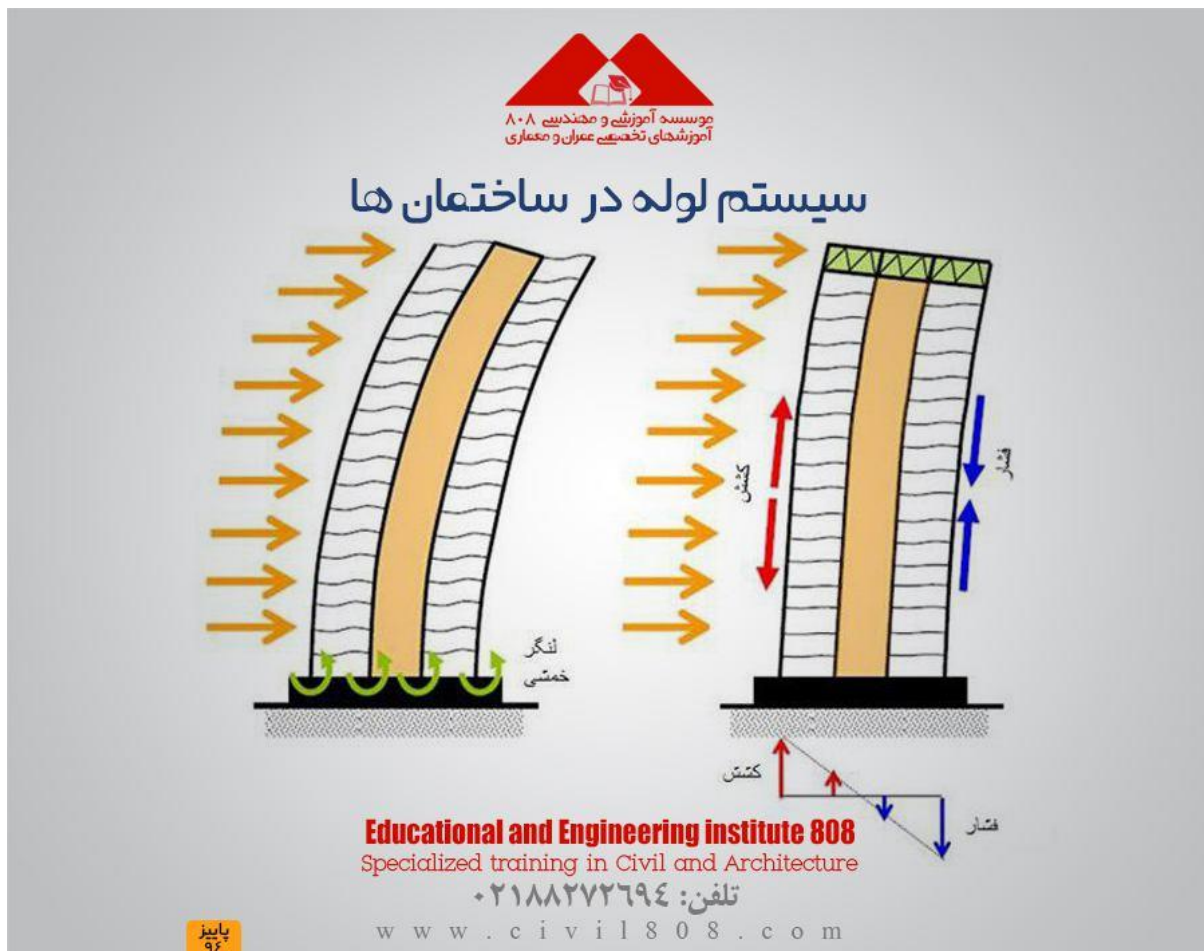
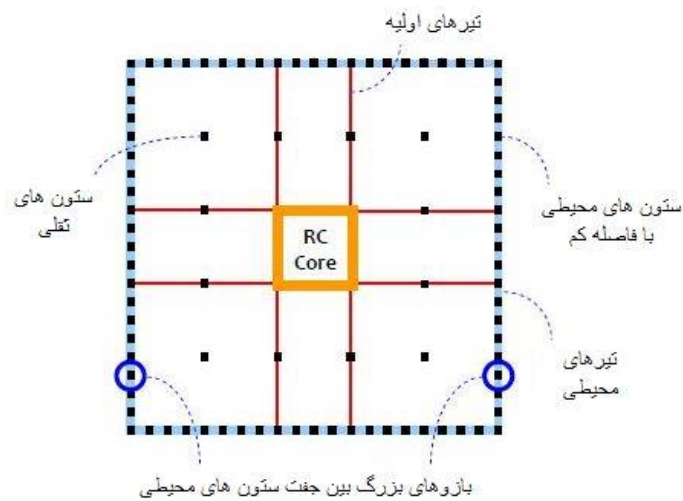




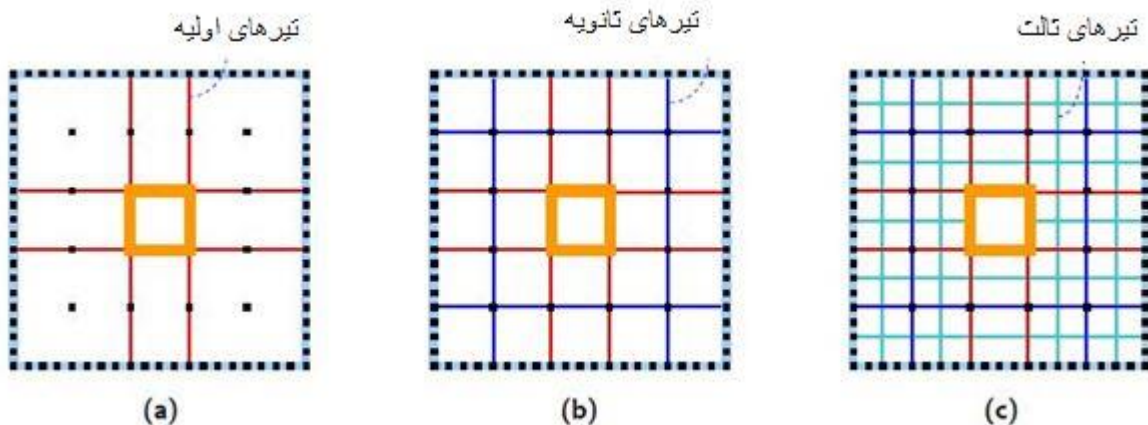
برای ساختمان های بلند ، استفاده ی تنها از قاب های مهاربندی شده و یا دیوارهای برشی (حتی اگر ابعاد اعضا معقول باشد) برای کنترل جابه جایی کل آنها و همچنین نیاز نیرو در اعضای مختلف سازه ، ممکن است کار آمد نباشد. در اینگونه موارد ، سیستم های سازه ای با صلبیت بیشتری نیاز است . مانند سیستم های لوله ، لوله در لوله و دسته لوله که بسته به اندازه و میزان بار وارده به ساختمان مورد استفاده قرار میگیرند.

تیوب به ستون های سنگینی که با فاصله ی کم از یکدیگر قرار دارند و یک حلقه را تشکیل میدهند گفته میشود. این ستون ها با تیرهایی به یکدیگر متصل شده اند. این حلقه یا لوپ در واقع اولین بخش سیستم مقاوم در برابر بار جانبی را تشکیل میدهد. بخش دیگر شامل دیوارهای برشی سنگین مسلح که در کنار هم یک استوانه بسته را تشکیل میدهند می باشد که به آن هسته گفته میشود. سیستم لوله از یک لوله محیطی و یک هسته ی مرکزی تشکیل میشود (شکل ۳-۵۳). برای این منظور از یک سیستم شبکه ی تیر استفاده میشود که شامل تیرهای اولیه (تیرهایی که از ستون های کناری به سمت هسته ی مرکزی قرار میگیرند)، تیرهای ثانویه (تیرهایی که بین ستون ها عبور می کنند به گونه ای که هیچ ستونی باقی نماند که به بقیه سیستم متصل نباشد) و تیرهای ثالث (بیت تیرها عبور می کند و به هیچ ستونی متصل نیستند) می باشد (شکل ۳-۵۴). برای انتقال آرام و منظم نیروها به قاب پیرامونی ، به یک شبکه ی صلب از تیرها و ستون های قوی احتیاج داریم. لوله های محیطی در ساختمان ها که دارای تیرهای اولیه ، ثانویه و ثالث هستند بار جانبی بیشتری را نسبت به سیستم لوله ای که تنها دارای

یکی یا دوتا از آنهاست ، تحمل می کنند. هر چه شبکه ی تیرها متراکم تر باشد نیروی بیشتری را از هسته ی مرکزی به قاب جانبی منتقل می کند.



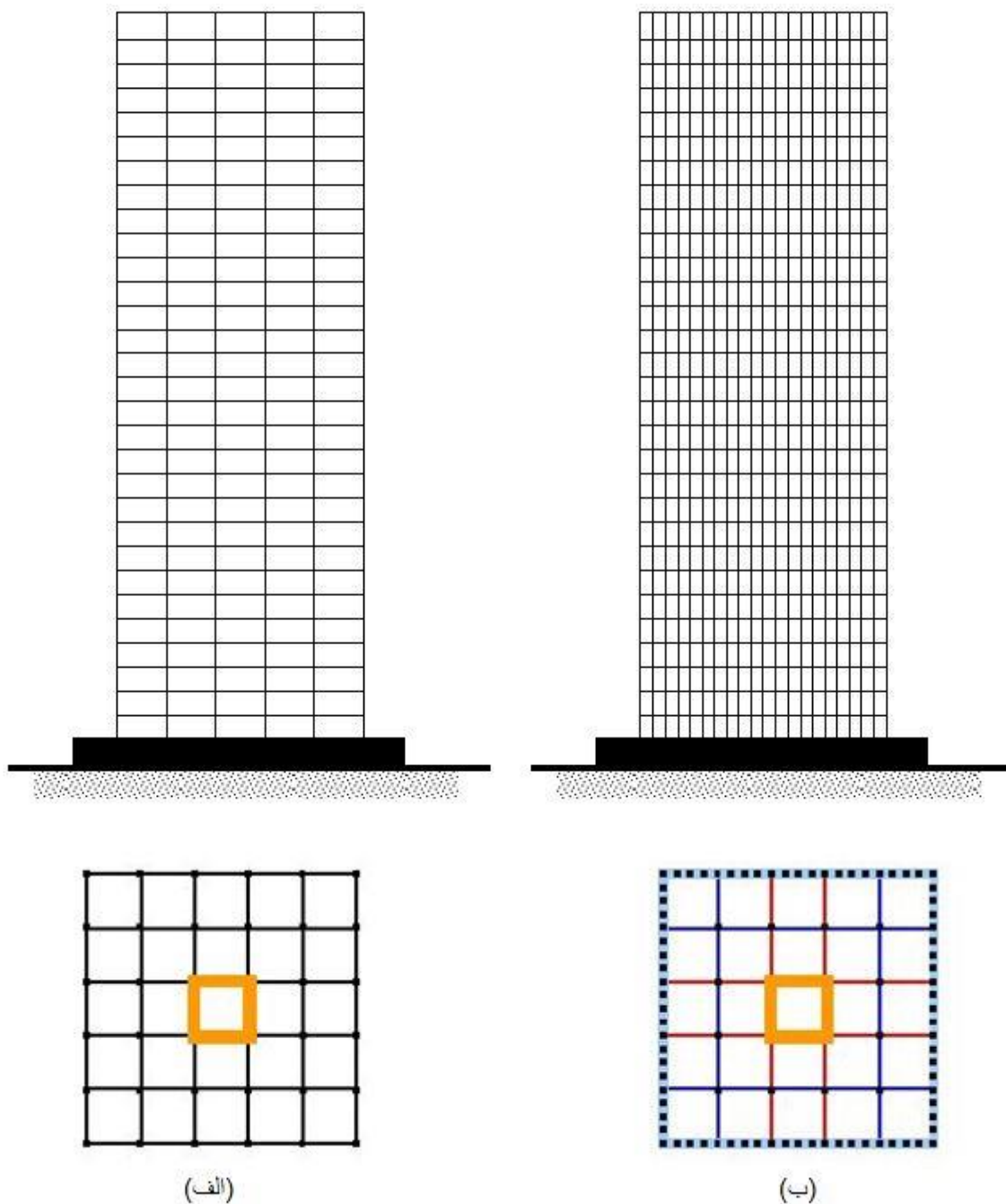
شکل ۳-۵۳: امان های سازه ای در یک سیستم لوله: بعضی ستون ها (که به آنها ستون های ثقیلی گفته میشود) الزاما با تیر به هسته و یا لوله



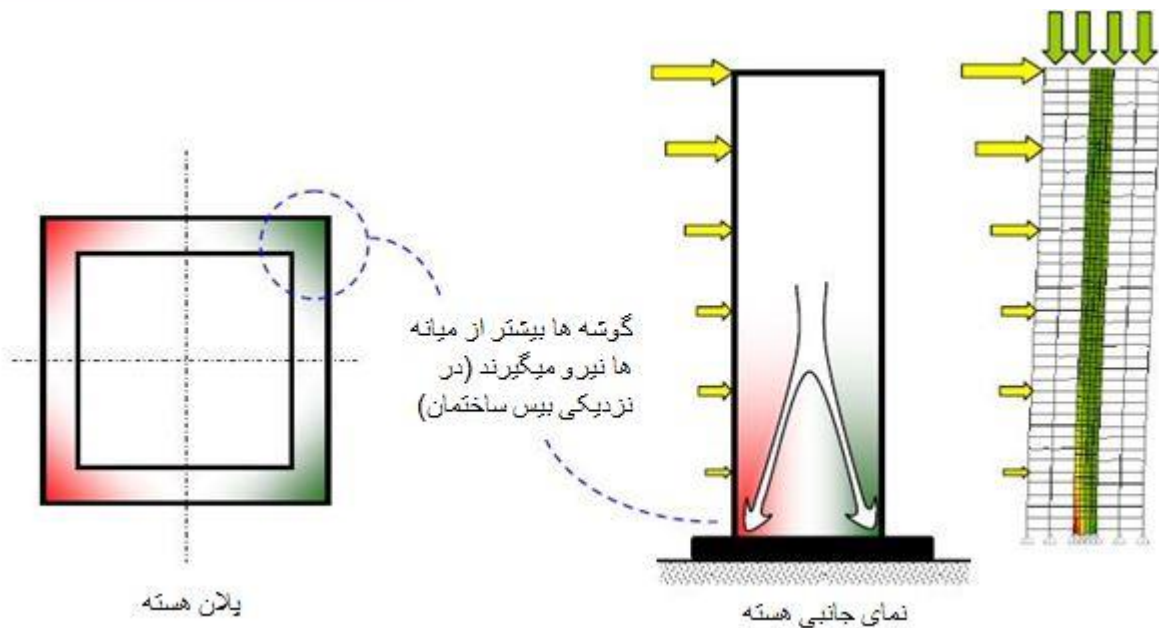
شکل ۳-۵۴: سیستم های قابل اجرا برای تیرها در یک سیستم لوله: اتصال بین هسته و لوله از طریق: (الف) تنها شبکه ای از تیرهای اولیه (اصلی)، (ب) شبکه ای از تیرهای اولیه و ثانویه ، و (ج) شبکه ای از تیرهای اولیه ، ثانویه و ثالث

این جنبه از سیستم های لوله ای که محیط بیشترین میزان از بار جانبی که به سازه القا شده است را در حین زلزله متحمل میشود ، با یک قاب ساختمانی نرمال که یک هسته ی مرکزی دارد و در آن قاب محیطی (با ستون هایی که خیلی از هم فاصله دارند) بار کمی را تحمل می کند ، در تضاد است (شکل ۳-۵۵). در ساختمان های قابی سنتی با هسته ی مرکزی ، بیشتر بار جانبی توسط هسته ی مرکزی بتن مسلح تحمل میشود. مسیر انتقال بار نیروها را به سمت هسته ی بتنی مرکزی

میبرد. وقتی بار جانبی به سمت بیس ساختمان منتقل میشود، نیرو بیشتر از گوشه های صلب هسته و به صورت کشش و فشار محوری منتقل میشود (شکل ۳-۵۶). در نتیجه، گوشه های هسته در بیس ساختمان نیروی محوری بیشتری را نسبت به قسمت های میانی هسته متحمل میشوند. با استفاده از یک لوله پیرامونی که از ستون های نزدیک به هم که با تیرهای میانی به هم متصل شده اند تشکیل شده است، این تمرکز نیرو در هسته باقی نمی ماند و رفتار مشابهی به لوله پیرامونی منتقل میگردد. چون بازوهای بین جفت ستون ها (که در دو سمت موازی لوله جانمایی شده اند) بزرگ هستند، تنش های محوری وارد شده به ستون ها کمتر از تنش محوری است که در ساختمان های قابی سنتی به هسته وارد میشود.

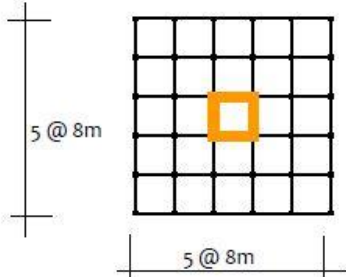
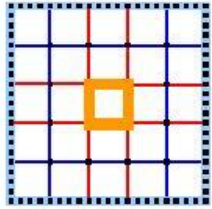


شکل ۳-۵۵: مقایسه سیستم های سازه ای : (الف) سیستم قاب سنتی به یک هسته مرکزی ، و (ب) سیستم لوله



یک ساختمان به ارتفاع ۱۶۰ متر با پلان مربع را در نظر بگیرید که ابعاد آن در هر جهت ۴۰ متر باشد. این ساختمان دارای چهل طبقه است که هر طبقه ۴ متر ارتفاع دارد. به منظور ساده سازی، در این مثال همه ی ستون ها و تیرها و دال ها ی ساختمان در تمامی طبقات دارای مشخصات و ابعاد یکسان میباشند. دو سیستم سازه ای در نظر گرفته شده است. سیستم های سازه ای سنتی و سیستم لوله همانند آنچه در شکل ۳-۵۵ نشان داده شده است. اندازه های مربوط به ستون ها، تیرها و دال ها و همچنین هسته های بتن مسلح در جدول ۳-۱۰ داده شده است. هر دو ساختمان تحت بار جانبی معادل یک درصد وزن ساختمان قرار گرفته اند. توزیع این بار جانبی در طول ارتفاع ساختمان به صورت سهمی گون است.

جدول ۳-۱۰: ابعاد اعضای سازه ای در مثال ساختمان ۴۰ طبقه

Item	Traditional Frame System	Tube System
Plan Geometry		
Number of Column in plan	32	92
Size of all Columns (all storeys)	1500 mm × 1500 mm	1200 mm × 1200 mm
Size of all Beams (all storeys)	1000 mm × 1400 mm	300 mm × 800 mm
Thickness of RC Core Walls	1500 mm	1200 mm

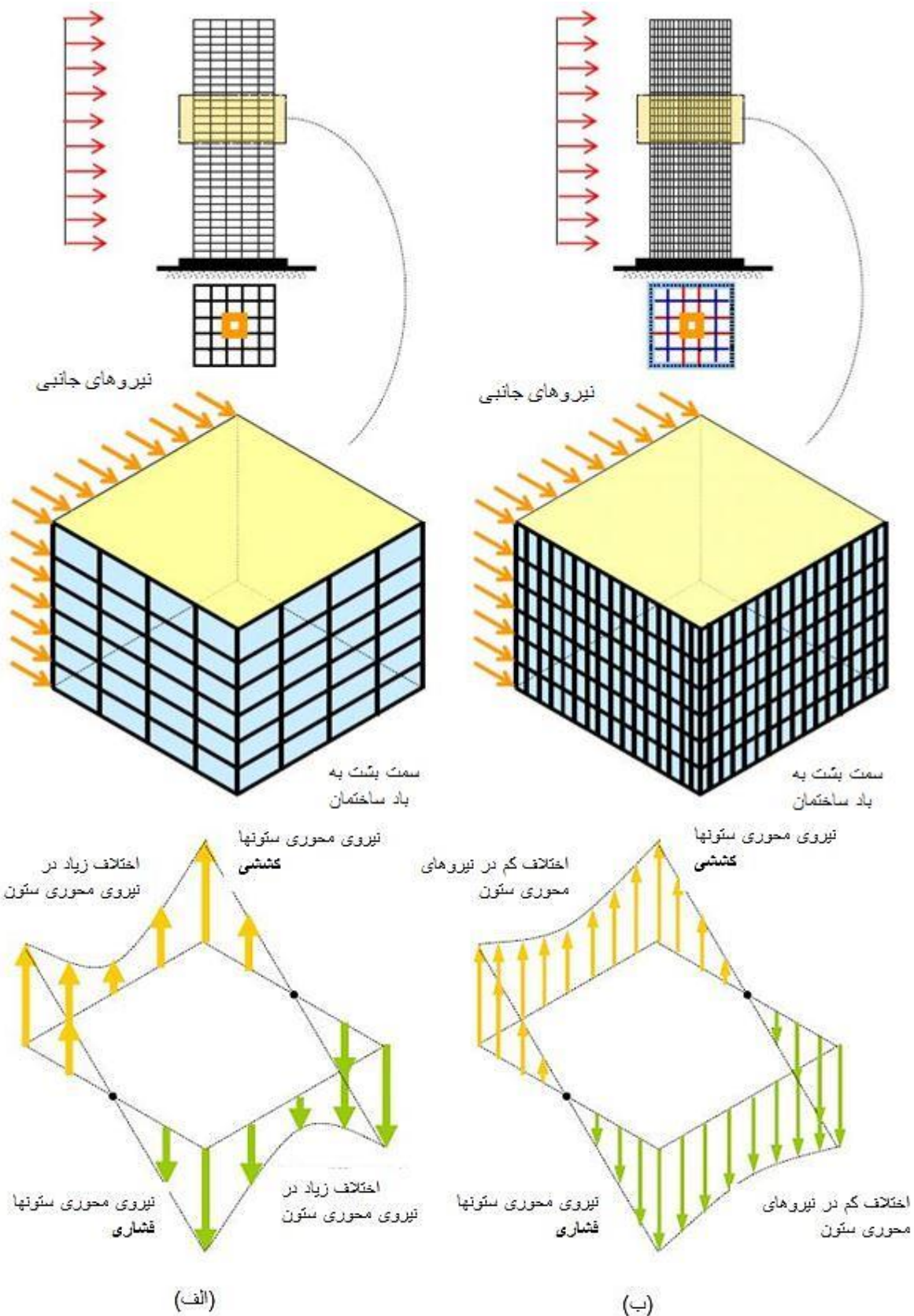
SPD ساختمان (چگالی پلان ساختمان) ، با در نظر گرفتن ستون ها و دیوارها های هسته ، در ساختمان های با قاب های سنتی ۶ درصد و در ساختماندارای سیستم لوله ۹/۴۸ درصد می باشد. در ساختمان با سیستم سنتی ۷۵ درصد از سهم SPD مربوط به ستون های قاب و ۲۵ درصد مربوط به دیوارهای مرکزی است . در ساختمان با سیستم لوله ۸۷ درصد ستون های قاب و ۱۳ درصد را دیوارهای مرکزی تشکیل می دهند. در نتیجه سهم ستون ها در سیستم لوله بیشتر است. نتیج حاصل از تحلیل استاتیکی خطی دو ساختمان نشان میدهد که:

(۱) در ساختمان با قاب سنتی ، ستون ها فقط ۷ درصد از برش جانبی را میگیرند و دیوارهای مرکزی ۹۳ درصد باقیمانده را جذب می کنند.

(۲) در ساختمان با سیستم لوله ، این مقدار برای ستون ها به ۴۴ درصد برش جانبی افزایش ، و باقی به ۵۶ درصد کاهش یافته است.

در نتیجه افزایش SPD اجازه میدهد که از ستون های بیشتری در سیستم تیوب استفاده شود . حتی با وجود اینکه سهم ستون ها از ۷۵ درصد فضا به ۸۷ درصد فضا در سیستم تیوب افزایش یافته ، (چیزی حدود ۱۲ درصد) ، سهم برش جانبی افزایش قابل توجهی از ۷ درصد به ۴۴ درصد داشته است (چیزی حدود ۳۷ درصد). انتقال این میزان بالا ی برش از هسته داخلی به لوله پیرامونی ، میتواند گویای سیستم سازه ای متفاوت و کارآمدتر در ساختمان های دارای سیستم لوله باشد.

یک جنبه ی مهم دیگر از عملکرد این دو سیستم ساختمانی اثر افت برش در نیروهای محوری ستون هاست. تحت بارهای اینرسی جانبی اعمال شده در اثر زلزله، انتظار میرود که نیروهای محوری در تمامی ستون های سمت پشت به یاد ساختمان یکنواخت باشند. اما در ساختمان های نرمال اینگونه نیست (شکل ۳-۵۷). بین نیروهای محوری در ستون های سمت بادگیر ساختمان و سمت پشت به باد آن تفاوت وجود دارد. ستون های گوشه نیروی محوری بیشتری نسبت به ستون های داخلی دارند. به علاوه هرچقدر فاصله ی ستون ها بیشتر باشد ، اختلاف نیروی محوری موجود در آنها نیز بیشتر است. در نتیجه ساختمان های دارای سیستم سازه ای سنتی اثرافت برش بیشتری نسبت به ساختمان های با سیستم سازه ای لوله دارند. نیروی اینرسی جانبی اعمال شده توسط زلزله بیشتر توسط قاب های سخت تر تحمل میشود. در سیستم لوله ، ستون های با فاصله ی کم ، باعث میشود که دو صفحه ی پیرامونی لوله در جهت نیروی اینرسی سخت تر باشند. در نتیجه قاب های با سختی کمتر جابه جایی بیشتری دارند و این باعث ایجاد تغییر شکل در تیرها میشود. اثر تاخیر برش ، به دلیل تغییر شکل عرضی زیاد تیرها در اثر این تغییر شکل نسبی قاب ها در جهتی که نیروی جانبی زلزله اعمال میشود ، به وجود می آید.

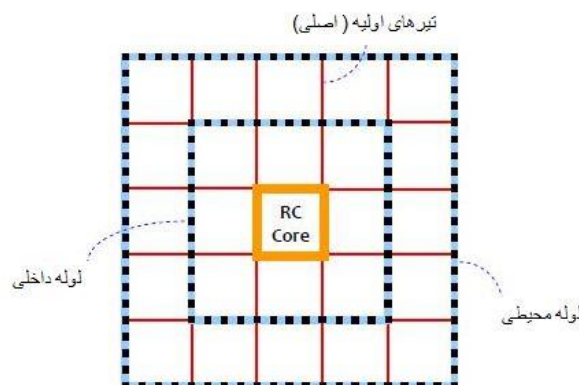


شکل ۳-۵۷: اثر افت برش در سیستم های سازه ای : (الف) در سیستم قاب سنتی تفاوت زیادی در نیروهای محوری ستون ها بین سمت بادگیر ساختمان با سمت پشت به باد ساختمان وجود دارد. و (ب) این تفاوت در سیستم لوله کم است.

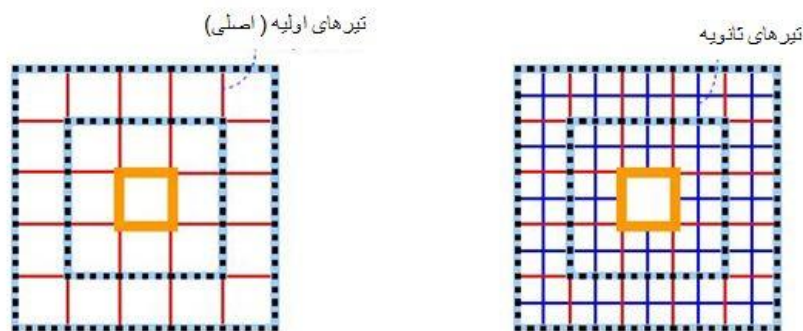
(ه) سیستم های لوله در لوله و دسته لوله

وقتی که اندازه پلان ساختمان افزایش می یابد ، ممکن است به ستون های اضافی برای تحمل بارهای ثقلی بین لوله بیرونی و هسته داخلی نیاز پیدا کنیم تا بتوانیم از خمش بیش از حد دال جلوگیری کنیم. این ستون از اجزای اصلی سیستم باربر جانبی محسوب نمیشوند و در نتیجه انتظار نمی رود که بار جانبی را تحمل کنند. به آنها ستون های ثقلی گفته میشود. وقتی که ابعاد پلان بزرگ باشد ، گاهی به ستون های زیادی برای تحمل بارهای ثقلی نیاز است. در نتیجه ایجاد یک لوله دیگر متشکل از ستون ها که بوسیله تیرهایی به یکدیگر متصل شده اند در داخل یک محیط متشکل از ستون های دیگری که آنها هم با تیر به یکدیگر متصل شده اند ، می تواند مفید باشد. به این سیستم ، سیستم لوله در لوله گفته میشود.

در سیستم لوله در لوله، لوله ها باید بوسیله ی یک شبکه ی سخت و محکم به هم تنیده شوند. بسته به میزان کل باری که قرار است انتقال داده شود ، فاصله ی ستون های ثقلی نیز همانند ستون های اصلی باید تنظیم شود. ستون های ثقلی بسیار نزدیک به هم هستند و گاهی این فاصله مرکز به مرکز ستون ها به ۲ متر هم میرسد. اینکار همچنین به به توزیع یکنواخت نیروها به ستون های محیطی کمک می کند اگر فاصله ی بین دو لوله زیاد باشد ، ممکن است لازم باشد از تیرهای ثانویه میانی ، به همراه ستون های ثقلی اضافی ، برای انتقال درست نیروهای جانبی به لوله ها استفاده کرد (شکل ۳-۵۹). ستون های ثقلی اضافی از تیرهای میانی در مقابل تغییر شکل بیش از حد محافظت می کنند در نتیجه آنها را قادر میسازند که فشار محوری را بدون تغییر شکل خارج از صفحه منتقل کنند. اگر از شبکه ی تیرهای با فاصله کم بین لوله ها استفاده کنیم ، یکنواختی بیشتری در توزیع نیروهای ثقلی خواهیم داشت.



شکل ۳-۵۸: المان های سازه ای در یک سیستم لوله در لوله: لوله های محیطی و داخلی با تیرهای در راستای کناره های هسته و لوله داخلی به هم



شکل ۳-۵۹: تیرها در سیستم لوله در لوله: تیرهای ثانویه به انتقال بارهای ثقلی به لوله ها و هسته کمک می کنند.

در ساختمان هایی که مساحت پلان آنها زیاد است، زمانی که حتی سیستم لوله در لوله هم نمی تواند تغییر شکل جانبی ساختمان را کنترل کند، یک سیستم مقاوم جانبی سخت تر مورد نیاز است. یکی از سیستم هایی که میتواند اینکار را انجام دهد سیستم دسته لوله است. همانگونه که از نامش پیداست، در اینجا یک دسته از سیستم های لوله در کنار هم قرار گرفته اند تا یک سیستم کلی مقاوم بار جانبی را تشکیل دهند (شکل ۳-۶۰). ستون های نزدیک به هم در لوله های مختلف در یک خط قرار گرفته اند تا یک سیستم مقاوم بار جانبی را تشکیل دهند. هسته های بتن مسلح لوله ها، به وسیله ی تیرهایی که مستقیماً بین این اعضای سخت عبور داده شده اند، به هم متصل گردیده اند. این تیرها تیرهای اولیه (اصلی) نامیده میشوند. همانطور که در سیستم های لوله و لوله در لوله داشتیم، هنگامی که دهنه ی بین لوله ها و هسته ها بزرگ باشد، برای انتشار صحیح بارهای ثقلی به لوله ها، ستون های ثقلی اضافی، تیرهای ثانویه و ثالث مورد استفاده قرار میگیرند.

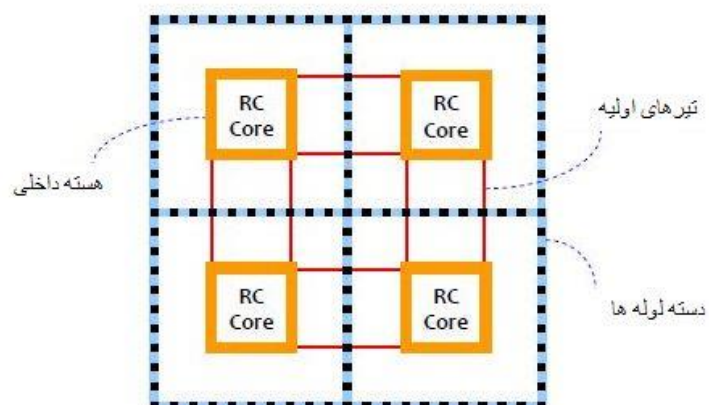
در سیستم دسته لوله، دو مورد اصلی سختی جانبی ساختمان را تقویت می کنند و حتی باعث کاهش نیاز در ستون های با فاصله کم میشوند. این دو مورد عبارتند از:

(۱) لوله های متعدد با صفحات زیاد با عمق بزرگ (در پلان) از ستون های با فاصله ی کم (که تقریباً باعث میشوند آنها مانند دیوار های با طول کامل عمل کنند)

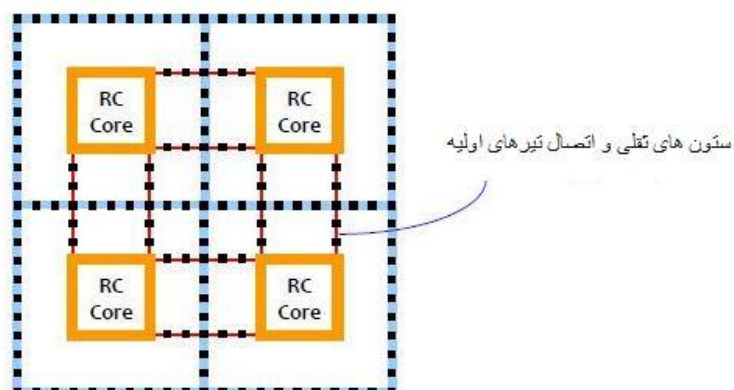
(۲) هسته های بتن مسلح که به وسیله ی سیستم های کمکی افقی سختی که در سطوح خاصی در طول ارتفاع ساختمان به هم متصل شده اند.

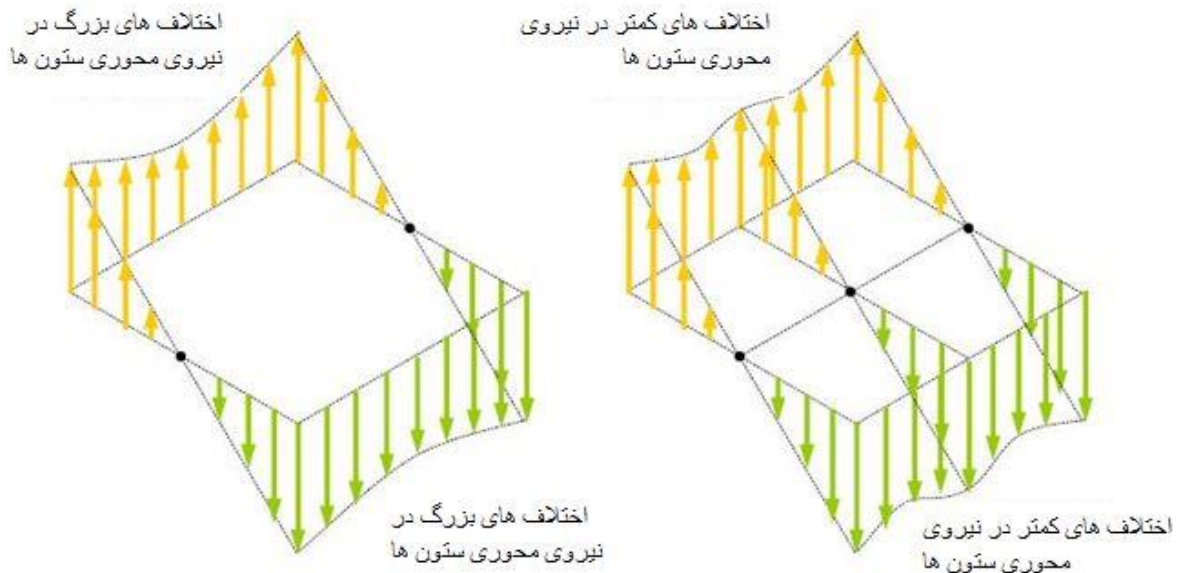
مورد دوم به طور خاص در سیستم های لوله و لوله در لوله مشاهده نمیشود. در سیستم های لوله و لوله در لوله، اتصال لوله های داخلی و محیطی کمک خیلی جزئی میکند زیرا این تیرها لوله های داخلی و لوله های پیرامونی را تنها در جهت ضعیف آنها متصل می کند. همچنین اتصال هسته به یک لوله پیرامونی و یا داخلی تنها اندکی کمک کننده است، و باز هم این به این دلیل است که لوله در جهت ضعیفش متصل شده است (شکل ۳-۶۱). اثر افت برش در سیستم لوله در لوله در مقایسه با سیستم دسته لوله بسیار کمتر است. (شکل ۳-۶۲)

شکل ۳-۶۰: المان های سازه ای در یک سیستم دسته لوله: هسته های داخلی توسط تیرهای ثانویه در راستای کناره های هسته به هم متصل شده اند.



شکل ۳-۶۱: اتصال بین هسته های بتن مسلح در یک سیستم دسته لوله: ستون های ثقیلی و تیرهای اولیه ارتباط بین هسته های بتن مسلح سخت و قوی را برقرار می کنند.





شکل ۳-۶۲: اثر افت برش در سیستم های سازه ای: (الف) در سیستم تیوب اختلاف زیادی میان نیروهای برشی در سمت بادگیر ساختمان و سمت پشت به باد دیده میشود. و (ب) این اختلاف در سیستم لوله در لوله کم است.

اهمیت مورد دوم به کمک یک قاب ۴۰ طبقه ساده که هر طبقه ۴ متر ارتفاع دارد و عرض آن دارای ۱۲ دهنه ۴ متری است ، توضیح داده میشود. به منظور ساده سازی، تمامی ستون ها ، تیرها و دال ها در ساختمان دارای اندازه های یکسانی در تمامی طبقات در نظر گرفته شده اند. ابعاد همه ی ستون ها در همه ی طبقات $1000\text{mm} \times 1000\text{mm}$ ، و همه ی تیرهای در همه ی طبقات $600\text{mm} \times 800\text{mm}$ در نظر گرفته شده اند. قطر دیوارها 1000mm است. دو سیستم سازه ای مورد بررسی قرار گرفته اند. یکی از آنها سیستم قاب - دیوار با دیوارهای سخت در دو دهنه تنها در یک انتهای قاب، و دیگری سیستم قاب دیوار با دیوارهای سخت در دو انتهای قاب (جدولهای ۳-۱۱ و ۳-۱۲). در سیستم سازه ای اول دیوار دو دهنه حکم هسته ی بتن مسلح را دارد. اعضای قاب خمشی به عنوان ستونهای ثقیلی عمل میکنند و تیرها هسته ی مرکزی را به لوله پیرامونی (در جهت ضعیفش) متصل می کنند. در سیستم سازه ای دوم ، دو هسته ی بتن مسلح توسط تیرها به هم متصل میشوند. هر دو قاب تحت بار جانبی یکسانی قرار دارند. توزیع این نیروی جانبی در طول ارتفاع به صورت سهمی گون است.

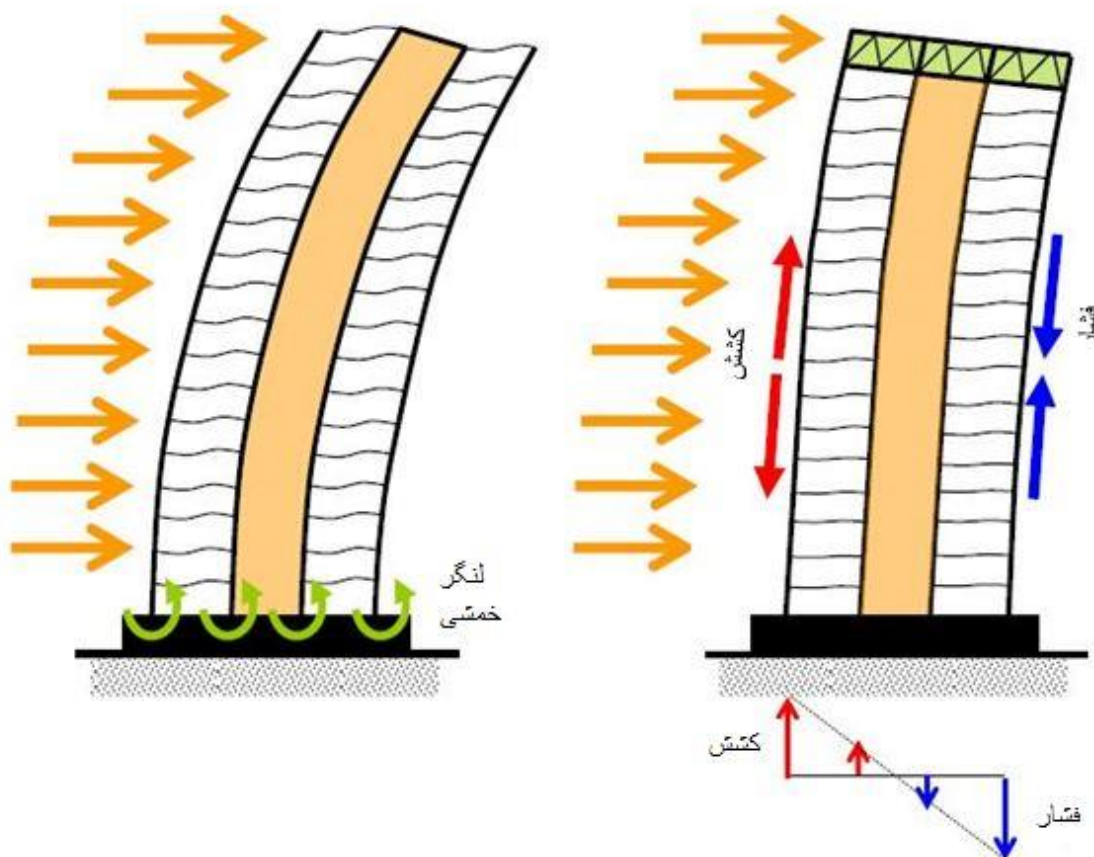
استفاده از کمربند های خرپایی در ساختمان های بلند در یک طبقه و یا طبقات متعدد ، برای کنترل تغییر شکل جانبی ساختمان تجربه شده است. کمربند خرپایی یک خرپای ساده است که از تمام ارتفاع ساختمان عبور می کند و در تمام عرض ساختمان کشیده شده است. (شکل ۳-۶۳). نقش کمربند خرپایی ، اینست که کاری کند تا ستون ها در مقابل لنگرهای واژگونی وارد شده به ساختمان با هم کار کنند. جفت ستون ها ، یک زوج کشش و فشار محوری برای مقابله با لنگرهای واژگونی ایجاد می کنند . این باعث کاهش اثرات خمیدگی کلی در ستون ها میشود. در اینجا پنج حالت اتصال بین هسته های بتن مسلح برای نمایش عددی این موضوع مورد بررسی قرار گرفته است . که عبارتند از:

(۱) هیچ عضو سختی در هیچ طبقه ای از قاب وجود ندارد.

- (۲) کمربند خربایی تنها در بالای قاب که دارای سختی خمشی و محوری نرمال است.
- (۳) کمربند خربایی در هر ده طبقه از قاب که دارای سختی خمشی و محوری نرمال است.
- (۴) کمربند خربایی تنها در بالای قاب که دارای سختی خمشی و محوری زیاد است.
- (۵) کمربند خربایی در هر ده طبقه از قاب که دارای سختی خمشی و محوری زیاد است.
- فرم های تغییر شکل یافته ، دیاگرام های لنگر خمشی در اعضای قاب و تنش های اصلی در دیوار ، در جدول های ۳-۱۱ و ۳-۱۲ نشان داده شده اند. می توانیم نتیجه بگیریم که:

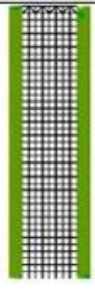
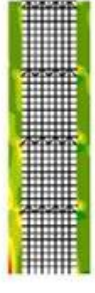
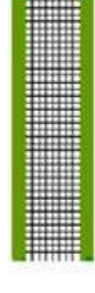
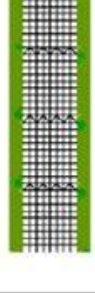
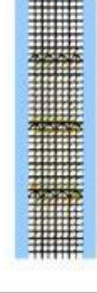
(۱) وجود یک دیوار سخت تنها در یک طرف کمکی نمی کند، حتی اگر سختی محوری و خمشی اعضای کمربند خربایی بزرگ باشد. در واقع این نتیجه حاصل میشود که استفاده از کمربندهای خربایی در سیستم های لوله و لوله در لوله سودمند نیست.

(۲) وجود دیوار در هر دو طرف کمک شایانی می کند. به ویژه زمانی که سختی خمشی و محوری اعضای کمربند خربایی زیاد باشد. در واقع این نتیجه حاصل میشود که استفاده از کمربند خربایی در سیستم های دسته لوله مفید است.



شکل ۲-۶۳: کمرندهای خرابایی در ساختمان های بلند: ستون تحت اثر الف) لنگرهای خمشی غالب و (ب) نیروهای محوری غالب

تنگر خمشی در اعضای قاب	حالت تغییر شکل یافته	تنش های اصلی در دیوار
	(۱) هسته سخت در سمت چپ (۲) لوله محیطی در سمت راست	
	(۱) هسته سخت در سمت چپ (۲) لوله محیطی در سمت راست (۳) کمربند خرابایی که هسته را با جهت انعطاف پذیر متصل می کند در سمت راست و فقط در بالا	
جدول ۱۱-۳: عملکرد ساختمان ۴۰ طبقه ی مثال با دیوارهای سخت تنها در یک طرف		
	(۱) هسته سخت در سمت چپ (۲) لوله محیطی در سمت راست (۳) کمربند خرابایی که هسته را با جهت انعطاف پذیر متصل می کند در سمت راست و در چهار طبقه	
	(۱) هسته سخت در سمت چپ (۲) لوله محیطی در سمت راست (۳) کمربند خرابایی فوق سخت که هسته را به جهت انعطاف پذیر لوله محیطی متصل می کند سمت راست تنها در بالا	
	(۱) هسته سخت در سمت چپ (۲) لوله محیطی در سمت راست (۳) کمربند خرابایی فوق سخت که هسته را به جهت انعطاف پذیر لوله محیطی متصل می کند سمت راست در چهار طبقه	

تثنی های اصلی در دیوار	لنگر خمشی در اعضای قاب	حالت تغییر شکل یافته
		 35 mm
		 34 mm
		 24 mm
		 33 mm
		 17 mm

جدول ۳-۱۲: عملکرد ساختمان ۴۰ طبقه ی مثال با دیوارهای سخت در دو طرف

شش ساختمان ۴۰ طبقه با پلان های یکسان به ابعاد $40m \times 40m$ در نظر گرفته شده اند. دو سری فاصله ی مرکز به مرکز برای ستون ها در هر سه سیستم قاب در نظر گرفته شده است. یک سری فاصله ی دو متری و یک سری فاصله ی ۴ متری. سه سیستمی که در اینجا داریم شامل سیستم های لوله ، لوله در لوله و دسته لوله می باشد. (شکل ۳-۶۴). هسته های داخلی از دوارهای برشی بتن مسلح تشکیل شده اند. تغییرات نیروی محوری ، نیروی برشی و لنگر خمشی در ارتفاع ساختمان در شکل ۳-۶۵ نشان داده شده است. موضوعات مهمی که مشاهده میشوند عبارتند از :

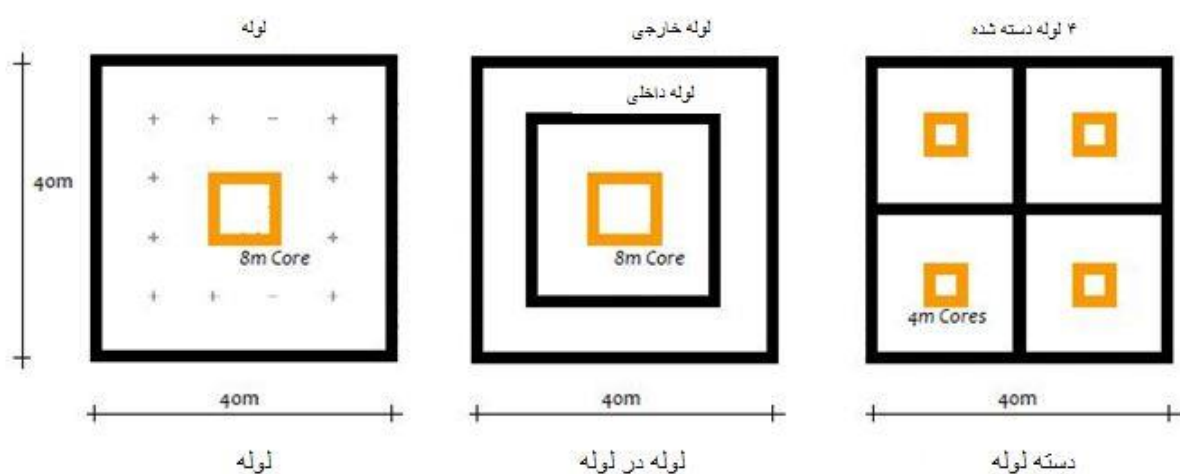
(۱) لنگر خمشی و نیروی برشی در ستون هایی که در گوشه ساختمان هستند ، در مقایسه ستون های ی که در نواحی میانی ساختمان واقع شده اند ، دارای مقادیر کمی می باشند .

(۲) ماکزیمم لنگر خمشی و نیروی محوری در بیس ساختمان دارای مقدار بیشینه نیست، بلکه مقدار بیشینه آنها در ارتفاع ۴۰ تا ۶۰ متری از بیس ساختمان اتفاق می افتد. (تقریباً حدود ۱ تا ۱.۵ برابر ابعاد بیس ساختمان). در نزدیکی بیس ساختمان ، لنگر خمشی و نیروی برشی هم در گوشه ها و هم در قسمت های میانی ساختمان به طور قابل توجهی کمتر از مقادیر حد اکثر آنها می باشند.

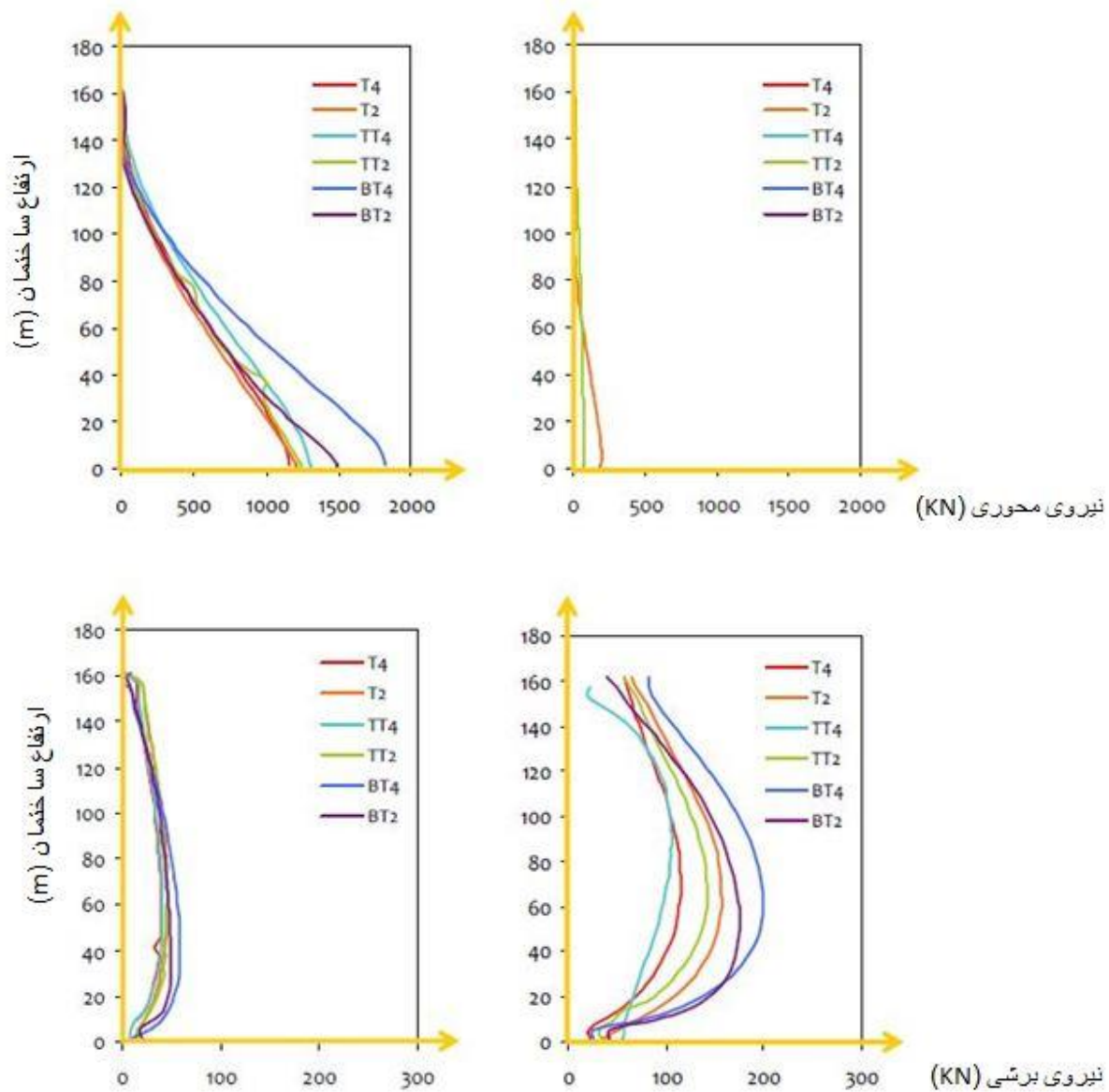
(۳) نیروی محوری در ستون های میانی بسیار ناچیز است.

(۴) در ستون های گوشه در نزدیکی بیس در هر سه سیستم سازه ای ، افزایش قابل توجهی در نیروی محوری مشاهده میشود. این از آن جهت است که نیروی جانبی کل ، هنگامی که نیروی محوری به سمت گوشه های ساختمان میرود ، مسیر خود را عوض میکنند (شکل ۳-۵۶).

مقادیر واقعی نیروها در سیستم های مختلف به ابعاد تیرها ، ستون ها و هسته ها بستگی دارد.



شکل ۳-۶۴: مقایسه سیستم های لوله در ساختمان های بلند: سه نوع سیستم لوله در عمل مقایسه شده اند.



شکل ۳-۶۵: تغییرات نیروها در ستون ها در سیستم لوله (فاصله ی ۲ متری بین ستون ها) در طول ارتفاع ساختمان: انتقال نیروها در طبقات پایینی به مقدار زیادی از طریق عملکرد محوری در ستون های گوشه صورت میگیرد.

