محاسبه‌ی تابع سختی دینامیکی پی با استفاده از روش پاسخ اساسی

فرشید مسیّبی[۱]، سیّد امیرسیّد امیری[۲]
۱- استادیار گروه مهندسی عمران دانشکده فنّی و مهندسی، دانشگاه اصفهان
۲- دانشجوی کارشناسی ارشد خاک و پی، دانشکده فنّی و مهندسی، دانشگاه اصفهان

mossaiby@eng.ui.ac.ir
amiramiri@eng.ui.ac.ir

خلاصه

طراحی یک سازه تحت بارهای دینامیکی وارد بر آن، علاوه بر تحلیل رفتار خود سازه، نیازمند تحلیل خاک در بر گیرنده‌ی سازه و همچنین اندرکنش بین خاک و سازه می‌باشد. خاک در بر گیرنده‌ی سازه یک محیط نیمه بی‌نهایت بوده، به همین دلیل حل معادله‌ی دیفرانسیل تحریک دینامیکی حاصل از یک منبع، نیازمند در نظر گرفتن راه‌کارهای خاصی است. در این مقاله با در نظر گرفتن یک پاسخ اساسی برای معادله‌ی موج الاستیک و با استفاده از شرایط مرزی روی پی و خاک اطراف آن، سختی دینامیکی پی برای خاک همگن و همسانگرد محاسبه می‌شود. ارضاء شرط تشعشع توسط پاسخ اساسی و حل کلی از مهمترین نقاط قوت این روش می‌باشد.

کلمات کلیدی: سختی دینامیکی، پاسخ اساسی، اندرکنش خاک و سازه، محیط نیمه بی‌نهایت، شرط تشعشع

۱. مقدمه

تحلیل اندرکنش خاک و سازه، تحت ارتعاشات ناشی از زلزله، دستگاه‌های ارتعاشی، بار ناشی از حرکت مترو از زیر یک سازه و مسائلی از این دست، نیازمند حل مساله‌ی مقدار مرزی یا همان معادله‌ی دیفرانسیل حاکم بر ارتعاش در دامنه‌ی نیمه بی‌نهایت خاک و با شرایط مرزی خاص می‌باشد. روش‌های مختلفی برای حل معادله مذکور در دامنه‌ی نیمه بی‌نهایت خاک وجود دارد. بی تردید بزرگ‌ترین چالش در تمامی روش‌های ارائه شده برای این منظور، شبیه سازی دامنه‌ی نیمه بی‌نهایت خاک و ارضای شرط تشعشع می‌باشد [۱]. سامرفلد در سال ۱۹۴۹ بیان کرد در چنین محیط‌هایی، انرژی ساطع شده از یک منبع به سمت بی‌نهایت انتشار یافته و هیچ انرژیی نباید از بی‌نهایت به سمت منبع منتشر شود [۲]. در طی سال‌های متمادی این بیان مبنای کار بسیاری از روش‌های حل معادلات در دامنه‌های بدون مرز قرار گرفته است. تمامی روش‌های حل عددی معادلات دیفرانسیل، وابسته به شرایط مرزی هستند و در صورت عدم ارضای شرط تشعشع، موج منتشر شده در برخورد با مرز به داخل دامنه بازتاب شده و سبب ایجاد اغتشاش در حل و بی‌اعتباری آن می‌گردد. بنابراین ارضای شرط تشعشع یکی از مهم‌ترین ارکان حل معادلات انتشار امواج در دامنه‌های بی‌نهایت می‌باشد. از طرف دیگر چنین دامنه‌هایی تاثیری مشابه میرایی بر روی حرکت موج و بنابراین حل معادله‌ی انتشار موج در دامنه‌های مذکور برجا می‌گذارند. این میرایی را میرایی هندسی و یا تشعشعی می‌نامند، به این دلیل که کاهش در دامنه‌ی حرکتی موج به دلیل انتشار روبه جلو و دور شدن از منبع انتشار صورت می‌گیرد. در ادامه به ارائه‌ی پیشینه‌ی کوتاهی از روش‌های ارائه شده به منظور محاسبه‌ی تابع سختی و میرایی دینامیکی پی، پرداخته شده‌است.

تئوری ارائه شده برای بررسی ارتعاشات پی، توسط رایزنر در سال ۱۹۳۶ نقطه‌ی آغازین مطالعات اندرکنش خاک و سازه بود [۳]. روش‌های تحلیلی فقط برای پی‌ها با اشکال ساده و درمودهای ارتعاشی خاصی قابل استفاده می‌باشند. در این روش‌ها معادله‌ی دیفرانسیل به شکل دقیق حل می‌شود. همچنین در روش‌های تحلیلی پاسخ پی بر اثر هر تحریک به صورت جداگانه بررسی می‌شود. روش المان‌های مرزی یکی از بهترین و رایج‌ترین روش‌های عددی، برای شبیه‌سازی اندرکنش خاک و سازه می‌باشد. در این روش شرط انتشار امواج به سمت بی‌نهایت به خوبی و با استفاده از معادلات انتگرالی برآورده می‌شود. در این روش تابع گرین، به عنوان تابع پایه برای تقریب زدن انتخاب می‌شود. این تابع به خوبی توانایی ارضای شرط تشعشع در بی‌نهایت را دارا می‌باشد. یکی از بزرگ‌ترین مزایای روش مذکور، کاهش درجات آزادی در حل معادله از طریق گسسته‌سازی مرز دامنه می‌باشد. به همین دلیل این روش توانایی بالایی در حل معادلات با شکل دامنه‌ی پیچیده، به خصوص در فضای سه بعدی را دارد [۴]. برجسته‌ترین کار در این زمینه با استفاده از روش مستقیم، توسط دومینگز و روزت [۵]، برای محاسبه‌ی سختی دینامیکی یک پی سطحی مستطیلی در حوزه‌ی فرکانس، و کارابالیس و