تحلیل اندر کنش خاک و سازه به روش ترکیبی المان طیفی و المان محدود

پویا میرهاشمیان[۱]، ناصر خاجی[۲]

۱- کارشناس ارشد مهندسی زلزله، بخش مهندسی عمران، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

۲- استادیار مهندسی زلزله، بخش مهندسی عمران، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

nkhaji@modares.ac.ir

خلاصه

تحقیق حاضر به مدلسازی مسائل اندرکنش خاک و سازه به کمک روش ترکیبی المان طیفی و المان محدود می پردازد. این روش بر مبنای مطابقت دادن یک شبکه دو بعدی از المانهای طیفی چهاروجهی و ترکیب آن با المانهای محدود تیر، بنا شده است. با بکار بردن روش مانده های وزندار گالرکین، معادلات روش المان طیفی حاصل شده و جنبه های مختلف مسائل الاستودینامیک و اندرکنش خاک وسازه مطرح میگردد. دقت و کارایی این روش، با مقایسهٔ آن با روشهای موجود در مطالعات دیگر نشان داده میشود. برای این منظور، مسائل انتشار امواج و اندرکنش خاک و سازه تحت اشکال مختلف بارگذاری با استفاده از روش پیشنهادی مدلسازی میشوند. تمامی مسائل با استفاده از درجات آزادی بسیار کم در مقایسه با روشهای عددی دیگر با موفقیت مدلسازی شده اند. نتایج عددی حاصل از روش پیشنهادی، تطابق بسیار خوبی با نتایج تحلیلی دارند.

کلمات کلیدی: اندرکنش خاک و سازه، روش ترکیبی المان طیفی- المان محدود، مسائل الاستودینامیک.

۱. مقدمه

روش های عددی با پیشرفت در افزایش دادن ظرفیت های محاسباتی، فضای قدرتمند و مؤثری برای رقابت در مورد پدیدهٔ انتشار موج در طول سه دهٔ اخیر به وجود آورده اند. در این میان، روش تفاضل محدود FDM (کول، ۲۰۰۳) [۱]، روش المان مرزی BEM (وانگ و همکاران، ۱۹۹۷؛ کاررِ و منصور، ۲۰۰۴،۲۰۰۰ و تاناکا و چِن، ۲۰۰۱) [۲، ۳، ۴، ۵] و روش المان محدود FEM (گوداتی و تاسولاس، ۱۹۹۹؛ الخلیفی و همکاران، ۲۰۰۲ و گیولی و همکاران، ۲۰۰۶) [۶، ۷، ۸] معروف تر هستند. روش المان محدود مبتنی بر طیفی (SEM) یک تکنیک مرتبه بالا است؛ بنابراین می توان دقتی مشابه روش های مرتبه پایین تر (مانند FEM و FDM) را با استفاده از تعداد کمتری از نقاط شبکه بندی از آن دریافت کرد. به این دلیل، پیشرفت چشمگیری در بهره وری از روشهای محاسباتی بدست می دهد. روش SEM که از تمامی مزایای روش FEM کلاسیک بهره می برد (به عنوان مثال، مناسب بودن برای هندسه های پیچیده و شرایط وجه مشترک)، با دستهٔ خاصی از توابع درون یابی توانمندتر شده است. این توابع درون یابی، روش SEM را قادر به عبور دادن طیف وسیع تری از طول موج ها در المان ها با دقت بیشتر و تلاش های محاسباتی کمتر در مقایسه با روش FEM کلاسیک می کند. روش SEM که در اصل در مکانیک سیالات محاسباتی معرفی شد (کربی و شروین، ۲۰۰۶) [۹]، هم اکنون در مسائل الاستو دینامیک سازه ای (چاکرابورتی و گوپالاکریشنان، ۲۰۰۳؛ کومار و همکاران، ۲۰۰۴ و کراژوک و همکاران، ۲۰۰۴) [۱۰، ۱۱، ۱۲] و محیط پیوسته (کماتیچ و همکاران، ۱۹۹۹ و کاسادی و همکاران، ۲۰۰۲) [۱۳، ۱۴] کاربرد دارد.

۲. معادله حاکم

در ادامه، فرضیات مسئله به همسانگرد ، همگن و جابجایی-کوچک با رفتار خطی ارتجاعی محدود می شود. در فرمولاسیون ضعیف مانند روش المان محدود از فرم انتگرالی معادلات حرکت استفاده می کنیم (زینکویچ و تیلور، ۲۰۰۰) [۱۵]. روش SEM بر اساس فرمولاسیون ضعیف معادلات حرکت بنا نهاده شده است.

معادلات تعادل برای محیط ارتجاعی کران دارکه تحت اثر نیروی کالبدی f_i قرار دارد به صورت زیر توصیف می شود: