

## طراحی مستقیم دیوارهای برشی بتن آرمه ویژه مرکب با اجزای مرزی فولادی بر مبنای تغییر مکان

حسین کاظمی<sup>۱</sup>، امین محب‌خواه<sup>۲\*</sup>

۱- کارشناس ارشد سازه، دانشکده مهندسی عمران و معماری، دانشگاه ملایر، ملایر، ایران

۲- استادیار، دانشکده مهندسی عمران و معماری، دانشگاه ملایر، ملایر، ایران

### چکیده

یکی از سیستم‌های مقاوم که در مناطق لرزه‌خیز به کار برده می‌شوند، دیوارهای برشی بتن آرمه مرکب ویژه با اجزای مرزی فولادی می‌باشند که به دلیل دارا بودن شکل‌پذیری و قابلیت جذب و استهلاک انرژی بالا نسبت به دیوارهای برشی بتن مسلح رایج، در سال‌های اخیر مورد توجه قرار گرفته‌اند. نظر به اینکه در خصوص رفتار این قبیل قاب‌ها مطالعات بسیار کمی انجام شده و همچنین روش طراحی سازه بر مبنای نیرو، باعث تقریب در سنجش رفتار واقعی سازه در حین وقوع زلزله خواهد شد، در تحقیق حاضر به بررسی رفتار لرزه‌ای غیر خطی این نوع از سیستم‌های سازه‌ای طرح شده به روش مستقیم بر مبنای تغییر مکان پرداخته می‌شود. بدین منظور ابتدا ۴ دیوار برشی بتن آرمه مرکب ویژه با اجزای مرزی فولادی با تعداد طبقات ۴، ۸، ۱۲ و ۱۶ با استفاده از روش طراحی مستقیم بر اساس تغییر مکان برای یک سطح عملکرد مشخص (نظیر دریفت ۲٪)، طراحی شده و سپس تحت تحلیل‌های تاریخچه زمانی دینامیکی غیرخطی قرار گرفتند و در نهایت نتایج حاصل از این تحلیل‌ها با فرضیات طراحی مقایسه گردید. نتایج تحلیل حاکی از آن است که دیوارهای برشی مرکب طراحی شده در این تحقیق بر مبنای روش مستقیم مبتنی بر تغییر مکان، می‌توانند به خوبی سطح عملکرد مورد نظر طراح را به لحاظ تغییر مکان نسبی بین طبقه‌ای، ارضاء نمایند.

**کلمات کلیدی:** روش طراحی مستقیم بر مبنای جابجایی، ستون مرزی فولادی، دیوار برشی بتنی، رفتار لرزه‌ای، تحلیل دینامیکی

غیر خطی

\*نویسنده مسئول: امین محب‌خواه.

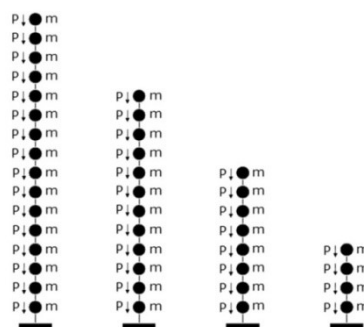
پست الکترونیکی: amoheb@malayeru.ac.ir, amoheb2001@yahoo.com

## ۱- مقدمه

از جمله سیستم‌های سازه‌ای مقاوم در برابر زلزله می‌توان به دیوارهای برشی بتن مسلح اشاره کرد که به طور گسترده مورد استفاده قرار می‌گیرند. این‌گونه از سیستم‌های سازه‌ای نسبت به سازه‌های قاب خمشی فولادی از شکل‌پذیری کمتری برخوردار بوده و استهلاک انرژی در آن‌ها کمتر است. به همین منظور محققین به دنبال روش‌هایی بوده‌اند که رفتار این سیستم‌ها را بهبود بخشیده و نواقص آن‌ها را برطرف کنند. استفاده از اجزای مرزی بتنی در دیوارهای برشی بتن مسلح ویژه، یکی از این روش‌ها برای افزایش شکل‌پذیری و قابلیت جذب و استهلاک انرژی می‌باشد.

در سال‌های اخیر، استفاده از سیستم جدیدی تحت عنوان دیوارهای برشی بتن مسلح مرکب متوسط و ویژه جهت مقاوم سازی ساختمان‌ها در برابر زلزله معرفی و تجویز شده است [۱]. این دیوارها از جنبه‌های بسیاری شبیه دیوارهای برشی بتن مسلح بوده و تفاوت اصلی آن‌ها با دیوارهای برشی بتن مسلح رایج در نوع اجزای مرزی می‌باشد. در واقع اجزای مرزی دیوارهای برشی بتن مسلح مرکب از نوع نیمرخ‌های فولادی بال پهن می‌باشند. در مطالعات انجام گرفته در زمینه دیوارهای برشی بتن مسلح مرکب، برتری‌هایی از قبیل افزایش شکل‌پذیری و بهبود قابلیت جذب و استهلاک انرژی نسبت به دیوارهای برشی بتن مسلح ویژه رایج مشاهده شده است [۲].

در روش طراحی مستقیم بر مبنای جابجایی<sup>۱</sup> که یکی از روش‌های طراحی بر مبنای عملکرد می‌باشد، ابتدا جابجایی حداکثر متناسب با سطح عملکرد مورد نظر انتخاب می‌گردد و با استفاده از این جابجایی و یک روند خلاقانه، تلاش‌های طراحی اعضای سازه‌ای ساختمان به دست می‌آید [۳]. این روش طراحی بر مبنای تغییر مکان در طی بیست سال گذشته برای سیستم‌های سازه‌ای مختلفی از قبیل دیوارهای برشی بتنی مسلح [۴]، قاب‌های خمشی بتنی [۵] و فولادی [۶]، سیستم دوگانه قاب بتنی - دیوار بتنی [۷] و سیستم دوگانه قاب فولادی - دیوار بتنی [۸ و ۹] توسعه یافته و صحت و سقم آن بوسیله تحلیل‌های دینامیکی غیرخطی بررسی شده است که اکثر آنها حکایت از موفقیت روش مذکور در ارضای سطوح عملکرد طراحی مورد نظر دارد. هدف از این تحقیق، ارزیابی روش طراحی مستقیم بر اساس تغییر مکان در حیطه کنترل جابجایی نسبی بین طبقه‌ای و تخمین برش پایه‌ی دیوارهای برشی بتن مسلح مرکب ویژه با اجزای مرزی فولادی است. بدین منظور تعدادی دیوار برشی مرکب با فرض قاب ساختمانی ساده فولادی در تعداد طبقات متفاوت با استفاده از این روش طراحی شده و سپس با استفاده از شتاب‌نگاشت‌های اصلاح شده مختلف تحت تحلیل‌های دینامیکی تاریخچه زمانی غیر خطی قرار می‌گیرند. سپس، با توجه به نتایج تحلیل‌ها و مقایسه‌ی آن‌ها با نتایج طراحی بر اساس روش DDBD، دقت این روش در پیش‌بینی پارامترهای طراحی مورد ارزیابی قرار خواهد گرفت.



شکل ۱: شمای کلی دیوارهای مورد استفاده در طراحی‌ها و تحلیل‌ها.

## ۲- انتخاب سازه های مورد بررسی

در این تحقیق از چهار دیوار برشی بتن مسلح مرکب ویژه با اجزای مرزی فولادی با تعداد طبقات مختلف استفاده شده است. این دیوارها به ترتیب دارای ۴، ۸، ۱۲ و ۱۶ طبقه (هر طبقه به ارتفاع ۳ متر) هستند. شکل ۱ نمایی کلی از این دیوارها را نشان می دهد. تمامی دیوارها دارای توزیع جرم و بارهای ثقلی یکسانی در طبقات مختلف اند. مقدار بار ثقلی هر یک از طبقات برابر با ۵۰ تن در نظر گرفته شده است. این دیوارها با استفاده از روش طراحی مستقیم بر مبنای جابجایی برای تغییرمکان نسبی (دریفت) ۲٪ طراحی شده اند. محل مورد نظر با خطر نسبی لرزه خیزی بسیار زیاد و نوع خاک آن مطابق با خاک نوع II استاندارد ۲۸۰۰ [۱۰] در نظر گرفته شده است.

## ۳- ورودی لرزه ای برای روش طراحی بر مبنای جابجایی

از آنجا که خاک ساختگاه دیوارها بر اساس استاندارد ۲۸۰۰ [۱۰] و از نوع II می باشد، لذا زلزله هایی که قرار است به منظور تحلیل و طراحی انتخاب گردند باید در مناطقی رخ داده باشند که سرعت موج برشی خاک در عمق ۳۰ متری از سطح زمین آن منطقه در محدوده سرعت موج برشی نظیر خاک نوع II باشد. به همین منظور، برای طرح لرزه ای دیوارها بر مبنای جابجایی از طیف تغییرمکان ۷ شتاب نگاشت که متناسب با ساختگاه مورد نظر انتخاب شده اند، استفاده می شود. رکوردهای انتخابی از پایگاه اطلاعات جنبش قوی زمین دانشگاه برکلی استخراج شده اند که مشخصات آنها در جدول ۱ ارائه شده است. شایان ذکر است برای این که خصوصیات زلزله های انتخابی با طیف استاندارد ۲۸۰۰ [۱۰] مطابقت داشته باشند، از نرم افزار SeismoArtif [۱۱] به منظور اصلاح زلزله ها استفاده شده است. نحوه اصلاح زلزله ها بدین گونه است که ابتدا زلزله ای که می بایست اصلاح شود، به نرم افزار معرفی می شود. سپس نرم افزار با استفاده از یک طیف پاسخ شتاب ورودی هدف که در واقع طیف استاندارد ۲۸۰۰ [۱۰] می باشد، رکورد زلزله را به نحوی اصلاح می کند که طیف پاسخ شتاب حاصل از زلزله اصلاح شده بر طیف پاسخ شتاب استاندارد ۲۸۰۰ [۱۰] منطبق گردد. شکل ۲، طیف های شتاب متناظر با شتاب نگاشت های مورد استفاده اصلاح شده به همراه طیف استاندارد ۲۸۰۰ [۱۰] را نشان می دهد. همان گونه که در شکل ۲ مشخص است، طیف میانگین ۷ شتاب نگاشت انتخابی اصلاح شده، کمی پایین تر از طیف استاندارد ۲۸۰۰ قرار گرفته است؛ در صورتی که استاندارد ۲۸۰۰ [۱۰] صراحتاً اعلام می دارد که طیف میانگین شتاب نگاشت هایی که قرار است جهت تحلیل دینامیکی استفاده شوند، باید در محدوده ۰/۲ تا ۱/۵ برابر پریرود اصلی سازه بالاتر از طیف استاندارد ۲۸۰۰ [۱۰] قرار داشته باشند. لذا، با استفاده از ضریب اصلاحی برابر با ۱/۱ که از طریق سعی و خطا به دست آمده است و ضرب آن در طیف میانگین، مطابق شکل ۳ طیف میانگین بالاتر از طیف استاندارد ۲۸۰۰ [۱۰] قرار می گیرد.

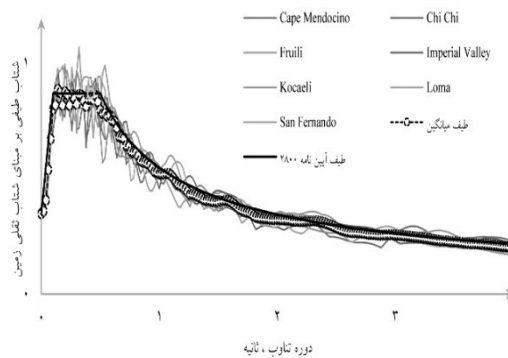
جدول ۱: مشخصات ۷ شتاب نگاشت انتخابی

PGA	ایستگاه ثبت رکورد	نام رکورد زلزله
۷/۰۱	CDMG 89530 Shelter Cove Airport	CapeMendocino
۵/۹۰	CWB N99999 TCU088	Chi-chi,Taiwan
۶/۵۰	Barcis 8002	Friuli, Italy
۶/۵۳	USGS286Superstition Mtn Camera	Imperial Valley
۷/۵۱	ERD 99999 Bursa Sivil	Kocaeli, Turkey
۶/۶۱	CDWR 269 Pearblossom Pump	San Fernando
۶/۹۳	CDMG 47377 Monterey City Hall	Loma Prieta

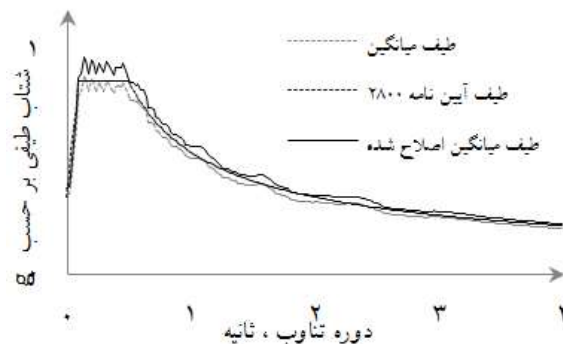
## ۴- روش طراحی مستقیم بر اساس تغییر مکان

## ۴-۱- معرفی روش طراحی مستقیم بر اساس تغییر مکان

در روش طراحی مستقیم بر مبنای جابجایی که یکی از روش‌های طراحی بر مبنای عملکرد می‌باشد، ابتدا جابجایی حداکثر متناسب با سطح عملکرد مورد نظر انتخاب می‌گردد و با استفاده از این جابجایی و یک روند خلاقانه، تلاش‌های طراحی اعضای سازه‌ای ساختمان به دست می‌آید. بدین ترتیب که با فرض یک سیستم یک درجه آزادی معادل به جای سیستم سازه‌ای مورد نظر و به دست آوردن پارامترهای مربوط به آن (سختی کاهش یافته و میرایی هیستریزس)، نیروی برش پایه طراحی نظیر سطح عملکرد مورد نظر با فرض رفتار غیرخطی سازه تخمین زده می‌شود. سپس برش پایه طراحی به دست آمده در سازه اصلی توزیع شده و تحلیل سازه انجام می‌گردد [۳]. مبنای و فرضیات این روش توسط پریستلی و همکاران به طور کامل در مرجع [۳] ارائه شده است. این روش که در اصل برای سازه‌های با دیوار برشی بتنی توسعه داده شده است، با توجه به انحنای تسلیم، جابجایی تسلیم و پلاستیک قابل محاسبه است. بدین ترتیب که ابتدا با استفاده از مقادیر به دست آمده برای جابجایی تسلیم و پلاستیک، شکل پذیری کل سیستم به دست آمده و سپس میرایی مؤثر و پریود مؤثر سازه جهت تخمین برش پایه طراحی محاسبه می‌گردند [۳].



شکل ۲: طیف‌های تغییر مکان ۷ شتاب‌نگاشت اصلاح شده در مقایسه با طیف استاندارد ۲۸۰۰ [۱۰] برای خاک نوع II.



شکل ۳: طیف‌های شتاب میانگین، میانگین اصلاح شده و طیف ۲۸۰۰.

## ۴-۲- معرفی روش طراحی مستقیم بر اساس تغییر مکان

نخستین گامی که می‌بایست در طراحی مستقیم بر مبنای جابجایی برداشت، محاسبه پروفیل (الگوی) جابجایی دیوار در ارتفاع می‌باشد. این جابجایی‌ها شامل جابجایی الاستیک و جابجایی پلاستیک سازه می‌باشند. لذا در صورتی که انحنای تسلیم دیوار برابر با  $\phi_y = 2\varepsilon_y / l_w$  باشد، رابطه (۱) نشان دهنده‌ی جابجایی‌ها در تراز طبقات است [۳].

$$\Delta_i = \frac{\varepsilon_y}{l_w} H_i \left( 1 - \frac{H_i}{3H_n} \right) + \left( \theta - \frac{\varepsilon_y H_n}{l_w} \right) H_i \quad (1)$$

در رابطه (۱)، کرنش تسلیم مصالح فولادی تسلیحات،  $H_i$  ارتفاع در تراز طبقات نسبت به پای دیوار،  $H_n$  ارتفاع کل سازه،  $\theta$  دریفیت طراحی و  $l_w$  طول مقطع دیوار است. سپس با توجه به توزیع جابجایی‌ها در ارتفاع، جابجایی معادل سازه یک درجه آزادی با استفاده از رابطه (۲) محاسبه می‌شود:

$$\Delta_{eff} = \frac{\sum m_i \Delta_i}{\sum m_i} \quad (2)$$

در رابطه (۲) برابر با جرم لرزه‌ای در هر طبقه می‌باشد. در گام بعد، باید جرم مؤثر و ارتفاع مؤثر که نماینده جرم و ارتفاع سازه معادل یک درجه آزادی هستند با توجه به روابط (۳) و (۴) محاسبه شوند:

$$M_{eff} = \frac{\sum m_i \Delta_i}{\Delta_{eff}} \quad (3)$$

$$H_{eff} = \frac{\sum m_i \Delta_i H_i}{\sum m_i \Delta_i} \quad (4)$$

در ادامه جابجایی تسلیم سازه معادل و به تبع آن شکل‌پذیری سازه با توجه به روابط (۵) و (۶) به دست می‌آید:

$$\Delta_y = \frac{\varepsilon_y}{l_w} H_{eff} \left( 1 - \frac{H_{eff}}{3H_n} \right) \quad (5)$$

$$\mu = \frac{\Delta_{eff}}{\Delta_y} \quad (6)$$

سپس میرایی مؤثر سازه با استفاده از شکل‌پذیری طبق رابطه (۷) محاسبه می‌شود:

$$\xi_{eff} = 0.05 + 0.444 \left( \frac{\mu - 1}{\mu \pi} \right) \quad (7)$$

اکنون می‌بایست با استفاده از طیف پاسخ جابجایی پلاستیک که تأثیر میرایی مؤثر در آن لحاظ شده است، پریود مؤثر سازه محاسبه شود. در این تحقیق، برای به دست آوردن پریود مؤثر سازه نیز، از طیف پاسخ جابجایی پلاستیک به دست آمده از طیف پاسخ الاستیک شتاب با میرایی ۵ درصد استاندارد ۲۸۰۰ [۱۰] استفاده می‌شود. این طیف پاسخ جابجایی با استفاده از رابطه (۸) و به کمک طیف پاسخ شتاب به دست می‌آید:

$$\Delta_{(T)} = \frac{T}{4\pi} S_{a(T)} g \quad (8)$$

در رابطه (۸)،  $T$  پریود سازه،  $S_{a(T)}$  طیف پاسخ شتاب و  $g$  شتاب ثقلی زمین است. در طیف پاسخ جابجایی، می‌بایست اثر میرایی مؤثر نیز اعمال شود. این تأثیر با استفاده از ضرب مقادیر طیف پاسخ جابجایی الاستیک در یک ضریب کاهشدهنده که در رابطه (۹) ارائه شده است، اعمال می‌شود:

$$R_\xi = \left( \frac{0.07}{0.02 + \xi} \right)^{1/5} \quad (9)$$

سپس با توجه به جرم مؤثر و پریود مؤثر و استفاده از رابطه (۱۰)، سختی مؤثر سازه معادل به دست آمده و به کمک رابطه (۱۱) نیروی برش پایه اعمالی به پای دیوار محاسبه می‌شود:

$$K_{eff} = \frac{4\pi^2 M_{eff}}{T^2} \quad (10)$$

$$V_{eff} = K_{eff} \Delta_{eff} \quad (11)$$

حال می‌بایست این برش پایه به دست آمده از رابطه (۱۱)، توسط رابطه (۱۲) در تراز طبقات پخش شود:

$$F_i = \frac{V_{eff} (m_i \Delta_i)}{\sum m_i \Delta_i} \quad (12)$$

#### ۴-۳- محاسبه مشخصات طراحی سیستم یک درجه آزادی معادل برای دیوارهای برشی ۴، ۸، ۱۲ و ۱۶ طبقه

مقاومت فشاری بتن برابر با ۳۰۰ کیلوگرم بر سانتیمتر مربع و فولاد میلگردهای مورد استفاده از جنس AIII با تنش تسلیم ۴۰۰۰ کیلوگرم بر سانتیمتر مربع فرض شده است. همچنین فولاد اجزای مرزی از نوع ST37 بوده و مقاومت تسلیم آن برابر با ۲۴۰۰ کیلوگرم بر سانتیمتر مربع اختیار می‌گردد. با توجه به توضیحات ارائه شده در بخش ۴-۲ و فرض دریافت طراحی ۰/۲، اقدام به محاسبه مشخصات سیستم‌های یک درجه آزادی معادل برای دیوارهای برشی بتن مسلح مرکب ویژه با اجزای مرزی فولادی می‌شود. نتایج محاسبات همه دیوارهای برشی بتن مسلح مرکب ویژه بر اساس تغییرمکان در جدول ۲ ارائه شده است.

#### ۴-۴- طراحی مقطع دیوارهای برشی ۴، ۸، ۱۲ و ۱۶ طبقه

پس از دستیابی به برش پایه طراحی و پخش نیروهای طراحی با استفاده از رابطه (۱۲) در تراز طبقات، لنگر پایه‌ی طراحی دیوارها به دست می‌آید که نتایج آن در جدول ۲ نشان داده شده است. با استفاده از برش پایه طراحی و لنگر پایه‌ی طراحی دیوارها، اقدام به طراحی مقطع دیوارهای برشی بتن مسلح مرکب ویژه با اجزای مرزی فولادی ۴، ۸، ۱۲ و ۱۶ طبقه می‌شود. در مورد طراحی آرماتورهای طولی جان، از روابطی که برای تسلیحات طولی پخش شده به منظور تحمل خمش در مرجع [۱۲] ارائه شده است، استفاده می‌شود. در مورد طراحی اجزای مرزی نیز از روابط مقاومت مصالح و یکسان سازی مصالح موجود در مقطع (روش تبدیل مقطع) به منظور دستیابی به نیروی محوری طراحی اجزاء استفاده شده است. جزئیات طراحی مقطع دیوارها در شکل ۴ نشان داده شده است.

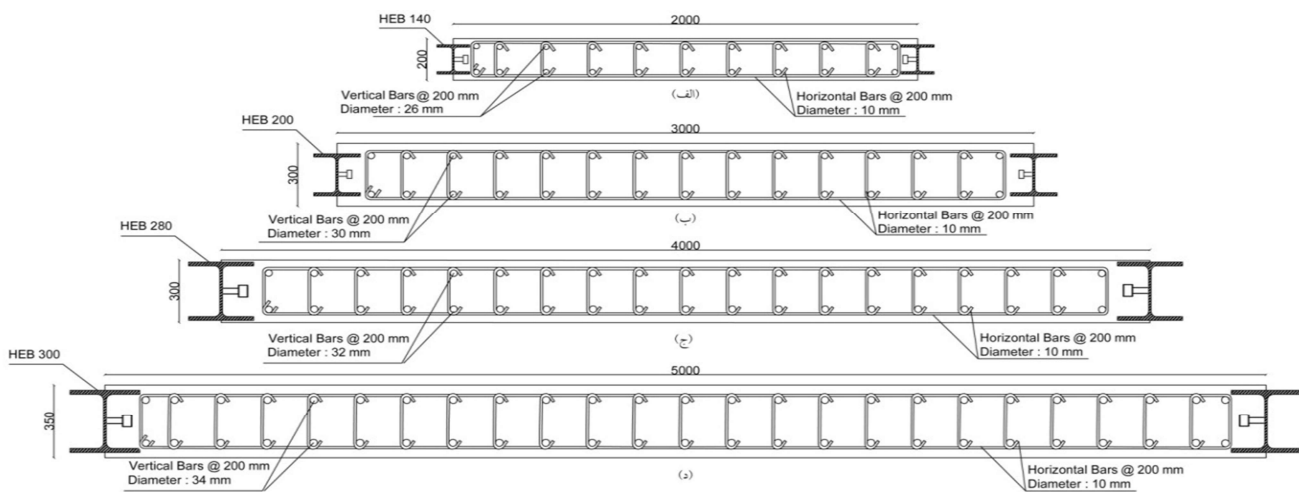
## ۵- مدل‌سازی

### ۵-۱- روش مدل‌سازی دیوار برشی بتن‌آرمه مرکب ویژه با اجزای مرزی فولادی

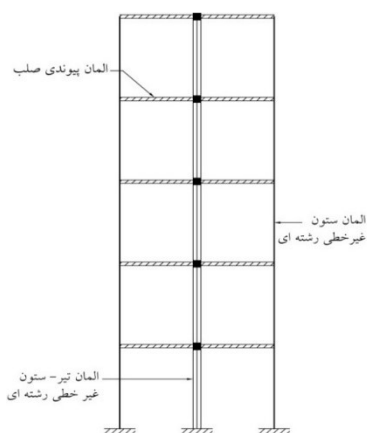
به منظور مدل‌سازی عددی دیوار برشی بتن مسلح مرکب ویژه با اجزای مرزی فولادی، از نرم‌افزار SeismoStruct [۱۴] استفاده شده است. المان ارائه شده برای دیوار برشی بتن مسلح در این نرم‌افزار از نوع المان تیرستون رشته‌ای (فایبر) می‌باشد. تأثیر آرماتورهای برشی (عرضی) در این المان با استفاده از ضریب محصورشدگی<sup>۲</sup> در بتن در نظر گرفته می‌شود. با توجه به عدم مدل‌سازی شکست برشی مقاطع بتن مسلح توسط المان‌های رشته‌ای تیرستون، می‌بایست دیوار به گونه‌ای طراحی شود که رفتار آن به صورت خمشی باشد. با افزایش نسبت ارتفاع به عرض دیوار بزرگتر از ۳، می‌توان دیوار را به گونه‌ای طراحی نمود که شکست خمشی دیوار بر شکست برشی آن غالب شود [۱۴]. در انتخاب ابعاد هندسی دیوارها از مرجع [۱۵] استفاده شده است.

جدول ۲: مشخصات سیستم یک درجه آزادی معادل برای دیوارها

مشخصات	طبقه ۴	طبقه ۸	طبقه ۱۲	طبقه ۱۶
$\Delta_{eff}$ (m)	۰/۱۴۱۶	۰/۲۴۱۵	۰/۳۳۶۵	۰/۴۲۹۷
$M_{eff}$ (ton)	۱۵۳/۵۶	۲۷۵/۷	۳۹۱/۰۹	۵۰۳/۱۲
$H_{eff}$ (m)	۹/۳۴	۱۸/۰۸	۲۷	۳۶
$\Delta_y$ (m)	۰/۰۶۴۶	۰/۱۶۳۳	۰/۲۷۳۲	۰/۳۸۸۶
$\mu$	۲/۹	۱/۴۷	۱/۲۳	۱/۱
$\xi_{eff}$ (%)	۱۲/۶۸	۹/۵۸	۷/۶۶	۶/۳۵
$T_{eff}$ (sec)	۱/۲۹	۱/۸	۲/۱۹	۲/۵۲
$K_{eff}$ (ton/m)	۳۶۳/۹۴	۳۳۵/۵۹	۳۲۱/۵۹	۳۱۲/۴۶
$V_{eff}$ (ton)	۵۱/۵۴	۸۱/۰۶	۱۰۸/۲۲	۱۳۴/۳
$M_b$ (ton.m)	۴۸۱/۵۱	۱۴۶۶/۳۴	۲۹۲۱/۷۶	۴۸۳۳/۵۸



شکل ۴: جزئیات طراحی مقطع دیوارهای برشی بتن مسلح با اجزای مرزی فولادی: از بالا به پایین به ترتیب: ۴ طبقه، ۸ طبقه، ۱۲ طبقه و ۱۶ طبقه.

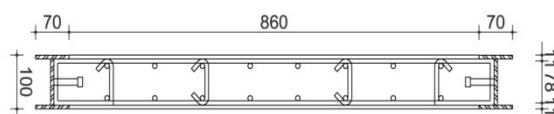


شکل ۵: مدل ماکروی یک طبقه از دیوار برشی بتن مسلح مرکب ویژه با اجزای مرزی فولادی (بدون مقیاس).

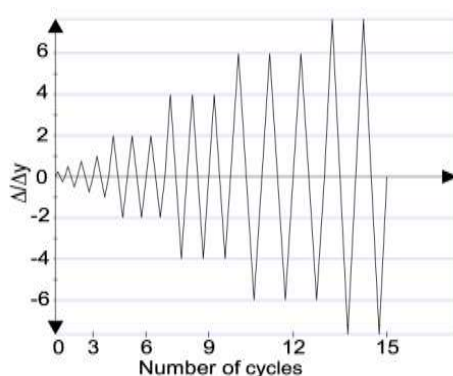
در نرم افزار SeismoStruct [۱۴]، برای دیوارهای برشی بتن مسلح مرکب ویژه با اجزای مرزی فولادی، المان خاصی معرفی نشده و لذا برای مدل سازی این نوع از سیستم سازه ای می بایست رویکرد خاصی را در نظر گرفت. رویکردی که در تحقیق حاضر برای مدل سازی ماکرو (بزرگ مقیاس) این سیستم در نظر گرفته شده از این قرار است که مطابق شکل ۵، ابتدا جان دیوار به صورت یک المان تیرستون معادل غیرالاستیک در محل محور تقارن دیوار و اجزای مرزی فولادی نیز به صورت جداگانه در موقعیت انتهای مقطع دیوار با استفاده از المان های ستون غیرالاستیک تعریف می شوند. سپس به منظور تأمین درگیری بین دیوار بتنی و ستون های مرزی، اجزای مرزی فولادی با استفاده از تعدادی المان پیوندی صلب (در فواصل معینی در ارتفاع دیوار)، به جان دیوار بتنی متصل می شوند.

#### ۵-۲- اعتبارسنجی روش مدل سازی

به منظور اعتبارسنجی مدل سازی عددی از نتایج یک نمونه دیوار برشی بتن مسلح مرکب با اجزای مرزی فولادی که در سال ۲۰۱۱ توسط دان و همکاران [۲] آزمایش شده است، استفاده می شود. در مطالعه آزمایشگاهی مذکور، رفتار سازه ای شش نمونه دیوار برشی بتن مسلح مورد مطالعه قرار گرفته است که یک نمونه از این دیوارها، دیوار برشی بتن مسلح رایج (غیر مرکب) بوده و بقیه نمونه های دیگر مرکب هستند. یک نمونه از این دیوارها تقریباً با دیوارهای برشی بتن مسلح مرکب ویژه با اجزای مرزی فولادی که در این تحقیق مد نظر هستند، مطابقت دارد. لذا به منظور اعتبارسنجی مدل اجزاء محدود از این نمونه آزمایشگاهی (CSRCW5) استفاده می شود. مقطع عرضی این نمونه در شکل ۶ ترسیم شده است. بارگذاری این نمونه از نوع جابجایی-کنترل و طبق الگوی نشان داده شده در شکل ۷ می باشد. با توجه به شکل ۸ که نشان دهنده نمودارهای چرخه ای نیرو-جابجایی مدل های عددی و آزمایشگاهی می باشد، می توان نتیجه گرفت که روش مدل سازی عددی انتخاب شده دارای دقت خوبی در مدل سازی نمونه آزمایشگاهی است.

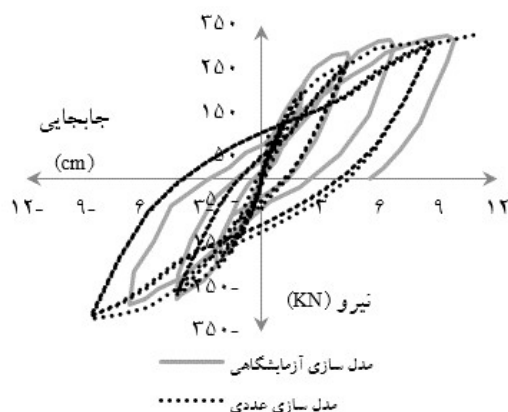


شکل ۶: مقطع عرضی دیوار برشی بتن مسلح مرکب آزمایش شده [۲].



شکل ۷: الگوی بارگذاری چرخه ای [۲].

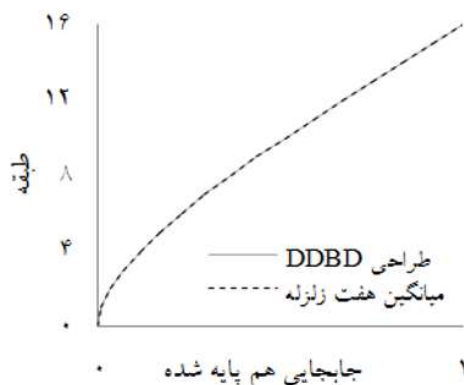




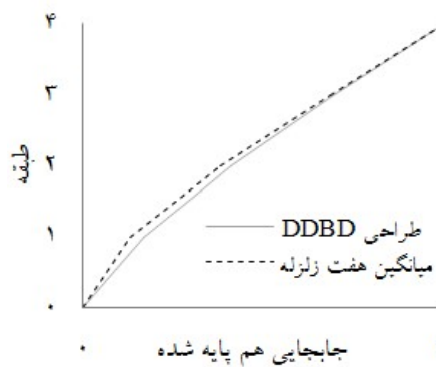
شکل ۸: نمودارهای چرخه‌ای نیرو-جابجایی مدل سازی عددی و نمونه آزمایشگاهی [۲].

### ۳-۵- مدل‌سازی دیوارهای برشی دیوارهای برشی ۴، ۸، ۱۲ و ۱۶ طبقه

در این قسمت، با استفاده از نتایج طراحی به دست آمده در بخش ۴-۴، اقدام به مدل سازی عددی این دیوارها می‌گردد. مدل‌سازی این دیوارها همانند مدل‌سازی عددی نمونه آزمایشگاهی است که در بخش ۵-۲ به منظور اعتبار سنجی نرم‌افزار از آن استفاده شد. به منظور مدل‌سازی بتن از مدل بتن غیرخطی مندرج در [۱۶] و برای مدل‌سازی فولاد تسلیحات قائم و عرضی و همچنین فولاد اجزای مرزی نیز از مدل فولاد منگوتو-پیتو [۱۸] استفاده می‌شود. برای کنترل تشکیل و توزیع مفصل خمیری در سازه‌های مورد بررسی، از معیار کنترل کرنش در مصالح استفاده شده است.



شکل ۱۰: نمودار جابجایی هم‌پایه شده دیوار برشی ۱۶ طبقه.



شکل ۹: نمودار جابجایی هم‌پایه شده دیوار برشی ۴ طبقه.

## ۶- انجام تحلیل‌ها و نتایج

### ۶-۱- ملاحظات تحلیل‌ها

تمامی تحلیل‌های تاریخچه زمانی منطبق بر روش نیومارک با ضرایب بتا برابر با ۰/۲۵ و گاما برابر با ۰/۵ با گام‌های زمانی برابر با ۰/۰۱ ثانیه بوده و از میرایی رایلی استفاده شده است. برای رفتارسنجی دیوارهای مورد بررسی، تمامی دیوارهای برشی بتن مسلح مرکب ویژه با اجزای مرزی فولادی ۴، ۸، ۱۲ و ۱۶ طبقه، هر کدام تحت ۷ شتاب‌نگاشت اصلاح شده مورد تحلیل دینامیکی تاریخچه زمانی قرار گرفتند.

## ۶-۲- نتایج تحلیل‌ها

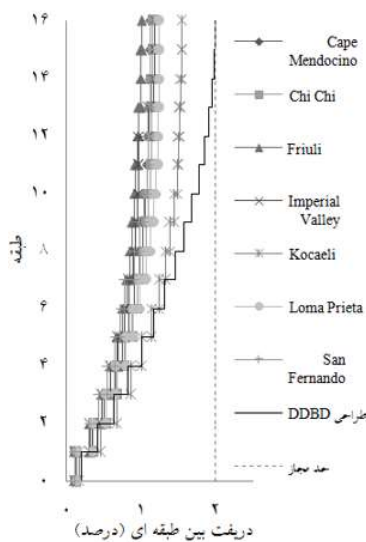
نتایجی که از این تحلیل‌ها به آنها اشاره خواهد شد، شامل نمودار توزیع پروفایل جابجایی همپایه شده، جابجایی نسبی بین طبقه‌ای، برش پایه و نحوه شکل‌گیری مفصل پلاستیک در دیوارهای برشی بتن مسلح مرکب ویژه با اجزای مرزی فولادی است.

## ۶-۲-۱- الگوی توزیع جابجایی همپایه شده

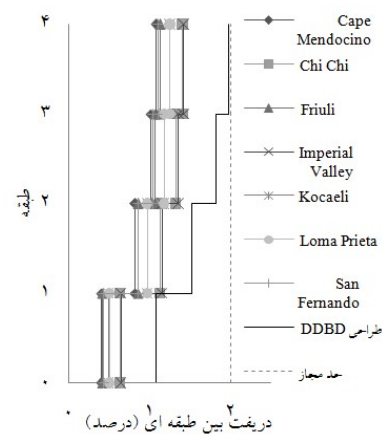
الگوی توزیع جابجایی همپایه شده در واقع نشان‌دهنده فرم تغییرشکل سازه می‌باشد که در آن جابجایی‌ها در تراز طبقات نسبت به بیشترین جابجایی سازه همپایه می‌شوند. نمودارهای جابجایی همپایه شده حاصل از میانگین نتایج ۷ تحلیل تاریخچه زمانی دینامیکی و نمودار مفروض در روش طراحی DDBD (رابطه ۱) در تراز طبقات دیوارهای مورد بررسی ۴ و ۱۶ طبقه به ترتیب در شکل‌های ۹ و ۱۰ ترسیم شده است. با توجه به این نمودارها، ملاحظه می‌گردد که انطباق خوبی بین نتایج حاصل از تحلیل و الگوی توزیع جابجایی مفروض در روش DDBD وجود دارد.

## ۶-۲-۲- جابجایی نسبی بین طبقه‌ای

جابجایی نسبی بین طبقه‌ای در واقع حاصل تفاضل جابجایی طبقه بالاتر و طبقه پایین تر تقسیم بر ارتفاع طبقه می‌باشد. این معیار تعریف شده، معیار خوبی برای مقایسه با دررفت طراحی که برابر با ۰.۲٪ در نظر گرفته شده است می‌باشد. جابجایی نسبی بین طبقه‌ای حاصل از تحلیل تاریخچه زمانی دینامیکی ۷ زلزله اصلاح شده، میانگین آنها و نتایج حاصل از روش طراحی DDBD در تراز طبقات برای دیوارهای ۴ و ۱۶ طبقه به ترتیب در شکل‌های ۱۱ و ۱۲ ترسیم شده است. نمودارهای جابجایی نسبی بین طبقه‌ای همه دیوارها مانند شکل‌های ۱۱ و ۱۲، نشان دهنده‌ی این موضوع هستند که هیچ کدام از سازه‌های ۴، ۸، ۱۲ و ۱۶ طبقه از دررفت مجاز ۰.۲٪ طراحی عبور نکرده و توانسته‌اند این سطح از عملکرد را اقتناع نمایند.



شکل ۱۲: نمودار جابجایی نسبی بین طبقه‌ای دیوار برشی ۱۶ طبقه.



شکل ۱۱: نمودار جابجایی نسبی بین طبقه‌ای دیوار برشی ۴ طبقه.

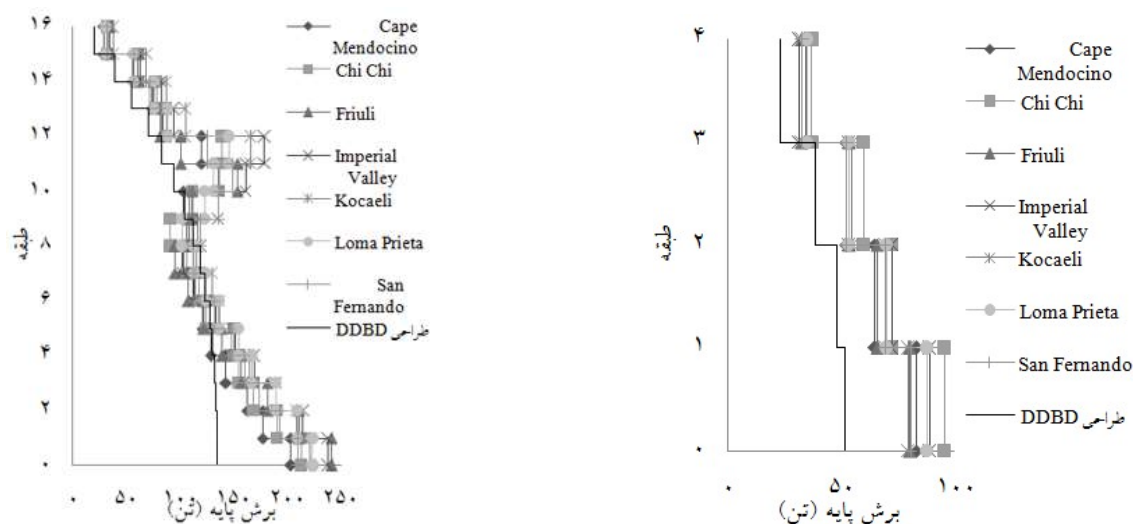
## ۶-۲-۳- برش پایه

برش پایه حاصل از تحلیل تاریخچه زمانی دینامیکی ۷ زلزله اصلاح شده، میانگین آنها و نتایج حاصل از روش طراحی DDBD در تراز طبقات دیوارهای برشی ۴ و ۱۶ طبقه به ترتیب در شکل‌های ۱۳ و ۱۴ نشان داده شده است. نمودارهای برش پایه به نمایش درآمده در شکل‌های ۱۳ و ۱۴ نشان دهنده‌ی این موضوع هستند که ظرفیت برش پایه قابل تحمل به دست آمده از تحلیل‌ها بزرگتر از

برش پایه حاصل از روش DDBD می باشد که در واقع بیانگر اضافه مقاومت ایجاد شده در حین فرایند طراحی دیوارهاست. مقدار اضافه مقاومت برای دیوارهای مورد بررسی ۴، ۸، ۱۲ و ۱۶ طبقه مورد بررسی به ترتیب برابر با ۱/۶۴، ۱/۵۱، ۱/۶۴ و ۱/۶۴ می باشد.

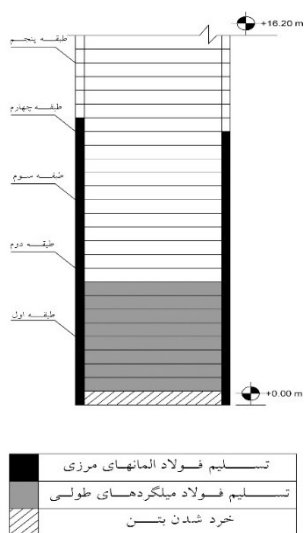
۶-۲-۴- نحوه شکل گیری مفصل پلاستیک

ترتیب شکل گیری مفصل پلاستیک در همه قاب ها به گونه ای بود که ابتدا اجزای مرزی تسلیم شدند، سپس جان دیوار نیز به نقطه تسلیم رسیده و در نهایت بتن پای دیوار خرد شد اما شکستی در اجزای مرزی و میلگردهای طولی مشاهده نشد. شکل ۱۵، نشان دهنده ی مفصل پلاستیک ایجاد شده در بحرانی ترین حالت، در دیوار برشی ۱۶ طبقه می باشد.



شکل ۱۴: نمودار توزیع برش پایه دیوار برشی ۱۶ طبقه.

شکل ۱۳: نمودار توزیع برش پایه دیوار برشی ۴ طبقه.



شکل ۱۵: نحوه توزیع خرابی در قاب ۱۶ طبقه.

## ۷- نتیجه گیری

اهم نتایج تحلیل‌ها که در برگیرنده‌ی جابجایی همپایه شده، جابجایی نسبی بین طبقه‌ای، برش پایه و نحوه تشکیل مفصل پلاستیک در دیوارها هستند عبارتند از:

- ۱- فرم تغییرشکل حاصل از تحلیل دیوارها انطباق خوبی با رابطه طراحی روش DDBD داشته و این انطباق با افزایش تعداد طبقات بهبود یافته است. بنابراین، می‌توان نتیجه گرفت که رابطه روش طراحی DDBD، فرم تغییرشکل دیوارهای مرکب مورد مطالعه در این پژوهش را به خصوص در سازه‌های بلندمرتبه به خوبی پیش‌بینی می‌کند.
  - ۲- نتایج بدست آمده نشان‌دهنده‌ی قابلیت روش DDBD در اقصای سطح عملکردی متناظر با دریفت ۲٪ و صلاحیت این روش به عنوان یک روش طراحی بر مبنای عملکرد برای دیوارهای برشی مرکب مورد مطالعه در این پژوهش می‌باشد.
  - ۳- برش پایه به دست آمده از تحلیل قاب‌ها بیانگر این موضوع است که به دلیل اضافه مقاومت تولید شده در حین فرآیند طراحی، برش پایه واقعی سازه‌های مورد بررسی، بزرگتر از برش پایه حاصل از روش DDBD می‌باشد. طبق نتایج بدست آمده، مقدار اضافه مقاومت متوسط دیوارهای مورد بررسی در این پژوهش برابر با ۱/۶۰ محاسبه شد.
  - ۴- نحوه تشکیل مفصل پلاستیک در قاب‌های مورد مطالعه به گونه‌ای است که اجزای مرزی فولادی در ابتدا تسلیم شدند، سپس جان دیوار نیز تسلیم شده و بتن در پای دیوار خرد شد. همچنین مفصل پلاستیک فقط در نزدیکی پای دیوارها ایجاد شد که این نحوه تشکیل مفصل پلاستیک، شکل‌پذیری مطلوبی را برای دیوارهای برشی بتن مسلح مرکب ویژه با اجزای مرزی فولادی مورد مطالعه در این پژوهش فراهم نموده است.
- البته شایان ذکر است که نتایج تحقیق حاضر صرفاً مربوط به رفتار دیوارهای برشی مرکب موجود در قاب‌های ساختمانی ساده به عنوان تنها عناصر باربر جانبی می‌باشد و نمی‌توان این نتایج را برای سیستم‌های دوگانه (قاب خمشی به همراه دیوارهای برشی مرکب) تعمیم داد.

## مراجع

- [1] ASCE/SEI 7-10; "Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures", Reston, Virginia, United States, Published by American Society of Civil Engineers, 2010, 608 pages.
- [2] Dan D, Fabian A, Stoian V; "Theoretical and experimental study on composite steel-concrete shear walls with vertical steel encased profiles"; *J. Construct. Steel Res*; 2011, 67:800-13.
- [3] Priestley M.J.N, Calvi G.M, Kowalsky M.J; "Displacement-based Seismic Design of Structures"; Pavia, Italy, IUSS Press, 2007, 721 pages.
- [4] Priestley, M. J.; Amaris, Alejandro D; "Dynamic Amplification of Seismic Moments and Shear Forces in Cantilever Walls"; Pavia, Italy, IUSS Press, 2002, 75 pages.
- [5] Priestley M. J. N and Kowalsky M. J; "Direct displacement-based design of concrete buildings"; *Bull. New Zealand Nat. Soc. Earthq. Engrg.*, 1998, 33(4).
- [6] Tehranizadeh M, Yakhchalian M; "Displacement Based and Consolidated Force/Displacement Based Methods for Seismic Assessment of Steel Moment Resisting Frames"; *Scientia Iranica*, Volume 18, Issue 5, October, Sharif University of Technology, Tehran, Iran, 2011, Pages 1054-1060.
- [7] Malekpour S, Dashti F, Ghaffarzadeh H; "An Investigation on DDBD Approach of Near-Fault RC Frame, RC Wall-Frame and Steel Braced RC Frame Systems"; The Fifteenth World Conference on Earthquake Engineering, Lisbon, Portugal, 2012.
- [8] Lopez R.G; "Development of a Displacement Based Design Method for Steel Frame-RC Wall Buildings"; Pavia, Italy, ROSE SCHOOL, IUSS Press, 2007, 46 pages.
- [9] Sullivan T.J, Priestley M.J.N and Calvi G.M; "Seismic Design of Frame-Wall Structures"; Pavia, Italy, IUSS Press, ROSE SCHOOL, Research Report No. 2006/02, 2006.

[۱۰] وزارت راه و شهرسازی، استاندارد ۸۴-۲۸۰۰، آیین‌نامه طراحی ساختمان‌ها در برابر زلزله، ویرایش سوم، ۱۳۸۹.

- [11] Seissoft, SeismoArtif, "An application capable of generating artificial earthquake accelerograms matched to a specific target response spectrum using different calculation methods and varied assumptions", Available Online at <http://www.seissoft.com>, 2012.
- [12] MacGregor J.G and White J.K; "Reinforced Concrete, Mechanics and Design", 6th Edition; New Jersey, USA, Pearson Education,

Inc., 2012, 1176 pages.

[13] Seismosoft, SeismoStruct, "A computer program for static and dynamic nonlinear analysis of framed structures", Available Online at <http://www.seismosoft.com>, 2013.

[14] Martinelli P and Filippou F; "Simulation of the Shaking Table Test of a Seven-Story Shear Wall Building"; *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 2009, 38, 587-607.

[۱۵] شابدین م، سلطانی محمدی م، "ارزیابی روش طراحی مستقیم بر اساس تغییر مکان در طرح لرزه‌ای دیوارهای برشی بتن مسلح"، تهران، ایران، مجله علمی پژوهشی مهندسی عمران شریف، دوره‌ی ۲۸-۲ شماره‌ی ۴، ۱۳۹۱، ص. ۲۵-۳۸.

[16] Mander J.B, Priestley M.J.N, Park R; "Theoretical Stress-Strain Model for Confined Concrete"; *Journal of Structural Engineering*, Vol.114, No.8, 1988, pp.1804-1826.

[17] Menegotto M and Pinto P.E; "Method of Analysis for Cyclically Loaded R.C. Plane Frames Including Changes in Geometry and non-elastic Behavior of elements under combined normal force and bending Symposium on the Resistance and Ultimate Deformability of Structures Acted on by Well Defined Repeated Loads"; Zurich, Switzerland, International Association for Bridge and Structural Engineering, 1973, pp.15-22.