

## ارزیابی احتمالاتی خسارت لرزه‌ای ساختمان‌های فولادی با احتساب اثر اندرکنش خاک-سازه

محمد رضا آخوندی، فرهاد بهنام‌فر، تیر ۱۳۹۸

بر اساس ضوابط آیین‌نامه‌های طراحی بر اساس مقاومت، عملکرد سازه تنها در سطح شدت زلزله طرح قابل‌دستیابی است و عملکرد آن برای سایر سطوح خطر مجهول است. اما با ورود دستورالعمل‌ها و استانداردهای عملکردی، فلسفه جدیدی از طراحی بر اساس عملکرد توسط محققین ارائه و پیشنهاد گردید. در این روش طراحی سازه به‌گونه‌ای است که در هر تراز شدت زلزله، سازه عملکردی قابل پیش‌بینی از خود نشان می‌دهد. در ارزیابی عملکرد لرزه‌ای سازه‌ها بایستی عدم قطعیت‌های پیوند خورده با تقاضای لرزه‌ای و ظرفیت سازه‌ای لحاظ گردد. در مطالعات معمول ارزیابی عملکردی لرزه‌ای، فرض می‌شود که سازه‌ها در تکیه‌گاه خود به‌صورت گیردار عمل می‌کنند و از اثر اندرکنش خاک و سازه صرف‌نظر می‌گردد این در حالی است که اثرات اندرکنش خاک و سازه می‌تواند پاسخ‌های دینامیکی سازه را تغییر داده و این تغییرات می‌تواند روی عملکرد سازه‌ها از جمله فروریزش آن‌ها نقش تعیین‌کننده داشته باشد. این پژوهش به بررسی تاثیر عدم قطعیت مشخصات خاک می‌پردازد، چرا که ارزیابی دقیق و درست سازه‌ها مستلزم توجه کافی به رفتار غیرخطی سازه-فونداسیون و اندرکنش بین آن‌ها و همچنین عدم قطعیت‌ها و تغییرپذیری پارامترهای ورودی است. سیستم پیچیده خاک-پی-سازه به همراه بارگذاری، منجر به توزیع واکنش‌های احتمالاتی در سازه می‌شود که برای برخورد با این مسئله استفاده از تحلیل‌های آماری و احتمالاتی جهت توصیف این متغیرها روش مؤثری می‌باشد. مهم‌ترین پارامترهای تأثیرگذار از طریق آنالیز دیاگرام تورنادو شناسایی می‌شود. از میان پارامترهای مشخصه خاک، مدول برشی اولیه بیشترین تأثیر را بر شتاب طیفی فروریزش دارد. در این پژوهش برای در نظر گرفتن عدم قطعیت پارامترهای خاک از روش دقیق مونت کارلو استفاده شده است. در نهایت پاسخ سازه‌ها در قالب منحنی‌های شکنندگی ارائه می‌گردد. برای این منظور از سازه‌های سه‌بعدی قاب خمشی فولادی ویژه با تعداد طبقات ۴، ۸ و ۱۲ که مطابق آیین‌نامه ASCE/SEI 7-16 طراحی گردیده و تحت تأثیر مؤلفه‌های افقی حرکت زمین قرار می‌گیرند استفاده شده است. مدل‌سازی سه‌بعدی سازه‌ها به‌منظور بررسی رفتار غیرخطی با اختصاص مفصل متمرکز در انتهای المان‌های تیر و ستون انجام شده است؛ همچنین اندرکنش خاک و سازه توسط روش تیر غیرخطی وینکلر در نرم‌افزار OpenSees مدل می‌شود. برای در نظر گرفتن اثر تغییرپذیری رکوردهای زلزله، تحلیل‌ها با استفاده از روش دینامیکی افزایشی به‌منظور تعیین حد فروریزش سازه‌ها انجام می‌شود. شتاب طیفی به‌عنوان مقیاس شدت زلزله و جابجایی نسبی به‌عنوان پارامتر تقاضای مهندسی انتخاب گردید. با بررسی منحنی‌های شکنندگی سازه‌های مورد مطالعه، مشخص شد که در نظر گرفتن عدم قطعیت مشخصات خاک میزان پراکندگی در منحنی‌های شکنندگی متناظر با مقادیر آماری ۱۶ و ۸۴ درصد، نسبت به حالت پایه صلب از مقدار ۱۴/۳ درصد برای سازه ۴ طبقه به ۶/۱ درصد در سازه ۱۲ طبقه کاهش می‌یابد. این موضوع نشان‌دهنده این است که در سازه‌های کوتاه مرتبه عدم قطعیت مشخصات خاک باعث پراکندگی بیشتر پاسخ‌ها می‌شود و در سازه‌های بلندمرتبه این تغییرپذیری کاهش می‌یابد. همچنین نتایج حاصل از منحنی‌های شکنندگی برای مقادیر آماری ۱۶ و ۸۴ درصد نشان می‌دهد که در نظر گرفتن اندرکنش خاک و سازه منجر به افزایش ۱۰/۵ الی ۲۰/۷ درصدی احتمال فروریزش در شتاب طیفی یکسان نسبت به حالت پایه صلب برای سازه ۴ طبقه می‌شود این اختلاف برای سازه ۱۲ طبقه برابر با ۱۳/۳ الی ۲۱/۰ درصد می‌باشد. اختلاف در مقدار احتمال فروریزش برای سازه‌های مورد مطالعه در حالت پایه انعطاف‌پذیر ناشی از تاثیر در نظر گرفتن عدم قطعیت در مشخصات خاک می‌باشد. در این تحقیق تأیید شد که پاسخ سازه نه‌تنها به ویژگی‌های دینامیکی سازه و مشخصات تحریک لرزه‌ای بلکه به محیط پیرامون تکیه‌گاه سازه، یعنی اندرکنش بین سازه، پی و خاک، بستگی دارد.

کلمات کلیدی: اندرکنش خاک و سازه، تحلیل دینامیکی افزایشی، عدم قطعیت، مدل‌سازی غیرخطی، منحنی شکنندگی.