

نوع مقاله: علمی - پژوهشی

چکیده

امروزه طراحی و ساخت سازه‌های بلندمرتبه با پیکربندی شبکه قطری با توجه به کارایی مقاومتی بالا و نیز قابلیت زیباشناسی معماری، مورد توجه است. در این پژوهش، به بررسی پارامترهای عملکرد لرزه‌ای سازه‌های شبکه قطری با استفاده از تحلیل تاریخچه زمانی غیرخطی تحت رکوردهای نیرومند حوزه نزدیک زلزله پرداخته شده است. هدف اصلی این پژوهش، بررسی تأثیر زاویه تابش امواج زلزله در رفتار لرزه‌ای سازه شبکه قطری است. بدین منظور، رفتار سه سازه مطالعاتی ۲۰ طبقه شبکه قطری با زاویه پیکربندی ۵۶، ۶۴ و ۷۶ درجه و با چیدمان هندسی یکسان، تحت زاویه‌های تابش صفر، ۱۵، ۳۰ و ۴۵ درجه نسبت به دستگاه محورهای اصلی مورد بررسی قرار گرفته است. چگونگی و روند تأثیرات زاویه تابش در دامنه تغییرات پارامترهای لرزه‌ای شامل دریافت بیشینه طبقات، تاریخچه زمانی تغییر مکان جانبی، بیشینه دوران المان‌های دیاگراید و ارزیابی ساختار شکل‌گیری مفاصل غیرخطی در سازه، مطالعه شده است. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که تأثیر زاویه تابش در پارامترهای مختلف پاسخ لرزه‌ای، متفاوت بوده و نمود قابل توجهی در تغییرات دوران المان‌های دیاگراید ندارد. بررسی تأثیر زاویه پیکربندی المان‌های تیر-ستون مورب (اعضای قطری) در رفتار لرزه‌ای سازه، نشان می‌دهد که ساختار شبکه قطری با زاویه ۵۶ درجه، دارای کمترین میزان تقاضای لرزه‌ای تحت بارگذاری‌های زلزله است.

واژگان کلیدی: سازه شبکه قطری، زلزله حوزه نزدیک، زاویه تابش، دریافت طبقه، دوران المان.

بررسی رفتار لرزه‌ای غیرخطی سازه‌های شبکه قطری با پیکربندی مختلف تحت جنبش‌های نیرومند پالس گونه زمین

مهشاد جمع‌دار

دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، مهندسی زلزله، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران

عرفان القاصی

دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، مهندسی زلزله، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران

افشین مشکوه‌الدینی (نویسنده مسئول)

استادیار، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران، meshkat@khu.ac.ir

پیمان همای

استادیار، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران

۱- مقدمه

امروزه، با افزایش روز افزون جمعیت شهری و محدودیت زمین‌های موجود، توسعه سازه‌های بلند در سراسر جهان در حال گسترش است. در سال‌های اخیر، سازه‌های شبکه قطری به علت کارایی بالای سازه‌ای و زیبایی پیکربندی اسکلت مقاوم، مورد توجه طراحان و معماران قرار گرفته است. سازه‌های شبکه قطری، تکامل یافته بر اساس سازه‌های با سیستم لوله‌ای است. اعضای شیب‌دار به جای ستون‌های عمودی به کار برده شده و در تحمل هر دو بار ثقیلی و جانبی مشارکت دارند [۱]. دلیل اصلی کارایی بالای سازه شبکه قطری، کاربرد الگوی هندسی مثلثی شکل است که سبب قابلیت و افزایش شکل‌پذیری شده و نیز زیبایی پیکربندی سازه را در پی دارد [۲]. همچنین، رفتار خمشی-محوری اعضای

مورب سازه شبکه قطری، اثرات ناشی از لنگی برش و توزیع ناهمگون برآیندهای تنش در المان‌ها را به حداقل می‌رساند. توپولوژی شبکه‌بندی و زاویه المان‌های مورب، دو عامل کلیدی است که بر سختی جانبی و کارایی سازه‌های شبکه قطری اثر می‌گذارد. از این رو، تحقیقات گسترده‌ای برای تعیین زاویه بهینه در پیکربندی سازه‌های شبکه قطری صورت گرفته است.

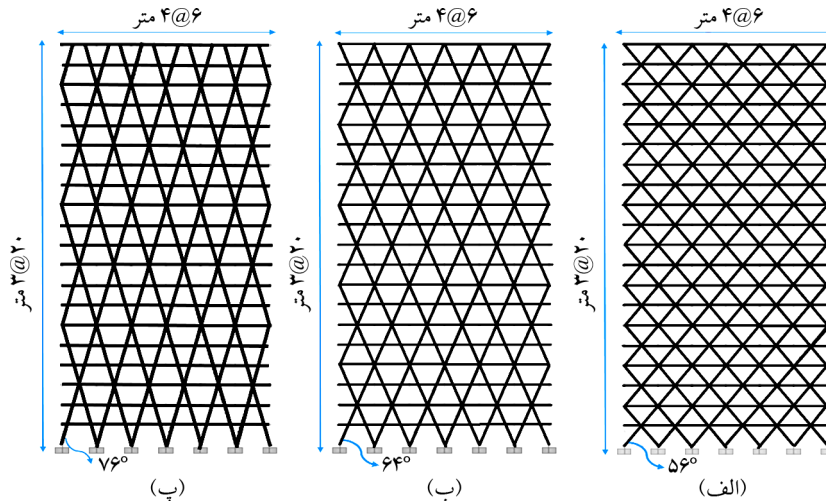
مون [۳]، سازه‌های شبکه قطری با زاویه‌های بین ۳۴ تا ۸۲ درجه در پیکربندی‌های ۲۰، ۴۲ و ۶۰ طبقه و با نسبت شیب بین ۲ تا ۷ را مورد مطالعه و بررسی قرار داد. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که زاویه بهینه از دیدگاه مؤلفه سختی جانبی برای سازه ۴۲ طبقه در محدوده ۵۵ تا ۶۵ درجه و برای سازه ۶۰ طبقه،

داده و نتایج تحلیلی حاصل نشان می‌دهد که عملکرد سازه‌های شبکه قطری در سطوح مختلف خطر لرزه‌ای مناسب و قابل قبول است. مشهدی‌علی و خیرالدین [۱۵] به ارزیابی ضریب رفتار R برای برآورد عملکرد ساختارهای هگزاگرید پرداخته و نتایج تحلیلی حاصل نیز بیانگر این است که زاویه مورب الگوی شش ضلعی بین 30° تا 40° درجه دارای کارایی مقاومتی بالا در میان نمونه‌های مطالعاتی است.

شایان ذکر است که تحت لرزش و لغزش صفحات تکنیک، حرکات زمین در هر راستا انتشار می‌یابد. بر این اساس، وجود جهات مختلف برخورد جبهه انتشار امواج لرزه‌ای و جنبش‌های نیرومند زمین به ساختگاه‌ها می‌تواند منجر به افزایش و تشدید پاسخ دینامیکی غیرخطی سازه‌ها گردد. یک نکته مهم آن است که در بسیاری از آیین‌نامه‌های طراحی، جهت برخورد حرکت زمین با محور اصلی سازه به صورت هم‌راستا در نظر گرفته می‌شود. همچنین، وضعیت بیشینه محتمل مربوط به اثر هم‌زمان لرزش متعامد دو جهته نیز با 100% درصد نیروی جانبی زمین لرزه در جهت محور اصلی سازه تعیین شده که با 30% درصد نیرویی که در جهت محور اصلی دیگر وارد می‌شود، ترکیب می‌گردد. دانسته شده که حداکثر پارامترهای پاسخ لرزه‌ای الزامی ندارد که در امتداد محور اصلی سازه رخ بدهد [۱۶-۱۸]. در پژوهش حاضر، تأثیر زاویه تابش امواج زلزله بر پاسخ دینامیکی غیرخطی و مشخصات رفتار لرزه‌ای یک سازه 20 طبقه شبکه قطری با زاویه‌های مختلف تیر-ستون‌های مورب پیرامونی مورد بررسی قرار گرفته است. سه ساختار شبکه قطری که دارای الگوی متفاوت در نمای سازه هستند، با زاویه المان‌های مورب حدود 56° ، 64° و 76° درجه نسبت به محور افقی، انتخاب و طراحی شده است. تغییرات زاویه تابش از 0° تا 45° درجه نسبت به محورهای اصلی پلان سازه با افزایش 15 واحدی تعریف شده و پاسخ‌های مطالعاتی نیز شامل پوش بیشینه تغییر مکان نسبی طبقات (دریفت)، پوش بیشینه دوران اتصالات، توزیع مفاصل پلاستیک در سازه تحت رکوردهای حوزه نزدیک انتخابی است [۱۹]. بر پایه نتایج حاصله در این تحقیق، ملاحظه شد که ساختار رفتاری

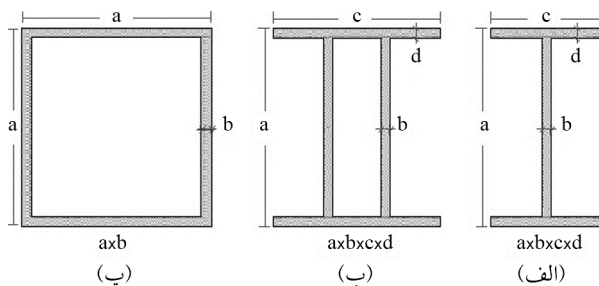
زاویه بین 65° تا 75° درجه می‌باشد. همچنین در مطالعه دیگری از کیم و لی [۴] برای سازه 36 طبقه تحت بار زلزله، زاویه بهینه المان‌های مورب بین 60° تا 70° به دست آمد. تحقیقاتی نیز در زمینه روش تقریبی تعیین اندازه‌های اولیه المان‌های تیر-ستون مورب در اسکلت سازه شبکه قطری بر اساس دامنه تغییرات نیروهای محوری، برآیند برش و پارامتر سختی خمشی و نیز زاویه پیکربندی ارائه شده است [۵-۷]. نتایج پژوهش‌های این زمینه نشان می‌دهد که چیدمان زوایای کوچک‌تر برای المان‌های مورب در یک ساختار شبکه قطری، می‌تواند همراه با یک افزایش نسبی در مختصه پایداری و نیز تضمین‌کننده یک کاهش مشخص در چگونگی تشکیل و گسترش حوزه‌های غیرخطی باشد. بدین لحاظ از دیدگاه جامع باید در موضوع زاویه پیکربندی بهینه و کارآمد، به ماهیت تصادفی رکوردهای نیرومند زلزله و نیز مسئله انتشار امواج لرزه‌ای در پیکره اسکلت مقاوم سازه توجه خاص مبذول داشت. افزون بر این مطلب، وجود قابلیت‌های تاب‌آوری بالا برای سازه‌های شبکه قطری به‌ویژه با چیدمان زوایای کوچک‌تر پیکربندی سبب خواهد شد که روندی آهسته و کند برای زوال مقاومت و کاهش سختی پدیدار شود [۸-۱۰].

اسدی و عادل [۱۱] تحقیقات گسترده‌ای در زمینه ضریب عملکرد لرزه‌ای سازه‌های شبکه قطری با روش‌های مختلف انجام دادند. نتایج تحلیلی نشان می‌دهد که ضریب رفتار R در محدوده 4 تا 5 برای اسکلت‌های فولادی 8 تا 30 طبقه و برای سازه‌های کوتاه مرتبه نیز این ضریب بین $3/5$ تا 4 است [۱۱]. صادقی و رفویی [۱۲] با در نظر گرفتن زاویه قطرها، به بررسی ضریب عملکرد لرزه‌ای سازه‌های شبکه قطری پرداخته و نتایج به دست آمده نشان می‌دهد که ضریب R برای چیدمان قطرها با زاویه 45° ، $63/4^\circ$ و $71/5^\circ$ درجه، به ترتیب برابر $1/5$ ، 2 و 3 است [۱۲]. همچنین در مطالعه دیگری اسدی و همکاران [۱۳]، به بررسی پارامترهای خسارت و میزان آسیب دیدگی سازه‌های شبکه قطری پرداختند. محسنیان و همکاران [۱۴] عملکرد لرزه‌ای سازه شبکه قطری را تحت شدت‌های مختلف زلزله مورد ارزیابی قرار



شکل (۱): نمای سازه‌های مطالعاتی ۲۰ طبقه با زوایای مختلف پیکربندی: (الف) ۵۶ درجه، (ب) ۶۴ درجه و (پ) ۷۶ درجه [۱۹].

حرکت جسم صلب تغییر مکان‌های افقی در راستاهای X و Y پلان و ارتباط آنها با چرخش بدون کرنش، حول محور Z لحاظ گردیده است. بدین ترتیب با تعریف قابلیت حرکت جسم صلب برای تاوهای کف طبقات، رفتار پیوسته و یکپارچه شده کلیه المان‌ها و اتصالات آنها برقرار می‌شود. بر همین اساس، آرایش و پیکربندی پیرامونی سازه با مدول‌های مثلثی در هر دو حالت هندسی کامل و یا کاهش یافته (شکل ۱)، به صورت درست و هماهنگ در ساختار تحلیلی ماتریس سختی سازه، همچنین برای بردار بارگذاری دینامیکی و سپس در نتایج عددی و دامنه تغییرات پارامترهای پاسخ لرزه‌ای وارد می‌شود. بدین ترتیب، معیارهای مقایسه‌ای برای ارزیابی پارامترهای پاسخ سازه‌های مطالعاتی نیز به صورت هم‌ارز و قابل استناد پیاده‌سازی می‌شوند. اطلاعات و مشخصات طرح مقطع المان‌های سازه‌ای در جدول (۱) و شکل (۲) ارائه شده‌اند.



شکل (۲): نیمرخ اعضای سازه‌ای: (الف) مقطع تیر در قاب ساده مفصلی، (ب) مقطع تیر در قاب خمشی و (پ) مقطع عمومی ستون‌ها و المان‌های مورب دیاگرید [۱۹].

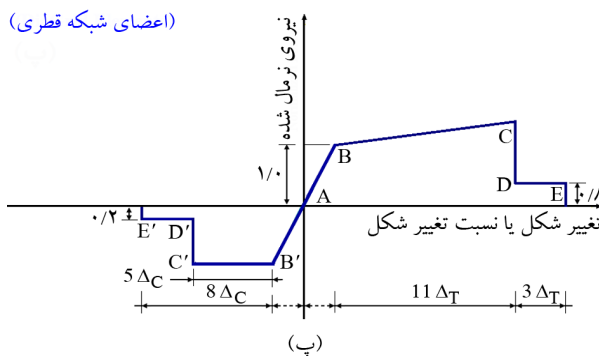
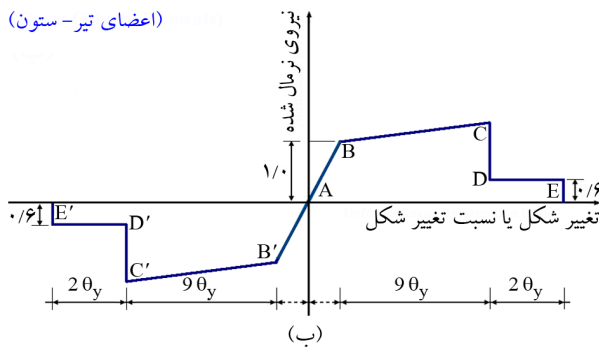
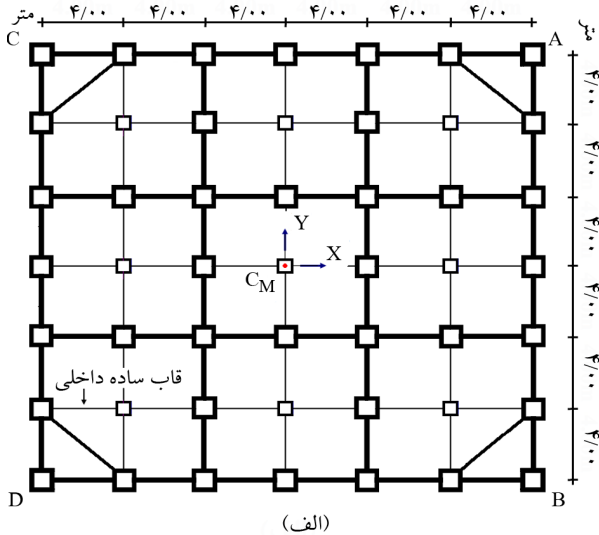
سازه‌های دیاگرید و روند تغییرات مؤلفه‌های پاسخ لرزه‌ای از حوزه خطی به غیرخطی، دارای وابستگی مستقیم به پیکربندی اسکلت مقاوم و زاویه چیدمان المان‌های تیر-ستون قطری و نیز ماهیت فیزیکی رکوردهای نیرومند حوزه نزدیک است. قابلیت ایجاد حوزه‌های بزرگ‌تر غیرخطی در المان‌های اصلی سازه و نیز احتمال بالاتر وقوع ناپایداری‌های موضعی، با بیشتر شدن زاویه پیکربندی اعضای قطری، افزایش خواهد یافت.

۲- مشخصات کلی طرح اسکلت سازه‌های مطالعاتی

سازه‌های مطالعاتی شبکه قطری و پیکربندی ۲۰ طبقه، با زوایای ۵۶، ۶۴ و ۷۶ درجه برای بررسی عملکرد لرزه‌ای در نظر گرفته شده است [۱۹]. آرایش نمای سازه‌های شبکه قطری ۲۰ طبقه با زوایای تعریف شده در شکل (۱) ملاحظه می‌شود. سازه دارای پلان متقارن شامل شش دهانه در هر دو جهت X و Y با طول ۴ متر است (شکل ۲). ساختگاه پروژه در این تحقیق، در ناحیه با پهنه‌بندی خطر نسبی زیاد و خاک نوع II در نظر گرفته و بارهای مرده و زنده برای تمام طبقات طبق مبحث ششم مقررات ملی ساختمان، به ترتیب برابر با 0.5 تن بر مترمربع و 0.2 تن بر مترمربع می‌باشند [۲۰]. ضریب میرایی 0.05 بوده و ضریب رفتار با قابلیت شکل‌پذیری متوسط برابر با ۵ در نظر گرفته شده است. شایان ذکر است که در مدل‌سازی پیکره یکپارچه تاوهای کف طبقات سازه‌های مطالعاتی، تعریف وابستگی و ماهیت

جدول (۱): مشخصات اعضای سازه‌های مطالعاتی در شکل (۱) (ابعاد به سانتی‌متر).

گروه طبقات	تیرهای اتصال (قاب ساده مفصلی)	تیرهای اتصال (قاب خمشی داخلی)	ستون داخلی (قاب ساده مفصلی)	ستون داخلی (قاب خمشی داخلی)	تیر - ستون محیطی (المان مورب پیرامونی)
۱ تا ۵	B35×1×20×2.0	B35×1×30×2.0	C35×2	C50×2	C50×2 & 2PL46×2 (سخت کننده)
۶ تا ۱۰	B30×1×20×2.0	B35×1×30×2.0	C30×2	C45×2	C45×2
۱۱ تا ۱۵	B25×1×20×2.0	B35×1×25×2.0	C25×2	C40×2	C40×2
۱۶ تا ۲۰	B20×1×20×2.0	B35×1×25×2.0	C20×1	C35×2	C35×2



شکل (۳): طرح سازه‌های مطالعاتی: (الف) پلان سازه در ترازهای با پوشش کامل هندسی، شامل صفحات قاب‌های خمشی (خطوط پر رنگ) و صفحات قاب‌های ساده مفصلی (خطوط نازک) و CM نماد مرکز جرم طبقه است. (ب) ملاحظات FEMA برای رفتار غیرخطی اعضای تیر و ستون قاب‌های خمشی داخلی و (پ) ملاحظات FEMA برای رفتار غیرخطی اعضای قطری پیرامونی [۱۹، ۲۳-۲۴].

مشخصات مقاطع اعضای سازه‌ای بر اساس استاندارد ملی ساختمان ایران (مبحث دهم) طراحی شده و در فرآیند طراحی دو معیار محدودیت جابه‌جایی نسبی طبقات و رعایت اصل ستون قوی-تیر ضعیف در اتصالات لحاظ گردیده است [۲۱-۲۲]. مدل‌سازی رفتار غیرخطی اعضای سازه‌ای (تیرها و ستون‌ها) با کاربرد مفاصل غیرخطی P-M2-M3 در ستون‌های قاب‌های صلب داخلی و مفاصل M3 برای تیرها صورت گرفته و همچنین جهت توصیف رفتار غیرخطی المان‌های مورب به صورت مهاربند نیز نمودار نیرو-تغییر شکل به صورت شکل (۳) تنظیم و اقتباس شده است. توضیح آنکه ساختار تحلیلی رفتار مفاصل غیرخطی در اسکلت مقاوم سازه، بر اساس تبیین توصیه‌های FEMA می‌باشد [۲۳-۲۴]. مجموعه آنالیزهای دینامیکی غیرخطی تاریخچه زمانی نیز با نرم‌افزار SAP2000 انجام شده است [۲۵].

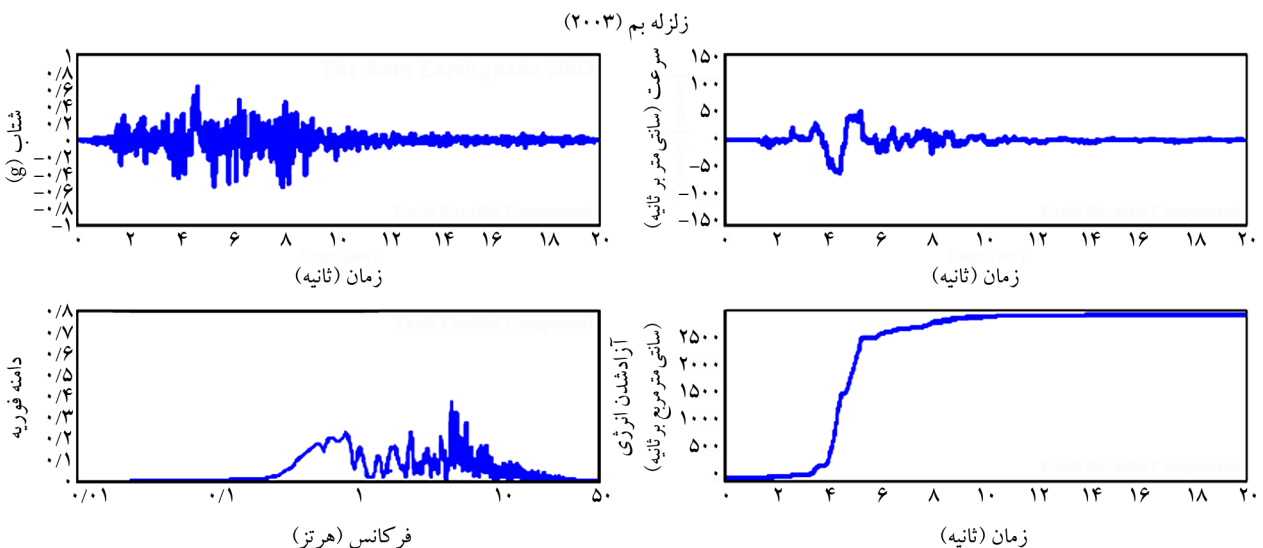
۳- انتخاب رکوردهای زلزله

معیار انتخاب رکوردهای زلزله در این تحقیق، وجود پالس بردامنه و پیوسته در تاریخچه زمانی سرعت مربوط به دو مؤلفه افقی است. خصوصیات متمایزکننده و برجسته رکوردهای حوزه نزدیک حاوی اثرات جهت‌داری، وجود پالس‌های با دامنه بزرگ و با پریود بلند در تاریخچه زمانی سرعت، به همراه اسپایک‌های پرانرژی و با گام زمانی کوتاه در رکورد شتاب است. اثرات نیرومند جهت‌داری پیشرو در شرایطی به وجود می‌آید که انتشار گسیختگی گسل به سمت سایت بوده و همراه با برابری حدودی سرعت انتشار امواج برشی با سرعت شکست ساختار زمین باشد. با برقراری این شرایط، ملاحظه می‌شود که مؤلفه عمود بر راستای عمومی صفحه شکست گسل (مؤلفه TR) به‌طور نسبی از مؤلفه

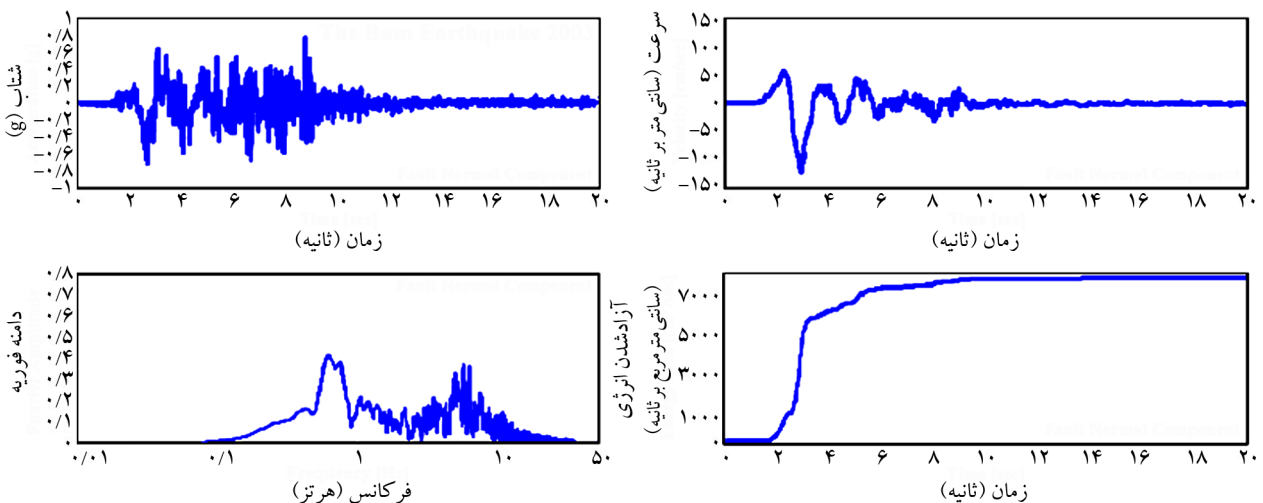
از آن است و مقادیر عظیم انرژی در حوزه ساختگاه آزاد می‌شود. حضور مجموعه بسیار پر تعداد اسپایک‌های شتاب با گام زمانی کوچک و نیز چندین ساختار موجی شکل با پیوند متوسط تا به نسبت بلند نیز سبب ایجاد یک محتوای فرکانسی با مؤلفه‌های ارتفاعی مشخص و قابل توجه در طیف فوریه مؤلفه‌های LN و TR این رکورد شده است. همچنین، دو باند فرکانسی نه‌چندان گسترده در بخش بسامدهای کوتاه و بلند ایجاد شده و این دو باند مشخص نیز پوشش‌دهنده‌ی فرکانس‌های پیرانرژی شتاب‌نگاشت رکورد نیرومند و حوزه نزدیک بم می‌باشند (شکل ۴).

موازی با راستای مذکور (مؤلفه LN)، دارای سهم انرژی و مشخصات طیفی بزرگ‌تر است. شکل (۴) مربوط به رکورد اصلی زلزله بم در ایران است و تاریخچه زمانی شتاب و سرعت مؤلفه‌های افقی LN و TR به همراه طیف فوریه و نمودار تجمعی آزاد شدن انرژی نشان داده شده‌اند. بازه زمانی هر دو پالس بزرگ سرعت این رکورد، به‌طور مشخص متناظر با مجموعه اسپایک‌های پر دامنه شتاب در همان محدوده است.

بازه زمانی متناظر با گام پرش پلکانی در روند تجمعی آزاد شدن انرژی مربوط به رکورد بم، به‌صورت هم‌ارز با پالس پیوسته سرعت و چندین اسپایک پر دامنه در محدوده پیش و پس



(الف) مؤلفه موازی (LN) نسبت به صفحه شکست گسل



(ب) مؤلفه عمود (TR) نسبت به صفحه شکست گسل

شکل (۴): رکورد اصلی زلزله بم ایران شامل تاریخچه زمانی شتاب و سرعت مربوط به دو مؤلفه افقی و طیف فوریه و نمودار تجمعی آزاد شدن انرژی. (الف) مؤلفه موازی (LN) نسبت به صفحه شکست گسل و (ب) مؤلفه عمود (TR) نسبت به صفحه شکست گسل.

پارامترهای بیشینه حرکت زمین (PGV, PGA, PGD) تعریف می‌شوند [۲۶-۲۷]. با توجه به ویژگی‌های مذکور، انتخاب رکوردهای نیرومند زلزله صورت گرفته و همگی رکوردها در فاصله کمتر از ۱۵ کیلومتر از صفحه شکست گسل، ثبت شده و بیشینه سرعت زمین در تاریخچه زمانی آنها نیز بیشتر از ۵۰ سانتی‌متر بر ثانیه است. جدول (۲) مهم‌ترین خصوصیات فیزیکی رکوردهای انتخابی را نشان می‌دهد. رکوردهای انتخابی شامل جنبش اصلی زمین در زلزله طبس ۱۹۷۸ میلادی (با نماد TAB) و نیز در زلزله بم ۲۰۰۳ میلادی (با نماد BAM) است و همچنین، دو رکورد نیرومند و حاوی پالس سرعت نیز از زلزله نورث‌ریج ۱۹۹۴ کالیفرنیا مربوط به ایستگاه‌های لرزه‌نگاری سیلمار (SYL) و رینالدی (RRS) در نظر گرفته شده‌اند. رکوردهای انتخابی در حالت هم‌پایه شده با سطح شتاب $1g$ به سازه وارد شده‌اند، به گونه‌ای که پارامتر PGA برای مؤلفه TR برابر با شتاب ثقل، لحاظ شده و برای مؤلفه‌های دیگر نیز بر اساس نسبت میان بیشینه‌های شتاب، ضریب محاسباتی تعیین شده است. بدین ترتیب، نسبت طیفی میان مؤلفه‌های رکورد نیز ثابت باقی مانده است.

به‌منظور ارزیابی عملکرد پاسخ‌های لرزه‌ای مدل‌های مطالعاتی شبکه قطری، تمامی رکوردها با در نظرگیری هر سه مؤلفه شامل مؤلفه LN به صورت هم‌راستا با صفحه شکست گسل، مؤلفه TR به صورت عمود بر راستای صفحه شکست گسل و مؤلفه قائم (UP) به سازه اعمال گردیده است. همچنین، تأثیر زاویه تابش (θ) حرکت زمین بر پاسخ‌های دینامیکی غیرخطی

انتخاب رکوردهای زلزله برای بررسی و ارزیابی مشخصات رفتار لرزه‌ای سازه‌ها، یکی از مراحل مهم در انجام تحلیل‌های دینامیکی تاریخچه زمانی غیرخطی است و برای این منظور نیز رکوردهای انتخابی باید دارای مشخصات و خصوصیات متناسب با شرایط ساختگاه پروژه باشند. با توجه به تمرکز این مقاله بر مطالعه تأثیرات رکوردهای نیرومند حوزه نزدیک بر رفتار غیرخطی سازه‌های دیاگرید، انتخاب رکوردها به گونه‌ای صورت گرفته که تاریخچه زمانی آنها دارای پالس بزرگ پرانرژی و مجموعه اسپایک‌های پر دامنه باشد. متناظر با این مشخصه‌ها نیز نمودار تجمعی آزاد شدن انرژی مربوط به هر دو مؤلفه افقی LN و TR (شکل ۴) دارای روند تأثیر پذیرفته از حضور پالس پیوسته سرعت و اسپایک‌های پر دامنه همراه آن بوده و گام‌های پلکانی به صورت هم‌زمان با ساختارهای موجی شکل مذکور دیده می‌شوند. این گام‌های پلکانی نشانه آزاد شدن بسیار سریع و قابل توجه انرژی رکورد در قالب یک مؤلفه پالس گونه و وقوع حرکات ضربه‌ای زمین در ساختگاه پروژه است. تشدید دامنه تغییرات پاسخ لرزه‌ای و رفتار غیرخطی سازه نیز در همین بازه‌های زمانی صورت گرفته و احتمال ایجاد وضعیت شکست‌های موضعی اعضا و ناپایداری اسکلت مقاوم وجود خواهد داشت.

پالس‌های سرعت موجود در تاریخچه زمانی هر رکورد نیرومند انتخابی، دارای خصوصیات فیزیکی و طیفی متفاوتی می‌باشند. ویژگی‌های مهم طیفی رکوردهای زلزله نیز شامل محتوای فرکانسی، مدت مؤثر جنبش نیرومند زمین،

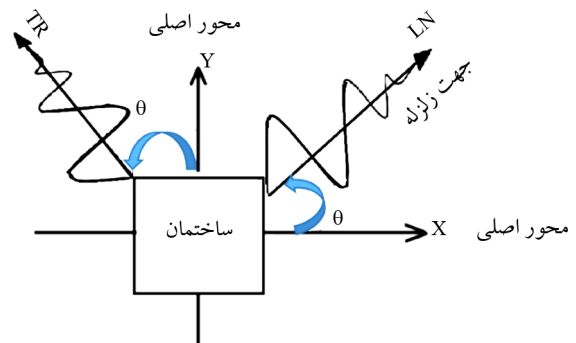
جدول (۲): ویژگی‌های رکوردهای حوزه نزدیک انتخابی.

بزرگسای Mw	PGD (سانتی‌متر)	PGV (سانتی‌متر بر ثانیه)	PGA (g)	مؤلفه	رکورد زلزله
۶/۶	۲۰/۷۰	۵۹/۶۱	۰/۶۳۵	LN	بم ۲۰۰۳ شهر بم (BAM) - ۱/۰ کیلومتر
	۳۷/۴۰	۱۲۳/۷	۰/۷۹۳	TR	
۷/۴	۳۹/۹۰	۹۷/۷۰	۰/۸۳۶	LN	طبس ۱۹۷۸ شهر طبس (TAB) - ۳/۰ کیلومتر
	۹۴/۵۰	۱۲۱/۳	۰/۸۵۱	TR	
۶/۷	۱۹/۷۶	۷۳/۰۰	۰/۴۷۲	LN	نورث‌ریج ۱۹۹۴ رینالدی (RRS) - ۷/۱ کیلومتر
	۲۸/۷۸	۱۶۶/۱	۰/۸۳۸	TR	
۶/۷	۱۶/۴۱	۷۸/۲۴	۰/۶۰۴	LN	نورث‌ریج ۱۹۹۴ Sylmar Olive View (SYL) - ۶/۴ کیلومتر
	۳۲/۲۱	۱۲۹/۴	۰/۸۴۳	TR	

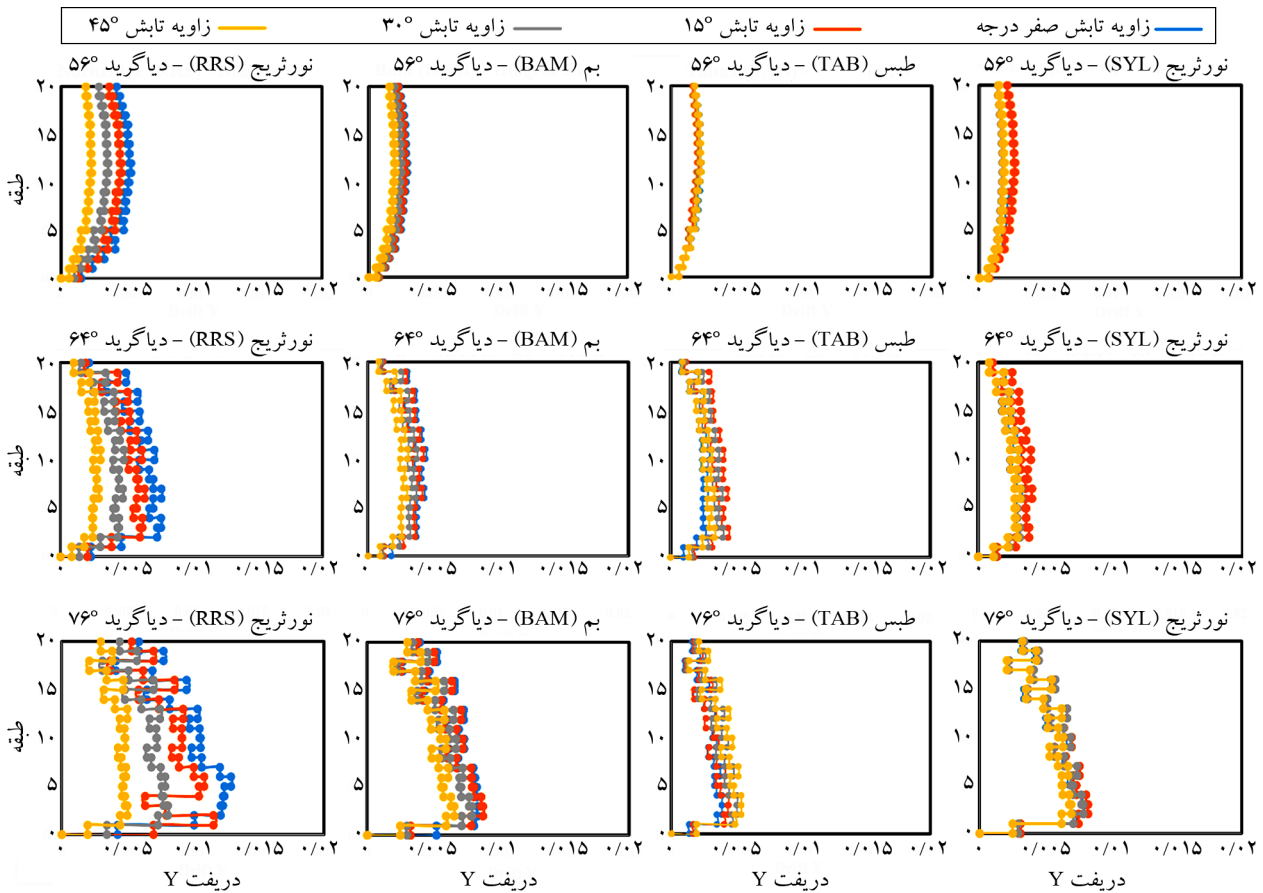
۴- ارزیابی پاسخ سازه‌های شبکه قطری مطالعاتی

در این پژوهش، به بررسی تأثیر زاویه تابش امواج زلزله بر پارامترهای رفتار لرزه‌ای سیستم‌های شبکه قطری تحت رکورد حوزه نزدیک پرداخته شده است. پارامترهای پاسخ لرزه‌ای سازه‌های مطالعاتی شامل بیشینه تغییر مکان نسبی طبقات، پوش بیشینه دوران اتصالات، توزیع مفاصل پلاستیک حاصل از آنالیزهای دینامیکی غیرخطی تاریخیچه زمانی تحت رکوردهای انتخابی جدول (۲) مورد بررسی قرار گرفته است. در یافت جانبی یا تغییر مکان نسبی نرمال شده دو طبقه متوالی، یکی از پارامترهای تأثیرگذار در ارزیابی عملکرد لرزه ای سازه است و به عنوان یک نیاز مرتبط با قابلیت شکل‌پذیری تعریف می‌شود. نکته دیگر آنکه تغییرات در یافت جانبی در طول ارتفاع، برای ارزیابی دامنه آسیب و شناخت ناپایداری‌های موضعی احتمالی در پیکره سازه مورد بررسی قرار می‌گیرد. شکل (۶)، پوش بیشینه در یافت جانبی در سازه‌های مطالعاتی در جهت Y پلان، منطبق با مؤلفه TR رکورد را نمایش می‌دهد.

سازه مورد بررسی قرار گرفته و زاویه تابش نیز از ۰ تا ۴۵ درجه نسبت به محور اصلی سازه، با افزایش ۱۵ واحدی تعریف شده است. این امر به علت مقادیرهای یکسان پارامترهای امواج لرزه‌ای در زاویه تابش ۴۵ تا ۹۰ درجه بر اساس تقارن شکل پلان سازه است. شکل (۵) نمایشگر راستای تابش امواج لرزه‌ای، محورهای اصلی سازه و زاویه تابش (θ) برای دو مؤلفه LN و TR رکورد زلزله، به صورت نمادین است.



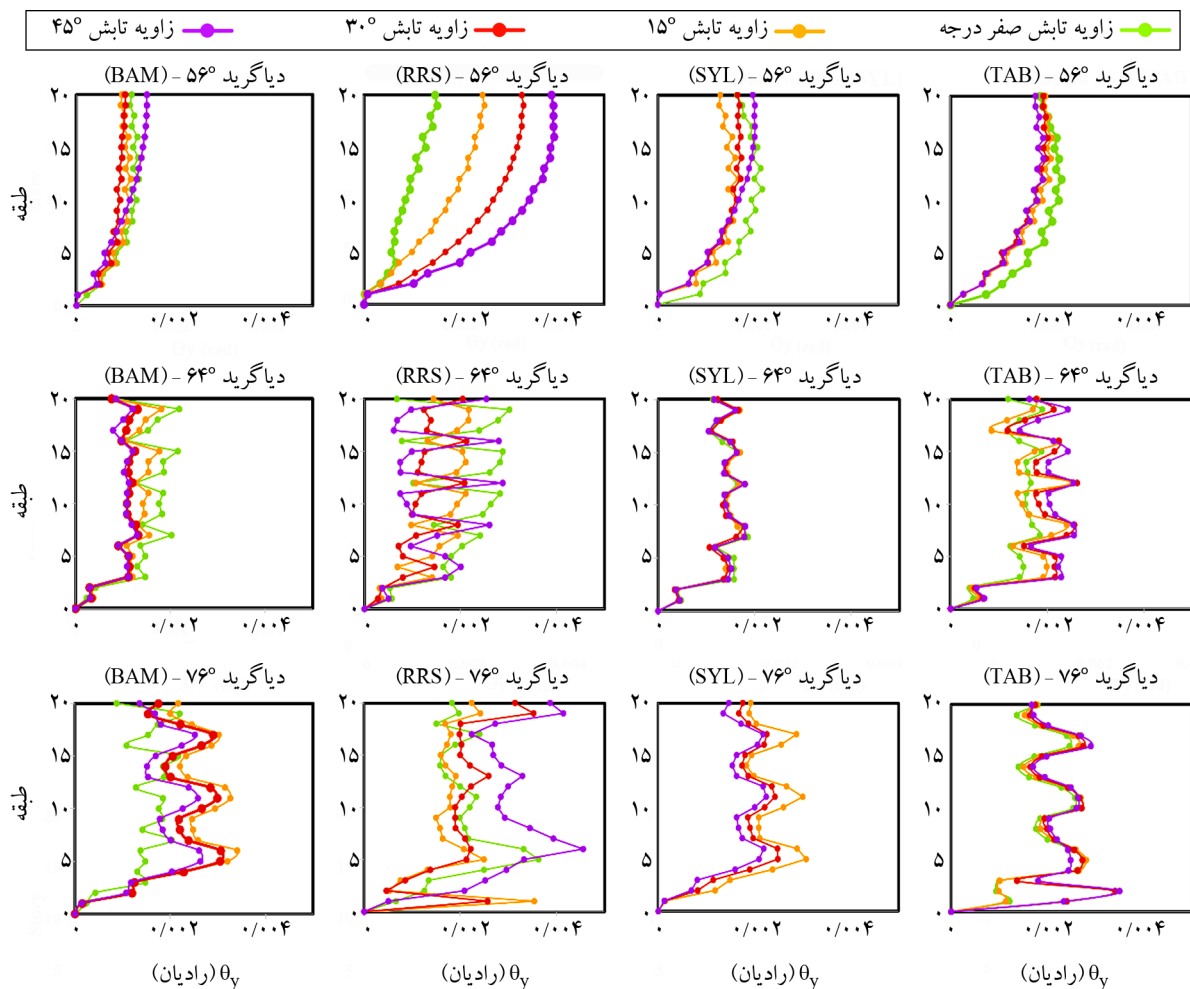
شکل (۵): تعریف زاویه تابش (θ) امواج زلزله متناظر با مؤلفه‌های افقی LN, TR و محورهای اصلی سازه.



شکل (۶): پوش بیشینه در یافت در راستای Y منطبق با مؤلفه TR در نقطه D پلان سازه (شکل ۲).

مدل‌های مطالعاتی نمود بیشتری نسبت به سایر رکوردهای جدول (۲) دارد. تأثیر زاویه تابش مربوط به رکوردهای مختلف، متفاوت بوده و تأثیر آن تحت رکورد TAB در سازه شبکه قطری با زاویه پیکربندی ۵۶ درجه، به نسبت کمترین تفاوت تقاضای لرزه‌ای در زاویه‌های تابش تعریف شده می‌باشد. یک پارامتر مهم دیگر در ارزیابی عملکرد لرزه‌ای سازه، دامنه بیشینه دوران اتصالات و اندازه چرخش انتهای المان است. تغییرات بیشینه دوران اتصالات سازه‌های شبکه قطری با زوایای مختلف تحت رکوردهای حوزه نزدیک (جدول ۲) با استفاده از پردازش نتایج تحلیل تاریخچه زمانی غیرخطی در شکل (۷) نشان داده شده است. محور افقی نمودارها، بیان‌گر پارامتر دوران اتصالات (نماد θ_y) و محور عمودی نیز طبقات سازه را نشان می‌دهد. نمود تغییرات مربوط به پارامتر دوران θ_y تحت زاویه تابش در سازه‌های مطالعاتی به روشنی ملاحظه می‌شود.

طبق نتایج این تحقیق، میزان پوش بیشینه دریافت در راستای ارتفاع سازه با زاویه پیکربندی ۵۶ درجه از پخش یکنواخت‌تری نسبت به دو زاویه تعریف شده دیگر برخوردار است. همچنین، با افزایش زاویه المان‌های مورب پیرامونی (تیر-ستون‌های قطری) نیز میزان پراکندگی تقاضای لرزه‌ای دریافت افزایش یافته است [۱۹]. نتایج تحلیلی این مقاله نشان می‌دهد که وقوع مقدار بیشینه دریافت تحت زاویه تابش تعریف شده (شکل ۵) برای سازه شبکه قطری با زاویه پیکربندی ۷۶ درجه تحت رکورد TAB، در زاویه تابش ۴۵ درجه قرار دارد. همچنین، می‌توان دریافت که حداکثر پارامترهای پاسخ لرزه‌ای نیز در امتداد محور اصلی سازه رخ داده است. ملاحظه می‌شود که پوش بیشینه دریافت طبقات تحت رکورد RRS که دارای یک پالس بزرگ و پیوسته، همراه با مجموعه‌ای از اسپایک‌های پر دامنه در تاریخچه زمانی سرعت است، در همگی

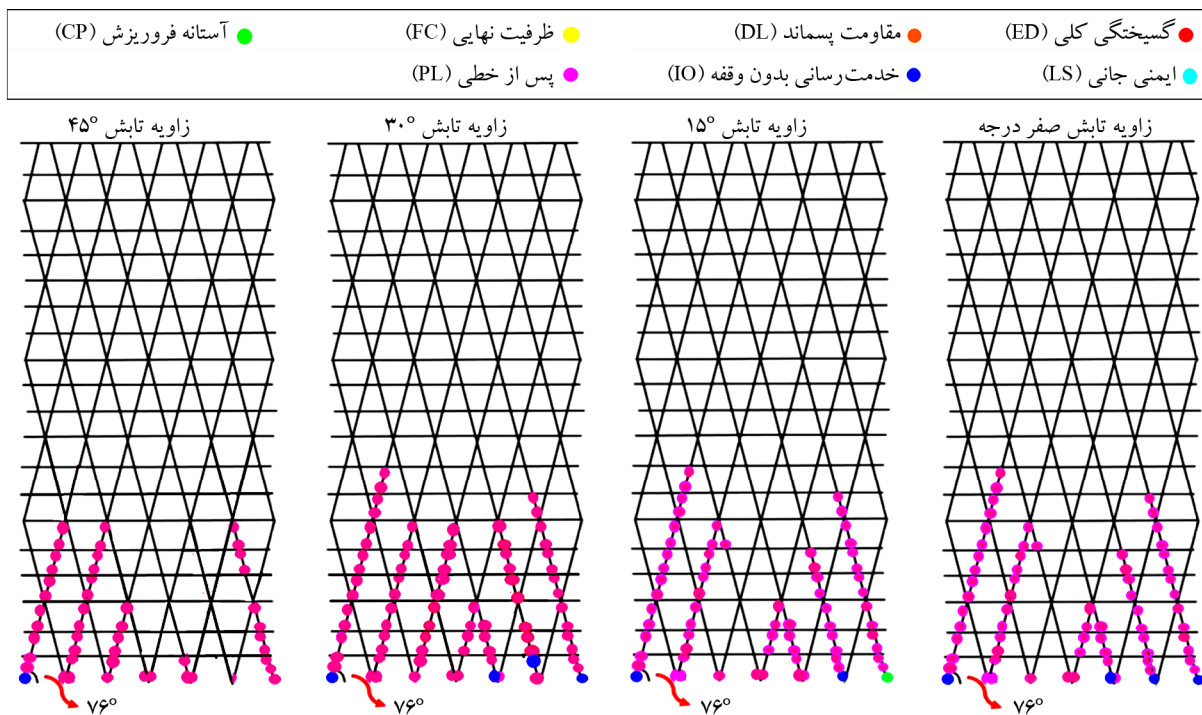


شکل (۷): پوش بیشینه دوران اتصالات سازه‌های مطالعاتی با نماد θ_y تحت تأثیر زاویه تابش (θ) تعریف شده برای رکوردهای زلزله.

سازه‌های مطالعاتی است. نکته دیگر آنکه برای سازه‌های شبکه قطری، با افزایش زوایای پیکربندی المان‌های مورب نیز از شدت بکنواختی توزیع دررفت کاسته شده و مقادیر بیشینه این پارامتر افزایش می‌یابند. دیدگاه جامع در موضوع برآورد زاویه پیکربندی بهینه، افزون بر تأثیرپذیری از مسئله توازن میان پارامترهای سختی و مقاومت، به ساختار طیفی جنبش‌های نیرومند زمین و نیز همبستگی میان مؤلفه‌های سه‌گانه شتاب زلزله و ماهیت بارگذاری دینامیکی متناظر آنها وابسته است.

ساختار توزیع و چگونگی پخش موقعیت مفاصل غیرخطی در اسکلت مقاوم، به‌عنوان یک دیدگاه تحلیلی مشخص در ارزیابی قابلیت پایداری دینامیکی سازه مطرح می‌شود. رفتار و مشخصات نزدیک به وضعیت فروریزش سازه‌های شبکه قطری، وابستگی اساسی به پاسخ غیرخطی اعضای مورب واقع در بخش پیرامونی اسکلت مقاوم دارد و از این‌رو، نیاز به بررسی چیدمان و موقعیت احتمالی مفاصل غیرخطی در تیر-ستون‌های مورب ضروری است. شکل (۸) نمایشگر آرایش مفاصل غیرخطی سازه شبکه قطری با زاویه پیکربندی ۷۶ درجه تحت رکورد RRS است. ملاحظه می‌شود که تأثیر زاویه تابش زلزله در آرایش مفاصل

طبق نتایج آورده شده در شکل (۷)، اندازه پوش دوران اتصالات در سازه با زاویه پیکربندی ۵۶ درجه دارای میزان پراکندگی کمتری نسبت به سازه‌های مطالعاتی دیگر است. همچنین، با افزایش زاویه المان‌های مورب پیرامونی نیز میزان پراکندگی تقاضای لرزه‌ای افزایش پیدا کرده است. بر پایه نتایج این تحقیق؛ میزان بیشینه دوران اتصالات تحت زوایای تابش مختلف، متفاوت بوده و در راستای محورهای اصلی سازه حاصل نشده است. تعیین زاویه بحرانی تابش که بیشترین تقاضای دوران اتصالات را ایجاد نماید، به‌سادگی امکان‌پذیر نیست. توضیح دیگر آنکه متغیر بودن زاویه بحرانی تابش با توجه به محتوای فرکانسی رکوردهای نیرومند زلزله و نیز زاویه پیکربندی المان‌های مورب، سبب می‌شود که نتوان روند مشخصی برای تعیین زاویه مذکور و تقاضای لرزه‌ای مربوطه تدوین نمود. مقایسه نمودارهای پوش بیشینه دررفت جانبی و دامنه چرخش المان‌های مورب در سازه‌های مطالعاتی نشان می‌دهد که ساختار شبکه قطری با زوایای پیکربندی ۵۶ درجه تحت رکوردهای حوزه نزدیک متأثر از چهار راستای تابش مختلف، دارای مقادیر با دامنه عددی کمتری نسبت به سایر



شکل (۸): آرایش مفاصل غیرخطی در قاب پیرامونی هم‌راستا با جهت Y پلان و منطبق با مؤلفه TR از رکورد RRS.

آورده‌های محاسباتی نشان می‌دهد که پوش بیشینه دریافت در سازه‌های مطالعاتی تحت رکوردهای حوزه نزدیک حاوی اثرات جهت‌داری پیشرو، دارای دامنه تغییرات نه‌چندان زیاد در راستای ارتفاع است.

میزان تقاضای بیشینه دریافت در سازه شبکه قطری با زاویه المان‌های قطری ۵۶ درجه، در راستای ارتفاع اسکلت مقاوم، پراکندگی به نسبت یکنواختی دارد. بیشترین میزان تقاضای دریافت در سازه شبکه قطری با زاویه پیکربندی ۵۶ درجه برابر با ۰/۵۳ درصد (دامنه ۰/۰۵۳) و برای سازه با زاویه پیکربندی ۶۴ درجه، مساوی ۰/۷۱ درصد (دامنه ۰/۰۷۱) و برای سازه با زاویه پیکربندی ۷۶ درجه نیز عدد ۱/۳ درصد (دامنه ۰/۰۱۳) حاصل شده است. نسبت میان دو عدد بیشینه پارامتر دریافت مربوط به اعمال دو زاویه تابش صفر و ۴۵ درجه، متناظر با محدوده بیشترین و کمترین دامنه پاسخ لرزه‌ای تحت رکورد نیرومند و حاوی ساختارهای ترکیبی پالس‌گونه RRS به ترتیب برای سازه با آرایش قطره‌های ۵۶ و ۶۴ و ۷۶ درجه، برابر با ۲/۲، ۲/۴ و ۲/۳ حاصل شده است.

بر پایه نتایج این مطالعه، با بیشتر شدن زاویه المان‌های مورب پیرامونی (المان‌های قطری)، میزان تقاضای دریافت نیز افزایش پیدا کرده است. نتایج مربوط به دوران اتصالات، حاصل از تحلیل‌های دینامیکی تاریخچه زمانی غیرخطی نشان می‌دهد که میزان بیشینه چرخش محاسبه شده در زوایای مختلف برخورد و تابش امواج زلزله، متفاوت است. همچنین، تأثیرات ناشی از زاویه تابش و برخورد امواج لرزه‌ای رکوردهای مختلف نیز متفاوت بوده و اندازه آن برای رکورد SYL در رفتار سازه شبکه قطری با زاویه المان ۵۶ درجه، کمترین تقاضای لرزه‌ای را تحت زاویه‌های تابش مفروض نشان می‌دهد. نسبت میان دو عدد بیشینه پارامتر دوران اتصالات تحت زوایای تابش مختلف امواج زلزله بر سازه شبکه قطری با زاویه پیکربندی ۵۶ درجه به ترتیب تحت رکوردهای با ماهیت پالس‌گونه RRS، BAM، SYL و TAB برابر با حدود ۲/۶۵ (با دامنه تغییرات بیش از ۲/۵ برابر)، ۱/۴، ۱/۱ و ۱/۰۸ حاصل شده است.

غیرخطی، چندان قابل توجه نبوده و تحت تمامی زوایای تابش، وضعیت ناپایداری احتمالی المان‌های سازه شبکه قطری در طبقات پایینی (به‌ویژه طبقه اول) نمود بیشتری نسبت به طبقات فوقانی دارد. دامنه‌های عددی متناظر با مشخصه پاسخ مذکور نیز به‌طور نسبی کوچک می‌باشد.

دامنه تغییرات پاسخ‌های دریافت و تغییر مکان جانبی برای سازه‌های شبکه قطری با زوایای کوچک‌تر در پیکربندی پیرامونی، دارای مقادیر به‌مراتب کوچک‌تری نسبت به حالت‌های چیدمان پانل‌های مثلثی دیاگراید با زاویه بزرگ می‌باشد. همچنین ملاحظه شد که سازه‌های شبکه قطری، دارای ظرفیت مقاومتی بالایی جهت کاهش احتمال وقوع خرابی‌های موضعی در المان‌های تیر-ستون مورب تحت رکوردهای حاوی پالس سرعت می‌باشند. نمود این اثرات در برآیند داخلی و واکنش نیرویی اعضای یاد شده نیز برقرار است. بروز دامنه‌های عملکردی نه‌چندان بزرگ در المان‌های تیر-ستون مورب طبقات پایینی سازه‌های مطالعاتی نیز به‌عنوان گواهی بر این رویکرد رفتاری در حالت‌های مختلف تابش امواج زلزله لحاظ می‌گردد. شایان ذکر است که با افزایش زوایای المان‌های مورب در الگوی هندسی پیرامونی سازه، به‌طور نسبی از میزان تأثیرگذاری ساختار شبکه قطری بر کاهش رخداد وضعیت‌های عملکردی فراتر از سطح ایمنی جانی نیز کاسته می‌شود.

۵- نتیجه‌گیری

در این پژوهش، مشخصات و پارامترهای رفتار لرزه‌ای سه سازه شبکه قطری با ارتفاع ۲۰ طبقه و با زاویه‌های مختلف مربوط به پیکربندی المان‌های مورب پیرامونی، مورد بررسی قرار گرفت. همچنین، اندازه زوایای پیکربندی المان‌های قطری در حدود ۵۶، ۶۴ و ۷۶ درجه لحاظ شد. یک بررسی تحلیلی نیز در مورد تأثیر زاویه تابش جنبش نیرومند پالس‌گونه زمین بر عملکرد لرزه‌ای سازه‌های مطالعاتی صورت گرفت. بازه تغییرات در محدوده ۰ تا ۴۵ درجه با افزایش ۱۵ واحد برای تعریف زاویه‌های تابش رکورد زلزله در نظر گرفته شد. ارزیابی نتایج و

6. Moon, K.S. (2008) Optimal grid geometry of diagrid structures for tall buildings. *Architectural Science Review*, **51**(3), 239-251, <http://dx.doi.org/10.3763/asre.2008.5129>.
7. Kim, Y.J., Jung, I.Y., Ju, Y.K., Park S.J., and Kim, S.D. (2011) Cyclic behavior of diagrid nodes with H-section braces. *Journal of Structural Engineering ASCE*, **136**(9), 1111-1122.
8. Lacidogna, G., Scaramozzino, D., and Carpinteri, A. (2020) Influence of the geometrical shape on the structural behavior of diagrid tall buildings under lateral and torque actions. *Developments in the Built Environment (Elsevier)*, **2**, DOI:10.1016/j.dibe.2020.100009.
9. Heshmati, M., Khatami, A., Shakib, H. (2020) Seismic performance assessment of tubular diagrid structures with varying angles in tall steel buildings. *Structures*, **25**, 113-126, <https://doi.org/10.1016/j.istruc.2020.02.030>.
10. Lachanas, C.G. and Vamvatsikos, D. (2021) Model type effects on the estimates seismic response of a 20-story steel moment resisting frame. *Structural Engineering*, ASCE, **147**(6), [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)ST.1943-541X.0003010](https://doi.org/10.1061/(ASCE)ST.1943-541X.0003010).
11. Asadi, E. and Adeli, H. (2018) Seismic performance factors for low-to mid-rise steel diagrid structural systems. *The Structural Design of Tall and Special Buildings*, DOI: 10.1002/tal.1505.
12. Sadeghi, S. and Rofooei, F.R. (2018) Quantification of the seismic performance factors for steel diagrid structures. *Constructional Steel Research*, **146**, 155-168.
13. Asadi, E., Li, Y., and Heo, Y. (2018) Seismic performance assessment and loss estimation of steel diagrid structures. *Engineering Structures*, **144**(10), DOI: 10.1061/(ASCE)ST.1943-541X.0002164.
14. Mohsenian, V., Padashpour, S., and Hajirasouliha, I. (2020) Seismic reliability analysis and estimation of multilevel response modification factor for steel diagrid structural systems. *Journal of Building*

تعیین زاویه بحرانی که بیشترین تقاضای دوران اتصالات را ایجاد نماید، به سادگی امکان‌پذیر نیست. همچنین متغیر بودن اندازه زاویه بحرانی برای ایجاد بیشترین دامنه پاسخ، با توجه به محتوای فرکانسی رکورد و نیز زاویه المان‌های مورب پیرامونی، سبب پیچیدگی تدوین یک روند مشخص برای این منظور می‌شود. بر اساس نتایج تحلیلی، میزان کمترین و بیشترین مقدار تقاضای دوران اتصالات در سازه شبکه قطری با زاویه ۷۶ درجه تحت رکورد SYL به ترتیب، برای دو زاویه تابش ۴۵ درجه و ۱۵ درجه با میانگین اختلاف حدودی ۳۷ درصد حاصل شده است. ملاحظه می‌شود که نتیجه فوق برای این سازه تحت رکورد RRS به گونه‌ای متفاوت است. تفاوت کمترین و بیشترین تقاضای دوران اتصالات تحت دو زاویه تابش ۳۰ درجه و ۴۵ درجه با میانگین اختلاف در حدود ۸۲ درصد است.

مراجع

1. Moon, K.S., Connor, J.J., and Fernandez, J.E. (2007) Diagrid structural systems for tall buildings: characteristics and methodology for preliminary design. *The Structural Design of Tall and Special Buildings*, **16**(2), 205–230, DOI:10.1002/tal.311.
2. Montuori, G.M., Mele, E., Brandonisio, G., and De Luca, A. (2014) Geometrical patterns for diagrid buildings: Exploring alternative design strategies from the structural point of view. *Engineering Structures*, **71**, 112–127.
3. Moon, K.S. (2008) Sustainable structural engineering strategies for tall buildings. *The Structural Design of Tall and Special Buildings*, **17**(5), 895-914, DOI: 10.1002/tal.475.
4. Kim, J. and Lee, Y.H. (2012) Seismic performance evaluation of diagrid system buildings. *The Structural Design of Tall and Special Buildings*, **21**(12), 867-878.
5. Mele, E., Toreno, M., Brandonisio, G., and De Luca, A. (2012) Diagrid structures for tall buildings: case studies and design considerations. *The Structural Design of Tall and Special Buildings*, DOI: 10.1002/tal.1029.

- strong ground motions using genetic programming. *International Journal of Civil Engineering*, Springer, 7(4), 236-247.
27. Bradley, B.A., Pettinga, D., Baker, J.W., and Fraser, J. (2017) Guidance on the utilization of earthquake-induced ground motion simulations in engineering practice. *Earthquake Spectra*, EERI, 33(3), <https://doi.org/10.1193/120216EQS219EP>.
15. Mashhadiali, N. and Kheyroddin, A. (2019) Quantification of the seismic performance factors of steel hexagrid structures. *Journal of Constructional Steel Research*, 157, 82-92.
16. Lopez, O.A. and Torres, R. (1997) The critical angle of seismic incidence and structural response. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 26, 881-894.
17. MacRae, G.A. and Mattheis, J. (2000) Three-dimensional steel building response to near-fault motions. *Journal of Structural Engineering*, 126(1), 117-126.
18. Rigato, A.B. and Medina, R.A. (2007) Influence of angle of incidence on seismic demands for inelastic single-story structures subjected to bi-directional ground motions. *Engineering Structures*, 29, 2593-2601.
19. Jamdar, M. (2019) *Evaluation of Variations of Seismic Demands of Diagrid Structures in Near-Fault Zones with an Emphasis of Geometric Configuration*. M.Sc. Thesis, Kharazmi University, Tehran, Iran (in Persian).
20. The Iranian National Building Code (2014) Design Loads for Buildings - Issue 6, Tehran, Iran.
21. The Iranian National Building Code (2014) Steel Structures - Issue 10, Tehran, Iran.
22. Standard No. 2800 (2014) Iranian code of practice for seismic resistant design of buildings, Tehran, Iran.
23. FEMA 356 (1998) Prestandard and Commentary for the Seismic Rehabilitation of Buildings, Federal Emergency Management.
24. FEMA 440 (2005) Improvement of Nonlinear Static Seismic Analysis Procedures. *Applied Technology Council (ATC-55 Project)*.
25. CSI (2010) SAP2000, Analysis Reference Manual, Berkeley, California.
26. Kermani, E., Jafarian, Y., and Baziar, M.H. (2009) New predictive models for the v_{max}/a_{max} ratio of

Assessment of Nonlinear Seismic Behavior of Diagrid Structures with Different Skeletal Configuration under Strong Pulse-Type Ground Motions

Mahshad Jamdar¹, Erfan Alghasi², Afshin Meshkat-Dini^{3*} and Peyman Homami⁴

1. M.Sc. Graduate, Earthquake Engineering, Kharazmi University, Tehran, Iran
2. M.Sc. Graduate, Structural Engineering, Kharazmi University, Tehran, Iran
3. Assistant Professor, Faculty of Engineering, Kharazmi University, Tehran, Iran,
*Corresponding Author, email: meshkat@khu.ac.ir
4. Assistant Professor, Faculty of Engineering, Kharazmi University, Tehran, Iran

In recent years, structural systems with diagrid skeletons comprising modular configurations have attracted lots of attention due to having structurally efficient system and architecturally aesthetic advantages. In this study, the seismic performance parameters of steel diagrid systems have been evaluated through conducting nonlinear time history analyses subjected to near-field earthquakes. The main subject of this study is to assess the effect of incidence angle of near-fault records containing forward directivity on the seismic behavior of steel diagrid systems. Following this purpose, three 20-story diagrid studied structures with different diagonal angles of 56°, 64° and 76°, having the same sizes and skeletal configurations were designed. Furthermore, a set of notified incidence angles with respect to the main axis including 0, 15, 30 and 45 degrees have also been applied to all the studied structures.

It should be noted that the significant characteristics of strong ground motions are the frequency content, effective duration of strong motions and peak ground motion parameters, i.e. PGV, PGA and PGD as well as corresponding response spectra. According to the aforementioned characteristics, an ensemble of strong earthquake records was selected. The selected ground motions include the main shock of the 1978 Tabas earthquake (Iran, $M_w=7.3$), the Bam record due to the 2003 Bam earthquake (Iran, $M_w = 6.6$) as well as two other powerful records entitled Rinaldi Receiving Station (RRS), and Sylmar Olive View (SYL) accelerograms related to the 1994 Northridge earthquake ($M_w = 6.7$) in California. It is worth mentioning that all the selected ground motions are categorized as strong near-fault records containing forward directivity effects. The specific characteristics of near-fault records containing forward directivity effects are the existence of long-period pulses.

These pulses are the evident result of the effects that manifest due to the occurrence of forward directivity process. The forward directivity process causes the induced fault rupture propagation to move toward the site. It usually happens when a velocity of rupture propagation is appropriately close to the earthquake shear wave velocity.

In this research, a number of engineering demand parameters (EDP) i.e. drift ratio, rotation of joints and plastic hinges nonlinear domain have been computed and assessed through conducting nonlinear time history analyses (NTHA). It is demonstrated that maximum seismic response parameters for all the studied structures do not occur necessarily along the main skeletal axes. Furthermore, it is extremely difficult to define the specific structural behavior trends subjected to a nominated critical incidence angle which can be imposed to earthquake records. It is noticeable that the numerical trends in the structural response parameters would change remarkably under the influence of the different frequency content of earthquake records, as well as the probable non-uniform variation for the EDPs and the diagrid skeletal patterns.

The results of this research indicate that the influences of incidence angle of ground motions on the structural seismic performance have different trends which evidently include mingle effects on the nonlinear rotation of joints as well as a complicated distribution for the lateral drift parameter. Moreover, it was obtained that the embossed structural skin containing the triangular modules with the diagonal angle of 56 degrees has relatively the lowest seismic demands subjected to strong near-field earthquake records.

Keywords: Diagrid Structural System, Near-Fault Record, Incidence Angle, Drift Ratio, Rotation of Joints.