

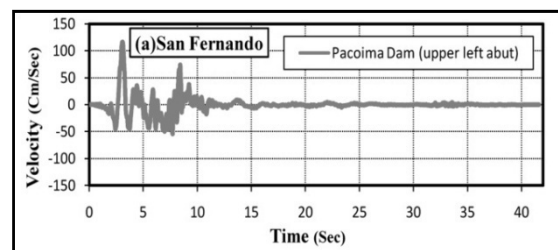
براساس تحقیقات Baez و Miranda [۱۱]، نسبت تغییر مکان بیشینه غیرالاستیک به تغییر مکان بیشینه الاستیک برای سازه‌های با مقاومت ثابت (C_R)، در زلزله‌های حوزه نزدیک نسبت به زلزله‌های معمول در پریودهای ۰/۱ تا ۱/۳ ثانیه معمولاً بیشتر است. همچنین ایشان به این نتیجه دست یافتند که بیشترین سرعت فزاینده یکی از مهم‌ترین پارامترهای مؤثر بر این نسبت است. بیشترین سرعت فزاینده عبارت است از بیشترین سطح زیر نمودار تاریخچه زمانی شتاب، در میان دو نقطه، که نمودار شتاب، خط مبنا (محور زمان) را قطع می‌کند.

Chintapakdee و Chopra [۵] برای ۱۵ رکورد زلزله حوزه نزدیک عمود بر راستای گسل، نسبت تغییر مکان بیشینه غیرالاستیک به الاستیک را به دست آوردند. آن‌ها به این نتیجه رسیدند که میانه C_R و نسبت تغییر مکان بیشینه غیرالاستیک به الاستیک در سازه‌های با شکل پذیری ثابت، C_u ، برای زلزله‌های حوزه نزدیک نسبت به زلزله‌های معمول در ناحیه حساس به شتاب با هم متفاوت است. اما زمانی که این نسبت‌ها را در برابر پریود نرمال شده به T_C (پریودی که ناحیه حساس به شتاب را از ناحیه حساس به سرعت جدا می‌کند) رسم کردند، این تفاوت کاهش پیدا کرد و دو مقدار بسیار به هم نزدیک شدند.

Akkar و همکاران [۱۲] با در نظر گرفتن ۵۶ رکورد حوزه نزدیک، C_R را برای سازه‌های بدون کاهندگی و با کاهندگی سختی بررسی کردند. آن‌ها دریافتند که T_p در زلزله‌های حوزه نزدیک اثر مهمی بر بیشینه تغییر مکان غیرالاستیک سازه‌ها دارد و نسبت C_R در بازه‌ی دوره تناوب‌های کمتر از $0.7/T_p$ افزایش دامنه‌ی چشم‌گیری دارد؛ به گونه‌ای که این میزان با افزایش ضریب کاهش مقاومت، افزایش می‌یابد. آن‌ها همچنین اثر کاهندگی سختی در نسبت C_R را بررسی کردند و به این نتیجه

ضریب تغییر مکان، C_1 به صورت ضریب اصلاح برای نسبت دادن تغییر مکان بیشینه غیرالاستیک به الاستیک خطی، تعریف می‌شود. یکی از مراحل اصلی این روش، محاسبه تغییر مکان بیشینه غیرالاستیک با استفاده از نسبت گفته شده است که اجازه می‌دهد تغییر مکان بیشینه غیرالاستیک براساس تغییر مکان بیشینه الاستیک محاسبه شود.

زلزله‌های حوزه نزدیک پالس‌گونه که به‌خاطر جهت‌گیری رخ می‌دهد، نوع خاصی از زمین لرزه‌ها است که امروزه برای توصیف آن‌ها تحقیقات بسیاری انجام شده است. این زمین لرزه‌ها براساس پالس موجود در تاریخچه زمانی سرعت، در راستای عمود بر راستای گسل توصیف شده و معمولاً در فاصله کمی از گسل روی می‌دهند (شکل شماره ۱). یکی از مهم‌ترین ویژگی‌های زلزله‌های پالس‌گونه، پریود همراه پالس سرعت است که به صورت T_p نشان داده شده و می‌توان آن‌را با تقریب خوبی پریودی دانست که طیف پاسخ سرعت در آن به بیشترین مقدار خود می‌رسد [۳] [۴].



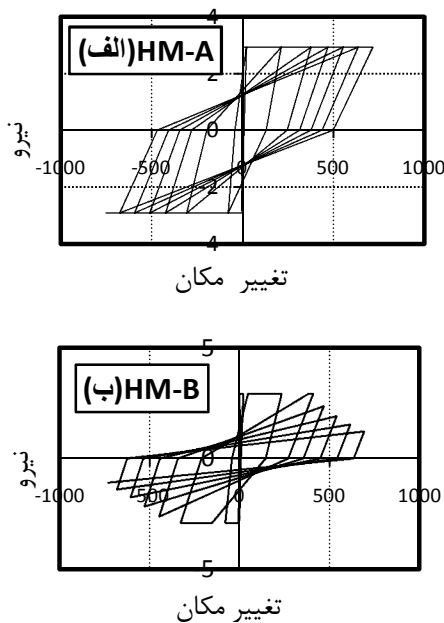
شکل (۱) تاریخچه سرعت برای رکورد پالس‌گونه در زلزله

San Fernando با بزرگای ممان ۶/۶ و T_p ۱/۶ ثانیه

در سال‌های نزدیک تحقیقات گسترده‌ای روی نسبت تغییر مکان غیرالاستیک برای زلزله‌های بدون پالس انجام شده است که نتایج آن‌ها در مقالات [۵] و [۱۰] و گزارش‌های گوناگون به چاپ رسیده است؛ اما برای زلزله‌های پالس‌گونه، این تحقیقات کمتر و محدودتر است که در ادامه به آن‌ها می‌پردازیم.

۲- روش پژوهش و سامانه‌های سازه‌ای مطالعه شده

نسبت تغییرمکان غیرالاستیک C_R براساس تحلیل‌های تاریخیچه زمانی غیرالاستیک روی سازه‌های یک درجه آزادی با دوره تناوب‌های گوناگون و میرایی ۵ درصد به دست آمده است. سازه‌های مطالعه شده رفتار هیستریسیس الاستوپلاستیک کامل داشته و هر یک ضریب کاهش مقاومت برابر با ۶، ۵، ۴، ۳، ۲، ۱/۵ دارد. برای هر یک از رکوردهای زلزله و هر ضریب کاهش مقاومت، C_R برای ۱۲۰ دوره تناوب به دست آمده است. برای ارزیابی‌های تاریخیچه زمانی غیرخطی از نرم‌افزار USDP [۱۴] استفاده شده است. برای بررسی اثر رفتار هیستریسیس روی C_R ، سه نوع مدل رفتاری زیر به کار رفته است:



شکل (۲) رفتار چرخه‌ای مدل‌های کاهندگی استفاده شده در پژوهش. (الف) مدل کاهندگی سختی کلاف، (ب) مدل کاهندگی سختی و مقاومت کلاف

(۱) رفتار دو خطی برای نشان دادن رفتار سازه‌هایی که کاهندگی مقاومت و سختی در آن‌ها رخ نمی‌دهد، (۲) مدل

رسیدند که تغییرمکان غیرالاستیک نیاز در زلزله‌های حوزه نزدیک پالس گونه در سازه‌های با کاهندگی سختی با دوره تناوب‌های کمتر از $0.5T_p$ ، افزایش می‌یابد.

Ruiz-García [۱۳] با استفاده از ۴۰ رکورد زلزله حوزه نزدیک پالس گونه، C_R در سازه‌های بدون کاهندگی و با کاهندگی سختی و مقاومت را مطالعه کرد. او به این نتیجه رسید که بیشینه سرعت زمین لرزه تأثیر چندانی بر نسبت تغییرمکان غیرالاستیک ندارد؛ همچنین در سازه‌های دارای کاهندگی مقاومت و سختی، با افزایش میزان کاهندگی در دوره تناوب کمتر از T_g (دوره تناوب مرتبط با بیشترین مقدار سرعت طیفی در طیف با میرایی ۵ درصد)، تغییرمکان غیرالاستیک نیاز افزایش می‌یابد. ایشان رابطه‌ای برای برآورد C_R ارائه کرد که میزان خطای میانگین آن در دوره تناوب‌های کمتر از $0.5T_g$ (تقریباً ۲۰ درصد) است.

در این پژوهش نتایج مطالعات آماری گسترده روی نسبت تغییرمکان‌های بیشینه غیرالاستیک به الاستیک سامانه‌های یک درجه آزادی با مقاومت ثابت، در زلزله‌های پالس گونه حوزه نزدیک ارائه می‌شود. سعی بر آن بوده تا با افزایش رکوردهای مطالعه شده دقت نتایج افزایش یابد. مباحثی که بررسی شده عبارت است از: تأثیر دوره تناوب نوسانگر، دوره تناوبی که بیشترین تغییرمکان طیفی در آن رخ می‌دهد (T_D)، ضریب کاهش مقاومت، پیروود همراه پالس سرعت (T_P)، میزان سخت‌شوندگی بعد از جاری شدن و رفتار هیستریسیس سازه. افزون بر موارد گفته شده، تأثیر بزرگا و فاصله از گسل نیز بررسی شده است. رابطه پیشنهاد شده مولفین برای نسبت تغییرمکان غیرالاستیک را می‌توان برای ارزیابی لرزه‌ای سازه‌های در معرض زلزله‌های پالس گونه حوزه نزدیک استفاده کرد. این رابطه در مقایسه با روابط ارائه شده در تحقیقات گذشته دارای خطای میانگین کمتر و دقت بیشتری است.

بارگذاری تعریف کرد. در این پژوهش از مدل کاهندگی کلاف استفاده شده است که کاهندگی سختی در این مدل براساس رابطه ۱ بیان و کاهندگی مقاومت آن به صورت معادله ۲ ارائه شده است:

$$f_x(i) = \beta_a \cdot f_x(i-1) \cdot \left(1 - e^{-\beta_b \cdot n \cdot \frac{u_x}{u_y}}\right) \quad (2)$$

$f_x(i)$ بیشترین مقاومت بعد از کاهندگی، $f_x(i-1)$ بیشترین مقاومت قبل از کاهندگی، u_x بیشترین تغییرمکان، n تعداد سیر یا گردش و β_a و β_b پارامترهای کاهندگی مقاومت است. در شکل ۲-ب، نمونه‌ای از رفتار چرخه‌ای این مدل در اثر یک بارگذاری متناوب دیده می‌شود. برای سازه‌های دارای کاهندگی مقاومت و سختی، مقدار λ برابر ۰/۴ و مقادیر β_a و β_b به ترتیب ۰/۷۵ و ۰/۲۵ انتخاب شده است [۱۵].

۳- رکوردهای انتخاب شده

۶۱ رکورد زلزله حوزه نزدیک پالس‌گونه عمود بر راستای گسل مسبب، براساس ویژگی‌های داده شده در مرجع شماره ۱۷ (Baker J.W) انتخاب شده است. رکوردهای انتخاب شده این ویژگی‌ها را دارند: (۱) زلزله‌های با بزرگای ممان (M_w) بیش از ۶ برگزیده شده و (۲) کوتاهترین فاصله محل ثبت رکورد تا سطح گسیختگی، کمتر از ۲۰ کیلومتر باشد. پریود همراه پالس سرعت براساس مرجع شماره ۱۷ (Baker, J.W) در نظر گرفته شده است. در جدول ۱، جزئیاتی مانند: نام زلزله، نام ایستگاه، کمترین فاصله تا سطح گسیختگی (CISTD)، بیشترین سرعت زمین‌لرزه، بیشترین شتاب زمین‌لرزه، پریود همراه پالس سرعت (T_p) و دوره تناوب مرتبط با بیشترین مقدار سرعت طیفی (T_g) و تغییرمکان طیفی (T_D) با میرایی ۵ درصد، مربوط به رکوردهای انتخابی، ارائه شده است.

کاهندگی سختی کلاف (HM-A)، (۳) مدل کاهندگی مقاومت و سختی کلاف (HM-B) [۱۵]. مدل‌های کاهندگی انتخابی به‌خاطر سادگی و کارامدی آن‌ها نسبت به مدل‌های رفتاری سایر مراجع [۱۶] در نظر گرفته شده است. مدل‌های رفتاری ۲ و ۳ رفتار چرخه‌ای در سازه‌های بتن آرمه را نشان می‌دهد که با کاهش مقاومت و سختی همراه است و در مورد آن‌ها توضیح داده خواهد شد.

۲-۱- مدل کاهندگی سختی کلاف (HM-A)

این مدل برای نمونه‌هایی استفاده می‌شود که درآیین‌نامه‌های کنونی، طراحی و جزییات آن به درستی اجرا شده و کاهش سختی ناشی از ایجاد ترک در نمونه بر اثر بارهای متناوب باشد (شکل ۲-الف). در این روش، سختی باربرداری از یک رابطه ساده بین سختی اولیه و شکل‌پذیری پیروی می‌کند که در معادله ۱ آمده است:

$$K_{un} = K_0 \left(\frac{u_y}{u_m} \right)^\lambda \quad (1)$$

K_0 سختی اولیه، u_y تغییرمکان جاری شدن، u_m بیشترین تغییرمکان غیرالاستیک سازه، K_{un} سختی باربرداری و λ پارامتر بر مبنای شکل‌پذیری است که مقداری بین صفر تا یک دارد. زمانی که λ مساوی صفر باشد، سختی باربرداری، برابر سختی اولیه است. تحقیقات گوناگونی برای به‌دست آوردن مقدار λ انجام شده [۱۵] و در این پژوهش λ برابر ۰/۴ در نظر گرفته شده است.

۲-۲- مدل کاهندگی سختی و مقاومت کلاف (HM-B)

این مدل برای سازه‌هایی استفاده شده است که در بارگذاری‌های متناوب، کاهش سختی همراه کاهش مقاومت رخ می‌دهد. کاهش چرخه‌ای مقاومت را می‌توان به صورت از دست دادن مقاومت جانبی با افزایش چرخه‌های

نسبت تغییر مکان غیرالاستیک برای سازه‌های در معرض زلزله‌های پالس‌گونه حوزه نزدیک

نعمت حسنی^{۱*}، غلامرضا قدرتی امیری^۲، مجید برارنیا^۳، فریدون سیناییان^۴

۱- استادیار، پردیس فنی و مهندسی شهید عباسپور، دانشگاه شهید بهشتی

۲- استاد، دانشگاه علم و صنعت ایران

۳- دانشجوی دکترا، پردیس فنی و مهندسی شهید عباسپور، دانشگاه شهید بهشتی

۴- استادیار، مرکز تحقیقات مسکن و ساختمان

nemathassani@yahoo.com

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۰/۱۲/۲۰

تاریخ دریافت: ۱۳۹۰/۰۹/۳۰

چکیده- در این مقاله، نتایج به دست آمده از بررسی آماری نسبت تغییر مکان غیرالاستیک سازه‌های در معرض زلزله‌های پالس‌گونه حوزه نزدیک ارائه شده است. نتایج این پژوهش می‌تواند برای ارزیابی تغییر مکان غیرالاستیک نیاز سازه‌هایی با سختی و مقاومت جانبی مشخص در زلزله‌های حوزه نزدیک استفاده شود. نسبت تغییر مکان غیرالاستیک از پاسخ سامانه‌های یک‌درجه آزادی با ۶ سطح از ضریب کاهش مقاومت، در معرض ۶۱ رکورد حوزه نزدیک پالس‌گونه به دست آمده است. اثر نرمال کردن دوره تناوب با دوره تناوبی که در آن بیشترین مقدار تغییر مکان طیفی رخ می‌دهد، ضریب کاهش مقاومت، پریود همراه پالس سرعت T_p ، بزرگا و فاصله زلزله، میزان سخت‌شوندگی بعد از جاری شدن و رفتار هیسترسس سازه، روی نسبت تغییر مکان غیرالاستیک، بررسی شده است. نتایج نشان می‌دهد در دوره تناوب‌های کم، کاهندگی سختی و مقاومت باعث افزایش تغییر مکان غیرالاستیک نیاز می‌شود. سرانجام یک رابطه جدید برای محاسبه میانگین نسبت تغییر مکان غیرالاستیک سازه‌ها در زلزله‌های پالس‌گونه حوزه نزدیک پیشنهاد شده که تقریب بسیار خوبی برای محاسبات دارد.

واژگان کلیدی- زلزله‌های حوزه نزدیک، پالس‌گونه، نسبت تغییر مکان غیرالاستیک، تغییر مکان نیاز، کاهندگی سختی

۱- مقدمه

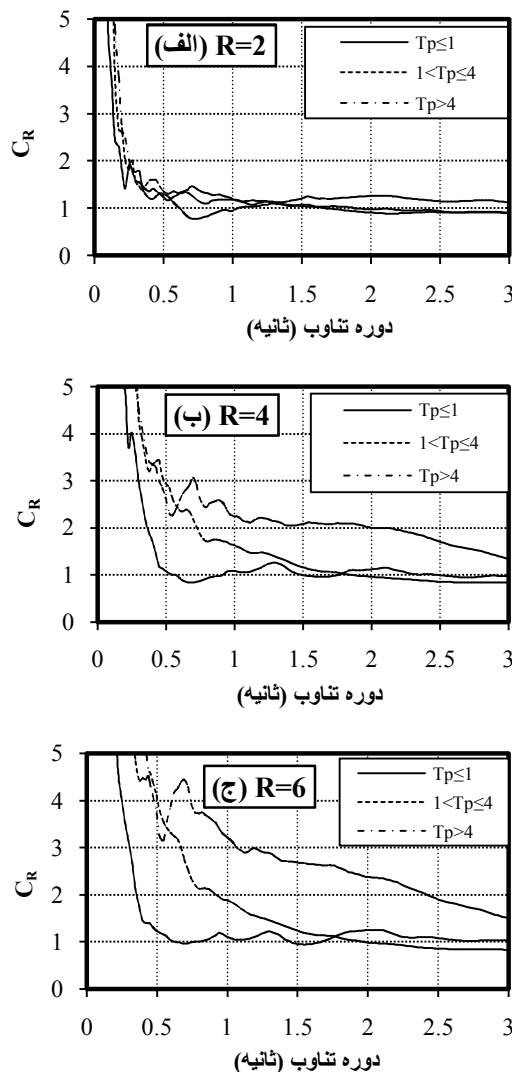
تعیین شده، برسد. تغییر مکان هدف در این روش براساس تغییر مکان بیشینه غیرالاستیک در سامانه یک‌درجه آزادی به دست می‌آید. برای نمونه، در روش تحلیل پوش‌آور که در FEMA 356 [۱] و FEMA 450 [۲] به آن‌ها اشاره شده است، تغییر مکان هدف در بام، براساس روشی که به آن روش ضریب تغییر مکان می‌گویند به دست می‌آید. در روش

امروزه در کارهای مهندسی سازه برای ارزیابی نیازهای لرزه‌ای سازه‌ها از روش‌هایی همانند تحلیل پوش‌آور و تحلیل پوش‌آور مودال استفاده می‌شود. در این روش‌ها نیروی جانبی وارد شده به سازه به گونه‌ای فزاینده افزایش می‌یابد تا تغییر مکان نقطه مشخص در سازه (بام) به مقدار

جدول (۱) مشخصات رکوردهای زلزله‌های حوزه نزدیک پالس گونه مورد استفاده شده در این پژوهش

رخداد	سال	ایستگاه	بزرگا	فاصله (km)	PGV (cm/sec2)	PGA (g)	T _p (sec)	T _g (sec)	T _D (sec)
San Fernando	۱۹۷۱	Pacoima Dam (upper left abut)	۶/۶۴	۱/۸۱	۱۱۶/۴۸	۱/۴۳	۱/۶	۱/۳۴	۵/۹۶
Imperial Valley-06	۱۹۷۹	Aeropuerto Mexicali	۶/۵۳	۰/۳۴	۴۴/۳۲	۰/۳۶	۲/۴۲	۱/۶۴	۱/۶۰
Imperial Valley-06	۱۹۷۹	Agrarias	۶/۵۳	۰/۶۵	۵۴/۳۸	۰/۳۱	۲/۳۰	۰/۹۴	۲/۰۰
Imperial Valley-06	۱۹۷۹	Brawley Airport	۶/۵۳	۱۰/۴۲	۳۶/۱۲	۰/۱۶	۴/۰۳	۳/۴۲	۴/۶۵
Imperial Valley-06	۱۹۷۹	EC County Center FF	۶/۵۳	۷/۳۱	۵۴/۴۹	۰/۱۸	۴/۵۲	۳/۷۲	۵/۰۰
Imperial Valley-06	۱۹۷۹	EC Meloland Overpass FF	۶/۵۳	۰/۰۷	۱۱۵/۰۴	۰/۳۸	۳/۳۵	۳	۳/۴۲
Imperial Valley-06	۱۹۷۹	El Centro Array #10	۶/۵۳	۶/۱۷	۴۶/۹۲	۰/۱۸	۴/۴۹	۶/۱	۶/۳۲
Imperial Valley-06	۱۹۷۹	El Centro Array #11	۶/۵۳	۱	۴۱/۱۰	۰/۳۷	۷/۳۶	۰/۷۴	۷/۴۰
Imperial Valley-06	۱۹۷۹	El Centro Array #3	۶/۵۳	۱۲/۸۵	۴۱/۱۰	۰/۲۳	۵/۲۴	۴/۵۸	۵/۴۲
Imperial Valley-06	۱۹۷۹	El Centro Array #4	۶/۵۳	۷/۰۵	۷۷/۹۳	۰/۳۶	۴/۶۱	۳/۶۸	۵/۰۰
Imperial Valley-06	۱۹۷۹	El Centro Array #5	۶/۵۳	۳/۹۵	۹۱/۴۸	۰/۳۸	۴/۰۵	۳/۴۴	۴/۳۰
Imperial Valley-06	۱۹۷۹	El Centro Array #6	۶/۵۳	۱/۳۵	۱۱۱/۸۷	۰/۴۴	۳/۸۴	۳/۳۲	۴/۰۰
Imperial Valley-06	۱۹۷۹	El Centro Array #7	۶/۵۳	۰/۵۶	۱۰۸/۸۲	۰/۴۶	۴/۲۳	۳/۱۸	۳/۷۰
Imperial Valley-06	۱۹۷۹	El Centro Array #8	۶/۵۳	۳/۸۶	۴۸/۵۵	۰/۴۷	۵/۳۹	۴/۲۲	۵/۰۰
Imperial Valley-06	۱۹۷۹	El Centro Differential Array	۶/۵۳	۵/۰۹	۵۹/۶۱	۰/۴۲	۵/۸۶	۳/۶۸	۵/۸۵
Imperial Valley-06	۱۹۷۹	Holtville Post Office	۶/۵۳	۷/۶۵	۵۵/۱۵	۰/۲۶	۴/۸۰	۴	۵/۰۰
Irpinia, Italy-01	۱۹۸۰	Stumo	۶/۹۰	۱۰/۸۴	۴۱/۵۰	۰/۲۳	۳/۰۹	۲/۶۸	۲/۶۰
Morgan Hill	۱۹۸۴	Coyote Lake Dam (SW Abut)	۶/۱۹	۰/۵۳	۶۲/۳۰	۰/۸۱	۰/۹۵	۰/۷۶	۰/۸۲
Morgan Hill	۱۹۸۴	Gilroy Array #6	۶/۱۹	۹/۸۶	۳۵/۳۹	۰/۲۴	۱/۲۴	۱/۱۴	۱/۲۰
N/ Palm Springs	۱۹۸۶	North Palm Springs	۶/۰۶	۴/۰۴	۷۳/۶۳	۰/۶۷	۱/۳۸	۰/۳۲	۱/۲۶
Superstition Hills-02	۱۹۸۷	Parachute Test Site	۶/۵۴	۰/۹۵	۱۰۶/۷۵	۰/۴۲	۲/۲۸	۱/۹۲	۵/۴۲
Loma Prieta	۱۹۸۹	Gilroy Array #2	۶/۹۳	۱۱/۰۷	۴۵/۶۷	۰/۴۱	۱/۷۲	۱/۵۴	۱/۵۴
Loma Prieta	۱۹۸۹	Saratoga - Aloha Ave	۶/۹۳	۸/۵۰	۵۵/۵۸	۰/۳۶	۴/۴۷	۱/۶۶	۵/۹۸
Erzican, Turkey	۱۹۹۲	Erzincan	۶/۶۹	۴/۳۸	۹۵/۴۲	۰/۴۹	۲/۶۵	۲/۳۴	۲/۵۰
Landers	۱۹۹۲	Lucerne	۷/۲۸	۲/۱۹	۱۴۰/۲۷	۰/۷۱	۵/۱۰	۴/۵	۱۶/۲۸
Northridge-01	۱۹۹۴	Jensen Filter Plant	۶/۶۹	۵/۴۳	۶۷/۴۳	۰/۵۱	۳/۵۳	۲/۹۲	۲/۷۸
Northridge-01	۱۹۹۴	Jensen Filter Plant Generator	۶/۶۹	۵/۴۳	۶۷/۳۸	۰/۵۲	۳/۵۳	۲/۹۲	۲/۷۸
Northridge-01	۱۹۹۴	LA Dam	۶/۶۹	۵/۹۲	۷۷/۱۱	۰/۵۷	۱/۶۵	۰/۳۴	۲/۱۴
Northridge-01	۱۹۹۴	Newhall - W Pico Canyon Rd/	۶/۶۹	۵/۴۸	۸۷/۷۵	۰/۴۳	۲/۴۱	۲/۲۶	۳/۴۲
Northridge-01	۱۹۹۴	Pacoima Dam (downstr)	۶/۶۹	۷/۰۱	۵۰/۴۰	۰/۴۹	۰/۵۰	۰/۴۴	۳/۳۴
Northridge-01	۱۹۹۴	Pacoima Dam (upper left)	۶/۶۹	۷/۰۱	۱۰۷/۰۷	۱/۳۷	۰/۹۰	۰/۹۲	۴/۲۴
Northridge-01	۱۹۹۴	Rinaldi Receiving Sta	۶/۶۹	۶/۵۰	۱۶۷/۲۰	۰/۸۷	۱/۳۸	۱/۵۴	۱/۷۱
Northridge-01	۱۹۹۴	Sylmar - Converter Sta	۶/۶۹	۵/۳۵	۱۳۰/۲۷	۰/۵۹	۳/۴۸	۲/۹۶	۲/۹۳
Northridge-01	۱۹۹۴	Sylmar - Converter Sta East	۶/۶۹	۵/۱۹	۱۱۶/۵۶	۰/۸۴	۳/۴۹	۳/۰۶	۳/۳۲
Northridge-01	۱۹۹۴	Sylmar - Olive View Med FF	۶/۶۹	۵/۳۰	۱۲۲/۷۲	۰/۷۳	۳/۱۱	۲/۵۸	۲/۶۶
Kobe, Japan	۱۹۹۵	Takarazuka	۶/۹۰	۰/۲۷	۷۲/۶۵	۰/۶۵	۱/۶۸	۱/۹۰	۱/۹۰
Kobe, Japan	۱۹۹۵	Takatori	۶/۹۰	۱/۴۷	۱۶۹/۶۱	۰/۶۸	۱/۶۲	۱/۲۸	۲/۰۰
Kocaeli, Turkey	۱۹۹۹	Gebze	۷/۵۱	۱۰/۹۲	۵۱/۹۶	۰/۲۴	۵/۸۷	۴/۳	۹/۷۰
Chi-Chi, Taiwan	۱۹۹۹	CHY035	۷/۶۲	۱۲/۶۵	۴۲/۰۵	۰/۲۶	۱/۴۴	۱/۴۸	۱/۵۲
Chi-Chi, Taiwan	۱۹۹۹	CHY101	۷/۶۲	۹/۹۶	۸۵/۴۵	۰/۴۵	۴/۷۷	۵/۵۴	۷/۱۷
Chi-Chi, Taiwan	۱۹۹۹	TCU036	۷/۶۲	۱۹/۸۴	۶۲/۴۳	۰/۱۳	۵/۴۰	۵/۰۶	۱۵/۹۰
Chi-Chi, Taiwan	۱۹۹۹	TCU046	۷/۶۲	۱۶/۷۴	۴۳/۹۶	۰/۱۴	۸/۵۸	۷/۵۸	۹/۳۶
Chi-Chi, Taiwan	۱۹۹۹	TCU049	۷/۶۲	۳/۷۸	۴۴/۸۲	۰/۲۸	۱۱/۸۳	۹/۳۶	۱۱/۴۴
Chi-Chi, Taiwan	۱۹۹۹	TCU053	۷/۶۲	۵/۹۷	۴۱/۹۰	۰/۲۲	۱۲/۹۴	۹/۵۴	۱۳/۲۶
Chi-Chi, Taiwan	۱۹۹۹	TCU054	۷/۶۲	۵/۳۰	۶۰/۹۲	۰/۱۷	۱۰/۴۷	۷/۵۸	۱۱/۸۰
Chi-Chi, Taiwan	۱۹۹۹	TCU056	۷/۶۲	۱۰/۵۰	۴۳/۵۳	۰/۱۳	۱۲/۹۲	۵/۰۸	۱۲/۶۰
Chi-Chi, Taiwan	۱۹۹۹	TCU060	۷/۶۲	۸/۵۳	۳۳/۷۰	۰/۲۱	۱۲/۰۲	۱۰/۱۴	۱۱/۷۰
Chi-Chi, Taiwan	۱۹۹۹	TCU065	۷/۶۲	۰/۵۹	۱۲۷/۶۸	۰/۸۲	۵/۷۴	۴/۵۴	۵/۰۰
Chi-Chi, Taiwan	۱۹۹۹	TCU068	۷/۶۲	۰/۳۲	۱۹۱/۱۵	۰/۵۶	۱۲/۱۷	۸/۹۸	۱۲/۲۶
Chi-Chi, Taiwan	۱۹۹۹	TCU075	۷/۶۲	۰/۹۱	۸۸/۴۴	۰/۳۳	۵/۱۵	۴/۴۴	۵/۶۲
Chi-Chi, Taiwan	۱۹۹۹	TCU076	۷/۶۲	۲/۷۶	۶۳/۷۳	۰/۳۰	۳/۹۸	۳/۱۶	۵/۸۴
Chi-Chi, Taiwan	۱۹۹۹	TCU082	۷/۶۲	۵/۱۸	۵۶/۱۲	۰/۲۵	۹/۱۸	۷/۸۴	۱۰/۷۸
Chi-Chi, Taiwan	۱۹۹۹	TCU087	۷/۶۲	۷/۰۰	۵۳/۶۷	۰/۱۰	۹/۰۴	۷/۹۸	۹/۸۸
Chi-Chi, Taiwan	۱۹۹۹	TCU101	۷/۶۲	۲/۱۳	۶۸/۳۹	۰/۲۱	۱۰/۰۴	۹/۶۴	۱۰/۸۰
Chi-Chi, Taiwan	۱۹۹۹	TCU102	۷/۶۲	۱/۵۱	۱۰۶/۵۷	۰/۲۹	۹/۷۲	۲/۶	۹/۰۴
Chi-Chi, Taiwan	۱۹۹۹	TCU103	۷/۶۲	۶/۱۰	۶۲/۱۸	۰/۱۳	۸/۲۶	۸/۳۴	۷/۹۲
Chi-Chi, Taiwan	۱۹۹۹	TCU104	۷/۶۲	۱۲/۸۹	۳۴/۴۳	۰/۴۴	۱۲/۰۳	۱۰/۶۴	۱۲/۶۰
Chi-Chi, Taiwan	۱۹۹۹	TCU128	۷/۶۲	۱۳/۱۵	۷۸/۶۶	۰/۱۸	۹/۰۱	۴/۸	۸/۰۰
Chi-Chi, Taiwan	۱۹۹۹	TCU136	۷/۶۲	۸/۲۹	۵۱/۸۲	۰/۱۶	۱۰/۳۳	۱۲/۹۴	۱۳/۸۲
Chi-Chi, Taiwan-03	۱۹۹۹	CHY024	۶/۲۰	۱۹/۶۵	۳۳/۰۹	۰/۱۹	۳/۱۹	۲/۸۴	۳/۱۸
Chi-Chi, Taiwan-03	۱۹۹۹	TCU076	۶/۲۰	۱۴/۶۶	۵۹/۳۵	۰/۵۲	۰/۹۱	۰/۸۶	۱/۳۴

مقاومت (R) در شکل ۳ آمده است.



شکل (۳) اثر T_p بر روی نسبت تغییر مکان سازه الاستوپلاستیک کامل در زلزله‌های حوزه نزدیک پالس‌گونه. (الف) ضریب کاهش مقاومت ۲ (ب) ضریب کاهش مقاومت ۴ (ج) ضریب کاهش مقاومت ۶

مطابق شکل ۳، اثر T_p در نسبت تغییر مکان غیرالاستیک بسیار محسوس و چشم‌گیر است. شکل ۳-الف میانگین ۳ گروه از رکوردهای انتخابی برای سازه با ضریب کاهش مقاومت ۲ را نشان می‌دهد که اختلاف چندانی بین نسبت تغییر مکان آن‌ها وجود ندارد، اما برای رکوردهای با T_p بیشتر از ۴ ثانیه، میزان تغییر مکان بیشینه غیرالاستیک در

۴- نسبت تغییر مکان غیرالاستیک

نسبت تغییر مکان غیرالاستیک به صورت نسبت تغییر مکان بیشینه غیرالاستیک به الاستیک به دست آمده از تحلیل سازه یک‌درجه آزادی با جرم و سختی اولیه یکسان بر اثر زلزله تعریف می‌شود [۱۲]. نسبت تغییر مکان غیرالاستیک برای یک سازه با مقاومت ثابت با معادله زیر تعریف می‌شود:

$$C_R = \frac{S_{di}}{S_{de}} \quad (۳)$$

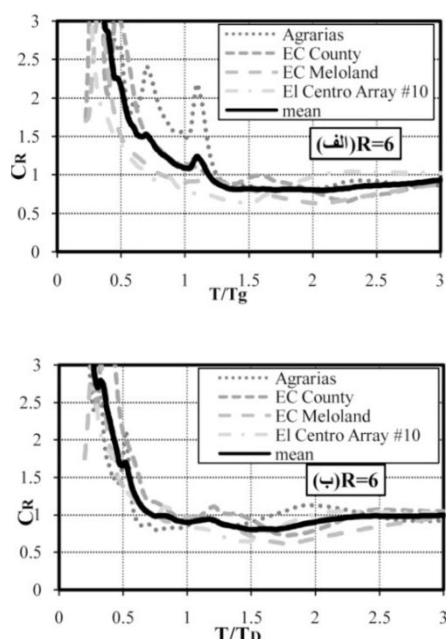
S_{di} بیشترین تغییر مکان غیرالاستیک است که از تحلیل دینامیکی غیرالاستیک یک سازه با ضریب کاهش مقاومت ثابت به دست می‌آید. ضریب کاهش مقاومت به صورت زیر است:

$$R = \frac{F_e}{F_y} \quad (۴)$$

F_y مقاومت جاری شدن و F_e مقاومت جانبی مورد نیاز برای الاستیک باقی ماندن سازه است.

۵- اثر T_p بر نسبت تغییر مکان غیرالاستیک

پریود همراه پالس سرعت T_p یکی از مهم‌ترین پارامترهای مؤثر بر پاسخ در زلزله‌های پالس‌گونه حوزه نزدیک است. Alavi و Krawinkler [۴،۳] نشان دادند که رفتار سازه‌های با دوره تناوب بیشتر از T_p با سازه‌های دارای دوره تناوب کمتر از T_p بسیار متفاوت است. بنابراین در این بخش تأثیر T_p بر نسبت تغییر مکان غیرالاستیک بررسی شده است. سه گروه رکورد براساس T_p دسته‌بندی شده است. گروه اول شامل ۴ رکورد با T_p کمتر از یک ثانیه، گروه دوم شامل ۲۴ رکورد با T_p بیشتر از یک ثانیه و کمتر از ۴ ثانیه و گروه سوم شامل ۳۳ رکورد با T_p بیشتر از ۴ ثانیه است. نتایج بدست آمده ارزیابی سه مقدار ضریب کاهش



شکل (۴) نسبت تغییر مکان غیرالاستیک برای ۴ رکورد حوزه نزدیک پالس‌گونه و تأثیر نرمال کردن دوره تناوب. الف) به صورت تابعی از T/T_g ب) به صورت تابعی از T/T_D

همان‌گونه که در شکل ۴ دیده می‌شود در حالت نرمال‌شده با T_D میانگین، نمودارها بهتر از حالت نرمال‌شده با T_g روند تغییرات نسبت تغییرمکان غیرالاستیک را نشان می‌دهد. همچنین تأثیر نرمال کردن دوره تناوب با T_D برای کاهش پراکندگی در دوره تناوب‌های کم، بیشتر از حالتی است که از T_g استفاده شده است. در نتیجه این‌جا از دوره تناوب نرمال‌شده با T_D استفاده شده و مقادیر نسبت تغییرمکان غیرالاستیک برای ۱۲۰ مقدار T/T_D به‌دست آمده است.

۷- نتایج مطالعات بر روی نسبت تغییرمکان غیرالاستیک

۷-۱- نتایج اصلی مربوط به CR

مقادیر نسبت تغییرمکان غیرالاستیک برای ضرایب کاهش مقاومت و میانگین آن‌ها در شکل ۵ آمده است. طیف به‌دست آمده برای میانگین نسبت تغییرمکان غیرالاستیک را

همه‌ی دوره تناوب‌های به‌دست آمده، بیشتر از تغییرمکان پیشینه الاستیک است.

در شکل‌های ۳-ب و ۳-ج، این افزایش با زیاد شدن ضریب کاهش مقاومت، بیشتر می‌شود به‌گونه‌ای که در سازه‌های با ضریب کاهش مقاومت ۴ و ۶ این افزایش چشم گیر است. در سازه با ضریب کاهش مقاومت ۴، نسبت تغییرمکان غیرالاستیک برای گروه دوم در دوره تناوب‌های کمتر از ۱/۷۵ ثانیه، بیشتر از گروه اول و برای گروه سوم، برای تقریباً همه‌ی دوره‌های تناوب، بیشتر از گروه اول و دوم است. این نتیجه‌گیری را می‌توان برای سازه با $R=6$ نیز داشت. این نکات بیانگر آن است که T_p تأثیر زیادی بر پاسخ سازه‌ها در زلزله‌های پالس‌گونه حوزه نزدیک دارد.

۶- دوره تناوب مربوط به بیشترین مقدار سرعت طیفی و تغییر مکان طیفی

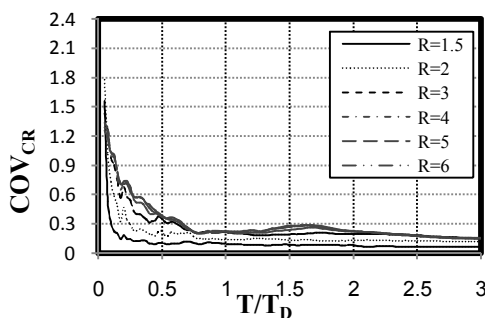
Ruiz-García و Miranda [۱۰] دریافتند که نسبت تغییرمکان غیرالاستیک برای رکوردهای گوناگون، روند ثابت دارد. آن‌ها در مقاله خود برای کاهش پراکندگی داده‌ها، نشان دادند که نرمال کردن دوره تناوب با دوره تناوب نظیر بیشترین مقدار سرعت طیفی (T_g) با میرایی ۵ درصد مناسب‌تر است.

در این پژوهش برای کاهش پراکندگی، سه حالت برای نرمال کردن دوره تناوب در نظر گرفته شده است. در حالت اول همانند کارهای Ruiz-García, Miranda [۱۰] از T_g برای نرمال کردن استفاده شد (شکل ۴-الف). در حالت دوم از T_p استفاده شد اما به خاطر نامشخص بودن آن در زمان تحلیل سازه‌ها و نبود شناخت کافی برای پیش‌بینی آن، کنار گذاشته شد. در حالت آخر، از دوره تناوب نظیر بیشترین مقدار تغییرمکان طیفی (T_D) با میرایی ۵ درصد استفاده شد (شکل ۴-ب).

را نشان می‌دهد. با افزایش سطح تغییر مکان غیرالاستیک (افزایش R) ضریب تغییرات (COV) نیز افزایش می‌یابد. افزون بر آن، برای T/T_D کمتر از 0.25 ، مقدار COV بالا است که نشان از پراکندگی زیاد در این بازه دارد. همچنین مقدار COV و پراکندگی با افزایش T/T_D به‌ویژه بیشتر از 0.7 ، کاهش چشم‌گیری می‌یابد.

۳-۷- تأثیر بزرگا و فاصله زلزله

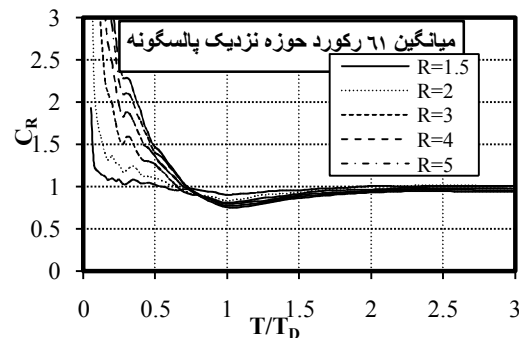
بزرگای زمین‌لرزه رابطه مستقیمی با انرژی آزاد شده از آن دارد. در بخش‌های قبل نیز دیده شد که T_p بر نسبت تغییر مکان غیرالاستیک تأثیر بسیاری دارد. محققان نشان داده‌اند که می‌توان مقدار T_p را به بزرگای زلزله ارتباط داد [۱۸].



شکل ۶) ضریب تغییرات نسبت تغییر مکان غیرالاستیک T_p رکورد زلزله حوزه نزدیک با مقادیر R ۱/۵، ۲، ۳، ۴، ۵ و ۶

در این بخش به تأثیر بزرگای زلزله بر نسبت تغییر مکان غیرالاستیک پرداخته شده است. برای این هدف از سه گروه رکورد زلزله استفاده شده است: ۱) زلزله با بزرگای ممان کمتر از $6/5$ شامل ۲۱ رکورد زلزله، ۲) زلزله با بزرگای ممان بیشتر از $6/5$ و کمتر از ۷، شامل ۱۷ رکورد زلزله و ۳) بزرگای ممان بیش از ۷ که شامل ۲۳ رکورد زلزله می‌شود. نتایج به‌دست آمده از تحلیل در شکل ۷ برای سه ضریب کاهش مقاومت ارائه شده است. همان‌گونه که دیده می‌شود تأثیر بزرگای زلزله چشم‌گیر نبوده و تغییرات یکنواختی ندارد.

می‌توان به سه بازه تقسیم کرد. بازه اول به محدوده دوره تناوب‌های کمتر از $0.7 T_D$ مربوط می‌شود. در این بازه تغییر مکان بیشینه غیرالاستیک از تغییر مکان بیشینه الاستیک بیشتر است. همچنین با افزایش ضریب کاهش مقاومت، مقدار C_R افزایش می‌یابد.

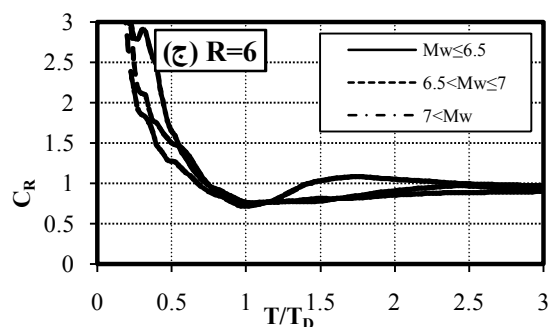
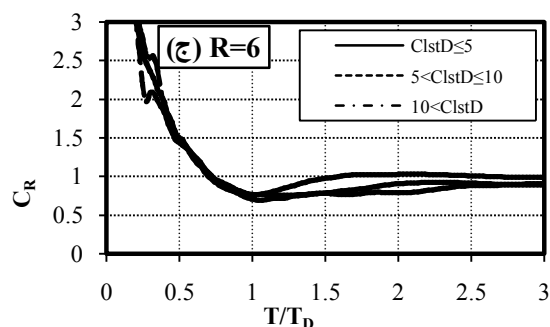
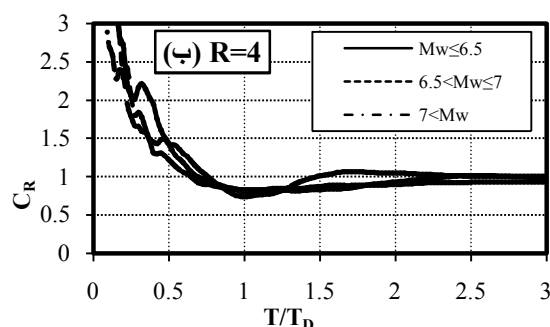
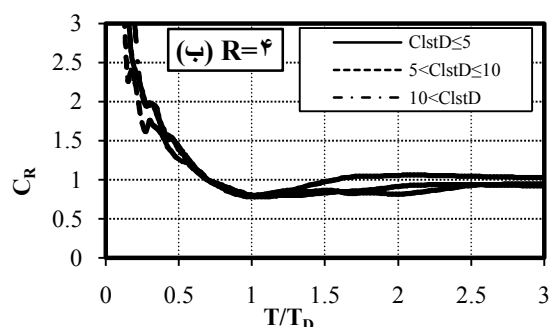
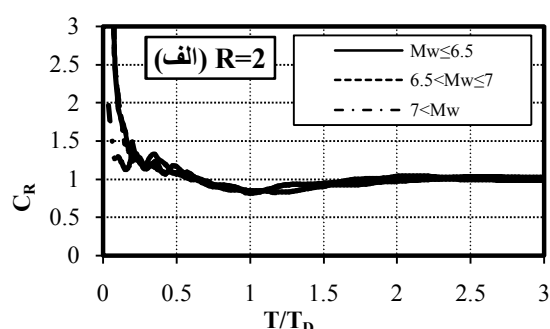
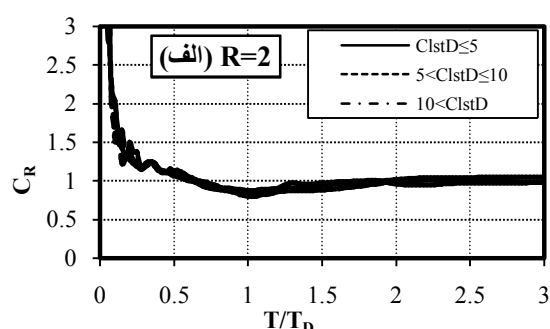


شکل ۵) میانگین نسبت تغییر مکان غیرالاستیک T_p رکورد حوزه نزدیک پالس‌گونه برای سازه الاستوپلاستیک کامل با ضرایب کاهش مقاومت R ۱/۵، ۲، ۳، ۴، ۵ و ۶

بازه دوم، محدوده بین دوره تناوب‌های بیشتر از $0.7 T_D$ و کمتر از $1.7 T_D$ است. در این محدوده به طور میانگین، تغییر مکان بیشینه غیرالاستیک کمتر از تغییر مکان بیشینه الاستیک است. در بازه سوم که دوره تناوب بیشتر از $1.7 T_D$ است، تغییر مکان بیشینه غیرالاستیک و تغییر مکان بیشینه الاستیک تقریباً با هم برابر است. نتایج به‌دست آمده در این بخش از نظر تقسیم بندی نقاط طیفی با نتایج Ruiz-García و Miranda [۱۰] هماهنگی دارد ولی بازه این محدوده‌ها با هم متفاوت است.

۲-۷- پراکندگی C_R

تعیین سطح پراکندگی مقادیر نسبت تغییر مکان غیرالاستیک اهمیت بسیار دارد. یک پارامتر مؤثر و معمول برای بیان سطح پراکندگی، ضریب تغییرات (COV) است. این پارامتر به‌صورت نسبت انحراف استاندارد به میانگین تعریف می‌شود. شکل ۶، ضریب پراکندگی برای مقادیر مختلف R



شکل (۸) تأثیر کوتاه‌ترین فاصله محل ثبت رکورد تا سطح گسیختگی بر نسبت تغییر مکان غیرالاستیک رکوردهای حوزه نزدیک پالس‌گونه. (الف) ضریب کاهش مقاومت برابر ۲ است. (ب) ضریب کاهش مقاومت برابر ۴ است. (ج) ضریب کاهش مقاومت برابر ۶ است.

شکل (۷) تأثیر بزرگای زلزله بر نسبت تغییر مکان غیرالاستیک رکوردهای حوزه نزدیک پالس‌گونه. (الف) ضریب کاهش مقاومت ۲. (ب) ضریب کاهش مقاومت ۴. (ب) ضریب کاهش مقاومت ۶.

برای بررسی اثر فاصله رکورد، همانند قبل، رکوردها براساس فاصله به سه گروه تقسیم شده است: (۱) ۲۲ رکورد کمتر از ۵ کیلومتر (۲) ۲۵ رکورد بیش از ۵ و کمتر از ۱۰ کیلومتر و (۳) ۴۱ رکورد با فاصله بیش از ۱۰ کیلومتر.

در شکل ۸، نتایج تحلیل سه گروه رکورد برای سه ضریب کاهش مقاومت آمده است. در این شکل، تأثیر کوتاه‌ترین فاصله محل ثبت رکورد تا سطح گسیختگی، ناچیز و قابل چشم‌پوشی است.

۷-۴- تأثیر رفتار هیستریسیس

۷-۴-۱- اثر سخت‌شوندگی بعد از جاری شدن

ابتدا در نظر گرفتن رفتار چرخه‌ای مدل چندخطی بدون کاهندگی مقاومت و سختی، اثر سخت‌شوندگی بعد از جاری شدن بر نسبت تغییر مکان غیرالاستیک بررسی شده است. برای این هدف از چهار مدل با نسبت شیب ثانویه به اولیه (α) صفر (حالت پلاستیک دلخواه)، سه، پنج و ده

سازه الاستوپلاستیک نشان داده شده است. با افزایش ضریب کاهش مقاومت، این نسبت کاهش می‌یابد. همچنین در نسبت T/T_D کمتر از 0.5 ، کاهش این نسبت بسیار سریع است. افزون بر نتایج بالا باید به این نکته نیز اشاره کرد که با توجه به این شکل، با افزایش نسبت T/T_D ، تأثیر سخت شونده‌گی کاهش می‌یابد. در دوره تناوب‌های بیش از $2T_D$ ، این نسبت به یک نزدیک می‌شود.

۷-۴-۲- آثار کاهندگی چرخه‌ای

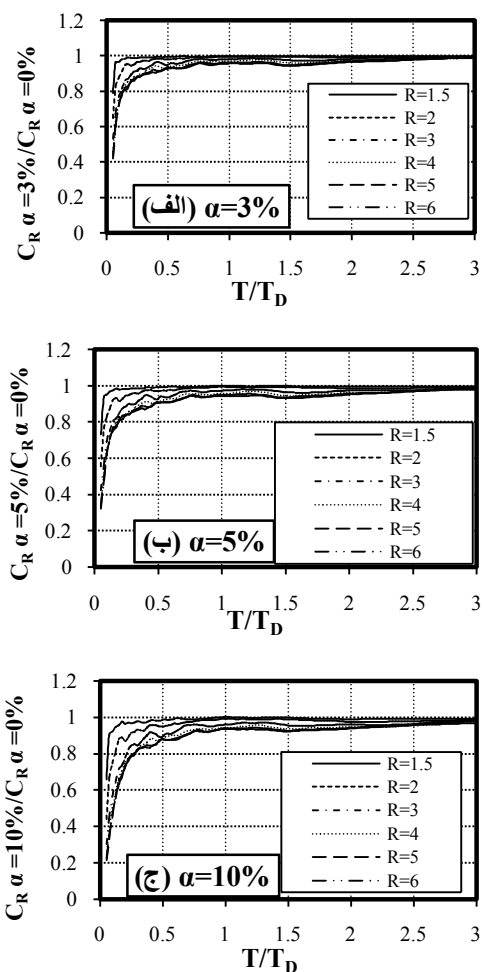
پژوهش روی اثر کاهندگی چرخه‌ای بر نسبت C_R در زلزله‌های پالس‌گونه حوزه نزدیک [۱۳ و ۱۲]، در مقایسه با زلزله‌های بدون پالس [۲۱ و ۱۹] جامعیت کمتری دارد. در این بخش اثر کاهندگی ناشی از بارگذاری‌های متناوب بر نسبت C_R در زلزله‌های پالس‌گونه حوزه نزدیک بررسی شده است.

مدل‌های در نظر گرفته شده در این مطالعه به دو گروه تقسیم می‌شوند: (۱) مدل کاهندگی سختی کلاف و (۲) مدل کاهندگی سختی و مقاومت کلاف؛ که در مورد هر دو گروه توضیح داده شد. برای بررسی اثر کاهندگی برای هر رکورد زلزله، هر ضریب کاهش مقاومت و هر دوره تناوب، نسبت تغییر مکان غیرالاستیک برای سازه‌های با کاهندگی، محاسبه شده و نسبت C_R در سازه با کاهندگی به C_R در سازه بدون کاهندگی به دست آمده است.

مطابق شکل ۱۰-الف، نسبت تغییر مکان غیرالاستیک در دوره تناوب‌های کمتر از T_D ، در سازه با کاهندگی سختی بیشتر از حالت بدون کاهندگی است و در دوره تناوب‌های بیشتر از T_D ، این نسبت در سازه‌های با و بدون کاهندگی سختی تقریباً برابر است.

در شکل ۱۰-ب، نسبت C_R در سازه با کاهندگی سختی و مقاومت به C_R در سازه بدون کاهندگی نشان داده شده است. با کاهش ضریب کاهش مقاومت، این نسبت افزایش

درصد استفاده شد. برای هر یک از مدل‌ها و هر رکورد براساس ضریب کاهش مقاومت، نسبت تغییر مکان غیرالاستیک با ارزیابی‌های دینامیکی غیرخطی به دست آمده است. برای بررسی تأثیر سخت‌شونده‌گی، نسبت C_R در سازه‌های با مقادیر $\alpha = 3\%, 5\%, 10\%$ به سازه در حالت پلاستیک کامل به دست آمده است (شکل ۹).



شکل (۹) اثر سخت‌شونده‌گی بعد از جاری شدن بر نسبت تغییر مکان غیرالاستیک رکوردهای حوزه نزدیک پالس‌گونه. الف) نسبت سخت‌شونده‌گی $(\alpha) 3\%$ ب) نسبت سخت‌شونده‌گی $(\alpha) 5\%$ ج) نسبت سخت‌شونده‌گی $(\alpha) 10\%$

در شکل ۹ نسبت C_R سازه دارای سخت‌شونده‌گی به C_R

آمده است. می توان نوشت:

$$\bar{C}_R = f\left(R, \frac{T}{T_D}, \lambda\right) \quad (5)$$

براساس مطالب بخش ۷ و شکل تغییرات منحنی میانگین نسبت تغییر مکان غیرالاستیک، رابطه زیر برای برآورد C_R پیشنهاد شده است:

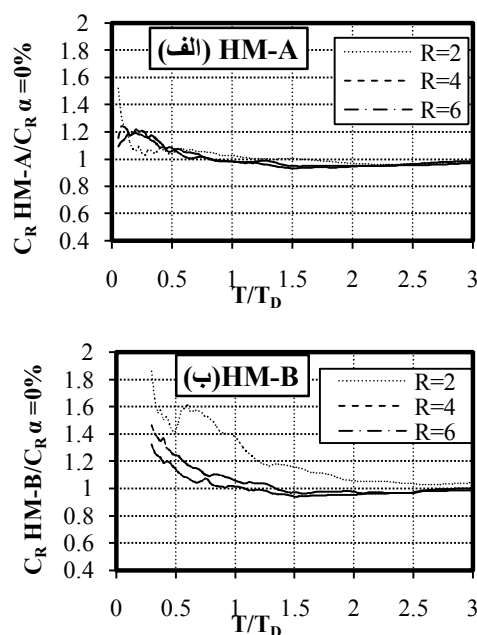
$$\bar{C}_R = a + (R - 1) \left[\frac{b}{\bar{T}} + \frac{c}{(\bar{T})^d} + \frac{e \cdot \bar{T}}{\exp\left(5 \cdot (\ln(\bar{T} + 0.2))^2\right)} \right] \quad (6)$$

$\bar{T}$ برابر T/T_D دوره تناوب، T_D دوره تناوب نظیر تغییر مکان بیشینه طیفی با میرایی ۵ درصد، R ضریب کاهش مقاومت و a, b, c, d, e پارامترهایی است که با استفاده از رگرسیون غیرخطی به دست می آید.

Ruiz-García and Miranda [۹] به این نتیجه رسیدند که اثر نوع خاک ساختگاه روی نسبت تغییر مکان غیرالاستیک در زلزله های بدون اثر جهت گیری قابل چشم گیر نیست. افزون بر آن Changhai و همکاران [۲۲] نیز نتیجه گیری کردند که اثر خاک ساختگاه بر نسبت تغییر مکان غیرالاستیک سازه های با شکل پذیری ثابت در اثر زلزله های با جهت گیری، کم است. پس، اثر نوع خاک ساختگاه در معادله ۶ در نظر گرفته نشده است تا بدون کاهش زیاد دقت، رابطه ساده تری به دست آید. برای انجام رگرسیون غیرخطی از الگوریتم Levenberg-Marquard [۲۳] استفاده شده و مقادیر پارامترها با نرم افزار MATLAB [۲۴] به دست آمده است؛ و مقادیر پارامترهای a, b, c, d, e برای هر یک از ضرایب کاهش مقاومت بر اساس رگرسیون داده های میانگین در جدول ۲ ارائه شده است.

برای مقایسه داده ها و رابطه پیشنهاد شده در شکل ۱۱، برای سه ضریب کاهش مقاومت، مقادیر میانگین و منحنی

می یابد و در ضریب کاهش مقاومت ۲، در همه ی دوره تناوب ها، نسبت تغییر مکان غیرالاستیک در سازه با کاهندگی، همواره بیشتر از مقدار نظیر خود در سازه بدون کاهندگی است؛ اما با افزایش ضریب کاهش مقاومت در دوره تناوب های بیش از $1/3 T_D$ ، تغییر مکان غیرالاستیک در سازه با و بدون کاهندگی تقریباً برابر می شود.



شکل (۱۰) نسبت تغییر مکان غیرالاستیک سازه با کاهندگی به سازه بدون کاهندگی برای ضریب کاهش مقاومت ۲، ۴ و ۶ در اثر زلزله های حوزه نزدیک پالس گونه. الف) سازه با مدل کاهندگی سختی کلاف ب) سازه با مدل کاهندگی سختی و مقاومت کلاف

۸- رابطه پیشنهاد شده برای محاسبه C_R

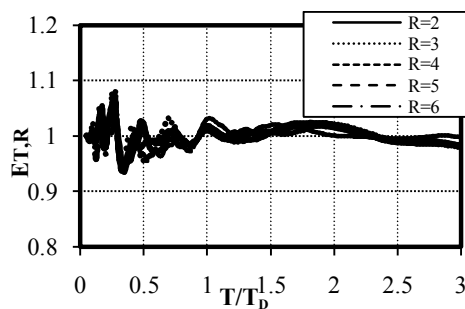
با ارائه یک رابطه برای برآورد نسبت تغییر مکان غیرالاستیک در طراحی به روش تغییر مکان، می توان تغییر مکان بیشینه یک سامانه غیرالاستیک را از تغییر مکان بیشینه یک سامانه الاستیک به دست آورد. در این جا، برای C_R معادله ای پیشنهاد شده است که تابعی از ضریب کاهش مقاومت R ، T/T_D و ضرایب ثابت λ است که از برازش داده ها به دست

FEMA 440 [۲۵]، رابطه‌ای برای خطای میانگین ارائه

کرده که به صورت زیر است:

$$E_{T,R} = \left[\frac{(\Delta_i)_{app}}{(\Delta_i)_{ex}} \right]_{T,R} \quad (۷)$$

این خطا برای هر دوره تناوب و هر ضریب کاهش مقاومت به دست می‌آید. $(\Delta_i)_{app}$ نسبت تغییر مکان غیرالاستیک به دست آمده از روابط ارائه شده و $(\Delta_i)_{ex}$ نسبت تغییر مکان غیرالاستیک به دست آمده از تحلیل‌های دینامیکی غیرخطی است. در این پژوهش نیز از این فرمول برای به دست آوردن خطای میانگین استفاده شده است و در شکل ۱۲ نتایج آن دیده می‌شود.



شکل (۱۲) خطای میانگین به دست آوردن نسبت تغییر مکان غیرالاستیک با استفاده از فرمول ۶

مطابق شکل، اختلاف کمی بین نسبت تغییر مکان غیرالاستیک به دست آمده از رابطه پیشنهاد شده جدید با نظیر خود از تحلیل دینامیکی غیرخطی وجود دارد و برای همه‌ی مقادیر $\frac{T}{T_D}$ این اختلاف کمتر از ۸ درصد است که بیانگر تقریب بسیار خوب رابطه پیشنهاد شده جدید است.

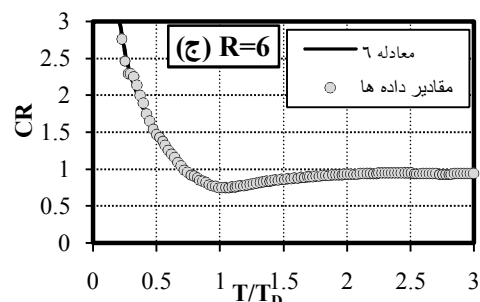
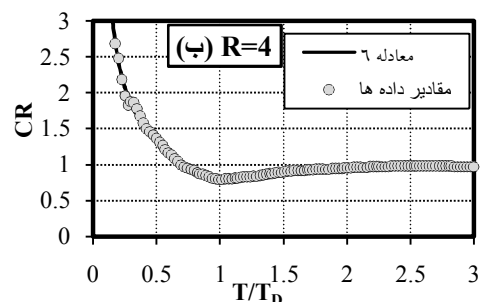
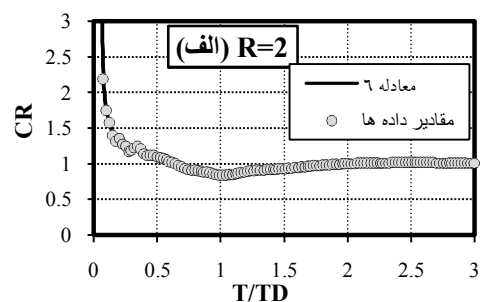
۹- نتیجه‌گیری

این پژوهش روی نسبت تغییر مکان غیرالاستیک سازه‌های در معرض زلزله‌های حوزه نزدیک پالس‌گونه نتایج زیر را

به دست آمده از رابطه پیشنهاد شده رسم شده است. همان‌گونه که مشاهده می‌شود، رابطه جدید، مقادیر مناسبی برای میانگین نسبت تغییر مکان غیرالاستیک را ارائه می‌دهد.

جدول (۲) پارامترهای به دست آمده از رگرسیون غیرخطی معادله ۶

پارامترها	R=۲	R=۳	R=۴	R=۵	R=۶
a	۰/۹۸۶۰۳	۰/۹۲۴۱۲۹	۰/۸۶۴۲۵۶	۰/۸۲۲۷۰۳	۰/۷۸۴۶۰۳
b	۰/۰۶۸۲۹۶	۰/۰۹۰۹۳	۰/۰۹۳۴۷۵	۰/۰۸۶۶۹۴	۰/۰۸۱۳۰۷
c	۸/۹۹۵۰۰۷	۰/۰۰۳۳۸	۰/۰۰۰۶۴۸	۰/۰۰۱۱۶۲	۰/۰۰۱۰۷۹
d	۴/۸۷۲۶۰۵	۲/۹۶۶۱۰۱	۲/۷۶۳۹۱	۲/۵۴۷۸۸۴	۲/۵۳۹۹۶۹
e	-۰/۲۲۹۵۹	-۰/۱۶۹۲۵	-۰/۱۳۵۲۱	-۰/۱۱۴۶۸	-۰/۱۰۳۰۸



شکل (۱۱) مقایسه نسبت تغییر مکان غیرالاستیک میانگین برای سازه‌های الاستوپلاستیک کامل در اثر زلزله‌های حوزه نزدیک پالس‌گونه و مقادیر به دست آمده از فرمول ۶ و ضرایب به دست آمده در جدول ۲. (الف) ضریب کاهش مقاومت ۲ است (ب) ضریب کاهش مقاومت ۴ است (ج) ضریب کاهش مقاومت ۶ است

به دست آورد:

۱- از مهم‌ترین ویژگی‌های زلزله‌های حوزه نزدیک که بر پاسخ سازه‌ها مؤثر است پریود همراه پالس سرعت (T_p) است. در زلزله‌های حوزه نزدیک پالس‌گونه، در دوره تناوب‌های بیش از 0.5 ثانیه با افزایش T_p ، نسبت تغییرمکان غیرالاستیک افزایش می‌یابد و این افزایش با افزایش ضریب کاهش مقاومت به گونه‌ای چشم‌گیر زیاد می‌شود.

۲- اثر نرمال کردن دوره تناوب با دوره تناوب (T_D) نظیر بیشترین مقدار تغییرمکان طیفی با میرایی 5 درصد نسبت به نرمال کردن با دوره تناوب نظیر بیشترین مقدار سرعت طیفی (T_g) با میرایی 5 درصد، در کاهش پراکندگی داده‌ها، بیشتر است.

۳- با بررسی میانگین نسبت تغییرمکان غیرالاستیک در دوره تناوب‌های کمتر از $0.7/T_D$ ، تغییرمکان غیرالاستیک از تغییرمکان الاستیک بیشتر است. همچنین با افزایش ضریب کاهش مقاومت، این افزایش بیشتر می‌شود.

۴- در بازه‌ی دوره تناوب‌های 0.7 و $1/7$ برابر T_D ، به‌طور میانگین تغییرمکان غیرالاستیک، کمتر از تغییرمکان الاستیک است. در این بازه، استفاده از قانون تغییرمکان برابر، تغییرمکان نیاز سازه‌های غیرالاستیک را دست بالا برآورد می‌کند.

۵- در دوره تناوب‌های بیش از $1/T_D$ ، تغییرمکان غیرالاستیک تقریباً برابر تغییرمکان الاستیک است و قانون تغییرمکان برابر در این بازه کارایی دارد.

۶- برای بزرگ‌ها و کوتاه‌ترین فاصله محل ثبت رکورد تا سطح گسیختگی، بزرگ‌ها و فاصله تأثیرزیادی در نسبت تغییرمکان غیرالاستیک ندارد و اختلافات ناچیز است.

۷- نسبت تغییرمکان غیرالاستیک در سازه‌های دارای سخت‌شوندگی بعد از جاری شدن، در مقایسه با سازه‌های الاستوپلاستیک کامل کمتر است و در دوره تناوب‌های کمتر از $0.2/T_D$ ، این کاهش زیاد است. اما با افزایش T/T_D ، این

تغییرات کم شده و به یک میل می‌کند.

۸- در دوره تناوب‌های کمتر از T_D ، نسبت تغییرمکان غیرالاستیک در سازه با کاهندگی سختی، بیشتر از حالت بدون کاهندگی است. با افزایش دوره تناوب به بیش از T_D ، مقدار C_R در دو حالت، تقریباً برابر است.

۹- تأثیر کاهندگی سختی و مقاومت در نسبت تغییرمکان غیرالاستیک چشم‌گیر است و باعث افزایش تغییرمکان غیرالاستیک نیاز در سازه‌های در معرض زلزله‌های حوزه نزدیک پالس‌گونه می‌شود. این افزایش با کم شدن ضریب کاهش مقاومت، افزایش می‌یابد.

۱۰- مقایسه میانگین نسبت تغییرمکان غیرالاستیک سازه‌های در معرض زلزله‌های حوزه نزدیک پالس‌گونه و مقادیر به‌دست آمده از رابطه پیشنهادی جدید برای محاسبه مقدار میانگین C_R ، نشان از دقت بالای این رابطه جدید دارد.

۱۰- مراجع

- [1] FEMA. "Prestandard And Commentary For The Seismic Rehabilitation Of Buildings." Report FEMA 356, Federal Emergency Management Agency, Washington, D.C., 2000.
- [2] FEMA. "NEHRP Recommended Provisions For Seismic Regulations For New Buildings And Other Structures. " Report FEMA 450, Federal Emergency Management Agency, Washington, D.C., 2003.
- [3] Alavi, B., Krawinkler, H., "Effects of Near-Fault Ground Motions on Frames Structures. " Report 138, John A. Blume Earthquake Engineering Center, Stanford (CA), 2001.
- [4] Alavi, B., Krawinkler, H., "Behavior of Moment-Resisting Frame Structures Subjected to Near-Fault Ground Motions, " Earthquake Engineering and Structural Dynamics, No. 33, 2004, pp. 687-706.

- [15] Erberik, M. A., "Importance of Degrading Behavior for Seismic Performance Evaluation of Simple Structural Systems, " *Journal of Earthquake Engineering*, No. 15, 2011, pp. 32-49.
- [16] Sivaselvan, M. V., Reinhorn, A. M., "Hysteretic Models For Deteriorating Inelastic Structures, " *Journal of Engineering Mechanics*, No. 126, , 2000 pp. 633-640.
- [17] Baker, J. W., "Quantitative Classification of Near-Fault Ground Motions Using Wavelet Analysis, " *Bulletin of the Seismological Society of America*, No. 97, 2007, pp. 1486-1501.
- [18] Bray, J. D., Rodriguez-Marek, A., "Characterization of Forward-Directivity Ground Motions in the Near-Fault Region, " *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, No. 24, 2004, pp. 815-828.
- [19] Song, J.-K., Pincheira, J. A., "Spectral Displacement Demand of Stiffness- and Strength-Degrading Systems, " *Earthquake Spectra*, No. 16, 2000, pp. 817-851.
- [20] Pekoz, H. A., Pincheira, J. A., "Seismic Response Of Strength And Stiffness Degrading Single Degree Of Freedom Systems, " *13th World Conference on Earthquake Engineering, Vancouver, B.C., Canada, August 2004*.
- [21] Chenouda, M., Ayoub, A., "Inelastic Displacement Ratios of Degrading Systems, " *Journal of Structural Engineering*, No. 134, 2008, pp. 1030-1045.
- [22] Changhai, Z., Shuang, L., Lili, X., and Yamin, S., "Study On Inelastic Displacement Ratio Spectra For Near-Fault Pulse-Type Ground Motions, " *Earthquake Engineering And Engineering Vibration*, No. 6, pp. 351-355, 2007.
- [23] Seber, G. A. F., Wild, C. J.; *Nonlinear Regression*, 1th edition, John Wiley & Sons, 2003.
- [24] Mathworks, "MATLAB: The Language of Technical Computing, " version 7.1, The Mathworks Inc, 2010.
- [25] FEMA. "Improvement Of Nonlinear Static Seismic Analysis Procedures. " *Report FEMA 440*, Federal Emergency Management Agency, Washington, D.C., 2005.
- [5] Chopra, A. K., Chintanapakdee, C., "Inelastic Deformation Ratios for Design and Evaluation of Structures: Single-Degree-of-Freedom Bilinear Systems, " *Journal of Structural Engineering*, No. 130, 2004, pp. 1309-1319.
- [6] Miranda, E., "Inelastic Displacement Ratios For Structures On Firm Sites, " *Journal of Structural Engineering*, No. 126, 2000, pp. 1150-1159.
- [7] Miranda, E., "Inelastic Displacement Ratios For Displacement-Based Earthquake Resistant Design, " *12th World Conference on Earthquake Engineering, Auckland, New Zealand, 2000*.
- [8] Miranda, E., "Estimation Of Inelastic Deformation Demands Of Sdof Systems, " *Journal of Structural Engineering*, No. 127, 2001, pp. 1005-1012.
- [9] Ruiz-Garcia, J., Miranda, E., "Inelastic displacement ratios for evaluation of existing structures, *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, No. 32, 2003, pp. 1237-1258.
- [10] Ruiz-Garcia, J., Miranda, E., "Inelastic Displacement Ratios for Evaluation of Structures Built on Soft Soil Sites, " *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, No. 35, 2006, pp. 679-694.
- [11] Baez, J. I., Miranda, E., "Amplification Factors To Estimate Inelastic Displacement Demands For The Design Of Structures In The Near Field, " *12th World Conference on Earthquake Engineering, Auckland, New Zealand, 2000*.
- [12] Akkar, S., U. Yazgan, and P. Gulkan., "Deformation Limits For Simple Non-Degrading Systems Subjected To Near-Fault Ground Motions, " *13th World Conference on Earthquake Engineering, Vancouver, B.C., Canada, August 2004*.
- [13] Ruiz-Garcia, J., "Inelastic Displacement Ratios for Seismic Assessment of Structures Subjected to Forward-Directivity Near-Fault Ground Motions, " *Journal of Earthquake Engineering*, No. 15, 2011, pp. 449-468.
- [14] Akkar, S., Kale, Ö., Boore, D.M., Çektimur, E.V., Bas, S., "USDP : Utility Software for Data Processing, " version 1.3.4.21, METU-Earthquake Engineering Research Center, 2011.