

تأثیر الگوی بارگذاری جانبی مختلف بر موقعیت بهینه مهار بازویی و کمر بند خرابایی در ساختمان‌های بلند*

(یادداشت پژوهشی)

بهناز حیدری قبادی اسکئی^(۱) حمیدرضا توکلی^(۲) حامد حمیدی^(۳) رضا رهگذر^(۴)

چکیده در این پژوهش تاثیر الگوی بارگذاری گسترده جانبی مستطیلی، مثلثی و دوزنقه‌ای بر موقعیت بهینه مهار بازویی و کمر بند خرابایی با استفاده از معیار انرژی مورد بررسی قرار گرفته است. اثر سیستم مهار بازویی، کمر بند خرابایی بر هسته مهاربندی به صورت فنر پیچشی در محل قرارگیری مهاربازویی و کمر بند خرابایی در نظر گرفته شده است. محل بهینه فنر، با ماکزیمم شدن انرژی جذب شده توسط فنر بدست می‌آید. موقعیت بهینه مهار بازویی و کمر بند خرابایی تحت تاثیر سه نوع الگوی بارگذاری جانبی برای سازه‌ای با یک، دو، سه و چهار مهار بازویی و کمر بند خرابایی محاسبه شده است. نتایج حاصله با استفاده از روش پیشنهادی با نتایج بدست آمده از آنالیز کامپیوتری، برای یک ساختمان بلند ۶۰ طبقه مقایسه شده است. نتایج بدست آمده بیانگر دقت قابل قبول روش پیشنهادی می‌باشد که به تخمین خوبی از پاسخ سازه واقعی منجر می‌گردد.

واژه‌های کلیدی الگوی بارگذاری جانبی، موقعیت بهینه، مهار بازویی و کمر بند خرابایی، ساختمان‌های بلند، معیار انرژی.

The Effect of Lateral Load Pattern on Optimum Location of Outrigger and Belt Truss in Tall Buildings

B. Heidary GhobadiAski

H. R. Tavakoli

H. Hamidi

R. Rahgozar

Abstract In this paper, the effect of rectangular, triangular and trapezoidal lateral loadings pattern on the optimum location of outrigger and belt truss based on energy concept have been investigated. The effect of outrigger-belt truss on shear core system response is modeled by a rotational spring at the outrigger-belt truss location. Optimum location of this spring is obtained when energy absorbed by the spring is maximized. Optimum location of outrigger and belt truss under the effect of three types of lateral loadings pattern for structure with one, two, three and four outriggers and belt trusses is calculated. Results obtained from the proposed method for 60 story tall building are compared to those obtained using a standard finite element computer package. The approximate analyses are found to yield reasonable results and give a fairly good indication of actual structure's response.

Key Words Lateral Loading Pattern, Optimum Location, Outrigger and Belt Truss, Tall Buildings, Energy Criterion.

* تاریخ دریافت مقاله ۹۴/۵/۲۶ و تاریخ پذیرش آن ۹۵/۶/۲۷ می‌باشد.

(۱) دانشجوی کارشناسی ارشد زلزله، دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل.

(۲) نویسنده مسئول، استادیار دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل.

(۳) استادیار دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل.

(۴) استاد دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه شهید باهنر کرمان.

مقدمه

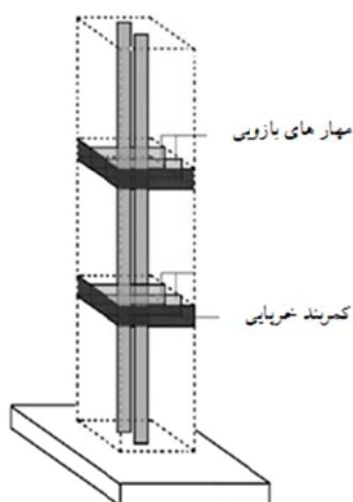
ساختمان‌های بلند ته تنها نماد رونق اقتصادی و پیشرفت اجتماعی هستند، بلکه ترکیبی از مهندسی سستی و تکنولوژی‌های نوین می‌باشند [1]. با افزایش جمعیت و عدم فضاهای باز کافی، ساخت ساختمان‌های بلند روز به روز محبوب‌تر می‌شوند و با وجود چالش‌های طراحی پیش رو، ساخت و ساز و هزینه‌های زیاد همچنان به‌طور چشمگیری در سراسر جهان در حال ساخت هستند. رشد و توسعه ساختمان‌های بلند مستلزم عوامل مختلفی از قبیل اقتصاد، زیبایی شناسی، فناوری، مقررات شهری و سیاست است که در این میان اقتصاد، اصلی‌ترین فاکتور کنترل کننده می‌باشد [2].

سیستم‌های دوگانه یا سه‌گانه در ساختمان‌های بلند که شامل دو یا سه المان سازه‌ای همچون قاب و دیوارهای برشی هستند، برای بدست آمدن یک سازه مقاوم در برابر باد و زلزله‌های قوی مورد استفاده قرار می‌گیرند [1].

کنترل تغییر مکان جانبی و لنگر فونداسیون در هسته‌ی یک ساختمان بلند تحت بارهای جانبی، دو نگرانی اصلی در طراحی ساختمان‌های بلند شده است. سیستم‌های سازه‌ای مختلفی برای کنترل تغییر مکان جانبی ساختمان‌های بلند ابداع شدند. سیستم مهار بازویی و کمربند خریایی معمولاً به عنوان یکی از سیستم‌های موثر برای کنترل دررفت در اثر بارهای جانبی می‌باشد به طوری که در هنگام بارگذاری، آسیب‌های سازه‌ای و غیر سازه‌ای به حداقل برسند. این سیستم همچنین به عنوان یکی از موثرترین روش‌های افزایش سختی سازه‌ای ساختمان‌های بلند در نظر گرفته شده و در چند دهه‌ی اخیر به‌طور گسترده‌ای مورد مطالعه قرار گرفته است [9-3]. یکی از مزایای استفاده از مهار بازویی و کمربند خریایی در ساختمان، افزایش سختی سازه‌ای و کنترل دررفت بین طبقات تحت بارهای جانبی می‌باشد. علاوه بر این لنگر واژگونی نیز می‌تواند بین قاب پیرامونی و دیوارهای هسته مرکزی،

توسط مهارهای بازویی متعادل شود [1].

سیستم مهار بازویی و کمربند خریایی، شکل اصلاح شده‌ی قاب‌های مهاربندی و قاب با دیوار برشی می‌باشد. در این سیستم مهندسان با استفاده از مهارهای بازویی، هسته را به ستون‌های خارجی متصل می‌کنند (شکل ۱).



شکل ۱ سیستم مهاربازویی - کمربند خریایی [11]

بنابراین ستون‌ها علاوه بر عملکرد سستی تحمل بارهای ثقیل، از حرکات جانبی ساختمان جلوگیری می‌کنند [10]. در سال ۱۹۷۴ اولین ساختمان با این سیستم سازه‌ای ساخته شده است، که ساختمان فلزی فرست ویسکانسین سنتر واقع در میلوآکی در کشور نیویورک بوده است. این ساختمان ۴۲ طبقه دارای سه کمربند خریایی است که در پایین، وسط و بالای ساختمان واقع شده‌اند. تجهیزات مکانیکی نیز در طبقات دارای کمربندهای خریایی واقع شده‌اند [11].

مطالعه پارامتریک برای طراحی بهینه ساختمان‌های بلند اهمیت بسیاری دارد. از آنجایی که معمولاً مطالعات پارامتریک شامل تعداد زیادی آنالیز هست و در صورت استفاده از مدل‌های پیچیده اجزای محدودی، زمان اجرای برنامه افزایش خواهد یافت، لذا مدل‌های ساده شده بسیار مورد علاقه مهندسان و محققان هستند [12].

چهار مهاربازویی و کمربندخرپایی تحت بارهای گسترده یکنواخت، مثلثی و دوزنقه‌ای می‌باشد. توسعه تحقیقات شامل: اولاً تغییر الگوی بارگذاری به شکل دوزنقه‌ای و ثانیاً تعیین محل بهینه‌ی بیش از یک مهاربازویی و کمربندخرپایی استفاده شده در ساختمان بلند می‌باشد. با توجه به اینکه اکثر تحقیقات انجام شده بر پایه بار جانبی مستطیلی شکل می‌باشند، لذا در این تحقیق، الگوی بارگذاری جانبی دوزنقه‌ای نیز برای نزدیک‌تر شدن به ماهیت واقعی بار باد لحاظ شده است. با توجه به این‌که در اکثر آیین‌نامه‌های بارگذاری، توزیع بار جانبی باد را به صورت سهمی در نظر می‌گیرند، بدین منظور با تقریب مناسبی بار جانبی دوزنقه‌ای نیز منظور شده است.

به منظور بررسی دقت نتایج حاصله از مدل ساده شده، یک مدل پیچیده با استفاده از برنامه ایتبس ساخته شده است. براساس مقایسه نتایج بدست‌آمده از نمودارها، دقت روش بکار رفته سنجیده شده است. در این مقاله فرمول بندی مدل ساده شده ارائه شده است و دقت و کارآمدی آن نیز گزارش شده است.

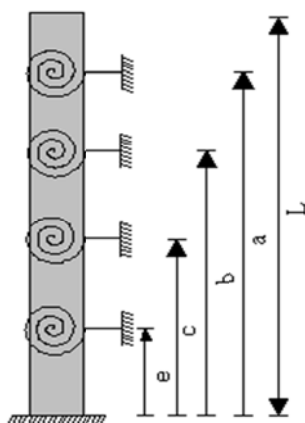
تعریف سیستم مهار بازویی - کمربند خرپایی و فرضیات مدلسازی

از لحاظ سازه‌ای اسکلت اولیه یک ساختمان بلند می‌تواند به عنوان یک تیر طره قائم با پایه گیردار در زمین مشاهده شود و به صورت یک تیر قوطی شکل طره مدل شود. محل کمربندخرپایی و مهار بازویی تأثیر مستقیمی روی کارآمدی کنترل تغییر مکان افقی در ساختمان‌های بلند دارد. محل مناسب کمربندخرپایی و مهار بازویی در به حداقل رساندن تغییر مکان افقی و کاهش لنگرهای گیرداری کارآمدتر خواهد بود [18].

بدین منظور یک مدل ساده شده تیر طره برای ساختمان‌های بلند توسعه داده شده است. در این مدل، هسته به عنوان تیر طره و مهارهای بازویی به عنوان

اولین بار تارانا (۱۹۷۵)، مهار بازویی را به صورت یک تیر صلب مدل نمود و محل بهینه مهار بازویی و کمربند خرپایی را، تحت بار گسترده یکنواخت محاسبه کرده و پیشنهاد داد که محل بهینه‌ی یک مهاربازویی، نزدیک به میانه ارتفاع ساختمان (۰/۴۵۵ ارتفاع کل ساختمان از بالا) باشد [3]. استافورد اسمیت و ایروان سلیم (۱۹۸۱)، صلبیت خمشی مهار بازویی را وارد محاسبات کرده و موقعیت بهینه را تحت بار گسترده یکنواخت محاسبه نمودند. در مطالعات آن‌ها محل‌های بهینه مهارهای بازویی، کاهش دریفت بالای ساختمان و لنگر پایه، با یک پارامتر بی بعد که تابعی از نسبت‌های صلبیت خمشی سیستم هسته به ستون و سیستم هسته به مهاربازویی می‌باشد، بیان شده است [5]. روتنبرگ و تال (۱۹۸۶)، نتایج یک ارزیابی روی کاهش دریفت، برای سازه‌هایی با مهارهای بازویی صلب، را ارائه دادند و محل بهینه را تحت بار گسترده مثلثی و متمرکز محاسبه نمودند [13]. هاندر کمپ و باکر (۲۰۰۳)، علاوه بر صلبیت خمشی مهار بازویی و هسته، صلبیت برشی را نیز لحاظ کرده و محل بهینه یک سازه شامل قاب مهاربندی با مهاربازویی را تحت بار گسترده یکنواخت محاسبه نمودند [14,15]. خیرالدین و میراسمعیل (۱۳۸۹)، موقعیت بهینه را با در نظر گرفتن تغییر شکل‌های خمشی و برشی مهار بازویی و هسته و تغییر شکل‌های محوری ستون‌های خارجی محاسبه نمودند [16]. رهگذر و جهانشاهی (۲۰۱۳)، روشی برای تعیین محل بهینه یک مهاربازویی و کمربند خرپایی با استفاده از ماکزیمم کردن انرژی کرنشی سیستم مهار بازویی و کمربند خرپایی ارائه نمودند و محل بهینه را با صفر قرار دادن مشتق معادله انرژی نسبت به محل قرارگیری سیستم مهاربازویی محاسبه کردند [۱۷].

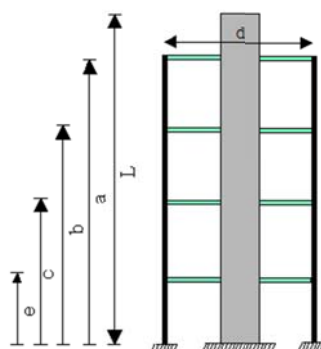
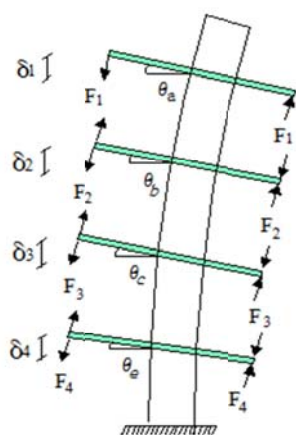
هدف این کار پژوهشی گسترش تحقیقات انجام شده رهگذر و جهانشاهی، مرتبط با یافتن محل بهینه



شکل ۲ مدل تحلیلی سازه بلند با چهار مهار بازویی و کمر بند خرنمایی

محاسبه چرخش فنرها

محاسبه روابط چرخش‌های مهارهای بازویی. اگر A سطح مقطع ستون‌های خارجی و E مدول الاستیسیته هسته مرکزی باشد با توجه به شکل (۳) داریم:



شکل ۳ معادل‌سازی لنگر فنرهای پیچشی با کوپل نیروها

اجسام صلب در نظر گرفته شدند [۱۷].

اثر مهارهای بازویی و کمربندهای خرنمایی روی هسته مرکزی با فنرهای پیچشی در محل مهارهای بازویی و کمربندهای خرنمایی مدل شده‌اند [۱۷]. محل بهینه فنر، زمانی که انرژی جذب شده توسط فنرها ماکزیمم شود بدست می‌آید [۱۶]. با حل مشتق معادلات انرژی نسبت به محل قرارگیری فنرها از پای سازه توسط نرم‌افزار متلب، بهترین مکان مهارهای بازویی و کمربندهای خرنمایی بدست آمده است. فرضیات حاکم بر مدل‌سازی، با کمک گرفتن از روش ارائه شده تارانا [۱۷] و رهگذر و همکاران [۱۶] به شرح زیر می‌باشد:

۱. رفتار سازه الاستیک خطی است.
۲. خواص هندسی مقطع هسته، ستون‌ها و مهارهای بازویی در راستای ارتفاع یکنواخت می‌باشد.
۳. مهارهای بازویی به صورت صلب به هسته و به صورت مفصلی به ستون‌های خارجی متصل هستند.
۴. مهارهای بازویی صلب در نظر گرفته شده‌اند.
۵. اثرات مهارهای بازویی و کمربندهای خرنمایی در تراز متصل به هسته به صورت فنر پیچشی در نظر گرفته شده‌اند.

آنالیز سازه با چهار مهار بازویی و کمر بند خرنمایی

مدل انتخابی برای آنالیز سازه با چهار مهار بازویی مطابق شکل (۲) بوده که دارای چهار فنر پیچشی در ترازهای a, b, c, e می‌باشد. مهارهای بازویی و کمربندهای خرنمایی به صورت فنرهای پیچشی در نظر گرفته شده‌اند و به صورت لنگرهای متمرکز در خلاف جهت دوران ناشی از بارهای جانبی مقاومت کرده و باعث کاهش تغییرشکل بالای تیر طره و کاهش لنگر پای سازه می‌شوند [۱۷].

با استفاده از روابط (۱۳)، (۱۴)، (۱۵) و (۱۶) مقادیر M_e و M_c, M_b, M_a بدست می‌آیند:

$$\delta_1 - \delta_2 = \frac{F_1(a-b)}{EA} \quad (1)$$

$$\delta_2 - \delta_3 = \frac{F_2(b-c)}{EA} \quad (2)$$

$$\delta_3 - \delta_4 = \frac{F_3(c-e)}{EA} \quad (3)$$

$$\delta_4 = \frac{F_4 e}{EA} \quad (4)$$

$$\theta_a = \frac{\delta_1}{d/2} \quad (5)$$

$$\theta_b = \frac{\delta_2}{d/2} \quad (6)$$

$$\theta_c = \frac{\delta_3}{d/2} \quad (7)$$

$$\theta_e = \frac{\delta_4}{d/2} \quad (8)$$

محاسبه روابط چرخش‌های هسته مرکزی. زاویه چرخش هسته مرکزی در محل مهارهای بازویی به نوع بارگذاری وارد بر سازه وابسته است. در این مقاله برای سه حالت بارگذاری گسترده یکنواخت، گسترده مثلثی و دوزنقه‌ای، مقادیر چرخش‌های هسته مرکزی در نقاط a, b, c, e محاسبه شده است.

بارگذاری گسترده یکنواخت. مطابق شکل (۴) وقتی مجموعه تحت بارگذاری گسترده یکنواخت قرار گیرد، زاویه چرخش در نقاط a, b, c, e مطابق مراحل زیر قابل محاسبه است:

مطابق شکل (۳)، اگر M لنگر حاصل از کوپل

نیروهای وارده به مهارهای بازویی باشد:

$$M_a = \frac{EAd^2}{2} \frac{\theta_a - \theta_b}{a-b} \quad (17)$$

$$M_a = F_1 d \quad (9)$$

$$M_b = \frac{EAd^2}{2} \frac{(c-b)\theta_a + (a-c)\theta_b + (b-a)\theta_c}{(a-b)(b-c)} \quad (18)$$

$$M_b = (F_2 - F_1)d \quad (10)$$

$$M_c = \frac{EAd^2}{2} \frac{(c-e)\theta_b + (b-e)\theta_c + (c-b)\theta_e}{(b-c)(c-e)} \quad (19)$$

$$M_c = (F_3 - F_2)d \quad (11)$$

$$M_e = \frac{EAd^2}{2} \frac{c\theta_e - e\theta_c}{e(c-e)} \quad (20)$$

$$M_e = (F_4 - F_3)d \quad (12)$$

طبق اصل جمع آثار قوا، θ_a برابر با $\theta_{a,1}$ (حاصل از بار جانبی بدون فنر) و $\theta_{a,2}$ (حاصل از لنگر M_e به دلیل وجود فنر e) و $\theta_{a,3}$ (حاصل از لنگر M_c به دلیل وجود فنر c) و $\theta_{a,4}$ (حاصل از لنگر M_b به دلیل وجود فنر b) و $\theta_{a,5}$ (حاصل از لنگر M_a به دلیل وجود فنر a) است.

$$\theta_a = \theta_{a,1} + \theta_{a,2} + \theta_{a,3} + \theta_{a,4} + \theta_{a,5} \quad (21)$$

اگر میزان چرخش فنر اول θ_e ، میزان چرخش فنر دوم θ_c ، میزان چرخش فنر سوم θ_b و میزان چرخش فنر چهارم θ_a باشند، خواهیم داشت:
از ترکیب روابط (۱) تا (۱۲) نتیجه می‌شود:

$$\theta_a = \frac{M_a a + M_b b + M_c c + M_e e}{EAd^2/2} \quad (13)$$

$$\theta_b = \frac{(M_a + M_b)b + M_c c + M_e e}{EAd^2/2} \quad (14)$$

$$\theta_c = \frac{(M_a + M_b + M_c)c + M_e e}{EAd^2/2} \quad (15)$$

$$\theta_e = \frac{(M_a + M_b + M_c + M_e)e}{EAd^2/2} \quad (16)$$

مطابق شکل (۴-ب)، چرخش سازه در مقطعی به فاصله x از پای سازه برابر است با:

$$\theta_{x,1} = \frac{1}{EI} \int_0^x M_x dx \quad (22)$$

$$\theta_a = \frac{\left(\frac{wLa^2}{2} - \frac{wL^2a}{2} - \frac{wa^3}{6}\right)}{EI + EAd^2/2} \quad (۳۳)$$

به همین ترتیب برای θ_b و θ_c و θ_e روابط زیر بدست آمدند:

$$\theta_b = \frac{\left(\frac{wLb^2}{2} - \frac{wL^2b}{2} - \frac{wb^3}{6}\right)}{EI + EAd^2/2} \quad (۳۴)$$

$$\theta_c = \frac{\left(\frac{wLc^2}{2} - \frac{wL^2c}{2} - \frac{wc^3}{6}\right)}{EI + EAd^2/2} \quad (۳۵)$$

$$\theta_e = \frac{\left(\frac{wLe^2}{2} - \frac{wL^2e}{2} - \frac{we^3}{6}\right)}{EI + EAd^2/2} \quad (۳۶)$$

اگر روابط (۱۷)، (۱۸)، (۱۹) و (۲۰) را در رابطه (۳۷) جایگذاری کنیم خواهیم داشت:

$$E = \frac{1}{2}M_a\theta_a + \frac{1}{2}M_b\theta_b + \frac{1}{2}M_c\theta_c + \frac{1}{2}M_e\theta_e \quad (۳۷)$$

$$E = \frac{1}{4}EAd^2 \left\{ \frac{\theta_a - \theta_b}{a-b} + \frac{(c-b)\theta_a + (a-c)\theta_b + (b-a)\theta_c}{(a-b)(b-c)} + \frac{(c-e)\theta_b + (b-e)\theta_c + (c-b)\theta_e}{(b-c)(c-e)} + \frac{c\theta_e - e\theta_c}{e(c-e)} \right\} \quad (۳۸)$$

در رابطه (۳۸) رابطه انرژی برحسب متغیرهای a, b, c, e بیان می شود. اگر مشتقات جزئی رابطه انرژی نسبت به متغیرهای a, b, c, e را برابر صفر قرار دهیم، با توجه به اینکه مجبور به حل دستگاه معادلات غیرخطی می شویم، در نتیجه با استفاده از کدنویسی در نرم افزار متلب، دستگاه معادلات غیرخطی به روش عددی حل شده و موقعیت بهینه مهارهای بازویی و کمرندهای خرابی بدست آمد.

$$\frac{\partial E}{\partial a} = 0 \quad (۳۹)$$

$$\frac{\partial E}{\partial b} = 0 \quad (۴۰)$$

$$\frac{\partial E}{\partial c} = 0 \quad (۴۱)$$

$$\frac{\partial E}{\partial e} = 0 \quad (۴۲)$$

و رابطه M_x برای شکل الف به صورت زیر می باشد:

$$M_x = wLx - \frac{wL^2}{2} - \frac{wx^2}{2} \quad (۲۳)$$

با جایگذاری رابطه (۲۳) در (۲۲) داریم:

$$\theta_{x,1} = \frac{1}{EI} \left(\frac{wLx^2}{2} - \frac{wL^2x}{2} - \frac{wx^3}{6} \right) \quad (۲۴)$$

بنابراین مقدار $\theta_{x,1}$ در نقطه a برابر خواهد بود با:

$$\theta_{a,1} = \frac{1}{EI} \left(\frac{wLa^2}{2} - \frac{wL^2a}{2} - \frac{wa^3}{6} \right) \quad (۲۵)$$

برای محاسبه $\theta_{a,2}$ حاصل از لنگر M_e :

$$\theta_{x,2} = \frac{1}{EI} \int_0^x M_x dx \quad (۲۶)$$

با توجه به شکل (۴) و پس از انتگرال گیری خواهیم داشت:

$$\theta_{a,2} = \frac{-M_e e}{EI} \quad (۲۷)$$

$$\theta_{a,3} = \frac{-M_c c}{EI} \quad (۲۸)$$

$$\theta_{a,4} = \frac{-M_b b}{EI} \quad (۲۹)$$

$$\theta_{a,5} = \frac{-M_a a}{EI} \quad (۳۰)$$

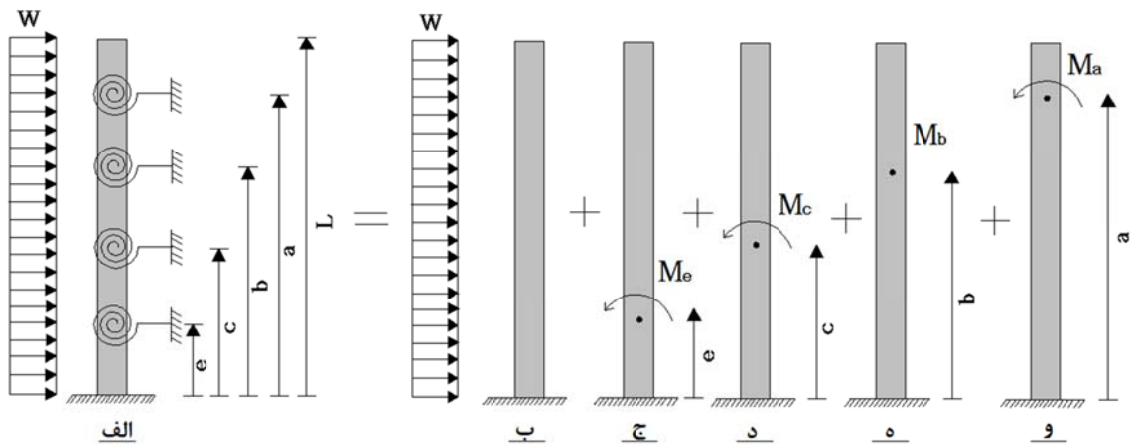
با جایگذاری روابط (۲۵)، (۲۷)، (۲۸)، (۲۹)، (۳۰) در رابطه (۲۱) داریم:

$$\theta_a = \frac{\left(\frac{wLa^2}{2} - \frac{wL^2a}{2} - \frac{wa^3}{6}\right) - (M_a a + M_b b + M_c c + M_e e)}{EI} \quad (۳۱)$$

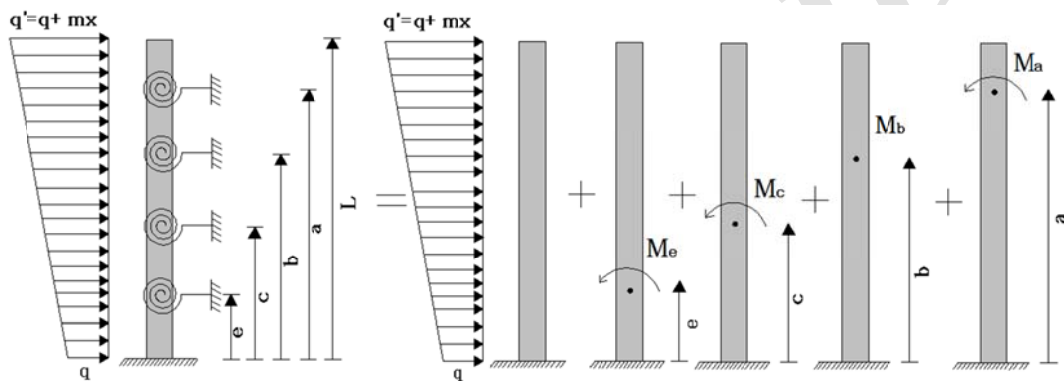
طبق روابط سازگاری تغییر شکل ها در مهار بازویی و هسته مرکزی در نقطه a ، مقدار θ_a در رابطه (۳۱) باید با مقدار بدست آمده برای θ_a در رابطه (۱۳) برابر باشند:

$$M_a a + M_b b + M_c c + M_e e = \theta_a EAd^2/2 \quad (۳۲)$$

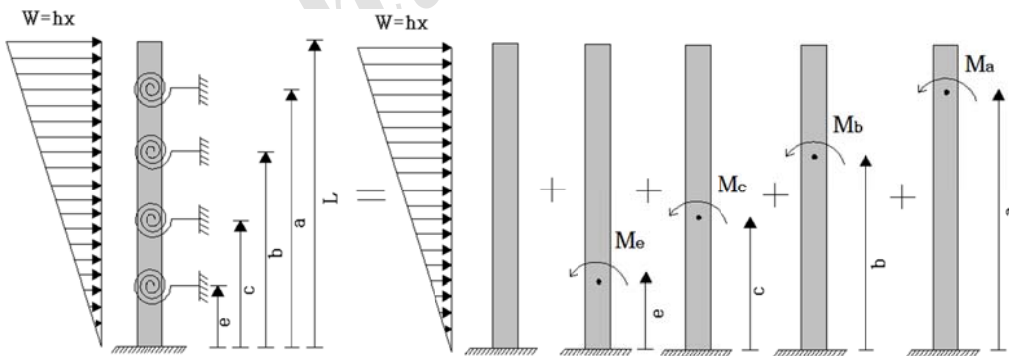
از ترکیب روابط (۳۱) و (۳۲) نتیجه می شود:



شکل ۴ مدل تحلیلی سازه بلند با چهار مهار بازویی و کمر بند خرابایی تحت بار گسترده یکنواخت



شکل ۵ مدل تحلیلی سازه بلند با چهار مهار بازویی و کمر بند خرابایی تحت بار گسترده مثلثی



شکل ۶ مدل تحلیلی سازه بلند با چهار مهار بازویی و کمر بند خرابایی تحت بار گسترده ذوزنقه ای

$$\theta_a = \frac{\left(\frac{hL^2 a^2}{4} - \frac{hL^3 a}{3} - \frac{ha^4}{24}\right)}{EI + EAd^2/2} \quad (۴۳)$$

$$\theta_b = \frac{\left(\frac{hL^2 b^2}{4} - \frac{hL^3 b}{3} - \frac{hb^4}{24}\right)}{EI + EAd^2/2} \quad (۴۴)$$

بارگذاری گسترده مثلثی. در این حالت کلیه مراحل محاسبات همانند حالت بارگذاری گسترده یکنواخت می باشد، تنها تفاوت مربوط به زاویه چرخش حاصل از بار گسترده مثلثی است.

$$\theta_e = \frac{\left(\frac{(2qL+mL^2)e^2}{8} - \frac{(3qL^2+2mL^3)e}{6} - \frac{qe^3}{6} - \frac{me^4}{24}\right)}{EI+EAd^2/2} \quad (50)$$

$$\theta_c = \frac{\left(\frac{hL^2c^2}{4} - \frac{hL^3c}{3} - \frac{hc^4}{24}\right)}{EI+EAd^2/2} \quad (45)$$

تعیین موقعیت بهینه مهارهای بازویی با استفاده از نتایج تحلیل

$$\theta_e = \frac{\left(\frac{hL^2e^2}{4} - \frac{hL^3e}{3} - \frac{he^4}{24}\right)}{EI+EAd^2/2} \quad (46)$$

برای تعیین موقعیت بهینه مهارهای بازویی و کمرندهای خرپایی، باید محلی را پیدا نمود که انرژی جذب شده توسط فنرهای پیچشی، در آن مکانها حداکثر شود. تعیین این محل مطابق معادلات (۳۹)، (۴۰)، (۴۱) و (۴۲) با صفر قرار دان مشتق معادله انرژی نسبت به محل قرارگیری فنرها از پای سازه محاسبه می شود [16].

بارگذاری گسترده دوزنقه‌ای. در این حالت نیز کلیه مراحل محاسبات همانند حالت بارگذاری گسترده یکنواخت می باشد، تنها تفاوت مربوط به زاویه چرخش حاصل از بار گسترده دوزنقه‌ای می باشد.

$$\theta_a = \frac{\left(\frac{(2qL+mL^2)a^2}{8} - \frac{(3qL^2+2mL^3)a}{6} - \frac{qa^3}{6} - \frac{ma^4}{24}\right)}{EI+EAd^2/2} \quad (47)$$

موقعیت بهینه مهارهای بازویی و کمرندهای خرپایی در مدل ارائه شده در این تحقیق برای حالات مختلف بارگذاری و تعداد چهار مهار بازویی و کمرند خرپایی در جداول (۱)، (۲)، (۳) ارائه شده است (مبنای محاسبه پای سازه می باشد).

$$\theta_b = \frac{\left(\frac{(2qL+mL^2)b^2}{8} - \frac{(3qL^2+2mL^3)b}{6} - \frac{qb^3}{6} - \frac{mb^4}{24}\right)}{EI+EAd^2/2} \quad (48)$$

$$\theta_c = \frac{\left(\frac{(2qL+mL^2)c^2}{8} - \frac{(3qL^2+2mL^3)c}{6} - \frac{qc^3}{6} - \frac{mc^4}{24}\right)}{EI+EAd^2/2} \quad (49)$$

جدول ۲ موقعیت بهینه مهار بازویی و کمرند خرپایی تحت بار گسترده مثلثی

تعداد مهار بازویی و کمرند خرپایی	موقعیت بهینه (بر حسب L)			
	۱	۰/۵۷۱		
۲	۰/۲۸	۰/۶۲		
۳	۰/۲۰۸۱	۰/۴۲۹۹	۰/۶۹۵۴	
۴	۰/۱۶۲۱	۰/۳۳۰۴	۰/۵۱۴۳	۰/۷۳۸۵

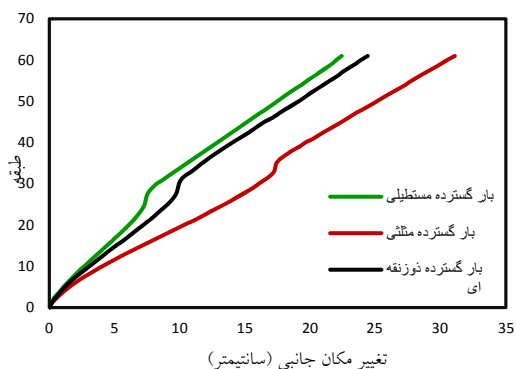
جدول ۳ موقعیت بهینه مهار بازویی و کمرند خرپایی تحت بار گسترده دوزنقه‌ای

تعداد مهار بازویی و کمرند خرپایی	موقعیت بهینه (بر حسب L)			
	۱	۰/۴۸۴۵		
۲	۰/۲۸۶	۰/۶۲۱۴		
۳	۰/۲۰۳۸	۰/۴۲۴۴	۰/۶۹۱۲	
۴	۰/۱۵۸۵	۰/۳۲۵۱	۰/۵۰۸۹	۰/۷۳۴۷

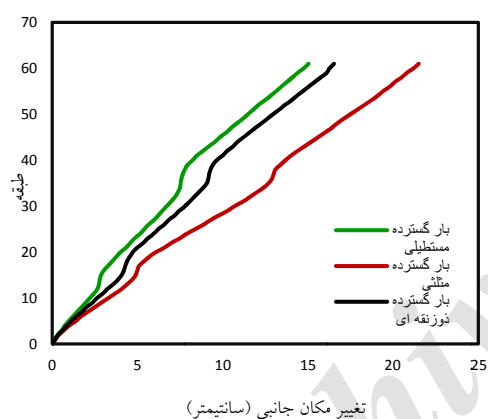
مطالعه موردی

به منظور بررسی دقت روش ارائه شده، یک ساختمان بلند ۶۰ طبقه فولادی با سیستم ترکیبی قاب فولادی کمر بند خرابایی مهار بازویی که در معرض بار گسترده دوزنقه‌ای قرار گرفته و در شکل (۷) نشان داده شده است، مورد بررسی قرار داده شد. مشخصات زیر در مثال عددی استفاده شده است: تمام مقاطع ستون‌ها $۰/۸ \times ۰/۸$ متر و در ارتفاع سازه ثابت می‌باشند. ارتفاع هر طبقه $۳/۳$ متر و فاصله مرکز تا مرکز ستون‌ها ۸ متر می‌باشد. ابعاد پلان ساختمان ۴۸×۴۸ متر می‌باشد. مدول الاستیسیته ۲۱ گیگا پاسکال و نسبت پواسون $۰/۳$ می‌باشد.

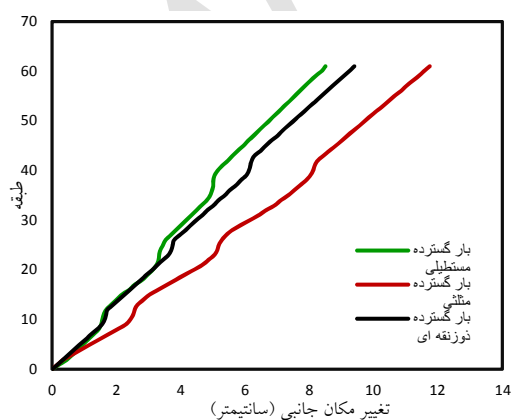
سه مهار بازویی و کمر بند خرابایی و در شکل (۱۱) تحت چهارمهار بازویی و کمر بند خرابایی قرار دارد.



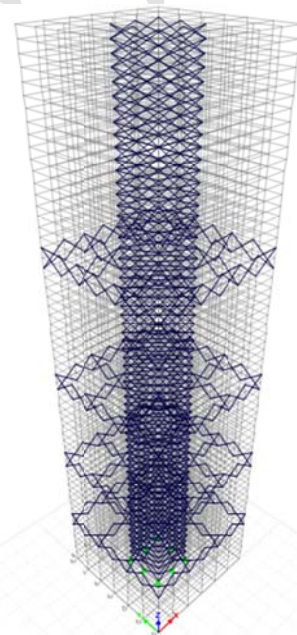
شکل ۸ مقایسه تغییر مکان جانبی سازه ۶۰ طبقه با ۱ مهار بازویی و کمر بند خرابایی تحت بارگذاری‌های مختلف



شکل ۹ مقایسه تغییر مکان جانبی سازه ۶۰ طبقه با ۲ مهار بازویی و کمر بند خرابایی تحت بارگذاری‌های مختلف



شکل ۱۰ مقایسه تغییر مکان جانبی سازه ۶۰ طبقه با ۳ مهار بازویی و کمر بند خرابایی تحت بارگذاری‌های مختلف

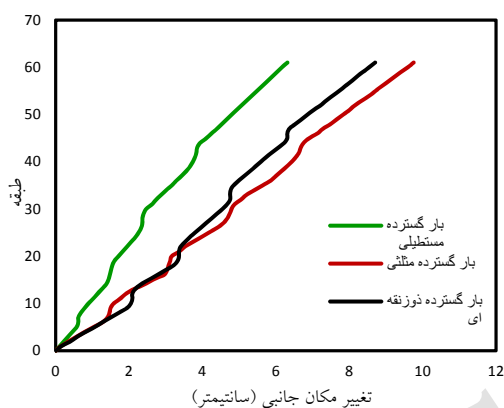


شکل ۷ مدل ایتبس

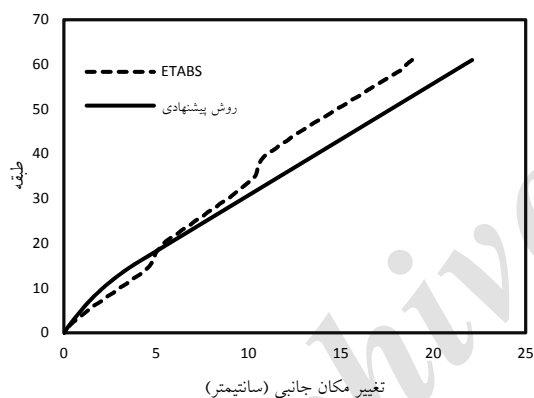
شکل‌های (۸) تا (۱۱) تغییر مکان جانبی ساختمان ۶۰ طبقه مذکور را تحت الگوهای مختلف بار جانبی گسترده مستطیلی، مثلثی و دوزنقه‌ای نشان می‌دهند. چنانچه در شکل‌ها مشخص است، در شکل (۸) سازه تحت یک مهار بازویی و کمر بند خرابایی، در شکل (۹) تحت دو مهار بازویی و کمر بند خرابایی، در شکل (۱۰)

دست آمده در شکل‌های (۱۲) تا (۱۵) نشان داده شده است.

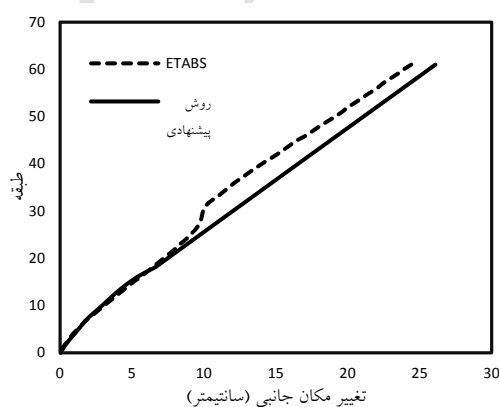
سازه مورد نظر با استفاده از روش پیشنهادی تحلیل شده و نتایج حاصل از روش پیشنهادی با نتایج حاصل از نرم‌افزار ایتبس مقایسه شده است. نتایج به



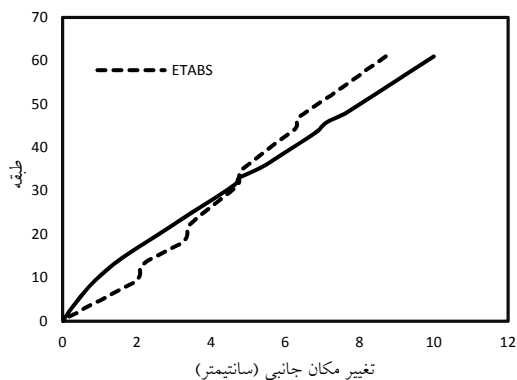
شکل ۱۱ مقایسه تغییر مکان جانبی سازه ۶۰ طبقه با ۴ مهار بازویی و کمر بند خرابایی تحت بارگذاری های مختلف



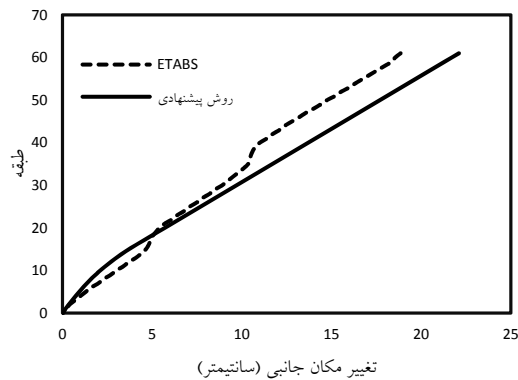
شکل ۱۳ تغییر مکان جانبی سازه ۶۰ طبقه با ۲ مهار بازویی و کمر بند خرابایی تحت بارگسترده دوزنقه‌ای



شکل ۱۲ تغییر مکان جانبی سازه ۶۰ طبقه با ۱ مهار بازویی و کمر بند خرابایی تحت بارگسترده دوزنقه‌ای



شکل ۱۵ تغییر مکان جانبی سازه ۶۰ طبقه با ۴ مهار بازویی و کمر بند خرابایی تحت بارگسترده دوزنقه‌ای



شکل ۱۴ تغییر مکان جانبی سازه ۶۰ طبقه با ۳ مهار بازویی و کمر بند خرابایی تحت بارگسترده دوزنقه‌ای

نتیجه گیری

در این مقاله موقعیت بهینه مهارهای بازویی و کمربندهای خرپایی صلب با استفاده از معیار انرژی تحت بارگذاری‌های گسترده یکنواخت، گسترده مثلثی و گسترده دوزنقه‌ای بررسی گردیده است.

با مطالعه تحقیقات انجام شده توسط محققین در خصوص محل بهینه مهار بازویی و کمربند خرپایی، ملاحظه می‌شود که معیار مورد استفاده جهت محاسبه موقعیت بهینه، حداقل شدن تغییر شکل‌های بالای سازه می‌باشد. این معیار، وضعیت یک نقطه خاص از سازه را مدنظر قرار می‌دهد، لذا به نظر می‌رسد معیار جامعی نباشد. بنابراین اگر بتوانیم معیاری بیابیم که شرایط یک نقطه خاص را مدنظر قرار ندهد، نتایج دقیق‌تری حاصل خواهد شد. در این پژوهش با استفاده از معیار انرژی که یکی از معیارهای قابل اعتماد در مباحث مهندسی می‌باشد، موقعیت بهینه مهار بازویی و کمربند خرپایی در وضعیت‌های مختلف تعیین گردید. سازه موردنظر با

یک سری فرضیات ساده شونده به عنوان یک سازه پیوسته مدل شده است. با توجه به تحلیل‌های تئوری و نتایج عدی، نتیجه گیری‌های اصلی این مقاله به شرح زیر خواهد بود:

۱. با افزایش q^4/q' در بارگذاری گسترده دوزنقه‌ای، موقعیت بهینه مهار بازویی و کمربند خرپایی به سمت پایین سازه حرکت می‌کند. از این‌رو محل بهینه مهارهای بازویی و کمربندهای خرپایی تحت بار گسترده مثلثی، تمایل به حرکت به بالای ارتفاع سازه و تحت بار گسترده مستطیلی، تمایل به حرکت به پایین سازه را دارند.
۲. موقعیت بهینه یک، دو، سه و چهار مهار بازویی و کمربند خرپایی صلب، تحت سه نوع بارگذاری گسترده یکنواخت، مثلثی و دوزنقه‌ای با معیار انرژی محاسبه شد و نتایج حاصله نشان می‌دهد که معمولاً بهترین محل مهار بازویی و کمربند خرپایی در حدود $0.7-0.4$ ارتفاع، از پای سازه می‌باشد.

مراجع

1. Zhou, Y., and Hexian Li., "Analysis of a high-rise steel structure with viscous damped outriggers", *The Structural Design of Tall and Special Buildings*, Vol. 23, No. 13, PP. 963-979, (2014).
2. Mir M., and Sun Moon, K., "Structural developments in tall buildings: current trends and future prospects", *Architectural Science Review*, Vol. 50, No. 3, PP. 205-223, (2007).
3. Taranath, B. S., "Optimum belt truss location for high-rise structures", *Structural Engineer*, Vol. 53, No. 8, PP. 18-21, (1975).
4. McNabb, J. W., and Muvdi, B. B., "Drift reduction factors for belted high-rise structures", *AISC Engineering Journal*, 3rd Quarter, PP. 88-91, (1975).
5. Smith, B. S., and Salim, I., "Parameter study of outrigger-braced tall building structures", *Journal of the Structural Division*, Vol. 107, No. 10, PP. 2001-2014, (1981).
6. Ding, J. M., "Optimum belt truss location for high-rise structures and top level drift coefficient", *Journal of Building Structures 4*, PP. 10-13, (1991).
7. Zhu, Y. L., "Inner force analysis of frame-core structure with horizontal outrigger belts", *Journal of Building Structures*, Vol. 10, PP. 10-15, (1995).
8. Zhang, Z. G., et al. "Studies on structural performance of ultra high-rise building with outrigger

- belts", *Journal of Building Structures*, Vol. 17, No. 4, PP. 2-9, (1996).
9. Wu, J. R., and Q. S. Li., "Structural performance of multi-outrigger-braced tall buildings", *The Structural Design of Tall and Special Buildings*, Vol. 12, No. 2, PP. 155-176, (2003).
 10. Rahgozar, R., and Sharifi, Y., "An approximate analysis of combined system of framed tube, shear core and belt truss in high-rise buildings", *The Structural Design of Tall and Special Buildings*, Vol. 18, No. 6, PP. 607-624, (2009).
 11. Halis, G. M., and Emrellgin, H., "A proposal for the classification of structural systems of tall buildings." *Building and environment*, Vol. 42, No. 7, PP. 2667-2675, (2007).
 12. Deng, Kailai, et al. "A simplified model for analysis of high-rise buildings equipped with hysteresis damped outriggers." *The Structural Design of Tall and Special Buildings*, Vol. 23, No. 15, PP. 1158-1170, (2014).
 13. Rutenberg, A., and D. Tal., "Lateral load response of belted tall building structures", *Engineering Structures*, Vol. 9, No. 1, PP. 53-67, (1987).
 14. Hoenderkamp, J. C. D., "Shear wall with outrigger trusses on wall and column foundations", *The structural design of tall and special buildings*, Vol. 13, No. 1, PP. 73-87, (2004).
 15. Hoenderkamp, J. C. D., and Bakker, M. C. M., "Analysis of high-rise braced frames with outriggers", *The Structural Design of Tall and Special Buildings*, Vol. 12, No. 4, PP. 335-350, (2003).
 ۱۷. خیرالدین علی. آرامش سیما. "سیستم‌های مقاوم سازه‌ای در ساختمان‌های بلند" چاپ اول. انتشارات دانشگاه سمنان، (۱۳۹۱).
 16. Jahanshahi, M. R., and Rahgozar, R., "Optimum Location of Outrigger-belt Truss in Tall Buildings Based on Maximization of the Belt Truss Strain Energy", *International Journal of Engineering-Transactions A: Basics*, Vol. 26, No. 7, (2013).
 17. Taranath, B. S., "Structural Analysis and Design of Tall Buildings", (1988).
 18. Taranath, B. S., "Steel, concrete, and composite design of tall buildings", New York: McGraw-Hill, (1998).