

مبانی اندرکنش خاک و سازه

تألیف

دکتر علی قنبری (استاد دانشگاه خوارزمی)

شیما السادات حسینی



دانشگاه خوارزمی

تهران ۱۳۹۵

سرشناسه	:	قنبری، علی، ۱۳۴۸ -
عنوان و نام پدیدآور	:	مبانی اندرکنش خاک و سازه/ مولف علی قنبری، شیماسادات حسینی.
مشخصات نشر	:	تهران: دانشگاه خوارزمی، ۱۳۹۵.
مشخصات ظاهری	:	۵۰۶ ص.: مصور (بخشی رنگی)، جدول.
شابک	:	۹۷۸۶۰۰۸۵۸۷۰۲۶ ریل: ۲۵۰۰۰
وضعیت فهرست نویسی	:	فینپا
یادداشت	:	واژنامه
یادداشت	:	کتابنامه: ص. ۴۸۹ - ۵۰۱.
موضوع	:	خاک و سازه
موضوع	:	Soil-structure interaction
موضوع	:	پی سازی
موضوع	:	Foundations
شناسه افزوده	:	دانشگاه خوارزمی
شناسه افزوده	:	علی شیماسادات، ۱۳۴۵ -
رده بندی کنگره	:	۹۵/۲۱۹/۴۷۸
رده بندی دیویی	:	۶۰۰/۱۵۱۰۲
شماره کتابشناسی ملی	:	۴۴۳۷۵۸۹



عنوان کتاب	:	مبانی اندرکنش خاک و سازه
نویسندگان	:	علی قنبری، شیماسادات حسینی.
ناشر	:	دانشگاه خوارزمی
چاپ و صحافی	:	دانشگاه خوارزمی
طراح جلد و صفحه آرا	:	صادق عزیزخانی
نوبت و سال چاپ	:	اول، ۱۳۹۵
شابک	:	۹۷۸۶۰۰۸۵۸۷۰۲۶
شمار	:	۵۰۰ نسخه
قیمت	:	۲۵۰۰۰ ریل

همه حقوق برای ناشر محفوظ است.

شماره تماس فروشگاه کتاب: ۸۴۱۱۸۶۶

www.khu.ac.ir

آدرس: تهران-خ شهید مفتاح-شماره ۴۳-کدپستی ۱۴۹۱۱-۱۵۷۱۹

pub@khu.ac.ir

پیش‌گفتار

عملکرد سازه‌ها در برابر بارهای دینامیکی و لرزه‌ای یکی از مسائل مهم و به‌روز در مهندسی عمران است. به‌صورت تخصصی این بحث به حوزه لرزه‌شناسی، تحلیل لرزه‌ای و طراحی لرزه‌ای طبقه‌بندی می‌شود که هر یک شامل عناوین و موضوعات گسترده‌ای در زمینه مربوط به خود هستند. در این میان یکی از مهم‌ترین و چالش‌برانگیزترین مسائل بحث نقش خاک در پاسخ لرزه‌ای سازه است. اغلب سازه‌ها با فرض صلب بودن پی تحلیل لرزه‌ای می‌شوند و از اثر محیط خاکی بر پاسخ لرزه‌ای آن‌ها صرف‌نظر می‌گردد. این فرض در برخی مواقع منجر به تحلیل نادرست مسئله و جواب‌های منحرف‌کننده می‌شود. از سوی دیگر در سال‌های اخیر در نظرگیری اثر پی خاک در تحلیل دینامیکی سازه‌ها توسط آئین‌نامه‌ها مورد تأکید واقع شده است. در ایران نیز با پیوستن از آئین‌نامه ۲۸۰۰ به این بحث اختصاص یافته است.

با توجه به فقدان کتابی که به صورت خاص به بحث در نظرگیری اندرکنش خاک و سازه بپردازد و از لحاظ آموزشی و کاربردی مناسب و قابل استفاده باشد، کتاب پیش رو تألیف شده است. سعی بر آن بوده که این نوشتار شامل مفاهیم پایه یک کتاب مرجع جهت آموزش و یادگیری تحلیل

دینامیکی سازه‌ها با در نظرگیری اثر اندرکنش خاک و سازه باشد. مباحث و موضوعات مورد بحث به صورت کاربردی طبقه‌بندی شده و حاصل چندین سال تجربیات، تحقیق، تدریس و راهنمایی پایان نامه‌های مختلف در این زمینه است. این مجلد برای اساتید و دانشجویان رشته‌های ارشد و دکتری ژئوتکنیک، سازه، زلزله و سازه‌های هیدرولیکی و همچنین برای محققین و مهندسین عمران قابل استفاده است. در هر صورت لازم است خوانندگان محترم پیش زمینه‌ای در حوزه دینامیک سازه و مهندسی زلزله داشته باشند.

کتاب حاضر در چهارده فصل ارائه شده است. در ۴ فصل اول مفاهیم پایه و در فصل‌های پنجم تا هشتم مباحث نظری اندرکنش خاک و سازه ارائه شده است. فصل‌های نهم تا چهاردهم به تشریح مباحث کاربردی اختصاص یافته است. در هر فصل از مثال‌های کاربردی حل شده جهت درک بهتر مفاهیم بهره گرفته شده است. همچنین در پایان هر فصل تعدادی مسئله حل نشده جهت ترغیب خواننده به تحقیق و بررسی بیشتر ارائه شده است.

در پایان از همکاران محترم و دانشجویانی که در اصلاح نسخه‌های اولیه این مجلد نویسنده را یاری نمودند، کمال قدردانی و تشکر اعلام می‌گردد. در این زمینه به خصوص از همکاران ارجمند، دکتر محمد داودی، دکتر امیر حمیدی، دکتر هادی شهیر، دکتر صلاح‌الدین توکلی مهرجردی، دکتر محسن شهبازی، دکتر علی معصومی، دکتر افشین مشکوه‌الدینی، دکتر سیا علی‌اسفر حسینی، دکتر مهدی زمانیان، دکتر میثم فدایی و دکتر مهدی درخشنده تشکر و قدردانی می‌گردد. همچنین از دانشجویان دوره دکتری ژئوتکنیک دانشگاه خوارزمی که در بازخوانی و ویرایش کتاب نقش داشتند، کمال تشکر را داریم.

هر چند تمام تلاش مؤلفین بر این بوده است تا این اثر با کمترین ایراد و اشکال در اختیار خوانندگان محترم قرار گیرد اما به طور قطع بی نقص نمی‌باشد. لذا از دانشجویان فهیم، اساتید

گراتقدر و محققین محترم تقاضا می شود تا با ارائه پیشنهادات و راهنمایی های سازنده خود نگارندگان را در جهت رفع نقایص کتاب و بهبود آن یاری نمایند. امید است تلاش نگارندگان در جهت ارائه اثری کم حجم و در عین حال جامع در زمینه مبانی اندرکنش خاک و سازه مقبول نظر خوانندگان محترم قرار گیرد.

علی قنبری - شیمالسادات حسینی

www.ketab.ir

فهرست مطالب

فصل اول

مفاهیم پایه در اندرکنش خاک و سازه

۱-۱- مقدمه	۱۶
۲-۱- تعریف اندرکنش خاک و سازه	۱۶
۳-۱- اهمیت تحلیل اندرکنش در سازه‌های مختلف	۱۸
۴-۱- اثرات در نظرگیری اندرکنش خاک و سازه	۲۲
۵-۱- روش‌های مختلف تحلیل اندرکنش خاک و سازه	۲۳
۶-۱- روش مستقیم در تحلیل اندرکنش خاک و سازه	۲۷
۷-۱- روش‌های چندگانه	۲۸
مسائل حل نشده فصل اول:	۳۶

فصل دوم

جایگاه تحلیل اندرکنش خاک و سازه در آئین نامه‌ها

۱-۲- مقدمه	۳۸
۲-۲- آئین نامه ژاپن	۳۸
۳-۲- آئین نامه آمریکایی (NEHRP(FEMA- 450)	۴۰
۴-۲- آئین نامه اروپا	۴۹
۵-۲- دستورالعمل FEMA - 440	۵۱
۶-۲- آیین نامه طراحی ساختمان‌ها در برابر زلزله ایران (استاندارد ۲۸۰۰)	۶۱
مسائل حل شده فصل دوم:	۶۳
مسائل حل نشده فصل دوم:	۷۰

فصل سوم

مروری بر مفاهیم پایه در دینامیک سازه‌ها

- ۱-۳- مقدمه ۷۴
- ۲-۳- روش‌های ریاضی حل معادله دیفرانسیل تعادل دینامیکی ۷۶
- ۳-۳- روش دیاگرام آزاد برای حل مسائل دینامیکی ۸۶
- ۴-۳- حل ماتریسی سیستم‌های اجزای مجزا ۸۹
- ۵-۳- سیستم‌های با جرم گسترده (جابه‌جایی تعمیم یافته) ۹۴

فصل چهارم

مروری بر روش‌های محاسبه فرکانس ارتعاش آزاد

- ۱-۴- مقدمه ۱۱۰
- ۲-۴- روش‌های تحلیلی برای محاسبه فرکانس ارتعاش آزاد ۱۱۱
- ۳-۴- روش‌های حل معادله دیفرانسیل ارتعاش ۱۱۵
- ۴-۴- روش رایلی برای محاسبه فرکانس ارتعاش آزاد ۱۲۰
- ۵-۴- روش رایلی - ریتز برای محاسبه فرکانس ارتعاش آزاد ۱۲۴
- مسائل حل نشده فصل چهارم: ۱۴۳

فصل پنجم

اثر ساختگاه در تحلیل لرزه‌ای سازه‌ها

- ۱-۵- مقدمه ۱۴۶
- ۲-۵- عوامل مؤثر بر پاسخ ساختگاه ۱۴۸
- ۳-۵- تحلیل یک بعدی لایه‌های خاک ۱۵۵
- ۴-۵- تأثیر توپوگرافی شیب بر پاسخ نقاط در سطح زمین ۱۶۱
- مسائل حل نشده فصل پنجم: ۱۶۹

فصل ششم

روش مستقیم تحلیل اندرکنش خاک و سازه

۱۷۲	۱-۶- مقدمه
۱۷۳	۲-۶- ابعاد هندسی مدل
۱۷۶	۳-۶- ابعاد و تعداد المان‌ها در شبکه اجزاء محدود
۱۷۷	۴-۶- انواع مرزها در تحلیل دینامیکی
۱۸۴	۵-۶- الما فصل مشترک
۱۹۱	۶-۶- مدل رفتاری خاک در تحلیل دینامیکی
۱۹۲	۷-۶- مدل‌ازی برای در تحلیل‌های دینامیکی

فصل هفتم

روش فنر و میراگر معادل

۱۹۸	۱-۷- مقدمه
۲۰۱	۲-۷- روابط سختی استاتیکی و میرایی
۲۱۲	۳-۷- سختی و میرایی وابسته به فرکانس پدیده‌های
۲۱۷	۴-۷- مراحل تحلیل به روش فنر و میراگر معادل
۲۳۴	مسائل حل نشده فصل هفتم

فصل هشتم

مدل‌های تحلیلی برای شبیه سازی ارتعاش

۲۳۸	۱-۸- مقدمه
۲۳۸	۲-۸- مدل ویسکو الاستیک
۲۳۹	۳-۸- مدل پایه اندرکنش خاک و سازه بر مبنای سختی استاتیکی
۲۴۶	۴-۸- استفاده از سختی وابسته به فرکانس برای حل مدل ساده اندرکنش
۲۴۹	۵-۸- محاسبه سختی دینامیکی برای پی‌های مدفون
۲۵۱	۶-۸- محاسبه سختی دینامیکی پی بر اساس مدل گسسته اساسی
۲۶۹	مسائل حل نشده فصل هشتم

فصل نهم

تحلیل اندرکنش خاک و سازه به روش زیرسازه

۱-۹- مقدمه	۲۷۴
۲-۹- تحلیل سازه یک درجه آزادی به روش زیر سازه	۲۷۸
۳-۹- مبانی تحریک غیریکنواخت	۲۸۳
۴-۹- تولید تحریک یکنواخت	۲۸۵
۵-۹- معادله حرکت در حالت تحریک یکنواخت با جهت‌های مختلف	۲۸۸
۶-۹- دلالت حرکت در حالت تحریک غیریکنواخت تکیه گاهی	۲۹۰
۷-۹- سیستم بند درجه آزادی با حرکات تکیه گاهی غیریکنواخت	۲۹۴
۸-۹- مراحل گام به گام در حل مسائل اندرکنش به روش زیرسازه	۳۰۰
۹-۹- آنالیز مودال با استفاده از روش زیر سازه	۳۰۰
مسائل حل نشده فصل نهم	۳۱۲

فصل دهم

اندرکنش خاک - شمع - سازه

۱-۱۰- مقدمه	۳۱۶
۲-۱۰- روش مستقیم در تحلیل لرزه‌ای شمع	۳۱۹
۳-۱۰- روش زیرسازه برای تحلیل لرزه‌ای شمع	۳۲۰
۴-۱۰- روش فنر معادل برای تحلیل لرزه‌ای شمع‌ها	۳۲۴
۵-۱۰- تحلیل شمع بر اساس سختی مماسی و جانبی خاک (منحنيهای $P-Z$ و $t-Z$)	۳۲۷
۶-۱۰- منحنی‌های پیشنهادی برای فنر انتهای شمع	۳۳۳
۷-۱۰- محاسبه ضرایب سختی فنرها به روش نیرو- تغییر مکان بر اساس API	۳۳۵
مسائل حل نشده فصل دهم	۳۴۶

فصل یازدهم

تحلیل لرزه‌ای سازه‌های زیرزمینی

۱-۱۱- مقدمه	۳۵۰
۲-۱۱- جایگاه تحلیل لرزه‌ای در فرآیند طراحی سازه‌های زیرزمینی	۳۵۱

۳۵۲.....	۱۱-۳- مفاهیم اولیه در طراحی لرزه‌ای تونل‌ها و فضاهای زیرزمینی
۳۵۳.....	۱۱-۴- انواع روش‌های تحلیل لرزه‌ای تونل‌ها
۳۵۵.....	۱۱-۵- تحلیل لرزه‌ای تونل‌ها به روش میدان آزاد
۳۶۰.....	۱۱-۶- روش شبه استاتیکی مبتنی بر تغییر مکان نسبی تونل
۳۶۲.....	۱۱-۷- تحلیل لرزه‌ای تونل‌ها با در نظر گیری اندرکنش خاک و سازه
۳۶۵.....	۱۱-۷-۲- رابطه هشاش و پارک
۳۸۳.....	مسائل حل نشده فصل یازدهم:

فصل دوازدهم

مفاهیم پایه در تحلیل لرزه‌ای پل‌ها

۳۸۶.....	۱۲-۱- مقدمه
۳۸۷.....	۱۲-۲- تحلیل اجزاء محدود خاک در نظر گیری اندرکنش خاک- سازه
۳۹۲.....	۱۲-۳- مدلسازی فونداسیون خاک (اندرکنش خاک - شمع)
۳۹۵.....	۱۲-۴- تحلیل اندرکنش خاک- سازه استفاده از مدل فنر و میراگر معادل
۴۰۴.....	مسائل حل شده فصل دوازدهم:
۴۰۷.....	مسائل حل نشده فصل دوازدهم:

فصل سیزدهم

تحلیل لرزه‌ای دیوارهای حائل

۴۱۲.....	۱۳-۱- مقدمه
۴۱۵.....	۱۳-۲- روش‌های تعادل حدی
۴۲۶.....	۱۳-۳- روش‌های آنالیز حدی
۴۲۸.....	۱۳-۴- تحلیل لرزه‌ای دیوارهای حائل بر اساس تئوری ارتعاش تیر
۴۳۰.....	۱۳-۵- روش‌های مبتنی بر مدلسازی با اجزاء متمرکز

فصل چهاردهم

اندرکنش خاک- سازه- سیال

۴۳۸	۱-۱۴- مقدمه
۴۴۱	۲-۱۴- مبانی اندرکنش سیال و سازه
۴۴۶	۳-۱۴- مدل‌های تحلیلی در اندرکنش سیال و سازه
۴۵۷	۴-۱۴- مبانی اندرکنش سیال-خاک- سازه
۴۸۲	مسائل حل نشده فصل چهاردهم:
۴۸۵	فهرست مراجع
۵۰۰	واژه‌نامه انگلیسی - فارسی

www.ketaboo.ir