



تمهیدات تکمیلی جهت حفظ پایداری و کنترل جابجایی افقی سازه فوقانی در ساختمانهای جداسازی شده توسط پی شناور

کریم فرخ نیا^۱، رضا رهگذر^۲

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد گرایش سازه، دانشگاه شهید باهنر کرمان

۲- استادیار بخش مهندسی عمران، دانشگاه شهید باهنر کرمان

karim.farokhnia@gmail.com

خلاصه

به دنبال مطرح شدن ایده پی شناور تحت یک مقاله که توسط همین نویسندگان با عنوان "پی شناور روشی جهت آزاد نمودن سازه از ارتعاشات ناشی از زلزله" در پنجمین کنفرانس بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله (اردیبهشت ۸۶- تهران) ارائه گردید، در این مقاله نتایج آزمایشات انجام شده بر روی نمونه آزمایشگاهی از پی شناور به همراه بیان نقاط ضعف و قوت مطرح گردیده است. سپس با ارائه تمهیدات تکمیلی جهت برطرف کردن نقاط ضعف، نهایتاً یک طرح جدید که بهینه شده طرح پی شناور است، تحت عنوان "بالشتک سیال"، ارائه شده و ضمن مقایسه بالشتک سیال با پی شناور به بیان روش اجرا و کاربرد بالشتک های سیال و نحوه عملکرد آنها به عنوان جداگرهای لرزه ای به همراه نقشه های جزئیات پرداخته شده است.

کلمات کلیدی: جداگرهای لرزه ای، پی شناور، بالشتک سیال

مقدمه

در ابتدا به معرفی کاملاً مختصر از پی شناور به منظور تبیین مبنای آزمایشات انجام شده که در ادامه خواهد آمد خواهیم پرداخت.

پی شناور یک روش جدید است که با استفاده از آن برش پایه ناشی از زلزله از بین می رود. در این ایده جدید از سه ویژگی زیر که مخصوص مایعات است استفاده شده است:

۱- مایعات مقاومت برشی کمی دارند.

۲- فشار در هر نقطه از مایع برابر است با ارتفاع ستون مایع بالای همان نقطه ضربدر چگالی مایع.

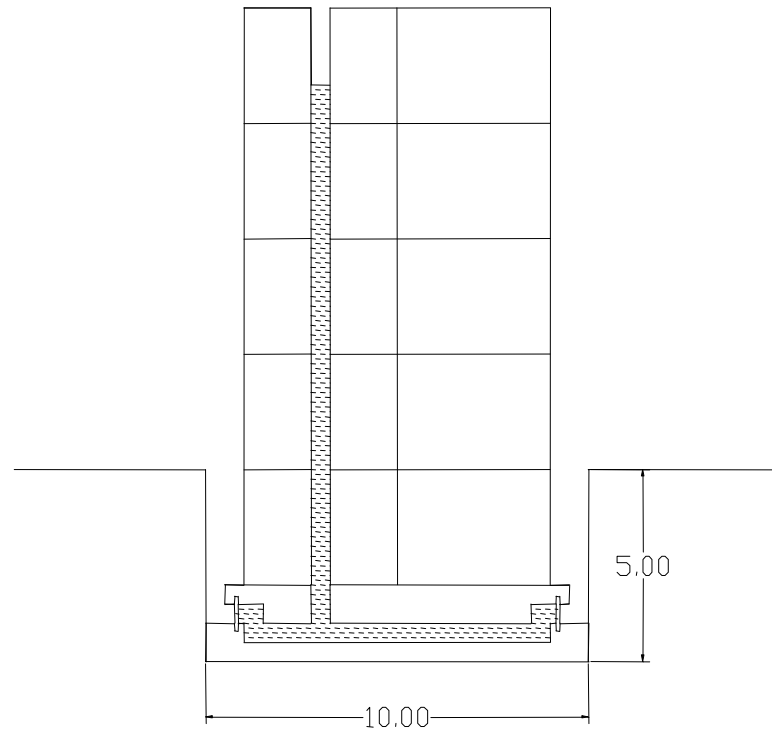
۳- فشار در هر نقطه از مایع با فشار در نقاط همتراز با خود برابر است.

در این روش مطابق شکل زیر ابتدا یک پی گسترده بر روی بستر خاک اجرا می شود، سپس یک پی ثانویه بر روی این پی اجرا می گردد به طوری که حدود ۱۰ سانتیمتر از هم فاصله داشته باشند و دور تا دور دو پی گسترده توسط نوار لاستیکی و برای جلوگیری از خروج مایع از فضای بین دو پی، آب بند می گردد. سپس ساختمان موردنظر را بر روی پی ثانویه اجرا می کنیم. آنگاه از بالاترین تراز ساختمان یک لوله به طور قائم تا تراز پی ثانویه آورده و پی ثانویه را سوراخ کرده و لوله را به فضای بین دو پی وصل می کنیم و سپس درون لوله مایع می ریزیم تا اینکه ابتدا فضای بین دو پی پر شود و سپس مایع درون لوله بالابیايد.

بدینوسیله با ایجاد فشار ناشی از ستون مایع درون لوله و نیروی حاصل از اعمال این فشار بر سطح زیرین پی ثانویه، ساختمان بلند میشود و بر روی مایع شناور میگردد و در هنگام زلزله ارتعاشات زمین به پی اولیه منتقل می شود اما بدلیل اینکه مایع بین دو پی مقاومت برشی کمی دارد این جابجایی به پی ثانویه منتقل نمی گردد.

^۱ دانشجوی کارشناسی ارشد گرایش سازه، دانشگاه شهید باهنر کرمان

^۲ استادیار بخش مهندسی عمران، دانشگاه شهید باهنر کرمان



تصویر ۱: نحوه قرار گیری و اجرای پی شناور به صورت شماتیک

بررسی عملکرد پی شناور و مقایسه با محاسبات تئوری:

از آنجا که اولین و اصلی ترین سوال در مورد عملکرد پی شناور بررسی کافی بودن میزان نیروی حاصل از فشار ستون سیال بر سطح زیرین پی بالایی به منظور بلند کردن و شناور کردن سازه بود لذا اولین آزمایش برای بررسی و اثبات این موضوع و مقایسه با محاسبات تئوری طراحی و به انجام رسید.

در این آزمایش از یک مدل آزمایشگاهی در مقیاس کوچک که جهت بررسی موضوع فوق طراحی و ساخته شد استفاده گردید. در این مدل از دو صفحه فلزی به ابعاد ۴۰*۲۵ سانتی متر به عنوان پی پایینی و بالایی استفاده شد و از پلاستیک شفاف جهت آب بندی و از آب به عنوان سیال استفاده شد. لوله پی وی سی به طول ۵۷ سانتی متر به عنوان لوله ایجاد فشار مورد استفاده قرار گرفت. (تصاویر ۲ و ۳)

اتصال پلاستیک آب بند به صفحات فلزی بدین صورت اجرا شد که در هر چهار وجه از هر کدام از صفحات لبه پلاستیک قرار گرفته و روی آن یک تسمه فلزی گذاشته شده و توسط چند پیچ در هر وجه تسمه فلزی به لبه صفحه فلزی پیچ شده است. بدین ترتیب پلاستیک بین لبه صفحه فلزی و تسمه فلزی قرار گرفته و اجازه خروج آب را نمیدهد.

محاسبه وزن قابل تحمل مدل آزمایشگاهی:

$$\begin{aligned} \text{Area (A)} &= 0.4 \text{ m} \times 0.25 \text{ m} = 0.1 \text{ m}^2 \\ \text{Height (H)} &= 0.57 \text{ m} \\ \text{Water Density (WD)} &= 1000 \text{ kg/m}^3 \\ \text{Pressure (P)} &= \text{WD} \times \text{H} = 1000 \times 0.57 = 570 \text{ kg/m}^2 \\ \text{Force (F)} &= \text{P} \times \text{A} = 570 \text{ (kg/m}^2) \times 0.1 \text{ (m}^2) = 57 \text{ kg} \end{aligned}$$



تصویر ۲: نمونه آزمایشگاهی از پی شناور



تصویر ۳: نمونه آزمایشگاهی از پی شناور تحت بار

از مهمترین نتایج این آزمایش، اثبات روابط تئوری که نشان می دادند میتوان سازه را با وجود وزن زیاد بر روی یک لایه سیال بدون اعمال نیروی خارجی شناور ساخت و از خواص سیالات از جمله مقاومت برسی کم و تراکم ناپذیری به منظور جلوگیری از انتقال ارتعاشات زلزله به سازه فوقانی استفاده کرد.



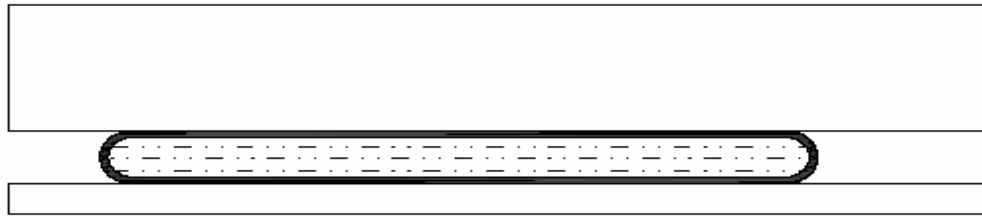
معرفی بالشتک سیال به عنوان طرح بهینه شده پی شناور:

بالشتک سیال در واقع شامل یک تیوپ لاستیکی به شکل دایره با قطر حدود ۲ متر میباشد که مانند لاستیک خودرو امکان پر شدن از سیال (روغن موتور) را دارد. این تیوپ لاستیکی در حقیقت وقتی از سیال پر میشود به صورت یک بالشتک در می آید. این بالشتکها را بر روی پی گسترده پایینی کنار یکدیگر قرار داده (با فاصله لب تا لب حدود ۱۰ سانتی متر) و روی آنها پی ثانویه اجرا میشود. این بالشتکها با توجه به میزان سیالی که درون آنها قرار گرفته است، فاصله ای حدود ۱۰ تا ۱۵ سانتی متر بین دو پی پایین و بالا ایجاد میکنند و چون درون آنها سیال است و لاستیک اطراف نیز خاصیت کشسانی دارد لذا مقاومت برشی بسیار کمی دارند و مانند یک جداگر لرزه ای از انتقال ارتعاشات پی پایینی به پی بالایی جلوگیری می کنند. جداره لاستیکی این بالشتکها با توجه به فشار کمی که درون سیال ناشی از وزن سازه وجود دارد (در حدود فشاری که بر خاک زیر پی وارد میشود)، نیازمند ضخامت کمی میباشد و به طور مثال برای یک ساختمان ۳ طبقه ضخامت کمتر از ضخامت لاستیک خودرو نیاز است که البته با توجه به وزن سازه و جزئیات طراحی و اجرا این ضخامت قابل تغییر است. در تصاویر ۴ و ۵ و ۶ جزئیات بالشتکهای سیال و نحوه قرار گیری آنها بین دو پی آورده شده است.

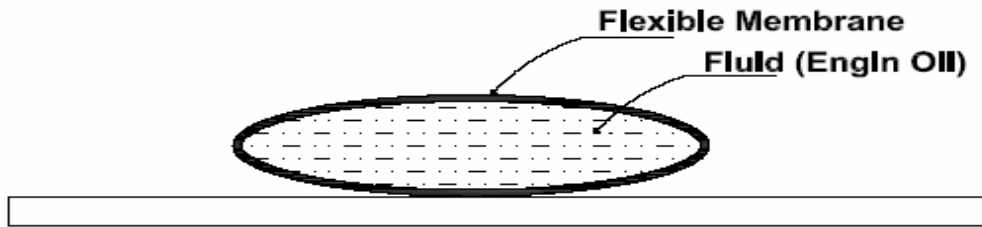
دو نکته جنبی نیز بایستی در کنار بالشتکهای سیال اجرا شود.

یکی آنکه برای هر چهار بالشتک و در فضای خالی بین آنها یک چاهک به عمق حدود ۱/۵ متر برای ورود متصدی کنترل و تعویض بالشتکها در پی پایین و خاک زیر آن اجرا میگردد. این چاهکها به منظور بازرسی دوره ای بالشتکها و تعویض آنها در صورت صدمه دیدن یا پایان دوره بهره برداری آنها تعبیه میگردد. بدین ترتیب که متصدی وارد چاهک می شود و به ترتیب یکی از بالشتکها را از روغن خالی میکند و آن را بیرون آورده و یک بالشتک نو جای آن قرار میدهد و مجدداً از روغن پر نموده و به فشار قبلی میرساند. گفتنی است در حین تعویض یک بالشتک، بار آن بر روی سایر بالشتکها توزیع می شود که این مسئله در طراحی بالشتکها و پی بالایی بایستی لحاظ گردد.

دومین نکته جنبی آنکه بایستی در سایر فضاهای خالی بین بالشتکها و به تعداد مورد نیاز و بر حسب طراحی از فنرهای قائم که درون پی بالایی قرار میگیرند و پی بالایی را به پی پایینی متصل میکنند استفاده کرد. این فنرها در حقیقت یک سختی اولیه جهت جابجایی جانبی در برابر نیروی باد ایجاد کرده و همچنین در حین زلزله و پس از آن سازه فوقانی را به جای اول خود باز میگردانند.

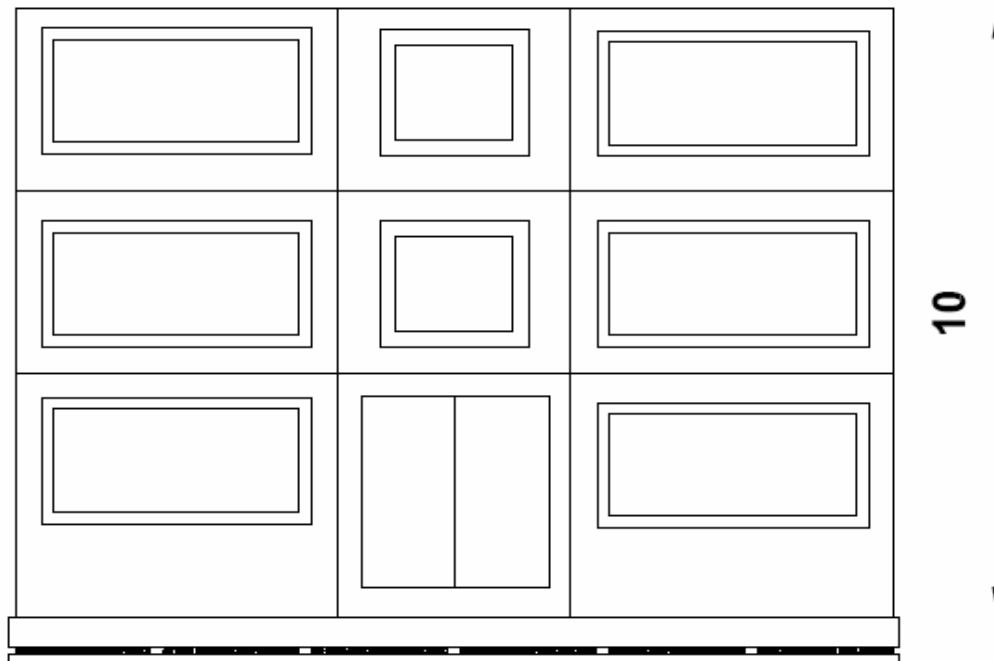


Fluid Pad (After Load)



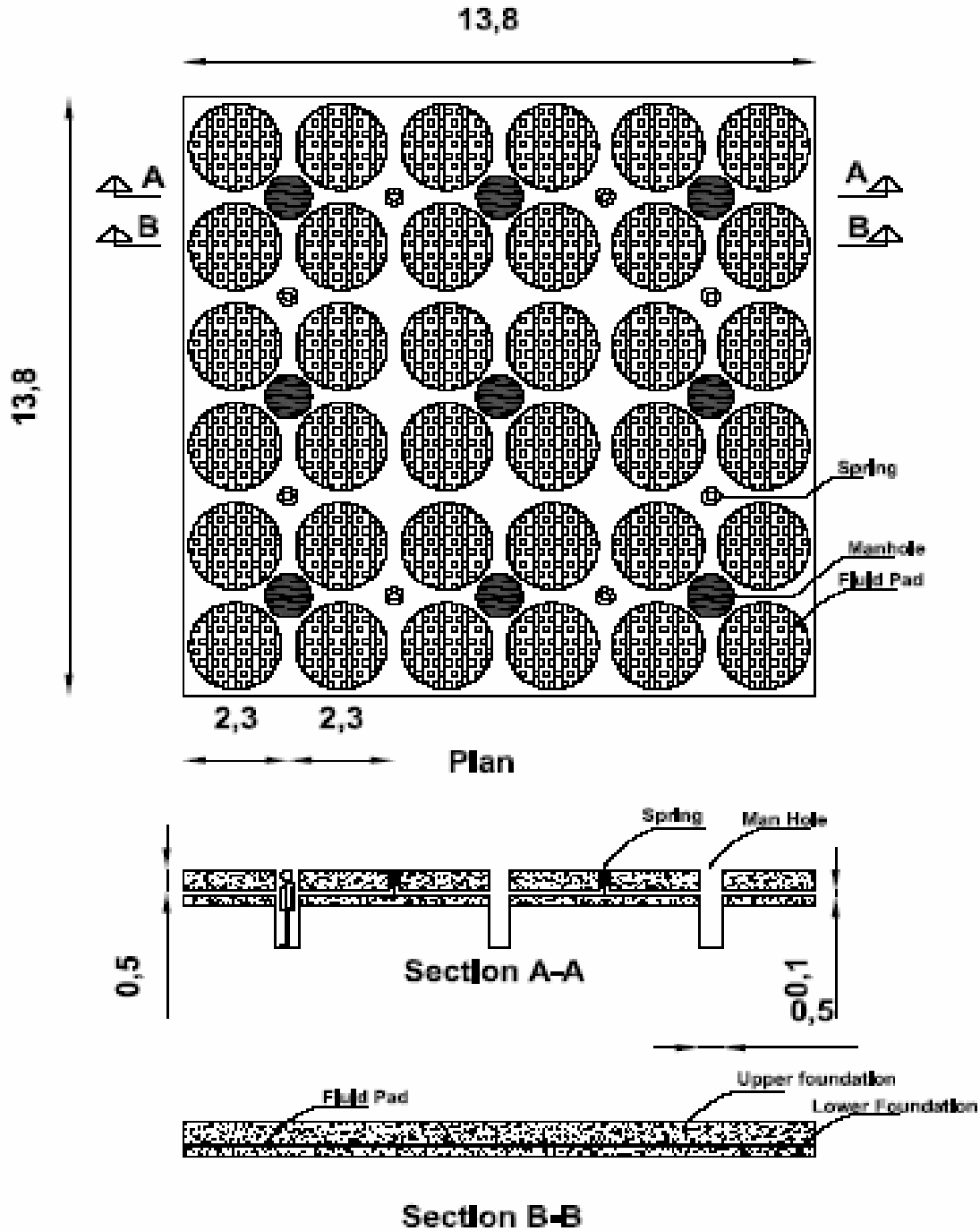
Fluid Pad (Before Load)

تصویر ۴: نمای جانبی از مقطع برش داده شده بالشتک سیال قبل و بعد از بارگذاری



View

تصویر ۵: نمای ساختمان جداسازی شده توسط بالشتک سیال



تصویر ۶: جزئیات نحوه قرار گیری بالشتکهای سیال در روی پی پایینی و بین دو پی و همچنین محل چاهکهای کنترل و فنرهای قائم.

**نحوه عملکرد بالشتک سیال در مقایسه با پی شناور:**

عمده ترین مشکل اجرایی در پی شناور اتصال لاستیک های آب بند به پی بالایی و پایینی میباشد در حالی که از آب بند بودن اتصال نیز بایستی مطمئن باشیم که این خود جزئیات و دقت اجرایی بالایی را میطلبد. این مشکل با استفاده از بالشتک سیال برطرف گردیده، به طوری که بالشتکها به صورت آماده روی سطح پی پایینی قرار داده شده و نیازی به آب بندی در حین اجرا را ندارند.

در پی شناور در صورت صدمه احتمالی به لاستیک آب بند سیال به سرعت خارج شده و سازه پایداری خود را از دست می دهد. در حالی که در بالشتک شناور و بر حسب طراحی بالشتکها در صورت صدمه دیدن درصدی از آنها بار بر روی سایر بالشتکها توزیع شده و سازه ناپایدار نمیگردد.

لاستیکهای آب بند در پی شناور نمیتوانند تا تمامی عمر سازه دوام بیاورند و یا کارایی خود را داشته باشند و از طرفی قابل تعویض نیستند اما در بالشتک سیال با توجه به طراحی آنها در دوره های مثلا ۵ یا ۱۰ سال قابل تعویض با بالشتکهای نو میباشند.

به منظور پایدار ماندن سازه در برابر بارهای جانبی از جمله باد، از فنرهای قائم که درون نقاطی از پی بالایی قرار گرفته و پی بالایی را به پی پایینی متصل میکنند استفاده میگردد. این فنرها با توجه به نیروی طراحی حاصل از باد در جای خود تحت یک کشش اولیه قرار گرفته و نصب میگردند و سازه فوقانی مادامی که تحت بار بیشتر از آن قرار نگیرد نسبت به پی پایینی جابجا نمیشود. نقش دیگر این فنرها بازگرداندن سازه فوقانی در حین و بعد از زلزله به جای اولیه خود میباشد. در اینجا به عنوان نمونه محاسبات مربوط به تعداد و سختی فنرهای مورد نیاز برای ساختمان نشان داده شده در تصاویر ۴ و ۵ و ۶ آورده شده است. بنابراین در صورت استفاده از ۱۶ فنر در فضاهای موجود بین بالشتکها و اعمال ۲۵ سانتی متر کشش اولیه در هنگام نصب آنها، سختی مورد نیاز هر فنر برابر است با:

$$V = 80 \text{ km/h (for Shiraz City)}$$

$$Q = 32 \text{ kg/m}^2$$

$$C_e = 1.6$$

$$C_q = 0.8$$

$$P = C_e C_q Q = 2713.6 \text{ kg/m}^2$$

$$F = PA = 375 \text{ Ton}$$

$$K = F / (14X) = 23.44 \text{ Ton} / 0.25 \text{ m} = 93.75 \text{ Ton/m} = 0.9375 \text{ Ton/cm}$$

که این سختی با استفاده از کمک فنر خودروها قابل تامین است.

سازه میبایست در مقابل بار زنده و تغییرات آن نیز پایدار بماند. بدین منظور سازه در صورت تغییرات بار ناشی از بار زنده با فشار وارد کردن بر بالشتکها و بالا بردن فشار در سیال درون آنها باعث میشوند که لاستیکهای بالشتکها تحت فشار قرار گرفته و فاصله بین پی بالایی و پایینی به مقدار بسیار ناچیز تغییر کند. این جابجایی برای ساکنان ساختمان غیر قابل حس میباشد و این به علت وزن بالای سازه و در نتیجه شتاب بسیار کم حرکت سازه ناشی از تغییرات بار زنده میباشد.

در پی شناور به منظور ایجاد فشار در سیال بین دو پی از لوله های قائم که از بالای سازه تا فضای بین دو پی امتداد داشت استفاده میگردد اما با استفاده از بالشتکهای سیال دیگر نیازی به لوله های قائم نمیشود و با تنظیم میزان سیال درون بالشتکها فشار مورد نیاز برای تحمل وزن سازه درون لاستیک بالشتک فراهم میگردد.

از آنجا که بالشتکهای سیال از قبل آماده و پیش ساخته میباشند لذا سرعت اجرا را نیز بالا میبرند و این در حالی است که از نظر اقتصادی بسیار باصرفه میباشند.



مراجع:

- ۱- رضا رهگذر، کریم فرخ نیا، "پی شناور، روشی جهت آزاد نمودن سازه از ارتعاشات ناشی از زلزله"، پنجمین کنفرانس بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله، اردیبهشت ۸۶، تهران، ایران
- 2-R. Ivan Skinner, William H. Robinson, Graeme H. McVerry, *An Introduction to Seismic Isolation*, John Wiley & Sons, 1993.
- 3- Pazz, M., *Structural Dynamics*, 2nd Ed., VNR Co., New York
- 4- Naeim, F., Kelly, J.M., *Design of Seismic Isolated Structures From Theory to Practice*, John Wiley & Sons, Inc.