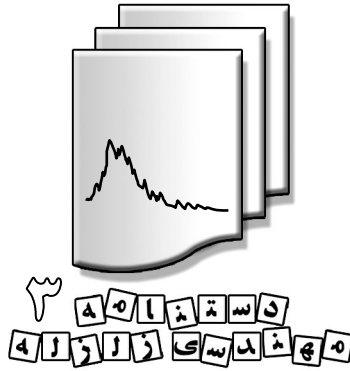


برنام آن که جان را فکرت آموخت



# مبانی مهندسی زلزله

تألیف:

دکتر محمدرضا تابش پور

(عضو هیأت علمی دانشگاه تربیت معلم سبزوار)



دانشگاه تربیت معلم سبزوار



فدکا ایساتیس

سرشناسه	: تابش پور، محمدرضا، ۱۳۵۴-
عنوان و نام پدیدآور	: مهندسی زلزله کاربردی / تالیف محمدرضا تابش پور
مشخصات نشر	: تهران: فدک ایساتیس؛ سبزوار: دانشگاه تربیت معلم سبزوار، ۱۳۸۹
مشخصات ظاهری	: ۳۲۸ ص. : مصور، جدول، نمودار.
فروست	: دستنامه مهندسی زلزله؛ ۳.
شابک	: ۷۷۰۰۰ ریال : ۹-۹۲-۵۲۰۳-۶۰۰-۹۷۸
وضعیت فهرست نویسی	: قیپا
یادداشت	: واژه نامه.
یادداشت	: نمایه.
موضوع	: زلزله -- مهندسی
موضوع	: ساختمان ها -- اثر زلزله
موضوع	: زلزله شناسی
شناسه افزوده	: دانشگاه تربیت معلم سبزوار
رده بندی کنگره	: ۱۳۸۹ م ۲/ت ۶/۴/۵۴/۴/۴
رده بندی دیویی	: ۶۲۴/۱۷۶۲
شماره کتابشناسی ملی	: ۲۰۰۴۰۹۶



دانشگاه تربیت معلم سبزوار

## مبانی مهندسی زلزله



فدک ایساتیس

تالیف	: محمدرضا تابش پور
ویراستار فنی	: سید فرید قهاری
مدیر تولید	: مجیدرضا زروئی
صفحه آرایی	: مونا سروری
نوبت چاپ	: اول - ۱۳۸۹
تیراژ	: ۱۵۰۰
لیتوگرافی	: مهران نگار
چاپ	: گنج شایگان
صحافی	: کیمیا
قیمت	: ۷۷۰۰۰ ریال
شابک	: ۹-۹۲-۵۲۰۳-۶۰۰-۹۷۸

دفتر انتشارات : تهران - خیابان انقلاب - خیابان اردیبهشت - بین بلای نژاد و جمهوری - ساختمان ۱۰ (۱۲۶ قدیم)

تلفن : ۶۶۴۶۵۸۳۱ - ۶۶۴۸۱۰۹۶ - ۶۶۴۸۲۲۲۱

نماینده گی تهران : خیابان انقلاب - نبش ۱۲ فروردین - پلاک ۱۴۴۶ - انتشارات صانعی تلفن : ۶۶۴۱۲۳۹۵

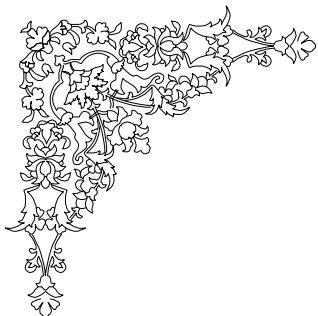
نماینده گی یزد: میدان آزادی (باغ ملی) - ابتدای خیابان فرخی - جنب مجتمع ستاره

تلفن: ۶۲۲۷۴۷۵ - ۶۲۲۶۷۷۱ - ۶۲۲۶۷۷۲

[www.fadakbook.ir](http://www.fadakbook.ir)

کلیه ی حقوق و حق چاپ متن و عنوان کتاب که به ثبت رسیده است؛ مطابق با قانون حقوق مولفان و مصنفان مصوب ۱۳۴۸ محفوظ و متعلق به انتشارات فدک ایساتیس می باشد. هرگونه برداشت، تکثیر، کپی برداری به هر شکل (چاپ، فتوکپی، انتشار الکترونیکی) بدون اجازه کتبی از انتشارات فدک ایساتیس، ممنوع بوده و متخلفین تحت پیگرد قانونی قرار خواهند گرفت.

معاونت حقوقی  
انتشارات فدک ایساتیس

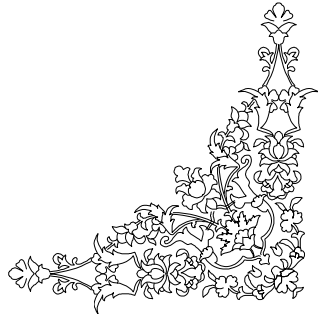
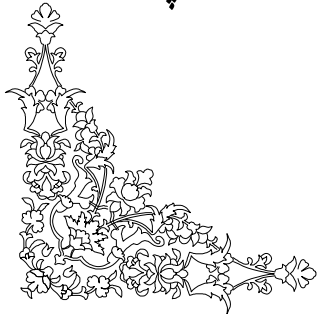


تقدیم بہ:

بہمسر

و فرزندم

محمد رضا تابش پور



## سخن مؤلف

تدوین کتاب آموزشی مبتنی بر سرفصل درس «مبانی مهندسی زلزله» نیازی اساسی در جامعه‌ی مهندسی عمران کشور است. به‌منظور انجام وظیفه در راستای این رسالت، اینجانب بر آن شدم تا بر اساس دستاوردهای مهندسی زلزله و با توجه به تجربیات مربوط به زلزله‌های گذشته سومین کتاب از دوره‌ی «دستنامه‌ی مهندسی زلزله» را به جامعه مهندسی عمران کشور تقدیم کنم.

در تدوین این کتاب به سرفصل درس مبانی مهندسی زلزله توجه خاصی شده است، به‌نحوی که بتواند پاسخ‌گوی نیاز دانشجویان باشد.

حروف‌چینی قسمت‌هایی از متن کتاب را سرکار خانم هانیه عمرانی انجام داده‌اند، که از تلاش ایشان تشکر می‌شود. از زحمات سرکار خانم مونا سروری در صفحه‌آرایی و بازخوانی قسمت‌هایی از کتاب تقدیر می‌گردد. همچنین از همراهی و مساعدت صمیمانه خانواده‌ام صمیمانه تشکر می‌کنم.

آقای محمد کرمی شاهنده کمک بی‌شائبه‌ای در فرآیند تولید این کتاب داشته‌اند. از لطف ایشان صمیمانه تشکر می‌شود. آقای رضا کرمی شاهنده علاوه بر مدیریت تولید انتشاراتی فدک ایساتیس، تلاش‌های زیادی در راستای افزایش کیفیت چاپ کتاب و صفحه‌آرایی آن انجام داده‌اند. آقای مجیدرضا زروئی مدیرعامل این انتشاراتی با دقت فراوانی فرآیند تولید کتاب را پی‌گیری می‌کنند؛ از حوصله و زحمات این عزیزان تقدیر می‌شود.

اساتید، دانشجویان و مهندسان بزرگواری که بر نگارنده، منت می‌نهند و پیشنهادات و انتقادات خود را ارسال می‌کنند، سهم بزرگی در افزایش کیفیت مطالب کتاب در چاپ‌های بعدی خواهند داشت. برای اطلاعات بیشتر از کتب دوره‌ی «دستنامه‌ی زلزله» به سایت [dastnameh.ir](http://dastnameh.ir) مراجعه شود.

دکتر محمدرضا تابش‌پور

تهران، ۱۳۸۹

[tabeshpour@yahoo.com](mailto:tabeshpour@yahoo.com)

## سرفصل درس «مبانی مهندسی زلزله»

۱. زلزله‌شناسی: علل وقوع زلزله، پدیده‌های همراه زلزله، مقیاس سنجش زلزله، لرزه‌خیزی ایران (فصل اول این کتاب).
۲. روش کاهش پیامدهای زلزله: مکانیزم تخریب زلزله، تدابیر ضروری برای مقابله با زلزله، آسیب‌های احتمالی زلزله در شهرهای بزرگ، نقش بیمه در کاهش خسارتهای زمین‌لرزه، لزوم مطالعات لرزه‌شناسی در پروژه‌های عمرانی (فصل دوم این کتاب).
۳. تعیین زلزله طرح: عوامل مؤثر بر روی حرکات زلزله، تأثیر فاصله و خصوصیات خاک منطقه و بزرگی زلزله، مطالعات زلزله از نظر احتمالات و ریسک زلزله، روش‌های قطعی و احتمالی تعیین زلزله طرح (فصل سوم این کتاب و فصل اول دستنامه‌ی ۴).
۴. روش معادل استاتیکی (آیین‌نامه‌ای) جهت تحلیل سازه‌ها در برابر زلزله، بررسی مبانی روش، فلسفه روش و عوامل مؤثر، ساختار آیین‌نامه‌های زلزله، بررسی کامل آیین‌نامه زلزله ایران و مقایسه آیین‌نامه‌های مختلف زلزله (فصل نهم این کتاب، فصل‌های سوم، چهارم و پنجم دستنامه‌ی ۴).
۵. روش دینامیکی تحلیل سازه‌ها در برابر زلزله (یک و چند درجه آزادی) مبانی تحلیل دینامیکی سازه‌ها، مدل‌سازی و درجات آزادی ارتعاش آزادسازه‌ها، پدیده تشدید و تأثیر میرایی، انتگرال دوهمامل مودهای ارتعاش آزاد، اصول و روش آنالیز مودال در بارگذاری زلزله (فصل ششم و نهم این کتاب و فصل پنجم دستنامه‌ی ۴).
۶. روش شبه‌دینامیکی (طیفی) تحلیل سازه‌ها در برابر زلزله تغییرمکان و شتاب و شبه‌سرعت طیفی، طیف‌های پاسخ و طرح، تعداد مودهای مؤثر در تحلیل، اشاره‌ای به طیف‌های غیرخطی (فصل نهم این کتاب و فصل‌های اول و دوم و پنجم دستنامه‌ی ۴).
۷. انواع سیستم‌های مقاوم سازه‌ای برای بار افقی زلزله و رفتار آن‌ها: قاب‌های خمشی، قاب‌های بادبندی‌شده، دیوار برشی، سیستم‌های مرکب (فصل چهارم این کتاب).

برای سهولت استفاده‌ی دانشجویان و مدرسان، برنامه‌ی هفتگی منطبق با سرفصل مصوب ارائه شده است.

برنامه‌ی هفتگی (هر هفته یک جلسه‌ی ۳ ساعته یا دو جلسه‌ی ۱/۵ ساعته):

تکلیف	صفحات	هفته
پاسخ به پرسش‌های صفحه‌ی ۲۱	صفحه‌ی ۱ تا ۲۰ این کتاب	اول
پاسخ به پرسش‌های صفحه‌ی ۴۸	صفحه‌ی ۲۵ تا ۴۸ این کتاب	دوم
پاسخ به پرسش‌های صفحه‌ی ۶۸	صفحه‌ی ۵۱ تا ۶۸ این کتاب	سوم
پاسخ به پرسش‌های صفحه‌ی ۹۵	صفحه‌ی ۷۱ تا ۹۴ این کتاب	چهارم
حل مسائل صفحه‌ی ۱۲۰ و ۱۲۱	صفحه‌ی ۹۹ تا ۱۱۰ این کتاب	پنجم
حل مسائل صفحه‌ی ۱۲۲ و ۱۲۳	صفحه‌ی ۱۱۱ تا ۱۲۰ این کتاب	ششم
تکلیف: حل مسائل صفحه‌ی ۱۵۳ و ۱۵۶	صفحه‌ی ۱۲۷ تا ۱۴۳ این کتاب	هفتم
حل مسائل صفحه‌ی ۱۵۷ و ۱۶۲	صفحه‌ی ۱۴۴ تا ۱۵۲ این کتاب	هشتم
حل مسائل صفحه‌ی ۱۹۰	صفحه‌ی ۱۶۷ تا ۱۸۵ این کتاب	نهم
حل مسائل صفحه‌ی ۲۰۴ و ۲۵۹ و ۲۶۰	صفحات ۱۸۶ تا ۱۸۹، ۱۹۳ تا ۲۰۴ و ۲۰۷ تا ۲۱۵ این کتاب	دهم
حل مسائل صفحه‌ی ۲۶۱ و ۲۶۲	صفحه‌ی ۲۱۶ تا ۲۵۸ این کتاب	یازدهم
حل مسائل صفحه‌ی ۲۸۳	صفحه‌ی ۲۶۵ تا ۲۸۲ این کتاب	دوازدهم
پاسخ به پرسش‌ها و حل مسائل فصل‌های ۱، ۲، ۳ و ۴ از دستنامه‌ی ۴	فصل‌های ۱، ۲، ۳ و ۴ از دستنامه‌ی ۴	سیزدهم
حل مسائل فصل ۵ از دستنامه‌ی ۴	فصل ۵ از دستنامه‌ی ۴	چهاردهم

### روش حل و ارائه‌ی تمرین‌های آخر فصل

یک هفته بعد از تدریس هر قسمت که شامل تمرین نیز هست. همچنین حدود نیمی از مسائل حل شده و مثال‌های متن کتاب نیز به تمرین هفتگی افزوده می‌شود.

## فهرست مطالب

### فصل اول: مقدمه‌ای بر زلزله‌شناسی مهندسی

- ۱.۱ مقدمه ۱
- ۲.۱ نحوه‌ی ایجاد زلزله ۱
- ۳.۱ امواج لرزه‌ای ۱۰
- ۴.۱ مقیاس سنجش زلزله (بزرگا) ۱۲
  - ۱.۴.۱ بزرگای محلی ریشتر ۱۳
  - ۲.۴.۱ بزرگای موج سطحی ۱۳
  - ۳.۴.۱ بزرگای موج حجمی ۱۳
  - ۴.۴.۱ دیگر مقیاس‌های بزرگای دستگاهی ۱۵
  - ۵.۴.۱ بزرگای گشتاوری ۱۵
- ۵.۱ انرژی زلزله ۱۶
- ۱.۵.۱ شدت مرکالی اصلاح‌شده (Modified Mercalli Intensity, MMI) ۱۷
- پرسش‌ها ۲۱

### فصل دوم: خرابی‌های ناشی از زلزله و کاهش پیامدهای ناشی از آن

- ۱.۲ مقدمه ۲۵
- ۲.۲ نحوه‌ی اثر نیروی زلزله بر سازه ۲۵
- ۳.۲ تقسیم‌بندی صدمات زلزله ۲۷
- ۱.۳.۲ خرابی‌های فیزیکی مستقیم ۲۸
  - ۲.۳.۲ صدمات اجتماعی ۲۸
  - ۳.۳.۲ زیان‌های اقتصادی ۲۸
- ۴.۲ عوامل مؤثر بر خسارات ناشی از زلزله ۲۹
  - ۱.۴.۲ نوع سازه ۲۹

۱.۱.۴.۲	سازه بتنی	۲۹
۲.۱.۴.۲	سازه فولادی	۳۴
۳.۱.۴.۲	اجزای غیرسازه‌ای	۳۶
۴.۱.۴.۲	شریان‌های حیاتی	۳۷
۲.۴.۲	اثرات ساختگاهی و پی	۴۰
۱.۲.۴.۲	رفتار پی‌ها	۴۰
۳.۴.۲	خطرات جانبی	۴۰
۱.۳.۴.۲	گسیختگی زمین	۴۰
۲.۳.۴.۲	گسیختگی گسل	۴۴
۳.۳.۴.۲	سیل	۴۵
۴.۳.۴.۲	آتش‌سوزی	۴۶
۵.۲	تدابیر ضروری برای مقابله با زلزله	۴۷
۶.۲	بیمه	۴۷
۷.۲	لزوم مطالعات لرزه‌شناسی در پروژه‌های عمرانی	۴۸
	پرسش‌ها	۴۸

## فصل سوم: مقدمه‌ای بر تحلیل خطر زلزله

۱.۳	مقدمه	۵۱
۲.۳	خطر لرزه‌ای	۵۱
۳.۳	وابستگی حرکت زمین به مکانیزم گسلش	۵۲
۴.۳	اثرات مسیر عبور موج	۵۳
۵.۳	بحث کیفی روی تاریخچه‌ی زمین	۵۴
۶.۳	شاخص‌های مهندسی مربوط به شدت زلزله	۵۶
۷.۳	تخمین شدت زلزله	۵۸
۸.۳	تخمین بر اساس طول گسل	۵۹
۹.۳	تخمین آماری شدت زلزله	۵۹
۱.۹.۳	رابطه‌ی بور، جوینر و فیومال (Boore, Joyner and Fumal)	۶۰
۲.۹.۳	رابطه‌ی کمپل و بزرگ نیا	۶۱
۱۰.۳	بیشینه‌ی سرعت و جابه‌جایی زمین	۶۳



۱۱.۳ تحلیل خطر به روش قطعی (تعیینی، متعین) ۶۴

۱۲.۳ تحلیل خطر به روش احتمالی ۶۶

۱۳.۳ داده‌های USGS ۶۷

پرسش‌ها ۶۸

## فصل چهارم: انواع سیستم‌های باربر جانبی

۱.۴ مقدمه ۷۱

۲.۴ سیستم باربر جانبی (Lateral Force Resisting System) ۷۲

۱.۲.۴ سیستم دیوارهای باربر (Bearing Wall System) ۷۲

۲.۲.۴ سیستم قاب ساختمانی ساده (Building Frame System) ۷۳

۱.۲.۲.۴ سیستم ساده‌ی دارای دیوار برشی ۷۳

۲.۲.۲.۴ سیستم ساده‌ی مهاربندی‌شده (Braced Frame) ۷۴

۱.۲.۲.۲.۴ قاب بادبندی‌شده‌ی هم‌محور (Concentric Braced Frame) ۷۵

۲.۲.۲.۲.۴ قاب مهاربندی‌شده‌ی برون‌محور (EBF) ۷۷

۳.۲.۲.۴ سیستم مهاربندی غیرکمانشی ۷۹

۳.۲.۴ سیستم قاب خمشی (Moment Resisting Frame) ۸۱

۱.۳.۲.۴ قاب خمشی معمولی (Ordinary Moment Resisting Frame) ۸۶

۲.۳.۲.۴ قاب خمشی متوسط (Intermediate Moment Resisting Frame) ۸۶

۳.۳.۲.۴ قاب خمشی ویژه (Special Moment Resisting Frame) ۸۶

۴.۲.۴ سیستم دوگانه یا ترکیبی (Dual System) ۸۸

۳.۴ چیدمان و ترکیب مختلف انواع سیستم باربر لرزه‌ای ۸۹

۴.۴ سایر سیستم‌های سازه‌ای ۹۱

پرسش‌ها ۹۵

## فصل پنجم: سختی و پیود سازه‌ها

۱.۵ مقدمه ۹۹

۲.۵ سختی عناصر سازه‌ای ۱۰۰

## فصل ششم: دینامیک سیستم‌های یک‌درجه آزادی خطی

- ۱.۶ مقدمه ۱۲۷
- ۲.۶ سازه‌ی یک‌درجه‌آزادی ۱۲۷
- ۳.۶ معادله‌ی حرکت ۱۲۸
- ۴.۶ ارتعاش آزاد سیستم نامیرا ۱۳۱
- ۵.۶ روش تقریبی تعیین پریود سازه (ASCE 7-05) ۱۳۲
- ۶.۶ ارتعاش آزاد سیستم میرا ۱۳۵
- ۷.۶ اندازه‌گیری میرایی با تست ارتعاش آزاد ۱۳۷
- ۸.۶ پاسخ سیستم نامیرا تحت بارگذاری هارمونیک ۱۳۸
- ۹.۶ بارگذاری هارمونیک روی سیستم میرا ۱۴۴
- ۱۰.۶ مفهوم انرژی ذخیره‌شده و انرژی تلف‌شده ۱۴۷
- ۱۱.۶ بارگذاری دینامیکی عمومی ۱۴۷
- ۱.۱۱.۶ روش قطعه‌ای ۱۴۸
- ۲.۱۱.۶ روش نیومارک ۱۴۹
- ۱۲.۶ تعیین نیروی زلزله ۱۵۰
- مسائل ۱۵۳

## فصل هفتم: طیف پاسخ

- ۱.۷ مقدمه ۱۶۷
- ۲.۷ طیف‌های پاسخ ۱۶۸
- ۱.۲.۷ طیف پاسخ جابه‌جایی الاستیک ۱۶۸
- ۲.۲.۷ طیف پاسخ شبه‌سرعت ۱۷۴
- ۳.۲.۷ طیف شبه‌شتاب ۱۷۵
- ۴.۲.۷ طیف پاسخ شبه‌شتاب بر حسب جابه‌جایی ۱۸۱
- ۵.۲.۷ طیف پاسخ چهارجانبه ۱۸۲

۳.۷ طیف پاسخ الاستیک هموار ۱۸۵

۱.۳.۷ طیف نیومارک- هال ۱۸۵

۲.۳.۷ طیف ASCE 7 ۱۸۹

مسائل ۱۹۰

## فصل هشتم: ضریب بازتاب و اثر خاک

۱.۸ مقدمه ۱۹۳

۲.۸ پریود خاک ۱۹۴

۳.۸ فیلتراسیون در خاک ۱۹۷

۴.۸ ضریب بازتاب B ۱۹۸

۱.۴.۸ لزوم وابستگی ضریب بازتاب به شدت زلزله ۲۰۰

۵.۸ طیف بازتاب ۲۰۱

۱.۵.۸ رفتار سازه‌های بسیار سخت و بسیار نرم در زلزله ۲۰۱

۲.۵.۸ موقعیت مختصات شتاب پیشینه‌ی زمین روی منحنی طیف بازتاب ۲۰۱

۳.۵.۸ نقطه‌ی شروع طیف ( $T = 0$ ) ۲۰۲

۴.۵.۸ قسمت ابتدایی منحنی طیف بازتاب ( $0 < T \leq T_0$ ) ۲۰۲

۵.۵.۸ مقدار پیشینه‌ی طیف بازتاب و بازه‌ی مربوطه ۲۰۳

۶.۵.۸ مقدار طیف در پریودهای بیشتر از پریود خاک ۲۰۳

۷.۵.۸ مقدار طیف در پریودهای بالا (مثلاً  $T \geq 2 \text{ sec}$ ) ۲۰۳

پرسش‌ها ۲۰۴

## فصل نهم: ارتعاش سیستم‌های چنددرجه آزادی

۱.۹ مقدمه ۲۰۷

۲.۹ سیستم دوبعدی چنددرجه آزادی ۲۰۸

۱.۲.۹ استخراج ماتریس نرمی ۲۱۰

۲.۲.۹ مفهوم ترکیب خطی شکل‌ها (نرمی) ۲۱۱

۳.۲.۹ تراکم استاتیکی ۲۱۲

۳.۹	ماتریس‌های سیستم	۲۱۳
۴.۹	تحلیل ارتعاش آزاد سیستم چنددرجه‌آزادی غیرمیرا	۲۱۵
۵.۹	تحلیل ارتعاش اجباری سیستم چنددرجه‌آزادی میرا	۲۱۷
۶.۹	تعریف ضرایب مشارکت مدی	۲۲۰
۷.۹	ماتریس میرایی مدی	۲۲۳
۱.۷.۹	میرایی متناسب رایلی	۲۲۳
۲.۷.۹	میرایی ویلسون	۲۲۶
۸.۹	حل معادله‌ی حرکت سیستم چنددرجه‌آزادی	۲۲۸
۹.۹	روش طیف پاسخ مدی	۲۳۵
۱۰.۹	روش استاتیکی معادل	۲۵۳
	مسائل	۲۵۹

## فصل دهم: ضریب رفتار سازه‌ها

۱.۱۰	مقدمه	۲۶۵
۲.۱۰	منحنی ظرفیت سازه	۲۶۶
۳.۱۰	نسبت شکل‌پذیری	۲۶۹
۴.۱۰	ضریب کاهش نیرو (ضریب رفتار، $R$ )	۲۶۹
۱.۴.۱۰	ضریب کاهش به‌علت شکل‌پذیری $R_{\mu}$	۲۷۱
۲.۴.۱۰	ضریب کاهش به‌علت مقاومت افزون $R_{\xi}$	۲۷۳
۳.۴.۱۰	ضریب کاهش به‌علت نامعینی $R_R$	۲۷۳
۴.۴.۱۰	ضریب کاهش به‌علت میرایی، $R_{\xi}$	۲۷۵
۵.۱۰	نگرش‌های طراحی	۲۷۷
۱.۵.۱۰	طراحی به روش حالت حدی و یا ضرایب بار و مقاومت نهایی	۲۷۸
۶.۱۰	ضریب تبدیل جابه‌جایی خطی (طرح) به غیرخطی (واقعی) $C_d$	۲۷۹
۱.۶.۱۰	طراحی به روش حالت حدی و یا ضرایب بار و مقاومت نهایی	۲۷۹
۷.۱۰	روش‌های آیین‌نامه‌ای در تخمین $C_d$	۲۸۰
۱.۷.۱۰	UBC-97	۲۸۰
۲.۷.۱۰	استاندارد ۲۸۰۰	۲۸۰
	مسائل	۲۸۲

منابع ۲۸۳

- ۲۸۷ پیوست ۱: زندگی‌نامه‌ی بنیان‌گذار طیف پاسخ
- ۲۹۷ واژه‌نامه‌ی فارسی به انگلیسی
- ۳۰۳ واژه‌نامه‌ی انگلیسی به فارسی
- ۳۰۹ فهرست الفبایی





مقدمه‌ای بر زلزله‌شناسی مهندسی



## فصل