

## ارزیابی و کنترل ضوابط آیین نامه SEAOC/UBC97

### در مورد سازه‌های بلند ایزوله شده

فیاض رحیم‌زاده رفوی\* و حمید سعادت‌نیا\*\*

دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی شریف

(دریافت مقاله: ۷۸/۹/۱۶ - دریافت نسخه نهایی: ۷۹/۱/۲۸)

چکیده - سیستم‌های ایزوله پایه از جمله روش‌های کنترل نافع‌الی است که در سه دهه اخیر برای محدود کردن پاسخ لرزه‌ای سازه‌ها مورد استفاده قرار گرفته است. در این راستا آیین‌نامه UBC از سال ۹۱ ضمیمه‌ای را در خصوص طراحی سازه‌های ایزوله شده به این آیین‌نامه اضافه کرده است. با توجه به اهمیت بررسی رفتار این گونه سیستم‌ها تحت اثر بارگذاری لرزه‌ای و به منظور ارزیابی روش استاتیکی معادل آیین‌نامه UBC97 برای سازه‌های ایزوله، یک مدل سازه‌ای چهار طبقه سه بعدی برای ۸ نوع مختلف از سیستم‌های ایزوله توصیه شده توسط این آیین‌نامه طراحی شده است. در ادامه ضمن انتخاب ۱۰ رکورد زلزله (پنج زوج) ثبت شده بر روی خاک سخت از نوع SA و SB بر طبق آیین‌نامه UBC97، کلیه مدل‌های طراحی شده تحت اثر رکوردهای مزبور به صورت غیرخطی تحلیل دینامیکی تاریخچه زمانی شده‌اند. در مدل‌های مزبور سیستم ایزولاتور و نیز روسازه قادر به ارائه رفتار غیرخطی (دو خطی)‌اند. نتایج این تحلیل‌ها نشان‌دهنده مناسب بودن مقدار برش پایه پیشنهادی آیین‌نامه UBC97 بوده ولی توزیع این نیروها در طبقات به خصوص برای سیستم‌های ایزوله با نسبت استهلاک زیاد به نحو مناسبی صورت نمی‌پذیرد. در نتیجه به علت کمتر برآورد شدن نیروهای برش برای طبقات بالا، ستون‌های این طبقات اکثراً رفتاری غیرخطی از خود نشان داده‌اند. تغییر مکان طبقه پایه به دست آمده از روش استاتیکی معادل آیین‌نامه UBC94 نیز که همواره بزرگتر از نتایج حاصله از تحلیل تاریخچه زمانی انجام شده برای تغییر مکان در مرکز و در گوشه‌های طبقه پایه بود، در UBC97 به نحو مناسبی کاهش داده شده است. همچنین به منظور تأمین نیازهای برشی ستون‌های طبقات فوقانی، نسبت به ارائه روش دیگری برای توزیع برش پایه در ارتفاع برای سازه‌های ایزوله اقدام شد. نتایج به دست آمده نشان‌دهنده آن است که در صورت استفاده از توزیع برش پایه پیشنهادی، انطباق بسیار بهتری برای پاسخ‌های حاصله از تحلیل‌های غیرخطی تاریخچه زمانی با روش استاتیکی معادل آیین‌نامه UBC97 وجود خواهد داشت.

## Evaluation of the SEAOC/UBC97 Provisions for the Tall Base-Isolated Structures

F. Rahimzadeh Rofooei and H. Saadatnia

Department of Civil Engineering, Sharif University of Technology,

**ABSTRACT-** *The base isolation systems are among the passive control devices that have been used over the last three decades to limit the seismic-induced response of structures. In this regard, the Uniform Building*

\*\*\*- کارشناس ارشد سازه

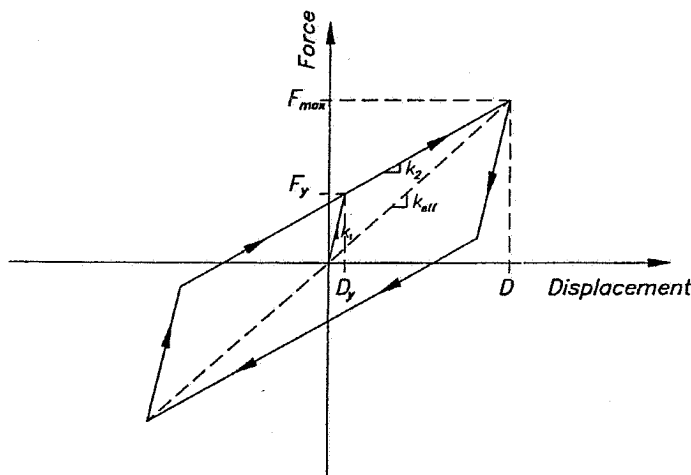
\*- استادیار

*Code provisions (UBC) has incorporated a special section for the seismic design of base isolated structures since its 1991 edition. Due to the importance of the behavior of these structures under seismic loading, and to evaluate the equivalent static analysis method of UBC97, a three dimensional, 4-story base-isolated structural model is selected. Considering 8 different types of the LRB base-isolation systems, the 8 structural models are designed using the UBC97 provisions for these structures. Extensive nonlinear dynamic time history analyses are performed for these structural models, using five pairs of earthquake components recorded on the  $S_A$  and  $S_B$  soil profile types according to the UBC97 provisions. In the dynamic analyses, both the base isolation systems and the superstructure are allowed to behave nonlinearly (bilinear). The results indicate that the UBC97 suitably predicts the base shear force for the superstructure, but that it does not provide a good estimate of the shear force distribution over the height, especially for the heavily damped base isolation systems. Also, underestimation of elastic force for the higher floors by UBC97, considered to be the main reason for the nonlinear behavior of the columns of these floors, revealed in the dynamic time history analyses. Besides, the corner and the center bearings' displacement of the base floor predicted by the equivalent static method of the UBC94 were usually larger than their mean dynamic time history response. This issue has been appropriately modified in the UBC97. In addition, to provide the required strength capacity for the columns of the higher floors, an alternative shear force distribution over height for the base isolated structures is proposed. The results of the nonlinear dynamic analysis performed indicates that there is a closer match between the mean response of the structures designed by proposed shear force distribution and those obtained from the equivalent static method of the UBC97 provisions.*

#### ۱- مقدمه

از اوایل قرن جاری، ایده جداسازی سازه‌ها از پی برای محافظت سازه فوقانی در زمان وقوع زلزله، مورد توجه محققان و مهندسان زیادی قرار گرفته و منجر به ابداع انواع گوناگونی از این سیستمهای ایزوله شد [۱ و ۲]. از جمله اهداف مهم سیستمهای ایزوله، کاهش نیروهای افقی وارده به سازه فوقانی و نهایتاً کاهش خسارات وارده به آن است. انواع زیادی از این گونه سیستمها برای ایزوله سازی سازه‌ها پیشنهاد و تعدادی از آنها عملاً برای محافظت ساختمانها، پلها، نیروگاهها و غیره در مقابل زلزله مورد استفاده قرار گرفته‌اند. از آنجایی که برخی از سیستمهای ایزوله دارای طبیعتی غیرخطی بوده (سیستمهای اصطکاکی) و یا به علت تغییر مکانهای قابل توجه و یا وجود المانهای جاذب انرژی، وارد محدوده غیرخطی رفتار مصالح می‌شوند، تعیین رفتار دقیق این گونه سازه‌های ایزوله، نیازمند استفاده از ابزار محاسباتی پیشرفته با قابلیت منظور کردن رفتار غیرخطی و واقعی اجزای مختلف سازه‌ای منجمله ایزولاتورهاست. از طرفی به علت پیچیده بودن مراحل مختلف انجام این گونه محاسبات، فرایند مزبور قابل استفاده در کاربردهای عملی و روزمره مهندسان طراح نخواهد بود. بدین جهت همانند ساختمانهای معمولی، مشکلات گفته شده، مشوق تهیه و ارائه ضوابطی برای تحلیل و طراحی سیستمهای ایزوله شد. در این

خصوص می‌توان به آیین‌نامه SEAONC86 اشاره کرد که برای اولین بار ضوابط مدونی را برای تحلیل و طراحی ساختمانهای ایزوله شده پیشنهاد کرد [۳]. همین طور SEAOC در سال ۱۹۹۰ مجدداً در ضوابط پیشنهادی برای تعیین بارهای جانبی تضمیمه‌ای را به سازه‌های ایزوله شده اختصاص داد که این ضمیمه در سال ۹۱ توسط آیین‌نامه UBC مورد تأیید و استفاده قرار گرفت [۴]. به علت ابهامات موجود در ضوابط ارائه شده در این آیین‌نامه‌ها، مطالعات متعددی در زمینه بررسی این ضوابط صورت پذیرفت. لشکری و کرشر ضوابط آیین‌نامه SEAOC در خصوص عملکرد سیستمهای ایزوله را مورد ارزیابی قرار داده و با بررسی رفتار انواع مختلفی از ایزولاتورها با خواص سختی دو خطی و با فرض صلب بودن سازه فوقانی، مناسب بودن نیروی برش پایه و تغییر مکان طبقه پایه برآورد شده توسط آیین‌نامه مزبور را به صورت کلی مورد تأیید قرار دادند [۵]. ارزیابی به عمل آمده توسط کنستانتینو و همکاران بر روی سیستمهای ایزولاسیون لغزشی با در نظر گرفتن یک سازه فوقانی انعطاف پذیر به نتایج مشابهی منجر شد [۶]. ویتروکنستانتینو و در بررسی دیگری، نتایج حاصل از روشهای تحلیل استاتیکی معادل و طیفی مربوط به سازه‌های ایزوله در آیین‌نامه UBC91 برای سازه‌های فوقانی صلب و انعطاف پذیر را مقایسه کردند. این بررسی نشان‌دهنده نزدیک بودن مقادیر



شکل ۱- منحنی نیرو - تغییر مکان یکی از سیستمهای ایزوله

ایزوله مورد استفاده در مدل‌های سازه‌ای ارائه شده است. در هر سازه ۵ نوع مقطع به کار رفته است که کلیه آنها قوطی شکل و از مقاطع استانداردند. طراحی سازه‌ها براساس آیین‌نامه AISC به روش تنشهای مجاز و با نرم‌افزار SAP90 و SAPSTL و با رعایت تمامی ضوابط آیین‌نامه UBC97، خاص سازه‌های ایزوله انجام شده است. از مهمترین محدودیتهای این آیین‌نامه کنترل تغییر شکل نسبی است که در حد  $\frac{0.015}{R_I}$  نگه داشته شده که در آن  $R_I$  ضریب رفتار سازه‌های ایزوله است. همچنین سعی شده است تا نسبت اندرکنش تنشها در اعضا (تنش موجود به تنش مجاز) در حد ۰/۹ تا ۱/۰۵ حفظ شود. کفها به طور کلی صلب فرض شده‌اند و مرکز جرم به گونه‌ای انتخاب شده است که از یک طرف دارای خروج از مرکز ۵ درصد (۰/۳ متر) باشد. در تحلیلهای تاریخچه زمانی از ۱۰ رکورد زلزله (به صورت ۵ زوج) که مربوط به خاکهای تیپ SA و SB از آیین‌نامه UBC97 و به عبارتی خاکهای سخت‌اند، به شرح جدول (۲) استفاده شده است. طبق بررسی انجام شده توسط لشکری و کرشر [۵]، این رکوردها به نحوی همپایه شده‌اند که متوسط PGV برای هر جفت از رکوردها برابر با 45.7cm/s (18in/sec) شود. برای انجام تحلیل دینامیکی غیرخطی از نرم‌افزار ANSYS [۱۰]، با اثر همزمان دو مؤلفه افقی زلزله استفاده شده و صحت نتایج حاصله در محدوده‌های رفتار خطی و غیرخطی توسط نرم‌افزارهای SAP90 و Drain-2DX کنترل شده‌اند. در ادامه نتایج حاصل از تحلیلهای تاریخچه زمانی برای پارامترهای مختلف سازه‌ای و نیز مقایسه آنها با برخی از ضوابط آیین‌نامه UBC ارائه می‌شود.

تغییر مکان ایزولاتورهای مرکزی و گوشه طبقه پایه حاصل از آیین‌نامه UBC91 به تغییر مکانهای متوسط متناظر حاصل از تحلیلهای غیرخطی تاریخچه زمانی برای خاک نوع S2 بود. برای خاک S1، نتایج حاصل از آیین‌نامه UBC91 برای ایزولاتورهای گفته شده، کمتر از متوسط نتایج تحلیلهای تاریخچه زمانی به دست آمده حاصل شد. در خصوص برش پایه، علی‌رغم مناسب بودن برآورد UBC91 از برش حاصل از تحلیلهای تاریخچه زمانی، توزیع نیروی برشی در هر دو روش از مطلوبیت لازم برخوردار نبوده است [۷].

به موازات نتایج حاصله از این گونه مطالعات، آیین‌نامه UBC94 ضمن انعطاف پذیر فرض کردن سازه فوقانی، نسبت به اصلاح توزیع قبلی و ارائه توزیعی خطی از برش پایه در ارتفاع (مشابه سازه‌های با پایه ثابت) اقدام کرد [۸]. در UBC97 ضمن ارائه تعریف جدیدی برای تغییر مکان طبقه پایه، نحوه محاسبه این پارامتر و همچنین برش پایه تصحیح شده است. همچنین توزیع نیروی برش پایه در طبقات کماکان ثابت مانده است [۹].

هدف از انجام این مطالعه، بررسی مناسب بودن توزیع عمودی نیروهای برشی در آیین‌نامه‌های UBC94 و یا UBC97 است. در این رابطه، توزیع جدیدی برای تقسیم نیروهای برش در ارتفاع پیشنهاد و عملکرد آن مورد مطالعه قرار گرفته است.

## ۲- مشخصات مدل‌های سازه‌ای مورد استفاده

یک سازه فوقانی سه بعدی قاب خمشی ۴ طبقه که در پلان دارای مقطعی مربع به ابعاد ۶×۶ متر و به ارتفاع طبقات ۳/۵ متر است، با تعداد ۸ تیپ ایزولاتور با پریودهای طبیعی بین ۱/۵ الی ۳ ثانیه و نیز میرایی ۶ تا ۳۰ درصد در نظر گرفته شده است. استفاده قبلی از این ایزولاتورها در کارهای تحقیقاتی گفته شده و نیز فراهم کردن امکان مقایسه نتایج حاصله از این مطالعه با آنها، علت این انتخاب بوده است. سازه فوقانی دارای سختی یکسان در هر دو جهت بوده و برای هر سیستم ایزوله، با نیروی برشی پیشنهادی UBC97 طراحی شد. بنابراین در مجموع ۸ مدل سازه‌ای برای انجام تحلیل دینامیکی تاریخچه زمانی غیرخطی تهیه شدند. لازم به یادآوری است که در این تحلیلهای سیستم ایزوله و نیز کلیه اجزای روسازه قادر به بروز رفتار غیرخطی ناشی از مصالح به نحو نشان داده شده در شکل (۱) هستند. در جدول (۱) مشخصات سیستمهای

جدول ۱- مشخصات سیستمهای ایزوله

Properties of Isolation System Analyzed on Stiff Soil Profiles ( $S_A, S_B$ )							
Parameter in Nonlinear Analysis		Design parameters		Equivalent linear Properties		Isolation System Type Number	
$K_2/K_1$	$D_y$ (mm)	Yield force W	Fmax/W	D (mm)	Damping Ratio (%)	Period (sec)	
۰/۳۹۲۱۶	۱۲/۷	۰/۰۵	۰/۲۰	۱۱۰	۷	۱/۵	۳
۰/۲۳۱۴۰	۱۲/۷	۰/۰۷	۰/۱۷	۸۸	۱۵	۱/۵	۴
۰/۳۸۲۸۸	۱۲/۷	۰/۰۳	۰/۱۶	۱۵۳	۶	۲/۰	۶
۰/۱۸۸۶۸	۱۲/۷	۰/۰۵	۰/۱۳	۱۱۵	۱۶	۲/۰	۷
۰/۰۸۵۰۳۴	۱۲/۷	۰/۰۷	۰/۱۱	۹۴	۳۰	۲/۰	۸
۰/۲۳۵۰۴	۱۲/۷	۰/۰۳	۰/۱۲	۱۶۶	۱۰	۲/۵	۹
۰/۰۸۹۲۸۶	۱۴/۷	۰/۰۵	۰/۰۹	۱۲۱	۲۷	۲/۵	۱۰
۰/۱۳۸۸۶	۱۲/۷	۰/۰۳	۰/۰۸	۱۷۳	۱۶	۳/۰	۱۱

### ۳- بررسی برش پایه و توزیع آن در ارتفاع

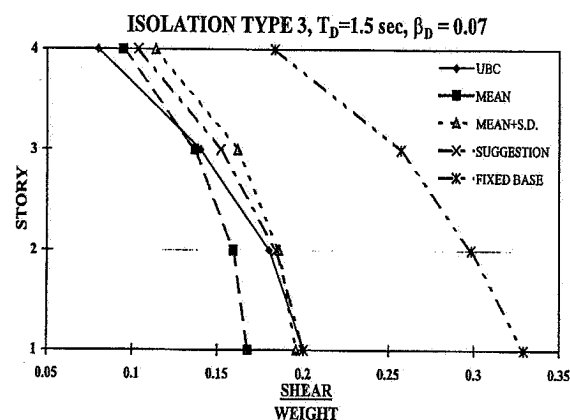
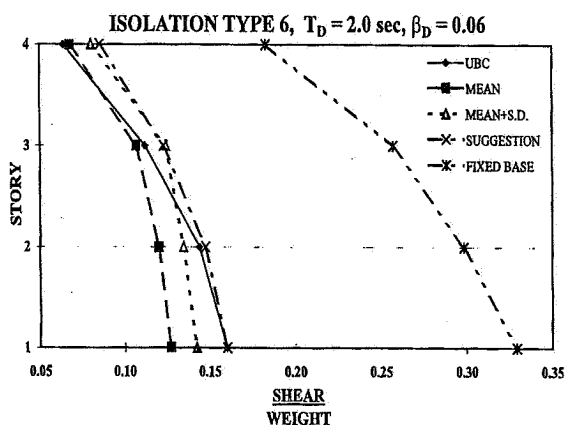
برای ۸ مدل سازه‌ای با سیستمهای ایزوله متفاوت، ضمن استفاده از ۵ جفت رکورد زلزله همپایه شده برحسب PGV، تحلیلهای دینامیکی متعددی انجام و پاسخ مدل‌های سازه‌ای مزبور برای پارامترهایی چون حداکثر تغییر مکان طبقه پایه در گوشه‌ها در دو جهت، برش پایه و برش طبقات در دو جهت و تغییر شکل نسبی طبقات<sup>۱</sup> به دست آمده است. باید توجه داشت که برای تعیین نیروی طراحی واقعی، نتایج تحلیل تاریخچه زمانی برای برش پایه و برش طبقات با استفاده از ضریب  $R_I$  کاهش نیافته است. لازم به ذکر است براساس توصیه UBC97، بایستی از حداقل ۳ جفت رکورد زلزله برای انجام تحلیل دینامیکی غیر خطی تاریخچه زمانی استفاده شده و از حداکثر پاسخ حاصله برای طراحی استفاده شود. برای انجام مقایسه‌ای واضح در مورد هر پارامتر، میانگین و میانگین به اضافه انحراف معیار، محاسبه و با نتایج حاصله از روش استاتیکی معادل توصیه شده توسط UBC97 مقایسه شده است.

نمودارهای توزیع نیروی برش در طبقات برای سیستمهای ایزوله مختلف در روشهای استاتیکی معادل و تاریخچه زمانی در شکل‌های (۲) تا (۹) آورده شده است. در این شکلها نیروی برش

پیشنهادی UBC97 برای طراحی، "UBC" نامگذاری شده و بقیه نمودارها به ترتیب با عنوان متوسط "MEAN"، متوسط باضافه انحراف معیار "MEAN+S.D."، و نهایتاً "FIXED BASE"، برش پایه مدل‌های روسازه‌ای و نیز سازه با پایه صلب را بیان می‌کنند. این شکلها نشان‌دهنده آن است که در سیستمهای ایزوله از نوع ۳ و ۶، مقدار برش پایه به دست آمده از تحلیل تاریخچه زمانی با برش پیشنهادی UBC97 تا حدودی مطابقت دارد. توزیع این برش در طبقات پایین کمی زیاده‌تر و در طبقات بالا تا حدی کمتر از مقادیر پیشنهادی UBC97 تعیین شده است. از مشخصه‌های سیستمهای ایزوله گفته شده، کم بودن ضریب میرایی آنهاست. در سیستمهای ایزوله از نوع ۴، ۷ و ۱۱، مقدار برش پایه پیشنهادی UBC97 قابل قبول بوده ولی کماکان نحوه توزیع آن در طبقات صحیح نیست. UBC97 مقدار برش طبقات کمتری را به خصوص در طبقات بالاتر ارائه می‌کند. این سیستمهای ایزوله دارای ضریب میرایی بین ۱۵ تا ۱۶ درصد هستند. در سیستم ایزوله تیپ ۱۱ میزان برش پایه پیشنهادی از متوسط نتایج تحلیلها کمتر است. علت این مسئله را می‌توان در پررود بالای سیستم ایزوله (۳ ثانیه) جستجو کرد. در سیستمهای ایزوله از نوع ۸ و ۱۰، هم مقدار برش پایه و هم

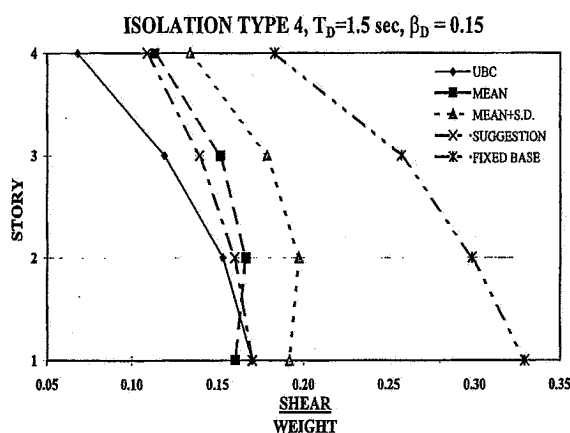
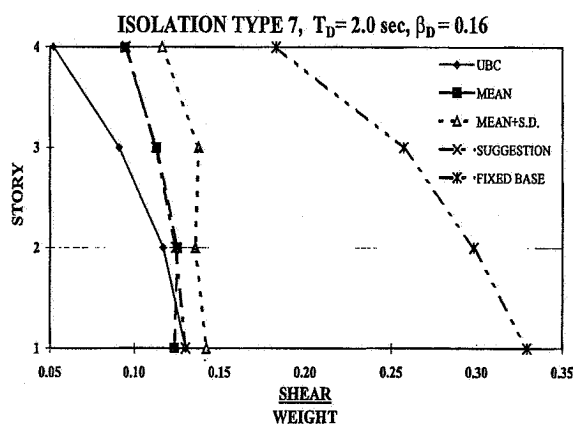
جدول ۲- مشخصات رکوردهای زلزله

ضریب	رکورد مقیاس شده		رکورد مقیاس نشده		نام زلزله	نام ایستگاه	ردیف
	PGV	PGA	PGV	PGA			
۱/۰۵۳۶	۴۰/۰۷	۰/۳۶۷۰	۳۸/۰۳	۰/۳۴۸۳	IMPERIAL VALLEY	ال سترو ۱۹۴۰	۱
	۵۱/۳۳	۰/۱۹۱۹	۴۸/۷۲	۰/۱۸۲۱			
۶/۲۰۵۹	۳۶/۴۵	۰/۳۶۷۴	۵/۸۷۳	۰/۰۵۹۲	HOLLYWOOD STORAGE R.E	کرن کانتی ۱۹۵۲	۲
	۵۴/۹۵	۰/۲۶۰۹	۸/۸۵۵	۰/۰۴۲۰			
۰/۸۳۵۷	۴۲/۵	۰/۶۵۱۳	۵۰/۷۵	۰/۷۷۷۷	IMPERIAL VALLEY BONDS CORNER	ال سترو ۱۹۷۹	۳
	۴۸/۹۰	۰/۴۹۸۵	۵۸/۳۹	۰/۵۹۵۲			
۱/۹۶۴۷	۳۹/۲۶	۰/۶۱۹۷	۱۹/۹۸	۰/۳۱۵۴	CASTAIC OLD RIDGE ROUTE	سانفرنان دو ۱۹۷۱	۴
	۵۲/۱۴	۰/۵۳۱۷	۲۶/۵۴	۰/۲۷۰۶			
۲/۵۷۸۳	۴۶/۴۱	۰/۴۰۱۴	۱۸/۰۰	۰/۱۵۵۷	KERN COUNTRY LICOLN SCHOOL	تفت ۱۹۵۲	۵
	۴۴/۹۹	۰/۴۶۲۳	۱۷/۴۵	۰/۱۷۹۳			



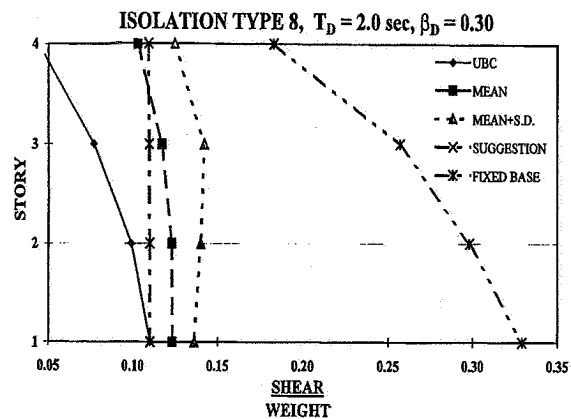
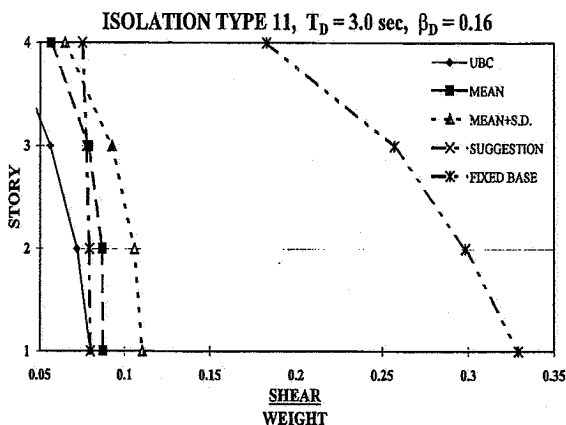
شکل ۴- تغییرات نیروی برش در طبقات برای سیستم ایزوله تپ ۶

شکل ۲- تغییرات نیروی برش در طبقات برای سیستم ایزوله تپ ۳



شکل ۵- تغییرات نیروی برش در طبقات برای سیستم ایزوله تپ ۷

شکل ۳- تغییرات نیروی برش در طبقات برای سیستم ایزوله تپ ۴

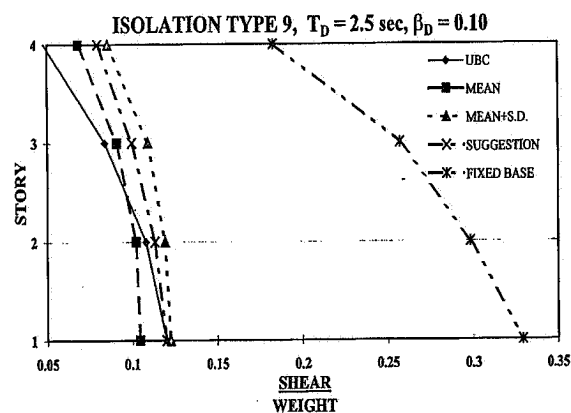


شکل ۹- تغییرات نیروی برش در طبقات برای سیستم ایزوله تپ ۱۱

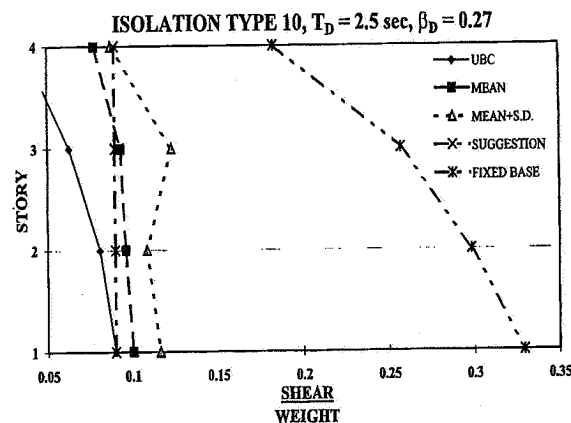
شکل ۸- تغییرات نیروی برش در طبقات برای سیستم ایزوله تپ ۸

نیروی برش طبقات در این سیستم‌های ایزوله دیده می‌شود، ثابت بودن مقدار برش در طبقات است. این مسئله از رفتار کاملاً غیرخطی سیستم ایزوله ناشی می‌شود. بنابراین به صورت کلی می‌توان اظهار کرد که توزیع یکنواخت پیشنهادی UBC91 و توزیع مثلثی پیشنهادی UBC94 و یا UBC97 هیچ یک معرف توزیع برش واقعی برای سیستم‌های ایزوله نیستند.

همچنین همان طور که مقایسه پاسخ سازه‌های ایزوله با سازه‌های ایزوله نشده، در شکل‌های (۲) تا (۹) نشان می‌دهند، برش پایه و برش طبقات در یک سازه ایزوله شده همواره کمتر از برش پایه و برش طبقات سازه با پایه ثابت است. این کاهش تابع مشخصات سیستم‌های ایزوله است. با افزایش پیرو و همچنین افزایش میزان میرایی سیستم ایزوله، اختلاف این نیروها بیشتر خواهد شد. همچنین نیروی برش پایه پیشنهادی UBC97 برای سازه‌های ایزوله با ایزولاتورهایی با ضریب میرایی بیش از ۱۵ درصد و پیرو بالای ۲/۵ ثانیه کمتر از برش پایه یک سازه ایزوله شده حاصله از تحلیل تاریخچه زمانی است.



شکل ۷- تغییرات نیروی برش در طبقات برای سیستم ایزوله تپ ۹



شکل ۸- تغییرات نیروی برش در طبقات برای سیستم ایزوله تپ ۱۰

#### ۴- بررسی تغییر مکان نسبی طبقات

نمودارهای مشابهی برای تغییر شکل نسبی طبقات نیز وجود دارد که از آوردن آنها در این مقاله خودداری شده است. از نکات مهم این نمودارها، کم بودن قابل توجه تغییر شکل نسبی یک ساختمان ایزوله نسبت به یک ساختمان با پایه‌های ثابت است. همچنین، با افزایش ضریب میرایی ایزولاتور، میزان تغییر شکل‌های نسبی در

توزیع ارائه شده توسط آیین‌نامه UBC97 کمتر از مقادیر حاصله از تحلیل غیرخطی تاریخچه زمانی است. سیستم‌های ایزوله مزبور، دارای ضریب میرایی بین ۲۵ تا ۳۰ درصدند. آنچه در توزیع واقعی

سازه بیشتر از حد مجاز UBC97 می‌شود. علت این امر به خصوص در طبقات بالا ناشی از کمتر برآورد شدن مقدار برش و نتیجتاً رفتار غیرخطی ستونهای طبقات آن است.

## ۵- بررسی تغییر مکان ایزولاتورها

در خصوص تغییر مکان طبقه پایه، با توجه به وجود خروج از مرکزیت در مدل روسازه‌ای، تغییر مکانهای مرکزی طبقه پایه و همچنین حداکثر تغییر مکان گوشه‌ها با مقادیر متناظر از UBC97 در شکل‌های (۱۰) تا (۱۲) مقایسه شده است. در همه موارد تغییر مکانها بر حسب پربود سیستم ایزوله ترسیم شده است. در این نمودارها، تغییر مکانهای مرکز و گوشه‌های طبقه پایه به دست آمده از تحلیل تاریخچه زمانی با "CENTER TIME HISTORY" و "CORNER TIME HISTORY" و تغییر مکانهای پیشنهادی UBC97 با جملات "CENTER UBC" و "CORNER UBC" مشخص شده است. از این شکلها می‌توان نتیجه گرفت که با افزایش استهلاك سیستم ایزوله، تغییر مکان پایه کاهش پیدا می‌کند. علت این امر افزایش قابلیت جذب انرژی در سیستمهای ایزوله با استهلاك زیاد است. هرچه سیستم ایزوله استهلاك بیشتری داشته باشد، نیروی انتقالی به سازه فوقانی کاهش یافته و در نتیجه تغییر مکان کمتری رخ می‌دهد.

با افزایش پربود سیستم ایزوله، تغییر مکان طبقه پایه افزایش یافته و این سیستم انعطاف پذیرتر می‌شود. به همین دلیل واضح است که تغییر مکان بیشتری در این گونه سیستمها با پربودهای بالاتر وجود داشته باشد. در سیستمهای ایزوله با میرایی کم، برآورد UBC97 از تغییر مکان طبقه پایه بیشتر است. همین‌طور، در سیستمهای ایزوله با استهلاك متوسط نیز برآورد UBC97 تا حدی بیش از نتایج تحلیل تاریخچه زمانی است. ولی آیین‌نامه مزبور برآورد بهتری نسبت به سیستمهای ایزوله با استهلاك کم به دست می‌دهد. در سیستمهای ایزوله با استهلاك زیاد، تغییر مکان مرکز طبقه پایه مربوط به UBC97، تطابق کاملی با نتایج تاریخچه زمانی داشته و تغییر مکان گوشه‌ها برآورد بیشتری را نشان می‌دهند. اختلاف قابل ملاحظه نتایج تحلیلهای تاریخچه زمانی با مقادیر ارائه شده در UBC94، نشان دهنده اصلاح شدن آنها در نسخه UBC97 است که به دلیل اختصار از ارائه نتایج مربوطه صرف نظر می‌شود.

## ۶- پیشنهاد یک توزیع جدید برای نیروهای برشی در ارتفاع

با توجه به نارسایی روابط ارائه شده در آیین‌نامه UBC97 برای توزیع عمودی نیروی برش پایه، روشهای مختلفی برای اصلاح این نحوه توزیع مورد بررسی قرار گرفت. در نهایت با فرض درست بودن میزان نیروی برش پایه پیشنهادی آیین‌نامه مزبور، استفاده از یک نیروی متمرکز در تراز سقف سازه به میزان:

$$F_t = 1.5 \beta T V_s$$

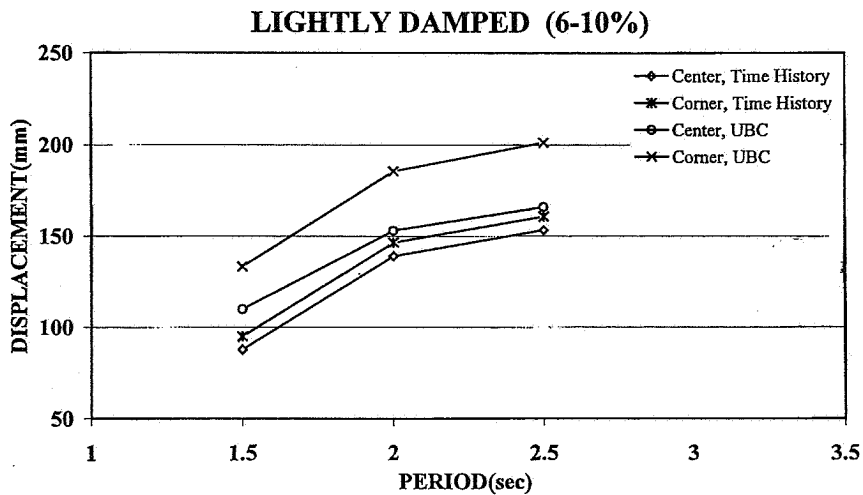
منجر به نتایج مناسبی شد. در این معادله  $V_s$  برش پایه کل (مربوط به سازه‌های ایزوله)،  $T$  پربود طبیعی روسازه و  $\beta$  نسبت استهلاك سیستم ایزولاتورند. در این صورت توزیع نیروی برش در تراز سایر طبقات به شکل زیر خواهد بود:

$$F_i = \frac{W_i h_i}{\sum_{j=1}^n W_j h_j} (V_s - F_t) \quad i=1, \dots, n$$

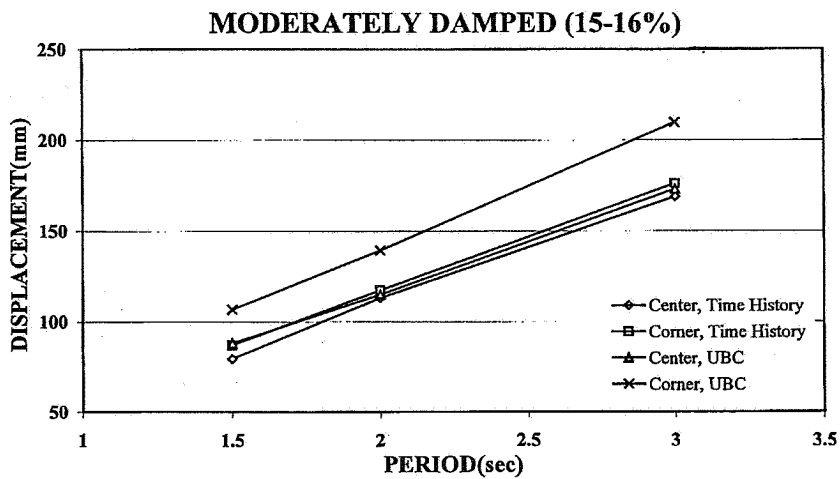
$n$  تعداد طبقات روسازه بوده و نیروی  $F_t$  به برش پایه طبقه آخر حاصله از معادله بالا اضافه می‌شود. همان‌طور که شکل‌های (۲) الی (۹) نشان می‌دهند، توزیع پیشنهادی، پیشرفت قابل قبولی را در جهت انطباق با توزیع واقعی برش در طبقات حاصله از تحلیل دینامیکی غیرخطی تاریخچه زمانی به دست می‌دهد.

## ۷- بررسی رفتار غیرخطی اجزای روسازه

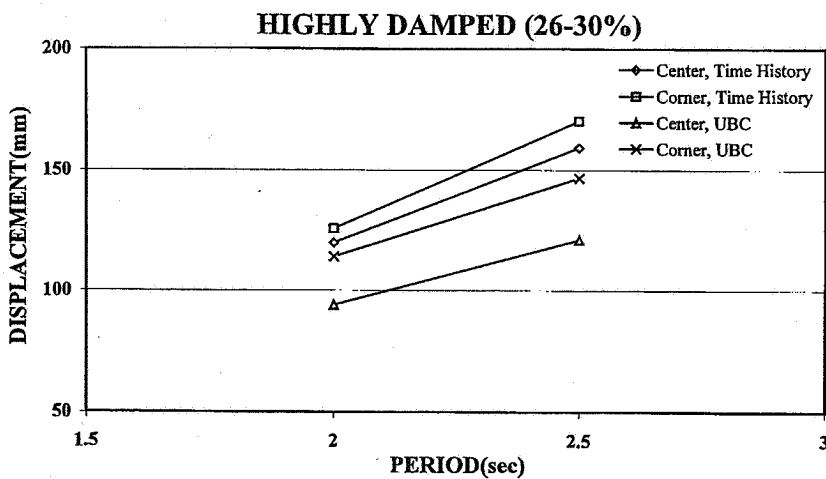
از جمله نکات مهم این مطالعه بررسی رفتار غیرخطی سازه فوقانی است. در این رابطه تعداد المانهایی از سازه فوقانی که وارد محدوده رفتار غیرخطی شده‌اند، یکی از پارامترهای مورد نظر بوده است. به عنوان مثال (شکل ۱۳) نشان‌دهنده بیشترین درصد بروز رفتار غیرخطی در ستونهای طبقه چهارم کلیه مدل‌های سازه‌ای است. در این خصوص تناسب موجود بین افزایش میزان استهلاك ایزولاتورها و افزایش میزان غیرخطی شدن ستونها به خصوص در ستونهای طبقات سوم قابل توجه است. همان‌طور که در بخش توزیع نیروی برشی دیده شد، UBC97 برآورد نامناسبی از توزیع نیروی برش در طبقات بالا ارائه کرده و این امر منجر به ضعیفتر شدن مقاطع مورد استفاده در طراحی ستونها می‌شوند. این مسئله به خصوص در سیستمهای ایزوله با استهلاك زیاد که توزیع نیروی



شکل ۱۰- تغییر مکان طبقه پایه برای سیستمهای ایزوله با درصد میرایی کم

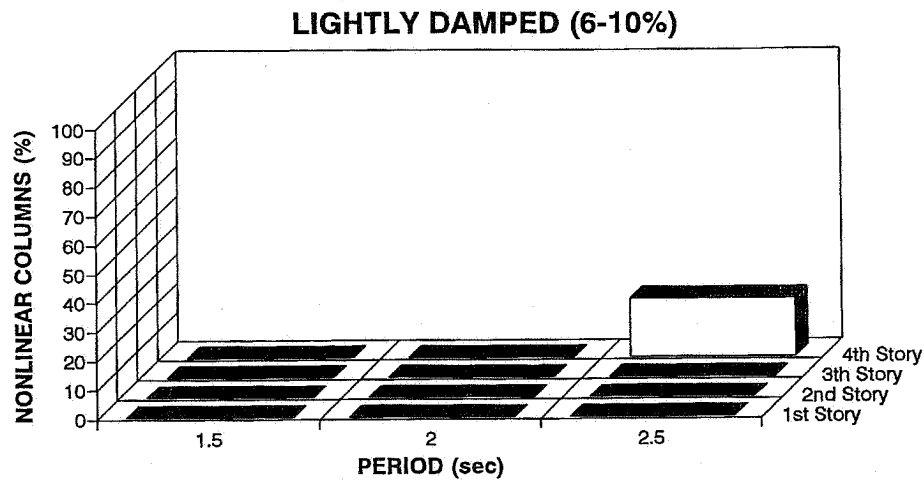


شکل ۱۱- تغییر مکان طبقه پایه برای سیستمهای ایزوله با درصد میرایی متوسط

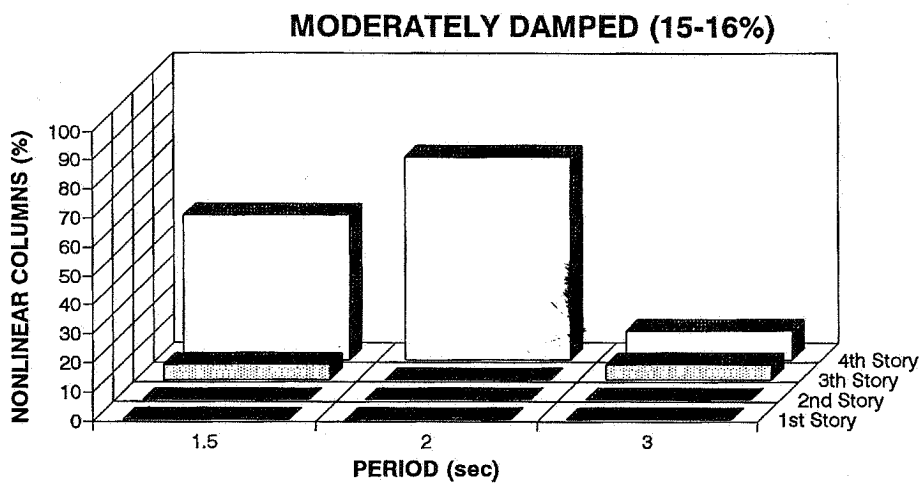


شکل ۱۲- تغییر مکان طبقه پایه برای سیستمهای ایزوله با درصد میرایی زیاد

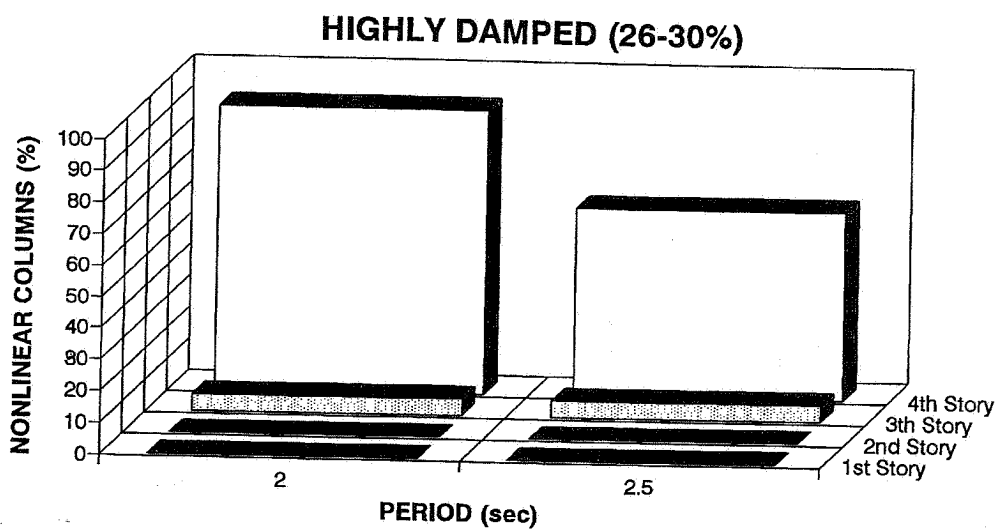




شکل ۱۳- درصد غیرخطی شدن ستونها برای سیستمهای ایزوله با درصد میرایی کم



شکل ۱۴- درصد غیرخطی شدن ستونها برای سیستمهای ایزوله با درصد میرایی متوسط



شکل ۱۵- درصد غیرخطی شدن ستونها برای سیستمهای ایزوله با درصد میرایی زیاد

برشی ارائه شده توسط UBC97 برای آنها کاملاً نادرست است، مشهودتر است. همچنین در این مطالعه درصد غیرخطی شدن ستونها، رابطه خاصی با پیوند و سیستم ایزوله را به دست نمی دهد.

#### ۸- نتیجه گیری

در این پروژه ضوابط مربوط به روش استاتیکی معادل آیین نامه UBC97 در تعیین برش و تغییر مکان نسبی طبقات و تغییر مکان طبقه پایه سازه های ایزوله شده مورد بررسی قرار گرفته است. برای این منظور ۸ مدل سازه ای تحت اثر ۱۰ رکورد زلزله در دو جهت طولی و عرضی به طور همزمان تحلیل غیرخطی تاریخچه زمانی شده اند. نتایج حاصله شامل برش طبقات و برش پایه، تغییر مکان نسبی طبقات، حداکثر تغییر مکان مرکز و گوشه طبقه پایه و همچنین درصد غیرخطی شدن ستونها مورد بررسی قرار گرفته است. حاصل این بررسیها را می توان به صورت زیر خلاصه کرد:

۱- نیروی برش پایه پیشنهاد شده توسط UBC97 به جز برای

واژه نامه

ایزولاتورهای با استهلاک بالا که به میزان کمتری برآورد شده است، از دقت مطلوبی برخوردار است.

۲- توزیع نیروی برش در طبقات، فاقد دقت کافی است. بررسی نتایج تحلیلهای تاریخچه زمانی نشان می دهد که هر دو توزیع خطی و یکنواخت نمی توانند توزیع مناسبی به شمار آیند.

۳- توزیع نیروی برش طبقات پیشنهادی UBC97، نیروی برشی بسیار کمی برای طبقات بالا در مقابل نیروی برشی واقعی نشان می دهد. این اختلاف در برخی حالتها تا ۱/۵ برابر نیز می رسد.

۴- برآورد UBC97 از تغییر مکان طبقه پایه، برآورد مطلوبی بوده ولی برای سیستمهای ایزوله با استهلاک کم این برآورد تا حدی محافظه کارانه است. همچنین تغییر مکان طبقه پایه پیشنهادی UBC97 تخمین بهتری را نسبت به UBC94 ارائه می کند.

۵- روش توزیع پیشنهادی برش پایه در ارتفاع سبب انطباق هرچه بیشتر نتایج حاصله از تحلیلهای تاریخچه زمانی با ضوابط آیین نامه UBC97 شده است.

#### 1. drift

#### مراجع

1. Su, L., and Ahmadi. G., "A Comparative Study of Performance of Various Base Isolation Systems, Part 1: Shear Beam Structures," *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, Vol. 18, pp. 11-32, 1989.
2. Fan, F., Ahmadi, G., Mostaghel. N. and Tadjbakhsh, I. G., "Performance Analysis of Aseismic Base Isolation Systems for a Multi-Story Building," *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, Vol. 10, No. 3, 1991.
3. Structural Engineers Association of North California (SEAONC), "Tentative Seismic Isolation Design Requirements," San Francisco, C. A., 1986.
4. "Uniform Building Code (1991)," *International Congress of Building officials*, Whittier, C. A.
5. Lashkari, B., and Kircher, C. A., "Evaluation of SEAOC/UBC Analysis Procedures Part 1: Stiff Superstructure," *ATC-17-1*, pp. 149-160.
6. Constantinou, M. C., Winter, C. W., and Theodossiou, D., "Evaluation of SEAOC/UBC Analysis Procedures, Part 2: Flexible Superstructure," *ATC-17-1*, pp. 161-172.
7. Winter, C. W., and Constantinou, M. C., "Evaluation of Static and Response Analysis Procedures of SEAOC/UBC for Seismic Isolated Structure," *NCEER*, 1993.
8. "Uniform Building Code (1994)," *International Congress of Building officials*, Whittier, C. A.
9. "Uniform Building Code (1997)," *International Congress of Building officials*, Whittier, C. A.
10. "ANSYS" A Numerical Analysis Software Prepared by Swanson Analysis System Inc., Houston, P.A., 1992.