انتشارات مرکز منطقه‌ای
اطلاع‌رسانی علوم و فناوری

ارتعاشات محیطی

اندازه‌گیری، پردازش و کاربرد آن در مهندسی عمران

تالیف:

دکتر محمد علی هادیان فرد

(دانشیار دانشگاه صنعتی شیراز)

مهندس سروش کمالی

(دانشجوی دکتری مهندسی زلزله)

سرشناسه : هادیان‌فرد، محمدعلی، ۱۳۴۸-
Hadianfard, Mohammad Ali
عنوان و نام پدیدآور : ارتعاشات محیطی اندازه‌گیری، پردازش و کاربرد آن در مهندسی عمران/تالیف محمدعلی هادیان‌فرد، سروش کمالی.
مشخصات نشر : شیراز: وزارت علوم، تحقیقات و فناوری، معاونت پژوهشی، مرکز منطقه‌ای اطلاع‌رسانی علوم و فناوری، ۱۳۹۸.
مشخصات ظاهری : ۳۵۳ص.: جدول، نمودار.
شابک : 978-622-95144-4-3
وضعیت فهرست نویسی : فیپا
موضوع : دینامیک سازه‌ها
موضوع : Structural dynamics
موضوع : مهندسی سازه -- برنامه‌های کامپیوتری
موضوع : Structural engineering -- Computer programs
موضوع : لرزه‌نگاشت‌ها
موضوع : Seismograms
موضوع : لرزه‌نگاری
موضوع : Seismometry
موضوع : زلزله‌شناسی
موضوع : Seismology
شناسه افزوده : کمالی، سروش، ۱۳۷۲-
شناسه افزوده : ایران. وزارت علوم، تحقیقات و فناوری. مرکز منطقه‌ای اطلاع‌رسانی علوم و فناوری
شناسه افزوده : Regional information center for scienceand technology
رده بندی کنگره : ۶۵۴TA
رده بندی دیویی : ۶۲۴/۱۷۱
شماره کتابشناسی ملی : ۵۶۸۸۰۱۳

مرکز منطقه‌ای اطلاع رسانی علوم و فناوری

ارتعاشات محیطی اندازه‌گیری، پردازش و کاربرد آن در مهندسی عمران

دکتر محمد علی هادیان فرد / مهندس سروش کمالی

ناشر: اداره انتشارات مرکز منطقه‌ای اطلاع رسانی علوم و فناوری(RICeST)

شابک: ۹۷۸-۶۲۲-۹۵۱۴۴-۴-۳

شمارگان: ۵۰۰ نسخه | تاریخ انتشار: بهار ۱۳۹۸

معاونت: ۰۷۱-۳۶۴۶۷۰۸۴ | انتشارات: ۰۷۱-۳۶۴۶۸۴۵۲ | نمابر: ۰۷۱-۳۶۴۶۸۳۵۲

صفحه خانگی: www.ricest.ac.ir پست الکترونیک: publication@ricest.ac.ir

شورای انتشارات

مرکز منطقه ای اطلاع رسانی علوم و فناوری

نام و نام خانوادگی	مرتبه علمی
- دکتر محمد جواد دهقانی	دانشیار (رئیس شورا)
- دکتر محمدرضا صالحی	استاد (دبیر شـورا)
- دکتر حبیب شریف	اسـتاد
- دکتر محمدرضا فلاحتی قدیمی فومنی	دانشیار
- دکتر محمدرضا قانع	دانشیار
- دکتر هاجر صفاهیه	استادیار
- عبدالرضا بازرگان لاری	استادیار

فهرست

فصل اول: زلزله و امواج لرزه ای **۱**

۱-۱- مقدمه ۱
۱-۲- ساختار زمین ۱
۱-۳- علل وقوع زلزله ۳
۱-۳-۱- زلزله های تکتونیکی ۳
۱-۳-۲- نظریه برگشت ارتجاعی ۵
۱-۳-۳- زلزله های غیر تکتونیکی ۶
۱-۴- گسل ها ۷
۱-۴-۱- تقسیم بندی گسل ها ۷
۱-۵- کانون و رومرکز زلزله ۹
۱-۶- امواج زلزله ۱۰
۱-۶-۱- امواج حجمی ۱۰
۱-۶-۲- امواج سطحی ۱۱
۱-۶-۳- سرعت امواج زلزله ۱۳
۱-۶-۴- انعکاس و انکسار امواج حجمی ۱۴
۱-۷- اندازه گیری زلزله ۱۵
۱-۷-۱- بزرگی زلزله ۱۵
۱-۷-۲- شدت زلزله ۱۸
۱-۸- منابع ۲۰

فصل دوم: لرزه نگار و شتابنگار **۲۱**

۲-۱- مقدمه ۲۱
۲-۲- طرز کار و ساختار کلی لرزه نگارها ۲۱
۲-۳- اجزای لرزه نگار ۲۳
۲-۴- لرزه نگار های آنالوگ و دیجیتال ۲۴
۲-۵- دستگاه شتابنگار ۲۶
۲-۶- طبقه بندی لرزه نگارها با توجه به محدوده فرکانسی ۲۷
۲-۷- معادلات حاکم بر لرزه نگارها ۲۸
۲-۸- آشنایی با چند دستگاه لرزهنگار و شتابنگار متعارف ۳۱
۲-۸-۱- دستگاه شتابنگار آنالوگ SMA-1 ..... ۳۱
۲-۸-۲- دستگاه شتابنگار دیجیتال SSA-2 ..... ۳۲
۲-۸-۳- دستگاه شتابنگار دیجیتالCMG-5TD ۳۳
۲-۸-۴ دستگاه دوازده کاناله CMG-DM24-12 ..... ۳۴
۲-۸-۵- دستگاه لرزه نگار SS-1 Ranger ۳۵

۶-۸-۲- لرزه نگار وود آندرسن ۳۶
۹-۲- دستگاه های ثبت و اندازه گیری ریزلرزه ها ۳۷
۱-۹-۲- ساختار کلی دستگاه ۳۷
۲-۹-۲- ژئوفون ۳۸
۱۰-۲- منابع ۴۲

فصل سوم: تحلیل لرزه نگاشت ها **۴۳**
۱-۳- مقدمه ۴۳
۲-۳- تحلیل نگاشت ها در حوزه زمان ۴۴
۱-۲-۳- تحلیل نگاشت های جنبش نیرومند زمین ۴۴
۲-۲-۳- مشخصه های مهم حرکت زمین ۴۶
۳-۲-۳- طیف پاسخ ۵۲
۳-۳- تحلیل نگاشت ها در حوزه فرکانس ۶۰
۱-۳-۳- سری فوریه (شکل مثلثاتی) ۶۰
۲-۳-۳- طیف دامنه و طیف فاز فوریه ۶۳
۳-۳-۳- طیف توان ۶۷
۴-۳-۳- تابع چگالی طیفی توان ۶۸
۵-۳-۳- تبدیل فوریه ۷۰
۶-۳-۳- به دست آوردن طیف فوریه به کمک تبدیل فوریه ۷۱
۷-۳-۳- انتگرال فوریه ۷۲
۸-۳-۳- به دست آوردن طیف فوریه به کمک انتگرال فوریه ۷۳
۹-۳-۳- تبدیل فوریه گسسته (DFT) ۷۴
۱۰-۳-۳- فرکانس نمونه برداری ۷۶
۱۱-۳-۳- فرکانس نایکوئیست ۷۸
۱۲-۳-۳- تبدیل فوریه سریع (FFT) ۷۹
۱۳-۳-۳- مثالی جهت عملکرد تبدیل فوریه ۸۰
۴-۳- پارامترهای طیفی ۸۳
۱-۴-۳- پریود غالب ۸۳
۲-۴-۳- پهنای باند ۸۵
۳-۴-۳- فرکانس مرکزی ۸۶
۴-۴-۳- فاکتور شکل ۸۷
۵-۴-۳- شتاب جذر میانگین مربعات ۸۷
۶-۴-۳- شدت ارياس ۸۷
۷-۴-۳- مجموع قدر مطلق سرعت ۸۸
۸-۴-۳- شدت طیف پاسخ ۸۸
۵-۳- منابع ۸۹

فصل چهارم: فیلترها **۹۰**
۴-۱- مقدمه ۹۰
۴-۲- مقایسه سیگنال های آنالوگ و دیجیتال ۹۱
۴-۳- فیلترکردن سیگنال ها ۹۳
۴-۳-۱- فیلترهای فرکانسی ۹۴
۴-۴- منابع ۱۰۲

فصل پنجم: ارتعاشات محیطی **۱۰۳**
۵-۱- مقدمه ۱۰۳
۵-۲- ماهیت ارتعاشات محیطی ۱۰۴
۵-۳- روش نسبت طیفی مؤلفه افقی به مؤلفه قائم (روش H/V) ۱۰۶
۵-۳-۱- تشدید مؤلفه ها درلایه آبرفتی ۱۰۷
۵-۳-۲- محتوای فرکانسی امواج در سطح زمین ۱۰۸
۵-۳-۳- تابع انتقال ۱۰۹
۵-۳-۴- تابع انتقال H/V با اندازه گیری ارتعاشات محیطی ۱۱۳
۵-۳-۵- بررسی دقیق تر، ارتباط امواج رایلی، ریز لرزه ها و طیف H/V ۱۱۵
۵-۳-۶- مقایسه H/V امواج زلزله و ریزلرزه ها ۱۱۷
۵-۴- کاربرد روش H/V ۱۱۷
۵-۴-۱- مقدمه ۱۱۷
۵-۴-۲- به دست آوردن ضخامت لایه روی بستر سنگی ۱۱۷
۵-۴-۳- ارزیابی آسیب پذیری ۱۱۸
۵-۵- ارزیابی پارامترهای دینامیکی ساختمان ۱۲۱
۵-۵-۱- روش FSR (نسبت طیفی طبقات) ۱۲۱
۵-۵-۲- شاخص آسیب پذیری ساختمان ۱۲۲
۵-۶- اندازه گیری های میدانی و تفسیر داده های ارتعاشات محیطی ۱۲۴
۵-۶-۱- شرایط آزمایشگاهی و اندازه گیری های میدانی ۱۲۶
۵-۷- مقدمه ای بر روش های محاسبه میرایی ۱۴۶
۵-۷-۱- روش کاهش ارتعاش آزاد ۱۴۶
۵-۷-۲- روش تقویت تشدید ۱۴۶
۵-۷-۳- روش نیم توان (پهنای نوار) ۱۴۸
۵-۷-۴- روش اتلاف انرژی تشدید در هر چرخه ۱۵۰
۵-۸- روش کاهش تصادفی یا RDM ۱۵۲
۵-۸-۱- پنجره های زمانی ۱۵۳
۵-۸-۲- فرضیات RDM ۱۵۳
۵-۸-۳- کاربرد روش RDM ۱۵۶
۵-۸-۴- سایر شرایط اولیه در RDM ۱۵۷

۵-۸-۵- اصول روش RDM ۱۵۷
۶-۸-۵- مثالی جهت عملکرد روش RDM ۱۵۹
۹-۵- منابع ۱۶۱

فصل ششم: روش تحلیل مدال عملکردی (OMA) **۱۶۳**
۱-۶- مقدمه ۱۶۳
۲-۶- مبانی و تعاریف پردازش سیگنال ۱۶۳
۳-۶- قوانین احتمال ۱۶۵
۱-۳-۶- توزیع احتمالاتی گاوسی یا نرمال ۱۶۶
۴-۶- توابع همبستگی ۱۶۹
۵-۶- تابع چگالی طیفی توانی ۱۷۱
۶-۶- جبر ماتریسی ۱۷۵
۱-۶-۶- تعاریف ۱۷۵
۲-۶-۶- تجزیه مقدار ویژه (EVD) ۱۷۷
۳-۶-۶- ماتریس قطری و قطری سازی ۱۷۸
۴-۶-۶- تجزیه مقدار منفرد (SVD) ۱۷۸
۷-۶- پاسخ سیستم های MDOF به کمک بسط مدال ۱۷۹
۱-۷-۶- پاسخ ارتعاش آزاد بدون میرایی ۱۷۹
۲-۷-۶- پاسخ ارتعاش آزاد همراه با میرایی کلاسیک ۱۸۲
۳-۷-۶- پاسخ نیرویی سیستم های چند درجه آزادی ۱۸۳
۸-۶- روش نیومارک ۱۸۵
۱-۸-۶- شتاب خطی ۱۸۵
۲-۸-۶- شتاب ثابت ۱۸۶
۹-۶- روش تحلیل مدال عملکردی (OMA) ۱۸۸
۱-۹-۶- تحلیل شکل مدهای تخمین زده شده ۱۹۲
۱۰-۶- منابع ۱۹۴

فصل هفتم: مبانی تکمیلی پردازش سیگنال در قالب نرم افزار SeismoSignal **۱۹۵**
۱-۷- مقدمه ۱۹۵
۲-۷- تعریف جنبش زمین برای نرم افزار ۱۹۶
۱-۲-۷- مثال ۲۰۰
۳-۷- ترسیم سری های زمانی (Time Series) ۲۰۱
۴-۷- فیلتر کردن و اصلاح خط مبنا (Baseline Correction and Filtering) ۲۰۱
۱-۴-۷- اصلاح خط مبنا ۲۰۲
۲-۴-۷- اصلاح به کمک فیلتر فرکانسی ۲۰۷
۳-۴-۷- جمع بندی و مثال در مورد فیلترها ۲۱۳
۵-۷- ترسیم طیف های فوریه و توان (Fourier and Power Spectra) ۲۱۶

۱-۵-۷- طیف فوریه ۲۱۶
۲-۵-۷- طیف توان (Power Spectrum) ۲۱۹
۶-۷- بخش ترسیم طیف پاسخ ارتجاعی و غیر ارتجاعی ۲۲۱
۱-۶-۷ تنظیمات ۲۲۱
۲-۶-۷- طیف ارتجاعی ۲۲۳
۳-۶-۷- طیف غیر ارتجاعی با شکل پذیری ثابت ۲۲۵
۴-۶-۷- دسترسی به نتایج ۲۲۷
۵-۶-۷- تاریخچه زمانی پاسخ ۲۲۷
۷-۷- سربرگ پارامترهای حرکت زمین (Ground Motion Parameters) ۲۲۸
۱-۷-۷- پارامترهای شدت ۲۲۸
۲-۷-۷- پارامترهای زمان تداوم ۲۳۰
۸-۷- منابع ۲۳۷

فصل هشتم: مبانی تکمیلی H/V و RDM در قالب نرم افزار Geopsy **۲۳۸**
۱-۸- مقدمه ۲۳۸
۲-۸- بارگذاری و نمایش سیگنال ۲۳۸
۳-۸- نسبت طیفی افقی به عمودی ۲۴۲
۱-۳-۸- سربرگ زمان (Time) ۲۴۳
۲-۳-۸- سربرگ Processing ۲۶۰
۳-۳-۸- سربرگ Output ۲۶۶
۴-۳-۸- نتایج ۲۶۹
۴-۸- ابزار Damping ۲۷۹
۱-۴-۸- کاربرد عملی ۲۸۱
۲-۴-۸- استفاده از ابزار Damping ۲۸۱
۳-۴-۸- نتایج ۲۸۲
۵-۸- ابزار Spectrum ۲۸۴
۶-۸- منابع ۲۸۷

فصل نهم: کاربرد برنامه نویسی به زبان MATLAB **۲۸۸**
۱-۹- مقدمه ۲۸۸
۲-۹- بخشهای مختلف نرم افزار ۲۸۸
۱-۲-۹- نوار ابزار (Toolstrip) ۲۸۸
۲-۲-۹- فضای کار (Work Space) ۲۸۹
۳-۲-۹- پنجره دستور (Command Window) ۲۸۹
۴-۲-۹- قسمت Script، Function و ۲۹۰
۵-۲-۹- پوشه جاری (Current Folder) ۲۹۱
۳-۹- یادآوری ۲۹۱

۴-۹- برنامه تبدیل فوریه ۲۹۳
۵-۹- منابع ۲۹۹

فصل دهم: کاربرد عملی ارتعاشات محیطی در مهندسی سازه ۳۰۰
۱-۱۰- مقدمه ۳۰۰
۲-۱۰- استخراج پارامترهای دینامیکی ساختمان های تاریخی شیراز ۳۰۱
۱-۲-۱۰- مقدمه ۳۰۱
۲-۲-۱۰- بررسی برج های ارگ کریم خانی شیراز ۳۰۱
۳-۲-۱۰- اندازه‌گیری ریزلرزه ها ۳۰۲
۴-۲-۱۰- محاسبه میرایی و فرکانس غالب به روش RDM ۳۰۵
۵-۲-۱۰- بررسی آسیب‌پذیری ۳۰۷
۶-۲-۱۰- مقایسه نتایج با روابط تقریبی استاندارد ۲۸۰۰ ..... ۳۰۸
۳-۱۰- بررسی تاثیر پدیده تشدید بر آسیب پذیری ساختمان های تاریخی ۳۱۰
۱-۳-۱۰- مقدمه ۳۱۰
۲-۳-۱۰- سازه ورودی مسجد وکیل شیراز ۳۱۰
۴-۱۰- تأثیر بهسازی لرزه‌ای بر مشخصات دینامیکی سازه ۳۱۳
۱-۴-۱۰- مقدمه ۳۱۳
۲-۴-۱۰- تخمین فرکانس طبیعی ۳۱۵
۳-۴-۱۰- تخمین شاخص آسیب پذیری ۳۱۷
۵-۱۰- مقایسه نتایج حاصل از ریزلرزه ها و روش اجزای محدود ۳۱۸
۱-۵-۱۰- مقدمه ۳۱۸
۲-۵-۱۰- تخمین فرکانس طبیعی ۳۲۰
۳-۵-۱۰- مقایسه نتایج حاصل از روش نسبت طیفی و روابط استاندارد ۲۸۰۰ ..... ۳۲۳
۴-۵-۱۰- مقایسه و جمع بندی ۳۲۳
۶-۱۰- اثر قطعات نما و دیوارهای جداگر بر خواص دینامیکی سازه ۳۲۴
۱-۶-۱۰- مقدمه ۳۲۴
۲-۶-۱۰- محاسبه فرکانس غالب ساختمان‌ها ۳۲۵
۳-۶-۱۰- محاسبه نسبت میرایی در ساختمان‌های مورد مطالعه ۳۲۹
۴-۶-۱۰- نتیجه گیری و جمع بندی ۳۳۲
۷-۱۰- منابع ۳۳۶

مقدمه

ایران یکی از لرزه خیزترین کشورهای جهان می‌باشد. تا کنون در کشور عزیزمان شاهد وقوع زلزله‌های مخرب زیادی بوده ایم که موجب تلفات جانی و مالی بسیاری گردیده است. این مسئله اهمیت مقاوم سازی ساختمان‌های موجود در برابر زلزله را نشان می‌دهد.

یکی از پیشنیازهای بررسی آسیب پذیری و مقاوم سازی یک سازه موجود، دانستن پارامترهای دینامیکی و محاسبه شاخص آسیب پذیری آن می‌باشد. این پارامترهای دینامیکی را می‌توان به کمک مدل سازی یا اندازه گیری مستقیم به دست آورد. یکی از روش‌های نوین استخراج پارامترهای دینامیکی، تحلیل سیگنال ارتعاشات محیطی در سازه می‌باشد. ارتعاشات محیطی امواجی با دامنه بسیار کم و فرکانس مشخص می-باشند که توسط منابع طبیعی و انسانی مثل امواج دریا و ترافیک تولید می‌گردند. این امواج همانند یک منبع دائمی بر سازه اعمال می‌شوند و سازه مرتبا در اثر آنها نوسان می کند. به کمک ثبت این نوسانات و تحلیل این سیگنال‌ها می‌توان پارامترهای مهم سازه مثل فرکانس غالب، میرایی، شاخص آسیب پذیری و... را با کمترین هزینه به دست آورد. ثبت این نوسانات به کمک دستگاه های بسیار حساس و به کمک حسگرهای دقیق صورت می‌گیرد. مثلا در ساختمان های تاریخی به دلیل حساسیت بالا، هر گونه آزمایش نامناسب می‌تواند سبب آسیب به ساختمان گردد. همچنین معمولا به دلیل شکل‌های پیچیده معماری، مدل سازی آنها نیز مشکل می‌باشد. بنابراین استفاده از ارتعاشات محیطی می‌تواند روشی مناسب جهت بررسی این ساختمان ها باشد.

از طرف دیگر، تخمین میرایی سازه به روش‌های مستقیم مثل آزمایش ارتعاش آزاد یا ارتعاش نیرویی برای اکثر سازه‌ها غیر عملی یا توأم با هزینه بسیار زیاد است که به کمک تحلیل ارتعاشات محیطی و تحت روش کاهش تصادفی با دقت مناسب قابل اندازه گیری می‌باشد.

بررسی سیگنال‌های محیطی تنها مختص سازه نیست و در مهندسی ژئوفیزیک و ژئوتکنیک می‌تواند استفاده شود. به کمک تحلیل سیگنال‌های ثبت شده از خاک، پارامترهای بسیاری از جمله جنس خاک، عمق لایه آبرفتی، فرکانس طبیعی، میرایی و... قابل استخراج است به طوری که با توجه به سرعت بالای این روش، می‌توان از آن جهت ریزپهنه بندی یک منطقه استفاده نمود.

کتاب حاضر در زمینه اندازه‌گیری ارتعاشات محیطی، پردازش و کاربرد آن، به طور عمده بر اساس یافته-ها، آزمایشات، تحلیل ها و تحقیقات نویسندگان بوده و ترجمه مستقیم هیچ کتاب داخلی یا خارجی نمی-باشد. با توجه به اینکه این کتاب هیچگونه مشابهی (در داخل یا خارج) ندارد، مولفین تصمیم به نوشتن آن گرفته تا مورد استفاده محققین، اساتید و مهندسین در زمینه‌های مختلف سازه، ژئوتکنیک، ژئوفیزیک و به طور خاص مهندسین زلزله قرار گیرد.

فصل بندی این کتاب به گونه ایست که در فصول ابتدایی، پیشنیاز علمی مباحث مرتبط به اندازه گیری و پردازش سیگنال‌های ارتعاشات محیطی به طور کامل مورد بررسی قرار گرفته است. در فصل اول ماهیت زلزله و امواج ناشی از آن، شدت و بزرگی زلزله و مسائل زمین شناسی و ژئوفیزیکی بررسی شده است. در فصل دوم لرزه نگارها و شتابنگارها که ابزار اندازه گیری زلزله و ارتعاشات محیطی هستند به طور دقیق همراه با معادلات حاکم بر آنها مورد بحث قرار گرفته است. در فصل سوم تئوری ریاضی حاکم بر تحلیل ارتعاشات و پیشنیاز دینامیک سازه جهت تحلیل سیگنالهای ثبت شده توسط لرزه نگارها بحث شده است. فصل چهارم نیز در زمینه فیلترهای فرکانسی می‌باشد که یکی ابزارهای مهم جهت پردازش سیگنال‌های لرزه‌ای است.

در فصل پنجم و پس از آشنایی با مباحث تئوریک، بحث ارتعاشات محیطی به طور کامل و دقیق مورد بررسی قرار گرفته است. در این فصل روش های مختلف پردازش این ارتعاشات، کاربرد هر روش و کفایت آنها همراه با استانداردهای اندازه گیری و مثال های مختلف مطرح شده است. در فصل ششم روش تحلیل مدال عملکردی که ابزاری برای استخراج پارامترهای مدال سازه‌ها به کمک سیگنال ارتعاشات محیطی می-باشد، معرفی می‌گردد.

در دو فصل هفتم و هشتم مباحث تکمیلی و پیشرفته روش‌های تحلیل ارتعاشات محیطی، در قالب دو نرم افزار Seismosignal و Geopsy و جهت فهم بیشتر و لمس مطالب تئوریک با مثال‌های کاربردی توسط مولفین ارائه شده است. بنابراین مطالعه این دو فصل برای درک کامل مطالب به نظر ضروری می‌رسد. امروزه با توجه به حجم بالای داده ها و سنگینی محاسبات، استفاده از نرم افزارها یکی از مفیدترین و ضروری ترین بخش‌های هر شاخه مهندسی می‌باشد. به همین دلیل نویسندگان تصمیم گرفتند که بخشی از مطالب

تکمیلی را در قالب این دو نرم افزار بیان کرده تا به فهم هرچه بهتر مطالب کمک کند. البته استفاده از نرم افزار نباید سبب چشم پوشی از مسائل ریشه‌ای و بنیادین گردد. به همین منظور در فصل نهم، به بحث برنامه نویسی به زبان MATLAB جهت بخشی از مفاهیم لازم در تحلیل سیگنال ها پرداخته شده است تا خوانندگان با روند صورت گرفته در نرم افزارها آشنا شده و بتوانند خود برنامه مورد نظرشان را بنویسند.

پس از آشنایی کامل با بحث ارتعاشات محیطی، در فصل دهم که حاصل مستقیم تحقیقات، اندازه‌گیری ها و تحلیل های انجام شده توسط دکتر محمد علی هادیان‌فرد و همکارانش بر روی سازه‌های مختلف می-باشد، به کاربرد عملی این روش پرداخته شده است. این موارد شامل استخراج پارامترهای دینامیکی ساختمان ها، مطالعه ساختمان‌های تاریخی، بررسی اثرات بهسازی در سازه ها و بررسی اثرات مراحل ساخت، نما و دیوار و... در رفتار ساختمان می‌باشد.

امید است این کتاب با طرح یکی از نوین ترین و پیشرفته ترین بحث های مرتبط با زلزله، به پیشرفت تحقیقات و کیفیت ساخت و سازها در کشور کمک کرده و مورد استفاده اساتید، محققین، مهندسین و دانشجویان عزیز قرار گیرد. این کتاب قطعا خالی از اشکال نیست و نظرات خوانندگان و صاحب نظران عزیز برای نویسندگان بسیار ارزشمند است. به امید روزی که تلفات جانی و مالی زلزله در کشور عزیزمان به حداقل برسد.

نویسندگان کتاب

◄ فصل اول ►

زلزله و امواج لرزه ای

۱-۱- مقدمه

سالانه در جهان تعداد زیادی از انسان‌ها به دلیل وقوع زلزله از بین می روند و به ساختمان‌ها و تاسیسات زیادی آسیب وارد می گردد. کشور ایران به عنوان یکی از کشورهای زلزله خیز دنیا، همواره در معرض زلزله های مخرب قرار داشته است که باعث ایجاد خسارات جانی و مالی غیر قابل جبرانی گردیده است. خوشبختانه در سال‌های اخیر توجه ویژه ای به طراحی ساختمان‌ها در مقابل زلزله و مقاوم سازی ساختمان-های موجود شده است. بنابر این لازم است که قبل از هر کاری نسبت به منشأ زلزله و اثرات آن شناخت مختصری حاصل گردد. هدف از این فصل ارائه کلیاتی در خصوص طبیعت زلزله، لرزه شناسی و امواج ناشی از زلزله می باشد.

۱-۲- ساختار زمین

با افزایش عمق، جنس و حالت مواد سازنده زمین تغییر می یابد و بر اساس تغییرخواص فیزیکی و شیمیایی می توان کره زمین را به سه قسمت اصلی **پوسته**[1] ، **گوشته** یا **جبه**[2] و **هسته**[3] تقسیم بندی نمود.

پوسته، خارجی ترین لایه زمین است که ضخامت آن از ۱۰ تا ۶۵ کیلومتر متغیر است. پوسته زمین در

1 Crust
2 Mantle
3 Core