



تأثیر اندر کنش سازه- خاک بر شکل پذیری های موردنیاز سازه چند درجه آزادی

* فرشته امامی ، دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی عمران - زلزله ، دانشگاه صنعتی شریف
** محمد علی قناد ، استادیار دانشکده مهندسی عمران ، دانشگاه صنعتی شریف

f.emami@sharif.edu ۰۲۱ - ۸۷۷۶۶۸۲*

Ghannad@sharif.edu ۰۲۱ - ۶۱۶۴۲۱۰**

چکیده :

تأثیر اندر کنش سازه - خاک^۱ (SSI) روی پاسخ غیر الاستیک سازه ها موضوعی است که مورد توجه محققین در چند دهه اخیر قرار گرفته است. اهمیت این مسأله باعث شده است که موضوع مورد بررسی در این مقاله تأثیر SSI روی شکل پذیری های موضعی و داخل طبقه ای^۲ و مقایسه آنها نسبت به شکل پذیری های ایجاد شده در حالت پای صلب قرار گیرد. سازه های استفاده شده در این تحقیق از نوع سازه های برشی بوده که با کمک نرم افزار DRAIN-2DX تحلیل دینامیکی تاریخیچه زمانی برای آنها انجام گرفته است. نتایج حاصل بیانگر این است که توزیع شکل پذیری های ایجاد شده در سازه چند درجه آزادی^۳ (MDOF) و محل طبقه بحرانی (طبقه با حداکثر شکل پذیری) در حالتی که خاک زیر سازه قرار می گیرد نسبت به حالت پای صلب کاملاً تغییر می کند. بنابراین اظهار نظر دقیق در مورد رفتار سازه هایی که به شکل پذیری های هدف معینی در حالت پای صلب می رسند کاری آسان نیست. ذکر این نکته نیز ضروری است که سازه (MDOF) و (SDOF) معادل که در حالت پای ثابت شکل پذیری های مورد نیاز معینی را تجربه می کنند زمانی که خاک زیر آنها قرار می گیرد تحت شتابنگاشت های مختلف نه تنها به یک میزان ، کاهش یا افزایش شکل پذیری نسبت به شکل پذیری هدف ندارند بلکه ممکن است سازه MDOF و SDOF معادلش ، یکی افزایش شکل پذیری و دیگری کاهش شکل پذیری از خود نشان دهند. بنابراین توجیه رفتار سازه MDOF تنها با استفاده از سازه SDOF معادل و بدون توجه به ضریب اصلاح اثر درجات آزادی کاری منطقی و صحیح نیست.

واژه های کلیدی : اندرکنش خاک و سازه ، سازه چند درجه آزادی ، شکل پذیری

۱- مقدمه :

1. soil-structure interaction (SSI)
2. inter-story ductility
3. multi-degree of freedom (MDOF)
4. single-degree of freedom (SDOF)

آنچه در آیین نامه های لرزه ای دنیا ملاک طراحی سازه ها در مقابل زلزله قرار گرفته است بر اساس مطالعات صورت گرفته روی سازه ها در حالت پای ثابت بوده است. اما تحقیقات انجام شده در دهه اخیر روی سازه های SDOF نشان داده است که تأثیر SSI روی رفتار غیر الاستیک سازه ها می تواند قابل ملاحظه باشد [۴،۳،۲].

همانطور که می دانیم سازه ها در عمل MDOF هستند و چه بسا رفتار آنها با توجه به سازه های SDOF معادل به طور کامل قابل ارزیابی و بیان نباشد [۷،۶،۵]. بنابراین بررسی رفتار غیر الاستیک سازه های MDOF و مقایسه رفتار آنها با سازه های SDOF معادل در حالت SSI موضوع مورد بحث در این مقاله قرار گرفته است.

۲- فرضیات

۱-۲ - مشخصات شتابنگاشت ها

در این تحقیق از سه شتابنگاشت با بزرگی بیشتر از شش ریشتر و فاصله محل ثبت زلزله از محل گسل کمتر از ۴۰ کیلومتر استفاده شده است. شتابنگاشت های مورد استفاده و مشخصات آنها در جدول (۱) آمده است.

۲-۲ - مشخصات سازه ها و خاک

سازه های آنالیز شده در این تحقیق، سازه های برشی می باشند که با استفاده از فنرهای بدون جرم و میراگرهایی که میرایی آنها متناسب با سختی سازه می باشد و همچنین مقادیر جرم های متمرکز در هر طبقه مدل شده اند. سازه های ۱۰،۵،۳ طبقه با پیوندهای مختلف در این تحقیق بررسی و آنالیز شده اند. به منظور مدل کردن خاک زیر سازه از روش مخروطی استفاده شده است [۸]. با کمک این روش و با فرض اینکه ضریب پواسون خاک برابر ۰/۳ باشد ضرایب سختی فنرها و میرایی میراگرهای لغزشی و چرخشی محاسبه شده اند. جدول (۲)

۳-۲ - کمیت های بدون بعد مورد استفاده

در این قسمت ابتدا تعریف چند کمیت بدون بعد مطرح می شود و سپس مقادیر استفاده شده برای سازه ها و به دنبال آن مشخصات سازه ها خواهد آمد [۳].

$$a_0 = \frac{\bar{H} \cdot \omega_{1fix}}{V_s} \quad - \text{فرکانس بدون بعد } (a_0) :$$

ارتفاع مؤثر سازه ω_{1fix} : فرکانس مد اول V_s : سرعت موج برشی در خاک

$$\bar{m} = \frac{m_{tot}}{\rho \cdot r^2 \cdot H} \quad - \text{نسبت جرم بدون بعد } (\bar{m}) :$$

m_{tot} : جرم کل سازه بدون فونداسیون ρ : چگالی خاک r : بعد جانبی سازه H : ارتفاع سازه

- نسبت ارتفاع بدون بعد (\bar{H}/r):

جدول ۱- مشخصات شبانگاشت ها

Earthquake	Date	Local Magnitude(MI)	Epicentral Distance(Km)	Duration (sec)
Elcentro	18 May 1940	6.3	8.0	53.76
Northridge	17 Jan 1994	6.5	7.1	25
Tabas	16 Sep 1978	7.7	3.0	25

جدول ۲- مشخصات سازه ها

حالت	پریود پایه سازه	ارتفاع هر طبقه (m)	جرم هر طبقه (kg)	سختی طبقه اول (N/m)	ضریب میرایی مد اول	سختی لغزشی خاک		سختی چرخشی خاک		مشخصات سازه سه طبقه و خاک زیر آن
						a0=1	a0=2	a0=1	a0=2	
1	0.2	3.0	123019	7.15e8	5%	2.63e9	6.58e8	9.96e10	2.49e10	MDOF
2	0.3	3.0	123019	2.71e8	5%	1.18e9	2.94e8	4.47e10	1.12e10	
3	0.5	3.0	123019	1.17e8	5%	4.33e8	1.08e8	4.00e9	1.60e10	
1	0.2	6.5	339532	3.35e8	5%	2.63e9	6.58e8	9.96e10	2.49e10	SDOF
2	0.3	6.5	339532	1.50e8	5%	2.94e8	2.94e8	4.47e10	1.12e10	
3	0.5	6.5	339532	5.39e7	5%	1.08e8	1.08e8	4.00e9	1.60e10	

حالت	پریود پایه سازه	ارتفاع هر طبقه (m)	جرم هر طبقه (kg)	سختی طبقه اول (N/m)	ضریب میرایی مد اول	سختی لغزشی خاک		سختی چرخشی خاک		مشخصات سازه پنج طبقه و خاک زیر آن
						a0=1	a0=2	a0=1	a0=2	
1	0.3	3.0	132300	8.70e8	5%	2.96e9	7.47e8	1.21e11	3.58e10	MDOF
2	0.5	3.0	132300	2.58e8	5%	1.04e9	2.64e8	4.24e10	1.08e10	
3	1.0	3.0	132300	7.70e7	5%	2.64e8	6.60e7	1.08e10	2.70e9	
1	0.3	10.5	575505	2.54e8	5%	2.96e9	7.47e8	1.21e11	3.58e10	SDOF
2	0.5	10.5	575505	8.99e7	5%	1.04e9	2.64e8	4.24e10	1.08e10	
3	1.0	10.5	575505	2.28e7	5%	2.64e8	6.60e7	1.08e10	2.70e9	

حالت	پریود پایه سازه	ارتفاع هر طبقه (m)	جرم هر طبقه (kg)	سختی طبقه اول (N/m)	ضریب میرایی مد اول	سختی لغزشی خاک		سختی چرخشی خاک		مشخصات سازه ده طبقه و خاک زیر آن
						a0=1	a0=2	a0=1	a0=2	
1	0.5	3.0	270000	2.26e9	5%	5.53e9	1.39e9	4.63e11	1.17e11	MDOF
2	1.0	3.0	270000	5.20e8	5%	1.35e9	3.32e8	1.13e11	2.78e10	
3	2.0	3.0	270000	1.36e8	5%	3.32e8	8.30e7	2.78e10	6.95e9	
1	0.5	20.0	2295000	3.64e8	5%	5.53e9	1.39e9	4.63e11	1.17e11	SDOF
2	1.0	20.0	2295000	8.82e7	5%	1.35e9	3.32e8	1.13e11	2.78e10	
3	2.0	20.0	2295000	2.21e7	5%	3.32e8	8.30e7	2.78e10	6.95e9	

\bar{H} : ارتفاع مؤثر سازه r : بعد جانبی سازه

نسبت جرم بدون بعد (\bar{m}) برای همه سازه ها مقدار ۰/۵ در نظر گرفته شده است و نسبت ارتفاع بدون بعد (\bar{H}/r) برای سازه سه طبقه برابر ۱/۰، برای سازه پنج طبقه برابر ۱/۵ و برای ۱۰ طبقه برابر ۲/۰ فرض شده است.

هر یک از سازه‌ها در حالت‌های $a_0 = 1$ و 2 آنالیز و تحلیل شده و رفتار آنها نسبت به سازه‌ها در حالت پای صلب مقایسه گردیده است. مشخصات سازه‌ها و خاک زیر آنها در جدول (۲) آمده است.

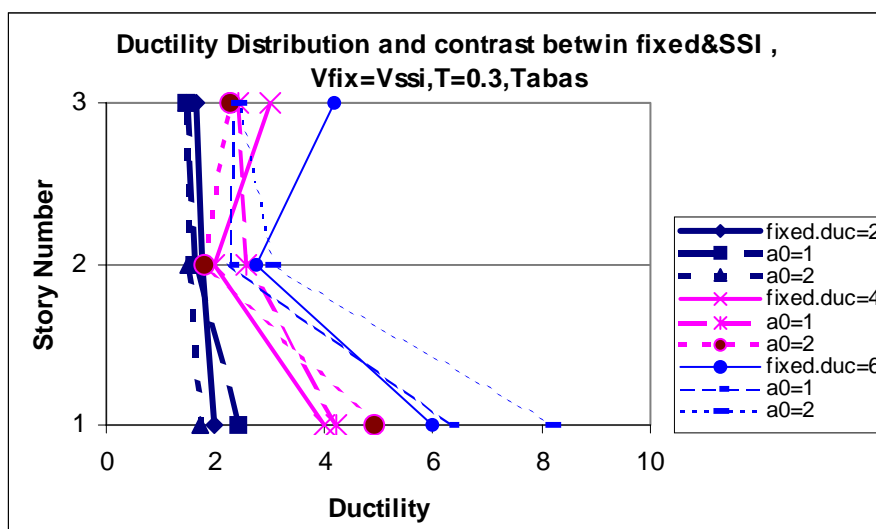
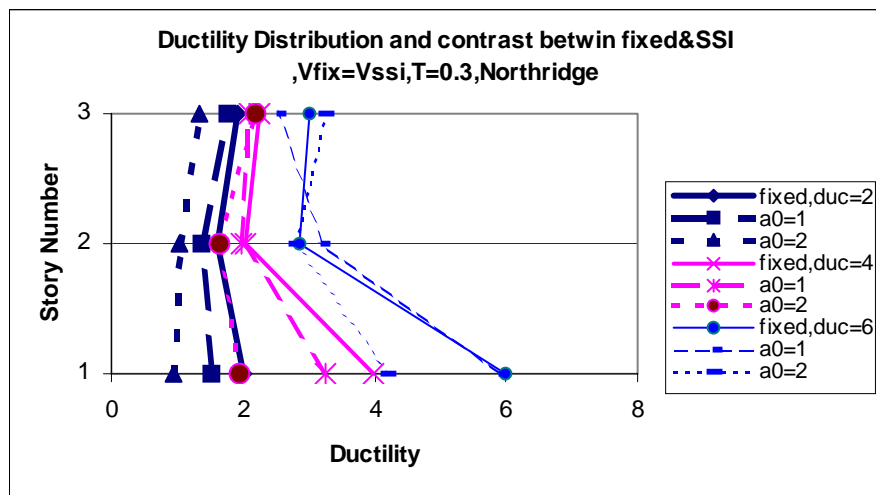
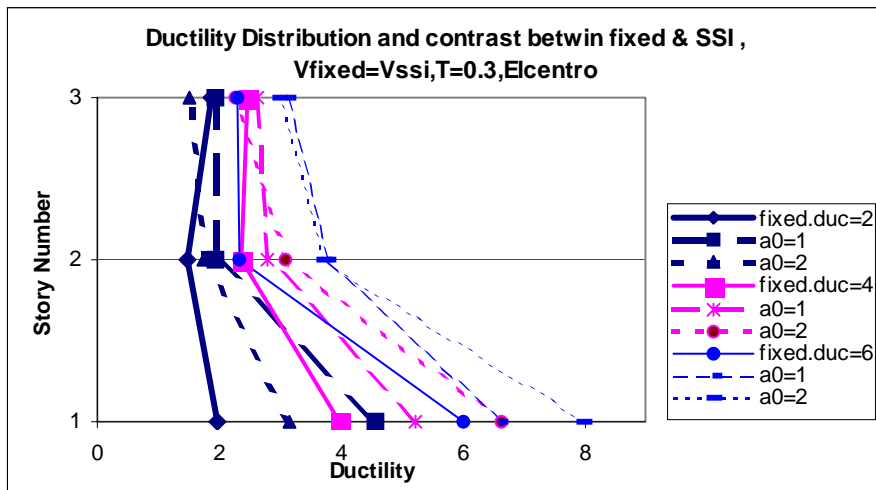
۳- توزیع شکل پذیری ایجاد شده در سازه‌ها

نحوه توزیع مقاومت جانبی و سختی روی رفتار سازه و شکل پذیری‌های ایجاد شده در طبقات هنگام زلزله مؤثر است. در این تحقیق توزیع سختی در ارتفاع سازه متناسب با توزیع مقاومت بوده است و توزیع مقاومت جانبی سازه‌ها بر اساس الگوی توزیع بار جانبی آیین‌نامه ۲۸۰۰ و UBC-97 بوده و مقاومت جانبی آنها در حالت بستر صلب به منظور شکل پذیری مورد نیاز تعیین شده است. سازه‌ها به ازاء فرکانس‌های بدون بعد یک و دو تحت شتابنگاشت‌های مورد نظر قرار گرفته تا مشخص شود با وجود خاک اولاً توزیع شکل پذیری‌های ایجاد شده در ارتفاع سازه و ثانیاً شکل پذیری بیشینه ایجاد شده در طبقات و محل طبقه بحرانی نسبت به حالت پای صلب چگونه تغییر خواهد کرد. نتیجه آنالیزها به منظور مقایسه با حالت پای صلب در شکل‌های (۱) تا (۳) آمده است. با توجه به این شکل‌ها مشخص می‌شود که توزیع شکل پذیری‌های طبقات و همچنین مقدار شکل پذیری طبقه بحرانی برای شتابنگاشت‌های مختلف کاملاً نسبت به حالت پای صلب تغییر می‌کند. البته برای سیستم‌های با اثر SSI روند کلی این است که اولین طبقه و آخرین طبقه به ترتیب اولویت محل تشکیل طبقه بحرانی خواهند بود که در حالت پای صلب هم همین شرایط حاکم است.

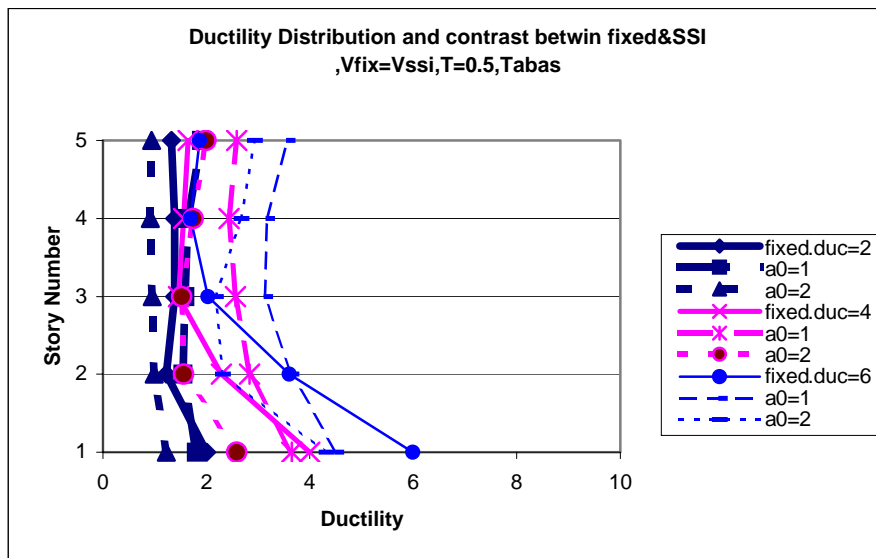
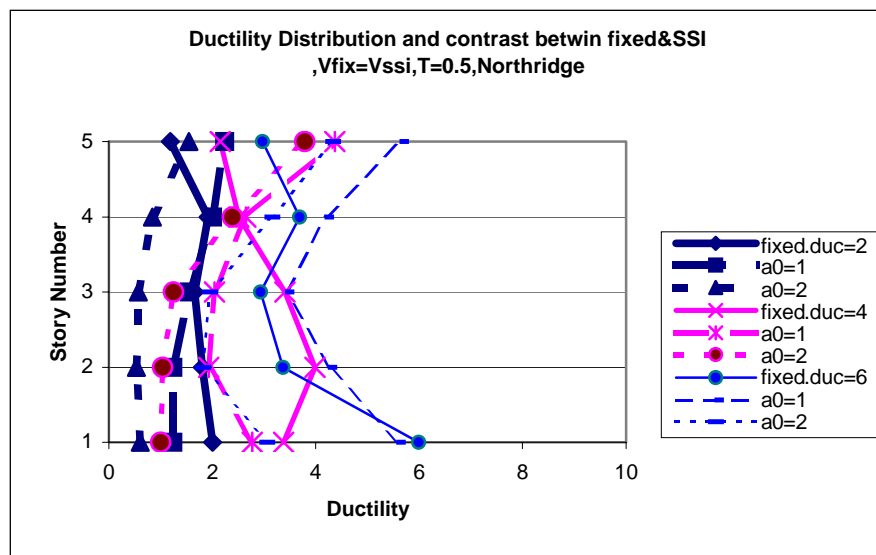
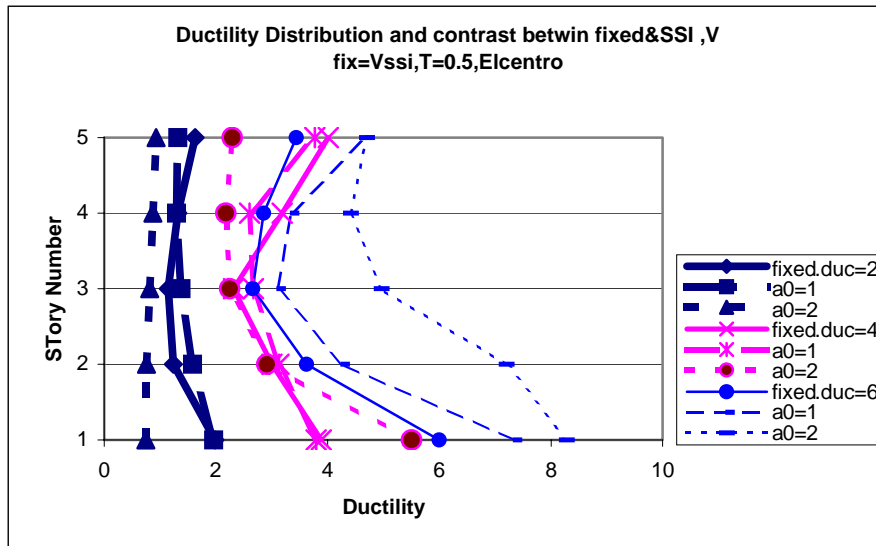
نتیجه قابل توجه دیگر این است که در حالت‌های SSI وضعیت سازه سه طبقه از لحاظ مقدار شکل پذیری حداکثر ایجاد شده در طبقه بحرانی تقریباً به استثناء حالت‌هایی که شکل پذیری مورد نیاز در حالت پای صلب ۲ بوده است، بحرانی‌تر شده است که این مسأله برای هر سه شتابنگاشت و برای پریودهای 0.2 ، 0.3 و 0.5 صادق می‌باشد. در سازه پنج طبقه در حالت SSI در سازه‌های سخت با پریود 0.3 ثانیه وضعیت سازه از لحاظ حداکثر شکل پذیری ایجاد شده نسبت به حالت پای صلب بحرانی‌تر شده است و با نرم شدن خاک مساله حادث‌تر گردیده است. البته برای ارائه یک نتیجه کلی در سازه پنج طبقه باید گفت مشخصات شتابنگاشت‌ها باعث بروز رفتار متفاوت برای سازه پنج طبقه نسبت به پای صلب گشته است. سرانجام برای سازه ده طبقه مشخص می‌شود که برای هر سه شتابنگاشت و برای ترازهای شکل پذیری 2 ، 4 و 6 وضعیت سازه از لحاظ شکل پذیری‌های ایجاد شده در طبقات نسبت به حالت پای صلب کاهش یافته است.

۴- سازه SDOF معادل با سازه MDOF

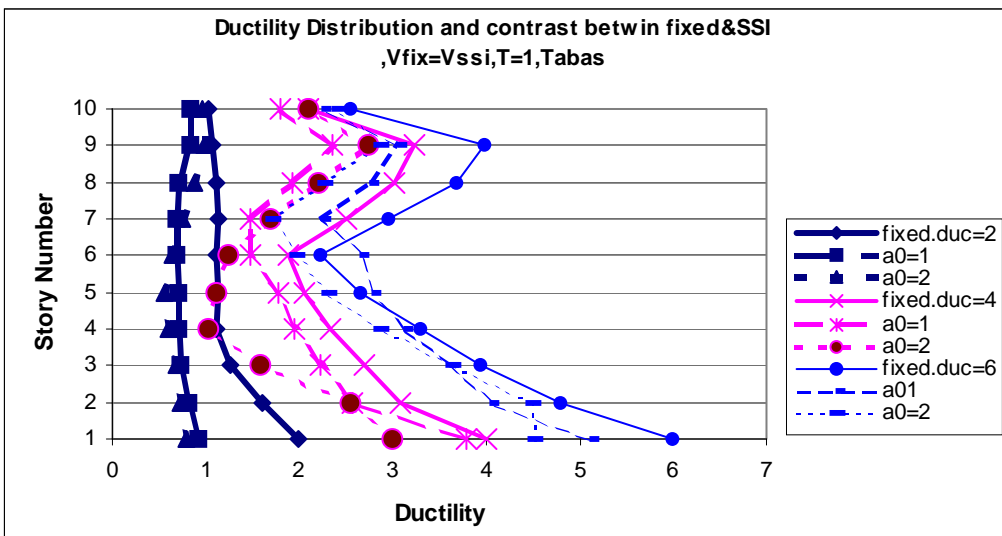
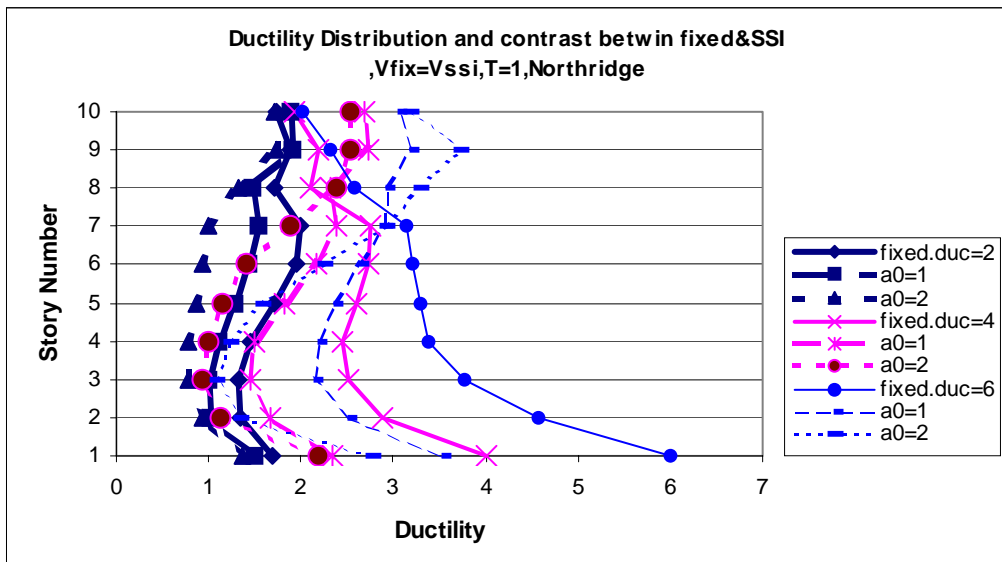
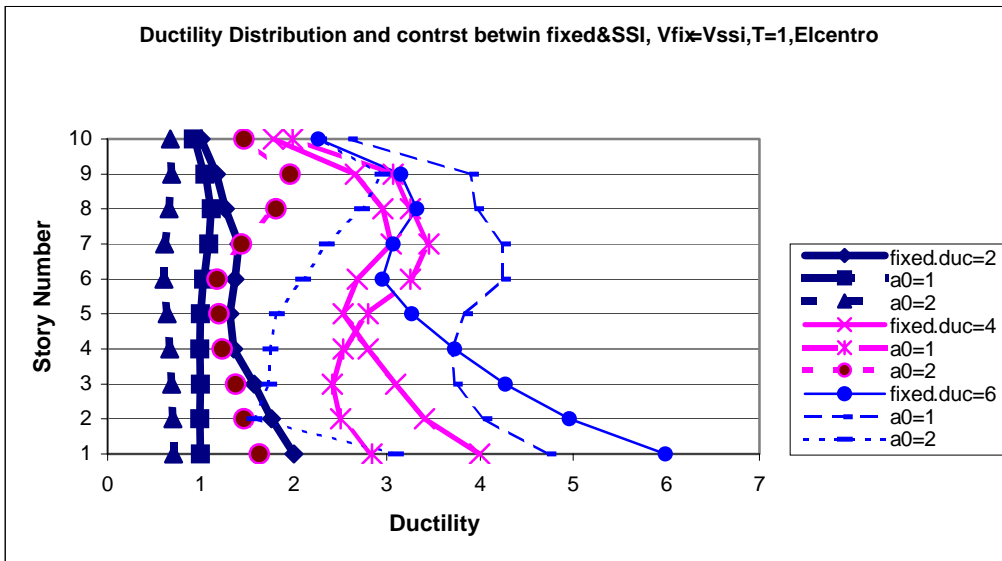
در صورتی که سازه SDOF معادل سازه MDOF دارای پریودی برابر پریود پایه سازه MDOF مربوطه در حالت پای ثابت باشد، مساله مهم دیگری که باید مورد توجه قرار بگیرد این است که آیا رفتار و عملکرد سازه MDOF از نظر روند کاهش یا افزایش شکل پذیری طبقه بحرانی نسبت به شکل پذیری هدف حالت پای ثابت، در حالتی که خاک زیر سازه قرار می‌گیرد قابل توجیه با رفتار سازه SDOF معادلش در حالت SSI هست یا نه؟



شکل ۱- توزیع شکل پذیری در سازه سه طبقه



شکل ۲- توزیع شکل پذیری در سازه پنج طبقه



شکل ۳- توزیع شکل پذیری در سازه ده طبقه

ملاحظات صورت گرفته روی نتایج بدست آمده بیانگر این است که با وجودیکه در تعدادی از حالات سازه MDOF و معادل SDOF آن هنگامی که با قرار گرفتن خاک در زیر آنها آنالیز می شوند رفتاری مشابه در مقایسه با حالت پای صلب دارند و روند کاهشی یا افزایشی یکسانی در شکل پذیری های ایجاد شده در آنها نسبت به شکل پذیری های هدف که در حالت پای ثابت تجربه کرده اند نشان می دهند اما در اکثر حالات شکل پذیری طبقه بحرانی سازه MDOF و شکل پذیری ایجاد شده در سازه SDOF نسبت به شکل پذیری های مورد نیاز حالت پای ثابت که مقاومت سازه بر اساس آن تعیین شده دو رفتار متفاوت از خود نشان می دهند. یعنی سازه SDOF به شکل پذیری بزرگتری نسبت به شکل پذیری هدف می رسد در حالیکه سازه MDOF برعکس می باشد یعنی شکل پذیری طبقه بحرانی کمتر از شکل پذیری هدف حاصله براساس حالت پای ثابت می باشد و در تعدادی از حالات عکس این حالت اتفاق می افتد.

۵- نتیجه گیری

در مجموع می توان گفت اگر سازه های MDOF به ازاء مقاومت های جانبی معین، شکل پذیری های معینی را بدهند با قرار گرفتن خاک زیر آنها، توزیع شکل پذیری ها و حتی محل تشکیل طبقه بحرانی تغییر می کند. بنابراین تنها با توجه به شکل پذیری ها و طبقه بحرانی در سازه ها در حالت پای ثابت نمی توان روی رفتار آنها در حالت واقعی که خاک زیر سازه قرار می گیرد قضاوت کرد زیرا نوع و مشخصات شتابنگاشت، تعداد طبقات و سختی سازه روی رفتار آن هنگامی که خاک زیر سازه قرار می گیرد تأثیر گذار است. بنابراین لازم است در سازه های مهم و خاص تأثیر SSI روی رفتار آنها بررسی گردد به این معنی که با توجه به مشخصات خاک منطقه ای که سازه قرار است در آنجا واقع شود، خاک زیر سازه مدل شده و با استفاده از شتابنگاشت های موجود رفتار واقعی سازه در هنگام زلزله بررسی شود.

۶- مراجع

[۱] کرمی محمدی، رضا، اثر نحوه توزیع مقاومت برشی بر کاهش خرابی سازه ها در زلزله، پایان نامه دکتر، دانشگاه صنعتی

شریف، ۱۳۸۰

[۲] احمدنیا، علیرضا، اثر اندرکنش سازه- خاک روی شکل پذیری سازه در زلزله، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی

شریف، ۱۳۸۰

[3] Ghannad, M.A., Fukuwa, N. and Niishizaka, R., "A study on the frequency and damping of soil-structure systems using a simplified model", Journal of structural engineering, AII, Vol.44B, pp.85-93, March 1998

[4] Miranda, E. and Bertero, V., "Evaluation of strength reduction factors for earthquake-resistant design", Earthquake Spectra, Vol.10, No.2., 1994

[5] Santa-Ana, P.R. and Miranda, E., "Strength reduction factor for multi-degree of freedom systems", 12th WCEE, No.1446, 2000

[6] Nassar, A. and Krawinkler, H., "Seismic demands for SDOF and MDOF", Report No.95, Dept. of civil Engineering, Stanford university, Stanford, California, 1991

- [7] Miranda,E., “Strength reduction factors in performance-based design” ,UCB/EERC-97/05,University of California, Berkley, California, pp.125-132, 2000
- [8] Wolf, J.P. “Foundation vibration analysis using simple physical models”, Prentice-Hall, Englewood cliffs, NJ, 1994