

تاثیر اندرکنش خاک و سازه در ساختمانهای بلند بتن آرمه با دالهای تخت و هسته مقاوم داخلی سیستم لوله در لوله با در نظر گرفتن تحلیل دینامیکی غیرخطی

رضا حسینی

گروه مهندسی عمران، واحد ارومیه، دانشگاه آزاد اسلامی، ارومیه، ایران
اشکان خدابنده‌لو*

گروه مهندسی عمران، واحد ارومیه، دانشگاه آزاد اسلامی، ارومیه، ایران
a.Khodabandehlou@iaurmia.ac.ir

تاریخ دریافت: ۹۷/۱۱/۰۴ تاریخ پذیرش نهایی: ۹۸/۰۲/۱۴

چکیده:

در این پژوهش ۲ قاب ساختمانی ۳ بعدی بتن آرمه ۲۸ طبقه که در هر دو امتداد X, Y با سیستم سازه‌ای لوله در لوله و سقف از نوع دال تخت، با هسته مقاوم داخلی به شکل H ، در پهنه با خطر نسبی زیاد ($A=0.3g$) بر روی دو نوع خاک I, II بدون و با تاثیر اندرکنش خاک - سازه در نظر گرفته و تحلیل می شود. هدف از پژوهش حاضر تعیین حداکثر تغییر مکان جانبی طبقات تحت بارهای ثقلی (مرده، زنده) و بار جانبی زلزله می باشد. جهت مدل سازی خاک زیرفوندانسیون، همچنین تعیین ضریب سختی دینامیکی و ضریب میرایی خاک از مدل گسسته بر مبنای مدل مخروطی پی مدفون در نیم فضای همگن میک، ولف و به منظور تحلیل قاب‌ها با تاثیر اندرکنش خاک - سازه از روش زیرسازه با فرض صلبیت پی استفاده می شود. جهت تحلیل بار زلزله از تحلیل دینامیکی تاریخچه زمانی غیرخطی از هفت شتاب نگاشت استفاده و مدل سازی هندسی کلیه قاب‌ها همراه با هسته داخلی در نرم افزار Sap2000-V17 انجام شده است. نتایج حاکی از آن است حداکثر تغییر مکان جانبی طبقات با اندرکنش خاک - سازه در امتداد X, Y در مقایسه با بدون اندرکنش تفاوتی نداشته و با یکدیگر برابرند. همچنین با تغییر نوع تیپ خاک بدون و با اندرکنش خاک - سازه، حداکثر تغییر مکان جانبی طبقات در امتداد X روند افزایش نزولی ۲۲ درصد و در امتداد Y ۲۵ درصد افزایش داشته است.

کلید واژگان: لوله در لوله، اندرکنش، مدل گسسته، تاریخچه زمانی

۱- مقدمه

در تحلیل دینامیکی سازه‌ها غالباً از انعطاف‌پذیری خاک زیرشالوده صرف‌نظر می‌شود. در این حالت پاسخ سازه در مقابل بارگذاری مشخص (همانند تکان زلزله) تابع خواص دینامیکی سازه می‌باشد و به خواص خاک در زیر شالوده بستگی ندارد. در حالت اخیر سیستم جدیدی از خاک و سازه تشکیل خواهد شد که خواص دینامیکی سیستم جدید با سازه‌گیردار متفاوت می‌باشد و لذا پاسخ آن نیز متفاوت خواهد بود. این پدیده به اندرکنش خاک-سازه موسوم است [۱]. اندرکنش خاک-سازه باعث افزایش پربود سازه، افزایش سهم مدگهواره‌ای نسبت به پاسخ کل و معمولاً باعث کاهش برش پایه می‌شود. [۲].

در هنگام وقوع زلزله رفتار خاک زیر سازه نقش مهمی در پاسخ سازه ایفا می‌کند. به علت نامحدود بودن محیط خاک، مدلسازی آن پیچیدگی بیش‌تری نسبت به مدلسازی سازه دارد. درسازه‌هایی که تحت تاثیر زلزله قرار گرفته‌اند علاوه بر نیروهای دینامیکی وارد و تنش‌های ناشی از آن در سازه پارامتر زمین و خاک در رفتار تقابل خاک-سازه نقش انکارناپذیری برعهده دارد [۳].

هرسازه بلندی رفتاری شبیه به طره‌ای عمودی، تحت بارهای جانبی از خود نشان می‌دهد سعی بر مقاوم‌سازی ساختمان بلندمرتبه در مقابل بارهای اعمالی (گرانشی، جانبی) منجر به ابداع ساختارهای سازه‌ای گوناگون از جمله سیستم سازه‌ای لوله در لوله می‌باشد [۴]. سیستم سازه‌ای لوله در لوله تشکیل شده از یک لوله خارجی و یک لوله داخلی (هسته) به یکدیگر متصل شده‌اند. سه عامل کاهش لنگی برشی، همکاری بیشترستون‌های داخلی برای تحمل نیروی جانبی و سختی جانبی مناسب، از خصوصیات استفاده از سازه‌های لوله در لوله است [۵]. مکانیسم اندرکنش لوله داخلی و خارجی مشابه با اندرکنش دیواربرشی-قاب خمشی است [۴].

همچنین دال تخت برای پوشش کف ساختمان‌ها با بارهای سبک، نظیر آپارتمانهای مسکونی با دهانه‌های ۴/۵ تا ۶ متر مناسب و اقتصادی است [۶]. در این پژوهش با توجه به اینکه لحاظ نمودن اندرکنش خاک-سازه تاثیر خیلی مهمی بر پاسخ غیرخطی سازه‌های یک درجه آزادی دارد، انتظار می‌رود، باعث تغییر غیر ارتجاعی سازه‌های چند درجه آزادی نیز گردد. از سوی دیگر تاثیر این عامل مهم بر روی ساختمانهای بلندمرتبه بتن آرمه بادل‌های تخت و هسته مقاوم داخلی سیستم لوله در لوله در تحقیقات پیشین مورد بررسی قرار نگرفته است. بنابراین با تغییر نوع تیپ خاک بدون و با تاثیر اندرکنش خاک-سازه به بررسی تغییر مکان جانبی طبقات در این ساختمانها می‌پردازیم.

۲- مروری بر تحقیقات گذشته

تاکنون مطالعات گسترده‌ای در مورد رفتار سیستم‌های خاک-سازه در هنگام وقوع زلزله و اثرات اندرکنش خاک-سازه انجام گرفته است. به نظر می‌رسد که این مطالعات از سال ۱۹۷۰-۱۹۶۹ سرعتی جهشی نسبت به سالهای قبل از آن به خود گرفته است. تحلیلها به صورت الاستیک خطی و یا غیر الاستیک و غیرخطی انجام شده، مدل‌ها هم به صورت دو بعدی و سه بعدی، خاک با مدل‌سازی‌هایی همچون مدل نیم فضا (الاستیک، الاستوپلاستیک، غیرالاستیک) مدل المان محدود، مدل

فتر، کمک فتر و مخروط و مدل ترکیبی نیم فضا و المان محدود مورد بررسی قرار گرفته است [۷].

مدل مخروط اولین بار توسط Ehlers (۱۹۴۲) برای حرکات انتقالی ارائه شد. Meek, veletsos, Nair. (۱۹۷۴) این مدل را برای حرکات دورانی بسط و توسعه دادند. مدل مخروط به لحاظ دینامیکی، همانند مدل اجزا مجزا، شامل مجموعه‌ای از جرم‌ها، فنرها و میراگرها می‌باشد. می‌توان از مدل مخروط برای تحلیل حرکات انتقالی (افقی و قائم) و حرکات دورانی (گهواره ای و پیچشی) بهره جست [۸].

Ioco (۱۹۸۰) رکوردهای حرکات قوی، ورودی و خروجی مورد نیاز برای ارزیابی پارامترهای گیردار و انعطاف‌پذیر را به وسیله حل معادلات حرکت یک سازه چند درجه آزادی واقع بر روی خاک با انعطاف‌پذیری متوسط در دامنه فرکانس انجام داد [۹].

Meek, Wolf (۱۹۹۲) ضمن اصلاح فرمول‌بندی مخروط دورانی، روش ساده شده‌ای برای بررسی پاسخ دینامیکی پی بر روی خاک همگن الا ستیک نیمه بی نهایت ارائه نمودند و مفاهیم مدل مخروط جهت مطالعه پاسخ دینامیکی پی بر روی بستر سنگی صلب، انعطاف‌پذیر را بسط و توسعه داده‌اند [۱۰].

Safak (۱۹۹۵) روشی را برای مشخص کردن اثرات اندرکنش خاک-سازه در ساختمان‌ها در مواردی که هیچ حرکت میدان آزادی در دسترس نباشد و اثرات حرکت گهواره‌ای ناچیز ارائه داده، او روابط را برای محاسبه فرکانس‌های طبیعی یک سیستم با تکیه‌گاه انعطاف پذیر ارائه نمود [۱۱].

Pandie, Golshan Kumar, Sharmr (۲۰۱۲) رویکردی تکراری را جهت اندرکنش خاک-سازه ساختمانهای بلند با سیستم لوله در لوله با نرم‌افزار المان محدود تحلیل شده‌اند با فرض خاک سطحی به فرم فنروینکلر تغییر شکل یافته که هیچ گونه پیوستگی در تغییر شکل و شیب ندارد و پروفیل خاک تغییر شکل داده که شکلی مشابه زیرگلدانی دارد پیشنهاد دادند [۱۲].

Spearacos, Manidakis, Kotormanos در سال (۲۰۱۲) در تحقیق خود تاثیرات اندرکنش خاک و سازه بر روی پاسخ ساختمان‌های چند طبقه با سیستم سازه‌ای لوله در لوله جداسازی شده از پی متکی بر خاکهای لایه‌ای سخت صلب و تحت حرکت هارمونیک زمین را مورد مطالعه قرار دادند [۱۳].

در این پژوهش از مدل مخروط میک، ولف برای تحلیل اندرکنش خاک-سازه استفاده می‌شود. زیرا ساده‌ترین روش مدل کردن خاک می‌باشد و همچنین درک فیزیکی مناسبی از مسائل به وجود آورده و دقت مهندسی مطلوبی نیز دارد.

۳- مشخصات مدل‌ها، خاک‌ها و مصالح مورد بررسی

در این پژوهش ۲ قاب ساختمانی بلند مرتبه ۳ بعدی بتن آرمه ۲۸ طبقه، در هر دو امتداد X, Y با سیستم سازه‌ای لوله در لوله با هسته مقاوم داخلی H شکل (ضخامت دیوارهای برشی ۲۰ سانتیمتر) و سقف از نوع دال تخت به ضخامت ۲۰ سانتیمتر، فوندانسیون از نوع گسترده به ضخامت ۲۰ سانتیمتر، بدون و با تاثیر اندرکنش خاک-سازه در پهنه با خطر نسبی زیاد ($A=0.3$) و بر روی دو نوع خاک (I, II) در نظر گرفته شده است. علت در نظرگیری این دو نوع خاک، کاهش ابعاد المانهای سازه‌ای و در نتیجه کاهش وزن ساختمان که هر چه وزن ساختمان

جدول ۳- مشخصات مکانیکی مصالح فولادی و بتنی

مشخصات مصالح	میزان	
	بتن	فولاد (آرماتور AIII)
مقاومت فشاری (kg/cm^2)	۲۵۰	-
مدول الاستیسیته (pa)	۲۵×10^9	۲۰۱×10^9
نسبت پواسون	۰,۱۵	۰,۳
چگالی (kg/m^3)	۲۴۵۰	۷۸۵۰
تنش تسلیم (kg/cm^2)	-	۴۰۰۰
تنش گسیختگی (kg/cm^2)	-	۶۰۰۰
تنش تسلیم موردانتظار (kg/cm^2)	-	۴۶۰۰
تنش گسیختگی موردانتظار (kg/cm^2)	-	۶۹۰۰

۴- روش تحقیق

۴-۱- مدل سازی خاک زیرپی

در این پژوهش اثر اندرکنش اینرسی (با وجود جرم سازه و پی در هنگام وقوع زمین لرزه، ارتعاش سازه و نیروی اینرسی ناشی از آن باعث ایجاد حرکت جدیدی در پی خواهد شد) مورد بررسی قرار میگیرد. جهت مدلسازی خاک زیرفونداسیون از مدل گسسته بر مبنای روش مخروطی پی مدفون صلب در نیم فضای همگن میک، بولف استفاده می شود. روش مخروطی به منظور تحلیل پاسخ پی استوانه ای بدون جرم به شعاع r_0 مدفون در عمق e واقع بر سطح یا نیم فضای خاک چند لایه جهت تمامی درجات آزادی، با استفاده از میله ها و تیرهای مخروطی به نام مخروطها ارائه شده است. انتخاب میله مخروطی بر مبنای این واقعیت صورت گرفته هنگامی که باری به دیسک (پی صلب بدون جرم) اعمال می شود، تنشها بر روی سطحی اثر نموده که آن سطح به دلیل پخش شدگی هندسی با ازدیاد عمق افزایش می یابد که این حالت برای مخروط نیز صادق است. مخروطهای انتقالی مربوط به درجات آزادی افقی و قائم، مخروطهای دورانی مربوط به درجات آزادی چرخشی (گهواره ای)، پیچشی می باشند. در مدل گسسته، فنر و میراگر افقی با خروج از مرکزیت به پی متصل می شوند. غیر از میراگر متصل به جرم چرخشی مربوط به درجه آزادی داخلی، میراگر چرخشی دیگری برای مدل کردن حرکت گهواره ای پی مدفون به طور موازی با فنر چرخشی در این مدل قرار می گیرد. در نظر گرفتن میرایی خاک به صورت هیستریتیک باعث می شود که مسئله در حوزه فرکانس حل گردد. بنابراین ناگزیر هستیم که میرایی خاک را به صورت ویسکوز در نظر بگیریم. در مدل میرایی ویسکوالاستیک ویت، به هر فنر الاستیک k یک میراگر اضافی بامیرایی $k = \frac{2\zeta_0}{\omega_0} C$ که به صورت موازی با آن می باشد، اضافه می شود.

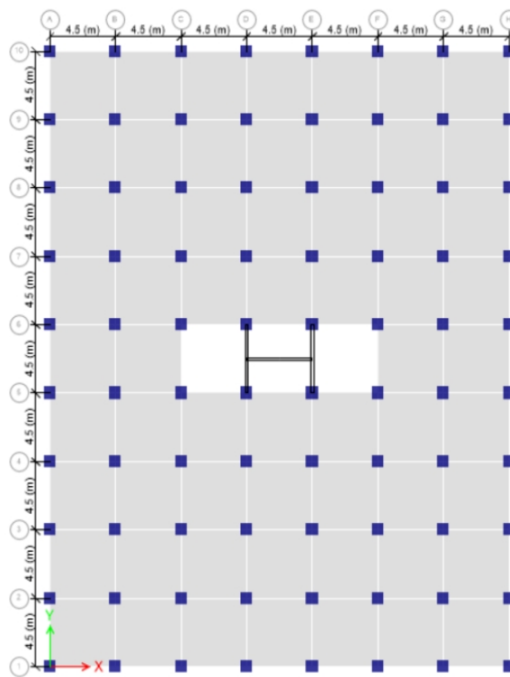
کمتر و سختی خاک بیشتر باشد. تاثیر اندرکنش خاک-سازه کمتر خواهد بود و به تبع آن نیروی جانبی زلزله و تغییر مکان جانبی مطلق ونسبی طبقات ساختمان کاهش می یابد که این امر هدف اصلی طراحان در کنترل پایداری سازه ها می باشد.

جدول ۱- مشخصات ابعادی قاب ۲۸ طبقه

مدل	ارتفاع طبقات (متر)	تعداد دهانه (X-Y)	طول دهانه (متر)	نوع خاک
۱	۴	۷-۹	۴/۵	I
۲	۴	۹-۷	۴/۵	II

جدول ۲- مشخصات خاک های مورد بررسی

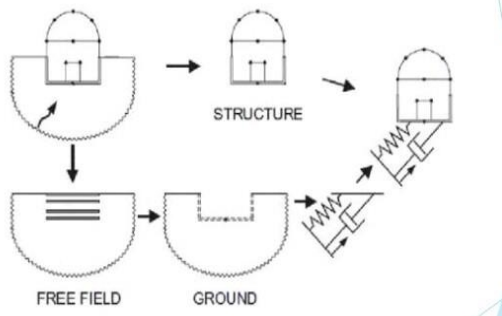
نوع زمین	سرعت موج برشی v_s (m/s)	وزن مخصوص خاک ρ (kg/m^3)	نسبت پواسون خاک ν
I	۱۲۰۰	۲۲۰۰	۰,۳
II	۵۶۰	۲۱۰۰	۰,۳۵



شکل ۱- پلان آکس بندی و ستون گذاری قاب ۲۸ طبقه

۴-۲- تحلیل سیستم اندرکنش خاک- سازه

در این پژوهش از روش زیر سازه در تحلیل اثرات اندرکنش خاک-سازه استفاده میشود. در روش زیر سازه خاک-سازه به دو قسمت تقسیم می‌گردد: قسمت اول سازه مستقر بر پی است و قسمت دوم خاک که دارای یک مرکز مشترک با پی سازه می‌باشد. ابتدا رابطه نیرو تغییر مکان خاک (سختی دینامیکی) برای گره‌های موجود در مرکز مشترک تعیین می‌شود که می‌توان آن را به صورت فیزیکی با تعدادی فنر و میراگر که ضرایبشان به فرکانس تحریک وابسته است، بیان نمود. سپس سازه موجود بر روی این فنرها و میراگرها با اعمال تحریک به تکیه‌گاه فنر و میراگرها تحلیل می‌گردد.



شکل ۵- مراحل روش زیرسازه

۴-۳- تعیین ضرایب سختی و میرایی خاک

ضرایب سختی و میرایی مدل گسسته پی صلب مدفون در روش مخروط نیم فضای همگن طبق روابط زیر تعیین می‌شود. استفاده از سرعت موج برشی کاهش یافته در معادلات ذیل تا حدی اثرات ورود خاک به فاز غیرخطی در محدوده کرنش‌های زیاد را وارد معادلات می‌کند.

ضریب سختی افقی فنر درجه آزادی افقی

$$k_{oh} = \frac{8\rho v_s^2 r}{2-\nu} \left(1 + \frac{e}{r}\right) \quad (3)$$

ضریب میرایی افقی فنر درجه آزادی افقی

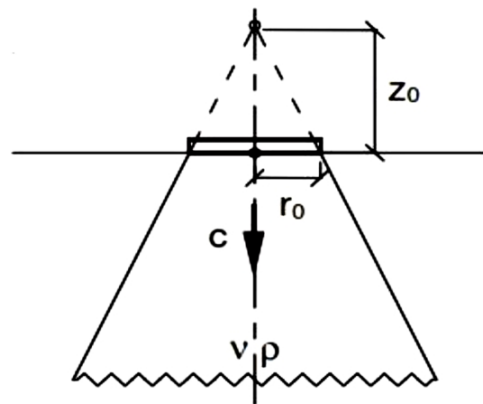
$$c_{oh} = \frac{r}{v_s} \gamma_{oh} k_{oh} \quad (4)$$

$$\gamma_{oh} = 0.68 + 0.57 \sqrt{\frac{e}{r}} \quad (5)$$

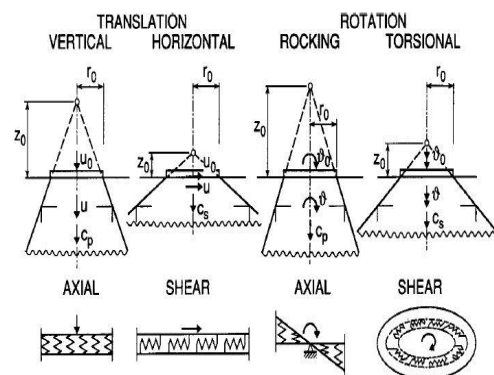
ضریب سختی فنر درجه آزادی چرخشی

$$k_{or} = k_r - \frac{\rho v_s^2 r^3}{2(2-\nu)} \left(1 + \frac{e}{r}\right) \left(\frac{e}{r}\right)^3 \quad (6)$$

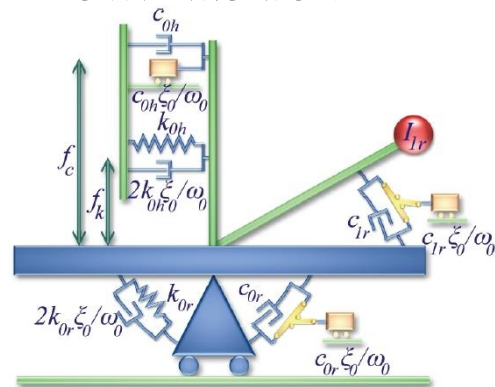
$$k_r = \frac{8\rho v_s^2 r^3}{3(1-\nu)} \left[1 + 2.3 \frac{e}{r} + 0.58 \left(\frac{e}{r}\right)^3\right] \quad (7)$$



شکل ۲- مدل مخروط برای پی سطحی واقع بر نیم فضای همگن



شکل ۳- مخروط‌های انتقالی و دورانی به ترتیب از چپ به راست درجات آزادی قائم، افقی، چرخشی (گهواره ای)، پیچشی



شکل ۴- مدل گسسته اصلاح شده برای پی مدفون با در نظر گرفتن اثر میرایی خاک

$$\omega_o = \sqrt{\frac{k_{eq}}{m}} \quad (1)$$

که در آن:

k_{eq} : فرکانس سیستم خاک سازه، سختی

معادل سیستم خاک-سازه، m : جرم سازه است.

$$\frac{1}{k_{eq}} = \frac{1}{k} + \frac{1}{k_h} + \frac{h^2}{k_r} \quad (2)$$

k : سختی سازه، k_h : سختی افقی

پی، k_r : سختی چرخشی (گهواره ای) پی، h : ارتفاع سازه می‌باشد.

بند ۳-۴ پیوست دوم آیین نامه مذکور اثر $\Delta-P$ باید در تحلیل غیرخطی در نظر گرفته شود. معادله تعادل دینامیکی سازه به شرح زیر می باشد.

$$M\ddot{u} + C\dot{u} + K u = F(t) \quad (10)$$

K: ماتریس سختی، C: ماتریس میرایی نسبی، M: ماتریس قطری جرم، Γ_n : بردار نیروی درجات آزادی غیرخطی، u, \dot{u}, \ddot{u} : به ترتیب جابجایی های نسبی، سرعت های نسبی و شتاب های نسبی نسبت به زمین، \ddot{u}_g : بردار نیروهای وارده می باشند.

۴-۴-۲- روند انتخاب شتاب نگاشت ها

طبق بند ۲-۵-۳ آیین نامه ۲۸۰۰ زلزله ایران ویرایش ۴ شتاب نگاشت هایی که در تعیین اثر حرکت زمین مورد استفاده قرار می گیرند باید دارای ویژگی های زیر باشند: الف: شتاب نگاشت ها متعلق به زلزله هایی باشند که شرایط زلزله طرح را ارضاء کنند در آنها اثر: بزرگا، فاصله از گسل، ساز و کار چشمه لرزه را در نظر گرفته شده باشد. ب: ساختگاه های شتاب نگاشت ها باید به لحاظ ویژگی های زمین شناسی، تکنیکی، لرزه شناسی و به خصوص مشخصات لایه های خاک با زمین محل ساختمان، تا حد امکان، مشابهت داشته باشند. پ: مدت زمان حرکت شدید زمین در شتاب نگاشت ها حداقل برابر با ۱۰ ثانیه یا ۳ برابر زمان تناوب اصلی سازه، هر کدام بیشتر باشد. این مدت زمان معمولاً در فواصل (۵٪-۹۵٪) از نمودار شدت آریانس و با استفاده از نرم افزار Seismo Signal تعیین می شود. به همین منظور جهت انتخاب رکورد شتاب نگاشت ها به سایت مرکز تحقیقات مهندسی زلزله در دانشگاه بریکلی آمریکا مراجعه کرده، دو روش جهت انتخاب رکورد زلزله ها وجود دارد: یکی بر اساس شماره رکورد، اسم زلزله و ایستگاه زلزله، دیگری بر اساس پارامترهایی که به محل ساختگاه یا پروژه نزدیک است که روش دوم را انتخاب می کنیم. در این بخش، با ۳ گزینه، گزینه اول (نوع گسل)، گزینه دوم (بزرگای زلزله) و گزینه سوم (محدوده فاصله از گسل) که زیر ۱۰ کیلومتر حوزه نزدیک، بالای ۲۰ کیلومتر حوزه دور سر و کار داریم. در نهایت شتاب نگاشت انتخابی به شرح جدول زیر می باشد.

جدول ۶- مشخصات شتاب نگاشت ها

زلزله	بزرگای (ریشتر)	فاصله از گسل (کیلومتر)	حوزه گسل
طیس	۷٫۸	۱۰	نزدیک
بم	۶٫۶	۸٫۵	نزدیک
کوبه	۷٫۳	۱۶	نزدیک
چی چی	۷٫۲	۱۰٫۹	نزدیک
لوماپریتا	۷٫۴	۱۱٫۴	نزدیک
امپریال	۷	۹٫۶	نزدیک
نورت ریج	۷٫۲	۱۱٫۴	نزدیک

ضریب میرایی چرخشی فنر درجه آزادی چرخشی (گهواره ای)

$$C_{or} = \frac{r}{v_r} \gamma_{or} k_r \quad (8)$$

$$\gamma_{or} = 0.15631 \frac{e}{r} - 0.08906 \left(\frac{e}{r} \right)^2 - 0.00874 \left(\frac{e}{r} \right)^3 \quad (9)$$

در روابط

بالا: p : وزن مخصوص خاک، V_s : سرعت موج برشی خاک، π : شعاع معادل دیسک (پی)، β : ضریب پواسون خاک، e : عمق مدفون شدگی پی

جدول ۴- ضرایب سختی خاک (فنر) درجات آزادی افقی، قائم چرخشی،

پیچشی

نوع خاک	مدل	سختی (kg/m)			
		افقی	قائم	چرخشی	پیچشی
I	۱	3.95×10^{10}	4.15×10^{10}	1.62×10^{13}	2.5×10^{13}
II	۲	7.12×10^9	7.73×10^9	2.97×10^{12}	4.36×10^{12}

جدول ۵- ضرایب میرایی خاک (فنر) درجات آزادی افقی، قائم، چرخشی،

پیچشی

نوع خاک	مدل	میرایی (kg/m)			
		افقی	قائم	چرخشی	پیچشی
I	۱	6.4×10^8	6.9×10^8	1.1×10^{10}	1.7×10^{10}
II	۲	3.5×10^8	3.7×10^8	5.2×10^{10}	7.57×10^{10}

۴-۴-۴- تحلیل بار لرزه ای

۴-۴-۱- تحلیل دینامیکی تاریخچه زمانی غیرخطی

جهت تحلیل لرزه ای مدل ها از روش تحلیل دینامیکی تاریخچه زمانی غیرخطی استفاده می گردد. طبق بند ۴-۱ پیوست ۲ آیین نامه ۲۸۰۰ زلزله ایران ویرایش ۴ در این روش، تحلیل دینامیکی سازه با اثر دادن شتاب زمین به صورت تابعی از زمان در تراز پایه و محاسبه پاسخ مدل ریاضی سازه که در برگیرنده رفتار فرا ارتجاعی آن است، انجام می شود. در این روش فرض بر این است که ماتریس سختی و میرایی از یک گام به گام بعدی می تواند تغییر کند، اما در طول هر گام زمانی ثابت است. هر چند مراحل تغییر سختی، امری متداول در تمامی انواع تحلیل غیرخطی می باشد اما این امر باعث می گردد که تحلیل غیرخطی بر اساس منشا رفتار غیرخطی طبقه بندی گردد. رفتار غیرخطی در سازه ها می تواند به علت تغییر در رفتار هندسه سازه و یا رفتار مواد سازه به وجود آید. اگر تغییر در سختی به علت تغییر در شکل مدل باشد، رفتار غیرخطی به عنوان غیرخطی هندسی تعریف می گردد. در این پژوهش رفتار غیرخطی هندسی مدنظر قرار می گیرد. یکی از روشهایی که برای تحلیل غیرخطی هندسی در سازه ها می توان استفاده کرد، در نظر گرفتن اثر $\Delta-P$ می باشد که به علت اعمال بار در حالت تغییر شکل یافته یک سیستم سازه ای و تغییر در معادله تعادل سازه به وجود می آید. طبق

۴-۴-۶- دوره تناوب قاب‌ها بدون و با اندرکنش خاک-سازه

طبق بند ۳-۳-۳ آیین‌نامه ۲۸۰۰ زلزله ایران ویرایش ۴ قسمت ب زمان تناوب اصلی نوسان (T) بدون اندرکنش خاک-سازه برای ساختمانها با سیستم سازه‌ای دوگانه یا ترکیبی (سیستم سازه‌ای لوله در لوله) از رابطه زیر تعیین می‌گردد.

$$(۱۲)$$

$$T=0.05H^{0.75}$$

H: ارتفاع کلی قاب

جدول ۷- دوره تناوب قاب‌ها (T) بدون و با اندرکنش خاک-سازه

مدل	نوع خاک	بدون اندرکنش	با اندرکنش
۱	I	۱,۷۱	۱,۷۱
۲	II	۱,۷۱	۱,۷۱

۴-۵-۷- ضریب مقیاس بدون و با اندرکنش خاک-سازه

طبق بند ۳-۳-۵ آیین‌نامه ۲۸۰۰ زلزله ایران ویرایش ۴ هر زوج شتابنگاشت چنان مقیاس می‌شود که برای هر پریود در محدوده $0.2T$ الی $T/5$ دوره تناوب سازه‌ها، مقدار متوسط طیف جذر مجموع مربعات مربوط به تمام زوج مولفه‌ها بیش از ده درصد از $1/3$ برابر مقدار متناظر طیف طرح استاندارد کمتر نشود. ضریب مقیاس نهایی از ضرب ضریب مقیاس در A_I تعیین می‌شود. ضریب مقیاس نهایی بایستی در شتاب‌نگاشت‌های مورد نظر ضرب شده و در تحلیل دینامیکی تاریخچه زمانی مورد استفاده قرار گیرد.

A: شتاب مبنای طرح با توجه به قرارگیری قابها در پهنه با خطر نسبی زیاد

$$A=0.3$$

$$A=0.3$$

I: ضریب اهمیت ساختمان با توجه به اینکه قاب‌ها از نوع مسکونی می‌باشد.

$$I=1$$

جدول ۸- ضریب مقیاس قاب‌ها بدون و با اندرکنش خاک-سازه

مدل	نوع خاک	ضریب مقیاس	ضریب مقیاس نهایی
۱	I	۱,۳۲۹	۰,۳۹۸۷
۲	II	۱,۶۷	۰,۵

۴-۴-۳- شتاب‌نگاشت‌های مقیاس شده

طبق بند ۳-۳-۲ آیین‌نامه ۲۸۰۰ زلزله ایران ویرایش ۴ هر زوج شتابنگاشت به مقدار حداکثر خود مقیاس شوند. بدین معنی که حداکثر شتاب در مولفه‌ای که دارای بیشینه بزرگتری است، برابر شتاب ثقل گردد.

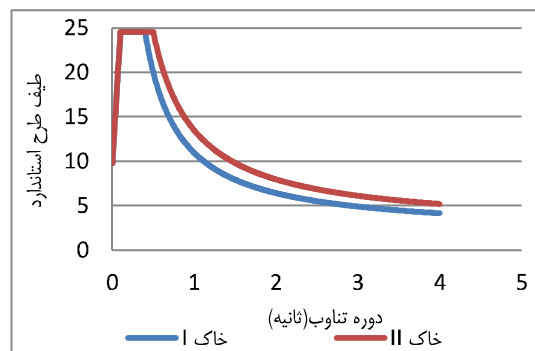
۴-۴-۴- طیف طرح استاندارد

پس از تعیین ضریب بازتاب (B) در بازه زمانی (۴-۰) ثانیه، از ضرب شتاب ثقل ($g=9.81m/s^2$) در ضریب بازتاب طیف طرح استاندارد تعیین می‌شود.

$$(۱۱)$$

$$B=B_1 \times N$$

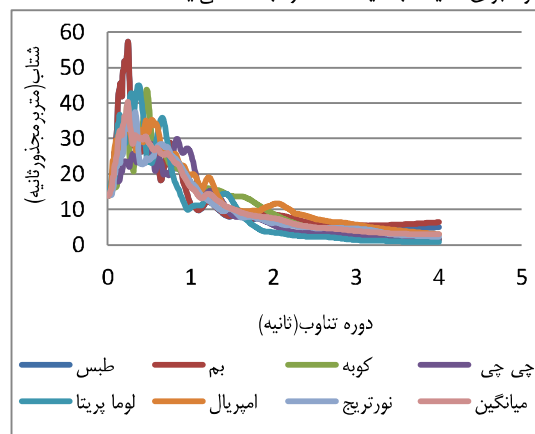
B: ضریب بازتاب، B_1 : ضریب بازتاب طیف، N: ضریب اصلاح طیف



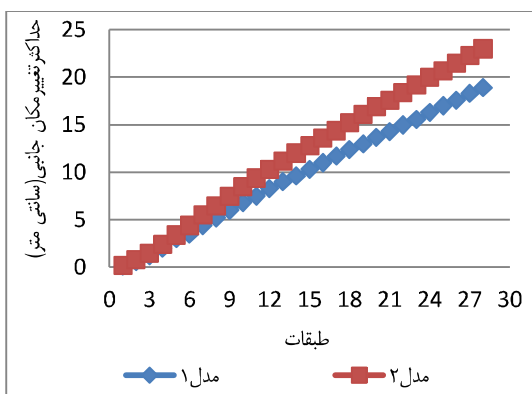
شکل ۶- طیف طرح استاندارد برای زمین‌هایی با خطر نسبی زیاد

۴-۴-۵- طیف پاسخ میانگین

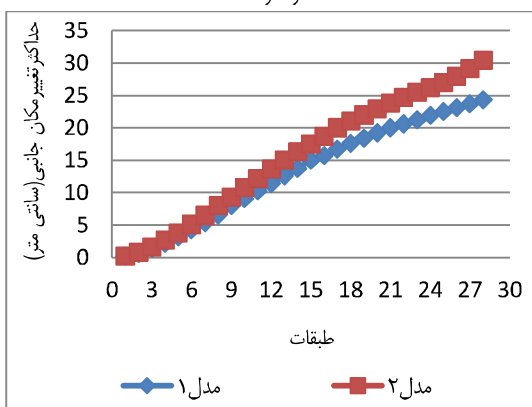
طبق بند ۳-۳-۵ آیین‌نامه ۲۸۰۰ زلزله ایران ویرایش ۴ قسمت پ طیف‌های پاسخ هر زوج شتابنگاشت با استفاده از روش SRSS (روش جذر مجموع مربعات) با یکدیگر ترکیب شده و طیف ترکیبی برای هر زوج شتاب نگاشت ساخته می‌شود. طیف‌های پاسخ ترکیبی هر زوج شتاب‌نگاشت میانگین‌گیری شده و یک طیف کلی (طیف میانگین) صرفاً برای مقایسه با طیف استاندارد بدست می‌آید.



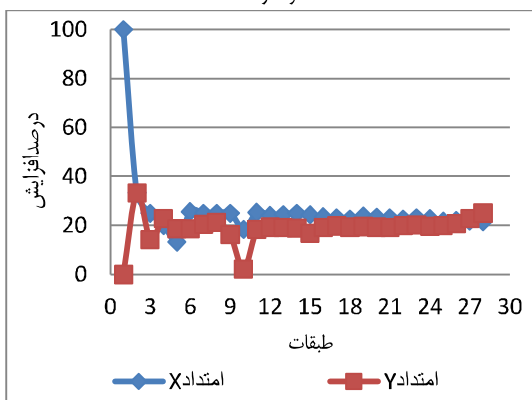
شکل ۷- میانگین طیف پاسخ ترکیبی زوج شتاب نگاشتها



شکل ۱۱- نمودار مقایسه حداکثر تغییر مکان جانبی بدون و با اندرکنش خاک-سازه در امتداد X



شکل ۱۲- نمودار مقایسه حداکثر تغییر مکان جانبی بدون و با اندرکنش خاک-سازه در امتداد Y

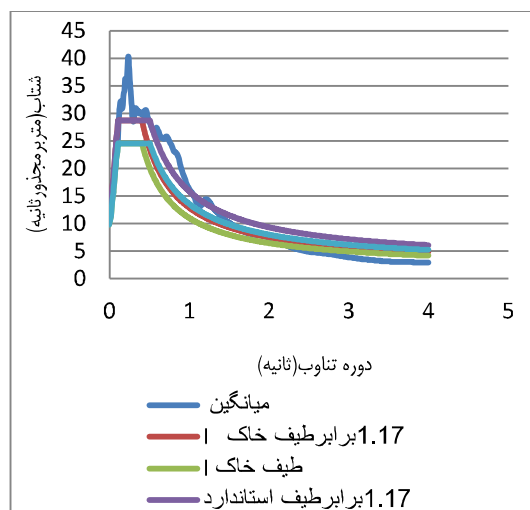


شکل ۱۳- نمودار درصد افزایش حداکثر تغییر مکان جانبی مدل ۲ نسبت به ۱ بدون و با اندرکنش خاک-سازه

۶- بحث و نتیجه گیری

باتوجه به نمودارهای بالا می توان بیان کرد:

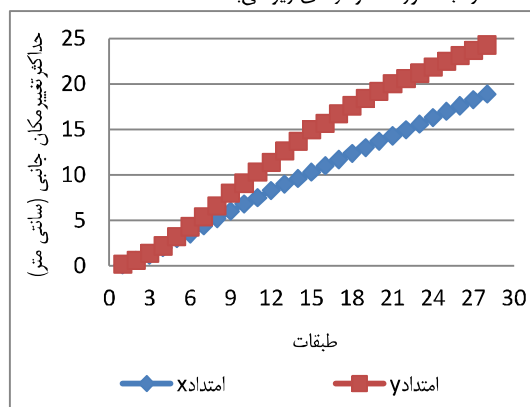
۱- در مدل ۲ بر روی خاک نوع I, II حداکثر تغییر مکان جانبی طبقات با اندرکنش خاک-سازه در امتداد X, Y در مقایسه با بدون اندرکنش تفاوتی نداشته و با یکدیگر برابرند و علت این امر قرارگیری قابها بر روی خاک نوع I, II (همان سنگ بستر) بوده و در تحلیل متداول سازه ها فرض بالا (تکیه گاه گیردار بدون در نظر گرفتن خاک زیرسازه) صادق است می باشد.



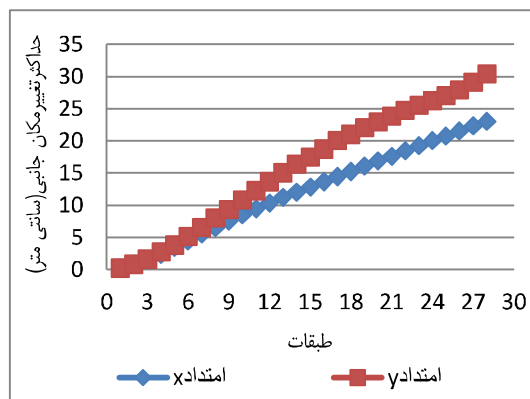
شکل ۱۴- مقایسه میانگین طیف پاسخ ترکیبی زوج شتاب نگاشت ها با ۱,۱۷ برابر طیف طرح استاندارد

۵- نتایج تحلیل

حداکثر تغییر مکان جانبی طبقات مدل ها، بدون و با تاثیر اندرکنش خاک-سازه به صورت نمودارهای زیر می باشد:



شکل ۱۵- نمودار حداکثر تغییر مکان جانبی مدل ۱ بدون و با اندرکنش خاک-سازه



شکل ۱۶- نمودار حداکثر تغییر مکان جانبی مدل ۲ بدون و با اندرکنش خاک-سازه

- [10] Meek, J.W., Wolf, J.P., Cone Models For Homogeneous Soil, J. Of Geotechnical Engineering Division, ASCE, Vol118, No.5, 1992, PP.667-685
- [11] Safak, E., Detection and Identification of Soil-Structure Interaction in Buildings From Vibration Recordings, J. Struct. Engng. ASCE, 121, 1995, PP.899-906
- [12] Mohasseb, S., Abdollahi, B., Soil-Structure Interaction Analyses Using Cone Models, JSEE / Winter, Vol.10, No.4, 2009, P167
- [13] Mingcheng, L., Zhenya, X., Yaoqing, G., Soil-Structure Interactions Of Tube-in-Tube System Of Tall Buildings Based On ODE Solver, Applied Mechanics And Materials, Vol204 -208, Issn:1662-7482, 2012, PP.1118 -1124

۲- نوع خاک در مسئله اندرکنش خاک-سازه بسیار حائز اهمیت است و هر چه سرعت موج برشی در خاک کمتر شود (خاک نرم تر و ضعیف تر) اثر اندرکنش خاک-سازه به علت افزایش پربود سازه در تحلیل بیشتر می گردد. از سوی دیگر میزان افزایش بستگی به نوع رکورد زلزله ها نیز دارد.

۳- با تغییر نوع تیپ خاک (مدل ۲ نسبت به ۱) بدون و با اندرکنش خاک-سازه، حداکثر تغییر مکان جانبی طبقات در امتداد X، روند افزایش نزولی ۲۲ درصد، در امتداد Y، ۲۵ درصد افزایش داشته است. در امتداد Y به علت افزایش تعداد دهانه و همچنین افزایش وزن سازه، پاسخ سازه بدون و با تاثیر اندرکنش خاک-سازه در این امتداد نسبت به امتداد X بیشتر می باشد.

۴- طبق آیین نامه ۲۸۰۰ زلزله ایران ویرایش ۴، حداکثر تغییر مکان جانبی غیرخطی نباید از $0.005H$ (ارتفاع سازه) ۵۵ سانتیمتر تجاوز نماید. بنابراین در قاب ۲۸ طبقه، بدون و با اندرکنش خاک-سازه در دو مدل (۱ و ۲) و بر روی دو نوع خاک (I, II) حداکثر تغییر مکان جانبی غیرخطی طبقات کمتر از حد مجاز آیین نامه می باشد.

۷- مراجع

- [۱] صمدیان، بهروز، تهیه طیف طرح با احتساب اندرکنش خاک-سازه و زلزله های طرح در آیین نامه ۲۸۰۰ ایران، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه مازندران، ۱۳۸۱، ص ۲
- [۲] رعیت رکن آبادی، ابراهیم، مطالعه اثرات اندرکنش خاک-سازه بر پاسخ دینامیکی غیرخطی سازه های متداول با پی های سطحی و مدفون، پایان نامه کارشناسی ارشد، پژوهشگاه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله، ۱۳۸۸، ص ۲ و ۳
- [۳] امین فرهم، ج. و همکاران، تحلیل دینامیکی اندرکنش خاک و سازه در سازه های بتنی به روش المان محدود، نشریه مهندسی عمران فردوسی، دوره ۲۴، شماره ۲، ۱۳۹۲، ص ۷۱ و ۷۰
- [۴] منوچهری، ص، کاربرد سیستم قاب لوله ای در سازه های بلند مرتبه، نشریه پیام نظام مهندسی استان تهران، دوره ۷، شماره ۱۲، ۱۳۹۶، ص ۳۶ و ۳۴
- [۵] همتی، ع، حسینی، ح. م، طراحی بهینه سیستم سازه ای لوله در لوله در ساختمانهای بلند بتن آرمه، همایش ملی مهندسی عمران و پژوهشهای نیاز محور، مشهد، ۲۴ دی، ۱۳۹۴، ص ۱
- [۶] مستوفی نژاد، د، سازه های بتن آرمه براساس ACI 318-05 و آیین نامه بتن ایران (آبا) (جلد دوم)، اصفهان، انتشارات ارکان دانش، چاپ ۱۳۸۹، ۱۳، ص ۲۷۳ و ۲۷۱
- [۷] اسدی پور، اسلام، لحاظ نمودن اثر اندرکنش خاک-سازه در تحلیل دینامیکی طیفی ساختمان ها، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه تربیت مدرس، ۱۳۸۴، ص ۷
- [۸] ابریشمی، س، تحلیل پاسخ دینامیکی خاک با استفاده از مدل مخروط، هفتمین کنگره بین المللی مهندسی عمران، تهران، ۱۸-۲۰ اردیبهشت، ۱۳۸۵، ص ۱

- [9] Luco, J.E., Soil-Structure Interaction And Identification of Structural Models, Proc-2nd ASCE Con. On cation of Structural Models, P. Civil Engng And Nuclear Power Plant, Vol.2, 1980, 12

The Influence of The Interaction of Soil And Structure on Reinforced Concrete Tall Buildings With Flat Slabs And Internal Resistant Core of Tube in Tube System With Consideration of Nonlinear Dynamic Analysis

Reza Hoseini

Department of civil engineering, Urmia branch, Islamic Azad University, Urmia, Iran

Ashkan Khodabandehlou*

Department of civil engineering, Urmia branch, Islamic Azad University, Urmia, Iran

Abstract:

In this study, 2 reinforced concrete 3D building frames for a 28-storey building are going to be considered and analyzed. These frames are in both X and Y directions with tube in tube structural system and a flat plate roof with rigid internal core in the shape of H, in a relatively high risk zone ($A=0.3$ g) on two kinds of soil, with and without soil-structure interaction. The goal of this study is to determine the maximum drift and displacement of the storeys under gravity loads (dead + live) and lateral load of earthquake. A discrete model based on a buried footing Cone Model in homogeneous half space of Wolf and Meek is used to model the soil under the foundation and also to determine dynamic stiffness coefficient and Soil damping coefficient and a substructure method with the footing rigidity assumption is used to analyze the frames with the soil-structure interaction effect. A dynamic analysis of the nonlinear time history of seven accelerograms is used to analyze earthquake load and geometric modeling of all frames with internal core has been done in sap2000-V17 software. The results show that the maximum drift and displacement of the storeys with soil-structure interaction in X and Y direction was not different with the one without interaction and that they are equal. By changing the type of soil with and without soil-structure interaction, the maximum drift of storeys in X direction had a descending increment process of 22 percent and in Y direction, had 25 percent increment.

Keywords: Tube in Tube, Interaction, Discrete Model, Time history