اوّلین همایش ملّی مهندسی سازه ایران
۲۱ و ۲۲ دیماه ۱۳۹۳، تهران، مرکز همایش‌های هتل المپیک

کد مقاله: ۱۵۲-۱

تأثیر اندرکنش خاک- سازه بر رفتار دینامیکی سازه‌های پایه جدایش شده

عرفان علوی[۱]، مجتبی علیدوست[۲]

۱- دکترای مهندسی عمران، ، e.alavi@iiees.ac.ir

۲- کارشناس ارشد سازه

چکیده

بر مبنای مطالعات و مشاهدات صورت گرفته تاکنون، جدا سازی پایه های یک ساختمان از فونداسیون آن به وسیله جداگرهای(ایزولاتورهای) لرزه ای مناسب و در شرایطی که امکان بهره برداری از چنین سیستمی باشد، نقش مؤثری در افزایش پریود طبیعی و میرایی و در نتیجه کاهش انرژی ورودی به سیستم و بهبود عملکرد لرزه ای آن ایفا مینماید. از آنجایی که مطالعات کمی بر روی اثرات ناشی از اندرکنش خاک – سازه بر سیستم سازه پایه جدایش شده (Base Isolated Structure) صورت گرفته است، این مقاله به بررسی رفتار دینامیکی سازه های پایه جدایش شده با در نظر گرفتن اثرات محتمل ناشی از اندرکنش خاک – سازه می پردازد. بدین منظور، تعداد متنوعی از سازه های پایه جدایش شده در محدوده های ارتفاعی نسبتا" کوتاه تا متوسط شامل چهار، هفت و ده طبقه انتخاب شده و برای پریود های هدف متغیر برابر با ۱/٦و ۲و ۲/۵ ثانیه برای هر یک از سازه ها، ابتدا، بدون در نظر گرفتن اثرات اندرکنشی خاک مدل سازی و طراحی شده اند. سپس، با فرض قرارگیری سازه ها بر روی خاک های مختلف از نوع نرم و متوسط تا خیلی سخت اثرات اندرکنش خاک – سازه بر پاسخهای دینامیکی آنها مطالعه شده است. در مدلسازی و تحلیل عددی، سیستم سازه ای قرارگرفته بر روی جداگرها به صورت جرمهای متمرکز متصل به فنرها و میرایی های متناظر سازه ای مدل شده، و ایزولاتورها و خاک زیر فونداسیون نیز هر کدام به طور جداگانه با فنرها و میرایی های معادل آنها شبیه سازی شده اند. رفتار دینامیکی طیفی سازه های پایه جدایش شده در حالتهای با پای ثابت و اندرکنش با خاک مورد بررسی و مقایسه قرار گرفته اند. نتایج نشان میدهند هر چه اختلاف سختی مجموعه سازه پایه جدایش شده به خاک بیشتر گردد، اثرات اندرکنش خاک–سازه بر روی پاسخها بزرگتر میگردد. بعلاوه، بر روی خاکهای خیلی سخت اثرات اندر کنش خاک – سازه در پاسخهای دینامیکی سازه های پایه جدایش شده ناچیز میباشد(کمتر از ۵٪) ، و بر روی خاکهای نرم میزان تأثیر اندرکنش به طور قابل توجهی افزایش می یابد (بیشتر از ۱۰٪). همچنین، با افزایش نسبت ارتفاع ساختمان به شعاع معادل فنداسیون آن (H/r)، اثر اندرکنش خاک – سازه بر پاسخها افزایش میبابد.

کلمات کلیدی: اندرکنش خاک- سازه،SSI، سازه پایه جدایش شده، رفتار دینامیکی، جداگر لرزه ای

۱- مقدمه

با توجه به مطالعات صورت گرفته، اندرکنش خاک – سازه بویژه در سازه های سنگین روی خاک های نسبتا" نرم نقش مهمی در رفتار دینامیکی ایفا نموده و تغییراتی در مشخصات دینامیکی پاسخ های سازه ایجاد می نماید. به طور معمول، در طراحی از اندرکنش خاک – سازه در سازه ها

Archive of SID

www.SID.ir

صرفنظر شده و پای سازه ثابت در نظر گرفته می شود. در سالهای گذشته مطالعات ارزشمندی در زمینه رفتار دینامیکی سازه ها با در نظر گرفتن اثرات اندرکنش خاک – سازه[۱] بویژه در سازه های مربوط به تأسیسات هسته ای توسط ادریس*Idriss* [۲] در سال ۱۹۷۹و جانسون *Johnson* [۳] در سال۱۹۸۱ صورت گرفته است. در این تحقیقات مشاهده گردیده که اندرکنش خاک و سازه سبب کاهش فرکانس طبیعی سازه و افزایش میرایی انرژی ورودی به سیستم می گردد. در اکثر مقالات و تحقیقات انجام شده در رابطه با سازه های پایه جدایش شده، غالبا" اتصال فونداسیون به خاک به صورت پای ثابت بوده و از اثر اندرکنش خاک – سازه روی رفتار لرزه ای صرفنظر می شود. مطالعات اخیر روی سازه های پایه جدایش شده پل ها و سایر سازه ها گویای این واقعیت است که اثر در نظر گرفتن اندرکنش خاک و سازه در بعضی موارد سبب اقتصادی ترشدن طرح شده و روی پاسخ های دینامیکی تاثیر گذار است. بیشتر مطالعات صورت گرفته در چند سال اخیر در مورد اثر اندرکنش خاک – سازه در سازه های پایه جدایش شده همانند پل ها و مخازن ذخیره مایعات بوده اند. کونستانتینو و نیفاتی *Constantinou* و *neifati* [٤] به کمک روشهای انرژی به تخمین میرایی سازه های پایه جدایش شده پرداخته و میزان کاهش انرژی ورودی ناشی از اثر میرایی خاک را بررسی کردند. نواک و هندرسون *Novak* و *Henderson* [٥] به مطالعه سازه های پایه جدایش شده با در نظر گرفتن نرمی خاک و سختی ایزولاتورها پرداخته و نشان دادند که اثراندرکنش خاک – سازه در برخی شرایط میتواند حائز اهمیت باشد و نمیبایست نادیده گرفته شوند. کلی*Kelly* [٦] مطالعاتی به صورت آزمایشگاهی برروی سازه های پایه جدایش شده سایت های اتمی قرار گرفته روی خاک نرم انجام داد و به این نتیجه رسید که در طراحی ایزولاتورها اثرات جابه جایی های مورد انتظار بایستی مد نظر قرار گیرند. اسپایراکوس و ولاسیس *Spyrakos* و *Vlassis* [۷] مطالعات پارامتریک بر روی سازه های پایه جدایش شده با در نظر گرفتن اثر اندرکنش خاک و سازه انجام دادند. نتایج تحلیل آنها نشان دهنده تأثیر اندرکنش خاک– سازه بر روی رفتار این نوع سازه ها بوده است.

در این مقاله اثر اندرکنش خاک – سازه برای سازه های پایه جدایش شده ٤، ۷ و ۱۰ طبقه قرار گرفته روی خاک های گوناگون بررسی شده است. ابتدا سازه های مورد نظر با صرفنظر کردن از اثرات اندرکنشی خاک و در حالت پایه جدایش شده طراحی گردیده و پریود پایه آنها برای هر سازه ۱/٦، ۲ و ۲/٥ ثانیه در نظر گرفته شده تا محدوده کلیه سازه های پایه جدایش شده و همچنین سختی نسبی سازه های بالای ایزولاتور به خاک قرار گرفته زیر آنها، پوشش داده شود. برای بررسی اثر ارتفاع به شعاع معادل فنداسیون و ارتعاش دورانی سازه(*Rocking*) ، ارتفاع سازه ها به صورت متفاوت انتخاب شده است. در مدل سازی تحلیلی، سازه بالای ایزولاتورها به صورت جرم متمرکز با سختی و میرایی های متناسب مدل شده است؛ همچنین، ایزولاتورها نیز براساس سختی و میرایی های مربوطه مدل گردیده اند. آنالیز دینامیکی طیفی برای سازه های پایه جدایش شده در حالتهای پای ثابت و اندرکنش خاک – سازه انجام گردیده و نتایج مقایسه و بررسی شده اند.

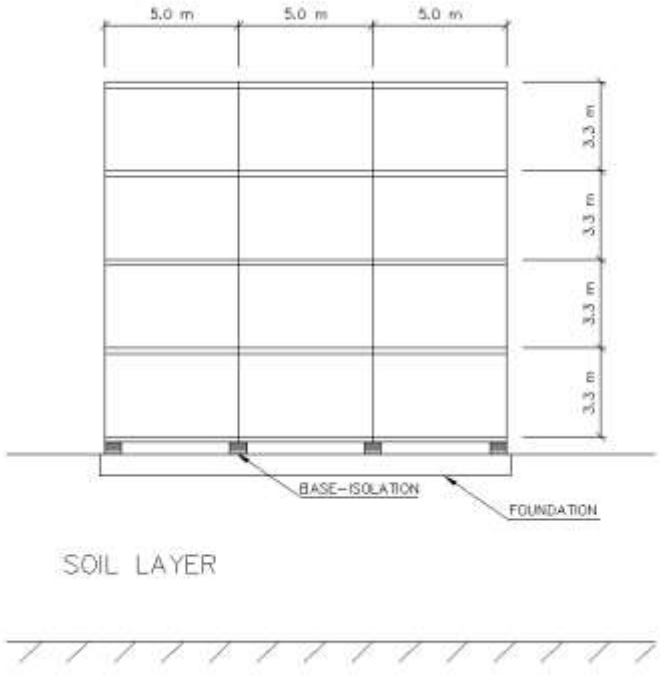
۲- مدل های آنالیزی و فرضیات

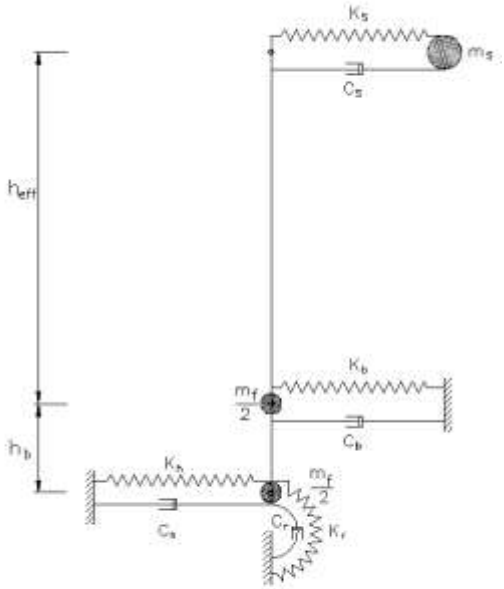
سه سازه پایه جدایش شده ٤، ۷ و ۱۰ طبقه انتخاب شده و براساس *Guideline UBC 97* [۸] طراحی شده است. شکل ۱ سازه چهار طبقه بعنوان نمونه نشان داده شده است. مشخصات خاک زیرسازه براساس مدل مخروطی نیمه بی نهایت (*Half-Space Cone Model*) مدل گردیده است. سه نوع خاک براساس *UBC 97* در نظر گرفته شده است (S_C, S_D, S_E). سازه ها در حالت پای ثابت و در نظر گرفتن اثر اندرکنش خاک سازه برای نوع های مختلف خاک بررسی و مقایسه شده است. مدل تحلیلی ارائه شده در شکل۲ برای بررسی همزمان اثر اندرکنش و اثر پایه جدایش شده در نظر گرفته شده است. در این مدل h_{eq}, C_S, K_S, m_S به ترتیب جمع متمرکز، سختی، میرایی و ارتفاع معادل سازه می باشند. هر طبقه دارای پلان مربعی شکل با ابعاد ۱۵×۱۵ مترمربع و شامل سه دهنه در هر جهت با فاصله مساوی ٥ *m* می باشد، پریود

Archive of SID

www.SID.ir

پایه هر سازه فوقانی در حالت پای ثابت (بدون ایزولاتورها) برای سازه های ٤، ٧ و ١٠ طبقه به ترتیب ٠/٢، ٠/٣٥ و ٠/٥ فرض شده و نسبت میرایی سازه در مد پایه ٥ درصد و در سازه پای جدایش شده در حدود ١٠,٥ درصد در نظر گرفته شده است. ارتفاع هر طبقه ٣/٣ متر و وزن آن ٢٠٠٠*KN* مفروض بوده اند. فنداسیون و کف صلب در بالای ایزولاتورها به صورت گسترده و نسبتا" صلب در نظر گرفته شده، جرم تراز پی نیز به صورت متمرکز m_f و تقسیم شده در دو قسمت بالا و پایین ایزولاتورها اعمال گردیده اند. محل اثر جرم مؤثر سازه فوقانی برابر ٠/٥٥ ارتفاع سازه در نظر گرفته شده که بر اساس نتایج حاصل از کارهای *Lee* (2001) [٩] روی توزیع قائم بارهای استاتیک معادل برای سازه های پایه جدایش شده که بر مبنای نظریه جابه جایی نسبتا" صلب سازه های پایه جدایش شده میباشد، در نظر گرفته شده است. لرزه خیزی، براساس *UBC97*، *Zone 3* فرض گردیده است. پریود طبیعی هدف در سازه پایه جدایش شده ١/٦ ، ٢ و ٢/٥ برای همه سازه ها با هر نوع تعداد طبقه و شرایط خاکی در نظر گرفته شده و سیستم جابه جایی افقی ایزولاتورها در طراحی جابه جایی آنها براساس سختی K_{Dmin} منتج از بخش (٢-٥٨) *UBC 97* حاصل شده و از آنجا میزان جابه جایی طرح D_D، در جهات افقی، براساس معادله (١-٥٨) تعیین شده است. براساس این مقادیر، برشهای پایه استاتیکی معادل V_b برای طراحی ایزولاتورها (C_b, K_b) براساس معادله (٨-٥٨)*UBC 97* محاسبه شده اند. مدل میرایی متناسب با سختی و با درنظر گرفتن میرایی خاک و سازه در حدود ٪١٢/٥، ٪١٤ و ٪١٦ در مد اول و با توجه به انواع خاک S_C، S_D و S_E به ترتیب درنظر گرفته شده است. با توجه به مدل فیزیکی تعریف شده و این امرکه مقادیرسختی و میرایی سازه فوقانی، سختی و میرایی ایزولاتورها و سختی و میرایی خاک به طور مجزا و غیرمتناسب با یکدیگر تعریف شده اند، سیستم تحلیل دینامیکی از نوع *None- Classical* محسوب گردد. خاک زیر فنداسیون بصورت مدل نیمه بینهایت با فنرها و سختی های معادل مدل گردیده و سختی و میرایی دینامیکی مستقل از فرکانس در جهت افقی (K_h, C_h) و دورانی *Rocking* (K_r, C_r) برای آن جایگزین شده است. (شکل ٢)





شکل٢ : مدل آنالیزی برای سازه پایه جدایش شده با در نظر گرفتن خاک

شکل١ : سازه پایه جدایش شده چهار طبقه

www.SID.ir

۲-۱-طراحی ایزولاتور

ایزولاتورهایی با میرایی بالا و مسلح شده به صفحات فلزی (*Multi layered High-Damping Natural Rubber*) فرض شده است و ماکزیمم کرنش برشی $\gamma=150\%$ و مدل برشی الاستومر $G=0.6\ MPa$ و نسبت میرایی $ß=0.15$ در نظر گرفته شده است. براساس این فرضیات و با در نظر گرفتن روابط ارائه شده توسط نعیم و کلی *Naeim and Kelly* [۱۰]، از معادله (۱) ضخامت ایزولاتورها با فرض t_r $=0.3m$ برای ساختمان چهار طبقه، $t_r = 0.4m$ برای ساختمانهای هفت و ده طبقه طراحی شده است. جابه جائی محتمل ماکزیمم D_{TM} وابسته به *MCE* زلزله در طراحی ایزولاتورها در نظر گرفته شده است. مشخصات ایزولاتورها در جدول ۱ با توجه به تعداد طبقات آورده شده است که K_b برابر سختی افقی ایزولاتورهاست. جزئیات بیشتر در طراحی ایزولاتورها در مقالات علوی و همکاران [۱۱و ۱۲] ارائه شده اند.

$$t_r = \frac{D_{TM}}{\gamma} \qquad (۱)$$

جدول۱ : ضخامت و سختی ایزولاتور ها

Base-Isolated Buildings	$T_D=1.6\ sec$	$T_D=2.0\ sec$	$T_D=2.5\ sec$	$T_D=1.6,\ 2.0,$ and $2.5\ sec$
	K_b kN/m	K_b kN/m	K_b kN/m	t_r mm
4-Story	12323.8	7887.2	5047.8	300
7-Story	21566.7	13802.7	8833.7	400
10-Story	30809.5	19718.1	12619.6	400

۲-۲- پارامترهای خاک

نقش اندرکنش خاک – سازه در پاسخهای سیستم سازه ای اساسا" به ابعاد سازه، مشخصات دینامیکی، پروفیل خاک و مشخصات زلزله مرتبط میباشد. معادلات (۲) تا (۵) پارامترها و مشخصات خاک بکار رفته در مطالعه اثرات اندرکنش خاک و سازه روی سازه های پایه جدایش شده را نشان میدهند. در مدل کردن خاک از تئوری مخروطی مدل نیمه بی نهایت (*Half-Space Cone Model*) برای محاسبه سختی و میرایی در جهت های افقی و دورانی استفاده شده است. نسبت سختی سازه پایه جدایش شده به سختی خاک a_0 نامیده شده است که برای سازه پای ثابت $a_0 = 0$ ، و هر چه مقدار این عدد بزرگتر باشد اندرکنش خاک و سازه از اهمیت بیشتری برخوردار میگردد. در جدول ۲ مقادیر a_0 به ازای $T_D = 2\ sec$ برای سرعت های موج برشی خاکهای مختلف آورده شده است، که در سرعت موج برشی بالا (خاک سخت) مقادیر a_0 کوچکتر و اهمیت اندر کنش خاک و سازه (*Soil Structure Interaction, SSI*) کمتر می گردد.

Archive of SID

www.SID.ir

در روابط مذکور، h_{eff} و W_{Sb} به ترتیب ارتفاع مؤثر و فرکانس دورانی مد اول سازه پایه جدایش شده میباشند. همچنین، V_S سرعت موج برشی و $\overline{m}$ اندیس بدون بعدی است که از نسبت مجموع جرم سازه و پی به خاک حاصل میشود و در اینجا حدود ۰/٤۷ برای همه سازه ها برآورد شده است. ρ چگالی خاک و H ارتفاع سازه، r شعاع معادل فنداسیون، G و υ به ترتیب مدول برشی و ضریب پراسون خاک می باشند. بعلاوه، G_0 مدول برشی اولیه خاک است، و نسبت $\frac{G}{G_0}$ به نوع خاک و مشخصات لرزه ای سایت بستگی دارد که در محدوده بین ۰/۵ تا ۱ قرار میگیرد، که در این مطالعه این نسبت برابر با میانگین یعنی ۰/۷۵ فرض شده است.

$$a_0 = \frac{h_{eff}.\omega_{sb}}{v_s} \quad , \quad \overline{m} = \frac{m_s + m_f}{\rho.r^2.H} \qquad (۲)$$

$$k_h = \frac{8G.r}{2-\upsilon} \quad , \quad c_h = \frac{4.6r^2}{2-\upsilon}\rho v_s \qquad (۳)$$

$$k_r = \frac{8G.r^3}{3(1-\upsilon)} \quad , \quad c_r = \frac{0.4r^4}{1-\upsilon}\rho v_s \qquad (۵)$$

$$\frac{G}{G_0} = 0.75$$

طبق تعریف، خاک با سرعت موج برشی $V_S \le 200\ m/s$ بعنوان خاک نرم و خاکهای با سرعت موج برشی $200\ m/s < V_S \le 375\ m/s$ بعنوان خاک نسبتا" سخت و خاک با سرعت موج برشی $V_S > 375\ m/s$ بعنوان خاک خیلی سخت در نظرگرفته شده اند. بعلاوه، برای سرعت موج برشی بیشتر از $760\ m/s$ نتایج همانند قرار گیری سازه بر روی سنگ بستر میباشد که با نتایج سازه با پای ثابت برابر است. مشخصات بدست آمده برای سازه ها بر مبنای این روابط در جدول ۳ خلاصه شده، سایر مشخصات مفروض نیز در ذیل ارائه شده اند.

$$h_{eff} = 0.55H \qquad \rho = 1800\ kg/m^3 \qquad \upsilon = 0.33 \qquad v_s = 70,\ 100,\ 200\ \ and\ \ 400\ \ m/s$$

جدول۲ : نسبت سختی سازه پایه جدایش شده به سختی خاک a_0 برای T_D=2 Sec

Shear Velocity, v_s , m/s	4-Story	7-Story	10-Story
70	0.33	0.57	0.81
100	0.23	0.40	0.57
200	0.11	0.20	0.29
400	0.06	0.10	0.14

Archive of SID

www.SID.ir

جدول۳ : پارامتر های خاک در آنالیز اندرکنش خاک و سازه

Shear Velocity, v_s m/s	G N/mm^2	K_h N/mm	C_h N.s/mm	K_r N.mm/rad	C_r N.mm.s/rad	Soil Type
70	6.62	2.69E+05	2.49E+04	1.60E+13	3.88E+11	SE
100	13.50	5.48E+05	3.56E+04	3.27E+13	5.54E+11	SE
200	54.00	2.19E+06	7.12E+04	1.31E+14	1.11E+12	SD
400	216.00	8.77E+06	1.42E+05	5.24E+14	2.22E+12	SC

۲-۳- آنالیزهای عددی

سازه های مورد مطالعه براساس آنالیز دینامیکی طیفی مطابق *UBC97* و در شرایط پای ثابت و اندرکنش خاک سازه با مشخصات خاک مختلف در زیر آنها مورد مطالعه قرار گرفته اند. پاسخ های دینامیکی دو مدل با هم مقایسه گردیده و اثر اندرکنش خاک – سازه روی پریود پایه، برش پایه طراحی و جابه جایی نسبی سازه در شرایط مختلف خاک زیر آن با ایزولاتور های متفاوت، ارتفاع های مختلف سازه (لاغری) در فرکانس های متفاوت بررسی شده اند.

۳- نتایج آنالیزها

در این بخش نتایج بدست آمده از آنالیزهای عددی ارائه و بحث شده اند.

۱-۳- اثر اندرکنش خاک – سازه برروی پریود طراحی، T_D

در این قسمت اثر اندرکنش خاک سازه برای سازه های پایه جدایش شده مورد بررسی قرار گرفته و با نتایج حالت پای ثابت مقایسه گردیده است. شایان ذکر است با توجه به فرض سازه یک درجه آزادی (سازه فوقانی) در طراحی ایزولاتورها و محاسبه T_D و از آنجائیکه مدل های تحلیلی سازه، چند طبقه می باشند یا بعبارتی دارای درجات آزادی بیشتری هستند لذا پریود مد اول آنها در تحلیلهای عددی کمی بیشتر از T_D میباشد که در شکل های ۳ تا ۵ دیده میشود. بعلاوه، پریودهای مختلف سازه های پایه جدایش شده در شرایط ساختگاه متفاوت با توجه به نسبت (H/r) و T_D متفاوت حاصل شده و در شکلهای مذکور نمایش داده شده است. از گرافها میتوان نتیجه گرفت که برای یک سازه پایه جدایش شده با تعداد طبقات یکسان، برای مثال ۱۰ طبقه با پریود $T_D=1.6$ ، شکل ۳، پریود پایه از ۱/۷٤ ثانیه در حالت پای ثابت تا ۲/۱۹ ثانیه در حالت اندرکنشی سازه بر روی خاک نرم یعنی در حدود ۲٦ درصد افزایش یافته است.

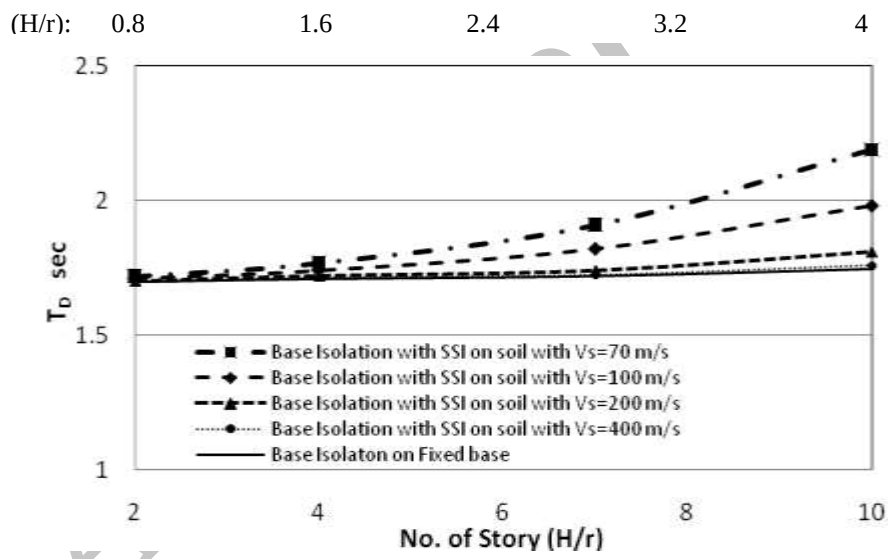
افزایش در پریود پایه در همه سازه ها و در شرایط مختلف ساختگاه و با ارتفاع های مختلف در حالت *SSI* قابل مشاهده است. لکن، نسبت افزایش پریود برای سازه های قرار گرفته روی خاک نرم به سایر انواع خاک بیشتر میباشد. همچنین، هر چه سازه قرار گرفته روی خاک، سخت تر باشد این افزایش بیشتر خواهد بود. بطوریکه به عنوان مثال در شکل ۵ در سازه ۱۰ طبقه در پریود هدف $T_D=2.5$ پریود حالت پای ثابت از ۲/٦٥

Archive of SID

www.SID.ir

ثانیه به پریود حالت اندرکنش ۲/۹۸ برای خاک خیلی نرم با سرعت موج برشی $V_S = 70m/s$ می رسد که حدود ٪۱۲ افزایش پریود را نشان میدهد. بعلاوه، در خاکهای سخت ($V_S = 400\ m/s$) تقریبا" نتایج حالت پای ثابت و اندرکنشی به یکدیگر نزدیک میباشند.

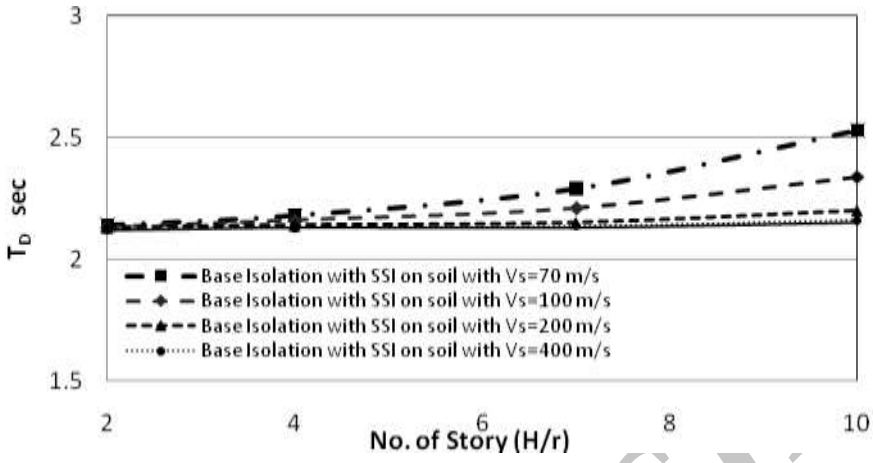
همچنین، نسبت ارتفاع به شعاع معادل فنداسیون (H/r)، که در اینجا از ۰/۸ تا ٤ تغییر میکند و در بالای شکلهای ۳ تا ۵ قابل مشاهده است، در میزان تأثیراندرکنش خاک–سازه در رفتار دینامیکی سازه های پایه جدایش حائز اهمیت بوده است. بطوریکه شکلهای مذکور نشان میدهند که هر چه سازه لاغرتر باشد بدلیل افزایش نقش مود دورانی پی (rocking mode)، اثر اندرکنش خاک – سازه بر روی نتایج قابل ملاحظه تر میگردد. همچنین، با توجه به جدول۲ ، ارتباط معنا داری بین نتایج با a_0 قابل استنتاج میباشد، به شکلی که هرچه a_0 بزرگتر باشد، اثرات اندرکنش خاک و سازه در پاسخ های دینامیکی بیشتر میگردد.



شکل۳ : پریود پایه سازه پایه جدایش شده با در نظر گرفتن *SSI* برای پریود پایه T_D=1.6 sec

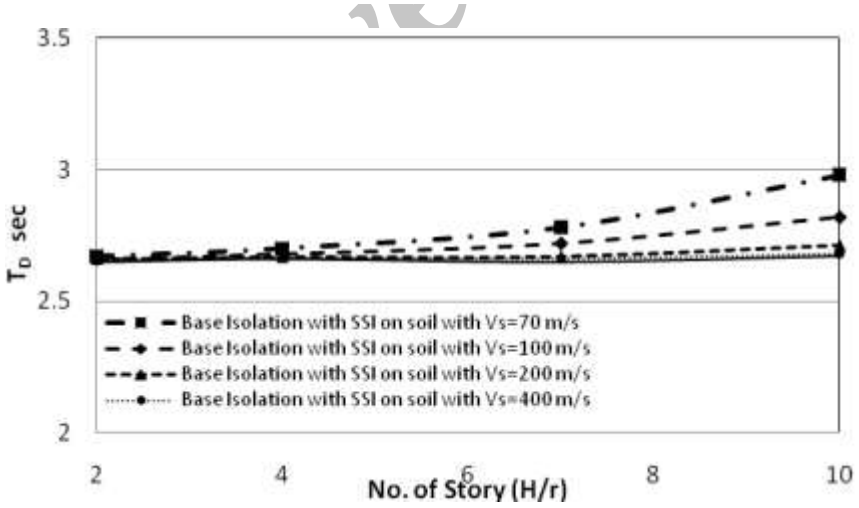
www.SID.ir

(H/r): 0.8 1.6 2.4 3.2 4



شکل٤: پریود پایه سازه پایه جدایش شده با در نظر گرفتن *SSI* برای پریود پایه T_D=2.0 sec

(H/r): 0.8 1.6 2.4 3.2 4



شکل٥: پریود پایه سازه پایه جدایش شده با در نظر گرفتن *SSI* برای پریود پایه T_D=2.5 sec

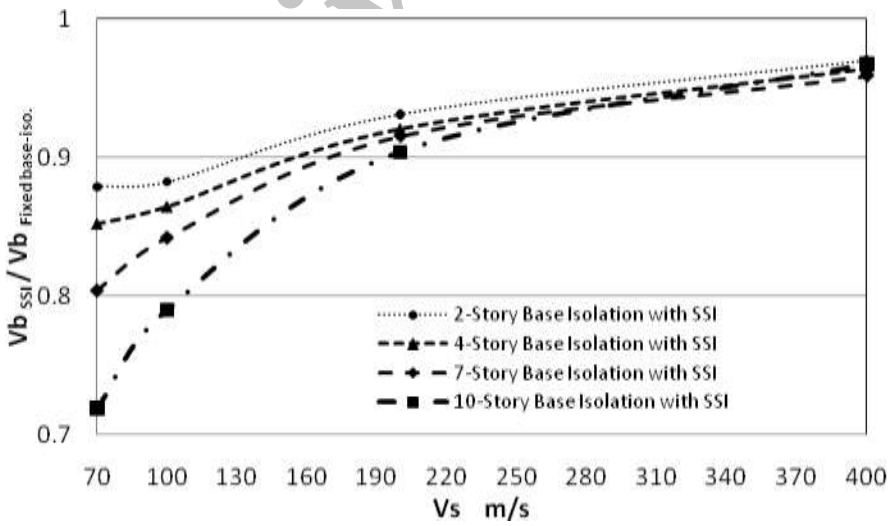
www.SID.ir

۲-۳- اثر اندرکنش خاک- سازه بر روی برش پایه طراحی، V_b

برش پایه طراحی در دو حالت پای ثابت سازه پایه جدایش شده و با در نظر گرفتن اثر اندرکنش خاک و سازه بررسی و مقایسه شده است. نسبت برش پایه حالت اندرکنشی به برش پایه سازه پای ثابت پایه جدایش شده ٤، ۷ و ۱۰ طبقه با پریودهای طراحی T_D = ۱/٦ و T_D = ۲/۵ بر روی خاکهای مختلف با سرعتهای موج برشی مربوطه در شکلهای ٦ و ۷ نشان داده شده است. مشاهده می گردد که اندرکنش خاک و سازه موجب کاهش برش پایه طراحی سازه گردیده و هرچه سرعت موج برشی افزایش میابد، برش پایه طراحی به حالت پای ثابت نزدیکتر میگردد. به طوریکه در خاک های نرم ، $V_S \leq 200\ m/s$، اثر اندرکنش خاک – سازه روی برش پایه بیشتر از ٪۱۰ بوده و تا ٪۲۸ هم موجب کاهش برش پایه گردیده ولی در خاک های نسبتا" سخت ، $200\ m/s < V_S \leq 375\ m/s$، کاهش برش پایه کمتر از ۱۰ درصد و بر روی خاکهای خیلی سخت، $V_S > 375\ m/s$ ، نسبت کاهش به کمتر از ٪۵ رسیده است. همچنین، مقایسه منحنیهای شکلهای ٦ و ۷ نشان میدهد که در حالت سختی یکسان سازه فوقانی(T_D ثابت) هرچه سازه لاغرتر باشد (H/r بیشتر) کاهش در برش پایه نیز بیشتر میگردد.

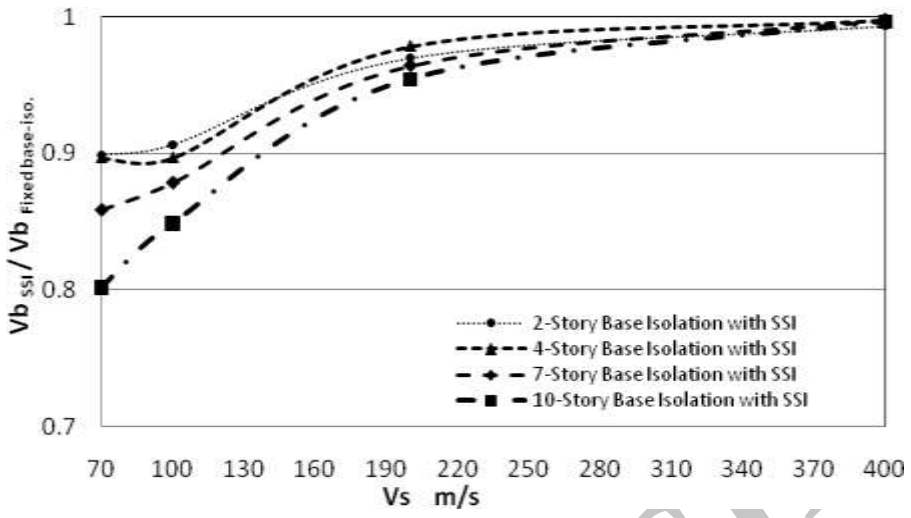
۳-۳- اثر اندرکنش خاک – سازه در جابه جایی نسبی

در شکل ۸ ، جابه جایی نسبی حالتهای با اثر اندرکنش خاک- سازه به پای ثابت در برابر تغییرات شرایط ساختگاه برای سازه ۷ طبقه پایه جدایش شده با پریود هدف (T_D= 2 Sec) به عنوان نمونه نشان داده شده است. مشاهده میگردد که اندرکنش خاک– سازه SSI سبب کاهش جابه جایی نسبی کلی سازه گردیده و در خاکهای نرم این اثر نسبت به خاکهای سخت بیشتر بوده است. برای مثال در سرعت موج برشی ۷۰ متر بر ثانیه (خاک خیلی نرم) این نسبت در حدود ۰/۷۲ و برای خاک $V_S = 400\ m/s$ این نسبت در حدود ٪۹۵ می باشد.

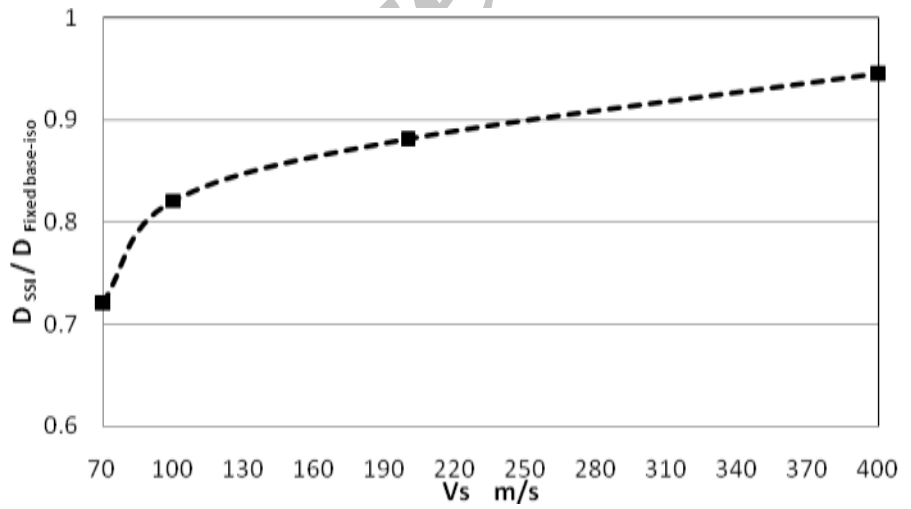


شکل٦-۳ :نسبت برش پایه سازه پایه جدایش شده در حالت پای ثابت به حالت SSI برای پریود پایه T_D=1.6 sec

www.SID.ir



شکل۷-۳ :نسبت برش پایه سازه پایه جدایش شده در حالت پای ثابت به حالت **SSI** برای پریود پایه T_D=2.5 sec



شکل۸-۳ :نسبت جابجایی نسبی سازه پایه جدایش شده در حالت پای ثابت به حالت **SSI** برای سازه ۷ طبقه به ازای پریود پایه T_D=2.5 sec

www.SID.ir

٤- نتیجه گیری

موارد ذیل را میتوان بعنوان نتیجه گیری این تحقیق از مطالعه و تحلیهای انجام شده بر روی سازه های پایه جدایش شده با اثر اندرکنش خاک و سازه خلاصه نمود:

۱- اثر اندرکنش خاک– سازه روی پاسخ لرزه ای سازه های پایه جدایش شده اساسا" به فاکتورهایی از قبیل نوع خاک، سختی و جرم سازه فوقانی ، لاغری سازه و نوع فونداسیون وابسته است. نتایج گویای این واقعیت است که در خاکهای خیلی سخت ($V_S > 375\, m/s$) اثر اندرکنش خاک – سازه قابل صرفنظر کردن (کمتر از ٪۵) برای همه سازه های پایه جدایش شده بوده است، و بر روی خاکهای نرمتر هرچه سازه فوقانی سختتر باشد(T_D کمتر) اثر اندرکنش خاک- سازه بیشتر گردیده است.

۲- اثر اندرکنش خاک – سازه موجب افزایش پریود سازه پایه جدایش شده با شرایط ساختگاه مختلف و ارتفاع های متفاوت میگردد، بطوریکه نسبت این افزایش در خاکهای نرم $V_S \leq 200\ m/s$ قابل ملاحظه بوده است. به عنوان مثال این افزایش در سازه ۱۰ طبقه بر روی خاک نرم در حدود ۲٦ درصد نسبت به حالت پای ثابت مشاهده گردید. درحالیکه، این اثر افزایشی ناشی از اندرکنش، برای خاکهای سخت و خیلی سخت کم بوده و قابل صرف نظر کردن میباشد.

۳- پاسخ های دینامیکی همانند برش پایه طراحی و جابه جایی نسبی سازه پایه جدایش شده تحت تأثیر اندرکنش خاک - سازه کاهش نشان میدهند، بویژه، زمانیکه سازه بر روی خاک نرم واقع شده باشد، میزان این کاهش قابل ملاحظه بوده و بیشتر از ٪۱۰ بوده است. بعلاوه، هرچه مقدار سختی نسبی a_0 افزایش می یابد، تأثیر اندرکنش خاک و سازه در پاسخ های لرزه ای نیز بیشتر میگردد.

٤- با افزایش نسبت لاغری سازه (H/r)، ارتفاع سازه به شعاع معادل فنداسیون، اثر اندرکنش خاک و سازه ناشی از اثر دورانی پی برروی پاسخ ها بیشتر گردیده است، این اثر برای سازه های با ارتفاع بیشتر پایه جدایش شده قرار گرفته بر روی خاک نرم بزرگتر بوده است.

مراجع

[1] Spyrakos, C.C., Maniatakis, Ch.A., Koutromanos, I.A.; "Soil-structure interaction effects on base-isolated buildings founded on soil stratum"; *Engineering Structure*, (2009), 729-737.

[2] Idriss, I.M., Kennedy, R.P., Agrawal, P.K., Hadjian, A.H., Kausel, E., and Lysmer, J.; "Analyses for soil-structure interaction effects for nuclear power plants"; *ASCE*, (1979).

[3] Johnson, J.J.;"Soil Structure Interaction (SSI) "; the status of current analysis method and research, Lawrence Livermore National Laboratory (LLNL), *UCRL-53011, NUREGICR-1780*, US Nuclear Regulatory Commission, (1981).

[4] Constantinou, M.C., kneifati, M.C.; "Effect of soil-structure interaction on damping and frequencies of base-isolated structures"; *The 3rd US national conference on earthquake engineering*. (1986), 1: 671-681.

[5] Novak, M., Henderson, P.; *"Base-isolated buildings with soil-structure interaction"; Earthquake Engineering& Structural Dynamic*, (1989), 18: 751-765.

[6] *Kelly*, J.M.;"Shake table tests of long period isolation system for nuclear facilities at soft soil sites"; *UBC/EERC-91/03*, University of California at Berkeley, (1991).

[7] Spyrakos, C.C. and Vlassis, A.G.; "Effect of soil-structure interaction on seismically isolated bridges"; *Journal of Earthquake Engineering.* (2002), *6: 3, 391-429.*

[8] Uniform Building Code, *UBC97, USA*, (1997).

[9] Lee, D.G., Hong. J.M. and Kim, J. ; "Vertical distribution of equivalent static loads for base isolated building structures"; *Journal of Engineering Structures*, Vol.23, p.1293-1306, (2001).

[10] Naeim, F., Kelly, J.M.; "Design of Seismic Isolated Structures, From Theory to Practice"; *John Wiley & Sons, Inc.* (1999).

Archive of SID

www.SID.ir

[11] Alavi, E., Zohrei, M. and Alidoost, M.;"Investigation on Accuracy of Simplified Equivalent Static Method in Design of Based-Isolated Buildings" *The 14th ECEE*, 30 Aug.-03.Sep, Macedonia, Proceedings, No. 609, (2010)
[12] Alavi, E. and Alidoost, M.;"Soil-Structure Interaction Effects on Seismic Behavior of Base-isolated Buildings"; *The 15th World Conference on Earthquake Engineering, 15WCEE*, Lisbon, Portugal, (2012).

Archive of SID

www.SID.ir