طراحی مستقیم دیوارهای برشی بتن‌آرمه کامپوزیت با المان‌های مرزی فولادی بر مبنای تغییرمکان

امین محب‌خواه
استادیار مهندسی عمران- سازه، دانشکده عمران و معماری، دانشگاه ملایر، ملایر، ایران
amoheb@malayeru.ac.ir

حسین کاظمی
کارشناس ارشد مهندسی عمران- سازه، دانشکده عمران و معماری، دانشگاه ملایر، ملایر، ایران
hossein9568@gmail.com

کلید واژه‌ها: *روش طراحی مستقیم بر مبنای جابجایی، قاب فولادی ساده، دیوار برشی بتنی، رفتار لرزه‌ای، تحلیل دینامیکی غیرخطی*

چکیده

یکی از سیستم‌های مقاوم که در مناطق لرزه‌خیز به کار برده می‌شوند، دیوارهای برشی بتن‌آرمه کامپوزیت ویژه با المان‌های مرزی فولادی می‌باشند که به دلیل دارا بودن شکل‌پذیری و قابلیت جذب و استهلاک انرژی بیشتر نسبت به دیوارهای برشی بتن مسلح رایج، در سال های 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 که بر مبنای روش مستقیم بر مبنای تغییرمکان طراحی شده‌اند پرداخته می‌شود. بدین منظور ابتدا تعداد ۴ دیوار برشی بتن-آرمه کامپوزیت ویژه با المان‌های مرزی فولادی با تعداد طبقات ۴ ،۸ ، ۱۲و ۱۶ با استفاده از روش طراحی مستقیم بر اساس تغییرمکان برای یک سطح عملکرد مشخص، طراحی شده و سپس مورد تحلیل‌های تاریخچه زمانی دینامیکی غیرخطی قرار می‌گیرند. نتایج بدست آمده نشان می‌دهد که دیوارهای برشی کامپوزیت طراحی شده در این تحقیق به روش طراحی مستقیم بر مبنای تغییرمکان، می‌توانند به خوبی سطح عملکرد مورد نظر را به لحاظ کنترل تغییرمکان نسبی بین طبقه‌ای ارضاء نمایند.

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 قاب‌های خمشی فولادی از شکل‌پذیری کمتری برخوردار بوده و استهلاک انرژی در آن‌ها کمتر است. به همین منظور محقّقین به دنبال روش‌هایی بوده‌اند که رفتار این سیستم‌ها را بهبود بخشیده و نواقص آن‌ها را برطرف کنند. استفاده از المان‌های مرزی در دیوار های برشی بتن مسلح ویژه، یکی از این روش‌های پیشنهادی برای افزایش شکل‌پذیری و قابلیت جذب و استهلاک انرژی آنها می باشد. دیوار برشی بتنی که در آن به جای المان‌های مرزی بتنی از پروفیل‌های فولادی استفاده شود، سیستم دیوار برشی بتنی کامپوزیت نامیده می‌شود. در مطالعات انجام گرفته در زمینه دیوارهای برشی بتن مسلح کامپوزیت، برتری‌هایی از قبیل افزایش شکل‌پذیری و بهبود قابلیت جذب و استهلاک انرژی نسبت به دیوارهای برشی بتن مسلح ویژه رایج مشاهده شده است (Dan et al., 2011).

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 (Priestley et al., 2007). این روش طراحی بر مبنای تغییرمکان در طی بیست سال گذشته برای سیستم‌های سازه‌ای مختلفی از قبیل دیوارهای برشی بتنی مسلح Mesa (2002) ، قاب‌های خمشی بتنی Priestley and Kowalsky (2000) و فولادی Tehranizadeh and Yakhchalian (2011) ، سیستم دوگانه قاب بتنی- دیوار بتنی (Malekpour et al.,2012) و سیستم دوگانه قاب فولادی- دیوار بتنی (Sullivan et al., 2006), Lopez (2007) توسعه یافته و صحّت و سُقم آن بوسیله‌ی تحلیل‌های دینامیکی غیرخطی بررسی شده است که اکثر آنها حکایت از موفقیّت روش مذکور در ارضای سطوح عملکرد طراحی موردنظر دارند.

هدف از این تحقیق، ارزیابی روش طراحی مستقیم بر اساس تغییرمکان در حیطه کنترل جابجایی نسبی بین طبقه‌ای و تخمین برش پایه‌ی دیوارهای برشی بتن مسلح کامپوزیت ویژه با المان های مرزی فولادی است. بدین منظور تعدادی دیوار برشی با تعداد طبقات متفاوت با استفاده از این روش طراحی شده و سپس با استفاده از شتاب‌نگاشت‌های اصلاح‌شده مختلف تحت تحلیل‌های دینامیکی تاریخچه زمانی غیر خطی قرار می‌گیرند. در نهایت، با توجه به نتایج تحلیل‌ها و مقایسه‌ی آن‌ها با نتایج طراحی بر اساس روش طراحی مستقیم بر مبنای تغییرمکان ، دقت این روش در پیش‌بینی پارامترهای طراحی مورد ارزیابی قرار خواهد گرفت.

روش طراحی مستقیم بر اساس تغییرمکان

معرفی روش طراحی مستقیم بر اساس تغییرمکان

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 به‌جای سیستم سازه‌ای موردنظر و به دست آوردن پارامترهای مربوط به آن (سختی کاهش‌یافته و میرایی هیسترزیس)، نیروی برش پایه طراحی نظیر سطح عملکرد مورد نظر با فرض رفتار غیرخطی سازه تخمین زده می‌شود. سپس، برش‌پایه طراحی به دست آمده در سازه اصلی توزیع شده و تحلیل سازه انجام می‌گردد. این روش در ابتدا برای سازه‌های با دیوار برشی بتنی پیشنهاد داده شده است.

روند طراحی مستقیم بر اساس تغییرمکان برای دیوارهای برشی بتن مسلح

نخستین گامی که می‌بایست در طراحی مستقیم بر مبنای جابجایی برداشت، محاسبه پروفیل (الگوی) جابجایی طراحی 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 (Priestley et al., 2007).

$$\Delta_i = \frac{\varepsilon_y}{l_w} H_i^2 \left(1 - \frac{H_i}{3H_n}\right) + \left(-\frac{\varepsilon_y H_n}{l_w}\right) H_i \qquad (1)$$

با توجه به توزیع جابجایی‌ها در ارتفاع، جابجایی معادل سازه یک درجه آزادی با استفاده از رابطه (۲) محاسبه می‌شود.

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

در گام بعد، باید جرم مؤثر و ارتفاع مؤثر که نماینده جرم وارتفاع سازه معادل یک درجه آزادی هستند با توجه به روابط (۳) و (۴) محاسبه شوند.

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

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

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

$$\Delta_y = \frac{\varepsilon_y}{l_w} H_{eff}^2 \left(1 - \frac{H_{eff}}{3H_n}\right) \qquad (5)$$

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

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

$$¶_{eff} = ۰/۰۵ + ۰/۴۴۴(\frac{« - ۱}{«®})$$ (۷)

اکنون می‌بایست با استفاده از طیف پاسخ جابجایی پلاستیک که تأثیر میرایی مؤثر در آن لحاظ شده است، پریود موثر سازه به دست آورده شود. سپس با توجه به جرم مؤثر و پریود مؤثر و استفاده از رابطه (۸) ، سختی سازه معادل به دست آمده و به کمک رابطه (۹) نیروی برش‌پایه به وجود آمده در پای دیوار محاسبه می‌شود.

$$K_{eff} = \frac{۴®^{۲} M_{eff}}{T^{۲}}$$ (۸)

$$V_{eff} = K_{eff} \Delta_{eff}$$ (۹)

حال می‌بایست این برش‌پایه توسط رابطه (۱۰) در تراز طبقات پخش شود.

$$F_i = \frac{V_{eff}(m_i \Delta_i)}{\sum m_i \Delta_i}$$ (۱۰)

طراحی سازه‌های مورد بررسی

در این تحقیق از چهار دیوار برشی بتن مسلح کامپوزیت ویژه با المان‌های مرزی فولادی با تعداد طبقات مختلف استفاده شده است. این دیوار ها به ترتیب دارای ۴، ۸، ۱۲ و ۱۶ طبقه (هر طبقه به ارتفاع ۳ متر) هستند. تمامی دیوارها دارای توزیع جرم و بارهای ثقلی یکسانی در طبقات مختلف‌اند. مقدار بار ثقلی هر یک از طبقات نیز برابر ۵۰ تن در نظر گرفته شده است. این دیوارها با استفاده از روش طراحی مستقیم بر مبنای جابجایی برای تغییرمکان نسبی (دریفت) ۲٪ طراحی شده‌اند. محل مورد نظر دارای پهنه با خطر نسبی لرزه خیزی بسیار زیاد و نوع خاک آن مطابق با خاک نوع II استاندارد ۲۸۰۰ (۱۳۸۹) در نظر گرفته شده است.

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 سانیمتر مربع و فولاد میلگردهای مورد استفاده از جنس AIII با مقاومت ۴۰۰۰ کیلوگرم بر سانتیمتر مربع فرض شده است. همچنین فولاد المان‌های 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 ۲-۲، اقدام به محاسبه مشخصات سیستم‌های یک درجه آزادی معادل برای دیوارهای برشی بتن مسلح کامپوزیت ویژه باالمان‌های مرزی فولادی می‌شود. نتایج محاسبات همه دیوارهای برشی بتن مسلح کامپوزیت ویژه بر اساس تغییرمکان در جدول ۱ ارائه داده شده است.

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

پس از دستیابی به برش‌پایه طراحی و پخش نیروهای طراحی با استفاده از رابطه (۱۰) در تراز طبقات، لنگر پایه‌ی طراحی دیوارها به دست می‌آید که نتایج آن در جدول ۱ نشان داده شده است. با استفاده از برش‌پایه طراحی و لنگرپایه‌ی طراحی دیوارها، اقدام به طراحی مقطع دیوارهای برشی بتن مسلح کامپوزیت ویژه با المان‌های مرزی فولادی می‌شود. برای طراحی المان‌های مرزی 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. پلان جزئیات مقطع دیوار برشی ۴ طبقه در شکل ۱ به نمایش در آمده است.

نحوه مدل‌سازی و اعتبارسنجی

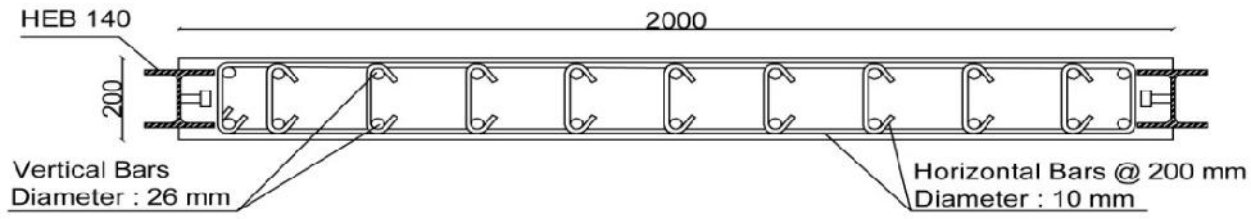
روش مدل‌سازی دیوار برشی بتن‌آرمه کامپوزیت ویژه با المان‌های مرزی فولادی

به منظور مدل‌سازی عددی دیوار برشی بتن مسلح کامپوزیت ویژه با المان‌های مرزی فولادی، از نرم‌افزار Seismostruct (Seismosoft, 2012) استفاده شده است. المان ارائه شده برای دیوار برشی بتن مسلح در این نرم‌افزار از نوع المان تیرستون رشته‌ای می‌باشد. 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.

لذا با انتخاب نسبت ارتفاع به طول دیوار بزرگتر از ۳، می توان دیوار را به گونه‌ای طراحی نمود که شکست خمشی دیوار بر شکست برشی آن غالب شود.

جدول ۱: مشخصات سیستم یک درجه آزادی معادل برای دیوارها

مشخّصات	تعریف	۴ طبقه	۸ طبقه	۱۲ طبقه	۱۶ طبقه
Δ_{eff} (m)	جابجایی مؤثر	۰/۱۴۱۶	۰/۲۴۱۵	۰/۳۳۶۵	۰/۴۲۹۷
M_{eff} (ton)	جرم مؤثر	۱۵۳/۵۶	۲۷۵/۷	۳۹۱/۰۹	۵۰۳/۱۲
H_{eff} (m)	ارتفاع مؤثر	۹/۳۴	۱۸/۰۸	۲۷	۳۶
Δ_y (m)	جابجایی تسلیم	۰/۰۶۴۶	۰/۱۶۳۳	۰/۲۷۳۲	۰/۳۸۸۶
μ	شکل‌پذیری	۲/۹	۱/۴۷	۱/۲۳	۱/۱
ξ_{eff} (%)	میرایی مؤثر	۱۲/۶۸	۹/۵۸	۷/۶۶	۶/۳۵
T_{eff} (sec)	پریود مؤثر	۱/۲۹	۱/۸	۲/۱۹	۲/۵۲
K_{eff} (ton/m)	سختی مؤثر	۳۶۳/۹۴	۳۳۵/۵۹	۳۲۱/۵۹	۳۱۲/۴۶
V_{eff} (ton)	برش‌پایه مؤثر	۵۱/۵۴	۸۱/۰۶	۱۰۸/۲۲	۱۳۴/۳
M_b (ton.m)	لنگر خمشی	۴۸۱/۵۱	۱۴۶۶/۳۴	۲۹۲۱/۷۶	۴۸۳۳/۵۸



شکل ۱: جزئیات مقطع دیوار برشی بتن مسلح با المان‌های مرزی فولادی۴ طبقه

در نرم‌افزار Seismostruct ، برای دیوارهای برشی بتن مسلح کامپوزیت ویژه با المان های مرزی فولادی المان خاصی معرفی نشده و لذا برای مدل‌سازی این نوع از سیستم سازه‌ای 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 ابتدا جان دیوار به صورت یک المان تیرستون معادل غیرالاستیک در محل محور تقارن دیوار و المان‌های مرزی فولادی نیز به صورت جداگانه در موقعیت انتهای مقطع دیوار با استفاده از المان‌های ستون غیرالاستیک تعریف می‌شوند. سپس به منظور تأمین درگیری بین دیوار بتنی و ستونهای مرزی، المان‌های مرزی فولادی با استفاده از چند المان پیوندی صلب مجزا (بازوهای ارتباطی) به المان تیرستون معادل دیوار متصل می‌شوند.

اعتبارسنجی روش مدل‌سازی

به منظور اعتبارسنجی مدل‌سازی عددی از نتایج یک نمونه آزمایشگاهی دیوار برشی بتن مسلح کامپوزیت با المان‌های مرزی فولادی که در سال ۲۰۱۱ توسط دان و همکاران (Dan et al., 2011) به انجام رسیده است، استفاده می‌شود. در این مطالعه ، شش نمونه دیوار برشی بتن مسلح آزمایش شده است که یک نمونه از آنها، دیوار برشی بتن مسلح رایج (غیر کامپوزیت) بوده و بقیه نمونه‌های دیگر کامپوزیت هستند. یک نمونه از این دیوارها تقریبا با دیوارهای برشی بتن مسلح کامپوزیت ویژه با المان‌های مرزی فولادی که در این تحقیق مد نظر هستند، مطابقت دارد. لذا به منظور اعتبارسنجی مدل اجزاء محدود پیشنهادی در بخش ۴-۱، از نتایج این نمونه آزمایشگاهی (CSRCW5) استفاده می‌شود. مقطع عرضی این نمونه در شکل ۲ نشان داده شده است. با توجه به شکل ۳ که نشان دهنده‌ی نمودارهای چرخه‌ای نیرو- جابجایی مدل‌های عددی و آزمایشگاهی می‌باشد، می‌توان نتیجه گرفت که روش مدل‌سازی عددی انتخاب شده دارای دقّت خوبی در مدل‌سازی نمونه آزمایشگاهی است.

مدل‌سازی دیوارهای برشی دیوارهای برشی ۴ ، ۸ ، ۱۲ و ۱۶ طبقه

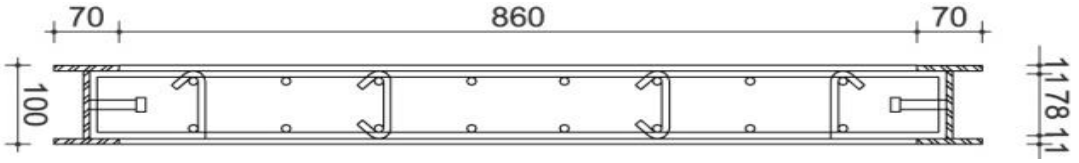
در این قسمت، با استفاده از نتایج طراحی به دست آمده در بخش ۳-۲، اقدام به مدل سازی عددی این دیوارها می‌گردد. مدل‌سازی دیوارها همانند مدل‌سازی عددی نمونه آزمایشگاهی است که در بخش ۴-۲ به منظور اعتبار سنجی نرم‌افزار از آن استفاده شد. به منظور مدل‌سازی

بتن از مدل بتن غیرخطی مندر و مدل‌سازی فولاد تسلیحات قائم و عرضی و همچنین فولاد المان‌های مرزی نیز از مدل فولاد منگوتو- پینتو استفاده می‌گردد.

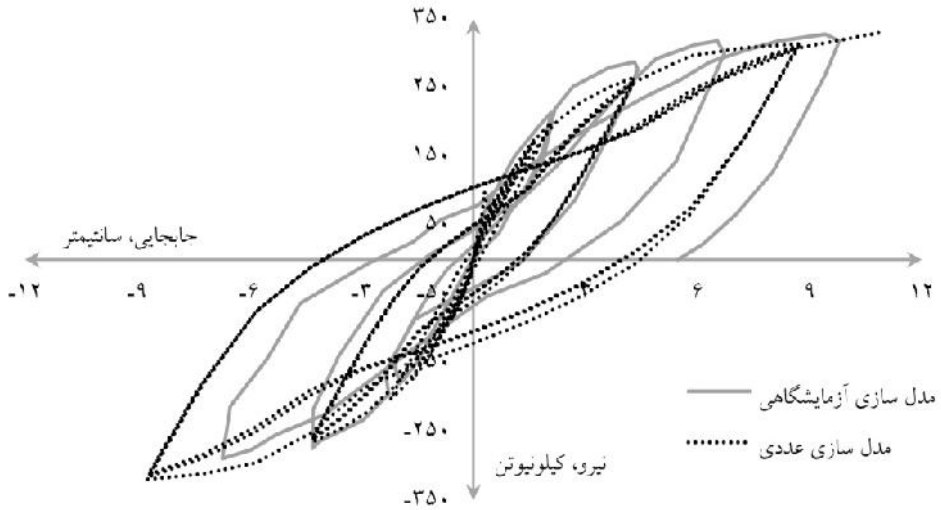
تحلیل تاریخچه زمانی دیوارهای مورد بررسی

شتابنگاشت‌های انتخابی

از آنجا که طراحی انجام شده در بخش ۳ بر اساس طیف خاک نوع II استاندارد ۲۸۰۰ (۱۳۸۹) می‌باشد، لذا برای ارزیابی لرزه‌ای سازه‌ها، زلزله‌هایی که انتخاب می‌گردند 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 استاندارد ۲۸۰۰ (۱۳۸۹) باشد. برای این که این زلزله‌ها با طیف استاندارد ۲۸۰۰ (۱۳۸۹) مطابقت داشته باشند، از نرم افزار Seismoartif (Seismosoft, 2012) به منظور اصلاح زلزله‌ها استفاده شده است. نحوه اصلاح زلزله‌ها بدین گونه است که ابتدا زلزله‌ای که می‌بایست اصلاح شود، به نرم افزار معرفی می‌شوند. سپس نرم‌افزار با استفاده از طیف پاسخ شتاب هدف که در واقع طیف استاندارد ۲۸۰۰ (۱۳۸۹) می‌باشد، زلزله را به نحوی اصلاح می‌کند که طیف پاسخ شتاب حاصل از زلزله اصلاح شده بر طیف پاسخ شتاب استاندارد ۲۸۰۰ (۱۳۸۹) منطبق گردد. لازم به ذکر است که تمامی شتاب‌نگاشت‌ها به بیشینه‌ی شتاب زمین برابر با ۰/۳۵ شتاب ثقلی زمین همپایه شده‌اند. شکل ۴، طیف‌های شتاب متناظر با شتاب‌نگاشت‌های مورد استفاده اصلاح شده به همراه طیف استاندارد ۲۸۰۰ (۱۳۸۹) را نشان می‌دهد.

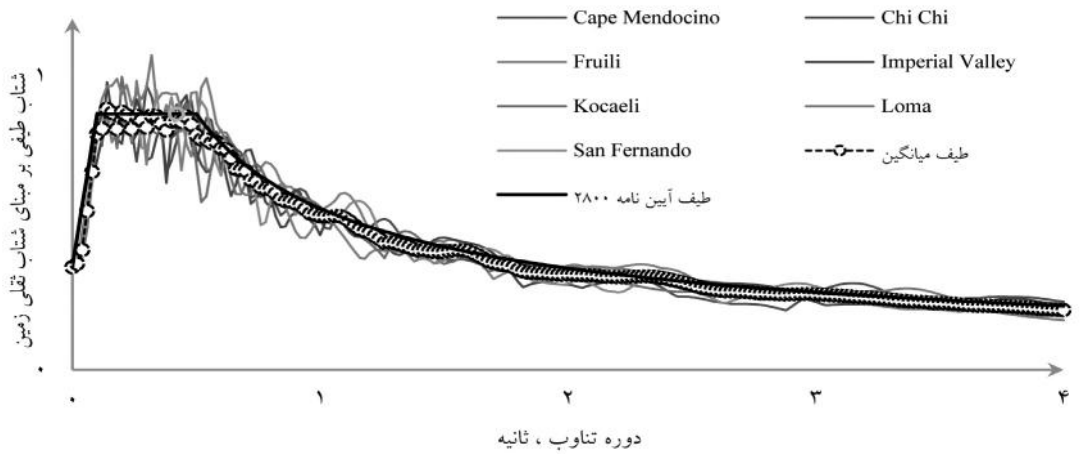


شکل ۲: مقطع عرضی دیوار برشی بتن مسلح کامپوزیت آزمایش شده (Dan et al., 2011)



شکل ۳: نمودارهای چرخه‌ای نیرو- جابجایی مدل سازی عددی و نمونه آزمایشگاهی (Dan et al., 2011)

همان‌گونه که در شکل ۴ مشخص است، طیف میانگین ۷ شتاب‌نگاشت انتخابی اصلاح شده، کمی پایین‌تر از طیف استاندارد ۲۸۰۰ قرار گرفته است؛ درصورتی که استاندارد ۲۸۰۰ (۱۳۸۹) صراحتاً اعلام می‌دارد که طیف میانگین شتاب‌نگاشت‌هایی که قرار است جهت تحلیل دینامیکی قرار بگیرند، باید در محدوده ۰/۲ تا ۱/۵ برابر پریود اصلی سازه، بالاتر از طیف استاندارد ۲۸۰۰ (۱۳۸۹) 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، طیف میانگین بالاتر از طیف استاندارد ۲۸۰۰ (۱۳۸۹) قرار می‌گیرد. با انجام این اصلاح، می‌بایست کلیه شتاب‌نگاشت‌ها نیز اصلاح گردند. یعنی شتاب‌نگاشت ها دوباره باید بر مبنای بیشینه شتاب زمین اصلاح‌شده که برابر با ضرب ضریب ۱/۱ در حداکثر شتاب زمین یعنی ۰/۳۵ است، اصلاح گردند. این بیشینه برابر با ۰/۳۸۵ شتاب ثقلی زمین است.



شکل ۴ : طیف‌های تغییر مکان ۷ شتاب‌نگاشت اصلاح‌شده در مقایسه با طیف استاندارد ۲۸۰۰ (۱۳۸۹) برای خاک نوع II

نتایج تحلیل‌ها

تمامی تحلیل‌های تاریخچه‌زمانی 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 کامپوزیت ویژه با المان‌های مرزی فولادی۴ ، ۸ ، ۱۲ و ۱۶ طبقه، هر کدام تحت ۷ شتاب‌نگاشت اصلاح شده تحت تحلیل دینامیکی تاریخچه زمانی قرار گرفتند. نتایجی که به آنها اشاره خواهد شد، شامل نمودار توزیع پروفایل جابجایی همپایه شده، جابجایی نسبی بین طبقه‌ای و برش‌پایه دیوارهای مورد بررسی است.

الگوی توزیع جابجایی همپایه شده

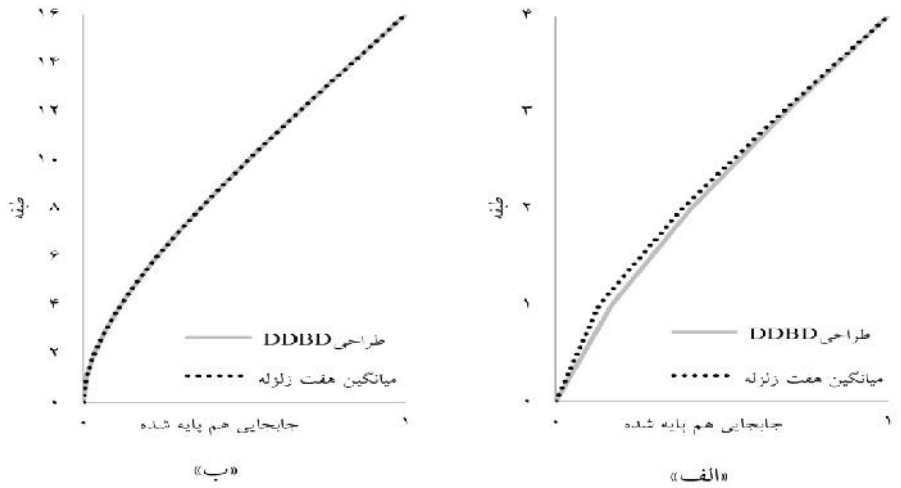
الگوی توزیع جابجایی همپایه شده در واقع نشان‌دهنده فرم تغییرشکل سازه می‌باشد که در آن جابجایی‌ها در تراز طبقات نسبت به بیشترین جابجایی سازه همپایه شده است. نمودارهای جابجایی همپایه شده حاصل از میانگین نتایج ۷ تحلیل تاریخچه زمانی دینامیکی و نمودار مفروض در روش طراحی DDBD (رابطه ۱) در تراز طبقات دیوارهای مورد بررسی ۴ و ۱۶ طبقه در شکل ۵ نشان داده 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.

جابجایی نسبی بین طبقه‌ای

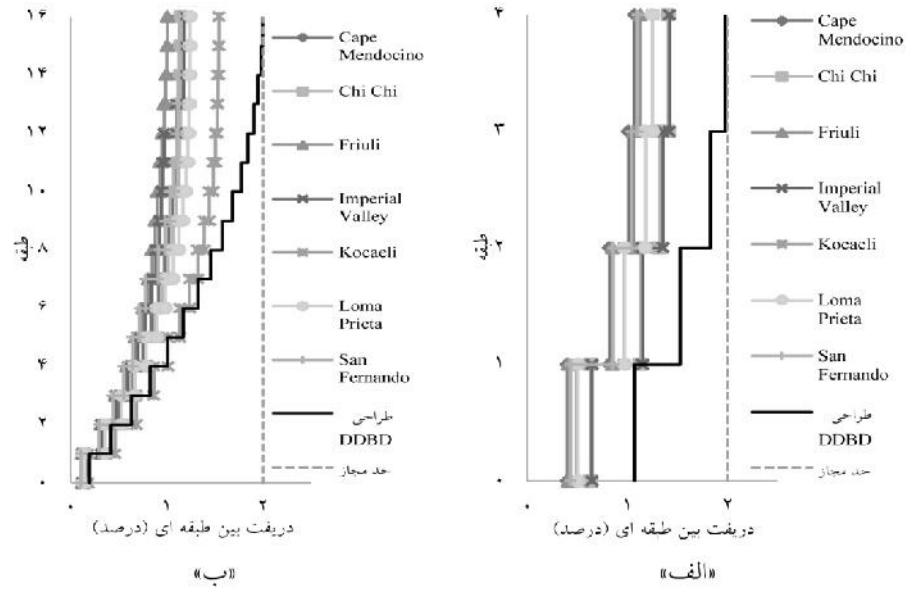
جابجایی نسبی بین طبقه‌ای در واقع نسبت جابجایی نسبی نقاط فوقانی و تحتانی هر طبقه به ارتفاع همان طبقه می‌باشد. این معیار تعریف شده، معیار خوبی برای مقایسه با دریفت طراحی که برابر با ۲٪ در نظر گرفته شده است می‌باشد. جابجایی نسبی بین طبقه‌ای حاصل از تحلیل تاریخچه زمانی دینامیکی ۷ زلزله اصلاح شده، میانگین آنها و نتایج حاصل از روش طراحی DDBD در تراز طبقات برای دیوارهای ۴ و ۱۶ طبقه در شکل ۶ به نمایش درآمده است. نمودارهای جابجایی نسبی بین طبقه‌ای همه دیوارها مانند شکل ۶ ، نشان دهنده‌ی این موضوع هستند که هیچ کدام از سازه‌های ۴ ، ۸ ، ۱۲ و ۱۶ طبقه از دریفت مجاز ۲٪ طراحی عبور نکرده و توانسته‌اند این سطح از عملکرد را اقناع نمایند.

برش پایه

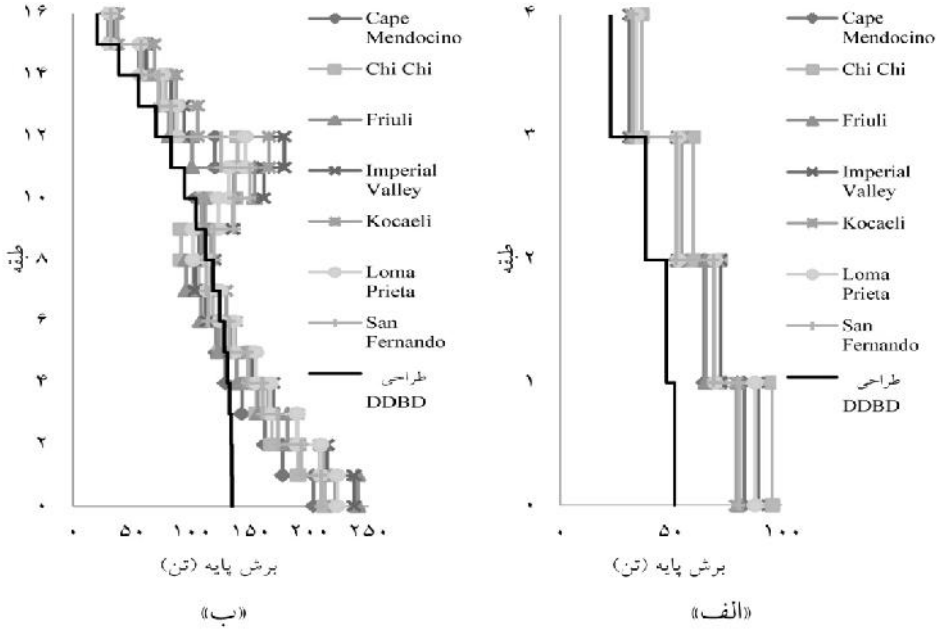
برش پایه حاصل از تحلیل تاریخچه زمانی دینامیکی ۷ زلزله اصلاح شده، میانگین آنها و نتایج حاصل از روش طراحی DDBD در تراز طبقات دیوارهای برشی ۴ و ۱۶ طبقه در شکل ۷ نمایش داده شده است. نمودارهای برش پایه به نمایش در آمده در شکل ۷ نشان دهنده‌ی این موضوع هستند که برش پایه واقعی به دست آمده از تحلیل‌ها بزرگتر از برش‌پایه حاصل از روشDDBD می‌باشد 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 می‌باشد.



شکل ۵: نمودار جابجایی همپایه شده دیوار برشی؛ (الف)۴ طبقه (ب)۱۶ طبقه



شکل ۶: نمودار جابجایی نسبی بین طبقه‌ای دیوار برشی ؛ (الف)۴ طبقه (ب)۱۶ طبقه



شکل ۷: نمودار توزیع برش پایه دیوار برشی ؛ (الف)۴ طبقه (ب)۱۶ طبقه

نتیجه‌گیری

نتایج تحلیل‌ها که در برگیرنده‌ی جابجایی همپایه شده، جابجایی نسبی بین‌طبقه‌ای و برش پایه در دیوارها هستند عبارتند از :

۱- فرم تغییرشکل قاب‌های تحلیل شده دارای انطباق خوبی با نتایج حاصل از طراحی روش DDBD بوده و این انطباق با افزایش تعداد طبقات بهبود یافته است.

۲- نتایج بدست آمده نشان‌دهنده‌ی صحّت این روش در اقناع سطح عملکردی متناظر با دریفت ۲٪ و صلاحیّت آن به عنوان یک روش جایگزین برای تحلیل دینامیکی در حیطه کنترل جابجایی نسبی بین طبقه‌ای برای قاب‌های 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، برش‌پایه واقعی سازه‌های مورد بررسی، بزرگتر از برش‌پایه حاصل از روش DDBD می‌باشد.

مراجع

مجموعه استانداردها و آیین‌نامه‌های ساختمانی ایران (۱۳۸۹)، استاندارد ۸۴-۲۸۰۰، آیین‌نامه طراحی ساختمان‌ها در برابر زلزله، ویرایش سوم، کمیته دائمی بازنگری آیین‌نامه طراحی ساختمان‌ها در برابر زلزله، مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، وزارت مسکن و شهرسازی، تهران، ایران

Dan D, Fabian A and Stoian V (2011) Theoretical and experimental study on composite steel–concrete shear walls with vertical steel encased profiles, *J. Construct. Steel Res*, 67:800–13

Lopez RG (2007) Development of a Displacement Based Design Method for Steel Frame-RC Wall Buildings .ROSE SCHOOL, IUSS Press, Pavia, Italy

Malekpour S, Dashti F and Ghaffarzadeh H (2012) An Investigation on DDBD Approach of Near-Fault RC Frame, RC Wall-Frame and Steel Braced RC Frame Systems. *The Fiftheenth World Conference on Earthquake Engineering*, Lisbon, Portugal

Mesa ADA (2002) Dynamic Amplification of Seismic Moments and Shear Forces in Cantilever Walls, IUSS Press, Pavia, Italy

Priestley MJN and Kowalsky MJ (2000) Direct displacement-based design of concrete buildings, *Bull.New Zealand Nat. Soc. Earthq.Engrg*. 33(4)

Priestley MJN, Calvi GM and Kowalsky MJ (2007) Displacement-based Seismic Design of Structures, IUSS Press, Pavia, Italy

Seismosoft (2012) 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.seismosoft.com*

Seismosoft (2013) SeismoStruct, a Computer Program for Static and Dynamic Nonlinear Analysis of Framed Structures, *Available Online at http://www.seismosoft.com*

Sullivan TJ, Priestley MJN and Calvi G.M (2006) Seismic Design of Frame-Wall Structures. ROSE Research Report No. 2006/02, IUSS Press, Pavia

Tehranizadeh M and Yakhchalian M (2011) Displacement based and consolidates force/displacement based methods for seismic assessment of steel moment resisting frames. *Scientia Iranica, Volume 18, Issue 5, October*, Pages 1054–1060, Sharif University of Technology, Tehran, Iran