

بررسی اثر اندرکنش خاک و سازه در خاکهای لایه‌ای بکمک مدل الاستوپلاستیک خاک

عسکر جانعلیزاده چوب بستی^۱، ابوالفضل غلامرضاتبار^۲، میثم ربیعی^۳

1- استادیار، دانشکده عمران دانشگاه صنعتی بابل

2- دانشجوی کارشناسی ارشد عمران- سازه، موسسه آموزش عالی شمال-آمل

3- کارشناس ارشد عمران - خاک و پی، دانشگاه صنعتی امیرکبیر

ab_gholamrezatabar@yahoo.com

خلاصه

در بررسی رفتار لرزه‌ای سازه عموماً خاک زیر شالوده صلب فرض شده و از اثرات انعطاف‌پذیری و لایه‌ای بودن خاک چشم‌پوشی می‌شود. در این مقاله اثر اندرکنش خاک و سازه برای سازه یک درجه آزادی در برابر زلزله‌های طیس، ناغان و السنترو در خاکهای لایه‌ای بکمک نرم افزار ANSYS با استفاده از مدل الاستوپلاستیک خاک تحقیق شده است. مقایسه طیف حاصل از پاسخ سازه با طیف استاندارد ۲۸۰۰ ایران حاکی است که طیف پاسخ سازه با لحاظ کردن اثر اندرکنش خاک و سازه با طیف آیین نامه مطابقت ندارد، بدین معنی که این اثر در برخی موارد اغماض نیست.

کلمات کلیدی: اندرکنش خاک و سازه، خاکهای لایه‌ای، مدل الاستوپلاستیک خاک

مقدمه

تجربیات گذشته نشان می‌دهد که خاک زیر پی بر روی رفتار دینامیکی سازه تاثیر می‌گذارد. پاسخ دینامیکی سازه حین لرزه‌های اعمالی، متغیری از نوع خاک زیر شالوده بوده، لذا بدون در نظر گرفتن تاثیر آن نمی‌توان تخمین واقع‌گرایانه‌ای از نیروهای اعمالی زلزله بر سازه داشت [۱]. همچنین خصوصیات محلی خاک مانند جنس خاک، لایه‌ای بودن خاک و نیز تغییرات عمق لایه از عوامل موثر بر رفتار لرزه‌ای سازه می‌باشد که باید مورد بررسی قرار گرفته و نیز در تحلیل سازه لحاظ گردد [۲]. بنابراین بنظر می‌رسد بررسی رفتار لرزه‌ای سازه بدون لحاظ نمودن اثر خاک منجر به نتایج واقعی نخواهد شد. در سالهای اخیر تحقیقات وسیعی انجام گرفته است تا این اثر دقیق‌تر مورد بررسی قرار گیرد. بدلیل وجود پارامترهای بیشماری که اکثراً غیرخطی می‌باشند [۳]، بررسی اندرکنش خاک و سازه (Soil Structure Interaction) را بکمک مدل‌های غیرخطی خاک اجتناب‌ناپذیر می‌سازد.

از جمله مهمترین مسائل در تحلیل پدیده اندرکنش خاک و سازه (SSI) ارائه یک مدل مناسب می‌باشد. به منظور بررسی پدیده اندرکنش خاک و سازه در زمان وقوع زلزله روشهای مختلفی با دقت و پیچیدگی متفاوت جهت ارائه مدل تحلیلی مناسب مطرح شده است. برای زمانی که مدلسازی خاک لایه‌ای مورد نظر باشد می‌توان از روشهای زیر استفاده نمود [۴]:

الف- در نظر گرفتن خاک بصورت جرم، فنر و کمک فنر (میرایی) معادل در پی سازه

ب- در نظر گرفتن خاک بصورت تیر برشی با جرم پیوسته و یا متمرکز و سختی گسترده

د- مدل نمودن خاک بصورت مدل اجزاء محدود

در مواردیکه لایه‌های خاک در جهات افقی و عمودی قرار گرفته باشد و نیز بررسی رفتار غیرخطی خاک ضروری باشد می‌توان از مدل اجزاء محدود استفاده نمود تا اثر لایه‌بندی را در تحلیل دخالت داد. بدین ترتیب خطای ناشی از در نظر گرفتن رفتار خطی (ارتجاعی) برای خاک، که در سایر روشهای مدلسازی مانند روش تیر برشی وجود دارد از بین خواهد رفت [۲].

¹ استادیار

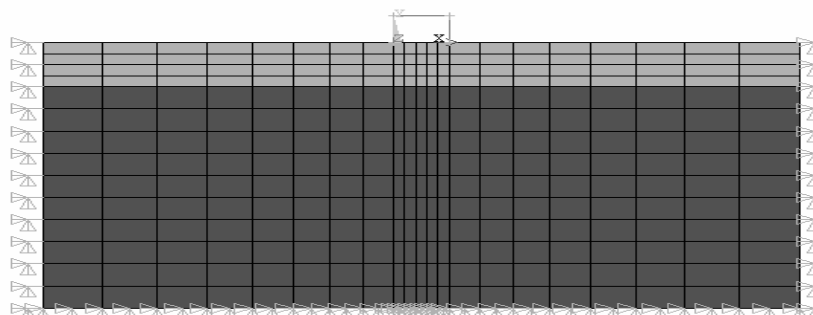
² دانشجوی کارشناسی ارشد عمران- سازه

³ کارشناس ارشد عمران - خاک و پی

در این روش می توان علاوه بر مدفون شدگی پی، لایه بندی خاک در جهات افقی و عمودی را نیز در تحلیل وارد نمود. در مدلسازی اجزاء محدود خاک لایه ای جهت اطمینان از صحت پاسخ فرض شده است که خاک طویل و کم عرض می باشد. در این مقاله جهت محاسبه پیوندها، برای خاکهای نوع یک تا چهار مطابق طبقه بندی آیین نامه ۲۸۰۰ از مدل ترکیبی نیم فضا و اجزاء محدود برای مدلسازی خاک نیز استفاده گردید. در این روش با تقسیم کل سیستم خاک و سازه به یک میدان نزدیک و یک میدان دور، مدلسازی خاک و سازه انجام پذیرفت. میدان نزدیک شامل سازه و یک ناحیه خاک اطراف آن می باشد که بوسیله المانهای محدود غیرخطی مدلسازی می شود، میدان دور با توابع امپدانس توزیع شده در مرز میدان دور و نزدیک مدل می شود. بر حسب نظریه گوپتا (Gupta, 1987) این مدل برای آنالیزهای اندرکنش خاک و سازه دو بعدی و سه بعدی و برای سازه های سطحی و مدفون شده به واقعیت نزدیکتر و با صرفه تر است [۴]. بمنظور دست یابی هدف ابتدا چند مدل اجزاء محدود با المانهای غیرخطی الاستوپلاستیک بکمک نرم افزار ANSYS از خاک و سازه روی آن آماده گردید، سپس با بهره گیری از آنالیز مودال ارتعاشی سازه محاسبه شده است. طیف پاسخ با احتساب اثر اندرکنش خاک و سازه برای خاک لایه ای با ارتفاع مختلف و بدون اثر اندرکنش در مقابل زلزله های طیس، ناقان و السنترو محاسبه و نتایج حاصل با طیف طراحی آیین نامه ۲۸۰۰ ایران مقایسه شده است.

مدلسازی اجزاء محدود و المان بندی سیستم خاک و سازه

در مدلسازی خاک تک لایه چنانکه بیان گردید خاک و سازه به دو ناحیه نزدیک و دور تقسیم شد. در مدل ارائه شده خاک ناحیه نزدیک دارای طول ۵۴ متر و عمق ۳۰ متر می باشد و فرض بر این است که پایین این لایه بستر سنگ قرار دارد. جهت مدلسازی این ناحیه از المان کرنش مسطح Plane 82 استفاده شده است. این المان دو بعدی بوده و دارای چهار ضلع می باشد که دو گره در انتهای هر ضلع و یک گره میانی در وسط ضلع دارد. هر کدام از گره ها دارای دو درجه آزادی انتقالی UX و UY می باشند. در المان بندی ناحیه نزدیک از المان غیرخطی دراکرپراگر استفاده گردید. مش بندی نواحی موثرتر مانند اطراف و زیرپی، ریزتر و برای نواحی با تاثیر کمتر، درشت تر انجام گرفته است. محل اتصال خاک به پی سنگ در هر دو امتداد UX و UY بصورت مفصلی بسته شده است.



شکل 1- مدل اجزاء محدود نیمه بینهایت خاک

ملاک تقسیم بندی خاک در آیین نامه NEHRP [۵] و آیین نامه ۲۸۰۰ ایران [۶] سرعت موج برشی در خاک است. براین اساس سرعت موج برشی خاک در زیر سازه طوری انتخاب شده است که با طبقه بندی چهارگانه زمین مطابق آیین نامه ۲۸۰۰ ایران تطابق داشته باشد. سایر مشخصات خاک مطابق جدول 1 می باشد [۷].

جدول 1- مشخصات خاک بر اساس آیین نامه ۲۸۰۰ ایران

| نوع زمین | سرعت موج برشی V_s (m/s) | مواد متشکل ساختمانی مطابق آیین نامه ۲۸۰۰ ایران | γ (kN/m ³) | V | G (N/m ²) | E (N/m ²) |
|----------|---------------------------|---|-------------------------------|------|-------------------------|--------------------------|
| I | 1200 | سنگهای آذرین، سنگهای رسوبی سخت و بسیار مقاوم، خاکهای سخت با ضخامت بیش از ۳۰ متر | 22 | 0.3 | 3168×10 ⁶ | 8236.8×10 ⁶ |
| II | 560 | سنگهای آذرین سست، سنگهای سست، خاکهای سخت شن و ماسه متراکم، رس بسیار سخت با ضخامت کمتر از ۳۰ متر | 21 | 0.35 | 658.56×10 ⁶ | 1778.112×10 ⁶ |
| III | 275 | سنگهای هوا زده و خاکهای با تراکم متوسط | 18 | 0.4 | 136.125×10 ⁶ | 381.15×10 ⁶ |
| IV | 150 | نهشته های نرم با رطوبت زیاد در اثر بالا بودن سطح آب زیرزمینی | 17 | 0.4 | 38.25×10 ⁶ | 107.1×10 ⁶ |

برای مدلسازی خاک لایه‌ای از دو نوع خاک با خصوصیات متفاوت استفاده گردید. خاک بالایی از نوع خاک رسی با مشخصات ارائه شده در جدول 2 در نظر گرفته شده است [۸] و خاک پایینی از نوع خاک III توصیف شده بر اساس آیین نامه ۲۸۰۰ می باشد.

جدول 2- مشخصات لایه‌های خاک در مدل خاک لایه‌ای

| نوع خاک | سرعت موج برشی $V_s (m/s)$ | خصوصیات محلی خاک | $\gamma (kN/m^3)$ | V | $G (N/m^2)$ | $E (N/m^2)$ |
|---------|------------------------------|--|-------------------|-----|-----------------------|----------------------|
| ماسه | 150 | ماسه شل | 18 | 0.3 | 7.7×10^6 | 20×10^6 |
| III | 275 | سنگهای هوا زده و خاکهای با تراکم متوسط | 18 | 0.4 | 136.125×10^6 | 381.15×10^6 |

در تهیه مدل حاضر چنانکه ذکر گردید ضخامت خاک کم و از دو طرف محدود به بستر سنگی می باشد [۲]. جهت بررسی تاثیر عمق خاک ضعیف ارتفاع لایه رویی خاک در مدل‌های اجزاء محدود بکار رفته تغییر داده شده است. بدین ترتیب چهار مدل سیستم خاک لایه‌ای و سازه با ارتفاع لایه رویی برابر با $h=0.6B$, $h=1.25B$, $h=2B$ آماده شد. که B عرض پی می باشد.

در تهیه مدل برای مدلسازی خاک ناحیه دور از المان Combin14 استفاده گردید. فنرها و کمک فنرها در مرز ناحیه نزدیک بصورت افقی و در راستای اعمال نیروی زلزله قرار داده شده است (اثر فنرها در راستای قائم و نیز بصورت دورانی ناچیز فرض شده است). فنرها از یک طرف به گره‌های روی ضلع انتهایی المان Plane82 و از طرف دیگر به گره‌های کناری که بصورت مفصلی بسته شدند مانند شکل متصل گردیده‌اند. برای محاسبه سختی فنرهایی که در مرز مشترک ناحیه دور و نزدیک خاک قرار گرفته‌اند از پیشنهاد ارائه شده توسط (Whitman & Richart, 1967) و برای محاسبه ضریب میرایی کمک فنرها نیز از روابط (Whitman, 1967) استفاده شده است [۳] و [۹]. با استفاده از روابط، ضرایب سختی و میرایی برای گره‌های میانی و انتهایی محاسبه شده که نتایج آن در جدول 3 آمده است.

جدول 3- ضرایب سختی و میرایی فتر و کمک فنرها

| نوع زمین | N/m سختی گره میانی | N/m سختی گره انتهایی | $\frac{N.s}{m}$ میرایی گره میانی | $\frac{N.s}{m}$ میرایی گره انتهایی |
|----------|----------------------------|---------------------------|----------------------------------|------------------------------------|
| I | 1517025.5909×10^5 | 106763.9405×10^5 | 8007734.160 | 3988060.31 |
| II | 91695.25979×10^5 | 64533.20254×10^5 | 6225711.027 | 3100566.35 |
| III | 21293.67097×10^5 | 14985.87603×10^5 | 3000118.557 | 1494137.23 |
| IV | 5983.345561×10^5 | 4210.907313×10^5 | 1590322.453 | 792022.029 |
| ماسه شل | 1117.33810×10^5 | 786.350570×10^5 | 342261.0856 | 576529.124 |

سیستم سازه بکار رفته یک قاب خمشی یک درجه آزادی است که بر روی چهار نوع خاک I و II و III و IV قرار گرفته است. ارتفاع قاب برابر ۳ متر طول دهانه آن برابر ۴ متر در نظر گرفته شده است. برای المان بندی قاب شامل تیر، ستونها و پی از المان Beam3 استفاده شده است. این المان برای پی به پنج قسمت برابر (برابر تعداد تقسیمات خاک زیر پی) تقسیم بندی شده است و گره‌های المان پی و المان خاک زیر آن با یکدیگر کوپله شده‌اند. ابعاد پی، تیر و ستونها متناسب با پیود مورد نیاز برای محاسبه پاسخ سازه متغیر می باشد. با تغییر ابعاد اعضاء سازه‌ای جدید با پیود متفاوت حاصل می گردد تا پاسخ‌ها طی هر دو تحلیل مودال و تاریخچه زمانی برای سازه با پیودهای مختلف بدست آید. بعد از مدلسازی خاک و سازه در نرم افزار، آنالیز به روش مودال جهت محاسبه پیود سازه‌ها انجام شده است. آنالیز مشابه بر روی سازه با پایه گیردار نیز انجام گرفته تا امکان مقایسه و نیز محاسبه نسبت پیودها در دو حالت وجود داشته باشد.

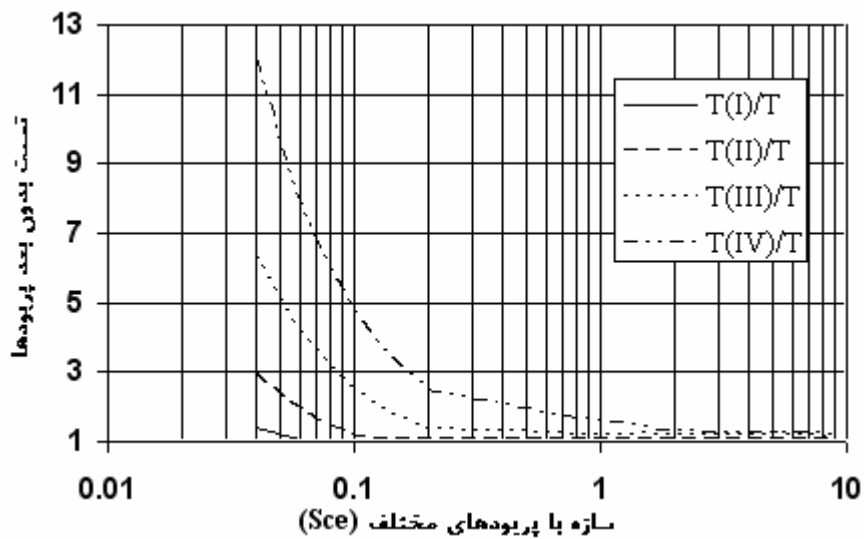
بررسی اثر اندرکنش خاک و سازه بر روی پریود سازه

چنانکه پیش‌تر گفته شده برای محاسبه پریود سازه با احتساب اثر اندرکنش خاک و سازه ($T(i)$ ، شماره نوع خاک) از آنالیز مودال در برنامه ANSYS استفاده شده است. برای محاسبه پریودها از برنامه نویسی ANSYS (macro) بهره گرفته شده است تا به این روش تعداد سازه‌های بیشتری مورد بررسی قرار می‌گیرد. سازه‌ها با پریود کمتر از 0.06 ثانیه تا بیشتر از 9 ثانیه مورد بررسی قرار گرفته‌اند. همچنین پریود سازه‌ها با پایه گیردار (T) نیز محاسبه گردیده است تا مقدار افزایش یافته پریود مشخص شود. خلاصه نتایج در جدول 4 ارائه گردد.

جدول 4- پریود سازه‌ها با پایه گیردار و با احتساب اثر اندرکنش خاک و سازه- خاک تک لایه

| T(Sec) | T(I) | T(II) | T(III) | T(IV) | T(I)/T | T(II)/T | T(III)/T | T(IV)/T |
|--------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|----------|---------|
| 0.0397 | 0.0546 | 0.1174 | 0.2533 | 0.4778 | 1.37784 | 2.9597 | 6.3842 | 12.0444 |
| 0.0561 | 0.0571 | 0.1174 | 0.2533 | 0.4779 | 1.01746 | 2.0935 | 4.5154 | 8.52021 |
| 0.0687 | 0.0694 | 0.1174 | 0.2533 | 0.4781 | 1.01013 | 1.7101 | 3.6877 | 6.95978 |
| 0.0793 | 0.08 | 0.1175 | 0.2534 | 0.4784 | 1.00864 | 1.48191 | 3.19453 | 6.03023 |
| 0.0887 | 0.0894 | 0.1176 | 0.2535 | 0.4786 | 1.00786 | 1.32682 | 2.85801 | 5.39658 |
| 0.0971 | 0.0979 | 0.1179 | 0.2536 | 0.479 | 1.00743 | 1.21405 | 2.60993 | 4.93006 |
| 0.1049 | 0.1057 | 0.1188 | 0.2537 | 0.4794 | 1.00697 | 1.13271 | 2.41715 | 4.56812 |
| 0.1121 | 0.1129 | 0.1224 | 0.2538 | 0.4799 | 1.00664 | 1.0917 | 2.26201 | 4.27759 |
| 0.1254 | 0.1262 | 0.1337 | 0.2541 | 0.4812 | 1.00665 | 1.06616 | 2.02553 | 3.83633 |
| 0.1536 | 0.1545 | 0.1616 | 0.2567 | 0.4862 | 1.0061 | 1.05199 | 1.6712 | 3.16508 |
| 0.2061 | 0.2075 | 0.2153 | 0.2786 | 0.5064 | 1.00676 | 1.04479 | 1.35203 | 2.4572 |
| 0.6871 | 0.6908 | 0.7166 | 0.8271 | 1.2037 | 1.00552 | 1.04299 | 1.20388 | 1.75209 |
| 0.8601 | 0.8646 | 0.8977 | 1.0322 | 1.4919 | 1.00536 | 1.0439 | 1.20031 | 1.63484 |
| 1.2669 | 1.2797 | 1.3146 | 1.5179 | 2.1771 | 1.01017 | 1.03767 | 1.19811 | 1.51851 |
| 1.5662 | 1.5809 | 1.6261 | 1.8857 | 2.6816 | 1.00907 | 1.0379 | 1.20358 | 1.41156 |
| 1.7291 | 1.7446 | 1.7979 | 2.0768 | 2.9664 | 1.00902 | 1.0398 | 1.20112 | 1.31563 |
| 2.2579 | 2.2755 | 2.3606 | 2.7103 | 3.8627 | 1.0078 | 1.04549 | 1.20034 | 1.28075 |
| 2.6163 | 2.6355 | 2.732 | 3.1318 | 4.5024 | 1.00735 | 1.04437 | 1.19705 | 1.22093 |
| 3.0027 | 3.0237 | 3.132 | 3.6002 | 5.1743 | 1.00701 | 1.04306 | 1.19898 | 1.21322 |
| 3.8867 | 3.9143 | 4.0515 | 4.6552 | 6.6831 | 1.00712 | 1.04242 | 1.19775 | 1.2115 |
| 4.4669 | 4.498 | 4.6533 | 5.3407 | 7.6563 | 1.00697 | 1.04174 | 1.19563 | 1.21103 |
| 5.0176 | 5.0522 | 5.224 | 6.054 | 8.5667 | 1.00692 | 1.04127 | 1.20656 | 1.21102 |
| 6.5121 | 6.5556 | 6.7759 | 7.8345 | 11.099 | 1.00668 | 1.04052 | 1.17307 | 1.21102 |
| 7.4211 | 7.4749 | 7.7196 | 8.9245 | 12.652 | 1.00725 | 1.04021 | 1.15258 | 1.21101 |
| 8.5484 | 8.6095 | 8.896 | 10.276 | 14.544 | 1.00714 | 1.04065 | 1.10217 | 1.20013 |
| 9.0011 | 9.0645 | 9.3651 | 10.816 | 15.507 | 1.00716 | 1.04055 | 1.10181 | 1.20001 |

برای مقایسه نتایج خاکها با یکدیگر نمودار بدون بعد پریودها $\frac{T(i)}{T}$ (شماره نوع خاک) بر روی نمودار لگاریتمی ترسیم شده است.



شکل 2 - روند کاهش اثر اندرکنش خاک و سازه با افزایش پریود سازه

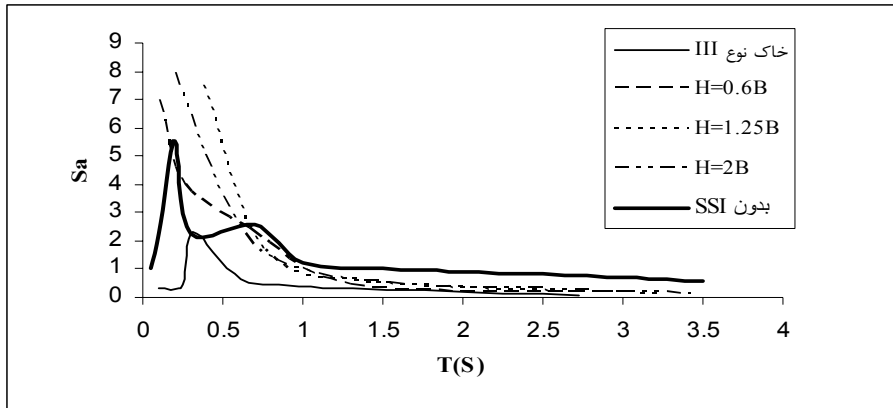
آنالیز مشابهی بر روی خاک لایه‌ای با ارتفاع لایه فوقانی مختلف بنحوی که در بخش قبل تشریح شد انجام گرفته است. برای درک بهتر تاثیر خصوصیات محلی خاک، پریود سازه با پایه گیردار و پریود سازه بر روی خاک تک لایه نوع III مطابق تعریف آیین نامه ۲۸۰۰ نیز آورده شده است. بر این اساس اندرکنش خاک و سازه برای سازه با پریودهای مختلف در محدوده ۰.۰۵ تا ۴ ثانیه مورد بررسی قرار گرفته و نتایج تحلیل در جدول 5 خلاصه شده است. در این جدول T پریود سازه بدون احتساب اثر اندرکنش و سازه (با پایه گیردار)، \bar{T} پریود سازه بر روی خاک نوع III، $\bar{T}(h = 0.6B)$ ، $\bar{T}(h = 1.25B)$ و $\bar{T}(h = 2B)$ پریود خاک با ارتفاع لایه فوقانی بترتیب برابر با 2.4m، 5.0m و 8.0m متر می باشد. چنانکه اشاره شد $B(=4.0m)$ عرض پی می باشد.

جدول 5- پریود سازه‌ها با پایه گیردار و با احتساب اثر اندرکنش خاک و سازه

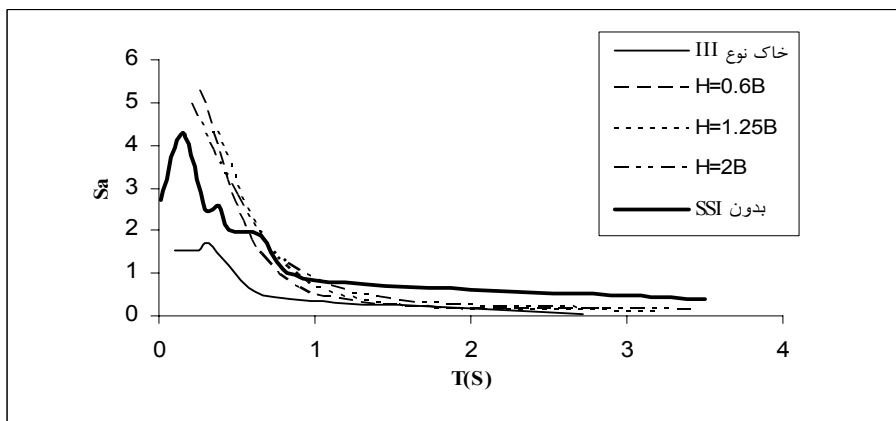
| T | \bar{T} | $\bar{T}(h = 0.6B)$ | $\bar{T}(h = 1.25B)$ | $\bar{T}(h = 2B)$ |
|--------|-----------|---------------------|----------------------|-------------------|
| 0.0562 | 0.25511 | 0.26109 | 0.36901 | 0.50130 |
| 0.1572 | 0.25707 | 0.47619 | 0.55959 | 0.64184 |
| 0.2044 | 0.31646 | 0.66225 | 0.75301 | 0.82508 |
| 0.3576 | 0.43668 | 0.93458 | 1.04275 | 1.11982 |
| 0.4011 | 0.53192 | 1.13636 | 1.26743 | 1.35501 |
| 0.5708 | 0.61349 | 1.30719 | 1.45985 | 1.55521 |
| 0.6386 | 0.86207 | 1.84502 | 2.05339 | 2.17864 |
| 0.7988 | 0.97087 | 2.06186 | 2.29358 | 2.43309 |
| 1.1113 | 1.36241 | 2.91545 | 3.23625 | 3.43642 |
| 1.6071 | 1.92678 | 4.11523 | 4.58716 | 4.85436 |
| 2.2379 | 2.72479 | 5.81395 | 6.49351 | 6.84931 |
| 3.6361 | 3.84615 | 8.26446 | 9.17431 | 9.70873 |
| 3.9484 | 4.71698 | 10.1011 | 11.1982 | 11.8483 |
| 4.4172 | 5.29100 | 11.3636 | 12.5156 | 13.2450 |

محاسبه طیف‌های پاسخ با احتساب اندرکنش خاک و سازه

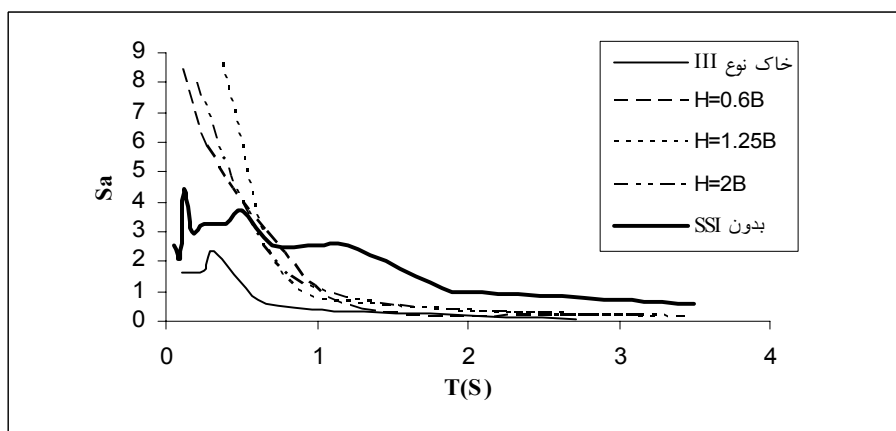
جهت محاسبه طیف‌های پاسخ با احتساب اندرکنش خاک و سازه در حالت تک لایه و لایه‌ای از آنالیز تاریخیچه زمانی استفاده شده است. بر این اساس طیف پاسخ زلزله طیس، ناغان و السنترو با احتساب اندرکنش خاک و سازه برای سازه با میرایی برابر با ۰,۰۵ محاسبه و در شکل‌های (3) تا (5) آورده شده است. پس از آن با تقسیم طیف پاسخ بر شتاب حداکثر هر زلزله، نمودارهای بدون بعد، جهت مقایسه طیف حاصل با طیف موجود در آیین نامه ۲۸۰۰ ایران محاسبه و ترسیم شده است. این نمودارها در شکل‌های (6) تا (8) آورده شده است.



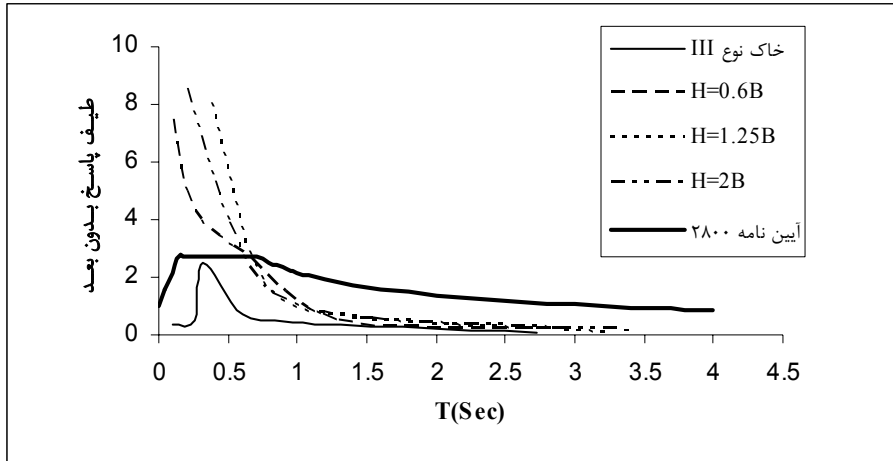
شکل 3- طیف پاسخ زلزله طیس با احتساب SSI برای چهار حالت خاک و سازه با پایه گیردار



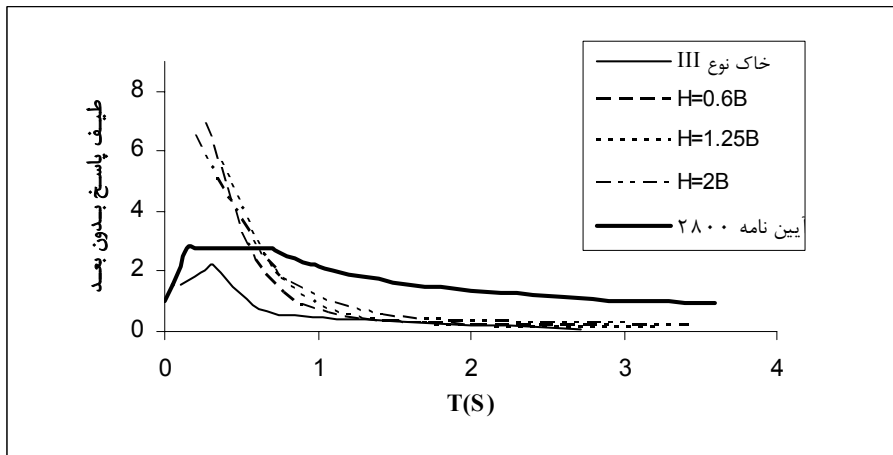
شکل 4- طیف پاسخ زلزله ناغان با احتساب SSI برای چهار حالت خاک و سازه با پایه گیردار



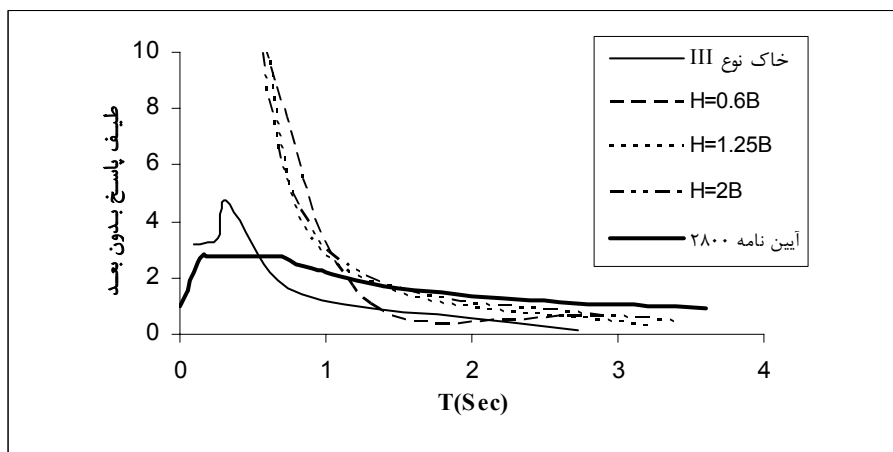
شکل 5- طیف پاسخ زلزله السنترو با احتساب SSI برای چهار حالت خاک و سازه با پایه گیردار



شکل 6- مقایسه طیف پاسخ بدون بعد زلزله طیس با احتساب SSI برای چهار حالت خاک با طیف طرح ایران



شکل 7- مقایسه طیف پاسخ بدون بعد زلزله ناغان با احتساب SSI برای چهار حالت خاک با طیف طرح ایران



شکل 8- مقایسه طیف پاسخ بدون بعد زلزله السنترو با احتساب SSI برای چهار حالت خاک با طیف طرح ایران

نتیجه گیری

- لحاظ کردن اندرکنش خاک و سازه سبب افزایش پریود سازه می شود. این اثر در خاکهای ضعیف تر شدیدتر و غیر قابل اغماض می باشد. با افزایش پریود سازه اثر اندرکنشی در هر چهار نوع خاک I, II, III و IV بر روی پریودها کاهش می یابد.
- لایه ای بودن خاک و یا خصوصیات محلی خاک مانند وجود لایه ضعیف بر روی خاک محل، تاثیر بسزایی در پریود سازه دارد بطوری اگر عمق لایه ضعیف فوقانی زیاد باشد پریود سازه بنحو قابل توجهی افزایش می یابد.
- پاسخ دینامیکی سازه متاثر از خصوصیات محلی خاک بوده و طیف پاسخ سازه را حین اعمال زلزله تغییر می دهد. این تاثیر در دو بخش قابل بررسی می باشد. (الف) برای سازه های با پریود زیریک ثانیه، که اثر اندرکنشی سبب افزایش شدید پاسخ سازه می گردد بنحوی که طیف آیین نامه ۲۸۰۰ این پاسخها را پوشش نمی دهد. (ب) برای سازه با پریود بیش از یک ثانیه، که طیف پاسخ از طیف پاسخ پیش بینی شده در آیین نامه ۲۸۰۰ کمتر می باشد. البته طیف آیین نامه ۲۸۰۰ برای سازه با پریود بالای یک ثانیه پوشش خوبی را فراهم می آورد.

مراجع

- ۱- قناد، محمدعلی. (۱۳۷۹)، "اثر برهم کنش خاک و سازه بر طراحی ساختمانها در برابر زلزله"، شماره هشتم، مجله زمین لرزه، ص ۱۴-۲۰.
- ۲- برگی، خسرو. (۱۳۷۹) "اصول مهندسی زلزله" چاپ سوم، موسسه انتشارات و چاپ دانشگاه تهران
- 3- Kramer, Steven.L.(1996), "Geotechnical earthquake engineering", prentice Hall.
- 4- Wolf, John.P.(1997), "Spring-Dashpot-Mass Models for Foundation Vibrations", Earthquake Engineering and Structural Dynamics, Vol.26,PP.931-949.
- 5- NEHRP, "Recommended provision for the development of seismic regulation for new building" (1994)
- ۶- آیین نامه طراحی ساختمانهای در برابر زلزله (استاندارد ۲۸۰۰) - ویرایش سوم، مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن.
- ۷- گزارشات ژئوتکنیک؛ آزمایشگاه فنی و مکانیک خاک، وزارت راه و ترابری، کردستان، سنندج.
- ۸- براجا ام داس، (۱۳۷۵) "دینامیک خاک"، مترجم نائینی، سید ابوالحسن، چاپ اول، انتشارات دانشگاه بین المللی امام خمینی
- 9- Whitman, R.V; Richart, F.E (1967), "Design Procedure for Dynamically Loaded Foundation", Table 4, pp.182-192.