بسم الله الرحمن الرحيم

٩٩١١٧

دانشگاه تربیت مدرس
دانشکـــده فنی و مهندسی

پایان‌نامه کارشناسی ارشد مهندسی عمران – مهندسی زلزله

عنوان:

بررسی رفتارلرزه‌ای دیواره‌های برشی دارای بتن با مقاومت بالا در ساختمان‌های بلند

استاد راهنما:
آقای دکتر عباسعلی تسنیمی

دانشجو:
لیلا اسماعیلی نژاد

۱۳۸۷ /۷/ ۱۵

تابستان ۱۳۸۴

۹۹۱۱۷

بسمه تعالی

تاییدیه هیات داوران

خانم لیلا اسماعیلی نژاد پایان نامه ۶ واحدی خود را **با عنوان بررسی رفتار لرزه ای دیوارهای برشی با بتن با مقاومت بالا در ساختمانهای بلند** در تاریخ ۱۳۸۴/۶/۳۰ ارائه کردند.

اعضای هیات داوران نسخه نهایی این پایان نامه را از نظر فرم و محتوا تایید کرده و پذیرش آنرا برای تکمیل درجه کارشناسی ارشد مهندسی عمران - مهندسی زلزله پیشنهاد می کنند.

عضو هیات داوران	نام و نام خانوادگی	رتبه علمی	امضا
استاد راهنما	دکتر عباسعلی تسنیمی	دانشیار	
استاد ناظر	دکتر ابوالفضل عربزاده	استادیار	
استاد ناظر	دکتر مسعود سلطانی محمدی	استادیار	
استاد ناظر	دکتر محمد تقی کاظمی	استادیار	
مدیر گروه (یا نماینده گروه تخصصی)	دکتر ناصر خاجی	استادیار	

۹۹۱۱۷

دستورالعمل حق مالکیت مادی و معنوی در مورد نتایج پژوهشهای علمی دانشگاه تربیت مدرس

مقدمه: با عنایت به سیاست‌های پژوهشی دانشگاه در راستای تحقق عدالت و کرامت انسانها که لازمه شکوفایی علمی و فنی است و رعایت حقوق مادی و معنوی دانشگاه و پژوهشگران، لازم است اعضای هیات علمی، دانشجویان، دانش آموختگان و دیگر همکاران طرح، در مورد نتایج پژوهشهای علمی که تحت عناوین پایان‌نامه، رساله و طرحهای تحقیقاتی با هماهنگی دانشگاه انجام شده است، موارد ذیل را رعایت نمایند:

ماده ۱- حقوق مادی و معنوی پایان نامه‌ها / رساله‌های مصوب دانشگاه متعلق به دانشگاه است و هرگونه بهره‌برداری از آن باید با ذکر نام دانشگاه و رعایت آیین‌نامه‌ها و دستورالعمل‌های مصوب دانشگاه باشد.

ماده ۲- انتشار مقاله یا مقالات مستخرج از پایان نامه/ رساله به صورت چاپ در نشریات علمی و یا ارائه در مجامع علمی می‌باید به نام دانشگاه بوده و استاد راهنما نویسنده مسئول مقاله باشند.

تبصره: در مقالاتی که پس از دانش آموختگی بصورت ترکیبی از اطلاعات جدید و نتایج حاصل از پایان‌نامه/ رساله نیز منتشر می‌شود نیز باید نام دانشگاه درج شود.

ماده ۳- انتشار کتاب حاصل از نتایج پایان نامه / رساله و تمامی طرحهای تحقیقاتی دانشگاه باید با مجوز کتبی صادره از طریق حوزه پژوهشی دانشگاه و براساس آیین‌نامه‌های مصوب انجام می‌شود.

ماده ۴- ثبت اختراع و تدوین دانش فنی و یا ارائه در جشنواره‌های ملی، منطقه‌ای و بین‌المللی که حاصل نتایج مستخرج از پایان نامه/ رساله و تمامی طرح‌های تحقیقاتی دانشگاه باید با هماهنگی استاد راهنما یا مجری طرح از طریق حوزه پژوهشی دانشگاه انجام گیرد.

ماده ۵- این دستورالعمل در ۵ ماده و یک تبصره در تاریخ ۱۳۸۴/۴/۲۵ در شورای پژوهشی دانشگاه به تصویب رسیده و از تاریخ تصویب لازم الاجرا است و هرگونه تخلف از مفاد این دستورالعمل، از طریق مراجع قانونی قابل پیگیری خواهد بود.

چکیده:

موضوع استفاده از بتن با مقاومت بالا در سالهای اخیر مورد توجه محققان و سازندگان ساختمانهای بتن مسلح و بویژه ساختمانهای بلند قرار گرفته است. در خصوص ساختمانهای بلند و در ساختمانهایی که از دیوارهای برشی به عنوان سیستم مقاوم در برابر زلزله استفاده می کنند، استفاده از بتن با مقاومت بالا، با توجه به رفتار لرزه ای آنها چندان روشن نیست. از این جهت، این تحقیق با این نگاه که استفاده از بتن با مقاومت بالا در تمام ارتفاع دارای مشکلات اجرایی و صرف هزینهٔ سنگین می باشد، بدنبال بررسی رفتار لرزه ای دیوارهای برشی بلند که از بتن ترکیبی با مقاومت های مختلف تشکیل شده باشد، بوده و با این بررسی نتایج قابل توجهی بدست آمده است.

بدین منظور تعداد ۲۱ سازه سه بعدی در دو پلان مختلف و برای تعداد طبقات ۳۲ و ۱۵ برای حالات گوناگون در استفاده از بتن با مقاومت های متفاوت (از MPa ۲۱ تا MPa ۸۰)، توسط نرم افزار Etabs مورد تحلیل استاتیکی معادل و دینامیکی طیفی قرار گرفت.

پس از طراحی قابها و دستیابی به طرح نهایی دیوارهای برشی استفاده شده، کلیه دیوارها (۲۱ عدد) با توجه به شرایط استفاده از بتن های متفاوت و بتن با مقاومت ثابت در ارتفاع، و در اختیار داشتن مشخصات مکانیکی بتن های متفاوت، توسط نرم افزار IDARC مورد تحلیل استاتیکی غیرخطی قرار گرفتند. با بررسی نتایج به دست آمده از این تحلیل، بهترین دیوارها مبتنی بر منحنی ظرفیت و توزیع ترک خوردگیها و تشکیل مفاصل پلاستیک در ارتفاع، انتخاب و توسط نرم افزارIDARC مورد تحلیل دینامیکی تاریخچه زمانی برای پنج شتابنگاشت مختلف قرار گرفت. نتایج بدست آمده پس از مقایسه و بررسی نشان می دهد که استفاده از بتن با مقاومت بالا نیازمند توجه به اثر آن در میزان استهلاک انرژی، تغییرات سختی و هزینه های ذیربط می باشد. از نتایج دیگر بدست آمده می توان گفت که ظرفیت غیرارتجاعی دیوارها به مراتب بیشتر از حدود پیشنهادی توسط آئین نامه های UBC و ۲۸۰۰ می باشد.

فهرست مطالب

مقدمه ۱

فصل اول – کلیات ساختمانهای بلند

۱-۱- مقدمه ۳

۱-۲- تاریخچه تحقیقات ۳

۱-۳- سیستمهای سازه ای ۶

۱-۳-۱- قاب صلب ۶

۱-۳-۲- قاب مهاربندی شده ۷

۱-۳-۳- قاب و دیوار برشی ۸

۱-۳-۴- سیستم قاب لوله ای ۹

۱-۳-۵- سیستم لنگربندی ۱۲

۱-۴- پاسخ ساختمانهای بلند ۱۳

۱-۴-۱- پریود اصلی سازه ۱۳

۱-۴-۲- اثر خاک ۱۴

۱-۴-۳- میرایی ۱۵

۱-۴-۴- تغییرشکلهای ساختمان ۱۶

۱-۵- تحلیل و طراحی ۱۷

۱-۶- بارگذاری ۱۷

۱-۷- تحلیل ۱۸

۱-۷-۱- روشهای خطی ۱۸

۱-۷-۱-۱- تحلیل استاتیکی معادل ۱۸

۱-۷-۱-۲- تحلیل دینامیکی خطی ۱۹

۱-۷-۱-۲-۱- روش طیف طرح ۲۰

۱-۷-۱-۲-۲- روش تاریخچه زمانی ۲۰

۱-۷-۲- روشهای غیرخطی ۲۱

۱-۷-۲-۱- روش استاتیکی غیرخطی ۲۱

۱-۷-۲-۱-۱- انواع بارگذاری ۲۱

۱-۷-۲-۲- روش دینامیکی غیرخطی ۲۲

فصل دوم – دیوارهای برشی

۲-۱- مقدمه ۲۴
۲-۲- انواع دیوار برشی ۲۴
۲-۲-۱- دیوار برشی کوتاه ۲۴
۲-۲-۲- دیوار برشی طره ای بلند ۲۵
۲-۳- شکل مقطع ۲۵
۲-۴- تقسیم بندی دیوار برشی از نظر اینکه دارای بازشو باشد یا نباشد ۲۵
۲-۴-۱- رفتار دیوارهای بدون بازشو ۲۵
۲-۴-۲- رفتار دیوارهای دارای بازشو ۲۶
۲-۵- روشهای مدلسازی دیوارها ۲۷
۲-۶- طرح لرزه ای دیوارهای برشی ۳۰
۲-۷- نحوه شکست دیوارهای برشی ۳۳
۲-۷-۱- تخریب خمشی ۳۳
۲-۷-۲- شکست برشی ۳۴
۲-۷-۳- تخریب برشی – لغزشی ۳۴
۲-۷-۴- تخریب ناشی از چرخش شالوده ۳۵

فصل سوم – بتن با مقاومت بالا

۳-۱- مقدمه ۳۷
۳-۲- انتخاب مصالح ۳۷
۳-۲-۱- سیمان ۳۷
۳-۲-۲- سنگدانه ها ۳۸
۳-۲-۳- آب ۳۹
۳-۳- مشخصات مکانیکی بتن با مقاومت بالا ۳۹
۳-۳-۱- مدول الاستیسیته ۴۰
۳-۳-۲- نسبت پواسون ۴۰
۳-۳-۳- مقاومت کششی ۴۱
۳-۳-۴- روند دستیابی مقاومت با افزایش سن بتن ۴۱
۳-۳-۵- روش گسیختگی و شکست ۴۱

۳-۳-۶- منحنی تنش – کرنش بتن ۴۲
۳-۴- کاربرد بتن با مقاومت بالا ۴۳
فصل چهارم – مبانی نظری استفاده شده در نرم افزار IDARC
۴-۱- مقدمه ۴۶
۴-۲- مبانی محاسباتی ۴۷
۴-۳- فرمول بندی کلی برای المانهای سازه ای ۴۷
۴-۴- المان دیوار برشی ۴۸
۴-۵- مدلهای هیسترزیس ۴۹
۴-۶- روشهای مختلف تحلیل ۴۹
۴-۷- قابلیت های دیگر ۵۲
۴-۷-۱- اثر P-Δ ۵۲
۴-۷-۲- مدل پلاستیسیته مجزا ۵۳
۴-۷-۳- مدل نفوذ جاری شدن ۵۴
۴-۷-۴- تحلیل مقادیر ویژه ۵۵
۴-۷-۵- پاسخ های سازه ای خروجی برنامه ۵۵
فصل پنجم – مدلهای سازه ای دیوارهای برشی
۵-۱- مقدمه ۵۷
۵-۲- انتخاب، بارگذاری و طراحی سازه ها ۵۷
۵-۲-۱- نحوه انتخاب دیوار برشی در پلان ۵۷
۵-۲-۲- بارگذاری ۶۰
۵-۳- مشخصات بتن ۶۰
۵-۴- تحلیل ۶۱
۵-۵- طراحی سازه ها ۶۴
۵-۶- نامگذاری دیوارها ۶۵
فصل ششم – تحلیل مدلها و نتیجه گیری
۶-۱- مقدمه ۷۰
۶-۲- تحلیل استاتیکی غیرخطی ۷۰
۶-۳- پاسخ دیوارهای انتخابی ۷۰

۶-۳-۱- روش نیرو ۷۱
۶-۳-۲- روش سختی ۷۱
۶-۴- نتایج تحلیل استاتیکی غیرخطی ۷۳
۶-۴-۱- تحلیل استاتیکی غیرخطی دیوارهای ۳۲ طبقه ۷۳
۶-۴-۲- تحلیل استاتیکی غیرخطی دیوارهای ۱۵ طبقه ۷۵
۶-۵- تحلیل استاتیکی غیرخطی دیوارهای برشی با بتن ترکیبی f_c=45 Mpa و f_c=30 Mpa ۸۰
۶-۶- تحلیل استاتیکی غیرخطی دیوارهای برشی با بتن ترکیبی f_c=60 Mpa و f_c=30 Mpa ۸۲
۶-۷- تحلیل استاتیکی غیرخطی دیوارهای برشی با بتن ترکیبی f_c=80 Mpa و f_c=30 Mpa ۸۴
۶-۸- تحلیل دینامیکی غیرخطی ۹۲
۶-۹- مقیاس نمودن شتابنگاشت ها ۹۲
۶-۱۰- نحوه محاسبه طیف پاسخ ۹۳
۶-۱۱- پاسخ دیوارهای انتخابی در تحلیل دینامیکی غیرخطی ۹۵
۶-۱۱-۱- پاسخ دیوارهای ۳۲ طبقه ۹۶
۶-۱۱-۲- پاسخ دیوارهای ۱۵ طبقه ۹۸
۶-۱۲- نتیجه گیری ۱۰۳
۶-۱۳- پیشنهادات برای مطالعات بعدی ۱۰۳
فهرست منابع و مراجع ۱۰۴
ضمیمه شماره ۱ مشخصات فنی دیوارها ۱۰۶
ضمیمه شماره ۲ نتایج تحلیل دینامیکی غیرخطی دیوارها ۱۱۸

مقدمه:

با توجه به روند رو به رشد، افزایش ارتفاع ساختمانها، نیاز به استفاده از مصالح با مقاومت بالا به منظور کاهش ابعاد مقاطع سازه ای و بهبود رفتار لرزه ای آنها، بیشتر احساس می شود. در زمینهٔ مشخصات مکانیکی بتن با مقاومت بالا، که مورد نیاز طراحی مقاطع سازه ای می باشد، تحقیقات و مطالعات زیادی انجام شده است.

در سال ۱۹۸۲ اسلیت و مارتینز مدلی برای منحنی تنش – کرنش بتن با مقاومت بالا ارائه دادند که در سالهای بعد این مدل توسط افراد مختلف اصلاح شد [۱].

به دلیل اینکه بتن با مقاومت بالا دارای منحنی تنش – کرنش متفاوت با بتن معمولی می باشد، استفاده از آن در ساختمان باعث تغییر رفتار مقاطع سازه ای می شود.

از طرفی دیوار برشی بعنوان یک سیستم مناسب برای مقابله با نیروهای جانبی (باد یا زلزله) در ساختمانهای بلند و متوسط شناخته شده است. بنابراین نیاز است تحقیقات و مطالعاتی در زمینه استفاده از بتن با مقاومت بالا در دیوارهای برشی انجام شود، البته تحقیقات انجام شده در این زمینه بسیار محدود می باشد [۳،۴]. بنابراین در پایان نامه حاضر به این موضوع پرداخته شده است.

این پایان نامه شامل ۶ فصل می باشد. در فصل اول به کلیاتی درباره ساختمانهای بلند شامل سیستمهای سازه ای، عوامل موثر بر پاسخ ساختمانهای بلند و روشهای تحلیل آنها اشاره شده است. در فصل دوم به مسائل کلی دیوارهای برشی مانند شکل مقطع، رفتار، نحوه مدلسازی و طرح لرزه ای پرداخته می شود. فصل سوم برای آشنایی با بتن با مقاومت بالا، مشخصات مکانیکی و کاربرد آنها در مقاطع سازه ای مورد بررسی قرار می گیرد. در فصل چهارم مبانی نظری نرم افزار IDARC در مدلسازی و تحلیل های غیرخطی دیوارها مرور می شود. فصل پنجم به نحوه انتخاب پلانهای مورد مطالعه، تحلیل و طراحی آنها در نرم افزارETABS و همچنین نامگذاری دیوارهای انتخابی از پلانهای مذکور می پردازد. در فصل ششم نیز نتایج تحلیل های استاتیکی غیرخطی و دینامیکی غیرخطی دیوارها با بتن های با مقاومت مختلف ارائه می گردد.

برای تحلیل دیوارها، ابتدا سازه های سه بعدی با بتن های با مقاومت مختلف در نرم افزار ETABS مورد تحلیل استاتیکی معادل و دینامیکی طیفی قرار گرفته اند سپس در نرم افزار IDARC تحلیل های استاتیکی غیرخطی و دینامیکی غیرخطی بر روی دیوارهای انتخابی از این سازه ها انجام شده است. هدف از انجام این تحلیل ها مقایسه رفتار دیوارهای برشی با بتن با مقاومت بالا و دیوارهای با بتن معمولی می باشد، که نتایج استخراج شده در فصل ششم ارائه شده است.

فصل اول

کلیات ساختمانهای بلند

۱-۱- مقدمه :

با توجه به نیازمندی جامعهٔ بشری در حال پیشرفت به مسکن و مشکل کمبود زمین، ساختمانهای بلند به عنوان یکی از راههای پاسخ به این مسأله مطرح شده است. از طرفی رشد تکنولوژیکی فرآیند ساخت و ساز زمینه را برای افزایش ارتفاع ساختمانها فراهم آورده است. بنابراین هر جامعه ای که از پیشرفت های تکنولوژیکی ساخت و ساز بیشتر بهره مند باشد به همان میزان ساختمانهای مرتفع تری دارد. به همین دلیل از لحاظ بصری، تعریف ساختمانهای بلند در فرهنگ ها و کشورهای مختلف متفاوت است. این نکته نیز قابل ذکر است که در طراحی و ساخت ساختمانهای بلند باید به نکات معماری و شهرسازی و همچنین تدابیر امنیتی آن توجه خاص شود.

از نظر مبانی سازه ای، یکی از مشخصه های بارز ساختمانهای بلند انعطاف پذیری آنها می باشد و تغییر مکان جانبی ناشی از بارهای جانبی مانند باد یا زلزله در آنها به نسبت ساختمانهای کوتاه بیشتر است و متعاقب آن اثرات ثانویهٔ وزن افزایش یافته و کنترل واژگونی سازه باید با دقت بیشتری انجام گیرد.

با توجه به این موضوع انتخاب سیستم سازه ای از اهمیت بسزایی برخوردار است. به کارگیری یک سیستم مناسب برای تحمل بارهای جانبی و ثقلی باعث افزایش مقاومت و سختی سازه می شود و از طرفی با افزایش ارتفاع سازه، وزن آن افزایش یافته و نیاز به اسکلت سازه ای حجیم می باشد. ولی با انتخاب سیستم سازه ای مناسب، مصالح مورد نیاز برای تأمین سختی و مقاومت مورد نیاز کاهش می یابد. در این فصل پس از ارائه سیستمهای سازه ای متعارف در ساختمانهای بلند به عوامل تأثیرگذار بر پاسخ آنها و همچنین نکات آئین نامه ای روشهای تحلیل پرداخته می شود .

در ابتدا لازم است که خلاصه ای از تاریخچه تحقیقات و مطالعات انجام شده مرتبط با عنوان پایان نامه ذکر شود.

۱-۲- تاریخچه تحقیقات :

در زمینه ساختمانهای بلند، تحقیقات و مطالعات زیادی انجام شده است. ساخت ساختمانهای بلند دارای مسائل و جنبه های مختلف معماری و شهرسازی، سازه، اجتماعی، فرهنگی و غیره می باشد. در مطالعات ساختمانهای بلند علاوه بر بررسی رفتار آنها در مقابل بارهای جانبی (باد یا زلزله) و استفاده از سیستمهای سازه ای نوین به روشهای ساخت و اجرا و همچنین استفاده از مصالح با مقاومت بالا توجه خاص شده است. سیستمهای سازه ای از عوامل مهم تأثیرگذار بر رفتار می باشد.

اولین سیستم سازه ای استفاده شده در ساختمانهای بتنی، شامل ستون، تیر و دال بود. معرفی دیوارهای برشی به عنوان یک عضو مهار کننده در اواخر دهه ۱۹۴۰ در پروژه های ساختمانی نیویورک، اثری قابل توجه در ایجاد ساختمانهای بلند بتنی گذاشت. کاربرد این دیوارها باعث ایجاد صلبیت در سازه می شود. آخرین تحول در ایجاد سیستمهای سازه ای، سیستم قاب لوله ای می باشد. این سیستم شامل ستونهای خارجی نزدیک به هم می باشد که توسط تیرهای مورب به هم متصل می گردند و در نتیجه صلبیت بسیار بالایی برای سازه ایجاد می کند.

در زمینه بررسی رفتار سیستمهای سازه ای در ساختمانهای بلند مطالعات فراوانی صورت گرفته است.

در سال ۱۹۸۱ در زمان ساخت پروژه پلازا (plaza) این سؤال در اذهان شکل گرفت که آیا استفاده از بتن با مقاومت بالا امکان پذیر است؟ این پرسش زمینه تحقیقات در مورد بتن با مقاومت بالا را فراهم آورد. و از آن زمان تا به حال مطالعات زیادی در زمینه مشخصات مکانیکی بتن با مقاومت بالا و کاربرد آن در المانهای مختلف سازه ای انجام شده است.

پارامتر مهم در شناخت رفتار مصالح و خواص مهندسی آنها، منحنی تنش - کرنش می باشد. مدل های ارائه شده برای بتن معمولی محصور شده نمی تواند برای بتن با مقاومت بالا استفاده شود و این مدلها شکل پذیری بیشتری برای بتن با مقاومت بالا برآورد می کنند.

تحقیقات اولیه در این زمینه توسط اسلیت و مارتینز در سال ۱۹۸۲ انجام گرفت و مقاومت بتن نمونه ها بین ۲۱ MPa تا ۶۹ MPa متغیر بود [۱].

فافیتیس (Fafitis) و شاه (Shah) (۱۹۸۵) بر اساس نتایج مدل آنها مدلی تئوری برای بتن با مقاومت بالا ارائه دادند. یانگ (۱۹۸۹)، یانسن (۱۹۹۰) و واتانابه (۱۹۹۲) یک مدل سه خطی برای بتن با مقاومت بالا در نظر گرفتند. عمده متغیرها در مدلهای ارائه شده مقاومت فشاری بتن، مقاومت جاری شدن آرماتورها و شکل خاموتها بود [۱].

در حال حاضر بیشتر مدلهای ارائه شده برای بتن با مقاومت بالا اصلاح شدهٔ مدل بتن معمولی می باشد و برای مقاطع دایره ای یا مربعی کاربرد دارند. رازوی (Razvi) در سال ۱۹۹۶ با مقایسه مدلهای موجود نشان داد که نیاز به مدلی است که در عین سادگی، بتن های معمولی و مقاومت بالا را در برگیرد و همچنین اثر شکل مقطع عرضی و نحوه آرماتورگذاری را نیز لحاظ کند. بنابراین او و Saatcioglu مدلی ارائه دادند که هر دو طیف بتن معمولی و مقاومت بالا را دربر می گرفت. و محدوده مقاومت بتن نمونه ها ۳۰ MPa تا ۱۳۰ MPa را شامل می شد و همچنین اثر استفاده از فولادهای با مقاومت بالا را نیز لحاظ کردند [۲].

پارک [۱] نیز در سال ۲۰۰۱ با مقایسه مدلهای قبلی به این نتیجه دست یافت که این مدلها قادر نیستند به طور قابل قبولی بخش پایین رونده منحنی تنش – کرنش بتن با مقاومت بالا را مدل کنند. در مدل ارائه شده توسط او میزان تأثیر مقاومت فشاری بتن، مقاومت جاری شدن آرماتورهای عرضی، شکل و فاصله خاموتها لحاظ شده است.

همانگونه که ذکر شد با افزایش ارتفاع ساختمانها نیاز به استفاده از بتن با مقاومت بالا بیشتر احساس شد به گونه ای که ساخت برج آب شیکاگو ـ یکی از بلندترین ساختمانهای بتنی جهان ـ بدون استفاده از بتن با مقاومت بالا امکان پذیر نبود. بنابراین لازم شد که در زمینه استفاده از بتن با مقاومت بالا در اعضای سازه ای مطالعاتی صورت گیرد و رفتار آنها مورد بررسی و ارزیابی قرار گیرد.

در مورد استفاده از بتن با مقاومت بالا در دیوارهای برشی تا کنون مطالعات زیادی انجام نشده است. تعداد محدودی کارهای آزمایشگاهی و تئوری در این زمینه انجام شده است.

کابیاساوا و هیرایاشی ۲۰۱ نمونه دیوار را در آزمایشگاه مورد بررسی قرار دادند که مقاومت بتن دیوارها بین ۶۰ MPa تا ۱۲۰ MPa و مقاومت جاری شدن آرماتورهای مصرفی بین ۷۰۰ MPa تا ۱۲۰۰ MPa بود. برای داشتن مودهای شکست مختلف (شکست خمشی یا برشی) در دیوارها، شرایط بارگذاری و نسبت آرماتورگذاری در دیوارها متفاوت بود. در تمام ترازهای دیوارهای مورد مطالعه از یک نوع بتن استفاده شده بود. آنها در این تحقیق تغییرشکل، رفتار هیسترزیس و تأثیر استفاده از آرماتورهای با مقاومت بالا را در دیوارها مورد ارزیابی قرار دادند[۳].

والاس (Wallace) نیز با استفاده از نتایج آزمایشگاهی دیگران و مدلهای تئوریک خود ضوابط طراحی آئین نامه ها را مورد بررسی قرار داد. و به این نتیجه دست یافت که محاسبه مقاومت برشی دیوارها بر اساس آئین نامه ۹۵–۳۱۸ ACI دارای نتایج محافظه کارانه ای است [۴].

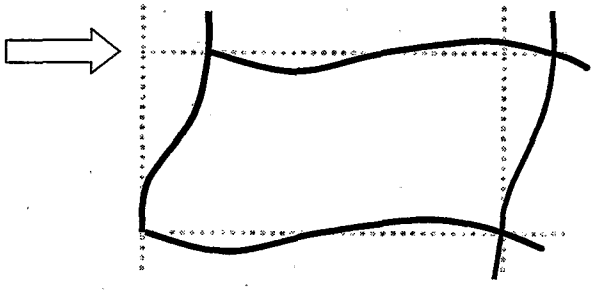
پایان نامه ها و پروژه های دانشگاهی نیز به تبعیت از تحقیقات و مطالعات انجام شده بر روی ساختمانهای بلند شامل جنبه های مختلفی می باشند. دسته ای از آنها به بررسی رفتار دینامیکی ساختمانهای بلند دارای سیستمهای مختلف سازه ای (لوله ای، لوله ای مهاربندی شده و قاب و دیوار برشی) مقابله با نیروهای جانبی باد یا زلزله پرداخته اند. برخی از پایان نامه ها بر روی روشهای تحلیل ساختمانهای بلند مانند روش طیف ظرفیت متمرکز شده اند و آئین نامه های مختلف تحلیل و طراحی سازه را با هم مقایسه کرده اند. در زمینه استفاده از بتن با مقاومت بالا در المانهای مختلف سازه ای تحقیقات و مطالعات بسیار محدودتر می باشد.

۱-۳- سیستم های سازه ای :

سیستم های سازه ای مورد استفاده در ساختمانهای بلند به چند دسته تقسیم می شود. (قاب صلب، قاب مهاربندی شده، قاب و دیوار برشی، قاب لوله ای و سیستم لنگربندی) که شرح هر یک از آنها در زیر ارائه شده است.

۱-۳-۱- قاب صلب :

یکی از شایعترین سیستمهای ساختمانی در ساختمانهای نیمه مرتفع، سیستم قاب صلب می باشد. در این سیستم اتصالات از نوع گیردار می باشند و به دلیل صلبیت اتصال، در حین تغییر شکل زاویهٔ بین تیر و ستون ثابت می ماند. ستونهایی که در مجاورت بار جانبی قرار دارند تحت کشش و ستونهای مقابل تحت نیروی فشاری قرار می گیرند. ستونهای تحت نیروی کششی دچار افزایش طول و ستونهای تحت نیروی فشاری دچار کاهش طول می گردند و این تغییر طول ستونها باعث ایجاد دوران می شود و تغییر شکل جانبی در ساختمان ایجاد می کند. این پدیده حدود ۲۰٪ از تغییر شکل کل سازه را تشکیل می دهد و بقیهٔ تغییر شکلها در نتیجهٔ خمش قاب می باشد. معمولاً حدود ۵۰ الی ۶۵ درصد مجموع تغییر مکان ناشی از خمش تیرها و ۱۰ الی ۲۰ درصد مجموع تغییر مکان ناشی از خمش ستونها می باشد. به دلیل اینکه در قابهای مهار بندی نشده (قاب صلب) نسبت سختی ستونها به سختی تیرها زیاد است، عمده چرخش گره ها به وسیلهٔ تیرها به وجود می آید [۵].



شکل ۱-۱ تغییر شکل قاب صلب

اجرای اتصالات گیردار در ساختمانهای فلزی پرهزینه و مشکل است و از طرفی ستونهای قابهای صلب دارای مقاطع نسبتاً بزرگی هستند که فضای مفید را کاهش می دهند. این موارد از جمله معایب این سیستم ساختمانی بشمار می روند.

مطابق با آئین نامهٔ طراحی ساختمانها در برابر زلزله ایران (استاندارد ۲۸۰۰) [۶] قاب خمشی بتنی ویژه تا ارتفاع ۱۸۰ متر، قاب خمشی بتنی متوسط تا ارتفاع ۵۰ متر و قاب خمشی بتنی معمولی تا

ارتفاع ۱۵ متر قابلیت استفاده دارند. در حالت کلی استفاده از قابهای خمشی به تنهایی در ساختمانهای بتنی تا حدود ۲۰ طبقه اقتصادی می باشد. بر طبق استاندارد ۲۸۰۰، قاب خمشی بتنی ویژه، قاب با شکل پذیری زیاد و قاب خمشی بتنی متوسط، قاب با شکل پذیری متوسط و قاب خمشی معمولی، قاب با شکل پذیری کم است.

لازم به ذکر است که آئین نامه بتن ایران (آبا) [۷] تعاریف مربوط به سه سطح شکل پذیری را به صورت زیر تعریف می کند. از آنجا که رفتار کلی ساختمانهای بلند باید دارای شکل پذیری زیاد باشند، مراجعه به تعاریف مندرج در آبا شایان توجه خواهد بود.

شکل پذیری کم: رفتار ساختمانهای با شکل پذیری کم، متناسب با وضعیتی است که انتظار به وجود آمدن تغییر شکل زیاد در سیستم سازه ای آنها، نمی رود و تنها تأمین تدابیر خاص برای حفظ ایمنی آنها در برابر بارهای تکراری و رفت و برگشتی زلزله مورد نظر است.

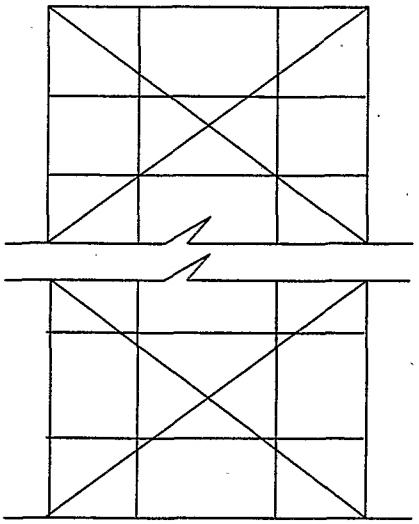
شکل پذیری متوسط : این حد برای سازه هایی الزامی است که در آنها بازتاب سازه در برابر نیروهای زلزله وارد ناحیهٔ غیر خطی می شود و مقاطع سازه باید آنچنان طراحی شوند که از ایمنی کافی در مقابل گسیختگی ترد برخوردار باشند.

شکل پذیری زیاد : این حد برای سازه هایی الزامی است که اعضای آنها در مقاطع خاصی باید از ظرفیت جذب و استهلاک انرژی زیادی برخوردار باشند به طوری که در صورت ایجاد مکانیزم در آنها پایداری و انسجام کلی سازه محفوظ مانده و از این نظر اطمینان کافی موجود باشد.

۱-۳-۲- قاب مهاربندی شده :

مهاربندی یکی از روشهای متداول در مقابله با نیروهای جانبی در سازه های فولادی است. برای بهبود بازدهٔ قاب خمشی از مهاربندی استفاده می شود. در این حالت برش وارده، توسط اعضای قطری جذب می شود. اعضای قطری برش جذب شده را به نیروهای فشاری و کششی تبدیل کرده و به سیستم قائم انتقال می دهند. اتصالات می تواند از نوع گیردار یا ساده باشد.

سیستم مهاربندی صلبیت جانبی بسیار زیاد، ارزان و آسانی را تأمین می کند. امروزه از بادبندهای خارجی استفاده می شود که چند دهانه و چند طبقه را در بر می گیرند و سختی جانبی بیشتری نسبت به بادبندهای تک دهانه ایجاد می کند.



شکل ۱-۲ بادبندهای خارجی

۱-۳-۳ - قاب و دیوار برشی :

دیوار برشی بتن آرمه یک سیستم مناسب و مقرون به صرفه برای مقابله با نیروهای جانبی است. سختی و مقاومت برشی زیاد، رفتار نرم و عدم کاهندگی در بارهای متناوب، قابلیت تغییر مقاومت و سختی از مزایای این سیستم است [۸].

دیوار برشی مانند یک تیر طره عمودی عمل می کند و نقطهٔ منفی آن در عدم انعطاف پذیری معماری است. بهتر است دیوارها را در قسمت پیرامونی سازه قرار داد تا هم فضاهای خالی از نظر معماری مفید باشد و هم سازه دارای صلبیت پیچشی بیشتری گردد و در برابر نیروی پیچشی ناشی از برون محوری جرم طبقات مقاوم تر می شود.

یک روش بهبود سیستم دیوار برشی ترکیب آن با قاب است:

ترکیب دیوار برشی و قاب صلب :

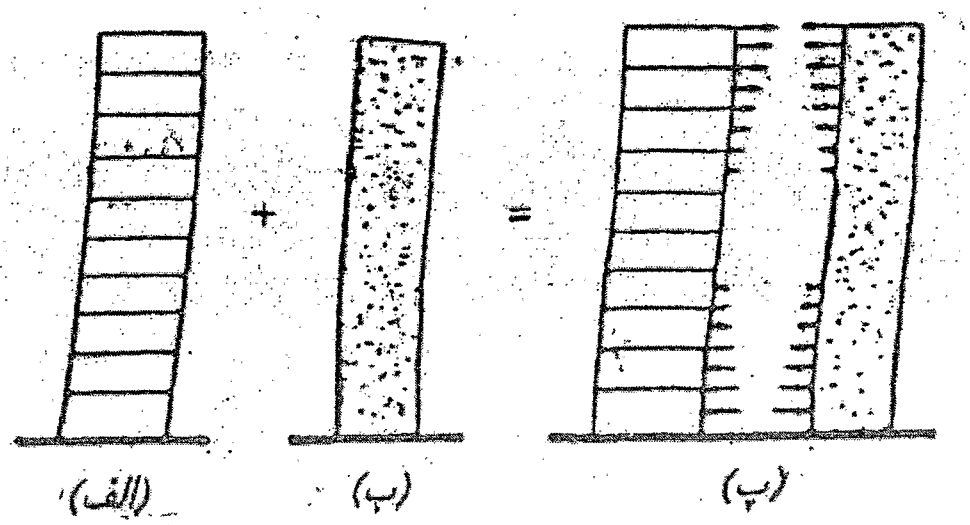
استفاده از ترکیبَ سیستم دیوار برشی و قاب ساده در ساختمانهای بلند غیراقتصادی است. به علاوه تغییر شکلهای جانبی می تواند باعث ایجاد ترک در دیوارهای جداکننده و پنجره ها کند.

بنابراین برای ایجاد صلبیت کافی و مناسب از ترکیب سیستم دیوار برشی و قاب صلب استفاده می شود و تغییر شکل جانبی نهایی با توجه به رفتار قاب و دیوار برشی تعیین می شود.

در سیستم قاب صلب تغییر شکل جانبی مطابق شکل ۱-۳-الف است. در پای ساختمان که برش زیاد می باشد شیب منحنی تغییر شکل بیشتر بوده و از نوع برشی است. از طرفی تغییر شکل جانبی

سیستم دیوار، مانند تیر طره در مود خمشی است. در این مود بیشترین شیب منحنی تغییر شکل در بالای دیوار بوده و این شیب در پای دیوار صفر است.

در حالیکه این دو سیستم با هم جمع شوند به علت غیر هم شکل بودن، بر هم اثر متقابل داشته و یک منحنی S شکل را ایجاد می کنند. (شکل ۱-۳)



شکل ۱-۳ تغییر شکل کل سیستم مرکب از قاب خمشی و دیوار برشی

به علت خصوصیت تغییر شکلهای مختلف دیوار برشی و قاب، دیوار برشی در سمت بالای ساختمان بوسیله قاب به عقب کشیده می شود و در پائین ساختمان به جلو رانده می شود. از اینرو نیروی ناشی از باد و یا زلزله در قسمت بالای ساختمان بوسیلهٔ قاب و در قسمت پائین توسط دیوار تحمل می گردد.

اندرکنش افقی قاب و دیوار موجب می شود که موارد زیر به عنوان مزایای این سیستم ترکیبی تلقی شود :

الف- جابجایی جانبی بسیار کمتر از حالتی است که فقط دیوارها بارهای جانبی را تحمل کنند.

ب- لنگرهای خمشی دیوارها، کمتر از حالت عملکرد تکی آنها است.

ج- ستونهای قابها را می توان به صورت مهاربندی شده کامل طراحی نمود.

۱-۳-۴- سیستم قاب لوله ای :

تحلیل سیستم قاب لوله ای اولین بار توسط فضلر خان ارائه شد. در این سیستم مقدار مصالح مصرفی نسبت به ساختمانی که دارای قاب مودولار باشد به نصف تقلیل می یابد. از گذشته تا به حال

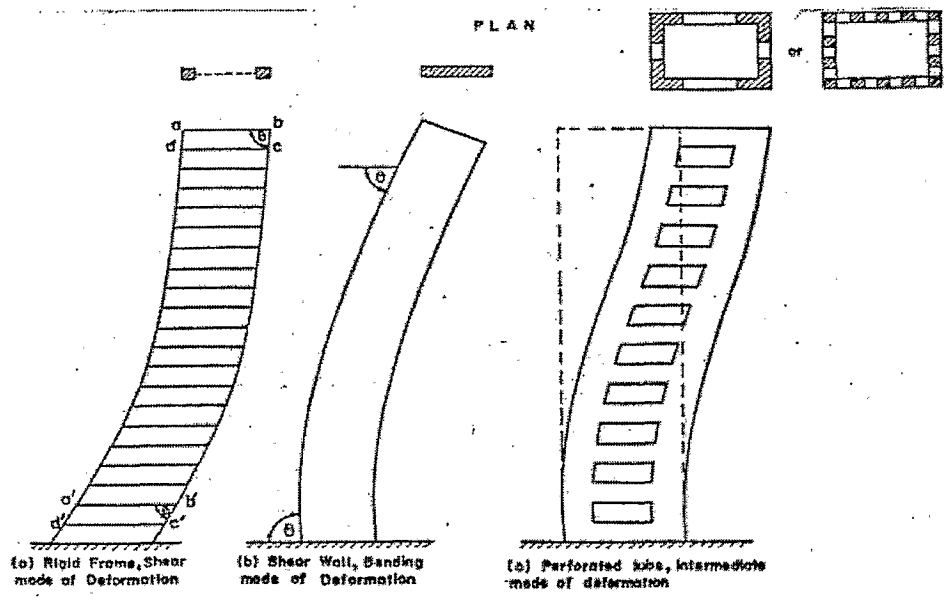
این سیستم دچار پیشرفتهایی شده است و همچنان به عنوان یک سیستم اقتصادی مطمئن و دارای قابلیتهای بهره برداری بالا در ساختمانهای بلند می باشد.

سیستم لوله ای مرکب از ستونهایی با فواصل کم و تیرهای عمیق که در تمامی پیرامون ساختمان قرار دارند، می باشد. سیستم لوله ای رفتاری مابین دو سیستم قاب خمشی (صلب) و دیوار برشی از خود نشان می دهد. بار جانبی توسط ستونهای پیرامونی تحمل می شود و ستونهای داخلی فقط بار وزن را تحمل می کنند و در سختی لولهٔ خارجی سهمی ندارند شکل (۱-۴). کف های سخت طبقات همچون دیافراگم هایی نیروی جانبی را به دیوارهای پیرامونی توزیع می کنند. سیستم لوله بهبود یافته سیستم قاب صلب می باشد و دارای سختی جانبی و مقاومت پیچشی بالا است.

حداکثر کارایی و بازده سیستم لوله زمانی به دست می آید که سیستم خارجی شبیه طره توخالی که عمود بر زمین قرار گرفته و در مقابل بارهای جانبی مقاومت کند.

در عمل فاصله بین ستونها در سیستم لوله ای بین ۱/۵ تا ۳ متر است و حداکثر فاصله ستونها به ۴/۵ متر می رسد و تیرهای اصلی عمیق دارای عمق ۰/۹ تا ۱/۵ متر می باشند.

در سیستم لوله ای تغییر شکلها ی برشی، ناشی از خمش تیرها و ستونها می باشد که به تغییرشکلهای خمشی اضافه می گردد. می توان با اضافه کردن سیستمهای مهاربندی رفتار سیستم را صرفاً مانند طره کرد و تغییر شکلهای نوع خمشی را حذف و یا به حداقل رساند [۹].



شکل ۱-۴ تغییر شکلهای برشی و خمشی و ترکیب آنها در سیستم لوله ای

در طراحی ساختمانهای لوله ای لازم است که تعادل مناسبی بین سختی ستونها و تیرهای عمیق برقرار باشد. زیرا هر دو این اعضا در سختی ساختمان در برابر تغییر مکانهای جانبی و اطمینان از مقاومت کل ساختمان در برابر بارهای جانبی به طور مؤثری دخالت دارند.

توزیع تنشها در ستونها کم اثرتر از قوطی کامل است، لنگر مقاوم و صلبیت خمشی کاهش می یابد. اثرات افت برش لوله های قابی، استفاده از حداکثر ظرفیت سختی و مقاومت سازه را محدود می سازد.

پدیده افت برش یکی از معایب در سیستم لوله ای است که برای بهبود آن اصلاحاتی در لوله قابی اعمال شده است مانند لولهٔ خرپایی که شامل لوله خرپایی مرکب از ستون و عناصر قطری است و همچنین لوله خرپایی مشبک که در این حالت سیستم لوله از عناصر مورب نزدیک به هم بدون هیچ ستون قائمی ساخته خواهد شد.

در حالتی دیگر از سیستم لوله با مهاربندی داخلی که این نیز شامل لوله با دیوار برشی موازی و لوله در لوله و لوله های دسته بندی شده می باشد.

مزایای سیستم لوله ای :

الف- بازده سیستم لوله ای از لحاظ اقتصادی بسیار زیاد می باشد به طوری که در مقایسه با ساختمانهای هم ارتفاع خود از سیستمهای دیگر حدود ۵۰ درصد در میزان مصالح صرفه جویی می شود.

ب- میزان تغییر شکلهای آن (تغییر شکل های کلی ساختمان و تغییر شکل نسبی طبقات) در مقایسه با سیستمهای دیگر معمولاً کمتر است.

ج- با توجه به توسعه این روش امکان دسترسی به ساختمانهای بلندتر با مشکلات کمتر نسبت به سیستمهای دیگر میسر می شود به طوری که از یک ارتفاع به بالا، سیستمهای دیگر کارایی خود را از دست می دهند.

د- تقسیم بندی فضای داخلی در سیستمهای لوله ای از قابلیت زیادی نسبت به سیستمهای دیگر برخوردار می باشد. این مسأله از فاصلهٔ زیاد ستونهای داخلی در سیستمهای لوله ای ناشی می شود.

در سیستمهای لوله ای فرض می شود که ستونهای داخلی فقط در تحمل بارهای ثقلی نقش دارند و در سختی جانبی سیستم نقشی را ایفا نمی کنند به همین دلیل فاصله بین ستونهای داخلی زیادتر از حد معمول خواهد بود.