

تحليل ارتعاشات پی:

روش مقاومت مصالح

تألیف:

John P. Wolf

Andrew J. Deeks

ترجمه و تدوین:

ساسان محاسب

سرشناسه	ولف، جان پی، ۱۹۲۸ - م Wolf, John P.
عنوان و نام پدیدآورنده	تحلیل ارتعاشات پی: روش مقاومت مصالح / تألیف: [جان. پی. ولف، اندرو جی. دیکس] : ترجمه و تدوین: ساسان محاسب.
مشخصات نشر	تهران: تمثیل، ۱۳۹۰.
مشخصات ظاهری	ق. ۳۴۴ ص.
شابک	۹۷۸ - ۹۶۴ - ۲۸۹۰ - ۲۱ - ۷
وضعیت فهرست‌نویسی	فیا.
یادداشت	ISBN: 978-964-2890-21-7 Foundation vibration analysis: a strength-of-materials approach, 2004
موضوع	پی‌سازی - ارتعاش.
موضوع	مقاومت مصالح
شناسه افزوده	دیکس، اندرو ج.
شناسه افزوده	Deeks, Andrew J
شناسه افزوده	محاسب، ساسان، ۱۳۳۵ - مترجم.
رده‌بندی کنگره	۱۳۹۰ ن ۸ / ۷۷۵ تا
رده‌بندی دیویی	۶۳۴/۱۵
شماره کتاب‌شناسی ملی	۲۴۸۷۱۷۰

تحلیل ارتعاشات پی:

روش مقاومت مصالح

John P. Wolf & Andrew J. Deeks

ترجمه و تدوین: ساسان محاسب

ناشر: انتشارات تمثیل

امور فنی و هنری: مهناز عزب‌دفتری

نوبت چاپ: اول

شمارگان: ۱۰۰۰ نسخه

شابک: ۹۷۸ - ۹۶۴ - ۲۸۹۰ - ۲۱ - ۷

قیمت: ۸۰۰۰ تومان

حق چاپ برای صاحب اثر محفوظ است.

آدرس انتشارات: تهران، میدان انقلاب، خیابان دانشگاه، خیابان وحید نظری، بین فخر رازی و دانشگاه، ساختمان ۶۱،

طبقه دوم، واحد ۸۲۴: — تلفن: ۶۶۹۶۱۵۹۶ - ۶۶۴۸۰۶۹۵

فهرست مطالب

ز	معرفی کتاب.....	۱
ش	مقدمه مترجم.....	۱
ض	پیش درآمد.....	۱
غ	پیشگفتار.....	۱

۱	۱ - مقدمه.....	۱
۱	۱ - ۱ تعریف مسئله.....	۱
۱۱	۲ - ۱ سازماندهی متن.....	۱

۱۵	۲ - مفاهیم مدل مخروطی.....	۱۵
۱۶	۱ - ۲ روش‌های دقیق.....	۱۶
۱۸	۲ - ۲ انتشار موج در یک مخروط ناقص نیمه نامحدود همگن.....	۱۸
۲۷	۳ - ۲ انعکاس و انکسار موج در ناپیوستگی مصالح در یک مخروط.....	۲۷
۳۵	۴ - ۲ دیسک واقع بر روی سطح نیم‌فضای چندلایه.....	۳۵
۳۷	۵ - ۲ دیسک مدفون در نیم‌فضای چندلایه.....	۳۷
۴۰	۶ - ۲ بی مدفون در نیم‌فضای چندلایه.....	۴۰
۴۲	۷ - ۲ ویژگی‌های مدل مخروطی.....	۴۲

۴۵	۳ - مخروط اولیه با انتشار موج به سمت بیرون.....	۴۵
۴۶	۱ - ۳ مخروط‌های انتقالی.....	۴۶
۵۴	۲ - ۳ مخروط‌های دورانی.....	۵۴
۶۰	۳ - ۳ تفسیر مخروط دورانی.....	۶۰
۶۵	۴ - ۳ نیم‌فضای تراکم‌ناپذیر و تقریباً تراکم‌ناپذیر.....	۶۵
۶۶	۱ - ۴ - ۳ سرعت موج.....	۶۶
۶۶	۲ - ۴ - ۳ جرم محبوس.....	۶۶

- ۵-۳ پی واقع بر روی سطح نیم‌فضای همگن ۶۹
- ۶-۳ مخروط‌های دوبل ۷۶

۴- انعکاس و انکسار موج در ناپیوستگی مصالح ۸۱

- ۱-۴ ضریب انعکاس برای مخروط انتقالی ۸۲
- ۲-۴ ضریب انعکاس برای مخروط دورانی ۸۸
- ۳-۴ سختی دینامیکی پی سطحی بر روی لایه واقع بر روی نیم‌فضا ۹۲
- ۴-۴ دیسک مدفون در نیم‌فضای همگن ۱۰۳
- ۵-۴ پیاده‌سازی کامپیوتری ۱۰۷
- ۶-۴ معیارهای خاتمه ۱۱۷

۵- پی مدفون در یک نیم‌فضای چندلایه ۱۲۵

- ۱-۵ مجموعه دیسک‌های مدفون ۱۲۶
- ۲-۵ انعطاف‌پذیری دینامیکی میدان آزاد ۱۲۸
- ۳-۵ سختی دینامیکی و حرکت ورودی مؤثر پی ۱۳۰
- ۴-۵ کاربرد کامپیوتری ۱۳۸
- ۵-۵ مثال‌ها ۱۴۴

۶- ارزیابی دقت ۱۵۵

- ۱-۶ پی واقع بر روی سطح نیم‌فضای چندلایه ۱۵۶
- ۲-۶ پی مدفون در نیم‌فضای چندلایه ۱۶۰
- ۳-۶ تعداد زیاد قطعات مخروطی ۱۶۳
- ۴-۶ فرکانس قطع ۱۶۵
- ۵-۶ حالت تراکم‌ناپذیر ۱۶۷
- ۶-۶ نیم‌بیضی مدفون در نیم‌فضای همگن ۱۶۷
- ۷-۶ کره مدفون در فضای کامل همگن ۱۷۲

۷- کاربردهای مهندسی ۱۷۵

- ۱-۷ پی دستگاه واقع بر روی سطح نیم‌فضای چندلایه ۱۷۶
- ۱-۷-۱ بار دینامیکی دستگاه تک‌سیلندر ۱۷۷

- ۱۷۸ ۷-۱-۲ بار دینامیکی دستگاه دو سیلندر با میل‌لنگ‌های 90°
- ۱۸۲ ۷-۱-۳ سیستم دینامیکی
- ۱۸۴ ۷-۱-۴ معادلات حرکت
- ۱۸۷ ۷-۲ تحلیل لرزه‌ای سازه یک مدفون در یک نیم‌فضای چندلایه
- ۱۹۵ ۷-۳ برج توربین باد داخل دریا با پی صندوقچه‌ای مکشی

۸ - ملاحظات نهایی ۲۰۵

- پیوست الف: تحلیل پاسخ در حوزه فرکانس ۲۱۳
- الف - ۱ توصیف‌های جایگزین حرکت هارمونیک ۲۱۳
- الف - ۲ تابع پاسخ فرکانس مختلط ۲۱۵
- الف - ۳ تحریک متناوب ۲۱۹
- الف - ۴ تحریک دلخواه ۲۲۲

- پیوست ب: اندرکنش دینامیکی خاک - سازه ۲۲۵
- ب - ۱ معادلات حرکت در تغییر مکان کلی ۲۲۵
- ب - ۲ پاسخ میدان آزاد ساختمان ۲۳۰

- پیوست پ: انتشار موج در میله منشوری نیمه‌بی‌نهایت ۲۳۷

- پیوست ت: یادداشت تاریخی ۲۴۷

- پیوست ث: راهنمای کاربر برنامه CONAN (CONE ANalysis) ۲۵۱
- ث - ۱ خلاصه برنامه ۲۵۲
- ث - ۲ توصیف مسئله ۲۵۲
- ث - ۳ کاربرد CONAN ۲۵۷
- ث - ۴ پردازش بیشتر نتایج ۲۶۱

- پیوست ج: روش‌های MATLAB برای تحلیل مخروطی ۲۶۳

ج ۱ -	مرور کلی MATLAB.....	۲۶۳
ج ۲ -	توصیف مسئله.....	۲۶۴
ج ۳ -	توابع عمومی.....	۲۶۷
ج ۴ -	قلب روش.....	۲۷۱
ج ۵ -	سختی دینامیکی میدان آزاد.....	۲۷۵
ج ۶ -	سختی دینامیکی پی.....	۲۷۷
ج ۷ -	حرکت ورودی موثر پی.....	۲۸۱
ج ۸ -	مثال اجرا شده: پاسخ لرزه‌ای.....	۲۸۴

پیوست ج: تحلیل مستقیم در حوزه زمان..... ۲۸۹

ج ۱ -	تحلیل انعطاف‌پذیری برای حرکت انتقالی.....	۲۹۱
ج ۲ -	رابطه نیروی اندرکنش - تغییر مکان در حوزه زمان برای حرکت انتقالی.....	۲۹۷
ج ۳ -	تحلیل لرزه‌ای بلوک صلب واقع بر روی سطح یک نیم‌فضای چندلایه.....	۳۰۱
ج ۴ -	تحلیل حرکت دورانی.....	۳۰۴

مراجع.....	۳۰۹
واژه نامه.....	۳۱۳
فهرست راهنما.....	۳۱۷

معرفی کتاب

ترجمه کتب تخصصی، به خصوص موضوعاتی که در ادبیات فنی فارسی دارای پیشینه‌ای طولانی نیستند، نقش بسیار عمده‌ای در پیشرفت‌های فنی دارند. این ترجمه‌ها پلی بین فرهنگ پیشرفته فنی و فرهنگ در حال رشد کشور عزیزمان ایران است. چنین امری در تمام دنیا رایج است و ترجمه حتی در زبان‌هایی که خود را در زمینه فنی پیشرفته و ریشه‌دار می‌دانند نیز انجام می‌شود. لیکن ترجمه باید توسط شخصی انجام شود که:

۱. به موضوعی که در آن به ترجمه می‌پردازد آشنا بوده و درک فیزیکی از آن داشته باشد. به این معنی که ترجمه نه برای کسب تجربه، بلکه برای انتقال آن باشد.
۲. به ادبیات فنی زبان مادری آشنا باشد.
۳. به ادبیات فنی و آیین‌نامه‌های زبان اصلی مسلط باشد.

با تلفیق سه موضوع فوق، در نتیجه زحمات مترجم، ترجمه‌ای حاصل می‌گردد که دانشجویان و محققان می‌توانند با صرف کمترین انرژی با زبان سلیس مادری موضوع را مطالعه و کسب معلومات نمایند. باید اذعان داشت که هیچ زبانی نمی‌تواند از نظر ادراک، جای زبان مادری را بگیرد.

کتاب «*تحلیل ارتعاشات پی: روش مقاومت مصالح*» اولین کتابی است که با زبانی گویا، مدل‌سازی خاک بر مبنای مدل‌های مخروطی را برای حالت‌های بارگذاری زلزله مورد بررسی قرار می‌دهد.

جناب آقای دکتر ساسان محاسب با تسلط کامل، و به‌طور مستقل، تهیه و تدوین و ترجمه زیبایی را از موضوعی بدیع، فنی ارائه نموده‌اند که استفاده از آن برای اساتید محترم فعال در این زمینه و دانشجویان و مهندسين، بسیار قابل توصیه است. و هیچ پاداش مادی نمی‌تواند جبران زحمات ایشان را نماید، فقط اجر معنوی این اثر، توشه گرانبهایی برای ایشان خواهد بود.

سعدیا مرد نکونام نمیرد هرگز مرده آن است که نامش به نکویی نبرند

شاپور طاحونی

(عضو هیئت علمی دانشگاه صنعتی امیرکبیر)

پاییز ۱۳۹۰

مقدمه مترجم

در چند دهه اخیر مدل سازی و تحلیل سازه ها تحت بارگذاری زلزله به خوبی مورد مطالعه قرار گرفته است. نرم افزارهای توانمندی در ایران برای تحلیل دینامیکی سازه ها وجود دارد. اما در بیشتر موارد، مدل سازی خاک به خوبی مورد بررسی قرار نمی گیرد یا از آن صرف نظر می شود! در کشور لرزه خیزی مانند ایران با آسیب پذیری نسبی بالا در برابر خطر زلزله، در نظر گرفتن اثرات خاک از قبیل اثرات ساختگاه و یا اندرکنش خاک - سازه از اهمیت قابل توجهی برخوردار است.

کتاب حاضر مدل سازی خاک بر مبنای مدل های مخروطی را برای حالت بارگذاری زلزله مورد بررسی قرار می دهد. مدل های مخروطی براساس روش مقاومت مصالح که روشی آشنا برای مهندسان سازه به شمار می آید، توسعه یافته است. این کتاب مشتمل بر نتایج بیش از سی سال تحقیقات در مؤسسه تکنولوژی فدرال سوئیس (ETH) در زوریخ و لوزان در زمینه اندرکنش خاک - سازه از جمله تز دکترای اینجانب می باشد.

مدل های ارائه شده در این کتاب در بیش از یکصد پروژه کاربردی توسط اینجانب در سوئیس و ایران مورد استفاده قرار گرفته است. برای نمونه، اینجانب به عنوان مدیر پروژه بهسازی لرزه ای هتل بزرگ آزادی تهران، مدل های ارائه شده در این کتاب را در تحلیل لرزه ای این هتل ۲۸ طبقه به کار بردم. با در نظر گرفتن اثرات اندرکنش خاک - سازه در پروژه بهسازی لرزه ای این هتل بزرگ، نیروی برشی کل و لنگر خمشی در پی، بیش از ۱۷ درصد کاهش پیدا کرد. شتاب نیز در طبقه آخر از ۲ برابر به ۱/۶ برابر شتاب ثقل زمین کاهش یافت. بدون در نظر گرفتن این اندرکنش احتیاج به تقویت پی بود که نیازمند هزینه های بسیار سنگینی بود. در این پروژه، کاربرد اثرات خاک موجب کاهش هزینه های بهسازی تا حدود ۲۰ درصد گردید!

این کتاب به عنوان مرجع درسی به دفعات در دوره های دانشگاه های تبریز و آزاد قزوین در ایران توسط اینجانب مورد استفاده قرار گرفته است. همچنین مفاهیم این کتاب تاکنون در سمینارهای متعددی در دانشگاه ها و انجمن های علمی و فنی ایران از جمله دانشگاه های صنعتی شریف، امیرکبیر، تبریز، آزاد قزوین، یزد، بین المللی چابهار، سراب، پژوهشگاه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله ایران، شرکت ملی نفت ایران و انجمن ایرانی مهندسان محاسب ساختمان، از سوی اینجانب ارائه شده است.

شایان ذکر است که انگیزه اصلی اینجانب از ترجمه و انتشار این کتاب به زبان فارسی فقدان کتاب یا مرجعی با این عنوان یا عنوانی مشابه آن در ایران بوده است. افزون بر آن، در هنگام تدریس در ایران متوجه مشکل دانشجویان در مراجعه به کتاب به زبان اصلی شدم. از آنجا که متن اصلی کتاب به طور نسبی سنگین است، ضرورت داشت کتاب به صورت ترجمه شده در اختیار دانشجویان و مهندسان شاغل قرار گیرد تا استفاده از آن آسان تر باشد. از این رو با توجه به اینکه کوشش زیادی به عمل آمد تا متن فارسی مطابقت کامل با متن اصلی داشته باشد، از خوانندگان محترم کتاب درخواست می گردد هرگونه نظر اصلاحی خود را به صاحب اثر به نشانی (smteam@gmx.ch) اعلام نمایند تا در چاپ های بعدی مورد استفاده قرار گیرد.

در اینجا لازم می دانم از همکاری ارزنده مهندس بهاره عبدالهی در ترجمه فارسی کتاب تشکر نمایم. از همکاری صمیمانه دکتر احمد نادرزاده، دکتر مسعود حاجی علیلوی بناب و دکتر حسین غفارزاده در بازخوانی و ویرایش متن کتاب و ارائه نکات بسیار مفید نیز سپاس گزاری می نمایم. علاوه بر این از جناب آقای دکتر یوسف زندی، مهندس صمد دهقان و مهندس سید آرش سهرابی از مجموعه انستیتو مقاومت سازی لرزه ای ایران و هیبرخانه دایمی کنفرانس های مقاومت سازی کشور به جهت برگزاری و دعوت اینجانب به کنفرانس های بین المللی متعدد مقاومت سازی در شهر تبریز کمال تشکر را دارم. همچنین قدردانی خود را از خانم ها مهندس یاسمن خلیل پور و مهندس سحر مظهری در تهیه و ترجمه این کتاب ابراز می دارم.

در پایان، بنده خود را مرهون دکتر جان پ. ولف (مؤلف اصلی کتاب) از مؤسسه تکنولوژی فدرال سوئیس برای مشاوره در انجام تحقیق دکتری اینجانب در زمینه اندرکنش خاک - سازه و نیز حمایت مداوم وی در طول ترجمه کتاب می دانم. از خانم مهناز عزب دفتری و گروه ایشان در سازمان پژوهش، که امورات صفحه آرایی، فنی و هنری کتاب را با بهترین کیفیت به انجام رسانیدند تشکر می نمایم.

ساسان محاسب

دکترای مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی ETH زوریخ

کارشناسی ارشد دانشگاه استنفورد، ایالات متحده آمریکا

مدیر عامل شرکت SMTeam در زوریخ، سوئیس

مهر ۱۳۹۰، تهران

پیش درآمد

رشد فزاینده توانمندی محاسباتی در طول چند دهه اخیر، حل حتی پیچیده‌ترین مسائل اندرکنش خاک و سازه را از طریق تحلیل‌های عددی مفصل فراهم نموده است. با این حال، همچنان بین پتانسیل تحلیل چنین مسائل و قابلیت کاربردی آن، چه برای یک کاربرد ویژه و چه برای اهداف پژوهشی، شکافی وجود دارد. در عوض، راه‌حل‌های ساده‌سازی شده‌ای به منظور تمرکز بر بخش بحرانی مسئله کلی مورد استفاده قرار می‌گیرند. بنابراین، ممکن است مهندسان پی سازه اصلی را با یک بلوک الاستیک ایده‌آل‌سازی شده یا حتی به صورت یک بارگذاری یکنواخت اعمال شده به زمین نمایش دهند، در حالی که مهندسان سازه زمین را به صورت بستری از فنرهای توزیع شده یا یک مرز صلب به نمایش می‌گذارند.

هنگامی که سازه اصلی مدل‌سازی می‌شود، عموماً به جای المان‌های پیوسته سه‌بعدی، سازه به مجموعه‌ای از المان‌های یک‌بعدی (میل یا تیر) و دوبعدی (پیوسته یا صفحه) تقسیم‌بندی می‌شود. چنین المان‌هایی نمایانگر رویکردی هستند که در این کتاب روش 'مقاومت مصالح' نامیده می‌شود. این المان‌ها از محورهای هندسی غالب که در بیشتر مولفه‌های سازه‌ای قابل مشاهده هستند، به همراه ساده‌سازی فرضیاتی که کمی‌سازی ماتریس‌های سختی مناسب را برای المان‌ها ممکن می‌سازد، بهره می‌جویند. اگرچه مدل اولیه یک‌بعدی یا دوبعدی است، این المان‌ها قوانین موشکافانه‌تر پاسخ را که اثرات سه‌بعدی موضعی از قبیل کماتش لبه تیر را ممکن می‌سازد، در بر می‌گیرند.

تحلیل پاسخ زمین به میزان کمتری با استفاده از عناصر ساده‌سازی شده قابل بررسی آشکار می‌باشد. در عوض، المان‌های پیوسته تقریباً به صورت جهانی مورد استفاده قرار می‌گیرند. اگرچه اغلب، هندسه کلی مسئله به دوبعدی، کرنش صفحه‌ای یا تقارن محوری ساده‌سازی می‌شود. در مسائل استاتیکی، با استفاده از روش‌های پیشگام لایه محدود ارائه شده توسط Booker و Small، لایه‌بندی افقی (معمولاً مفروض) خاک و سنگ سبب تبدیل مسئله سه‌بعدی به مسئله دوبعدی می‌گردد، اگرچه همچنان نیاز به توسعه نرم‌افزاری پیچیده وجود دارد. در مسائل دینامیکی، ایده‌آل‌سازی ابتدایی توسط فنرها و میراگرهای متمرکز یک ساده‌سازی نمادین‌تر از پاسخ زمین است.

که شاید یک لغزنده پلاستیک را برای نمایش حد ظرفیت باربری به کار گرفته‌اند. چنین مدل‌هایی در تحلیل پاسخ ضربه و ارتعاش شمع‌های مدفون در خاک مورد استفاده قرار گرفته‌اند، اما این مدل‌ها به منظور بررسی خاک لایه‌بندی شده یا هندسه‌های پیچیده‌تر پی به سادگی قابل تعمیم نیستند.

مؤلفان کتاب حاضر، مجموعه‌ای از ایده‌آل‌سازی‌های 'مقاومت مصالح' برای پاسخ ژئوتکنیک در تحلیل مسائل پی را ایجاد کرده‌اند. ایده‌آل‌سازی‌ها، مشابه عناصر میله و تیر رایج در مهندسی سازه است و بر پایه مدل مخروطی ناقص ارائه شده توسط Meek با همکاری Veletsos و Wolf می‌باشد. Wolf در کتاب قبلی خود (تحلیل ارتعاش پی با استفاده از مدل‌های فیزیکی ساده، Prentice Hall، ۱۹۹۴)، مدل مخروطی ناقص را به دامنه‌ای از مسائل فیزیکی و مودهای مختلف تحریک دینامیکی تعمیم داد و همچنین مدل‌های مختلف پارامتر متمرکز را مستندسازی نمود. در حالی که پاسخ‌های جایگزین فراهم شده در آن کتاب برای مهندسان ژئوتکنیک شاغل بسیار سودمند واقع شده است، کتاب حاضر بر توسعه جامع مدل‌های مخروطی ناقص متمرکز می‌شود. به این ترتیب به کاربران این امکان داده می‌شود که مجموعه‌ای از روش‌های خود را برای مسائل موردنظر، ناشی از ارتعاشات به وجود آمده در اثر سازه یا در اثر رویدادهای لرزه‌ای، توسعه دهند. شایستگی ویژه این کتاب استفاده از نرم افزار MATLAB به همراه یک برنامه اجرایی کامل CONAN است که نقطه شروعی را برای راه‌حل‌های طراحی فراهم می‌نماید.

راه‌حل‌های پایه‌ای در حوزه فرکانس توسعه یافته‌اند و بنابراین به پاسخ خطی خاک محدود می‌شوند. بلوک‌های سازنده شامل پاسخ قائم، افقی، دورانی و چرخشی یک پی دیسکی واقع بر روی سطح یک نیم‌فضای همگن است. قدرت کتاب در توسعه تفصیلی این پاسخ‌های اولیه با استفاده از مفهوم انعکاس و انکسار در سطوح مشترک بین لایه‌ها است که به منظور بررسی پی‌های مدفون با اشکال کاملاً دلخواه در نهشته‌های خاک لایه‌بندی شده واقع بر روی یک تکیه‌گاه صلب یا یک واسطه نامحدود توسعه یافته است. با کاربرد مثال‌های مناسب (تکمیل شده با بخش‌هایی از کد نرم افزار MATLAB)، به خواننده نشان داده می‌شود که چگونه روش‌ها را به منظور ارزیابی پاسخ در برابر جنبش‌های (لرزه‌ای) میدان آزاد یا ارتعاشات به وجود آمده در داخل سازه به کار ببرد.

بررسی موضوع به صورت جامع و به همراه پیوست‌های مفصل شامل توسعه راه‌حل‌های پایه‌ای و یکپارچه‌سازی آن‌ها به منظور بررسی مسائل عملی انجام شده است. جریان متن اصلی با تامل به صورت منظم قرار داده شده و حتی مستندسازی تاریخی روش‌های مخروطی ناقص به صورت مرتب در یک پیوست جداگانه خلاصه شده است.

این کتاب، ششمین کتاب تألیف شده توسط John Wolf است و مطمئن هستیم که مشابه

کتاب‌های قبلی وی، به عنوان نقطه عطفی در زمینه اندرکنش دینامیکی خاک و سازه خواهد بود. در کتاب حاضر، وی به نویسنده دیگری، Andrew Deeks، ملحق شده که تاثیر مثبت وی به روشنی در کد نرم‌افزار MATLAB و برنامه اجرایی CONAN قابل مشاهده است. مؤلفان به منظور ارزیابی دقت روش خود در مقایسه با پاسخ‌های فرم بسته و نتایج عددی دقیق، زحمات بسیاری را متحمل شده‌اند. همان‌طور که آن‌ها اشاره می‌کنند، حتی در بدترین حالات، خطاها در مقایسه با سایر عدم قطعیت‌های موجود به ویژه در ارتباط با تعریف مشخصات دینامیکی واسطه ژئوتکنیک، نسبتاً جزیی می‌باشند. مشابه تحلیل سازه، محدودیت‌هایی برای راه‌حل‌های روش متعارف 'مقاومت مصالح' وجود دارد. بنابراین، موقعیت‌هایی وجود خواهد داشت که روش‌های توصیف شده در اینجا ممکن است کافی نباشند. با این حال، این کتاب مبنای قدرتمندی را برای رویکرد روش 'مقاومت مصالح' در مسائل دینامیکی پی پایه‌گذاری می‌نماید و بدون تردید برای طیف مهندسان شاغل، پژوهشگران و مدرسان از ارزش بسیاری برخوردار خواهد بود.

Mark F. Randolph
University of Western Australia

www.ketab.ir

پیشگفتار

تحلیل‌های سازه‌ای اغلب بر مبنای روش مقاومت مصالح با استفاده از اعضای محوری و خمشی انجام می‌شوند. با فرض رفتار تغییرشکل ('مقاطع صفحه به صورت صفحه باقی می‌مانند')، روش دقیق و پیچیده الاستیسیته سه‌بعدی با یک توصیف یک‌بعدی تقریبی ساده که برای طراحی کفایت می‌کند، جایگزین می‌شود. این روش که به خوبی توسعه یافته، این امکان را برای سیستم‌های سازه‌ای پیچیده از قبیل پل‌های پیش‌تنیده مورب خمیده با بارهای متحرک فراهم نموده تا به وسیله میله‌ها و تیرهای یک‌بعدی مدل‌سازی شوند. این تئوری مقاومت مصالح به میزان گسترده‌ای در دانشکده‌های مهندسی عمران و مکانیک، با استفاده از کتاب‌های درسی عالی موجود در این زمینه آموزش داده می‌شود.

در مقابل، در مهندسی ژئوتکنیک به عنوان حوزه دیگری از مهندسی عمران که در آن مدل‌سازی دارای اهمیت است، روش مقاومت مصالح به میزان وسیع مورد استفاده قرار نمی‌گیرد. دو دلیل اصلی برای این موضوع وجود دارد. اول اینکه، در مهندسی سازه عناصر باربری که باید تحلیل شوند تمایل دارند از یک جهت غالب برای تعیین محورها و مشخصات سطح مقطع میله‌ها و تیرها برخوردار باشند، در حالی که در مهندسی ژئوتکنیک واسطه سه‌بعدی خاک و سنگ وجود دارد. بنابراین، انتخاب محورها و به ویژه مشخصات سطح مقطع که باید قادر به بیان تمام ویژگی‌های لازم با رفتار تغییرشکل تعیین شده باشد، در مهندسی ژئوتکنیک مشکل‌تر از مهندسی سازه است. دوم اینکه، تا زمان اخیر، وضعیت توسعه این روش به شدت محدود بود. حتی در بیش از ده سال گذشته، تنها برای پی‌های سطحی واقع بر روی نیم‌فضای همگن نمایانگر خاک، امکان مدل‌سازی با روش مقاومت مصالح با استفاده از میله‌ها و تیرهای مخروطی که در ادامه مخروط‌ها نامیده می‌شوند، وجود داشت. از آنجا که مشخصات خاک در یک ساختگاه واقعی با عمق تغییر می‌کند، این رویکرد تنها دارای اهمیت آکادمیک بود.

با این حال، چنین تلاش پیشگامی مبانی پیشرفت‌های مهم اخیر را تشکیل داد. امروزه، بر مبنای همان فرضیات، موارد کاربردی با پیچیدگی معقول را می‌توان تحلیل نمود. ساختگاه می‌تواند دارای هر تعداد لایه افقی باشد، مدل‌سازی تغییرات عمومی مشخصات در عمق را ممکن می‌سازد. افزون بر پی‌های سطحی، پی‌های مدفون را نیز می‌توان تحلیل نمود. تحریک لرزه‌ای را می‌توان

بدون معرفی فرضیات جدید پردازش نمود. بنابراین، مدل‌های مخروطی را می‌توان به منظور مدل‌سازی پی در یک تحلیل اندرکنش دینامیکی خاک و سازه به کار برد. مدل‌های مخروطی برای محدوده‌های فرکانسی کم و متوسط که برای ارتعاشات دستگاه‌ها و زلزله اهمیت دارد، برای حد فرکانس‌های خیلی بالا که در بارهای ضربه‌ای رخ می‌دهد و برای محدودیت دیگر، حالت استاتیکی به خوبی عمل می‌کند. با استفاده از ساده‌سازی فیزیک مسئله، وضوح مفهومی با درک فیزیکی حاصل می‌شود. در مدل‌های مخروطی، الگوی موج به روشنی فرض می‌گردد. موج به سمت بیرون از آشفته‌گی انتشار یافته و در جهت انتشار، در سطح مقطع مخروط توزیع می‌شود. هنگام مواجهه با ناپوستگی مشخصات مصالح، متناظر با سطح مشترک لایه‌های خاک، دو موج جدید به وجود می‌آید: یک موج انعکاس یافته و یک موج انکسار یافته با انتشار در مخروط‌های خود. در صورت مدل‌سازی با مخروط‌ها، تحلیل‌گر احساس آسودگی می‌کند، زیرا همان مفاهیم آشنای مقاومت مصالح که به صورت روزانه در تحلیل سازه مورد استفاده قرار می‌گیرند، به کار برده می‌شوند. این حالت، در مقابل استفاده از روش‌های دقیق بر مبنای الاستودینامیک سه‌بعدی با پیچیدگی ریاضی قابل توجه می‌باشد که کاربران را دچار عدم اطمینان نموده و درک فیزیکی را از بین می‌برد. به دلیل ساده‌سازی مسئله فیزیکی، ریاضیات مدل‌های مخروطی را می‌توان به صورت دقیق حل نمود. بنابراین، اصول اولیه انتشار موج و دینامیک آن به طور دقیق برای مخروط‌ها ارضا می‌گردد. راه‌حل‌های فرم بسته برای این موارد یک‌بعدی وجود دارد. به این ترتیب، سادگی در یک کاربرد عملی به وجود می‌آید. در واقع، کاربرد مدل‌های مخروطی به مقداری کاهش دقت در مقایسه با استفاده از روش‌های دقیق الاستودینامیک می‌انجامد. با این حال، کاهش دقت از طریق مزیت‌های بسیاری که در بالا بیان شد، جبران می‌شود. همچنین باید به خاطر سپرد که دقت هر تحلیل همواره با وجود عدم قطعیت‌های قابل توجه، از قبیل مشخصات مصالح خاک که اجتناب‌ناپذیرند، محدود خواهد بود. به طور خلاصه، سادگی کاربرد به ویژه به همراه درک فیزیکی، عمومیت کافی و دقت خوب، این امکان را برای مدل‌های مخروطی فراهم می‌آورد که برای ارتعاش پی و تحلیل‌های اندرکنش دینامیکی خاک و سازه در موارد روزانه در یک دفتر طراحی به کار برده شوند. بیان این مطلب پسندیده است که یک طراحی متعادل با استفاده از مدل‌های مخروطی به سادگی می‌انجامد که بر مبنای عقلانیت بوده و نهایت کمال است!

برای شروع، تئوری مقاومت مصالح یک‌بعدی برای میله‌ها و تیرهای مخروطی، که مخروط‌ها نامیده می‌شوند، توسعه یافته و برای مسائل عملی ارتعاش پی مورد استفاده قرار می‌گیرد. هیچ پیش‌نیازی به جز مکانیک مقدماتی که در دانشکده‌های مهندسی عمران در تمام دانشگاه‌ها آموزش داده می‌شوند، مورد نیاز نیست. به ویژه، به منظور محاسبه رفتار دینامیکی یک پی، مفاهیم دینامیک

سازه مورد نیاز نمی‌باشند. (برای انجام تحلیل اندرکنش دینامیکی خاک و سازه، مدل‌سازی سازه نیز باید انجام شود که در هر حال خارج از دامنه این کتاب است.) بررسی مقدماتی در متن اصلی کتاب به تحریک هارمونیک (حوزه فرکانس) محدود شده است. تحلیل مستقیم در حوزه زمان نیز انجام شده و در یک پیوست ارائه شده است. تبدیل از حوزه زمان به حوزه فرکانس، با استفاده از یک سری فوریه در پیوست دیگری بیان شده است. معادلات حرکت اندرکنش دینامیکی خاک و سازه نیز در یک پیوست دیگر مورد بررسی قرار گرفته است. از آنجا که پی‌ها حوزه‌های نیمه‌نامحدود هستند، فرآیند تبدیل به مختصات مودال را که در دینامیک سازه بسیار قوی است، نمی‌توان برای آنها مورد استفاده قرار داد. در نتیجه، در پی‌ها انتشار موج یک نقش کلیدی را ایفا می‌نماید. حرکت موج در میله‌های منشوری در یک پیوست معرفی شده و انتشار موج در مخروط‌های یک بعدی به تفصیل در طول کتاب توصیف شده است. در عمل، تنها دو جنبه از حرکت موج مورد نیاز می‌باشد: انتشار امواج در مخروط اولیه به سمت بیرون از آشفتگی و تولید امواج انعکاس‌یافته و انکساریافته در محل ناپیوستگی مصالح که متناظر با سطح مشترک لایه‌های خاک است. با دنبال کردن متوالی انعکاس و انکسار هر موج برخورد، الگوی موج برهم نهی شده تا یک مرحله معین را می‌توان تشکیل داد. این فرآیند به ساده‌سازی قابل توجه در فرمول‌بندی و برنامه‌نویسی می‌انجامد. ارزیابی جامعی از دقت برای محدوده وسیعی از ساختگاه‌های واقعی انجام شده است. نرم‌افزار کوتاه نوشته شده در محیط MATLAB، بخشی بنیادی از کتاب را تشکیل می‌دهد. این برنامه در مراحل در فصل‌های مختلف کتاب معرفی شده است. در کی جامع از تمام جنبه‌های برنامه که توسط کاربر به سادگی قابل اصلاح است، حاصل می‌گردد. افزون بر آن، نرم‌افزار CONAN (CONE ANALYSIS) با بیان تفصیلی ورودی و خروجی فراهم شده که قابل استفاده برای تحلیل‌های کاربردی است. به عنوان چند مثال، مسئله پیچیده فونداسیون ماشین، مسئله رایج اندرکنش لرزه‌ای خاک و سازه و بالاخره برج توربین باد داخل دریا با پی صندوقچه‌ای مکشی تحلیل شده‌اند. واژه‌نامه برای ترجمه اصطلاحات فنی کلیدی به زبان‌های مختلف، پذیرش بین‌المللی کتاب را افزایش می‌دهد.

بسیاری از ایده‌های موجود در این کتاب، به تدریج در طول ده سال گذشته توسعه یافته‌اند. کتاب دیگری توسط مؤلف اول با عنوان *تحلیل ارتعاش پی با استفاده از مدل‌های ساده فیزیکی* (Prentice Hall, ۱۹۹۴)، در ابتدا به منظور جذب مشاوران ژئوتکنیک نوشته شد. این کتاب شامل توصیف کاملی از مدل‌های ساده فیزیکی است که در آن علاوه بر مخروط‌ها، مدل‌های پارامتر متمرکز (مدل‌های فنر - میراگر - جرم) و الگوهای موج افقی تعیین شده نیز استخراج شده‌اند. با این حال، جامعیت و در نتیجه فزونی مطالب این کتاب ممکن است خواننده را کسل نماید. همچنین از زمان انتشار آن کتاب، پیشرفت‌های قابل توجهی در زمینه مدل‌های مخروطی به دست آمده است. به

این ترتیب کتاب جامع حاضر بدون لزوم هیچ پیش‌نیازی، بر روش‌های مخروطی تمرکز کرده و تنها با استفاده از فرضیات استاندارد تئوری مقاومت مصالح نوشته شده است. پژوهش بسیار اخیر انجام شده توسط مولفان که فرمول‌بندی را کارآمد نموده، به کار گرفته شده است. پیرو پیشنهاد خوانندگان کتاب قبل در طول سال‌ها، یک برنامه کامپیوتری برای تحلیل موارد عملی به طور کامل تکمیل شده که به تفصیل شرح داده شده است. کتاب جدید دربرگیرنده آخرین پیشرفت‌ها در زمینه مدل‌های مخروطی است، اما می‌تواند به عنوان مبنا برای درس اولیه در دینامیک خاک مهندسی ژئوتکنیک مورد استفاده قرار گیرد (در سال آخر دوره کارشناسی یا سال اول دوره تحصیلات تکمیلی) یا به عنوان یک درس در دینامیک سازه آموزش داده شود، زیرا تمام سازه‌ها دارای پی‌هایی هستند که باید تحلیل گردند. از آنجا که دانشجویان، میله‌ها و تیرهای مخروطی را به طور وسیعی در مهندسی سازه مقدماتی مورد مطالعه قرار می‌دهند، مبنای توسعه آن به علم دینامیک بسیار استوار است. افزون بر آن، کتاب برای مهندسان ژئوتکنیک شاغل ارزشمند خواهد بود که تنها باید یک برنامه کامپیوتری را پس از درک کامل روش محاسباتی آن مورد استفاده قرار دهند. روش محاسباتی تفصیلی ارائه شده در این کتاب، برای آنان آشنا خواهد بود، زیرا روش مقاومت مصالح به کار برده شده همان روش معمول مورد استفاده در تحلیل سازه است.

همکاری Matthias Preisig در دانش‌نامه وی باید مورد توجه قرار گیرد که به روشنی بتانسیل فرمول‌بندی پُربازده با استفاده از مخروط‌ها را نمایش می‌دهد. از پژوهش خلاقانه دکتر Jethro W. Meek در یک فضای غیررسمی، پُرشور و دانشگاهی به همراه مؤلف ارشد در ابتدای دهه ۱۹۹۰، که مبنای رویکرد مقاومت مصالح را تشکیل می‌دهد، صمیمانه قدردانی می‌گردد. مؤلفان، مرهون تلاش پروفیسور Eduardo Kausel از MIT و John Tassoulas از دانشگاه Texas Austin هستند که به درخواست آن‌ها، نتایج موردنیاز برای مقایسه را محاسبه نمودند. بدون این حمایت، یک ارزیابی دقت سیستماتیک ممکن نبوده است. همچنین از دکتر Nelson Lam از دانشگاه Melbourne، برای آماده‌سازی جنبش نیرومند شبیه‌سازی شده زمین برای زلزله Newcastle در سال ۱۹۸۹، قدردانی می‌گردد. مؤلفان، مرهون زحمات پروفیسور Mark Randolph از مدیر مرکز سیستم‌های پی داخل دریا (Centre for Offshore Foundation Systems) از دانشگاه Western Australia برای نوشتن پیش‌درآمد می‌باشند.

John P. Wolf
Swiss Federal Institute of Technology
Lausanne

Andrew J. Deeks
The University of Western Australia
Perth