# بررسی اثر نسبت دفن‌شدگی پی‌های سطحی در پاسخ دینامیکی آن‌ها به ارتعاش افقی ماشین‌آلات

**فردین جعفر زاده[۱]، رامین قاسمی[۲]**

**دانشکده مهندسی عمران دانشگاه صنعتی شریف**

raminghassemi@yahoo.com

## خلاصه

مهم‌ترین گام در روش‌های کنونی تحلیل دینامیکی پی ماشین‌آلات، تعیین توابع امپدانس دینامیکی است. در این روش‌ها فرض می‌شود که برهم کنش بین پی و خاک، یک رابطه خطی با جابجایی پی در کرنش‌های کوچک داشته باشد. این رابطه خطی بین برهم کنش پی و خاک با جابجایی پی توسط توابع امپدانس دینامیکی برقرار می‌شود. این توابع مختلط و وابسته به فرکانس بارگذاری هستند. در این مطالعه پاسخ دینامیکی پی‌های سطحی به کمک مدل‌سازی فیزیکی بررسی شد. با استفاده از روش ریزش بارانی، ماسه بابلسر با چگالی یکنواخت درون یک محفظه فولادی که دیواره‌های داخلی و کف آن با یک لایه خاک اره پوشانده‌شده‌بود، ریخته شد. هدف از استفاده از لایه خاک اره، جلوگیری از انعکاس امواج توسط جداره‌های جعبه و مدل سازی فضای نیمه بینهایت است. سپس پی مربعی واقع در سطح خاک تحت ارتعاش اجباری قرار گرفت. بار دینامیکی وارده و پاسخ ارتعاشی آن از طریق ابزار سنجش روی پی‌ها اندازه‌گیری شد. ابزار سنجش روی پی‌ها شامل نیروسنج در محل اعمال بار به پی توسط مولد، یک شتاب سنج در جهت افقی، دو شتاب سنج در جهت قائم بود. در مرحله بعد با استفاده دوباره از روش ریزش بارانی ارتفاع خاک به نحوی افزایش یافت، که نسبت دفن‌شدگی پی به ۰/۵ رسید و آزمایش‌ها برای این حالت تکرار شد. در مرحله آخر با افزایش مجدد ارتفاع خاک، نسبت دفن‌شدگی پی به ۱ رسانده شد و پاسخ پی در این حالت نیز بررسی شد. در انتها با بهره‌گیری از معادلات حرکت مناسب، پارامترهای هندسی و داده‌های ثبت‌شده، توابع دینامیکی امپدانس برای مود ارتعاشی افقی محاسبه گردید و به صورت نمودارهایی بر حسب فرکانس‌بی‌بعد ارائه شده است. مقایسه توابع امپدانس دینامیکی افقی برای نسبت‌های مختلف دفن‌شدگی، بیانگر افزایش توابع امپدانس دینامیکی در محدوده فرکانس بی بعد ۰ تا ۳/۵ است.

**کلمات کلیدی: تابع امپدانس، پاسخ دینامیکی، نسبت دفن‌شدگی پی، مدل فیزیکی، پی ماشین‌آلات، بار هارمونیک افقی**

## ۱. مقدمه

توابع امپدانس دینامیکی، برای توصیف رابطه خطی فرض شده بین نیروهای اندرکنشی و جابجایی‌های اندر کنشی، در مسائل اندر کنش خاک و سازه به کار می‌روند. این رابطه خطی فرض شده، تحلیل جابجایی دینامیکی را از حل معادلات دیفرانسیلی حرکت مقدور می‌سازد. توابع امپدانس دینامیکی معمولاً به صورت اعداد موهومی نمایش داده می‌شوند و قسمت‌های حقیقی و موهومی (به ترتیب سختی و میرایی دینامیکی) آن‌ها در مسائل ارتعاش پی‌ها وابسته به فرکانس نیروی محرک هستند. توابع امپدانس از روش‌های مختلف تئوری و عددی برای شرایط مختلف مانند نسبت‌های مختلف دفن‌شدگی پی، پروفیل‌های مختلف خاک (خاک نیم فضا یا خاک لایه‌ای)، محیط همگن یا ناهمگن و... به دست آمده است، جمع‌بندی این روش‌ها و نتایج را می‌توان در گزتاس (Gazetas) ۱۹۸۳ و نواک (Novak) ۱۹۸۷ موجود است. از طرف دیگر، داده‌ها و نتایج آزمایشگاهی در این مورد در ادبیات فنی بسیار نادر است، نتایج تجربی برای تایید روش‌های تئوری و کاربرد مطمئن آن‌ها در عمل ضروری است. پارامترهای مختلفی بر توابع امپدانس و در نتیجه پاسخ دینامیکی پی‌ها تأثیرگذارند. این پارامترها را می‌توان به پارامترهای مرتبط با شالوده مانند ابعاد، شکل، صلبیت، وزن، عمق دفن شالوده و...؛ پارامترهای مرتبط با خصوصیات خاک مثل سختی و ضخامت لایه و ... و پارامترهای مرتبط با بار اعمالی به پی مانند دامنه نیروی دینامیکی، فرکانس نیروی دینامیکی و... تقسیم نمود. در این میان عمق دفن شالوده یا افزایش نسبت دفن‌شدگی پی‌های تحت ارتعاش همواره به عنوان راه حلی مد

---

[۱] دانشیار دانشکده مهندسی عمران دانشگاه صنعتی شریف

[۲] کارشناس ارشد مهندسی ژئوتکنیک