

Effect of foundation rigidity of reinforced concrete MRF-wall on lateral force and drift

تأثیر سختی فونداسیون سیستم دوگانه قاب خمشی و دیوار برشی بتنی بر تغییرات نیروی جانبی و تغییر مکان نسبی

Iman Hakamian

M.Sc., School of Civil Engineering, Iran University of Science and Technology, Tehran, Iran

ایمان حکمیان

کارشناس ارشد، گروه مهندسی عمران، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه علم و صنعت، تهران، ایران

*Corresponding author's email address:

imanhakamian@alumni.iust.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۷/۱۳، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۹/۱۱

How to cite this article:

Iman Hakamian, Effect of foundation rigidity of reinforced concrete MRF-wall on lateral force and drift, *Journal of Engineering and Construction Management (JECM)*, 2025; 9(2): 33-40.

ارجاع به مقاله:

ایمان حکمیان، تأثیر سختی فونداسیون سیستم دوگانه قاب خمشی و دیوار برشی بتنی بر تغییرات نیروی جانبی و تغییر مکان نسبی، مهندسی و مدیریت ساخت، ۱۴۰۳، ۹ (۲): ۳۳-۴۰.

Abstract

This study investigates the lateral force distribution and structural drift of moment frames and shear walls under different ground motions with different magnitude. In order to investigation of seismic behavior of concrete structures with dual system including concrete moment resisting frame and concrete shear wall, three 3D 5-story, 10-story and 15-story reinforced concrete moment resistant frames with concrete shear wall were evaluated by linear static and spectral analysis. Material behavior is nonlinear and base condition is flexible. The results of lateral force distribution in cases of fix and flexible-based foundation were presented. In addition, the structural story drift for all 3 type of structures were investigated by nonlinear static and spectral analysis. The results illustrated that the foundation flexibility increases lateral forces in columns as compared to shear walls. As well as this, as the stiffness of springs at the bottom level of foundation decreases, story drift of all structures increases.

Keywords

Foundation flexibility, Dual system, Drift

چکیده

در این مطالعه به بررسی تغییرات نیروی برشی در طبقات و تغییر مکان نسبی طبقات در سیستم دوگانه قاب خمشی و دیوار برشی بتنی پرداخته شده است. در مطالعه انجام شده در این مقاله به منظور بررسی رفتار قاب خمشی و دیوار برشی، سه قاب خمشی سه بعدی همراه با دیوار برشی با تعداد طبقات ۵، ۱۰، ۱۵ با رفتار غیرخطی مصالح و خاک زیر سازه در شرایط تکیه‌گاهی انعطاف‌پذیر مدل‌سازی شده و تحت تحلیل استاتیکی خطی و طیفی قرار گرفته‌اند. پس از اعمال بار جانبی زلزله و تحلیل سازه، نتایج به صورت تغییر برش ایجاد شده در دو حالت انعطاف‌پذیر و غیردار ارائه شده است. همچنین جایجایی نسبی طبقات برای سه ساختمان نشان داده شده است. نتایج نشان می‌دهد که با انعطاف‌پذیر شدن فونداسیون نیروی ستون‌ها افزایش می‌یابد. جایجایی نسبی طبقات نیز با کاهش سختی فنرهای زیر فونداسیون جایجایی نسبی طبقات در همه ساختمان‌ها افزایش می‌یابد.

کلمات کلیدی

انعطاف‌پذیری فونداسیون، سیستم دوگانه، تغییر مکان نسبی

خاک و انعطاف‌پذیری فونداسیون امکان‌پذیر نیست. لذا در چند سال اخیر مطالعه و تحقیق در این مورد بسیار گسترش پیدا کرده و نتایج چشمگیری نیز حاصل شده است، ولی هنوز به دلیل فقدان روش‌های مدل‌سازی غیرخطی قابل اطمینان و پارامترهای بی‌شمار تأثیرگذار بر این موضوع هنوز به صورت کاربردی و آیین‌نامه‌ای به کار نمی‌رود [۱].

در دهه‌های اخیر تعدادی مطالعات عددی و آزمایشگاهی به منظور درک اثر اندرکنش خاک و سازه. انعطاف‌پذیری فونداسیون بر روی رفتار لرزه‌ای سازه انجام شده است. چوپرا و یم [۲] پاسخ گهواره‌ای یک سیستم یک درجه آزادی و یک سیستم چند درجه آزادی بر

۱- مقدمه

هنگام بررسی نیروهای داخلی در اعضای سازه از جمله اعضای باربر جانبی و قائم فرض بر این است که اتصال پای سازه کاملاً گیردار است. ولی واقعیت این است که به دلیل عدم صلبیت کامل فونداسیون و خاک زیر آن، دوران و تغییر شکل فونداسیون و در نتیجه نیروهای داخلی اعضای سازه تغییر خواهد کرد. تغییر حاصل از انعطاف‌پذیری بستر سازه در مقایسه با تکیه‌گاه صلب، به خصوصیات سازه و خاک بستگی دارد. این موارد نشان می‌دهد که صرف نظر از نوع آنالیز، بررسی نتایج دقیق بدون در نظر گرفتن تأثیر



9 (2), 2025

دوره ۹، شماره ۲

زمستان ۱۴۰۳

دوفصلنامه پژوهشی



روی یک مجموعه دوفتری و میراگر را ارزیابی کرده‌اند. محققانی همچون استوارت و همکارانش، گزتاس و میلوناکیس [۳، ۴] نشان داده‌اند که با کمک با یک سیستم یک درجه آزادی معادل، می‌توان پاسخ سازه یک سیستم با یک درجه آزادی واقع بر روی یک پی سطحی را با تکیه گاه گیردار را تخمین زد. در مطالعه انجام شده توسط قطرنجی و همکاران [۵-۷] مشخصات دینامیکی سازه های بتن مسلح با سیستم دو گانه مورد مطالعه قرار گرفت. در مطالعه توران و همکاران [۸] مدل یک درجه آزادی با پی مدفون در یک لایه خاک رس سخت توسط میز لرزه آزمایش شده و با نتایج تحلیل عددی بدست آمده و زمان تناوب سازه در حالت تکیه‌گاه گیردار مقایسه شده است. هاجینسون و همکارانش [۹] نشان داده‌اند در نظر گرفتن اندرکنش خاک و سازه می‌تواند منجر به کاهش تقاضای نیرو و جابجایی نسبی طبقات در سازه شود. در مطالعه‌ای که توسط ماسیمو و ماگری [۱۰] انجام شده است دو مدل فیزیکی همراه با پی‌های سطحی بر روی ماسه توسط میز لرزه آزمایش شده و نتایج بدست آمده به منظور دستیابی به یک روش ساده با نتایج تحلیلی و عددی مقایسه شده است. پالوجی و همکارانش [۱۱] یک روش طراحی براساس تکرار را پیشنهاد داده‌اند که در آن معادلات در حالت گیردار برای محاسبه اثر اندرکنش خاک و سازه به صورت ضرایب کاهش سختی دورانی و افزایش میرایی سازه بر اساس دوران آن، اصلاح می‌شود.

در این سیستم قاب به اصطلاح در یک مد برشی تغییر شکل می‌دهد و از آنجا که پاسخ غالب دیوار به صورت خمشی مانند یک تیر طره می‌باشد سازگاری تغییر مکان‌های افقی، اندرکنشی را بین این دو به وجود می‌آورد. جابجایی جانبی خطی قاب خمشی با جابجایی سهمی دیوار برشی ترکیب شده در نتیجه سختی کل سیستم افزایش می‌یابد به این دلیل که دیوار در ترازهای بالا توسط قاب مهار می‌شود در حالی که در ترازهای پایین دیوار قاب را مهار می‌کند. این رفتار بستگی به این دارد که پی دیوار توان مقاومت در برابر لنگر واژگونی را داشته باشد و چرخشی در آن ایجاد نشود. در واقعیت دیوارها بر روی پایه‌هایشان چرخش دارند و این چرخش به انعطاف‌پذیری پی وابسته است. در صورتی که پی سازه مقاومت کافی در برابر دوران ایجاد شده از سوی بارهای وارده را نداشته باشد دیگر توزیع نیروهای بین قاب و دیوار برشی همانند قبل نخواهد بود و در این مطالعه به چگونگی توزیع این نیروهای جانبی ایجاد شده بین قاب و دیوار پرداخته شده است.

در این مطالعه به منظور مدل‌سازی پی انعطاف‌پذیر و اندرکنش آن با خاک زیر پی، از رویکرد وینکلر استفاده شده است که در آن سطح تماس خاک و پی به صورت مجموعه فنرهای غیرخطی مستقل و همجوار یکدیگر مدل شده است و نتیج حاصل از تغییرات برش و تغییر مکان جانبی در حالت‌های مختلف با یکدیگر مقایسه شده است.

۲- مدل‌سازی

۲-۱- مشخصات مدل قاب و دیوار

سه قاب خمشی با سه دهانه ۶ متری و یک دیوار برشی با طول ۶ متر با طبقات مختلف ۵، ۱۰، ۱۵ به طوری که هر طبقه دارای ارتفاع

۳/۲ متر می‌باشد، بر روی یک پی انعطاف‌پذیر متصل به فنرهای غیرخطی مدل شده است. مقاطع مورد استفاده با استفاده از آیین‌نامه بتن آمریکا و رعایت ضوابط آیین‌نامه طراحی ساختمان‌ها در برابر زلزله (استاندارد ۲۸۰۰) طراحی شده‌اند. جدول ۱ تا ۴ نشان دهنده ابعاد مقاطع استفاده شده در نرم‌افزار می‌باشد.

جدول ۱ ابعاد مقاطع به کار رفته در سازه ۵ طبقه (به متر)

ضخامت دیوار	ρ	مقطع ستون	ρ	مقطع تیر	طبقه
۰/۳	۰/۰۲۱	۰/۶×۰/۶	۰/۰۲۷	۰/۳×۰/۴	۱ تا ۵

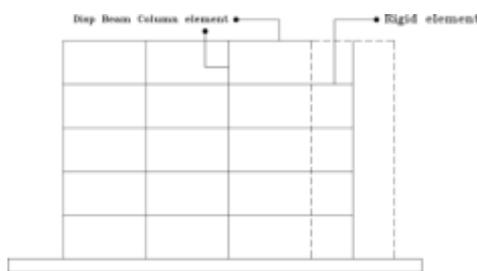
جدول ۲ ابعاد مقاطع به کار رفته در سازه ۱۰ طبقه (به متر)

ضخامت دیوار	ρ	مقطع ستون	ρ	مقطع تیر	طبقه
۰/۴۵	۰/۰۲۱	۰/۷×۰/۷	۰/۰۲۷	۰/۴×۰/۴	۱ تا ۳
۰/۴۵	۰/۰۲۱	۰/۶×۰/۶	۰/۰۱۸	۰/۴×۰/۳۵	۴ تا ۷
۰/۳	۰/۰۲	۰/۵۵	۰/۰۲۳	۰/۴×۰/۳	۸ تا ۱۰

جدول ۳ ابعاد مقاطع به کار رفته در سازه ۱۵ طبقه (به متر)

ضخامت دیوار	ρ	مقطع ستون	ρ	مقطع تیر	طبقه
۰/۶	۰/۰۲۴	۰/۹۵	۰/۰۰۷	۰/۵	۱ تا ۵
۰/۵	۰/۰۲۳	۰/۸۵	۰/۰۰۹	۰/۶×۰/۵	۶ تا ۱۰
۰/۳	۰/۰۲۲	۰/۷×۰/۷	۰/۰۱	۰/۵×۰/۵	۱۱ تا ۱۵

المان‌های تیر و ستون و دیوار استفاده شده در نرم‌افزار از نوع المان برمبنای جابجایی و با پلاستیسیته گسترده همراه با شش نقطه انتگرال‌گیری بر اساس قانون گوس-لوباتو مدل شده‌اند. تیرهای موجود در ناحیه‌ای که داخل دیوار برشی محسوب می‌شود به صورت المان‌های صلب در نظر گرفته شده‌اند و تغییر مکان و دوران آن‌ها کاملاً مقید به تغییر مکان و دوران گره‌های متناظر در المان دیوار می‌باشد که در شکل ۱ نشان داده شده‌اند.

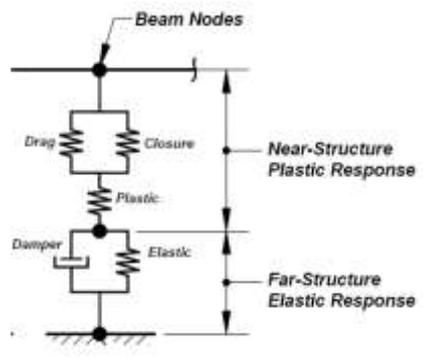
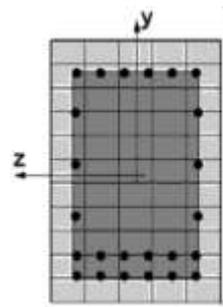


شکل ۱ مدل مربوط به سازه ۵ طبقه ایجاد شده در نرم‌افزار

مقاطع معرفی شده از نوع فایبر می‌باشند، که نرم‌افزار با تقسیم کردن مقطع به المان‌های کوچک‌تر دقت در تحلیل مقطع را افزایش می‌دهد. مصالح استفاده شده برای بتن محصور شده که شامل ناحیه است که در مرکز در شکل ۲ نشان داده شده است و قسمتی از بتن می‌باشد که توسط خاموت‌های تعبیه شده داخل بتن به صورت محصور شده رفتار می‌کند، از نوع بتن (۰۱) با مقاومت کششی صفر می‌باشد.

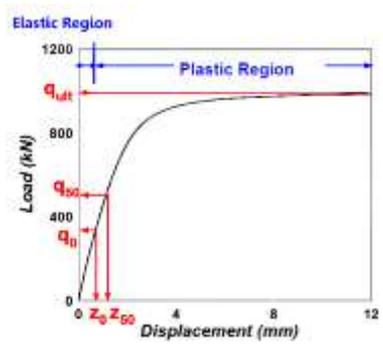


همچنین برای بتن نامحسور نیز از همین نوع مصالح استفاده شده است [۱۲].



شکل ۴ شمای کلی یک المان فنر

مجموع این المان‌ها با یکدیگر تعیین کننده ویژگی‌های برجسته سطح تماس خاک و پی می‌باشند. از جمله تغییرشکل‌های دائمی و گذرا، جداسدگی بین پی و خاک اطراف آن، میرایی تشعشعی و چرخه‌ای خاک، زوال سختی و میرایی و... فنرهای قائم (المان‌های q-z) (به منظور ثبت حرکت گهواره‌ای، جداسدگی و نشست پی در طول شالوده توزیع شده‌اند. در حالی که فنرهای افقی (المان‌های t-x و p-x) به ترتیب به منظور ثبت لغزش و مقاومت مقاوم شالوده به کار می‌روند [۱۵]. روابط ساختاری استفاده شده برای مکانیزم فنرهای مذکور توسط منحنی‌های غیرخطی نشان داده می‌شوند که توسط بولنگر بر اساس مطالعات اولیه بولنگر و همکارانش ایجاد شده است [۱۶] و پس از آن توسط ری‌چادوری [۱۷] به منظور مدل‌سازی مدل فنر شامل یک قسمت ارتجاعی اولیه می‌باشد که پس از آن به صورت منحنی غیرارتجاعی ادامه می‌یابد، شکل ۵.



شکل ۵: منحنی مشخصه رفتار فنرهای بکار رفته

در ناحیه الاستیک منحنی بار q به طور خطی با جابجایی z توسط سختی الاستیک اولیه k_{in} مرتبط است.

$$q = k_{in}z \quad (1)$$

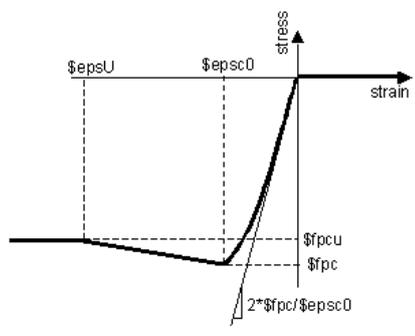
ناحیه الاستیک با مرتبط کردن q_{ult} به نقطه تسلیم q₀ توسط پارامتر C_r تعریف می‌شود.

$$q_0 = C_r q_{ult} \quad (2)$$

ناحیه پس از تسلیم منحنی به صورت زیر بیان می‌شود:

شکل ۲ مقطع فایبر شامل بتن محسور شده (ناحیه داخلی) و بتن نامحسور (ناحیه خارجی)

برای مصالح فولادی به کار رفته به عنوان میلگرد از فولاد (۰۲) که برای ساخت مصالح فولادی گیوفر و منگتو و پینتو با سخت شوندگی ایزوتروپیک به کار می‌رود، استفاده شده است [۱۳].



شکل ۳ نمودار رفتار مصالح بتن ۰۱

در جدول ۴ مشخصات استفاده شده در مصالح بتنی به کار رفته در مدل به طور خلاصه نشان داده شده است.

جدول ۴ مشخصات مصالح بتنی استفاده شده (مگاپاسکال)

بتن	مقاومت	کرنش	مقاومت	کرنش
	بیشینه	بیشینه	نهایی	نهایی
محسور	۲۴/۵	۰/۰۰۳	۴/۹	۰/۰۱۵
نامحسور	۲۲/۵	۰/۰۰۲۵	۴/۵	۰/۰۰۵

عناوین استفاده شده در جدول فوق همان نمادهای به کار رفته در شکل ۳ می‌باشند.

۲-۲- مشخصات خاک و پی

در این مطالعه سطح تماس خاک و پی با استفاده از رویکرد وینکلر مدل شده است. به طوری که سطح تماس با فنرهای غیرخطی مستقل و همجوار شبیه‌سازی شده است. هر فنر شامل المان‌های مختلفی می‌باشد، مانند فنرهای درگ و کلوزر، میراگر، فنر پلاستیک حوزه نزدیک و فنر الاستیک ناحیه دور که در شکل ۴ نشان داده شده است [14].

به طوریکه k_v و k_h به ترتیب سختی ارتجاعی اولیه قائم و جانبی پی می‌باشند. G مدول برشی خاک، v ضریب پواسون خاک و B و L به ترتیب عرض و طول شالوده می‌باشند. سختی k_p که رابطه بین بار و جابجایی را پس از نقطه تسلیم و در قسمت غیرخطی منحنی نشان می‌دهد به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$k_p = n(q_{ult} - q_0) \left[\frac{(CZ_{50})^n}{(CZ_{50} - Z_0 + Z)^{n+1}} \right] \quad (12)$$

معادله (۱۲) در واقع همان معادله (۳) با ترکیب متفاوت می‌باشد. شکل و سختی قسمت غیرخطی منحنی تابعی از متغیرهای n و c می‌باشند که از آزمایشات متعدد پی‌های سطحی بر روی انواع خاک‌های مختلف بدست آمده‌اند. در نهایت از معادلات فوق آشکار می‌باشد که پاسخ فنرها کاملاً به متغیرهای خاک همانند چسبندگی (c)، زاویه اصطکاک (ϕ)، وزن مخصوص (γ)، مدول برشی (G) و ضریب پواسون (v) وابسته می‌باشند. این مقادیر در این مطالعه به صورت $c=70$ KN/m³، $\phi=0$ ، $\gamma=16.67$ KN/m³، $G=5.23$ Mpa و $v=0.3$ می‌باشد. المان‌های پی به صورت المان‌های تیر ستون و با رفتار خطی مدل شده و در جدول ۵ ابعاد پی به صورت متر نشان داده شده است.

جدول ۵ ابعاد فونداسیون ساختمان‌ها بر حسب متر

عمق مدفون	ضخامت	عرض	طول	ساختمان
۰/۷	۰/۷	۲/۵	۳۰	۵ طبقه
۳/۲	۰/۹	۵	۳۰	۱۰ طبقه
۶/۴	۱/۲	۶	۳۰	۱۵ طبقه

۳- نتایج و تفسیر

شکل‌های ۶ تا ۹ نشان دهنده تغییرات برش ستون‌ها و دیوارهای برشی در ساختمان ۵ طبقه در حالت گیردار و انعطاف پذیر می‌باشد. نتایج به صورت بی بعد نشان داده شده است و محور افقی بیانگر نسبت برش ایجاد شده در قاب خمشی و دیوار برشی به کل برش پایه می‌باشد و محور عمودی بیانگر تعداد طبقات می‌باشد. جدول ۶ نشان دهنده سختی فنرها بر حسب تن بر متر می‌باشد که به عبارتی بیانگر سختی مجموعه فونداسیون و خاک می‌باشد.

جدول ۶ سختی فنرها بر حسب تن بر متر

سختی	گیردار
۲۰۰۰۰۰۰
۲۰۰۰	- - - - -
۱۶۰۰	- - - - -
۱۲۰۰	- - - - -
۸۰۰	- - - - -

با توجه به شکل (۶) کاهش سختی فنرهای زیر پی، برش ایجاد شده در ساختمان ۵ طبقه با فونداسیون گیردار نسبت به برش ایجاد شده در حالت گیردار افزایش یافته است که این موضوع با کاهش سختی

$$q = q_{ult} - (q_{ult} - q_0) \left[\frac{CZ_{50}}{CZ_{50} + |Z - Z_{0p}|} \right]^n \quad (3)$$

به طوریکه Z_{50} مقدار جابجایی است، هنگامی که ۵۰ درصد بار نهایی بسیج شده باشد. Z_0 مقدار جابجایی در نقطه تسلیم، n و c پارامترهای ساختاری هستند که شکل منحنی در قسمت پس از تسلیم را کنترل می‌کنند. مولفه گپ فنر، یک ترکیب موازی با فنر انتهایی و کششی می‌باشد. مولفه انتهایی یک فنر الاستیک با رفتار دوطرفه است که در فشار نسبتاً صلب و در کشش بسیار انعطاف پذیر می‌باشد. اگرچه موارد گفته شده برای $P-X$ و $T-X$ نیز کاملاً مشابه است، ضرایب ثابت که شکل کلی منحنی را کنترل می‌کنند (Gr , n , c) متفاوت می‌باشند.

از معادلات (۱) تا (۳) می‌توان دریافت که شکل منحنی‌های رفتاری فنرها که به طور اساسی رفتار اندرکنش خاک و سازه را کنترل می‌کنند به طور کامل به دو متغیر فیزیکی مرتبط با ویژگی‌های خاک، ظرفیت (q_{ult}) و سختی ارتجاعی اولیه (k_{in}) وابسته می‌باشد. ظرفیت و سختی ارتجاعی هر فنر از تقسیم ظرفیت و سختی کل شالوده به سطح متناسب مرتبط با هر فنر بدست می‌آید. ظرفیت شالوده با استفاده از معادله ظرفیت باربری ترازقی [۱۸] به همراه ضرایب شکل، عمق و شیب مایهوف [۱۹] به صورت نشان داده شده در معادلات (۴) تا (۷) به دست می‌آید.

$$q_{ult} = cN_c F_{cs} F_{cd} F_{ci} + \gamma D_f N_q F_{qs} F_{qd} F_{qi} + 0.5 \gamma B N_{\gamma} F_{\gamma s} F_{\gamma d} F_{\gamma i} \quad (4)$$

به طوریکه، q_{ult} ظرفیت باربری نهایی بر واحد سطح پی، c چسبندگی، γ وزن مخصوص خاک، D_f عمق مدفون شده، B عرض پی، N_c N_q N_{γ} ضرایب ظرفیت باربری می‌باشند:

$$N_q = \tan^2 \left(45^\circ + \frac{\phi}{2} \right) e^{\pi \tan \phi} \quad (5)$$

$$N_c = (N_q - 1) \cot \phi \quad (6)$$

$$N_{\gamma} = (N_q - 1) \tan (1.4\phi) \quad (7)$$

برای مصالح $p-X$ ظرفیت نهایی بار جانبی به صورت نیروی مقاوم بر قسمت جلویی شالوده مدفون وارد می‌شود، تعریف می‌شود. برای خاکریز همگن در تماس با پی نیروی مقاوم به صورت توزیع خطی فشار پشت پی و به صورت زیر تعریف می‌شود.

$$t_{ult} = W_g \tan \delta + A_b c \quad (9)$$

به طوریکه، t_{ult} مقاومت اصطکاکی بر واحد سطح پی می‌باشد، W_g وزن سازه روی پی، δ زاویه اصطکاک بین خاک و پی که معمولاً از یک سوم ϕ تا دو سوم ϕ متغیر است. A_b مساحت زیر پی در تماس با خاک است.

$$k_v = \frac{GL}{1 - \theta} \left[0.73 + 1.54 \left(\frac{B}{L} \right)^{0.75} \right] \quad (10)$$

$$k_h = \frac{GL}{2 - \theta} \left[2 + 2.5 \left(\frac{B}{L} \right)^{0.85} \right] \quad (11)$$



9 (2) , 2025

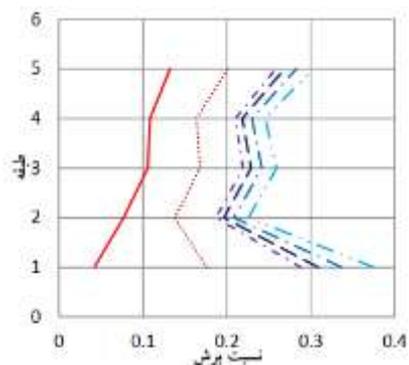
دوره ۹، شماره ۲

زمستان ۱۴۰۳

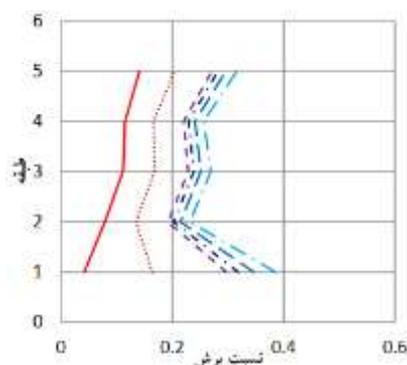
دوفصلنامه پژوهشی



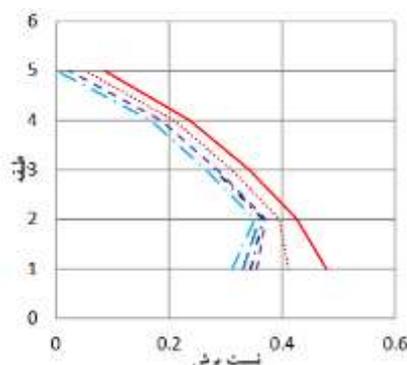
دیوار برشی در حالت انعطاف پذیر که در شکل (۷) نشان داده شده است مطابقت دارد.



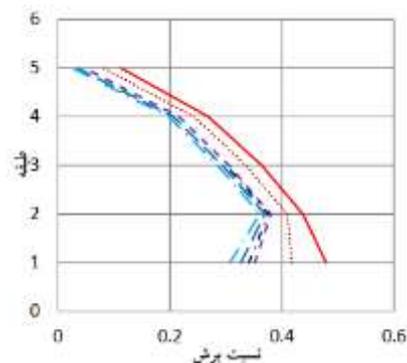
شکل ۶ نسبت برش در ستون های هر طبقه از ساختمان ۵ طبقه نسبت به کل برش پایه با الگوی استاتیکی معادل



شکل ۷ نسبت برش در ستون های هر طبقه از ساختمان ۵ طبقه نسبت به کل برش پایه با الگوی طیفی

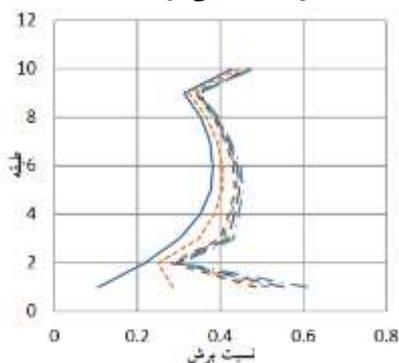


شکل ۸ نسبت برش در یکی از دیوارهای برشی هر طبقه از ساختمان ۵ طبقه نسبت به کل برش پایه با الگوی استاتیکی معادل

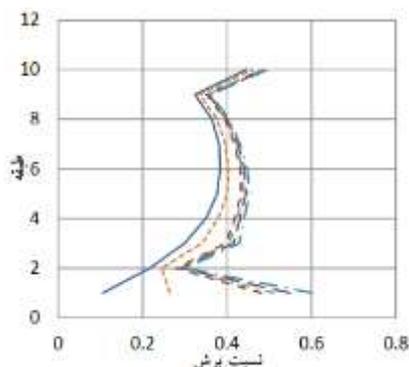


شکل ۹ نسبت برش در یکی از دیوارهای برشی هر طبقه از ساختمان ۵ طبقه نسبت به کل برش پایه با الگوی طیفی

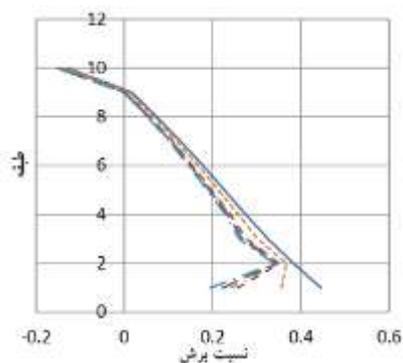
شکل های ۱۰ تا ۱۳ نشان دهنده تغییرات برش ستون ها و دیوارهای برشی در ساختمان ۱۰ طبقه در حالت گیردار و انعطاف پذیر می باشد. در این اشکال با حالت انعطاف پذیر، تغییرات در نیروی برشی ستون های اول از سایر طبقات بیشتر است و به تدریج با افزایش طبقات از شدت تغییرات کاسته می شود.



شکل ۱۰ نسبت برش در ستون های هر طبقه از ساختمان ۱۰ طبقه نسبت به کل برش پایه با الگوی استاتیکی معادل



شکل ۱۱ نسبت برش در ستون های هر طبقه از ساختمان ۱۰ طبقه نسبت به کل برش پایه با الگوی طیفی



شکل ۱۲ نسبت برش در یکی از دیوارهای برشی هر طبقه از ساختمان ۱۰ طبقه نسبت به کل برش پایه با الگوی استاتیکی معادل



9 (2) , 2025

دوره ۹، شماره ۲

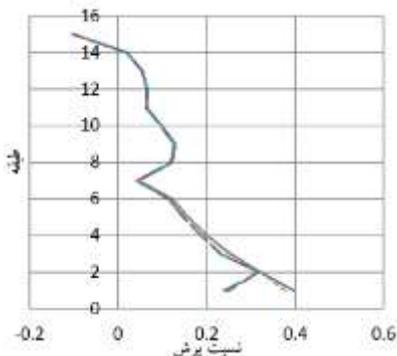
زمستان ۱۴۰۳

دوفصلنامه پژوهشی



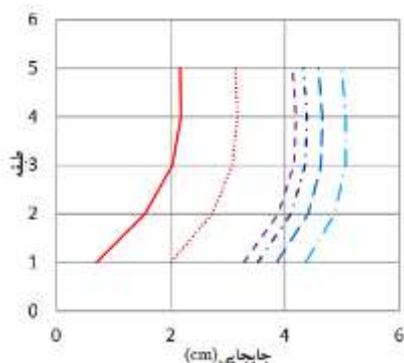
تأثیر سختی فونداسیون سیستم دوگانه قاب خمشی و دیوار برشی بتنی بر تغییرات نیروی جانبی و تغییر مکان نسبی

شکل ۱۶ نسبت برش در یکی از دیوارهای برشی هر طبقه از ساختمان ۱۵ طبقه نسبت به کل برش پایه با الگوی استاتیکی معادل

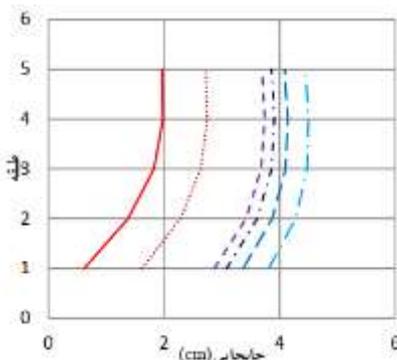


شکل ۱۷ نسبت برش در یکی از دیوارهای برشی هر طبقه از ساختمان ۱۵ طبقه نسبت به کل برش پایه با الگوی طیفی

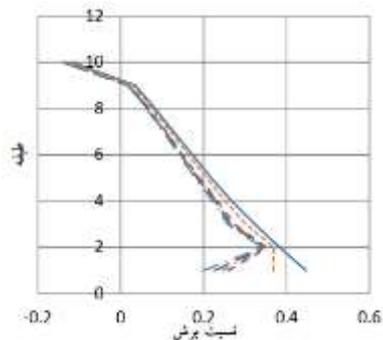
اشکال (۱۸) تا (۲۳) مقدار جابجایی نسبی طبقات را نشان می دهد که با کاهش سختی فنر و در واقع کاهش سختی سازه مقدار جابجایی نسبی طبقات افزایش می یابد.



شکل ۱۸ جابجایی نسبی طبقات در سازه ۵ طبقه با الگوی استاتیکی معادل

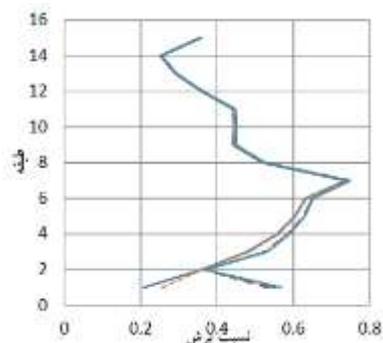


شکل ۱۹ جابجایی نسبی طبقات در سازه ۵ طبقه با الگوی طیفی

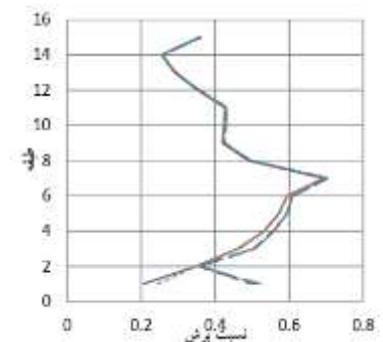


شکل ۱۳ نسبت برش در یکی از دیوارهای برشی هر طبقه از ساختمان ۱۰ طبقه نسبت به کل برش پایه با الگوی طیفی

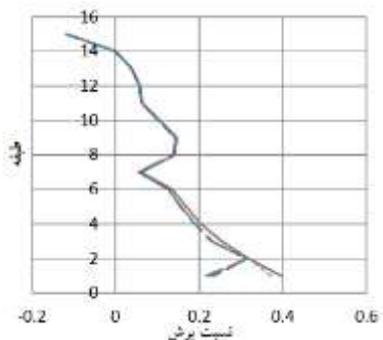
شکل های ۱۴ تا ۱۷ نشان دهنده تغییرات برش ستون ها و دیوارهای برشی در ساختمان ۱۵ طبقه در حالت گیردار و انعطاف پذیر می باشد. شدت تغییرات در طبقه اول بیشتر از طبقات دیگر است.



شکل ۱۴ نسبت برش در ستون های هر طبقه از ساختمان ۱۵ طبقه نسبت به کل برش پایه با الگوی استاتیکی معادل



شکل ۱۵ نسبت برش در ستون های هر طبقه از ساختمان ۱۵ طبقه نسبت به کل برش پایه با الگوی طیفی



۴- نتیجه‌گیری

در این مطالعه سعی شد تا تاثیر انعطاف‌پذیری پی بر روی سازه‌ها با ارتفاع متفاوت بر نحوه توزیع بار جانبی بین قاب خمشی و دیوار برشی و جابجایی نسبی طبقات پرداخته شود. برای این منظور سه قاب خمشی به همراه دیوار برشی با رفتار غیرخطی، در دو شرایط تکیه‌گاهی گیردار و انعطاف‌پذیر، تحت تحلیل استاتیکی معدل و طیفی قرار گرفته‌اند و نتایج به صورت زیر بدست آمده است:

- در اثر انعطاف‌پذیری پی، سختی کل سازه کاهش و جابجایی نسبی طبقات افزایش می‌یابد.
- تغییر مکان نسبی طبقات در حالت انعطاف‌پذیر نسبت به حالت گیردار در ساختمان ۵ و ۱۰ طبقه حدوداً ۴ برابر و در ساختمان ۱۵ طبقه حدوداً ۳ برابر شده است.
- در ساختمان‌های ۵ و ۱۰ و ۱۵ طبقه با فونداسیون انعطاف‌پذیر، به طور میانگین نسبت برش در ستون‌ها به کل برش پایه به ترتیب ۰.۷، ۰.۵ و ۰.۳ برابر حالت گیردار است.

۵- تعارض منافع

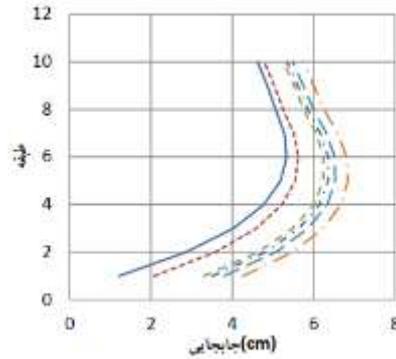
نویسندگان هیچ گونه تضاد منافی ندارند.

۶- حمایت مالی

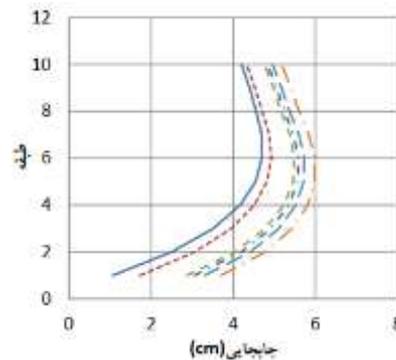
این تحقیق از هیچ‌گونه حمایت مالی‌ای برخوردار نبوده است.

۷- مراجع

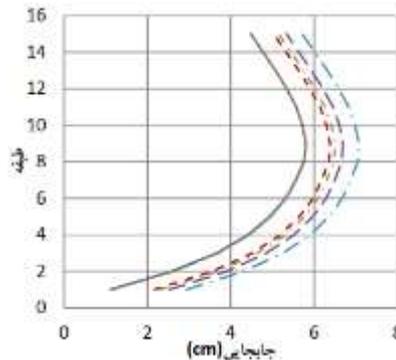
- [1] IP. Raychowdhury and P. Singh, "Effect of nonlinear soil-structure interaction on seismic response of low-rise SMRF buildings," *Earthquake Engineering and Engineering Vibration*, vol. 11, pp. 541-551, 2012.
- [2] A. K. Chopra and S. C.-S. Yim, "Simplified earthquake analysis of structures with foundation uplift," *Journal of Structural Engineering*, vol. 111, no. 4, pp. 906-930, 1985.
- [3] G. Gazetas and G. Mylonakis, "Soil-structure interaction effects on elastic and inelastic structures," 2001.
- [4] J. P. Stewart, S. Kim, J. Bielak, R. Dobry, and M. S. Power, "Revisions to soil-structure interaction procedures in NEHRP design provisions," *Earthquake Spectra*, vol. 19, no. 3, pp. 677-696, 2003.
- [5] M. Katrangi, M. M. Memarpour, and M. Yakhchalian, "Investigating the Seismic Behaviour of the RC Wall-Framed System Considering Soil-Structure Interaction," *Bulletin of Earthquake Science and Engineering*, vol. 7, no. 4, pp. 65-81, 2020.
- [6] M. Katrangi, M. M. Memarpour, and M. Yakhchalian " . Investigating the seismic behavior of the dual shear wall-bending frame system considering the interaction between the soil and the structure," *Earthquake Science and Engineering Quarterly*, vol. 7, no. 4, pp. 65-81, 2020. (In Persian)
- [7] M. Katrangi, M. M. Memarpour, and M. Yakhchalian, "Assessment of the seismic performance and the base shear contribution ratios of the RC wall-frame dual system considering soil-structure interaction," *Journal of Earthquake Engineering*, vol. 26, no. 10, pp. 5290-5317, 2022.
- [8] A. Turan, S. D. Hinchberger, and M. H. El Naggar, "Seismic soil-structure interaction in buildings on stiff clay with embedded basement stories," *Canadian Geotechnical Journal*, vol. 50, no. 8, pp. 858-873, 2013.
- [9] I.T. C. Hutchinson, P. Raychowdhury, and B. Chang, "Nonlinear structure and foundation response during seismic loading: dual lateral load resisting systems," in *Proceedings of the 8th*



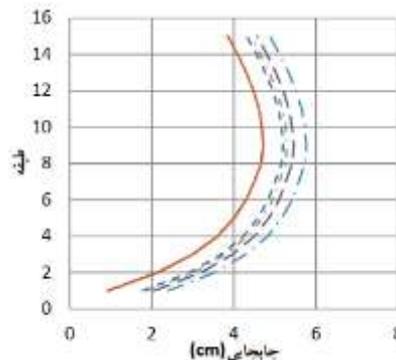
شکل ۲۰ جابجایی نسبی طبقات در سازه ۱۰ طبقه با الگوی استاتیکی معادل



شکل ۲۱ جابجایی نسبی طبقات در سازه ۱۰ طبقه با الگوی طیفی



شکل ۲۲ جابجایی نسبی طبقات در سازه ۱۵ طبقه با الگوی استاتیکی معادل



شکل ۲۳ جابجایی نسبی طبقات در سازه ۱۵ طبقه با الگوی طیفی



9 (2) , 2025

دوره ۹، شماره ۲

زمستان ۱۴۰۳

دوفصلنامه پژوهشی

مجله تخصصی مهندسی زلزله

تأثیر سختی فونداسیون سیستم دوگانه قاب خمشی و دیوار برشی بتنی بر تغییرات نیروی جانبی و تغییر مکان نسبی

US National Conference on Earthquake Engineering, 2006, no. 320 .

- [10] M. R. Massimino and M. Maugeri, "Physical modelling of shaking table tests on dynamic soil-foundation interaction and numerical and analytical simulation," *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, vol. 49, pp. 1-18, 2013.
- [11] R. Paolucci, R. Figini, and L. Petrini, "Introducing dynamic nonlinear soil-foundation-structure interaction effects in displacement-based seismic design," *Earthquake spectra*, vol. 29, no. 2, pp. 475-496, 2013.
- [12] I. Hakamian, K. Taghikhani, N. Manouchehri, and M. M. Memarpour, "Soil-structure interaction effects on collapse probability of the RC buildings subjected to far and near-field ground motions," *Earthquakes and Structures*, vol. 25, no. 2, pp. 99-112, 2023.
- [13] F. C. Filippou, E. P. Popov, and V. V. Bertero, "Effects of bond deterioration on hysteretic behavior of reinforced concrete joints," 1983.
- [14] M. Shayanfar, M.M. Memarpour, M.A. Barkhordari, I. Hakamian" . Comparison of static and dynamic analysis in earthquake lateral force distribution in reinforced concrete structures considering soil-structure interaction," presented at the second national conference on structural engineering in Iran, 2014. [Online]. Available: <https://civilica.com/doc/535781> .(In Persian)
- [15] M. Memarpour, M .Shayanfar, and M. Kimiaei, "A new BNWF model for cyclic pile-soil interaction analysis of single offshore piles," in 13th International Conference of the International Association for Computer Methods and Advances in Geomechanics, 2011: Centre for Infrastructure Engineering and Safety, pp. 135-140 .
- [16] R. W. Boulanger, C. J. Curras, B. L. Kutter, D. W. Wilson, and A. Abghari, "Seismic soil-pile-structure interaction experiments and analyses," *Journal of geotechnical and geoenvironmental engineering*, vol. 125, no. 9, pp. 750-759, 1999.
- [17] P. Raychowdhury, Nonlinear Winkler-based shallow foundation model for performance assessment of seismically loaded structures. University of California, San Diego, 2008.
- [18] K. Terzaghi, *Theoretical soil mechanics*. ۱۹۴۳ .
- [19] G. G. Meyerhof, "Some recent research on the bearing capacity of foundations," *Canadian geotechnical journal*, vol. 1, no. 1, pp. 16-26, 1963.



9 (2) , 2025

دوره ۹، شماره ۲

زمستان ۱۴۰۳

دوفصلنامه پژوهشی



تأثیر سختی فونداسیون سیستم دوگانه قاب خمشی و دیوار برشی بتنی بر تغییرات نیروی جانبی و تغییر مکان نسبی

COPYRIGHTS

©2025 by the authors. Published by **Journal of Engineering & Construction Management (JECM)**. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0) (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)