

تحلیل تقریبی سازه‌های بلند لوله قابی در برابر بارهای جانبی سهمی شکل استاتیکی

مسعود محمودآبادی^{۱*}، محمد ضائفی^۲، سیدمحمد رضا حسینی^۳

۱- استادیار گروه عمران، دانشکده فنی و مهندسی دانشگاه قم، قم، ایران

۲- کارشناس ارشد عمران- سازه، دانشکده فنی و مهندسی دانشگاه قم، قم، ایران

۳- دانشجوی دکتری عمران- سازه، دانشگاه صنعتی نوشیروانی، بابل، ایران.

چکیده

با توجه به افزایش و رشد جمعیت در شهرها، ساختمان‌های بلند و به ویژه سازه‌های لوله قابی برای مهندسان ساختمان جذاب بوده است. سازه‌های لوله قابی شبیه تیرهای قوطی شکل یکسر گیردار عمل میکنند و از آنجا که عموماً ابعادی بزرگتر از ابعاد هسته‌های برشی دارند بنابراین می‌توانند بطور موثرتری در برابر لنگرهای واژگونی مقاومت کنند ولی با توجه انعطاف پذیری خمشی و برشی اعضای قاب، عملکرد خمشی تیرهای قاب با رخ دادن پدیده لنگی برش پیچیده می‌گردد که این موضوع بطور قابل توجهی روی توزیع تنش پانل‌های قاب تاثیر میگذارد و سختی جانبی قاب را کاهش می‌دهد. در این مقاله روشی که ضرایب لنگی برش را برای پانل‌های بال و جان و برای بارگذاری‌های متمرکز، گسترده یکنواخت و گسترده مثلثی ارائه نموده است، مورد بررسی و بازبینی قرار گرفته است و سپس ضرایب لنگی برش برای پانل‌های بال و جان برای بارگذاری سهمی شکل با استفاده از این روش تقریبی و مقایسه آن با تحلیل کامپیوتری میزان خطا در تنش و تغییر مکان برآورد گردیده است که نتایج کار بیانگر مناسب بودن این روش برای مراحل اولیه کار تحلیل و طراحی این نوع سازه‌ها می‌باشد.

کلمات کلیدی: سازه‌های لوله قابی، ضریب لنگی برش، بار جانبی، روش محیط پیوسته، تحلیل تقریبی.

*نویسنده مسئول: مسعود محمودآبادی

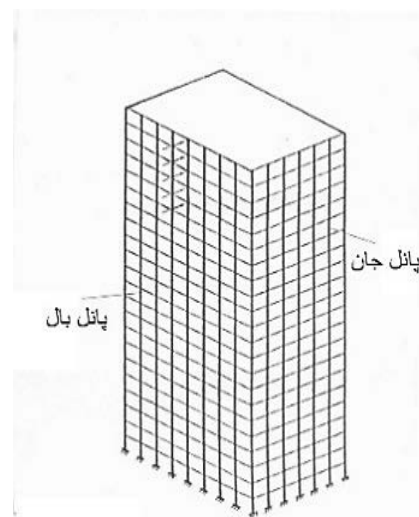
پست الکترونیکی: m.mahmoudabadi@qom.ac.ir

تاریخ دریافت مقاله: ۰۰۰۰/۰۰/۰۰، تاریخ پذیرش مقاله: ۰۰۰۰/۰۰/۰۰

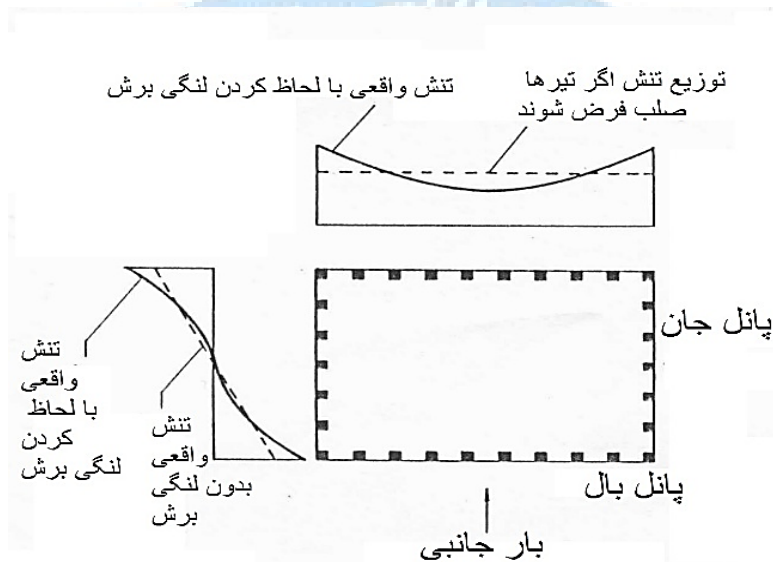
مقدمه

با افزایش نرخ شهرنشینی و جمعیت شهرها، رشد عمودی شهرها و ساخت ساختمان‌های بلند، با روندی سریع رو به افزایش است. موضوعی که در طراحی و ساخت ساختمان‌های بلند مرتبه اهمیت فراوانی دارد، استفاده از نوعی سیستم سازه‌ای است که علاوه بر کارایی بالا در تحمل نیروهای ثقلی و جانبی، قابلیت انعطاف با طرح‌های معماری را داشته باشد. در حال حاضر، سیستم‌های سازه‌ای بسیاری در طراحی ساختمان‌های بلند استفاده می‌شوند. به عنوان مثال سازه‌های لوله‌ای یکی از انواع سازه‌هایی هستند که به بهترین شکل پاسخگوی الزامات اولیه طراحی ساختمان بر مبنای مقاومت و سختی می‌باشند [۱]. این سیستم از تیرهای عمیق و ستون‌های نزدیک به هم تشکیل شده است که در مقابل بار جانبی، مانند یک تیر طره توخالی عمل می‌کند. در این سیستم پدیده‌های به نام لنگی برش اتفاق می‌افتد که تمایل به توزیع غیریکنواخت تنش محوری در ستون‌های سازه را دارد [۲]. به دلیل تعداد زیاد درجات آزادی در ساختمان‌های بلند روش دقیق تحلیل آن‌ها با استفاده از نرم‌افزارهای سه بعدی متداول در مهندسی بسیار وقت‌گیر و هزینه بر است. در ساختمان‌های لوله قابی پدیده لنگی برش باعث افزایش تنش محوری در ستون‌های گوشه و کاهش تنش محوری در ستون‌های میانی می‌گردد. بنابراین تعداد زیادی از روش‌های تقریبی برای بررسی رفتار، تغییر شکل، ارتعاش و اصلاح توزیع تنش در سیستم‌های لوله قابی تحت بارهای جانبی با استفاده از مدل‌های مختلف بکار گرفته شده‌اند [۳-۸]. روش‌های تقریبی موجود برای طراحی اولیه و برآورد تنش در سازه مفید می‌باشند. این روش‌ها رفتار ارتجاعی قاب‌های پیرامونی را به صورت غشاهای معادل شبیه‌سازی می‌کنند [۸-۹].

بکارگیری انواع شکل‌های سازه‌ای در مقایسه با سیستم لوله پیرامونی باعث بهبود در پاسخ جانبی سازه شد اما استفاده از شکل لوله مهاربندی شده در مقایسه با سایر سیستم‌ها تاثیر قابل ملاحظه‌ای بر کاهش پاسخ داشته است [۱۰]. سیستم لوله‌ای به طور کلی ترکیبی از ستون‌های نزدیک به هم و تیرهای عمیق است که در محیط پیرامونی ساختمان قرار گرفته‌اند. رفتار سیستم لوله‌ای تحت اثر بارهای جانبی مانند خمش یک طره توخالی می‌باشد که در اثر آن تارهای سمت مخالف نیروهای جانبی کوتاه شده و تارهای سمت نیروی جانبی طویل می‌گردد [۱۱]. در این سیستم‌ها، همانطوری که در شکل ۱ مشخص گردیده است، قاب‌های پیرامونی ساختمان متشکل از شبکه‌ای از تیرها و ستون‌های نزدیک به هم می‌باشند که به صورت صلب و همانند قاب ویرندال به یکدیگر متصل شده‌اند و این قاب‌های پیرامونی با عملکرد طره‌ای بدون استفاده از مهاربندی، بارهای جانبی را تحمل می‌کنند. در این سیستم، ستون‌های داخلی وظیفه‌ی تحمل بارهای ثقلی را بر عهده داشته و در سختی جانبی قاب‌های پیرامونی سهمی ایفا نمی‌کنند و کف‌های صلب طبقات همچون دیافراگم‌هایی، نیروهای جانبی را به قاب‌های پیرامونی منتقل می‌کنند [۱۲]. تحت بارهای جانبی، این سیستم شبیه تیر قوطی شکل یکسر گیردار عمل می‌کند که لنگر واژگون کننده بارهای جانبی بوسیله تنش‌های محوری در ستون‌های چهار پانل قاب تحمل می‌گردد. اگر اعضای قاب، سختی خیلی بالایی داشته باشند، تنش‌های محوری تیرها و ستون‌های دو قاب هم امتداد با نیروهای جانبی تحمل می‌گردد. نیروی برشی ناشی از بارهای جانبی توسط خمش در صفحه ناشی از لنگر واژگونی را می‌توان از فرضیه معمولی خمش که مقاطع صفحه‌ای شکل به صورت صفحه باقی می‌مانند بدست آورد، ولی بخاطر ابعاد پنجره‌ها، تیرها را از حدی نمی‌توان قوی‌تر انتخاب کرد که این موضوع باعث می‌شود که پدیده "لنگی برش" بوجود آید که باعث افزایش تنش در ستون‌های گوشه و کاهش تنش در ستون‌های میانی می‌گردد و کاهش سختی جانبی سازه را به همراه دارد که این امر در شکل ۲ نشان داده شده است. لنگی برش نه تنها نیروی طولی را تحت تاثیر قرار میدهد بلکه می‌تواند بر نیروی های عرضی و برشی نیز تاثیرگذار باشد [۱۳].



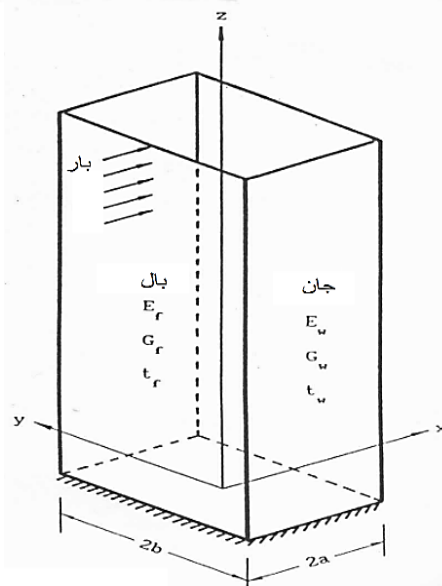
شکل ۱: سازه‌ی لوله قابی



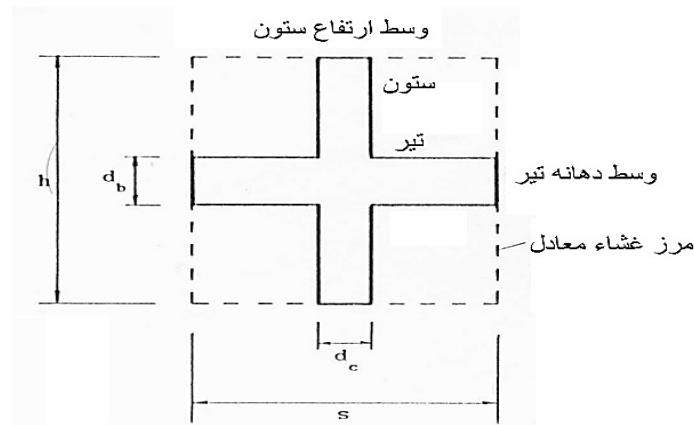
شکل ۲: توزیع تنش‌های محوری در سازه لوله قابی [۴].

در این روش، سیستم با یک مقطع قوطی شکل ارتوتروپیک که دارای دو پانل بال و دو پانل جان است، به صورت معادل در نظر گرفته می‌شود [۱۴-۱۵]. خصوصیات ارتجاعی پانل بال و جان مطابق شکل ۳ در نظر گرفته می‌شود. یک واحد تشکیل دهنده قاب، همانطور که در شکل ۴ نشان داده شده است، با یک غشاء معادل گرفته می‌شود و خصوصیات ارتجاعی غشاء به نحوی انتخاب می‌گردد که بیانگر رفتار محوری و برشی قاب واقعی باشد. این روش برای هر دو پانل بال و جان قابل اعمال است. یکی از خصوصیات که از موارد بزرگ محدودیت روش محیط پیوسته نیز می‌باشد این است که تعریف و مدلسازی پارامتری، فقط برای اسکلت سازه با پیکربندی یکنواخت صورت می‌گیرد.

لازم به ذکر است که در این پژوهش روش کوان مبنای کار قرار گرفته است [۴] و رویط ارائه شده براساس این مرجع بوده است. نوآوری پژوهش محاسبه ضرایب لنگی برش برای بارگذاری سهمی شکل است که در آئین نامه اخیر طراحی ساختمان‌ها در برابر زلزله برای ساختمان‌های بلند ارائه شده است. در این مرجع [۴] ضرایب لنگی برش برای بارگذاری‌های متمرکز، یکنواخت و مثلثی محاسبه شده است.



شکل ۳: غشاء ارتوتروپیک قوطی شکل معادل [۴]



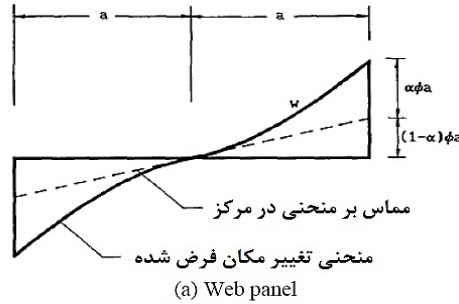
شکل ۴: تشابه غشایی برای واحد تشکیل دهنده قاب

۱- مدل سازی

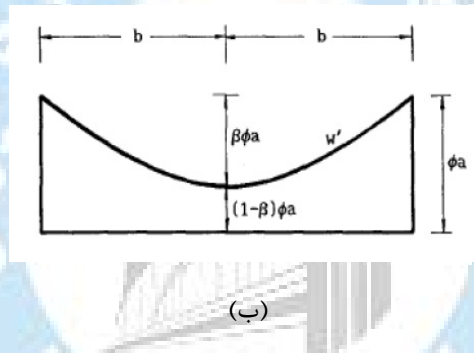
با توجه به اینکه پدیده لنگی برش هم در جان و هم در بال اتفاق می افتد، در این روش، تغییر مکان های محوری برای پانل های بال و جان مستقل فرض می گردد. توزیع این تغییر مکان ها برای پانل جان به صورت یک منحنی درجه ۳ و برای پانل بال به صورت یک منحنی سهمی شکل در نظر گرفته می شود. بدین صورت که هرگاه تغییر مکان های محوری در پانل جان و بال به ترتیب با W و W' نشان داده شود، معادلات مربوطه عبارتند از [۴]:

$$w = \phi a \left[(1 - \alpha) \frac{x}{a} + a \left(\frac{x}{a} \right)^3 \right], w' = \phi a \left[(1 - \beta) + \beta \left(\frac{y}{b} \right)^3 \right] \quad (1)$$

که در این روابط، چرخش صفحه ای افقی از مقطع است که چهار گوشه سازه قوطی شکل را بهم وصل می کند و نیز ضرایب بدون بعد لنگی برش هستند که به ترتیب معرف میزان لنگی برش در پانل های بال و جان می باشند که در شکل ۵ نمودار توابع آن ها رسم شده است.



(الف)



شکل ۵-الف: توزیع فرض شده برای تغییر مکانهای محوری در پانل جان شکل ۵-ب: توزیع فرض شده برای تغییر مکانهای محوری در پانل بال [۴].

کرنش های محوری در پانل های بال و جان به ترتیب توسط روابط زیر بیان می شود:

$$\varepsilon_z = \frac{\partial w}{\partial z}, \dot{\varepsilon}_z = \frac{\partial \dot{w}}{\partial z} \quad (2)$$

بطور مشابه، کرنش های برشی نیز در پانل های بال و جان به ترتیب توسط روابط زیر بیان می گردد:

$$\gamma_{xz} = \frac{\partial u}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial x}, \gamma_{yz} = \frac{\partial w'}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial z} = \frac{\partial w'}{\partial y} \quad (3)$$

با توجه به عبارات مذکور که برای کرنش‌های محوری و برشی بیان گردید، انرژی کرنشی سازه لوله قابی را می‌توان به شکل زیر بیان کرد [۴]:

$$\Pi_e = \int_0^H \int_{-a}^a t_w (E_w \varepsilon_z^2 + G_w \gamma_{xz}^2) dx dz + \int_0^H \int_{-b}^b t_f (E_f \varepsilon'_z{}^2 + G_f \gamma_{yz}^2) dy dz + \int_0^H 2E_m A_k \varepsilon_k^2 dz \quad (4)$$

در رابطه (4)، A_k برابر با سطح مقطع ستون‌های گوشه ساختمان است.

۱-۱- روش مورد استفاده

حداقل سازی انرژی پتانسیل کل نسبت به تابع ϕ ، منجر به بدست آمدن معادله حاکم بر ϕ می‌گردد که می‌توان از آن به عنوان معادله تعادل لنگر نام برد و آن را به شکل زیر بیان نمود:

$$EI \frac{\partial \phi}{\partial z} = M \quad (5)$$

که EI سختی خمشی موثر سازه قوطی شکل بوده و M لنگر واژگونی نیروی جانبی می‌باشد. معادله (۱۴) را نمی‌توان به سادگی حل نمود، زیرا EI در ارتفاع سازه تغییر می‌کند و وابسته به دیگر مجهولات می‌باشد. با این حال، اگر اثر تغییرات EI در ارتفاع بر روی تابع چرخش ϕ ناچیز فرض شود، می‌توان ϕ را با انتگرال‌گیری مستقیم به صورت زیر بدست آورد:

$$\phi = \frac{1}{EI} \int_0^z M dz \quad (6)$$

بطور مشابه، حداقل سازی انرژی پتانسیل کل نسبت به تابع تغییر مکان u ، منجر به تعیین معادله حاکم بر u به شکل زیر می‌گردد:

$$4G_w t_w a \left(\frac{\partial u}{\partial z} + \phi \right) = S \quad (7)$$

که S برش ناشی از نیروی جانبی می‌باشد. این معادله در حقیقت معادله تعادل برش افقی می‌باشد. با استفاده از این معادله، u را میتوان با انتگرال‌گیری مستقیم به شکل زیر بدست آورد:

$$u = \int_0^z \left(\frac{S}{4G_w t_w a} - \phi \right) dz \quad (8)$$

با جای گذاری مقادیر مربوط به ϕ و u در عبارت مربوط به انرژی پتانسیل کل و حداقل سازی انرژی پتانسیل کل نسبت به پارامترهای α و β ، معادلات دیفرانسیل حاکم برای تعیین پارامترهای α و β بدست می آید. با این حال، هنوز EI یک کمیت مجهول است اما معادلات مربوط به تعیین α و β به EI بستگی ندارند.

با اینکه از نظر تئوریک، مقادیر α و β را می توان با حل معادلات مربوطه که در حقیقت یک مسئله معادلات دیفرانسیل با مشتقات جزئی هستند بدست آورد، اما روش تحلیل را می توان با تقریب زدن α و β به صورت توابعی چند جمله ای که بر حسب تعدادی ضریب مجهول خاص بیان می شود ساده تر نمود. هرگاه توابع چند جمله ای به شکل درجه دوم در نظر گرفته شوند و این شرط مرزی که در بالای ساختمان تنش های محوری باید برابر با صفر شود، اعمال گردد که این شرط اخیر نیز منجر به شروط $\frac{d\alpha}{dz} = 0$ و $\frac{d\beta}{dz} = 0$ در $Z=H$ می گردد، می توان نشان داد که توابع چند جمله ای مربوط به α و β را می توان بر حسب دو ضریب مجهول به صورت زیر بیان نمود:

$$\alpha = \alpha_1 \left(1 - \frac{Z}{H}\right)^2 + \alpha_2 \left[2 \times \frac{Z}{H} - \left(\frac{Z}{H}\right)^2\right], \quad \beta = \beta_1 \left(1 - \frac{Z}{H}\right)^2 + \beta_2 \left[2 \times \frac{Z}{H} - \left(\frac{Z}{H}\right)^2\right] \quad (9)$$

که α_1 و α_2 و نیز β_1 و β_2 ضرایب مجهولی هستند که باید بدست آورده شوند. لازم بذکر است که در حقیقت، α_1 و β_1 مقادیر α و β در پایه ساختمان هستند و α_2 و β_2 نیز مقادیر متناظر این توابع در بالای ساختمان می باشند. با جای گذاری این معادلات در عبارت مربوط به انرژی پتانسیل کل و با حداقل سازی این تابع نسبت به پارامترهای α_1 و α_2 و نیز β_1 و β_2 یک مجموعه معادلات جبری بدست می آید که با حل آن ها این پارامترهای مجهول بدست آورده می شود. بدین ترتیب، پارامترهای α_1 و α_2 و نیز β_1 و β_2 که ضرایب مربوط به لنگی برش هستند، برای سه حالت بارگذاری متمرکز، بارگذاری گسترده یکنواخت و بارگذاری گسترده مثلثی محاسبه شده [۴] و نتایج آن در جدول های ۱ و ۲ آورده شده است. در این جدول ضرایب α_1 و α_2 و نیز ضرایب β_1 و β_2 بر حسب پارامترهای سختی برشی نسبی m_w و m_f بیان گردیده اند که m_w و m_f عبارتند از:

$$m_w = \frac{G_w H^2}{E_w \alpha^2}, \quad m_f = \frac{G_f H^2}{E_f b^2} \quad (10)$$

بار گسترده سهمی نوعی بارگذاری است که در ویرایش چهارم استاندارد ۲۸۰۰ به آن اشاره شده است، و ضرایب لنگی برش آن با استفاده از روابط بالا محاسبه شده و در جدول ۳ نتایج بدست آمده از آن ارائه می گردد.

رابطه (۱۱) مطابق بند ۳-۳-۶ استاندارد ۲۸۰۰ است [۱۶]:

$$F_{ui} = \frac{W_i h_i^k}{\sum_{j=1}^n W_j h_j^k} V_u \quad (11)$$

که در این رابطه F_{ui} نیروی جانبی در تراز طبقه i ، W_i وزن طبقه i شامل وزن سقف و قسمتی از سربار و نصف وزن دیوارها و ستون هایی که در بالا و پایین سقف قرار گرفته اند، h_i ارتفاع تراز طبقه i از تراز پایه، n تعداد طبقات ساختمان از تراز پایه به بالا و k ضریبی است که با توجه به زمان تناوب اصلی سازه T از رابطه (۱۲) بدست می آید:

$$k = 0.5T + 0.75 \quad 0.5 \leq T \leq 2.5 \text{ sec} \quad (12)$$

مقدار k برای مقادیر T کوچکتر از 0.5 ثانیه و بزرگتر از 2.5 ثانیه باید به ترتیب برابر با 2 و 1 در نظر گرفته شود. در سازه های بلند زمان تناوب بیشتر از 2.5 ثانیه است، که $k=2$ است و به ترتیب صورت کسر از درجه 2 خواهد بود که نمودار آن به صورت سهمی می شود. که با بدست آوردن ضرایب لنگی برش برای بارگسترده سهمی، جابجایی طبقات و تنش در تراز پایه محاسبه شده و نتایج آن و تمامی بارگذاری ها در جدول های 1 و 2 و 3 ارائه شده است:

جدول ۱: روابط ارائه شده برای محاسبه ضرایب α_1 و α_2 [۴].

حالت بارگذاری	ضرایب α_1 و α_2
بار متمرکز در بالای ساختمان	$\alpha_1 = \frac{1.17m_w + 1.00}{m_w^2 + 2.67m_w + 0.57}$
	$\alpha_2 = \frac{0.29m_w + 1.00}{m_w^2 + 2.67m_w + 0.57}$
بار گسترده یکنواخت	$\alpha_1 = \frac{2.57m_w + 1.12}{m_w^2 + 2.94m_w + 0.64}$
	$\alpha_2 = \frac{0.03m_w + 1.12}{m_w^2 + 2.94m_w + 0.64}$
بار گسترده مثلثی	$\alpha_1 = \frac{2.22m_w + 1.09}{m_w^2 + 2.86m_w + 0.62}$
	$\alpha_2 = \frac{0.10m_w + 1.09}{m_w^2 + 2.86m_w + 0.62}$

جدول ۲: روابط ارائه شده برای محاسبه ضرایب β_1 و β_2 [۴].

حالت بارگذاری	ضرایب β_1 و β_2
بار متمرکز در بالای ساختمان	$\beta_1 = \frac{3.50m_f + 12.60}{m_f^2 + 11.20m_f + 10.08}$
	$\beta_2 = \frac{0.88m_f + 12.60}{m_f^2 + 11.20m_f + 10.08}$
بار گسترده یکنواخت	$\beta_1 = \frac{7.72m_f + 14.15}{m_f^2 + 12.35m_f + 11.32}$
	$\beta_2 = \frac{0.08m_f + 14.15}{m_f^2 + 12.35m_f + 11.32}$
بار گسترده مثلثی	$\beta_1 = \frac{6.67m_f + 13.71}{m_f^2 + 12.01m_f + 10.97}$
	$\beta_2 = \frac{0.29m_f + 13.71}{m_f^2 + 12.01m_f + 10.97}$

جدول ۳: روابط بدست آمده توسط نویسندگان برای محاسبه ضرایب α_1 و α_2 و β_1 و β_2

$\alpha_1 = \frac{1.91m_w + 1.03}{m_w^2 + 2.77m_w + 0.601}$	بار گسترده سهمی
---	-----------------

$\alpha_2 = \frac{0.17m_w + 1.03}{m_w^2 + 2.77m_w + 0.601}$	بار گسترده سهمی
$\beta_1 = \frac{5.97m_f + 13.27}{m_f^2 + 11.72m_f + 10.63}$	
$\beta_2 = \frac{0.425m_f + 13.27}{m_f^2 + 11.72m_f + 10.63}$	

۲-۳- تنش‌ها

با داشتن ضرایب لنگی برش α و β و به دنبال آن توزیع تغییر مکان‌های محوری، تنش محوری در پانل‌های بال و جان را می‌توان با مشتق‌گیری از معادلات مربوط به تغییر مکان‌های محوری نسبت به Z و سپس ضرب آن‌ها در مدول ارتجاعی‌شان بدست آورد. عبارت بدست آمده برای تنش‌های محوری، بطور کلی شامل دو جمله می‌باشد که یکی از این جملات متناسب با $\frac{d\phi}{dz}$ بوده و دیگری متناسب با ϕ می‌باشد. در پایه ساختمان که تنش‌های محوری وضعیتی بحرانی را دارند، ϕ برابر با صفر بوده و عبارت مربوط به تنش‌های محوری به صورت زیر در می‌آید:

$$\sigma_z = E_w \frac{d\phi}{dz} a \left[(1 - \alpha) \frac{x}{a} + \alpha \left(\frac{x}{a} \right)^3 \right] , \quad \sigma'_z = E_f \frac{d\phi}{dz} b \left[(1 - \beta) + \beta \left(\frac{y}{b} \right)^2 \right] \quad (13)$$

در ترازهایی بالاتر از تراز پایه ساختمان، ϕ برابر با صفر نیست و در نتیجه، عبارت متناسب با ϕ نیز باید لحاظ گردد. با این حال، این موضوع اثبات گردیده است که سهم عبارتی که متناسب با ϕ می‌باشد در مقایسه با عبارتی که توسط روابط (۱۳) داده شده‌اند، مخصوصاً در ترازهای پایین سازه، کوچک می‌باشد، در نتیجه، اگر دقت بالا مورد نظر نباشد، روابط فوق‌الذکر را می‌توان برای محاسبه تنش‌های محوری در کل ارتفاع سازه مورد استفاده قرار داد.

تنش‌های محوری که توسط روابط (۱۳) محاسبه می‌شوند وابسته به پارامتر $\frac{d\phi}{dz}$ می‌باشند که این پارامتر هنوز یک کمیت مجهول است که باید تعیین گردد. با جایگذاری روابط مربوط به تنش‌های محوری در معادله تعادل لنگر زیر بدست می‌آید:

$$\int_{-a}^a 2t_w \sigma_z x dx + \int_{-b}^b 2t_f \sigma'_z a dy + 4A_k \sigma_k a = M \quad (14)$$

$\frac{d\phi}{dz}$ با استفاده از رابطه $\frac{d\phi}{dz} = \frac{M}{EI}$ تعیین می‌گردد. سختی خمشی EI نیز با استفاده از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$EI = \frac{4}{3} E_w t_w a^3 \left(1 - \frac{2}{5} \alpha \right) + 4E_f t_f a^2 b \left(1 - \frac{2}{3} \beta \right) + 4E_m A_k a^2 \quad (15)$$

با جایگذاری مقدار $\frac{d\phi}{dz}$ در روابط (۱۳)، تنش‌های محوری را می‌توان مستقیماً بر حسب لنگر واژگونی M بدست آورد.

۲-۴- تغییر شکل جانبی

تغییرشکل جانبی u سازه را می‌توان ابتدا با جایگذاری مقدار EI در رابطه (۶) و حل آن برای \emptyset و سپس با جایگذاری مقدار \emptyset در رابطه (۸) و حل برای u بدست آورد. اما چون EI در ارتفاع تغییر می‌کند، عبارات حاصله برای \emptyset و u پیچیده می‌گردند. با این حال، اکثر تغییرشکل‌های خمشی، نزدیک پایه ساختمان اتفاق می‌افتد و مقدار دقیق EI نزدیک بالای ساختمان واقعاً تأثیر چندانی روی توابع \emptyset و u نمی‌گذارد. در نتیجه، تغییرات EI نسبت به ارتفاع ساختمان را می‌توان نادیده گرفت و مقدار EI در تمام ارتفاع را می‌توان برابر با مقدارش در پایه ساختمان در نظر گرفت. این موضوع معادل این است که سازه به صورت یک تیر طره‌ای با سختی خمشی ثابت EI در نظر گرفته شود. با این ساده سازی، روابط مربوط به تغییرشکل جانبی u ، برای حالات مختلف بارگذاری با رجوع به کتب مقاومت مصالح و یا تحلیل سازه‌ها قابل بدست آوردن است.

۳- بررسی نتایج

در این قسمت، یک ساختمان ۴۰ طبقه بتنی لوله قابی مطابق شکل (۶) تحت بارگذاری گسترده سهمی مورد بررسی قرار گرفته است. ابعاد ساختمان $30m \times 35m$ و ابعاد تیر و ستون‌ها $0.8m \times 0.8m$ و فاصله مرکز به مرکز ستون‌ها $2/5$ متر و ارتفاع هر طبقه ۳ متر می‌باشد. خصوصیات ارتجاعی غشاء ارتوتروپیک معادل، با توجه به روش ذکر شده، برابر با مقادیر زیر محاسبه گردیده است:

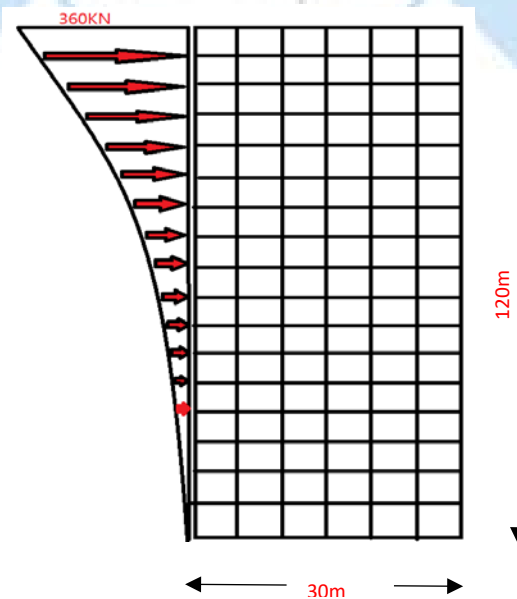
$$E_w = E_f = 20\text{GPa} , G_w = G_f = 1.44\text{GPa}$$

$$t_w = t_f = 0.256\text{m} , A_k = 0$$

با توجه به خصوصیات ارتجاعی بالا، سختی برشی نسبی پانل‌های جان و بال با استفاده از روابط جدول ۳ محاسبه گردیده است که مقادیر زیر بدست آمده است:

$$\alpha_1 = 0.284 , \alpha_2 = 0.0522$$

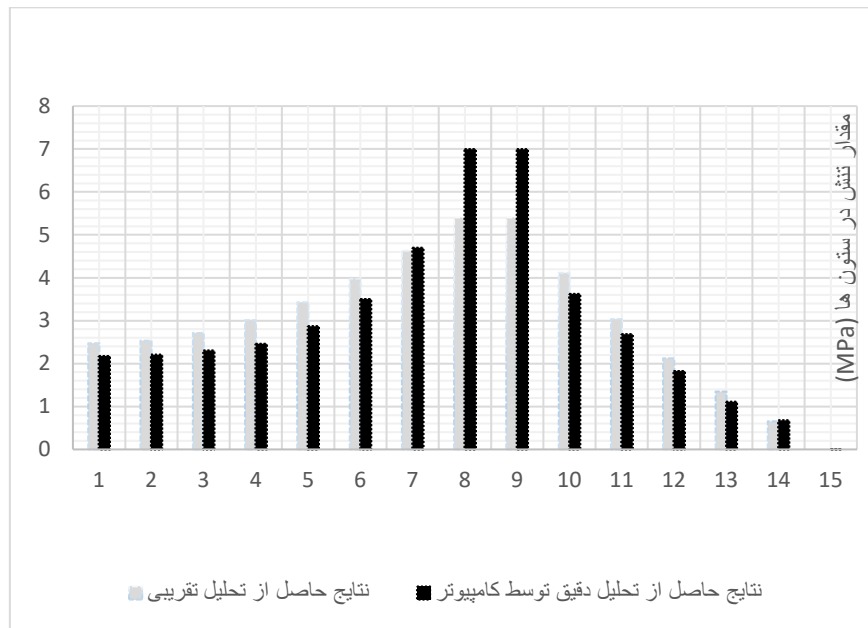
$$\beta_1 = 0.542 , \beta_2 = 0.237$$



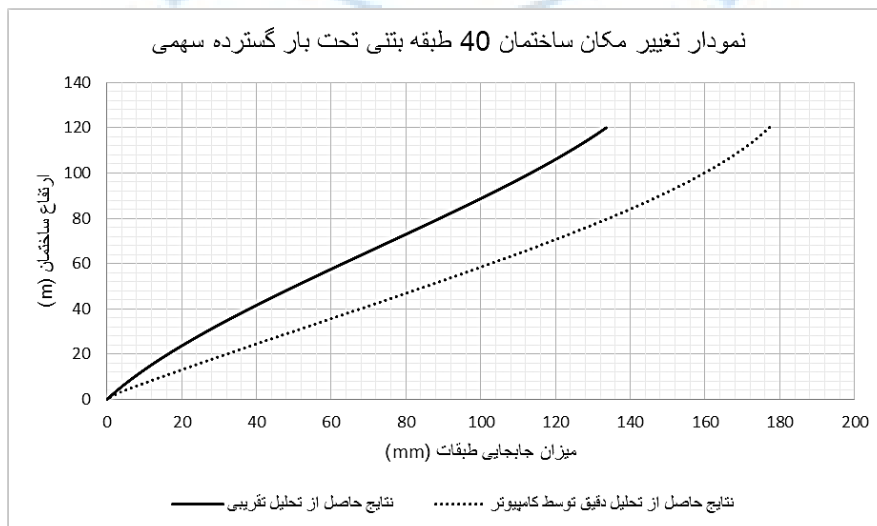
شکل ۶: سازه مورد بررسی

با داشتن ضرایب لنگی برش، تنش‌های محوری ستون‌ها در پایه ساختمان محاسبه گردید و این تنش‌ها، با تنش‌های محوری محاسبه شده در سازه با استفاده از نرم‌افزار ETABS مقایسه گردید [۱۷]. نتایج کار در شکل ۷ آورده شده است. در این شکل، شماره‌های ۱ تا ۸ مربوط به نصف ستون‌های پانل بال و شماره‌های ۹ تا ۱۵ مربوط به نصف ستون‌های پانل جان می‌باشد. در حقیقت، ستون شماره ۸ و ۹ یک ستون می‌باشد که همان ستون مشترک پانل بال و جان یا ستون گوشه است.

با استفاده از روش پیشنهادی، تنش محوری ستون گوشه ۲۱ درصد کمتر از تنش بدست آمده از تحلیل کامپیوتری بدست آمد. همچنین، تغییرشکل‌های سازه با استفاده از این روش محاسبه گردید و با تغییرشکل‌های بدست آمده از تحلیل کامپیوتری مقایسه گردید که نتایج کار در شکل ۸ آورده شده است. با استفاده از روش پیشنهادی، تغییرشکل تراز بام نیز حدود ۲۴ درصد کمتر از تحلیل کامپیوتری بدست آمد.



شکل ۷: مقایسه تنش‌های محوری ستون‌های بدست آمده از روش پیشنهادی و تحلیل کامپیوتری در تراز پایه



شکل ۸: مقایسه تغییرشکل‌های بدست آمده از روش پیشنهادی و تحلیل کامپیوتری

در این مقاله، یک روش دستی ساده برای تحلیل تقریبی سازه‌های لوله قابی تحت بارگذاری سهمی شکل پیشنهاد شده است. این روش، اثرات لنگی برش را در پانل‌های بال و جان لحاظ می‌کند. در حقیقت این روش بسط روش کوان برای بارگذاری سهمی شکل می‌باشد. در روش کوان ضرایب لنگی برش برای سه حالت بارگذاری جانبی شامل حالت بارگذاری متمرکز در بالای سازه، حالت بارگذاری گسترده یکنواخت و حالت بارگذاری گسترده مثلثی ارائه شده است و در این مقاله نتایج زیر حاصل گردید:

۱- نوآوری مقاله بدست آوردن ضرایب لنگی برش برای بارگذاری جانبی سهمی شکل بوده است که این نوع بارگذاری طبق استاندارد ۲۸۰۰ برای ساختمان‌های بلند مرتبه مطرح می‌باشد.

۲- تحت بارگذاری گسترده سهمی شکل نشان داده شد که این روش برای استفاده در مراحل اولیه طراحی مناسب است.

۳- با استفاده از روش پیشنهادی، تنش محوری ستون گوشه ۲۱ درصد کمتر از تنش بدست آمده از تحلیل کامپیوتری بدست آمد.

۴- طبق روش پیشنهادی، تغییرشکل تراز بام ۲۴ درصد کمتر از تغییرشکل تراز بام بدست آمده از تحلیل کامپیوتری بدست آمد.

۷- مراجع

- [1] Montuoti, M., Giovanni and Fadda, Monica and Perrella, Gianpaolo and Mele, Elena. (2014). "Hexagrid- Hexagonal tube structures for tall buildings: patterns, modeling, and design.
- [2] Yari Gharabaghi, R., Moghadasi, M. (1396). "Investigating the effects of shear core and internal tube on the behavior of seismicity of concrete pipe structures". *6th National Conference and 2nd International Conference on Civil Engineering Materials and Structures*. Yazd: university of Yazd, pp:1-10
- [3] Connor, J.J., Pouangare, C.C. (1991). "Simple Model for Design of Framed Tube Structures". *Journal of Structural Engineering, ASCE*, Vol 117, pp. 3623-3644.
- [4] Kwan, A.K.H. (1994). "Simple Method for Approximate Analysis of Framed Tube Structures". *Journal Structure Engineer, ASCE*, Vol 120(4), pp.1221-1239.
- [5] Lee, K., Loo, Y. (2001). "Simple Analysis of Framed-Tube Structures with Multiple Internal Tubes". *Journal of Structural Engineering, ASCE*, Vol 127, pp.450-460.
- [6] Tarjan, G., Kollar, L.P. (2004). "Approximate Analysis of Building Structures with Identical Stories Subjected to Earthquakes", *International Journal of Solids and Structures*, Vol 41, pp.1411-1433.
- [7] Kaviani, P., Rahgozar, R. Saffari, H. (2008). "Approximate Analysis of Tall Buildings Using Sandwich Beam Models with Variable Cross-Section", *Struct Design Tall Spec Build*, Vol 17, pp. 401-418.
- [8] Mahjoub R., Rahgozar, R. Saffari, H. (2011). "Simple Method for Analysis of Tube Frame by Consideration of Negative shear lag", *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, Vol 5(3), pp. 309-316.
- [9] Kang-Kun, L., L. Yew-Chaye and G. Hong, (2001). "Simple Analysis of Framed-Tube Structures with Multiple Internal Tubes", *J. Struct. Eng., ASCE*, Vol 127(4), pp. 450-460.
- [10] Siahpolo, N., Kheyrodin, A., Gerami, M. (2016). "Analytical Study of the Advantages and Disadvantages of Types of Common Systems in Long Structures, Compared to Peripheral Tubes under Wind Load, Based on ASCE7-10", *AmirKabir Journal of Science & Research Civil and Environmental Engineering (ASJR-CEE)*, Vol 48(1), pp.87-100.
- [11] Kheyrodin, A. Jamshidi, H. (1387). "Study of Tublar Retrofitting Systems in Tall Buildings". *Retrofitting National conference*. Yazd: university of Yazd.
- [12] Adeli, H. (1376). *Fifth Edition*. Tehran: Dehkoda Publisher, pp.129-130.
- [13] Luo.Q.Z, Tang.J, Li. Q.S, Liu.G.D, Wu.JR. (2004). "Membrane Forces Acting on Thin-Walled Box Girders Considering Shear Lag Effect". *Thin-Walled structures*, Vol 42, pp.471.
- [14] Coull, A., Ahmed, A. A. (1978). "Deflections of frame-tube structures". *Journal structure. Div., ASCE*, Vol 104(5), pp.857-862.
- [15] Coull, A., Bose, B. (1977). "Discussion of 'Simplified analysis of frame-tube structures'". *Journal structure. Div., ASCE*, Vol 103(1), pp.297-299.
- [16] Iranian Code of Practice for Seismic Resistant Design of Buildings, 4 Edition, (1393). *Standard No.2800*, Tehran, pp.38-39.
- [17] ETABS theory manual., (2008), Version 9.2.0. Copyright Computers and Structures, Inc.