

اندرکنش سازه-خاک

بررسی اندرکنش سازه - خاک (SSI) مربوط به شاخه مهندسی زلزله است. باید توجه داشته باشید که پاسخ سازه عمدتاً ناشی از نیروهای اندرکنش خاک-سازه است. این نیروها که در واقع نوعی تحریک لرزه‌ای هستند بر سازه اثرگذار خواهند بود.

مهندسین تنها زمانی به بررسی اندرکنش سازه -خاک می‌پردازند که این نیروها در مقایسه با حرکت میدان آزاد زمین، اثر کاملاً محسوسی بر حرکات زیرزمینی داشته باشند.

حرکت‌های میدان آزاد را می‌توان حرکت‌های ثبت شده در سطح خاک دانست که ارتباطی با سازه ندارند.

پاسخ سازه به زلزله تا حد زیادی به اندرکنش بین سه سیستم زیر بستگی دارد:

- ۱- سازه
- ۲- فونداسیون
- ۳- خاک زیرین

تجزیه و تحلیل اندرکنش سازه-خاک، روشی برای ارزیابی مجموع پاسخ سه سیستم ذکر شده در بالا برای یک حرکت مشخص از زمین است.

اندرکنش خاک-سازه فرآیندی است که در آن پاسخ خاک بر حرکت سازه تأثیر می‌گذارد، همچنین حرکت یک سازه معین نیز بر پاسخ خاک تأثیر می‌گذارد. در این پدیده جابجایی‌های سازه و زمین مستقل از یکدیگر صورت می‌گیرند.

نیروی خاک-سازه عمدتاً نیروهای اندرکنشی هستند که ممکن است به هر سازه‌ای وارد شوند؛ اما این نیروها نمی‌توانند حرکت‌های خاک را در هر شرایطی تغییر دهند.

ملاحظات مربوط به اثرات اندرکنش سازه -خاک

زمانی که سازه را با در نظر گرفتن فونداسیون صلب، تحلیل کنیم، فرض می‌شود که اندرکنش سازه -خاک هیچی اثری ندارد. این فرض حتی در زمانی که نیروی اندرکنش سازه - خاک بر فونداسیون اثرگذار باشد، نیز لحاظ می‌شود.

تأثیر نیروهای اندرکنش بر حرکت خاک به عوامل زیر بستگی دارد:

- مقدار نیرو
- انعطاف‌پذیری فونداسیون

از شتاب پی و اینرسی سازه می‌توان برای برآورد مقدار نیروهای اندرکنش سازه - خاک استفاده کرد. هر چه سازه سنگین‌تر باشد، اثرات اندرکنش خاک-سازه برای یک مکان خاص و برای تحریک لرزه‌ای میدان آزاد مشخصی بیشتر خواهد بود. بیشتر سازه‌های شهری، چه در خاک سخت ساخته شده باشند یا خاک متوسط، هیچ نشانه‌ای از اثرات SSI را نشان نخواهند داد.

همان‌طور که در بالا ذکر شد، اثرات SSI بیشتر به سازه‌های سنگین مربوط می‌شوند که شامل سازه‌های هیدرولیکی مانند سد‌ها و نیروگاه‌های راکتور هسته‌ای (NPP) هستند.

شرایط دیگری که اندرکنش خاک-سازه باید در آن لحاظ شود، انعطاف‌پذیری خاک است. هر چه خاک نرم‌تر باشد، احتمال وقوع اثرات SSI نیز بیشتر است. این امر برای یک سازه مشخص و سایتی که دارای تحریک‌های لرزه‌ای میدان آزاد است، بیشتر صدق خواهد کرد.

نکته: حاصل‌ضرب جرم مخصوص خاک و مجذور سرعت موج برشی، برابر با مدول برشی خاک است. در عمل، جرم مخصوص خاک حدود ۲ تن در مترمکعب متغیر است. از این رو مشخصه اصلی سختی خاک را می‌توان سرعت موج برشی، V_s در نظر گرفت.

اگر V_s کمتر از ۳۰۰ متر در ثانیه باشد، خاک نرم در نظر گرفته می‌شود.

اگر V_s کمتر از ۸۰۰ متر در ثانیه باشد، خاک سخت در نظر گرفته می‌شود.

اگر V_s کمتر از ۱۰۰۰ متر در ثانیه باشد، خاک صلب در نظر گرفته می‌شود.

کاربرد اندرکنش سازه- خاک

- ۱- این مفهوم در سازه‌های سنگین مانند سازه‌های هیدرولیکی و سازه‌های هسته‌ای استفاده می‌شود.
- ۲- برای سازه‌هایی که در آن‌ها اثرات پی- دلتا غالب باشد، تجزیه و تحلیل مبتنی بر اندرکنش خاک-سازه مفید خواهد بود.
- ۳- بررسی SSI نقش مهمی در فونداسیون‌های عمیق، سازه‌های روی خاک نرم، سازه‌های بلند یا لاغر که دارای سرعت برشی متوسط ۱۰۰ متر بر ثانیه هستند، ایفا می‌کند.

اندرکنش خاک-سازه و پاسخ سازه‌ای

بر اساس نظریه‌های متداول ارائه شده، اندرکنش خاک-سازه دارای اثراتی است که برای پاسخ سازه سودمند هستند. اغلب آیین‌نامه‌های طراحی سازه‌ها توصیه می‌کنند که اثر SSI در تجزیه و تحلیل لرزه‌ای سازه نادیده گرفته شود.

این توصیه به دلیل این پنداشت اشتباه رواج پیدا کرده که SSI واکنش خوبی از سازه را به ارمغان می‌آورد و از این رو احتمال افزایش حاشیه ایمنی را بیشتر می‌کند.

اگر در طراحی، اندرکنش خاک-سازه در نظر گرفته شود، طراحی سازه، انعطاف‌پذیری بیشتری خواهد داشت. این امر سبب افزایش پریود طبیعی سازه می‌شود. در این حالت سازه در مقایسه با یک سازه صلب بهتر خواهد بود.

استفاده از اثرات SSI بر طراحی سازه به افزایش نسبت میرایی سازه کمک می‌کند. این بررسی، روش‌های طراحی محافظه‌کارانه را یا محدود می‌کند و یا نادیده می‌گیرد. تحلیل SSI بسیار پیچیده است و لذا نادیده گرفتن آن، پیچیدگی تجزیه و تحلیل سازه‌ها را کاهش خواهد داد.

نادیده گرفتن آن یعنی نقض پنداشتی که در قبلاً گفته شد. در واقع، SSI ممکن است اثرات زیان‌باری به سازه‌ها وارد کند. نادیده گرفتن اثر SSI سبب طراحی ناامن سازه فوقانی و سازه تحتانی می‌شود.

اثرات اندرکنش خاک-سازه چیست؟

منظور از تأثیرات SSI بیشتر تأثیرات زیان‌بار آن است. همان‌طور که ذکر شد، حتی اگر مطالعات نشان دهند که طراحی مبتنی بر اندرکنش خاک-سازه، پریود زمانی را افزایش می‌دهد، نمی‌توان این‌گونه گفت که افزایش پریود زمانی همیشه یک مزیت است.

ممکن است امواج لرزه‌ای روی خاک‌های رسوبی نرم طولانی‌تر شوند. این امر باعث افزایش پریود طبیعی و رزونانس می‌شود. این رویداد معمولاً با یک لرزش طولانی‌مدت اتفاق می‌افتد.

اگر پریود طبیعی افزایش یابد، نیاز به انعطاف‌پذیری نیز افزایش می‌یابد که ممکن است منجر به تغییر شکل دائمی و شکست خاک شود و در نتیجه پاسخ لرزه‌ای سازه‌ای را بدتر خواهد کرد.

در سازه‌ای که تحت عملکرد نیروهای لرزه‌ای قرار دارد (تحریک لرزه‌ای)، اندرکنش بین خاک و فونداسیون تغییراتی را در حرکت زمین ایجاد می‌کند. اندرکنش خاک-سازه می‌تواند دو نوع پدیده یا اثر داشته باشد (NEHRP, FEMA P-750) که عبارت‌اند از:

- ۱- اندرکنش جنبشی
- ۲- اندرکنش اینرسی
- ۳- اثرات انعطاف‌پذیری فونداسیون-خاک

اندرکنش جنبشی

جابجایی خاک ناشی از حرکت زمین هنگام زلزله، حرکت میدان آزاد نامیده می‌شود. حرکت میدان آزاد در فونداسیون مشاهده نمی‌شود و در نتیجه اثری بر آن نخواهد داشت. اندرکنش جنبشی، ناشی از ضعف فونداسیون در ارتباط کامل با حرکت میدان آزاد است.

اندرکنش اینرسی

تغییر شکل اضافی ایجاد شده در خاک به علت انتقال نیروی اینرسی به خاک زیر سازه فوقانی، اندرکنش اینرسی نامیده می‌شود.

هنگامی که حرکت‌های زمین کم باشد، اثر جنبشی SSI بیشتر خواهد بود. این امر باعث می‌شود که پریود و میرایی تشعشی افزایش یابد. هنگامی که تکان‌ها قوی‌تر باشند، میرایی تشعشی از طریق کاهش مدول خاک در میدان نزدیک و شکافته شدن شمع خاک محدود خواهد شد.

در این شرایط، اندرکنش اینرسی مهم‌تر خواهد بود. این امر باعث ایجاد جابجایی بیش از حد در نزدیکی سطح زمین و آسیب رساندن به فونداسیون‌های شمع‌ی خواهد شد.

مطالعه محققان بر روی زلزله‌های گذشته و زلزله‌های اخیر نشان می‌دهد که پاسخ کلی سازه تحت تأثیر موارد زیر قرار دارد:

- ۱- پاسخ به دست آمده از فونداسیون

۲- پاسخ به دست آمده از خاک

SSI عامل مهمی در فروپاشی سازه‌های بزرگی که در معرض زلزله قرار گرفته‌اند، محسوب می‌شود. مثالی از این مورد بزرگراه هانشین است که در سال ۱۹۹۵ به علت زلزله Kobe تخریب شد.

در زیر عواملی که به این اثرات مرتبط هستند مورد بحث قرار گرفته‌اند.

سختی و میرایی فونداسیون

وقتی یک سازه مرتعش، نیروی اینرسی ایجاد کند؛ لنگر، پیچش و برش پایه می‌شود. این موارد باعث ایجاد جابجایی و چرخش در مرز مشترک بین خاک و سازه خواهند شد. جابجایی و چرخش ایجاد شده در واقع ناشی از انعطاف‌پذیری بین خاک و فونداسیون هستند. این انعطاف‌پذیری دلیل اصلی پایداری کل سازه است.

جابجایی‌های ایجاد شده منجر به از بین رفتن انرژی می‌شوند و بر میرایی کل سیستم تأثیر می‌گذارند.

از آنجا که همه این اثرات در اینرسی سازه‌ای ریشه دارند، به‌عنوان اندرکنش اینرسی شناخته می‌شوند.

تغییرات بین حرکات میدان آزاد و حرکات ورودی فونداسیون

این حرکات می‌توانند به دلایل زیر متفاوت باشند:

۱- اندرکنش جنبشی

۲- جابجایی نسبی بین فونداسیون و میدان آزاد

حرکت‌های فونداسیون ناشی از عناصر سفت فونداسیون که در بالا یا در زیر سطح زمین قرار گرفته‌اند، است. این حرکت ناشی از انحراف نسبت به حرکت میدان آزاد است که در غیاب اینرسی فونداسیون و سازه، سبب اندرکنش جنبشی می‌شود.

تغییر شکل فونداسیون

نیروها و جابجایی‌هایی که بر روی فونداسیون توسط سازه فوقانی یا محیط خاک اعمال می‌شوند، باعث تغییر شکل‌های خمشی، محوری و برشی می‌گردند. این پارامترها مؤلفه‌هایی هستند که اجزای فونداسیون باید مبتنی بر آن‌ها طراحی شوند. این اثرات در مورد فونداسیون‌هایی مانند پی گسترده و شمع‌ها قابل توجه‌تر هستند.

تجزیه و تحلیل اندرکنش سازه-خاک

اندرکنش فوق را به دو روش می‌توان تجزیه و تحلیل کرد. این روش‌ها عبارت‌اند از:

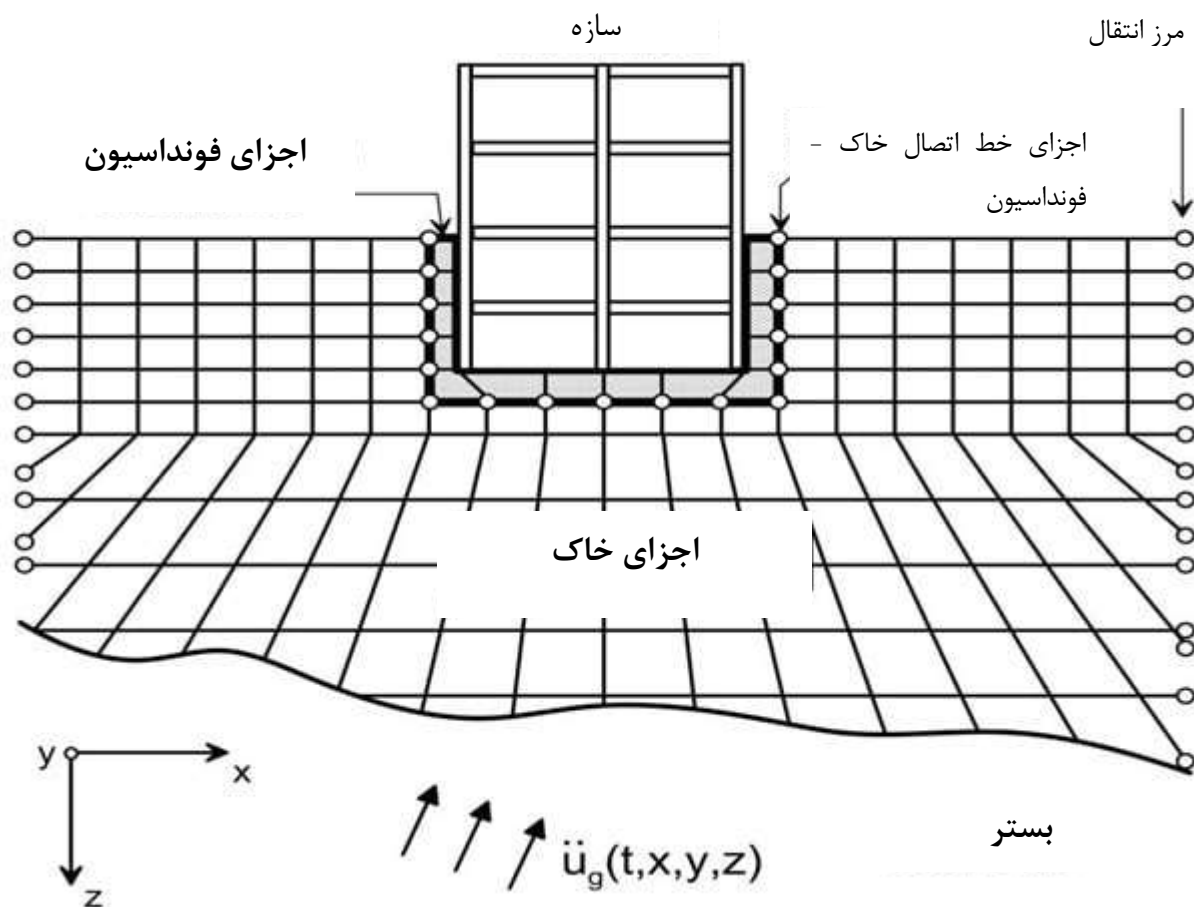
۱- تجزیه و تحلیل مستقیم

۲- رویکرد سازه تحتانی

تجزیه و تحلیل مستقیم اندرکنش سازه- خاک

در این نوع تجزیه و تحلیل، برای خاک و سازه از مدل مشابهی برای تجزیه و تحلیل استفاده می‌شود. لذا به صورت یک سیستم کامل تجزیه و تحلیل خواهند شد. همان‌طور که در شکل ۲ نشان داده شده، سیستم خاک به عنوان یک زنجیره نمایش داده می‌شود.

یکی از مثال‌های موجود در این زمینه، نمایش عناصر محدود است. فونداسیون، عناصر سازه‌ای، مرزهای انتقال بار، المان‌های خط مشترک واقع بر لبه‌های فونداسیون از این دسته هستند



شکل ۱: تصویر تحلیل مستقیم اندرکنش خاک-سازه با کمک اجزای محدود

این روش به ندرت در عمل استفاده می‌شود، زیرا محاسبات زیادی دارد و تحلیل آن بسیار پیچیده است.

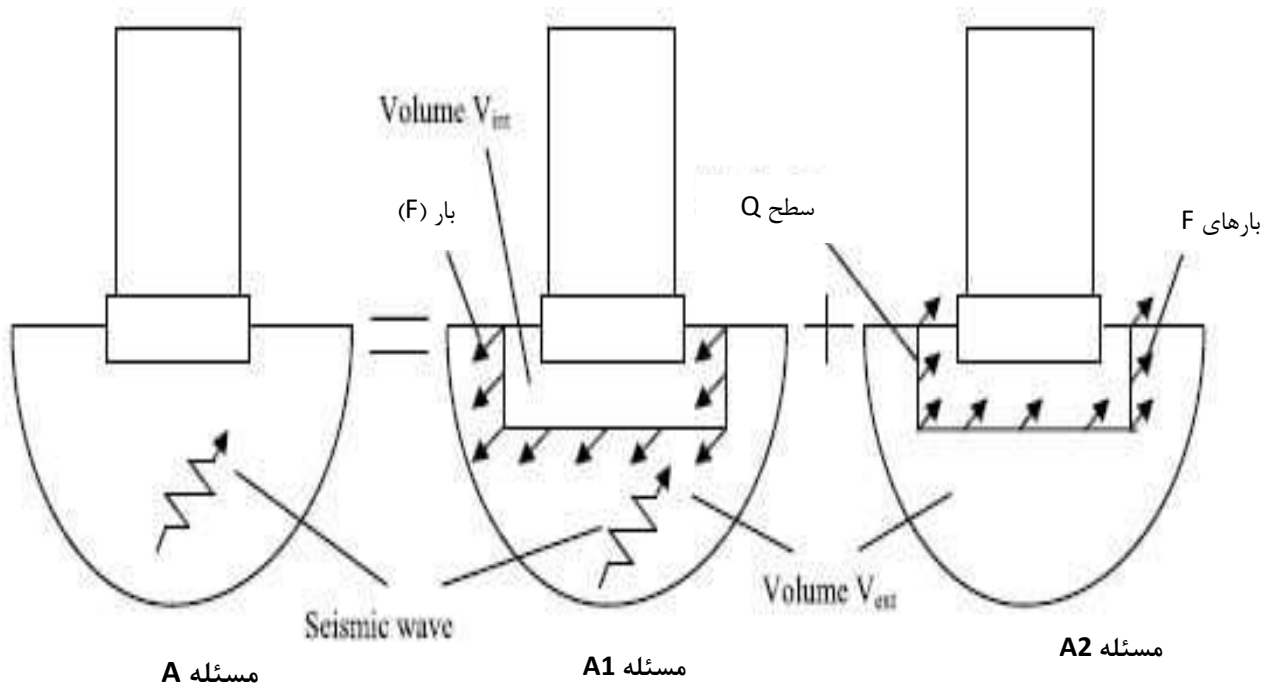
رویکرد سازه تحتانی در اندرکنش سازه-خاک

فعالیت اندرکنش خاک-سازه به دو بخش تقسیم می‌شود. این بخش‌ها به منظور ارائه یک راه‌حل جامع با هم ترکیب خواهند شد. در این رویکرد، مدل با شرایط خاصی تولید می‌شود:

- حرکت‌های میدان آزاد و خصوصیات مربوط به خاک، ارزیابی می‌شوند.
- روابط انتقال برای تبدیل حرکت میدان آزاد به حرکت ورودی فونداسیون ارزیابی می‌گردند.

- میراگر و فنرها تلفیق خواهند شد. فنرها نشان‌دهنده سختی و میراگر نشان‌دهنده میرایی در خط مشترک خاک و فونداسیون هستند.
- پاسخ سازه ترکیبی آنالیز می‌شود.

شکل ۲ در قسمت پایین نشان می‌دهد که چگونه مسئله کلی A مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. این مسئله به دو بخش A1 و A2 تقسیم می‌شود به‌طوری که A برابر با $A1 + A2$ خواهد بود. این کار بر اساس اصل جمع آثار انجام صورت می‌گیرد. هر مسئله به‌طور جداگانه ارزیابی می‌شود و نهایتاً نتایج برای ارائه راه‌حل جامع ترکیب می‌شوند.



شکل ۲: تقسیم مسئله A توسط رویکرد سازه تحتانی-جمع آثار

مترجم: پوریا نخعی

منبع:

<https://theconstructor.org/structural-engg/soil-structure-interaction-effects-analysis-applications/17778/>