.

الجدول (11-5): متوسط الانتقالات الاعظمية لاستراتيجيات التحكم المدروسة باستخدام زلازل التحليل العشرة لمبنى 20 طابق

strategy	D-S1	D-S5	D-S10	D-S15	D-S20
uncontrolled	35.15	157.1	226.8	277.6	327.5
passive	22.89	89.73	127.2	144.7	150.6
control	23.19	90.11	127.9	147.1	154.1



الشكل (36-5): متوسط الانتقالات الاعظمية لاستراتيجيات التحكم المدروسة باستخدام زلازل التحليل العشرة لمبنى 20 طابق

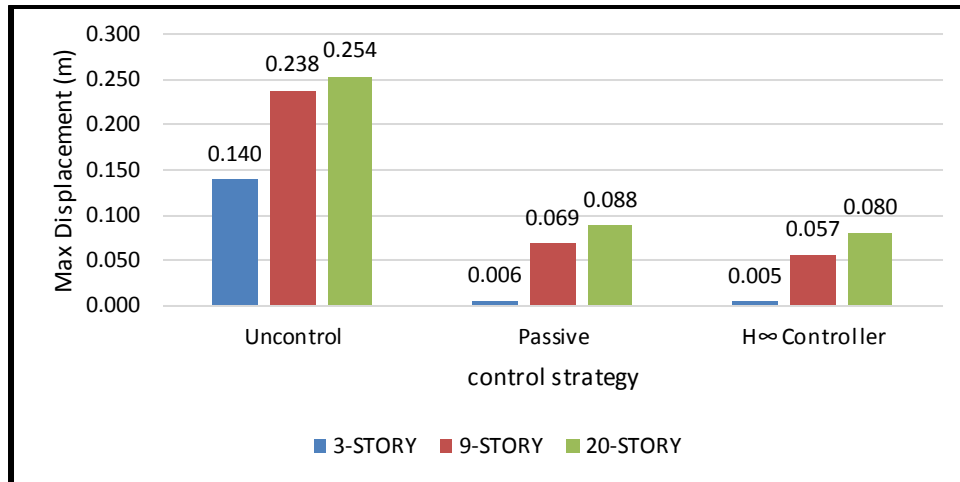
يوضح الجدول (12_5) متوسط نتائج معايير الأداء وهي على الترتيب: الانزياح الطائفي الأعظم، الانحراف المعياري للانزياح الطائفي الانزياح الطائفي اللدن المتبقي في نهاية التحليل، التسارع الاعظمي كنسبة من (g) والانحراف المعياري للتسارع الطائفي، عدد المفاصل اللدنة، الطاقة المبددة في هذه المفاصل.

الجدول (12-5): متوسط نتائج معايير الأداء لاستراتيجيات التحكم على عشر زلازل لمبنى 20 طابق

strategy	Drift peak	Drift rms	Drift end	PGA	Acc rms m/sec2	Number of palstic hinge	Disspate Enrgy at plastic hinge KN.m
uncontrol	0.009	0.212	0.0025	0.38	0.042	122	23.4
Passive	0.005	0.114	0.0005	0.34	0.032	28	4.9
Control	0.005	0.111	0.0004	0.44	0.032	27	5.0

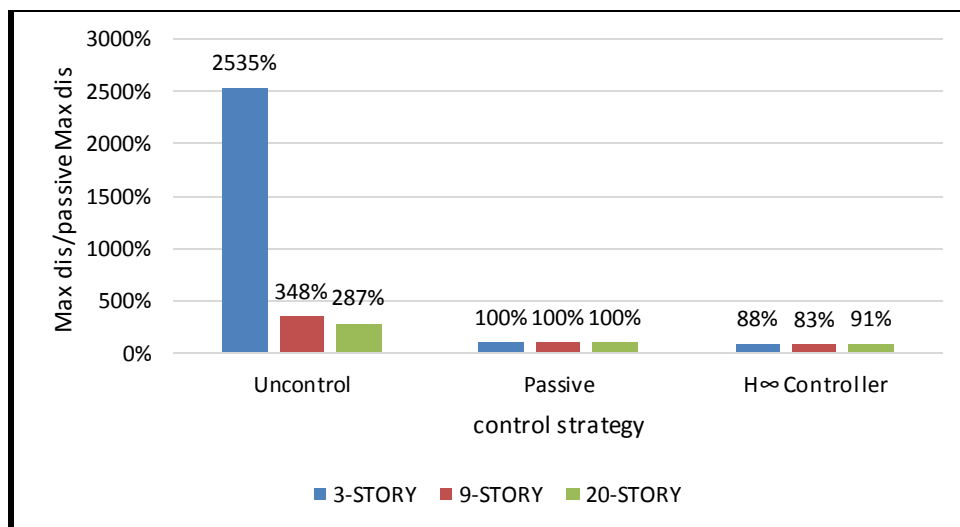
6-5. مقارنة نتائج الأبنية باختلاف الارتفاع:

تم في هذا الجزء مقارنة استجابة الأبنية الثلاثة (3 طوابق و 9 طوابق و 20 طابقاً) على استراتيجيات التحكم الثلاثة وذلك من أجل زلزال السنترو وذلك لأن التحكم معايير ومصمم من أجله والنتائج باستخدامه هي الادق في المقارنة، كما هو مبين في الشكل (5-37):



الشكل (5-37): مقارنة الانتقال الأعظمي للأبنية (3 طوابق و 9 طوابق و 20 طابقاً) على استراتيجيات التحكم باستخدام زلزال السنترو.

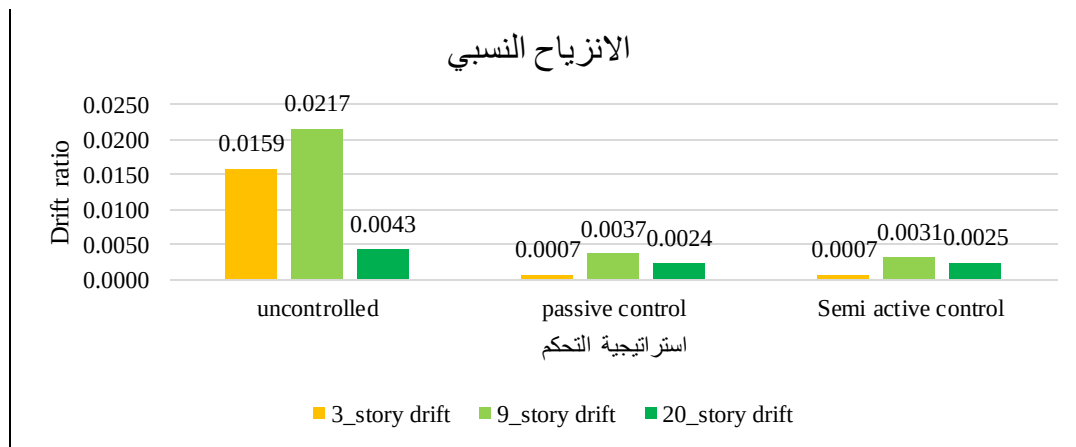
بهدف اظهار مدى كفاءة المتحكم تم ايجاد النسبة بين الانتقال الاعظمي بوجود متحكم (H^{∞}) على الانتقال الاعظمي للمبنى بوجودود متحكم سلبي، وعليه نجد ان فعالية (H^{∞}) في تخفيض الانتقال الاعظمي للمبنى من تسع طوابق بنسبة 17% أكثر منها في المبنى ثلاثة طوابق 12%، ومن المبنى عشرين طابق 9%، كما هو مبين في الشكل (5-38):



الشكل (5-38): مقارنة الانتقال الاعظمي للأبنية (3 طوابق و 9 طوابق و 20 طابقاً) منسوباً للتحكم السلبي باستخدام زلزال السنترو.

يوضح الشكل (5-39) قيم الانزياح النسبي الاعظمي للأبنية (3، 9، 20 طابق) وفق استراتيجيات

التحكم (دون تحكم، تحكم سلبي، تحكم شبه ايجابي باستخدام متحكم H_{∞} المطور):



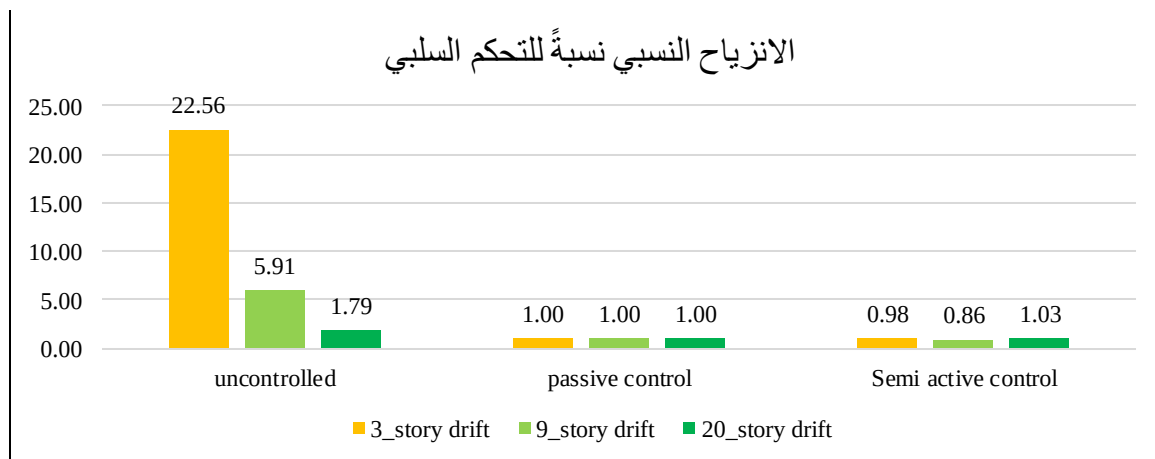
الشكل (5-39): مقارنة الانزياح النسبي الأعظمي للأبنية (3 طوابق و9 طوابق و20 طابقاً) على استراتيجيات التحكم باستخدام زلزال السنترو.

بهدف اظهار مدى كفاءة المتحكم تم ايجاد النسبة بين الانزياح النسبي (Drift ratio) الاعظمي بوجود

متحكم H_{∞} على الانتقال الاعظمي للمبنى بوجود متحكم سلبي، وعليه نجد ان فعالية H_{∞} في تخفيض

الانتقال الاعظمي للمبنى من تسع طوابق بنسبة (14%) أكثر منها في المبنى ثلاثة طوابق (2%)، وأفضل من

المبنى عشرين طابق حيث ازداد الانزياح الاعظمي بنسبة (3%)، كما هو مبين في الشكل (5-40):



الشكل (5-40): مقارنة الانزياح النسبي الاعظمي للأبنية (3 طوابق و9 طوابق و20 طابقاً) منسوباً للتحكم السلبي باستخدام زلزال السنترو.

إن سبب اختلاف أداء المتحكم بين المباني (3، 9، 20 طابق) تعود لسبب زيادة ارتفاع المبنى وليونته

والتي سمحت للمتحكم بالعمل من خلال تعديل دور الاهتزاز ونمط الاهتزاز، بينما تسبب زيادة درجات الحرية

الناتجة على زيادة صعوبة ايجاد متحكم يقوم بتحسين اداء المبنى ويتحكم بعدد أكبر من المخدمات.

الفصل السادس: ملخص النتائج والتوصيات

1-6. ملخص النتائج:

تم في هذا البحث دراسة أثر التحكم شبه الايجابي على الابنية منخفضة ومتوسطة وعالية الارتفاع باستخدام نماذج معيارية لأبنية معدنية (3 طوابق، 9 طوابق، 20 طابق) وتحليل (2D) لإطار مقاوم للعزوم (نصف الجملة المقاومة للزلازل في المبنى بالاتجاه شمال جنوب) باستخدام برنامج (spencer) في بيئة (Matlab Simulink) حيث تم تطوير متحكم (LQR) ومتحكم نوع (H_{∞})، ومن نوع (H_2)، خاص بالدراسة بهدف تبين فاعلية التحكم شبه الايجابي مقارنةً بالتحكم السلبي حيث أظهرت النتائج ما يلي:

- رفع التحكم شبه الايجابي باستخدام (LQR) أداء المبنى 3 طوابق، وحسن استجابته عند وضع المخدمات في كافة الطوابق، حيث خفض الانتقال الاعظمي للمبنى (12%) نسبة للتحكم السلبي كما حسن الانزياح النسبي (2%) على زلزال السنترو.
- رفع التحكم شبه الايجابي باستخدام (H_{∞}) المطور أداء المبنى 3 طوابق، وحسن استجابته بقيم مشابهة للمتحكم (LQR) عند وضع المخدمات في كافة الطوابق حيث خفض الانتقال الاعظمي للمبنى (12%) نسبة للتحكم السلبي كما حسن الانزياح النسبي (2%) على زلزال السنترو.
- اثبت المتحكم المطور (H_{∞}) فاعلية في تحسين استجابة المبنى حتى عند تغيير السجلات الزلزالية وشداتها، وبقي منيعاً (أي يبقى المتحكم المبنى مستقراً ويهتز بقيم انتقالات قريبة من الانتقالات المبنى المزود بالتحكم السلبي بتغير الشدة الزلزالي) بالرغم من التنوع في هذه السجلات.
- اثبت المتحكم المطور فاعلية في تحسين استجابة المبنى حتى عند استبدال معيار الاداء (H_{∞}) بالمعيار (H_2)، وبقي منيعاً (أي يبقى المتحكم المبنى مستقراً ويهتز بقيم انتقالات قريبة من الانتقالات المبنى المزود بالتحكم السلبي بتغير الشدة الزلزالي) بالرغم من التنوع في هذه السجلات.
- اعطى التحكم شبه الايجابي نتائج أفضل عند تغيير توزيع المخدمات في مبنى الثلاث طوابق في تحسين استجابة المبنى مقارنةً بالتحكم السلبي ومقارنةً بالتحسين الحاصل باستخدام المخدمات في كل الطوابق:

- ان استخدام المخدم MR مع تحكم سلبي في الطابق الأول من المبنى ثلاثة طوابق خفض انتقال الطابق الأخير (33%) نسبةً للمبنى دون تحكم، وبقي الانزياح النسبي مشابه للمبنى بدون تحكم لكن في الطوابق العليا، بينما تم تخفيض الانتقال الاعظمي للطابق الاخير (10%) نسبةً للتحكم السلبي، والانزياح النسبي الكلي للبناء (13%) نسبةً للتحكم السلبي، وذلك باستخدام المخدم MR مع متحكم (H_{∞}).

– ان المسألة السابقة تشبه إضافة التحكم شبه الإيجابي على مبنى مزود بالعزل الزلزالي.

- ان استخدام المخدم MR مع تحكم سلبي في الطابق الأخير من المبنى ثلاثة طوابق لم يخفض انتقال الطابق الأخير، بل تسبب بزيادة الانزياح النسبي (60%) نسبةً للمبنى بدون تحكم، بينما تم تخفيض الانتقال الاعظمي للطابق الاخير (13%) نسبةً للتحكم السلبي والمبنى، وتسبب بتخفيض الانزياح النسبي الكلي للبناء (13%) نسبةً للتحكم السلبي وزيادة (40%) عن المبنى دون تحكم، وذلك باستخدام المخدم MR مع متحكم (H_{∞}).

– ان المسألة السابقة تشبه إضافة التحكم شبه الإيجابي على مبنى مزود بمخدم الكتلة (Active mass damper) في الطابق الاخير.

- ان استخدام المخدم MR مع تحكم سلبي في الطابق الثاني والثالث من المبنى ثلاثة طوابق خفض انتقال الطابق الأخير (90%) نسبةً للمبنى دون تحكم، وخفض الانزياح النسبي (20%) نسبةً للمبنى بدون تحكم، بينما تم تخفيض الانتقال الاعظمي للطابق الاخير (13%) نسبةً للتحكم السلبي، والانزياح النسبي الكلي للبناء (13%) نسبةً للتحكم السلبي، وذلك باستخدام المخدم MR مع متحكم (H_{∞}).

– ان المسألة السابقة تشبه إضافة التحكم شبه الإيجابي على الطوابق العليا لمبنى معزول زلزالياً.

- استطاع التحكم شبه الإيجابي باستخدام المتحكم المطور (H_{∞}) تخفيض الانتقال (17%) والانزياح النسبي (14%) لمبنى التسع طوابق مقارنةً بالتحكم السلبي.
- استطاع التحكم شبه الإيجابي باضافة المتحكم (H_{∞}) المطور تخفيض انتقال الطابق الأخير 9% لكن سبب زيادة 3% الانزياح النسبي لمبنى العشرين طابق مقارنةً بالتحكم السلبي.

2-6. التوصيات والعمل المستقبلي:

يوصي البحث بدراسة كل من:

- تحليل النموذج على برنامج (ANSYS or ABQUS) لإدخال أثر اللاخطية بشكل أفضل على استجابة الأبنية المختلفة.
- دراسة (سبكتوغرام) لدراسة أثر استخدام المتحكم حيث لوحظ أثناء التجارب اختلاف في التخفيض في الزمن.
- دراسة التحكم شبه الإيجابي على الأبنية المعزولة زلزاليا في طابق العزل وفي باقي الطوابق.
- دراسة التحكم شبه الإيجابي على الأبنية المزودة بمخمّد الكتلة شبه الإيجابي (semi Active mass damper).

المراجع:

- [1]. Agrawal, A., Yang, J., and Schmitendorf, W. "Hybrid control of buildings using nonlinear polynomial output feedback." *Presented at American Control Conference, 1998. Proceedings of the 1998.*
- [2]. Akbay, Z., and Aktan, H. M. "Intelligent energy dissipation devices." *Presented at Proc., 4th US Nat. Conf. On Earthquake Engrg.*
- [3]. Cheng, F. Y., Jiang, H., and Lou, K. (2010). *Smart structures: innovative systems for seismic response control*: CRC Press.
- [4]. Christenson, R., Bass, B., and Lin, Y. Z. (2007). "NEES Payload–August 6-7, 2007: Experimental Verification of Semiactive Control using Large-Scale Magneto-Rheological (MR) Fluid Dampers".
- [5]. Dowdell, D., and Cherry, S. "Semi-active friction dampers for seismic response control of structures." *Presented at Proc., Fifth US .Nat. Conf. on Earthquake Engrg.*
- [6]. Dyke, S., and Spencer Jr, B. "Seismic response control using multiple MR dampers." *Presented at Proc. of the 3rd Intl. Workshop on Struct. Control.*
- [7]. Dyke, S., and Spencer Jr, B. "A comparison of semi-active control strategies for the MR damper." *Presented at Intelligent Information Systems, 1997. IIS'97. Proceedings.*
- [8]. Dyke, S., Spencer Jr, B., Sain, M., and Carlson, J. "Experimental verification of semi-active structural control strategies using acceleration feedback." *Presented at Proc. of the 3rd Intl. Conf. on Motion and Vibr. Control.*
- [9]. Dyke, S., Spencer Jr, B., Sain, M., and Carlson, J. (1996b). "Modeling and control of magnetorheological dampers for seismic response reduction." *Smart materials and structures*, 5(5), 565.

- [10]. Dyke, S. J. (1996). *Acceleration feedback control strategies for active and semi-active control systems: modeling, algorithm development, and experimental verification*, University of Notre Dame.
- [11]. earthquakes, L. o. (2014). "Lists of earthquakes" *Lists of earthquakes*. City.
- [12]. Feng, M. Q., Shinozuka, M., and Fujii, S. (1993). "Friction-controllable sliding isolation system." *Journal of Engineering Mechanics*, 119(9), 1845-1864.
- [13]. Friedman, A. J., and Dyke, S. J. (2012). *Development and experimental validation of a new control strategy considering device dynamics for large-scale MR dampers using real-time hybrid simulation*, Doctoral Dissertation.
- [14]. Fujita, T., Shimazaki, M., Yutaka, H., Aizawa, S., Higashino, M., and Haniuda, N. (1994). "Semiactive seismic isolation system using controllable friction damper." *Bulletin of earthquake resistant structure research center*, 27, 21-31.
- [15]. Gavin, H. P. (2001). "Control of seismically excited vibration using electrorheological materials and Lyapunov methods." *Control Systems Technology, IEEE Transactions on*, 9(1), 27-36.
- [16]. Gavin, H. P., Hanson, R. D., and Filisko, F. E. (1996). "Electrorheological dampers, part I: analysis and design." *Journal of Applied Mechanics*, 63(3), 669-675.
- [17]. Gawronski, W. K. (2004). *Advanced structural dynamics and active control of structures*: Springer.
- [18]. Guide, M. U. s. (1998). "The mathworks." *Inc., Natick, MA*, 5, 333.
- [19]. Hanson, R., and Filisko, F. (1996). "Electrorheological Dampers, Part II: Testing and Modeling." *Ann Arbor*, 1050, 48109.

- [20]. Hochrainer, M. (2005) "(Tuned liquid column damper for structural control." *Acta mechanica*, 175(1-4), 57-76.
- [21]. Hochrainer, M. J., and Ziegler, F. (2006). "Control of tall building vibrations by sealed tuned liquid column dampers." *Structural Control and Health Monitoring*, 13(6), 1002–980 ,(
- [22]. Housner, G. W., Bergman, L. A., Caughey, T., Chassiakos, A., Claus, R., Masri, S., Skelton, R., Soong, T., Spencer, B., and Yao, J. T. (1997). "Structural control: past, present, and future." *Journal of engineering mechanics*, 123(9), 897-971.
- [23]. Jiang, Z. (2012). *Increasing resilience in civil structures using smart damping technology*.
- [24]. Kuehn, J., Song, G., and Sun, J. "Experimental verification of a non-protruding intelligent stiffener for bridges (ISB)." *Presented at Proceedings of the International Post-SMiRT Conference Seminar on Seismic Isolation, Passive Energy, Dissipation and Active Control of Vibrations of Structures*.
- [25]. Kurata, N., Kobori, T., Takahashi, M., Ishibashi, T., Niwa, N., Tagami, J., and Midorikawa, H. (2000). "Forced vibration test of a building with semi - active damper system." *Earthquake engineering & structural dynamics*, 29(5), 629-645.
- [26]. Kurata, N., Kobori, T., Takahashi, M., Niwa, N., and Midorikawa, H. (1999). "Actual seismic response controlled building with semi - active damper system." *Earthquake engineering & structural dynamics*, 28(11), 1427-1447.
- [27]. Kurino, H., and Kobori, T. "Semi-active structural response control by optimizing the force–deformation loop of variable damper." *Presented at Proceedings Second World Conference on Structural Control*.
- [28]. Leitmann, G., and Reithmeier, E. (1993). "Semiactive control of a vibrating system by means of electrorheological fluids." *Dynamics and Control*, 3(1), 7-33.

- [29]. McClamroch, N. H., and Gavin, H. "Closed loop structural control using electrorheological dampers." *Presented at American Control Conference, Proceedings of the 1995.*
- [30]. Myrtle, R. C., Masri, S. F., Nigbor, R. L., and Caffrey, J. P. (2005). "Classification and prioritization of essential systems in hospitals under extreme events ".*Earthquake Spectra*, 21(3), 779-802.
- [31]. Nagarajaiah, S., and Mate, D. "Semi-active control of continuously variable stiffness system." *Presented at Proceedings of the Second World Conference on Structural Control.*
- [32]. Neff Patten, W., Sun, J., Li, G., Kuehn, J .,and Song, G. (1999). "Field test of an intelligent stiffener for bridges at the I - 35 Walnut Creek bridge." *Earthquake engineering & structural dynamics*, 28(2), 109-126.
- [33]. Ogata, K., and Yang, Y. (1970). "Modern control engineering".
- [34]. Ohtori, Y., Christenson, R., Spencer Jr, B., and Dyke, S. (2004). "Benchmark control problems for seismically excited nonlinear buildings." *Journal of Engineering Mechanics*, 130(4), 366-385.
- [35]. Ohtori, Y., and Spencer Jr, B. "A MATLAB-based tool for nonlinear structural analysis ".*Presented at Proc. of the 13th Engineering Mechanics Conf.*
- [36]. Pandya, J., Akbay, Z., Uras, M., and Aktan, H. "Experimental implementation of hybrid control." *Presented at Building an International Community of Structural Engineers.*
- [37]. SAC. (1996). "The SAC Steel project". City.
- [38]. Sadek, F., and Mohraz, B. (1998). "Semiactive control algorithms for structures with variable dampers." *Journal of Engineering Mechanics*, 124(9), 981-990.

- [39]. Salam, S. A., Shaalan, O., Elhoseny, Y., and Fathy, I. (2012). "OPTIMIZING THE PLACEMENT OF SIMI-ACTIVE HYDRAULIC DAMPERS IN BUILDINGS USING FEA." *Journal of American Science (ISSN 1545-1003), USA*.
- [40]. Schmitendorf, W., Jabbari, F., and Yang, J. (1994). "Robust control techniques for buildings under earthquake excitation." *Earthquake engineering & structural dynamics*, 23(5), 539-552.
- [41]. Somerville, P. G., and Venture, S. J. (1997). *Development of ground motion time histories for phase 2 of the FEMA/SAC steel project: SAC Joint Venture*.
- [42]. Spencer Jr, B., Carlson, J. D., Sain, M., and Yang, G" .On the current status of magnetorheological dampers: seismic protection of full-scale structures." *Presented at American Control Conference, 1997. Proceedings of the 1997*.
- [43]. Spencer Jr, B., and Sain, M. K. (1997). "Controlling buildings: a new frontier in feedback." *Control Systems, IEEE*, 17(6), 19-35.
- [44]. Spencer Jr, B., and Soong, T. "New applications and development of active, semi-active and hybrid control techniques for seismic and non-seismic vibration in the USA." *Presented at Proceedings of international post-SMiRT conference seminar on seismic isolation, passive energy dissipation and active control of vibration of structures*.
- [45]. Symans, M. D., and Constantinou, M. C. (1997). "Seismic testing of a building structure with a semi-active fluid damper control system." *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, 26(7), 759-777.
- [46]. Tanida, K. "Active control of bridge towers during erection." *Presented at Proc. 3 rd Colloquium on Vib. Control of Structures, JSCE, part A*.

- [47]. testing, s. o. l. s. r. t. p. d. h. (201" .(1NEES@Lehigh". City: Nees.lehigh.edu. 2011.
- [48]. Venture, S. J., Committee, G. D., and Venture, S. J. (2000). *Recommended seismic design criteria for new steel moment-frame buildings*: Federal Emergency Management Agency.
- [49]. Villamizar Mejia, R. (2005). *Robust control of systems subjected to uncertain disturbances and actuator dynamics*: Universitat de Girona.
- [50]. Wang, S. G. (2003). "Robust active control for uncertain structural systems with acceleration sensors." *Journal of Structural Control*, 10(1), 59-76.
- [51]. Yang ,J., Lin, S., Jabbari, F., and Schmitendorf, W. "H infinity Control With Peak Response Constraints: Energy Bounded & Peak Bounded Excitations." *Presented at Proceedings of the Third World Conference on Structural Control* .
- [52]. Yang, J., Wu, J., and Li, Z. (19" .(96Control of seismic-excited buildings using active variable stiffness systems." *Engineering Structures*, 18(8), 589-596.
- [53]. Yi, F., and Dyke, S. J. "Structural control systems: performance assessment." *Presented at American Control Conference, 2000. Proceedings of the 2000*.
- [54]. Yoshida, K., Kang, S., and Kim, T. "LQG control and H^∞ control of vibration isolation for multi-degree-of-freedom systems." *Presented at 1st Wolrd Conference on Structural Control*.

الملاحق:

مرفق في (CD):

- 1- البحث المنشور في مجلة جامعة دمشق.
- 2- برنامج (MATLAB&SAP2000) وشرحه.
- 3- برنامج التحكم مع نماذج الأبنية الثلاثة بواسطة (MATLAB).

Abstract:

The world is witnessing a growing demand for buildings resistant to severe earthquakes, but in spite of the development of risk reduction methods and seismic design codes, we still suffer from human and economic losses, especially in important buildings (such as hospitals, banks...). Therefore, the researchers always seek to find better solutions to improve buildings seismic response and reduce earthquakes risks.

The Semi Active Control of dynamic response is a smart and adaptable solution for this problem, through using Magneto Rheological (MR) dampers, which properties can be controlled (by a computer and a control program). When MR dampers are implanted in a building, we can control the building response in the real time to a dynamic movement. This dampers requires low electrical energy comparing with Active control (which requires using hydraulic compressors and engines), but they can be tuned to adapt to the dynamic load which the building is subject to, making it the better solution to improve the response of buildings that can't be improved by seismic isolation (high rise buildings).

This article presents the impact of the use of Semi Active control to the seismic response of buildings exposed to earthquakes using MR dampers. MR Dampers are controlled, by the optimal linear control theory in MATLAB, by electrical orders change in the field ($0 \sim 2.5$ A). Then results are compared with the Uncontrolled building (without dampers), and traditional Passive controlled building, where the dampers works the whole length of time by constant electric current (2.5 A).

The 3-storey, 9-storey and 20-storey buildings used for this study are typical low, medium and high-rise buildings of the Los Angeles area, California. Although not built, they verify the terms of ACI. These buildings are benchmark for the studies of (SAC), what will provide a basis for a broader comparison the results of this study. The study uses four basic earthquake records and six derivative of them, these records are examples of earthquake may affect a seismic zone with probability of 50%, 10% and 2% in the fifty years. These records are examples of near and far field earthquakes. All these earthquakes give proposed semi-Active control method accurate results and reliable performance of the controller.

The results show Effectiveness of Semi Active Control in improving the response of the building by reducing the maximum displacement of the building and the relative displacement between floors as well as reducing energy damped by deformation of frame joints, which proves that the Semi Active Control is the best solution for reducing seismic risk on high-rise buildings.

KEY WORDS: Semi active control, structural control, MR dampers, LQR, H_∞

Damascus University
High Institute Of Earthquake Studies and Research
Dept. of Earthquake Structural Engineering
2015

Improving seismic response with semi Active control

Thesis submitted to the
Higher Institute of Seismic Research and Studies, Damascus University

MASTER

In
Seismic Structural Engineering

By

Yazan Mahmoud Algasin

Approved by the Examining Committee:

Prof. Dr. Eng. Mohammad Al_Samara

Head of Committee

Dr. Eng. Hala T. Hasan

Main Advisor

Dr. Eng. Rabee Al_Safadi

Member

Damascus University
High Institute Of Earthquake Studies and Research
Dept. of Earthquake Structural Engineering

Improving seismic response of Structures by semi Active control

A thesis submitted as a partial fulfillment
for the Master degree in Structural earthquake engineering

By

Yazan Mahmoud Al_Gasin

Under the Supervision of

Dr. Eng. Hala T. Hasan

Dr. Eng. Turki Tabak

Doctor of Structural Engineering
Higher Institute of Earthquake Studies
& Research Damascus University

Doctor of Civil Engineering
Scientific Studies and Research
Center

Damascus, 2015