طراحی لرزه‌ای سازه‌ها بر اساس طیف پاسخ غیرخطی

محسن رهنما
استادیار
بابک علوی
کارشناسی ارشد
دانشکدهٔ مهندسی عمران
دانشگاه صنعتی شریف

مقدمه

هدف اصلی طراحی سازه‌ها در مقابل زلزله، حصول اطمینان از این موضوع است که **ظرفیتهای**[1] مقاومت و تغییر شکل سازه، با یک حاشیهٔ ایمنی کافی، از **نیازهای**[2] ایجاد شده بر اثر وقوع زمین لرزه‌های شدید بیشتر است. باتوجه به عدم قطعیت هر دو عامل و وابستگی آنها به متغیرهای متعدد، طراحی لرزه‌ای در عمل به سادگی امکان‌پذیر نیست. یکی از اهداف طولانی مدت تحقیق در زمینهٔ مهندسی زلزله، ارائه روشی است که با استفاده از آن بتوان عوامل متناظر **نیاز** و **ظرفیت** را به گونه‌ای ساده ولی مستقیم در فرایند طراحی شرکت داد.

پارامترهای نیاز مقادیری هستند که ارتعاشات زمین لرزه را به واکنشهای سازه‌ای مرتبط می‌سازند و شدت تأثیر زلزله را بر سازه نمایش می‌دهند. در مقابل، **ظرفیتهای** لرزه‌ای، توانایی سازه را در تحمل **نیازهای** لرزه‌ای نشان می‌دهند. در ایجاد ارتباط بین ارتعاشات لرزه‌ای و رفتار سازه، **نیازهای** مقاومت و تغییر شکل غیرارتجاعی سیستم‌های یک درجه آزادی (SDOF) نقشی اساسی ایفا می‌کنند. این عوامل و دیگر **نیازهای** لرزه‌ای به مشخصات زمین لرزه و خصوصیات رفتار ساده وابسته هستند.

طراحی لرزه‌ای براساس رفتار غیرارتجاعی

درجهٔ ایمنی سازه و خسارت وارد بر آن در یک زلزله با قدرت بالا، عمدتاً به خصوصیات زمین لرزه و ظرفیت سازه در جذب انرژی و خنثی کردن آن بستگی دارد. توانایی سازه در استهلاک انرژی وارده، به رفتار غیرارتجاعی آن وابسته است و واکنش غیرارتجاعی، علاوه بر خصوصیات دینامیکی کلی ـ از قبیل پریود و میرایی ـ متأثر از مشخصات مصالح، مقاومت تسلیم، ظرفیت شکل‌پذیری و جزییات اعضای سازه است. معمولاً برای معرفی خواص عمومی سازه‌ها، مدل‌های SDOF مورد استفاده قرار می‌گیرند. این گونه مدل‌ها قادرند با در نظر گرفتن خواص مناسب **هیسترزیس**، میزان خسارت وارد شده به سازه در یک بارگذاری رفت و برگشتی را ارزیابی کنند. آیین‌نامه‌های طراحی لرزه‌ای کنونی، اثر استهلاک انرژی در تغییر شکلهای غیرارتجاعی را با اعمال یک ضریب کاهش تجربی (ضریب رفتار) برای اصلاح نیروی برشی پایه در نظر می‌گیرند.

خصوصیات یک زمین لرزه به عواملی از قبیل نوع گسیختگی گسل، بزرگی زلزله، جهت و فاصلهٔ کانون تا محل مورد نظر، مسیر حرکت امواج، شرایط زمین شناسی ساختگاه و خصوصیات خاک بستگی دارد. مشخصات محلی خاک بر دامنه، محتوای فرکانسی[3] و مدت زمان ارتعاشات قوی تأثیرگذارده[4] و مشخصه‌های امواج زمین لرزهٔ ایجاد شده در بستر سنگی، با عبور از لایه‌های خاک، تغییر می‌کنند. اکثر آیین نامه‌های ساختمانی، اثر خاک نرم را با افزایش ضریب برش پایهٔ زلزله منظور می‌کنند به گونه‌ای که، عملکرد فیزیکی واقعی سازه‌هایی که روی خاک نرم واقع شده و در یک زلزلهٔ شدید دستخوش واکنش غیر ارتجاعی می‌گردند، ملحوظ نمی‌شود.

به این ترتیب، می‌توان گفت که روشهای طراحی کنونی در همهٔ حالتها نمی‌توانند یک درجهٔ ایمنی سازگار را تضمین کنند و در تعیین نیروهای برشی پایه، با مشکلات مفهومی روبرو هستند. این گونه روشها بیش از اندازه به طیفهای واکنش ارتجاعی و ضرایب کاهش تجربی متکی هستند به طوری که، امکان ایجاد ارتباط مستقیم و منطقی بین سازهٔ

1. Capacities
2. Demands
3 - Frequency content
4 - Strong Motion Duration

طراحی شده با مشخصات زمین لرزه بویژه در خاکهای نرم غیر ممکن می‌شود.

در مطالعات اخیر توسط دو تن از کارشناسان[5]، این موضوع روشن شده است که رابطهٔ بین شکل پذیری سیستم و ضریب کاهش مقاومت R مخصوصاً برای سازه‌هایی با پریود کوتاه، شدیداً به پریود وابسته بوده و علاوه بر آن، تابعی است از مشخصات سازه‌ای نظیر سخت ـ شدگی کرنش[6] و نوع واکنش هیسترزیس. همچنین، در مطالعات دیگر[7] مشخص شده است که ضریب R به تأثیرات خاک نرم نیز بستگی دارد.

مشکلاتی از این قبیل، لزوم به کارگیری روشهای منطقی و واقع‌گرایانه‌تری را در طراحی لرزه‌ای سازه‌ها، بیش از پیش به اثبات می‌رساند. به گونه‌ای که، رفتار واقعی (غیر ارتجاعی) سازه به طور مستقیم در فرایند طراحی مشارکت داده شود.

روش منطقی طراحی لرزه‌ای

در این راستا یک روش منطقی طراحی (کارویکلر، ۱۹۹۳) بر مبنای مفاهیم نیاز و ظرفیت و بر اساس مطالعات انجام شده توسط استراس و کارویکلر (۱۹۹۰)، ناصر و کارویکلر (۱۹۹۱) و رهنما و کارویکلر (۱۹۹۳) پیشنهاد شده است که به روش نیاز / ظرفیت مرسوم می‌باشد.

روش پیشنهادی، یک روش دوگانه‌ای است که در آن خدمت ـ پذیری[8] و ایمنی در مقابل انهدام[9] به عنوان سطوح مجزای طراحی برای زمین لرزه‌هایی با احتمال وقوع متفاوت، مد نظر قرار گرفته است. در این روش، طراحی لرزه‌ای تلاشی است برای اطمینان از اینکه ظرفیتهای تغییر مکان و مقاومت سازه، با یک حاشیهٔ ایمنی کافی، بیشتر از مقادیر متناظر نیاز تغییر مکان و مقاومت بر اثر وقوع زلزله‌های شدید باشد. پارامترهای اساسی ظرفیت سازه عبارتند از مقاومت و شکل پذیری (یا تغییر شکل) اعضای منفرد سازه که وقتی در ترکیب سازه مجتمع گردند، ظرفیت مقاومت و شکل‌پذیری (یا تغییر شکل) کل سازه را معرفی می‌نمایند. ظرفیتهای شکل پذیری یا مقاومت اعضای سازه را می‌توان با استفاده از مطالعات آزمایشگاهی و مدلهای آسیب تجربی[10] تخمین زد.

فرآیند طراحی مورد نظر عبارت است از تخمین ظرفیت شکل ـ پذیری و تعیین مقاومت مورد نیاز به گونه‌ای که شکل‌پذیری ایجاد شده از ظرفیت موجود شکل پذیری بیشتر نشود. بنابراین، ظرفیت شکل‌پذیری در طراحی، یک هدف از پیش تعیین شده است و مقاومت مقداری است که بسته به مشخصات ارتعاشات زمین لرزه و ظرفیت شکل‌پذیری به دست می‌آید. در نتیجه، مقاومت مورد نیاز برای حصول شکل‌پذیری مطلوب، بنیادی‌ترین نیاز لرزه‌ای محسوب می‌شود که باید با توجه به مشخصات سازه و زمین لرزه مورد ارزیابی قرار گیرد. برای انجام این عمل، اغلب به دلیل سهولت، سیستم‌های یک درجه آزادی (SDOF) به کار می‌روند.

به این ترتیب، در صورتی که فرایند طراحی لرزه‌ای بر مبنای ظرفیت از پیش تعیین شدهٔ شکل‌پذیری (بر اساس نوع سیستم ساده و جزییات طراحی) و نیاز مقاومت (وابسته به زمین لرزه) پی‌ریزی شود، درجهٔ ایمنی هماهنگی برای سازه‌های طراحی شده تضمین خواهد شد.

به طوری که اشاره شد، در روش طراحی نیاز / مقاومت، تعیین ظرفیت شکل‌پذیری یا تغییر شکل اعضای سازه، نخستین گام طراحی است. بنابراین، لازم است ظرفیتهای شکل‌پذیری اعضاء با استفاده از تبدیلات هندسی به ظرفیتهای شکل‌پذیری طبقه‌ای مبدل گردد تا در تعیین مقاومت غیر ارتجاعی مورد نیاز به کار برده شود.

ابتدا مقاومت غیر ارتجاعی مورد نیاز، برای سیستم SDOF با مدل هیسترزیس دو خطی[11] بر اثر زمین‌لرزه‌های ثبت شده روی سنگ تعیین می‌شود.

مقاومت غیر ارتجاعی مورد نیاز برای ایجاد شکل‌پذیری μ از رابطهٔ $F_y(\mu) = \frac{F_{y,e}}{R}$ قابل محاسبه است. در این رابطه، R ضریب کاهش مقاومت می‌باشد و تابعی است از نسبت شکل‌پذیری μ و پریود ارتعاشات آزاد و ارتجاعی سازهٔ T. مقدار R از روابط $R - \mu - T$ قابل ارزیابی است که نمونه‌ای از این روابط برای زمینهای سنگی و سخت در شکل ۱ نمایش داده شده است. همچنین، $F_{y,e}$ مقاومت مورد نیاز ارتجاعی سازه است و با استفاده از طیف طراحی مقاومت ارتجاعی ارزیابی می‌شود. در شکل ۲ طیف طراحی ارتجاعی ATC - S_1 و طیفهای مقاومت غیر ارتجاعی مربوطه که توسط رابطه فوق‌الذکر و روابط $R - \mu - T$ محاسبه شده، ملاحظه می‌گردد.

در مرحلهٔ بعد، برای ملحوظ داشتن آثار مدلهای هیسترزیس (غیر از دو خطی) و وجود خاک نرم، اصلاحاتی روی مقاومت غیر ارتجاعی مورد نیاز صورت می‌پذیرد. همچنین، به دلیل تعدد درجات آزادی (MDOF) سازه‌های واقعی، اعمال تصحیحاتی نیز در این مورد لازم است. بعد از اعمال ضرایب تصحیح، مقاومت مورد نیاز سازه در حد مکانیزم حاصل می‌شود.

در این مرحله، طراحی مقاومت سازه با استفاده از مفاهیم طرح خمیری، به صورت مستقیم انجام پذیر است ولی از آنجا که در حال حاضر عملاً استفاده از طراحی ارتجاعی مرسوم‌تر است، با تبدیل سطح مقاومت

---

5 - Nassar & Krawinkler (1991)

6 - Strain Hardening

7- Rahnama & Karwinkler (1993)

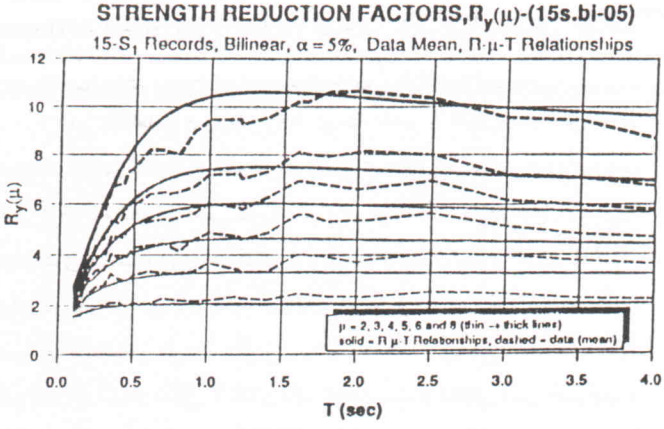
8 - Serviceability

9 - Collapse

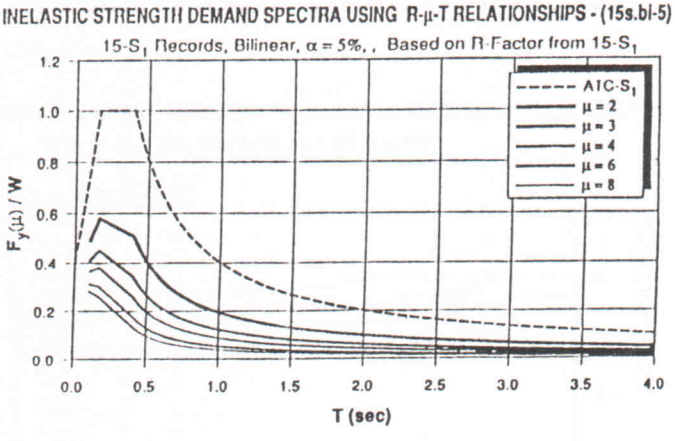
10 - Damage Models

11 - Bilinear

سازه به سطح مقاومت عضو، طراحی ارتجاعی امکان پذیر می‌شود. به دنبال طراحی اولیهٔ مقاومت و سختی، گام نهایی، کنترل و تنظیم جزئی طرح با استفاده از تحلیل ایستایی غیر خطی با بار فزاینده[12] و یا تحلیل پویایی غیر خطی از نوع تاریخچهٔ زمان[13] است تا این اطمینان حاصل شود که شکل‌پذیری (تغییر شکل) ایجاد شده در اعضای بحرانی سازه از ظرفیتهای موجود آنها تجاوز نمی‌کند.



شکل ۱ـ ضرایب کاهش مقاوت R



شکل ۲ـ طیف مقاومت غیر ارتجاعی با استفاده از روابط R-μ-T

اثر خاک نرم در طراحی لرزه‌ای

شواهد رو به افزایش دال بر این موضوع در دست است که ارتعاشات لرزه‌ای بستر سنگی[14] بر اثر عبور از لایه‌های خاک تشدید می‌شود به گونه‌ای که، تأثیر چنین زمین لرزه‌هایی بر سازه‌های واقع بر سطح خاک، اغلب بیش از مقادیر پیش‌بینی شده توسط آیین نامه‌های ساختمانی است. از سوی دیگر، با توجه به بروز رفتار غیر ارتجاعی سازه‌ها بر اثر زمین لرزه‌های شدید، استفاده از طیفهای بازتاب ارتجاعی، به تنهایی برای تشخیص نیازهای لرزه‌ای مورد استفاده در طراحی کافی نیست و می‌تواند تصویری نادرست و گمراه کننده از رفتار واقعی (غیر ارتجاعی) سازه ارائه کند.

با عبور ارتعاشات لرزه‌ای بستر سنگی در امتداد محیط خاک نرم، نه تنها مقادیر حداکثر پارامترهای ارتعاش، بلکه شکل طیفهای مقاومت ارتجاعی و غیر ارتجاعی نیز به صورت قابل توجهی دستخوش دگرگونی می‌شود.

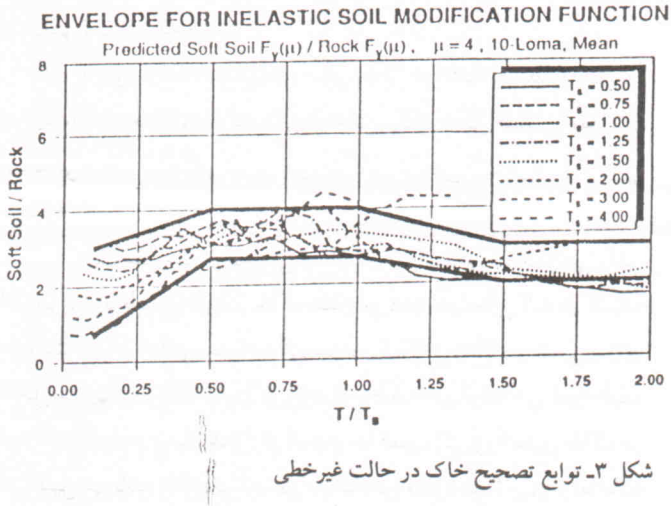
طیف مقاومت ارتجاعی حاصله، برآمدگی محسوسی را در اطراف پریود طبیعی سیستم خاک نشان می‌دهد، در حالی که در طیف مقاومت غیر ارتجاعی، برآمدگی مزبور کاهش یافته و حتی برای شکل‌پذیریهای بزرگ از بین می‌رود. لذا، طیف غیر ارتجاعی شبیه طیف ارتجاعی نبوده و بسیار هموارتر است و حاکمیت اثر بزرگنمایی خاک در آن تقلیل می‌یابد. علاوه بر آن، ضریب کاهش مقاومت R برای ارتعاشات سطحی خاک، کمیتی حساس به پریود و کاملاً غیر خطی است. بنابراین، به روشنی می‌توان دریافت که طراحی مقاومت سازه با استفاده از طیف واکنش ارتجاعی، ضریب R مرسوم (آیین نامه) گمراه کننده خواهد بود و طراحی اصولی نیازمند کسب اطلاعات بیشتری در مورد اندازه و شکل طیف مقاومت مورد نیاز غیر ارتجاعی است.

تحقیقات نشان داده است که در زمین‌لرزه‌های ایجاد شده روی خاکهای نرم، ضرایب R از الگوی متفاوتی پیروی می‌کنند و طیفهای ارتجاعی چنین زمین‌لرزه‌هایی در مقایسه با ارتعاشات بستر سنگی، فرم و اندازه‌های کاملاً متفاوتی دارند. یک روش منطقی قابل اتخاذ در طراحی لرزه‌ای عبارت است از تعیین آثار خاک نرم بر حسب نسبتهای طیفی که اغلب طیف مربوط به خاک نرم را به طیف متناظر بستر سنگی ارتباط می‌دهد. چنین نسبتهایی تحت عنوان توابع تصحیح خاک شناخته می‌شوند.

بر مبنای این تعریف، روشی برای ملحوظ کردن آثار خاک نرم در طیف مقاومت مورد نیاز SDOF در مطالعات رهنما وکراوینکلر (۱۹۹۳) پیشنهاد شده است. در مورد زمین‌لرزه‌های ایجاد شده در زمینهای سنگی و خاک سخت، مقاومت مورد نیاز غیر ارتجاعی را می‌توان توسط ضریب R با دقت مناسب به مقاومت ارتجاعی ارتباط داد. آنگاه، مقاومت مورد نیاز مربوط به خاک نرم از حاصل ضرب مقاومت غیر ارتجاعی مربوط به بستر سنگی و تابع تصحیح خاک محاسبه می‌شود. در صورتی که ارتعاشات خاک نرم و بستر سنگی زیر آن به طور همزمان در دسترس

12 - Push - Over
13 - Time History
14 - Bed Rock

باشد، این تابع مستقیماً از نسبت مقاومت مورد نیاز سازه روی خاک نرم به مقدار نظیر آن برای بستر سنگی قابل حصول است که نمونه‌ای از آن در شکل ۳ نشان داده شده است.



شکل ۳ـ توابع تصحیح خاک در حالت غیرخطی

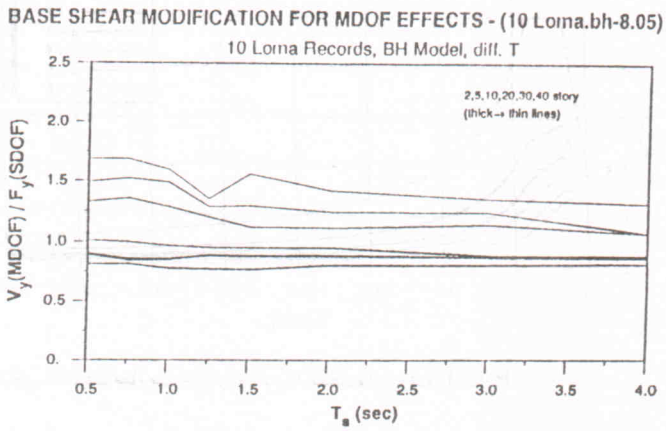
مطالعات نشان داده که توابع مزبور از الگوی منظمی پیروی می‌کنند و از این رو، می‌توانند به عنوان معیاری برای تخمین آثار خاک نرم، مورد استفاده قرار گیرند. این توابع به عوامل بسیاری از قبیل فاصلهٔ کانون زلزله تا محل مورد نظر، پریود خاک Ts، خواص غیر خطی ونسبت شکل‌پذیری بستگی دارند.

اثر تعدد درجات آزادی در طراحی لرزه‌ای

تا اینجا مطالبی در زمینهٔ نیازهای لرزه‌ای سیستم‌های یک درجه آزادی و تأثیر خاکهای نرم بر آنها مطرح شد. این نیازها به منظور ارزیابی اثرات مخرب زمین لرزه به کار می‌روند ولی برای استفاده در طراحی سازه‌های واقعی که اغلب سیستم‌های چند درجهٔ آزادی (MDOF) بوده و تحت تأثیر مودهای متعدد انتقالی و پیچشی قرار دارند، لازم است تصحیحاتی بر روی آنها صورت گیرد. برای سیستم‌های MDOF ارتجاعی، مشخصات واکنش دینامیکی سازه، با استفاده از ترکیب واکنشهای مودی از روشهایی نظیر SRSS، CQC و غیره قابل حصول است ولی در مورد سیستم‌های MDOF غیر ارتجاعی، اعمال روش ترکیب مودها عملی نبوده و برای تخمین نیازهای شکل‌پذیری و مقاومت جهت استفاده در طراحی، باید از روشهای دیگری سود جست.

در بررسیهای MDOF، نسبت شکل‌پذیری طبقه‌ای [15] ـ که به صورت نسبت حداکثر تغییر مکان بین طبقه‌ای [16] به تغییر مکان طبقه‌ای نظیر تسلیم تعریف می‌شود ـ می‌تواند به عنوان پارامتر اصلی تغییر شکل مورد استفاده قرار گیرد. بدین ترتیب، مقاومت لازم برای محدود ساختن نسبت شکل‌پذیری طبقه‌ای به یک مقدار مشخص، عامل کلیدی در طراحی خواهد بود. هدف اساسی روش اصولی طراحی که در بالا مورد بحث قرار گرفت، طراحی مقاومتی برای سازه است که نسبتهای شکل‌پذیری بین طبقه‌ای را به مقادیر از پیش تعیین شده‌ای محدود می‌کند. با توجه به تأثیر مودهای بالاتر و آثار پیچشی سازه‌های MDOF، مقاومت مورد نیاز در چنین سیستم‌هایی با مقادیر متناظر سیستم‌های SDOF متفاوت خواهد بود و به بسیاری از مشخصات سازه‌ای نظیر توزیع سختی و مقاومت اعضا درارتفاع سازه، درجهٔ نامعینی و مود انهدام اعضای بحرانی سازه و همچنین خصوصیات محلی خاک نظیر جنس، عمق و مشخصات ژئوتکنیکی لایه‌ها بستگی دارد.

در مطالعات صورت گرفته توسط ناصر و کاروینکلر، اثر تعدد درجات آزادی سازه‌های مستقر در زمینهای سنگی و سخت مورد بررسی قرار گرفت. مشابه طراحی سازه‌های واقع بر سنگ، لازم است در مورد سازه‌های بنا شده روی خاکهای نرم نیز مقاومتهای مورد نیاز SDOF، برای در نظر گرفتن تأثیرات MDOF، تصحیح شوند. برای این منظور، ضرایب تصحیحی توسط علوی و رهنما (۱۳۷۳) پیشنهاد شده است که نمونه‌ای از آن در شکل ۴ نشان داده شده است. با داشتن این ضرایب و مقاومت مورد نیاز سیستم SDOF معادل، می‌توان مقاومت برشی پایهٔ سیستم MDOF مورد نظر را به دست آورد و سازه را طراحی کرد. این ضرایب کاملاً به پریود سازه، پریود خاک، شکل‌پذیری و مکانیزم خرابی سازه وابسته‌اند و نتایج به دست آمده برای خاک نرم با نتایج نظیر زمینهای سنگی و سخت متفاوت است.



شکل ۴ـ ضرایب تصحیح مقاومت برشی پایه برای سیستم‌های MDOF

جمع‌بندی

روشهای کنونی طراحی سازه‌های مقاوم در برابر زلزله، بر پایهٔ اصول رفتار ارتجاعی سازه‌ها استوارند و خصوصیات غیر ارتجاعی

15 - Story Ductility Ratio 16 - Interstory Drift

واکنش ساده را به شیوهٔ تجربی و اولیه در نظر می‌گیرند. با این وجود، سازه‌های طراحی شده با استفاده از این روشها، در زلزله‌های شدید از خود واکنش کاملاً غیر ارتجاعی نشان می‌دهند. این موضوع، ضرورت گسترش و بهبود روشهای کنونی و ابداع روشهای نوینی را در طراحی سازه‌ها به اثبات می‌رساند به گونه‌ای که، رفتار غیر ارتجاعی سازه به طریق اصولی و واقع‌گرایانه در فرایند طراحی ملحوظ شود.

در این زمینه، روشی برای طراحی منطقی سازه‌های مقاوم در برابر زلزله پیشنهاد شده است که بنیان آن را شکل‌پذیری و تغییر شکلهای غیر ارتجاعی سازه تشکیل می‌دهند. این روش قادر است ارتباطی مستقیم و اصولی بین مشخصات زمین لرزه و خصوصیات مورد نیاز سازه برقرار سازد. در این روش، نیازهای غیر ارتجاعی سیستم‌های یک درجه آزادی به منظور دستیابی به مقادیر لازم مقاومت و سختی در سیستم‌های چند درجه آزادی مقاوم در برابر بارهای جانبی به کار گرفته شده و به مناسب‌ترین شیوه تصحیح می‌شود. همچنین، اثر عواملی نظیر احداث سازه روی خاک نرم دراین روش به گونه‌ای واقع بینانه مورد توجه قرار گرفته است.

انتظار می‌رود که این روش نوین طراحی تا تکمیل اطلاعات عددی لازم و انجام تحقیق در جهت ساده سازی هر چه بیشتر فرایند مربوط به آن، در آینده از نظر سهولت اجرا، شرایط لازم را کسب کرده و عملاً در دفاتر مهندسی جانشین روشهای کنونی طراحی لرزه‌ای گردد.

مراجع

Krawinkler, H. H. (1993). "Ideas on Inelastic Design Methods", *Proceeding of the SEAOC Workshop on the Next Generation of Seismic Design Practices*, Ixtapa, Mexico, (September 29, 1993).

Nassar, A.A. and Krawinkler, H. "Seisimc Demands for SDOF and MDOF Systems", John A. Blume Earthquake Engineering Center, Report No. 95, Department of Civil Engineering, Stanford University, (September 1991).

Rahnama, M. and Krawinkler, H. "Effects of Soft Soil and Hysteresis Model on Seismic Demands", John A. Blume Earthquake Engineering Center, Report No. 108, Department of Civil Engineering,Stanford University, (July 1993).

علوی، ب. و رهنما، م. "اثر خاک نرم بر نیازهای لرزه‌ای سیستم‌های چند درجه آزادی غیر ارتجاعی". پایان نامهٔ کارشناسی ارشد سازه، دانشکدهٔ مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی شریف، آبان ۱۳۷۳.

ابتکار نویدبخش دانشجویان رشتهٔ مهندسی عمران

آموزش عالی در بریتانیا به سرعت دستخوش تغییر شده است. همگان برآنند که تغییرات بنیادی در برداشتهای پذیرفته شدهٔ متکی به تکنیک برای مساعدت به تغییر، ضرورت دارد.

مقالهٔ حاضر که براساس این پیش زمینه توسط کارشناسان مهندسی عمران دانشگاه پلی تکنیک ساوت وست، به نامهای س.گ.د. جانستن و س. ویلیامز نوشته شده، این دیدگاه را پیش می‌کشد که در صورتی که قرار باشد دوره‌های مهندسی عمران بیشترین امتیاز را از فرصتهای ایجاد شده به دست آورد باید مواردی چون: ۱ـ تدارک برنامه‌های پیشرفت با افزایش کارکنان ۲ـ توجیه فشارهای بیرونی وارد بر پیشرفت دورهٔ تحصیلی... به اقدامات فوری دست زد.

مقاله، سپس به اختصار به رئوس مطالب و بررسی آزمونهای انتقال دوره غیر ـ سنتی، تأیید سطح تحصیلی دانشجو و ارزشیابی او می‌پردازد که تحت عنوان «مطالعه» در طور دورهٔ دانشگاهی انگلیس مهندسی عمران (به صورت افتخاری) در پلی تکنیک ساوت وست به مورد اجرا درآمده است.

پیش درآمد

کارشناسان آموزشی و صاحبان صنایع، طی سخنرانیهای خود در کنفرانس «مهندسان راه و ساختمان برای دههٔ ۱۹۹۰» (کینگزتون، ۱۹۸۵) [۱]، پیوسته بر نیاز به فارغ‌التحصیلان کارآمد و نرمش‌پذیر در زمینهٔ تکنولوژیک ـ بدان گونه که توان رویارویی با خواستهای گوناگون صنعت در حال تغییر را داشته باشند ـ تأکید می‌کردند. انبوه گزارشهای بعدی، لیسانس‌ها و دیپلم‌های مبتکر و خلاق با مهارتهای درون ـ فردی پیشرفته را برشمرده است. اسپارکز[۲] تفسیری اندیشمندانه در اینکه چگونه می‌توان ابزار ارزیابی چنین اهدافی را گسترش داد، به دست می‌دهد.

تغییرات در شرف وقوع، باتوجّه مخصوص به خود در محیطهای