2nd. International Conference on Research in CIVIL ENGINEERING, ARCHITECTURE, URBAN PLANNING and SUSTAINBLE ENVIROMENT
2 JUNE 2016 Istanbul-Turkey
Civil Architecture, Urban Management Sustainble Enviroment

تحلیل لرزه‌ای سیستم سازه‌ای شبکه قطری و لوله ای به روش دیمتل در سازه های بلند مرتبه

محسن رستمی [1*]

1- دانشجوی کارشناسی ارشد،گروه مهندسی عمران، واحد تهران جنوب، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

st_m_rostami@azad.ac.ir

سعید کیادربندسری [2]

2- دانشجوی کارشناسی ارشد،گروه مهندسی عمران، واحد تهران جنوب، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

st_s_kiadarbandsari@azad.ac.ir

لاله دشتی ناصر آبادی [3]

3- دانشجوی کارشناسی ارشد،گروه مهندسی عمران، واحد تهران جنوب، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

lalehdashti5@gmail.com

چکیده

یکی از موضوعات مهم در طراحی ساختمان های بلند مرتبه علاوه بر بحث سیستم باربری جانبی، معماری خارجی ساختمان است بر همین اساس انتخاب یک سیستم مناسب سازه ای که بتواند علاوه بر ویژگی های سازه ای نظیر شکل پذیری ، سختی و مقاومت ، معماری قابل توجهی داشته باشد نیز از مهمترین اصول در زمینه بناهای بلند مرتبه است زیرا پارامترهای سختی ، شکل پذیری و مقاومت سازه با تغییر نوع سیستم باربری جانبی به میزان نسبتا زیادی تغییر پیدا میکند و انتخاب سیستم سازه ای که بتواند از نظر معماری نیز جالب توجه باشد امری اجتناب ناپذیر است به همین منظور در این پژوهش سیستم های سازه ای لوله ای و شبکه قطری در سازه هایی مشابه(در پلان ، ارتفاع ، بارگذاری و ...) با تعداد طبقات 30 طبقه در نرم افزار SAP 2000 مدلسازی شده و پس از محاسبات ضرایب زلزله بر سازه های مذکور (توسط برنامه نوشته شده در محیط نرم افزار متلب بر اساس آیین نامه 2800) تحلیل های استاتیکی و دینامیکی خطی و استاتیکی غیر خطی (پوش آور) به ترتیب بر روی سازه های مذکور انجام شده و مزایا و معایب و برتری های نسبی این سیستم های باربری جانبی در سازه های ذکر شده بر اساس پارامترهای سختی ، تغییر مکان های نسبی ، شکل پذیری و مقاومت بر اساس روش DEMATEL با یکدیگر مقایسه میگردد . اهمیت این مقایسه در این است که بر اساس یافته های حاصل از آن میتوان سیستم باربری جانبی مناسب را بر اساس خطر لرزه ای در محل احداث بنا تعیین کرد نتایج حاصله از تحلیل های بالا نشان میدهند که سازه شبکه قطری سختی بالاتری نسبت به سازه لوله ای دارد اما میزان شکل پذیری آن از سیستم لوله ای کمتر است .

واژگان کلیدی : تحلیل لرزه‌ای، سیستم شبکه قطری، سیستم لوله‌ای، سازه بلند مرتبه .

Archive of SID
www.SID.ir

مقدمه

توسعه سریع مناطق پر جمعیت شهری و در نتیجه نیاز به فضای مناسب برای زندگی به طور قابل ملاحظه ای بر توسعه مناطق مسکونی شهری تاثیر میگذارد. قیمت بالای زمین ، پرهیز از زندگی در مناطق پر رفت و آمد شهرها و نیاز مبرم به حفظ فضای سبز شهری و محیط زیست و ... همگی باعث میشوند تا سازه های مسکونی به سمت بلند مرتبه سازی پیش روند . با افزایش ارتفاع سازه ها ، اهمیت سیستم های باربری جانبی نسبت به سیستم های سازه ای که بارهای ثقلی را تحمل میکنند بسیار بیشتر میشود . از جمله سیستم های مقاوم باربری جانبی میتوان به این موارد اشاره کرد : قاب صلب ، دیوار برشی ، سیستم قاب – دیوار ، سیستم لوله ای و سیستم لوله دسته بندی شده همچنین اخیرا از سیستم سازه ای به نام شبکه قطری که با توسعه تئوری سیستم لوله ای پدید آمده است در طراحی برخی سازه های بلند مرتبه به علت مزایای آن از قبیل کاهش وزن اسکلت سازه ای و جنبه های زیبایی و هندسه منحصر به فرد آن استفاده میشود .

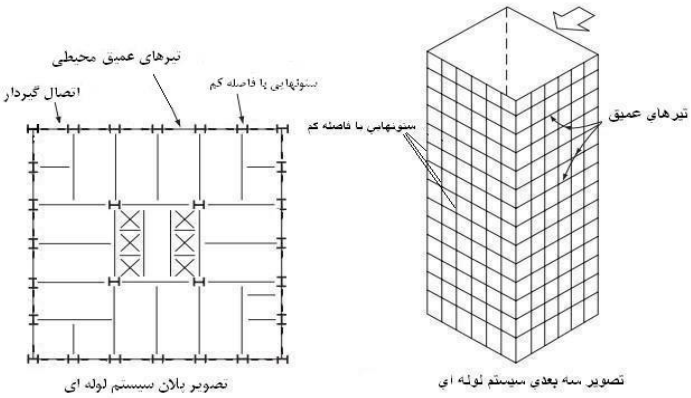
معرفی سیستم های سازه ای بناهای بلند مرتبه

معرفی سیستم سازه ای لوله ای

یکی از سیستم های مقاوم در ساختمان های بلند که توسط فضلور خان توسعه داده شده است، سیستم لوله ای می باشد (Taranath,2012) در این سیستم سازه ای ستونهای پیرامونی با فاصله ای نسبتا نزدیک(3تا 6.1 متر) در دور تا دور ساختمان قرار میگیرند که توسط تیرهایی با عمق زیاد (بین 0.9 تا 1.5 متر) به یکدیگر متصل هستند و اتصال تیرها و ستونها در این قاب پیرامونی گیردار است و تمامی نیروهای جانبی توسط این قاب محیطی تحمل میشوند و ستونهای داخلی با فاصله ای نسبتا زیاد از یکدیگر قرار گرفته و تنها برای مقابله با نیروهای ثقلی طراحی میشوند و تمامی اتصالات تیرها و ستونهای داخلی از نوع مفصلی است . رفتار سیستم لوله ای تحت اثر بارهای جانبی مانند خمش یک طره توخالی می باشد که در اثر آن تارهای سمت مخالف نیروهای جانبی ، کوتاه شده و تارهای سمت نیروی جانبی، طویل می گردد. (PEER/TBI 2010,) این سیستم سختی جانبی و مقاومت پیچشی بالایی دارد اما به علت توزیع غیر یکنواخت نیرو در ستون های بال (عمود بر بار جانبی) لنگی برش خواهد داشت. اثرات لنگی برشی در لوله های قابی، استفاده از حداکثر ظرفیت سختی و مقاومت سازه را محدود کرده و لنگر مقاوم و صلبیت خمشی را کاهش می دهد. (PEER/TBI,2010) . در شکل1 نمای کلی این سیستم سازه ای شرح داده شده است .

Archive of SID

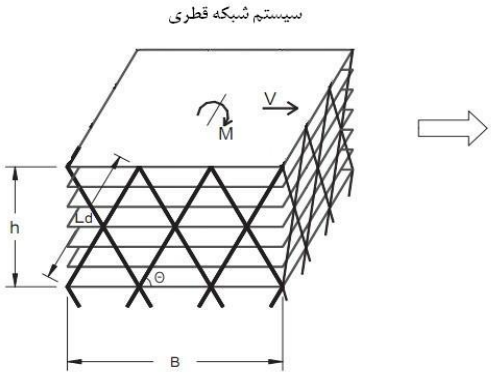
www.SID.ir



شکل1: نمای کلی سیستم سازه ای لوله ای[1]

معرفی سیستم سازه ای شبکه قطری

سیستم شبکه قطری که با توسعه تئوری سازه های لوله ای پدید آمد ، نمونه خاصی از خرپای فضایی است که شامل شبکه ای پیرامونی است که از خرپاهای مثلث شکل ساخته شده است . سیستم شبکه قطری از تقاطع اعضای مورب و افقی ، شکل گرفته است (jinko kim,2014) اعضای مورب در سیستم سازه ای شبکه قطری میتوانند نیروهای ثقلی به علاوه نیروهای جانبی را به دلیل ساختار و موقعیت شبکه مثلثی شان تحمل کنند زاویه اعضای مورب (ستونهای مورب) نقش کلیدی در سازه‌های با سیستم شبکه قطری ایفا می‌کند. منظور از زاویه بهینه در سازه‌های با سیستم شبکه قطری زاویه‌ای است که به ازای آن حداقل مصالح در سازه مصرف شود و جابه‌جایی جانبی نیز کمتر باشد. بنابر مطالعات صورت گرفته توسط محققین این زاویه بهینه در حدود 60 تا 70 درجه است(Garlan Ramadhan,2013.)



شکل2: تصویر کلی سیستم شبکه قطری

www.SID.ir

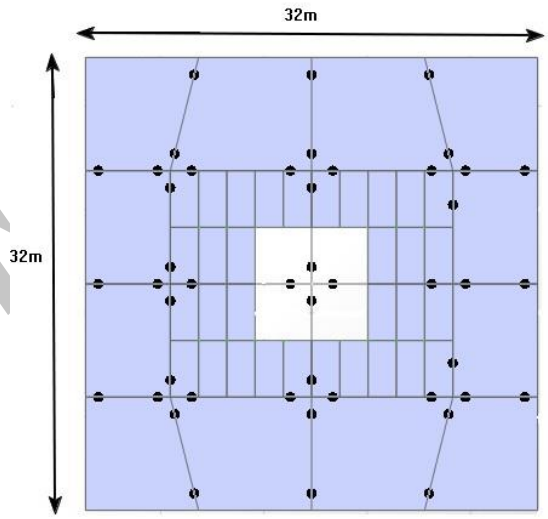
مدلسازی ، طراحی و تحلیل سیستم های سازه ای

در این پژوهش ما به بررسی و مقایسه دو سیستم سازه ای شبکه قطری و لوله ای با ابعاد هندسی و بارگذاری کاملا مشابه در نرم افزار(SAP) میپردازیم لازم به ذکر است که در تمامی مدلسازی ها فرض بر این است که فاصله بین دیوارها و تیرها و ستونهای سازه به گونه ای است تا اثر میانقاب ها حذف شود. همچنین اسکلت تمامی سازه ها فولادی هستند در جدول1 ابعاد و مشخصات سازه های مدلسازی شده آورده شده است .

جدول 1 : مشخصات سیستم های سازه ای مدلسازی شده

سیستم سازه اي	تعداد طبقات	ارتفاع هر طبقه (متر)	ارتفاع کل سازه(متر)	بعد طولي پلان(متر)	(بعد عرضي پلان(متر
سیستم لوله اي (30 طبقه)	30	3.8	114	32	32
سیستم شبکه قطري (30 طبقه)	30	3.8	114	32	32

همانگونه که به وضوح مشخص است ابعاد پلان در تمامی سازه ها 32 متر در 32 متر بوده و ارتفاع طبقات نیز برابر 3.8 متر میباشد شکل 3 تصویر پلان سازه های مدلسازی شده میباشد که در تمامی سازه ها یکسان است .



شکل3: پلان سازه های مدل سازی شده همانگونه که به وضوح مشخص است تمامی اتصالات داخلی از نوع مفصلی است اما اتصالات قاب پیرامونی خارجی از نوع گیردار است.

بارگذاری

برای مقایسه بهتر سیستم های سازه ای شبکه قطری و لوله ای ، بارگذاری آنها بر طبق جدول2 و به صورت کاملا مشابه انجام شده است در اینجا به دلیل اختصار از آوردن جزئیات محاسبات بارگذاری خودداری شده است.

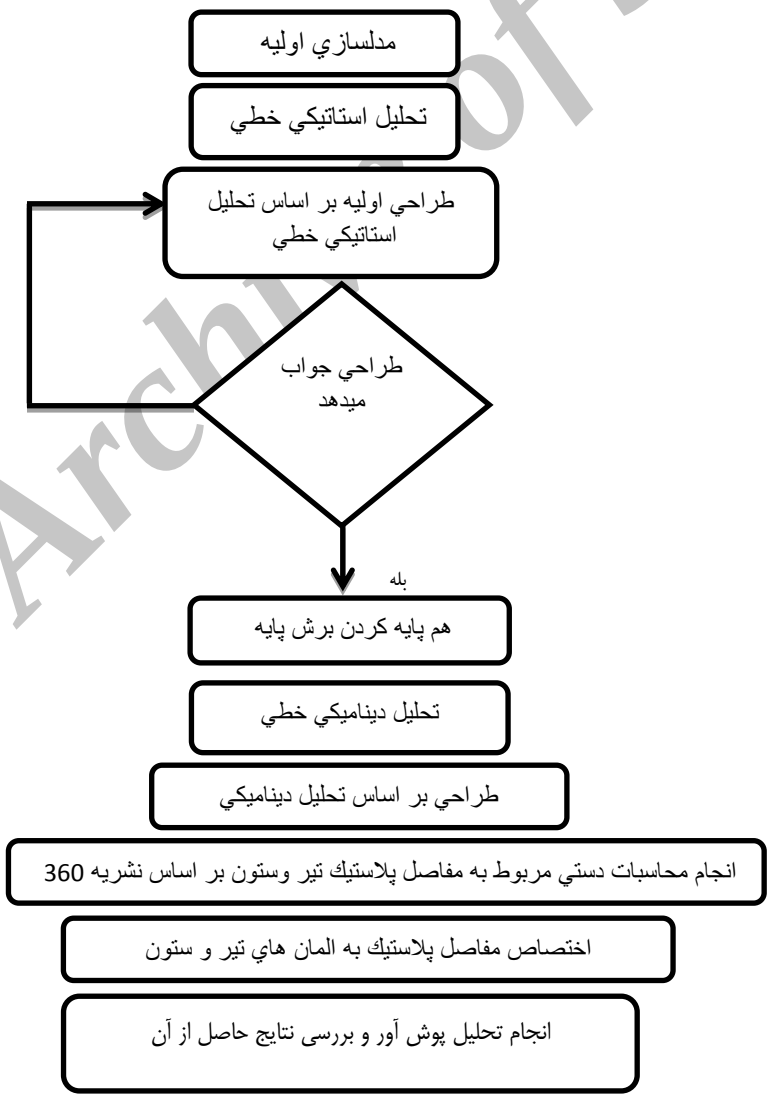
Archive of SID
www.SID.ir

جدول2: جزئیات بارگذاری

بار مرده(کیلوگرم بر متر مربع)	بار زنده (کیلوگرم بر متر مربع)	بار مرده بام(کیلوگرم بر متر مربع)	بار زنده بام(کیلوگرم بر متر مربع)
650	200	300	150
بار ديوارهاي پيرامونی سازه (کیلوگرم بر متر)		بار ديوار پيرامونی بام(کیلوگرم بر متر)	
600		300	

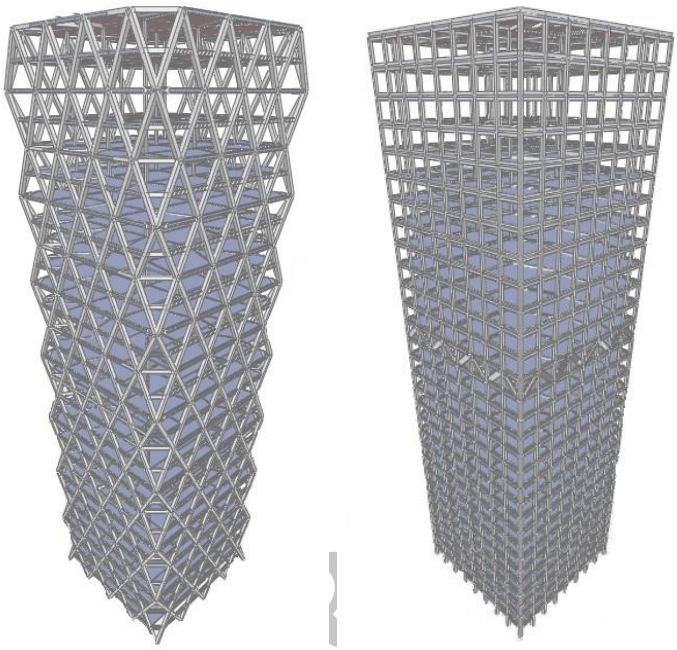
طراحی و تحلیل لرزه‌ای مدلهای سازه ای مورد مطالعه

برای فرآیند مدلسازی، تحلیل و طراحی سازه های شبکه قطری و لوله ای از روند نمای زیر استفاده شده است

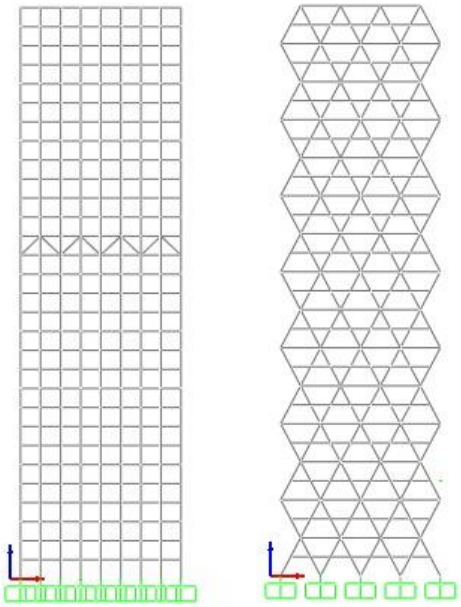


Archive of SID
www.SID.ir

پس از مدلسازی و تحلیل و طراحی سازه های 30 طبقه شبکه قطری و لوله ای بر مبنای موارد ذکـر شـده بـه مقایسـه نتـایج حاصل از تحلیل سازه های مذکور میپردازیم در شکل های4 و 5 تصویر سازه های مدلسازی شده قابل مشاهده است .



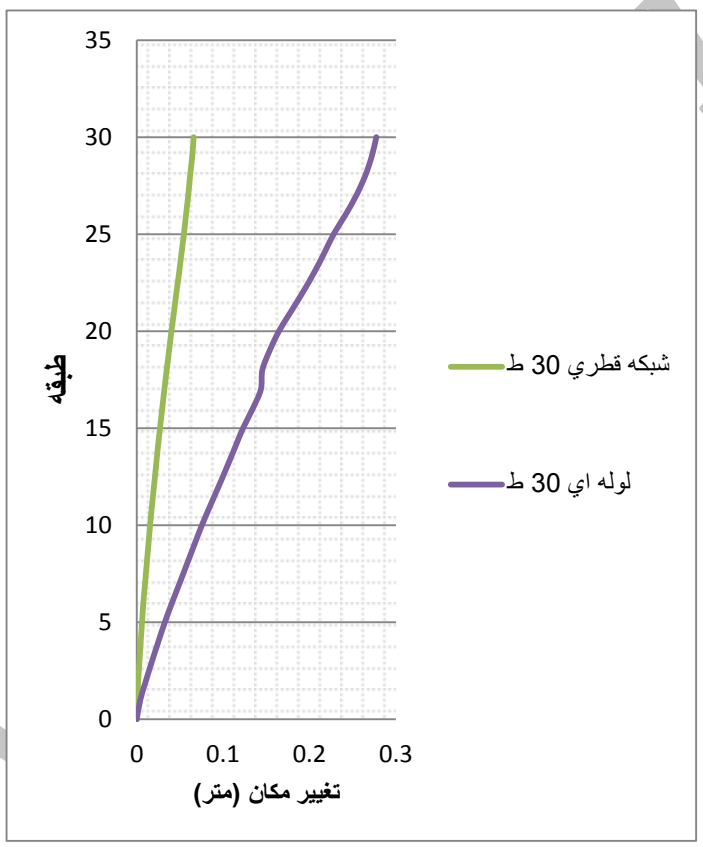
شکل4 : سازه شبکه قطری مدلسازی شده در نرم افزار سپ(تصویر سمت راست) و سازه لوله ای مدلسازی شده (تصویر سمت چپ)



www.SID.ir

شکل5 : تصویر سازه 30 طبقه شبکه قطری (تصویر سمت راست) و تصویر سازه 30 طبقه لوله ای (تصویر سمت چپ)

در سازه های بلند مرتبه یکی از معیارهای مهم طراحی اینست که تغییر مکان حداکثر سازه در محدوده مجاز باشد که در این پژوهش محدوده مجاز برابر با 1/400 ارتفاع کل سازه است (j.kim at el ,2010) که برای سازه های 30 طبقه مذکور که ارتفاعی برابر 114 متر دارند این تغییر مکان مجاز برابر 28 سانتیمتر است که بر طبق نمودار1 سازه های 30 طبقه شبکه قطری و لوله ای مورد مطالعه دارای تغییر مکان کمتری از محدوده مجاز هستند.



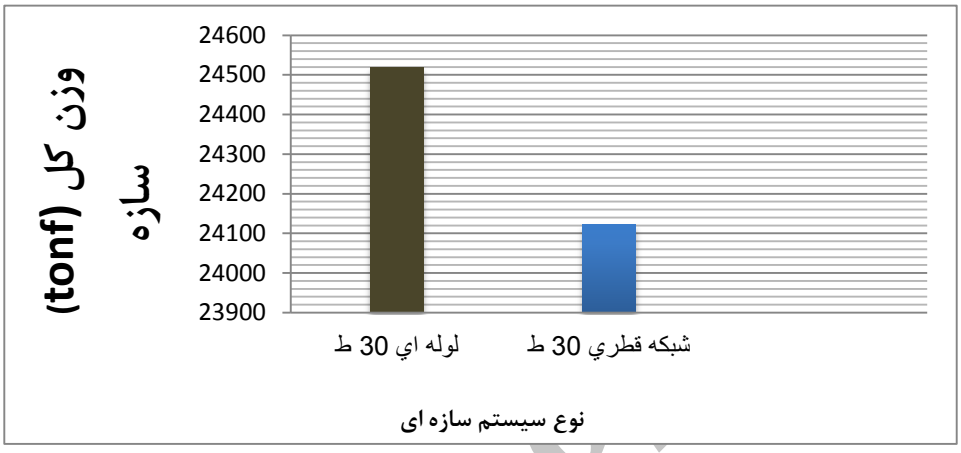
نمودار1 : تغییر مکان نسبی سازه های شبکه قطری و لوله ای 30 طبقه

با بررسی نمودار1 مشخص میشود که تغییر مکان سازه 30 طبقه شبکه قطری در حدود 6.5 سانتیمتر است و تغییر مکان سازه 30 طبقه لوله ای 27 سانتیمتر است به عبارت دیگر دریفت سازه 30 طبقه شبکه قطری در حدود 76 درصد کمتر از دریفت سازه 30 طبقه لوله ای است .

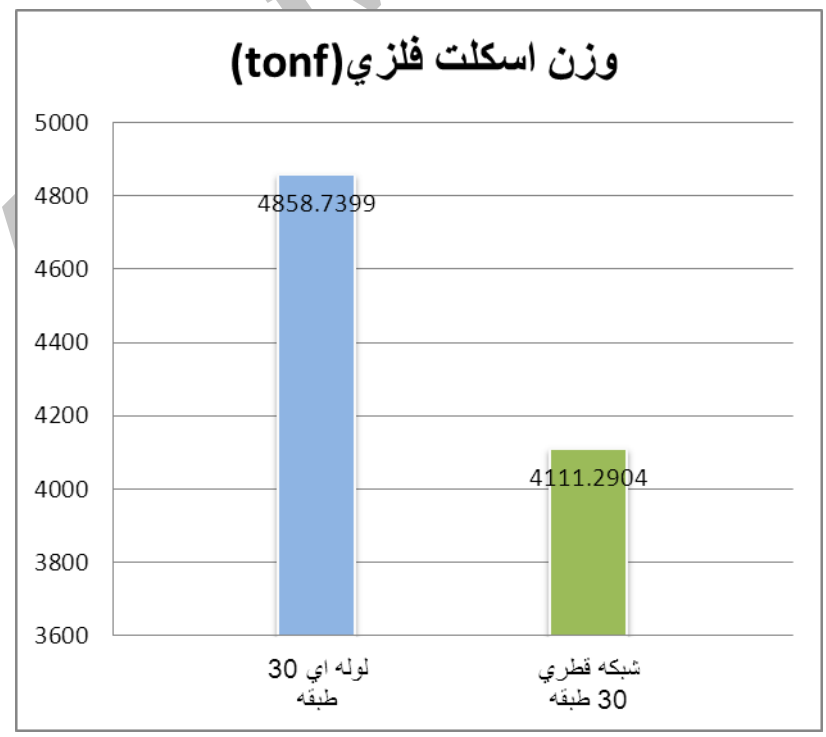
www.SID.ir

مقایسه وزن کل و وزن اسکلت فلزی

همچنین با بررسی نمودار2 مشاهده میشود که برش پایه در سازه های شبکه قطری از سازه لوله ای کمتر است که میزان کاهش برش پایه در سازه شبکه قطری نسبت به لوله ای برابر 7 درصد است .



نمودار2 : مقایسه وزن کل سازه های مورد بررسی



نمودار 3 : مقایسه بین وزن اسکلت فلزی سازه های شبکه فطری و لوله ای مورد مطالعه

www.SID.ir

از بررسی نمودار3 نتیجه میگیریم که اسکلت فلزی سازه 30 طبقه شبکه قطری در مقایسه با سازه 30 طبقه لوله ای979 تـن سبک تر است یعنی اسکلت فلزی سازه30 طبقه شبکه قطری 17 درصد نسبت به اسکلت فلزی سازه 30 طبقه لوله ای سـبک تر است.

فرآیند تحلیل پوش آور

تحلیل پوش آور یک تحلیل استاتیکی غیر خطی است که در آن بزرگی بار جانبی به طـور یکنواخـت افـزایش پیـدا میکنـد تـا الگوی تخریب سازه در ارتفاع مشخص شود . سازه دچار تغییر مکان میشود تا جایی که گره های کنترلی به تغییر مکان هـدف برسند یا سازه دچار فروریختگی شود . در نتیجه مفاصل پلاستیک و خرابی اعضای سازه ای با ایـن روش قابـل مشـاهده اسـت همچنین ارتباط بین بـرش پایـه و تغییـر مکـان گـره هـای کنترلـی بـرای تحلیـل پـوش آور قابـل ترسـیم اسـت . (Ravi k ravankar,2014)

بدست آوردن تغییر مکان هدف

طبق نشریه 360 برای محاسبه تغییر مکان هدف باید از فرمول 1 استفاده نمود ، در این رابطه (T) برابر پریود ارتعاشی سازه است که پس از تحلیل سازه بدست می‌آید سایر پارامترهای فرمول 1 در نشریه 360 توضیح داده شده است که بدلیل اختصار از ذکر آنها خودداری میکنیم.در جدول 3 تغییر مکان هدف برای سازه های مورد مطالعه محاسبه شده است.

فرمول 1: رابطه تغبیر مکان هدف

$$\delta = C_0 C_1 C_2 C_3 S_a \frac{T_e^2}{4\pi^2} g$$

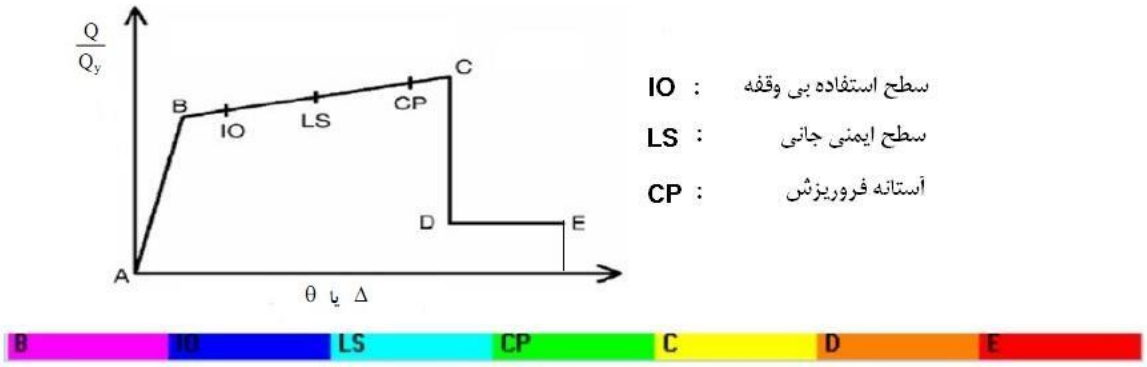
جدول 3 : تغییر مکان هدف در سازه های شبکه قطری و لوله ای مورد مطالعه

تغییر مکان هدف (متر)	نوع سازه
4.12	سازه لوله ای 30 طبقه
3.09	سازه شبکه قطری 30 طبقه

در شکل 6 منحنی نیرو-تغییر شکل تعمیم یافته برای اعضا و اجزای فولادی دیده میشود که بر اساس ایـن منحنـی و جـداول مربوطه در نشریه 360 محاسبات دستی مربوط به مفاصل پلاستیک انجام شده و سپس در نرم افـزار SAP ، ایـن مفاصـل در تیرها در 5درصد ابتدا و انتهای طول تیر و در ستونها در ابتدا و انتهای طول عضو و در کمربنـد خرپـایی در وسـط طـول عضـو تعریف شده است.

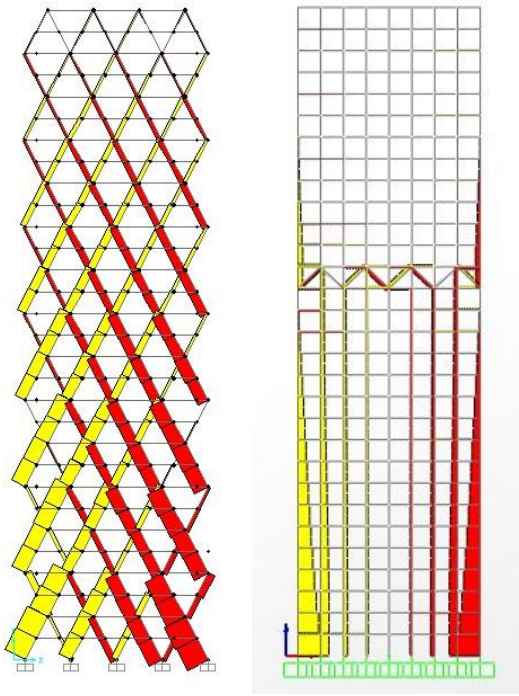
Archive of SID

www.SID.ir



شکل6 : منحنی نیرو تغییر شکل تعمیم یافته برای اعضا و اجزای فولادی

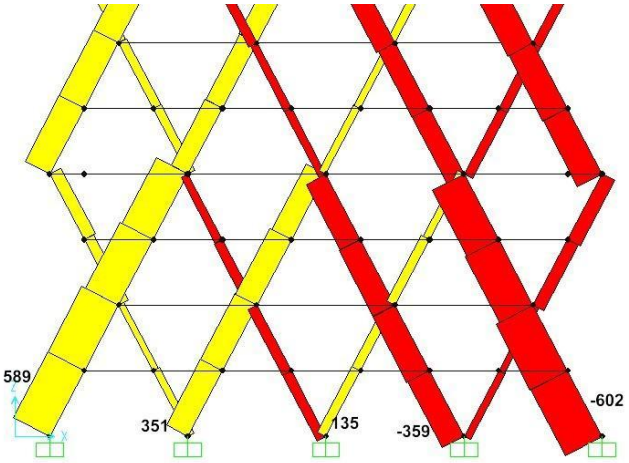
مطابق با شکل 7 پس از تحلیل وطراحی سیستم شبکه قطری به وضوح مشخص است که نیروی محوری از ستونهای کناری به سمت داخل کاهش پیدا میکند همچنین این نیروی محوری با افزایش ارتفاع در ستونهای بالایی کاهش پیدا میکند با توجه به این موضوع باید در طراحی سازه های شبکه قطری ، ستونهای کناری قاب خارجی باید قوی تر از ستونهای میانی باشند علاوه بر این توزیع نیروی محوری در سیستم شبکه قطری نسبت به سیستم لوله ای یکنواخت تر است و بر خلاف سیستم لوله ای ، تمامی ستونهای شبکه قطری نیروی محوری را تحمل میکنند علاوه بر این توزیع نیروی محوری در سازه شبکه شش ضلعی توسط ستونهای مورب هر شش ضلعی تحمل میگردد و توزیع نیروی محوری با استفاده از مهاربندهای مورب به صورت تقریبا یکنواخت توزیع شده است .



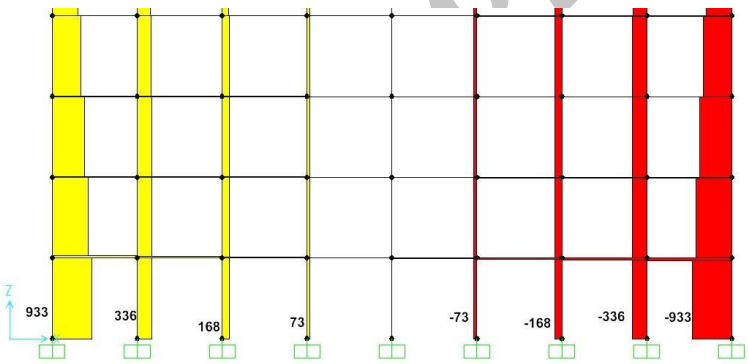
Archive of SID

www.SID.ir

شکل7 : نیروی محوری در ستونهای سازه شبکه لوله‌ای و شبکه قطری و شبکه شش ضلعی



شکل8 : توزیع نیروی محوری در ستونهای سیستم شبکه قطری



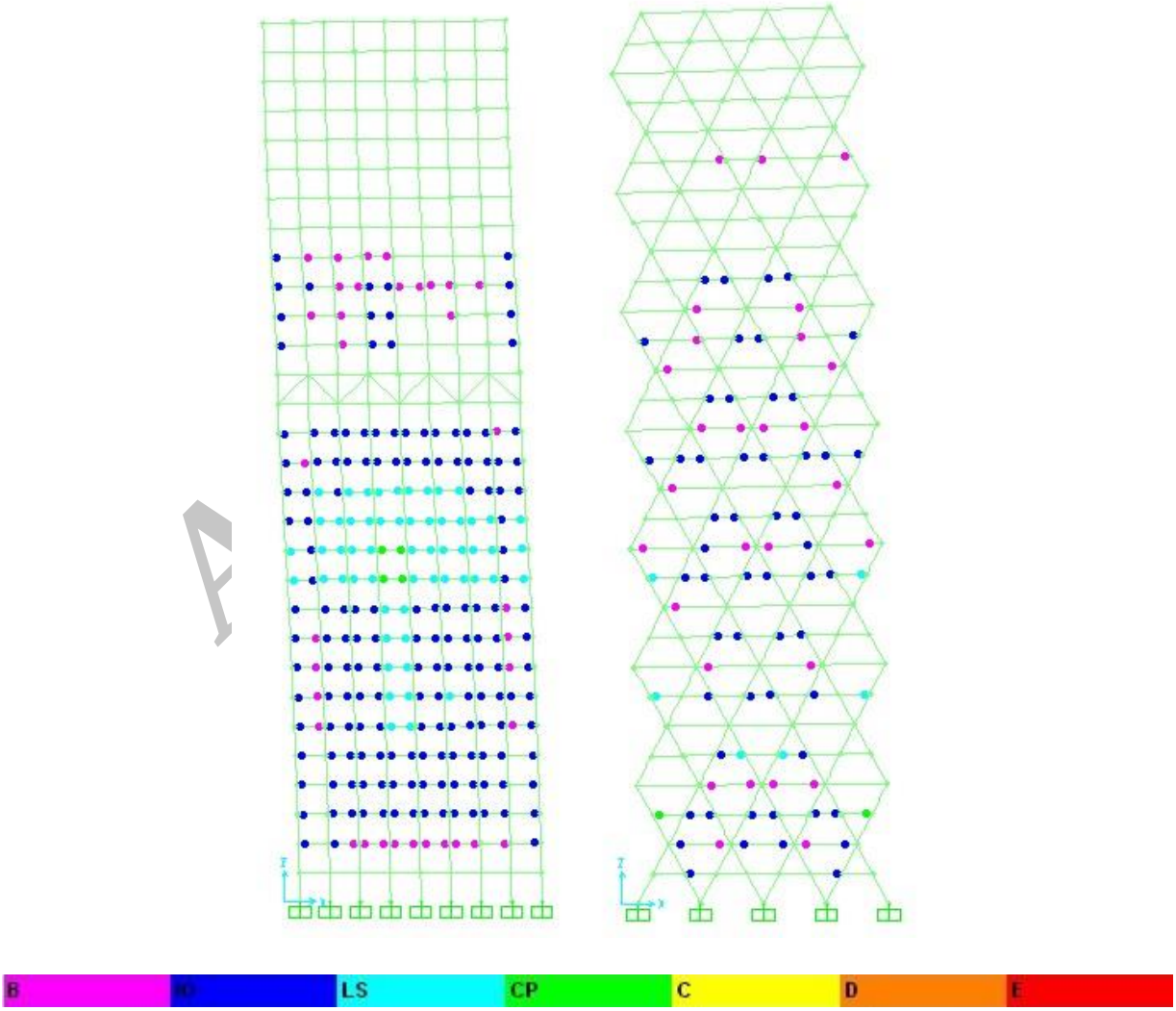
شکل 9 : توزیع نیروی محوری در ستونهای سیستم لوله ای

با بررسی دقیق تر نیروی محوری و بدست آوردن میزان نیروی محوری برای هر ستون به راحتی به تفسیر نتایج تحلیل میپردازیم ، رنگ قرمز بیانگر نیروی فشاری و رنگ زرد نیز بیانگر نیروی کششی است ،همانطور که در شکل های 8و9دیده میشود نیروی محوری در ستون های گوشه سیستم لوله ای از سیستم شبکه قطری بیشتر است اما ستونهای داخلی سیستم لوله ای نیروی محوری بسیار کمتری را نسبت به سیستم شبکه قطری تحمل میکنند و نیروی محوری در سیستم شبکه قطری توزیع بسیار بهتری نسبت به سیستم لوله ای دارد پس عملکرد سیستم شبکه قطری در برابر مقابله با نیروهای جانبی بهتر از سیستم لوله ای میباشد همچنین با بررسی عددی نتایج بالا مشاهده میگردد که سیستم شبکه قطری 15 درصد نسبت به سیستم لوله ای عملکرد بهتری در مقابله با نیروهای جانبی دارد.

www.SID.ir

مقایسه شکل پذیری بین سیستم شبکه شش ضلعی و شبکه قطری و سیستم لوله ای

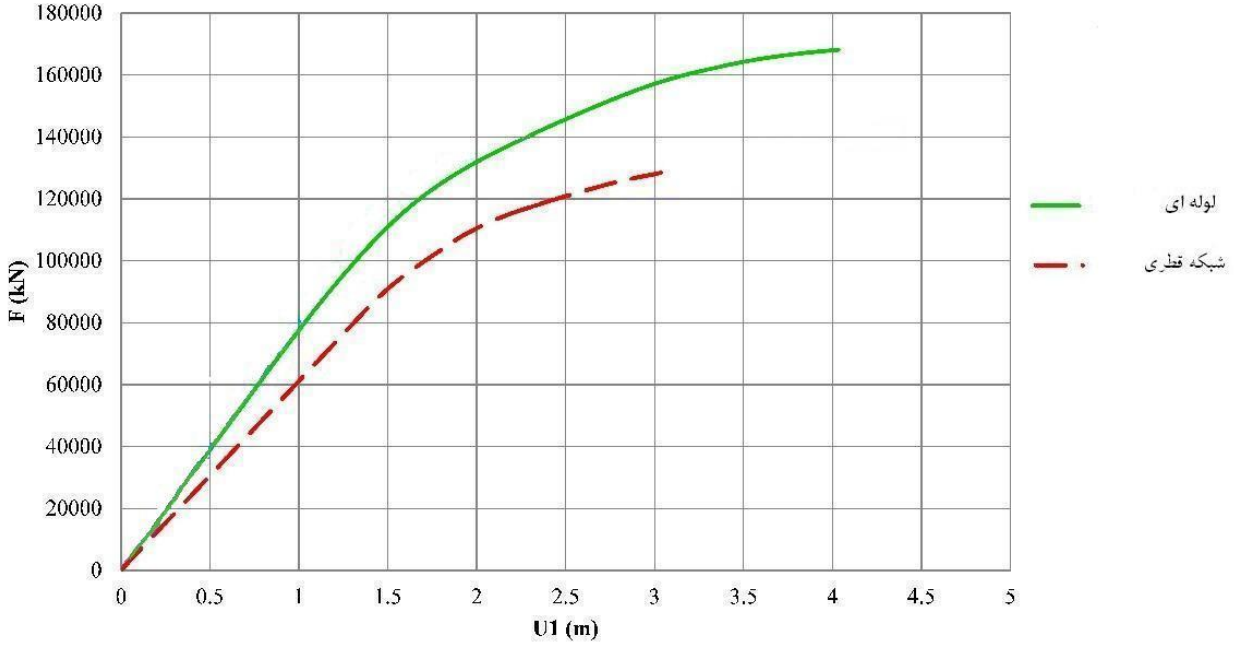
در شکل10 محل تشکیل مفاصل پلاستیک در هر دو سازه دیده میشود به وضوح قابل مشاهده است که در سیستم شبکه قطری مفاصل پلاستیک بسیار کمتری نسبت به سیستم لوله ای در آنها تشکیل شده است و این سیستم رفتار سخت تری دارد و جذب انرژی کمتری دارد ، بنابراین انرژی بیشتری توسط سازه لوله ای نسبت به سازه شبکه قطری در اثر بارهای وارده جذب شده و در نتیجه سازه لوله ای شکل پذیری بیشتری نسبت به سازه شبکه قطری دارد.



شکل 10 : نحوه توزیع مفاصل پلاسنیک در سازه 30 طبقه شبکه قطری (سمت راست) و سازه 30 طبقه لوله ای(سمت چپ)

www.SID.ir

بر اساس نمودار 4 میتوان شکل پذیری سیستم های شبکه قطری و لوله ای مورد مطالعه در این پژوهش را با یکدیگر مقایسه کرد بر طبق این نمودار به ترتیب شکل پذیری سیستم لوله ای 30 طبقه بیشتر از شکل پذیری سیستم شبکه فطری 30 طبقه میباشد پس میتوان نتیجه گرفت که شکل پذیری سیستم سازه ای لوله ای بیشتر از شکل پذیری سیستم سازه ای شبکه قطری میباشد .

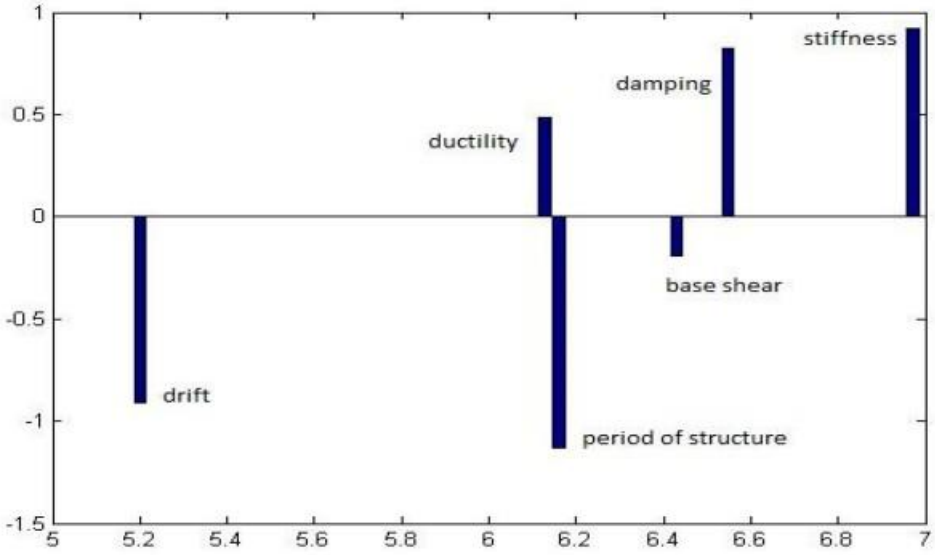


نمودار 4 : نمودار پوش آور سیستم های شبکه قطری و لوله ای مورد مطالعه

تعیین عومل تاثیرگذار و تاثیر پذیر به روش DEMATEL

در روش DEMATEL با استفاده از آنالیز حساسیت و نرمالایز کردن هر یک از عوامل مورد بررسی به هر یک از پارامترها مقداری بین 0 تا 4 اختصاص میدهیم و سپس با استفاده از کد نویسی روش DEMATEL در نرم افزار MATLAB به محاسبه بیشترین عامل تاثیر گذار و تاثیرپذیر بر سازه ها می‌پردازیم .

www.SID.ir



نمودار 5 : نمودار DEMATEL

با توجه به نمودار 5 به ترتیب پارامترهای سختی ، میرایی و شکل پذیری بیشترین میزان تاثیرگذاری بر روی سیستم سازه ای را دارند و پارامترهای پریود سازه و دریفت و برش پایه به ترتیب تاثیرپذیر ترین عوامل سازه ای هستند . همچنین سختی بالاترین میزان تاثیرگذاری را دارد یعنی با افزایش سختی شاهد کاهش قابل ملاحظه تغییر مکان نسبی در سازه خواهیم بود .

بحث و نتیجه گیری

در مقایسه با سیستم سازه لوله ای که فاقد اعضای مورب هستند ، سیستم های شبکه قطری عملکرد بهتری در حداقل کردن تغییر شکل های برشی دارند زیرا آنها برش را با عملکرد محوری اعضای مورب شان تحمل میکنند در حالیکه سیستم های سازه ای لوله ای برش را با خمش ستونهای عمودی شان تحمل میکنند.

سازه های شبکه قطری به طور کلی نیازی به هسته برشی مرکزی قوی ندارند زیرا برش توسط اعضای مورب آنها تحمل میشود

میزان تغییر مکان نسبی در سازه های شبکه قطری بسیار کمتر از سازه های لوله ای است که در این پژوهش تغییر مکان نسبی سیستم شبکه قطری در حدود 30 درصد سیستم لوله ای بدست آمده است .

شکل پذیری سیستم های شبکه قطری بسیار کمتر از سیستم لوله ای است و به علت رفتار ترد و شکل پذیری کم برای مناطقی با خطر لرزه خیزی بالا توصیه نمیشوند .

اسکلت فلزی سازه شبکه قطری در مقایسه با سازه لوله ای حدودا 25 درصد سبک تر است و این به معنای کاهش هزینه در اسکلت فلزی میباشد

Archive of
www.SID.ir

مراجع

[1]. نشریه بهسازی لرزه ای ساختمان های موجود (نشریه 360)

[2]. آیین نامه طراحی ساختمان ها در برابر زلزله (آیین نامه 2800 ویرایش 4)

[1]. jinko kim. (2014). Seismic performance of twisted diagrid building . international journal of High-rise building.vol3.no3.222-230

[2].Bungale S. Taranath.(2012) Structural Analysis and Design of Tall Buildings Steel and Composite Construction. 2012 by Taylor & Francis Group, LLC

[3]. Ravi K Revankar.(2014). Pushover Analysis of Diagrid Structure. International Journal of Engineering and Innovative Technology.Volume 4. Issue 3.

[4]. Alfio Quarteroni.(2014).Scientific Computing with MATLAB. Springer Heidelberg New York Dordrecht London. ISBN 978-3-642-45367-0 (eBook)

[5]. Garlan Ramadhan.(2013).Seismic Performance of Diagrid Steel structures Using Single and Double Friction Mass Dampers . degree of Master of Science in Civil Engineering. Oregon State University.

[7]. J. Kim, Y. Jun and Y.-Ho Lee.(2010). Seismic Performance Evaluation of Diagrid System Buildings. Department of Architectural Engineering, Sungkyunkwan University. Suwon. Korea .

[7]. K. Moon .(2009).Design and Construction of Steel Diagrid Structures.School of Architecture. Yale University. New Haven. USA.

[8]. JOHN E. FERNANDEZ.(2008). DIAGRID STRUCTURAL SYSTEMS FOR TALL BUILDINGS:CHARACTERISTICS AND METHODOLOGY FOR PRELIMINARYDESIGN. Department of Architecture. Massachusetts Institute of Technology. Cambridge. Massachusetts. USA. Struct. Design Tall Spec. Build. 16, 205–230 (2007)

[9]. Er. Nishant Rana.(2014). Structural Forms Systems for Tall Building Structures. SSRG International Journal of Civil Engineering (SSRG-IJCE) – volume1issue4 September2014

[11]. Pacific Earthquake Engineering Research Center (2010), Guidelines for Performance-Based Seismic Design of Tall Buildings, PEER Report 2010/05, November 2010, prepared by the TBI Guidelines Working Group, Berkeley, California.

Archive of SID

www.SID.ir