مقدمه مولفان

تاکنون همه شما اخبار وقوع زلزله در نقاط مختلف جهان را شنیده و خسارت‌های ناشی از آن را در رسانه‌ها دیده‌اید و ممکن است در ذهن خود آن را بسیار هولناک بدانید. اما دیدگاه ما کمی با شما متفاوت بوده و اعتقاد داریم که پدیده زلزله به‌خودی خود خطرناک نیست و این ما هستیم که آن را خطرساز می‌کنیم. برای این‌که منظور ما را بهتر درک کنید، خود را در یک مکان خالی از سازه‌های ساخت بشر تصور کنید. اگر یک زلزله نسبتاً شدید در این مکان رخ دهد، آیا سقفی در بالای سر شما قرار دارد که بر روی شما فرو ریزد؟ آیا دیواری وجود دارد که ریزش آن باعث آسیب رساندن به شما شود؟

حال، نظر شما را به تمثیل جالبی از مرحوم زنده یاد دکتر مهدی قالیبافیان جلب می‌کنیم:

نقلی از استاد
میخی گم شد ...
به خاطر این میخ، نعل اسبی افتاد ...
به خاطر این نعل، اسبی راهوار از رفتن بازماند ...
به خاطر این اسب، جنگجویی نتوانست بجنگد ...
به خاطر این مرد جنگی، جنگ مغلوبه شد ...
و به خاطر این جنگ، کشوری از دست رفت ...
و همه این‌ها به خاطر یک میخ نعل اسب بود ...

مهندسین عزیز، در آغاز این کتاب از شما خواهش می‌کنیم که زلزله را جدی بگیرید زیرا هر اشتباه کوچکی از جانب شما در طراحی یا اجرای ساختمان، مشابه با همان میخ نعل اسب بوده و در نهایت ممکن است منجر به از دست رفتن جان انسان‌های بی‌گناهی شود که به ما مهندسین عمران اعتماد کرده‌اند.

همان‌طورکه می‌دانید، ایران عزیز ما از جمله کشورهای زلزله‌خیز جهان می‌باشد که بیشتر نواحی آن بر روی نوار زلزله واقع شده است. هم‌چنین حتماً شنیده‌اید که در پایتخت کشورمان یعنی تهران، وجود بیش از ۱۰ گسل که برخی از آن‌ها توانایی ایجاد زلزله‌ای با بزرگای ۷ ریشتر را دارند، پتانسیل بالایی را برای وقوع زلزله ایجاد کرده است و یا به عنوان مثال، دو شهر مشهد و تبریز که از کلان شهرهای ایران محسوب می‌شوند نیز در محاصره گسل‌های فعالی هستند. از سوی دیگر احتمالاً به یاد دارید که در زلزله دلخراش بم در سال ۱۳۸۲، بیشتر شهر بم با خاک یکسان شد و بیش از سی هزار نفر از هموطنان‌مان جان خود را از دست دادند و یا در زلزله رودبار و منجیل در سال ۱۳۶۹، یک فاجعه انسانی بزرگ به وقوع پیوست. تمامی این موارد بیانگر اهمیت توجه به موضوع زلزله و سنگینی وظیفه ما مهندسین عمران در احداث سازه‌هایی ایمن می‌باشد.

و اما هدف مؤسسه سری عمران از تولید این کتاب چه بوده است؟

در این کتاب کوشیده‌ایم تا با تلاش بی‌وقفه و شبانه‌روزی یک تیم از دانشجویان نخبه این مرز و بوم، نقش کوچکی در تعالی و گسترش دانش مهندسی در کشور ایفا کنیم. برای این منظور سعی کرده‌ایم تا مفاهیم، روش‌ها و ضوابط ارائه شده در ویرایش چهارم استاندارد ۲۸۰۰ را با حساسیت ویژه‌ای برای شما عزیزان شرح داده و در صورت وجود ابهام، آن‌ها را به‌طور کامل مرتفع سازیم.

مهم‌ترین موضوعاتی که برای نگارش این کتاب مدنظر مؤلفین بوده است عبارتند از:

- این کتاب تفسیر کاملی از ویرایش چهارم استاندارد ۲۸۰۰ را ارائه می‌کند، به‌گونه‌ای که حتی در جزئی‌ترین بندها نیز، ابهامات را برطرف می‌سازد.
- برای تألیف این کتاب، بسیاری از نشریات و آیین‌نامه‌های معتبر بین‌المللی نظیر استاندارد ASCE 7-10، آیین‌نامه‌های UBC و IBC و هم‌چنین نشریات FEMA و NEHRP به‌طور دقیق و کامل بررسی شده‌اند تا بتوانیم زوایای پنهانی از ویرایش چهارم استاندارد ۲۸۰۰ را برای شما توضیح دهیم.
- در ویرایش چهارم استاندارد ۲۸۰۰، فصل‌های جدیدی معرفی شده است که پیش از این در ویرایش سوم وجود نداشته و یا این‌که به‌صورت چند بند مختصر بوده‌اند. این فصل‌ها (نظیر ضوابط طراحی لرزه‌ای اجزای غیرسازه‌ای، ضوابط طراحی لرزه‌ای سازه‌های غیرساختمانی، الزامات ژئوتکنیکی، روش‌های تحلیل غیرخطی و بحث اندرکنش خاک و سازه) در این کتاب به‌طور کامل و با حساسیت ویژه‌ای بررسی و شرح داده شده‌اند.
- بسیاری از مهندسین عزیز که در شرکت‌های مشاور مشغول بوده و به طراحی حرفه‌ای سازه‌ها می‌پردازند، تمایل دارند تا در جریان تغییرات ویرایش چهارم استاندارد ۲۸۰۰ نسبت به ویرایش سوم قرار گیرند. برای رضایت خاطر این عزیزان، در پیش فصل کتاب، این تغییرات را با رویکردی کاربردی و به‌صورت طبقه‌بندی شده ارائه کردیم.
- مفاهیم پایه‌ای مهندسی زلزله و دینامیک سازه‌ها، از دیگر موارد مفیدی است که در این کتاب آموزش داده می‌شود. این مطالب برای همه مهندسان به‌ویژه دانشجویان دوره‌های کارشناسی و کارشناسی ارشد بسیار کاربردی و سودمند می‌باشد.

برای نگارش این کتاب افراد زیادی همراه ما بوده‌اند که در اینجا از زحمات تک تک این عزیزان کمال تشکر را داریم به ویژه آقایان رضا کامرانی راد، نیما ابراهیمی و پویا زکیان که بی هیچ منتی باعث بهبود روند تألیف این اثر شده‌اند. هم‌چنین از صبر و شکیبایی خانواده‌های عزیزمان که همواره یار و یاور ما بوده‌اند، قدردانی می‌کنیم.

*در پایان قابل ذکر است که این اثر، اولین کتاب از مجموعه کتاب‌های **زیر ذره‌بین سری عمران** می‌باشد که به منظور بالا بردن سطح دانش طراحی در کشور تألیف شده است. اطلاعات مربوط به کتاب‌های در دست انتشار را می‌توانید از طریق سایت سری‌عمران به آدرس* **www.serieomran.ir** *پیگیری نمائید.*

باشد که با تألیف این کتاب به شما کمک کنیم تا بتوانید قدم به قدم از این مفاهیم در طراحی صحیح سازه‌ها استفاده کنید.

فهرست

پیش‌فصل مقدمه

A-تاریخچه‌ای از سیر تکامل استاندارد ۲۸۰۰ ..... ۸
B-تغییرات ویرایش چهارم استاندارد ۲۸۰۰ ..... ۸
C-در هر یک از فصل‌های این کتاب، چه خواهیم خواند؟ ۱۶

فصل اول آشنایی با مفاهیم لرزه‌شناسی

قسمت اول: چگونگی وقوع زلزله و آشنایی با مفاهیم اولیه آن ۲۲
A-۱-منشاء زلزله ۲۲
A-۲-گسل ۲۳
A-۳- شناخت امواج ناشی از زلزله ۲۵
A-۴- پیش‌بینی زلزله ۲۷
قسمت دوم: اندازه‌گیری زلزله ۲۹
B-۱-مقیاس‌های سنجش قدرت زلزله ۲۹
B-۲-دستگاه‌های اندازه‌گیری زلزله ۳۲
B-۳- رکوردهای زلزله ۳۵
B-۴-دوره بازگشت زلزله و زلزله‌های مبنای طراحی ۳۷

فصل دوم مفاهیم مقدماتی مرتبط با رفتار سازه‌ها در زلزله

قسمت اول: معرفی انواع سیستم‌های باربر جانبی در سازه‌ها ۴۰
A-۱-مفاهیم اولیه ۴۰
A-۲-سیستم قاب ساختمانی ساده با دیوارهای برشی ۴۱
A-۳-سیستم قاب ساختمانی ساده با مهاربندهای فولادی ۴۳
A-۴-سیستم قاب خمشی ۴۴
A-۵-سیستم‌های دوگانه ۴۴
A-۶-سیستم‌های با کاربرد خاص ۴۵
قسمت دوم: مفاهیم مرتبط با رفتار لرزه‌ای سازه‌ها ۴۷
B-۱-مفاهیم جرم لرزه‌ای و مرکز جرم ۴۷
B-۲-مفاهیم سختی و مرکز سختی ۵۲
B-۳-مفهوم پیچش در سازه ۵۶
قسمت سوم: بررسی مفاهیم منظمی و نامنظمی در سازه‌ها ۵۹
C-۱-مفاهیم مقدماتی ۵۹
C-۲-مفهوم منظمی و نامنظمی در ساختمان ۶۰
C-۳-نامنظمی در پلان ۶۱
C-۴-نامنظمی در ارتفاع ۷۱

قسمت چهارم: توصیه‌هایی کلی برای دستیابی به سازه‌های مقاوم در برابر زلزله ۷۹
D-۱-ملاحظات معماری ۷۹
D-۲-ملاحظات سازه‌ای ۸۲

فصل سوم پارامترهای اساسی در محاسبات زلزله

قسمت اول: رابطه بنیادی برش پایه در محاسبات زلزله ۸۸
قسمت دوم: محاسبه زمان تناوب در سازه‌ها ۹۰
B-۱-تراز پایه ۹۰
B-۲-ارتفاع محاسباتی ساختمان ۹۵
B-۳-مفهوم اولیه زمان تناوب ۹۶
B-۴- زمان تناوب تجربی نوسانات سازه‌های ساختمانی متعارف ۹۹
B-۵- زمان تناوب ساختمان‌های غیرمتعارف ۱۰۲
قسمت سوم: آشنایی با پارامترهای A و I در محاسبات زلزله ۱۰۳
C-۱-آشنایی با ضریب اهمیت ساختمان (I) ۱۰۳
C-۲-آشنایی با ضریب شتاب مبنای طرح (A) ۱۰۶
قسمت چهارم: ضریب بازتاب ساختمان ۱۰۸
D-۱-مفهوم ضریب بازتاب ساختمان ۱۰۸
D-۲-طبقه‌بندی انواع خاک‌ها ۱۰۹
D-۳-محاسبه ضریب بازتاب ساختمان ۱۱۲
D-۴-نکات مفهومی درباره ضریب بازتاب در ویرایش چهارم استاندارد ۲۸۰۰ ..... ۱۱۴
قسمت پنجم: ضریب رفتار سازه ۱۱۸
E-۱-آشنایی با مفهوم ضریب رفتار ۱۱۸
E-۲-بررسی عوامل مؤثر بر ضریب رفتار در سازه‌ها ۱۱۹
E-۳-مقدار ضریب رفتار در سازه‌های مختلف ۱۲۴
قسمت ششم: بررسی چند موضوع دیگر در استاندارد ۲۸۰۰ ..... ۱۲۸
F-۱-اهداف استاندارد ۲۸۰۰ ..... ۱۲۸
F-۲-محدودیت در احداث ساختمان‌های نامنظم ۱۲۸
F-۳-طیف طرح استاندارد ۲۸۰۰ ..... ۱۲۹

فصل چهارم روش تحلیل استاتیکی معادل

قسمت اول: کلیاتی درباره محاسبات سازه در برابر زلزله ۱۳۴
A-۱-مفاهیم اولیه ۱۳۴
A-۲-آشنایی با انواع روش‌های محاسبه نیروی زلزله ۱۳۵
A-۳-معرفی روش تحلیل استاتیکی معادل ۱۳۷
A-۴-معرفی روش تحلیل تاریخچه زمانی ۱۳۷
A-۵-معرفی روش تحلیل طیفی ۱۳۸
A-۶-روش‌های مجاز برای تحلیل خطی سازه‌ها در برابر نیروی زلزله ۱۳۹

قسمت دوم: روش تحلیل استاتیکی معادل ۱۴۰
B-۱-آشنایی با روند کلی روش تحلیل استاتیکی معادل ۱۴۰
B-۲-محاسبه برش پایه (مرحله اول از روش استاتیکی معادل) ۱۴۱
B-۳- توزیع برش پایه در ارتفاع سازه (مرحله دوم از روش استاتیکی معادل) ۱۴۲
B-۴- توزیع نیرو در پلان سازه (مرحله سوم از روش استاتیکی معادل) ۱۴۴
قسمت سوم: آشنایی با چند ضریب جدید در استاندارد ۲۸۰۰ ..... ۱۵۲
C-۱-آشنایی با ضریب درجه نامعینی (ρ) ۱۵۲
C-۲-آشنایی با ضریب اضافه مقاومت ($\Omega_.$) ۱۵۶
C-۳-آشنایی با ضریب بزرگنمایی تغییرمکان (C_d) ۱۵۷
قسمت چهارم: ضوابط مرتبط با ترکیب سیستم‌های سازه‌ای ۱۵۹
D-۱-ترکیب سیستم‌های سازه‌ای در پلان ساختمان ۱۵۹
D-۲-ترکیب سیستم‌های سازه‌ای در ارتفاع ساختمان ۱۶۱
قسمت پنجم: تأثیر نیروی زلزله در راستاهای مختلف و ترکیب آنها با یکدیگر ۱۶۵
E-۱-اثر زلزله قائم بر سازه ۱۶۵
E-۲-آشنایی با قاعده صد-سی (۳۰-۱۰۰) ۱۶۸
E-۳-اثر توأم نیروی افقی و قائم زلزله ۱۷۱
E-۴-ترکیب بارهای طراحی ۱۷۲
قسمت ششم: روش ساده شده تحلیل و طراحی ۱۷۸
F-۱- مفاهیم اولیه ۱۷۸
F-۲-شرایط استفاده از روش ساده شده تحلیل و طراحی ۱۷۸
F-۳-محاسبه برش پایه در روش ساده شده تحلیل و طراحی ۱۷۹
F-۴-توزیع نیروی جانبی زلزله در ارتفاع و پلان ساختمان در روش ساده شده تحلیل و طراحی ۱۷۹

فصل پنجم روش‌های تحلیل دینامیکی خطی

قسمت اول: کلیاتی درباره روش‌های تحلیل دینامیکی ۱۸۴
A-۱-معرفی روش‌های تحلیل دینامیکی ۱۸۴
A-۲-معرفی تمرین پایه‌ای ۱۸۵
قسمت دوم: مفاهیم بنیادی روش تحلیل طیفی ۱۸۷
B-۱-مقدمه ۱۸۷
B-۲-مفهوم مودهای ارتعاش یک سازه ۱۸۷
B-۳-محاسبه زمان تناوب مودهای ارتعاش یک سازه ۱۹۰
B-۴-نحوه محاسبه چند پارامتر دیگر مرتبط با مودهای ارتعاش یک سازه ۱۹۵
B-۵- محاسبه نیروهای وارد بر طبقات سازه در هر مود ارتعاشی ۱۹۸
قسمت سوم: روش تحلیل طیفی در استاندارد ۲۸۰۰ ..... ۲۰۳
C-۱- تحلیل مودال سازه ۲۰۳
C-۲-محاسبه پاسخ‌های سازه در هر مود ارتعاشی ۲۰۴
C-۳-ترکیب آثار مودها ۲۰۵
C-۴-اصلاح مقادیر بازتاب‌ها ۲۱۰
C-۵-سایر ضوابط تحلیل طیفی ۲۱۳
قسمت چهارم: روش تحلیل تاریخچه زمانی ۲۱۴
D-۱-کلیات روش تحلیل تاریخچه زمانی ۲۱۴
D-۲-انتخاب شتاب‌نگاشت‌ها ۲۱۴
D-۳-مقیاس کردن شتاب‌نگاشت‌ها ۲۱۸
D-۴-تحلیل سازه تحت شتاب‌نگاشت‌های مقیاس شده ۲۲۳
D-۵-اصلاح مقادیر بازتاب‌ها و محاسبه نتایج نهایی ۲۲۴

فصل ششم کنترل‌های لرزه‌ای سازه‌های ساختمانی

قسمت اول: کنترل تغییرمکان‌های جانبی در سازه‌ها ۲۲۸
A-۱-مفاهیم مقدماتی ۲۲۸
A-۲-عوامل مؤثر بر تغییرمکان‌های جانبی سازه ۲۲۹
A-۳-اثر $P-\Delta$ و شاخص پایداری ۲۳۰
A-۴-محاسبه تغییرمکان جانبی نسبی غیرخطی ۲۳۳
A-۵-تأثیر ترک‌خوردگی مقاطع بتنی در محاسبه تغییرمکان‌های جانبی سازه ۲۳۴
A-۶-کنترل تغییرمکان‌های جانبی نسبی در سازه ۲۳۴
قسمت دوم: چند کنترل متداول دیگر در استاندارد ۲۸۰۰ ..... ۲۳۶
B-۱-کنترل واژگونی ۲۳۶
B-۲-کنترل عرض درز انقطاع ۲۳۸
B-۳-کنترل مجزای سیستم‌های باربر جانبی در قاب‌های دوگانه ۲۴۲
قسمت سوم: کنترل‌های خاص در استاندارد ۲۸۰۰ ..... ۲۴۴
C-۱-کنترل سازه برای بار زلزله سطح بهره‌برداری ۲۴۴
C-۲-کنترل بار زلزله افزایش یافته در اعضای خاص ۲۴۷
C-۳-کنترل اعضای زیر تراز پایه تا روی شالوده ۲۵۰
C-۴-کنترل اجزایی که جزئی از سیستم باربر جانبی نیستند ۲۵۱
قسمت چهارم: کنترل ضوابط مرتبط با دیافراگم‌ها ۲۵۲
D-۱-آشنایی با مفهوم دیافراگم ۲۵۲
D-۲-اجزای تشکیل دهنده دیافراگم ۲۵۴
D-۳-تعیین صلبیت دیافراگم ۲۵۷
D-۴-نحوه توزیع نیروی جانبی بین عناصر باربر قائم در انواع دیافراگم‌ها ۲۵۹
D-۵-روش تقریبی تحلیل دیافراگم‌ها ۲۶۱
D-۶-تعیین نیروهای طراحی دیافراگم ۲۶۴
D-۷-نکات طراحی دیافراگم‌ها ۲۶۶

فصل هفتم ضوابط طراحی لرزه‌ای اجزای غیرسازه‌ای

قسمت اول: آشنایی با انواع اجزای غیرسازه‌ای ۲۷۴
A-۱-معرفی اجزای غیرسازه‌ای ۲۷۴
A-۲-اهمیت طراحی لرزه‌ای اجزای غیرسازه‌ای ۲۷۷
قسمت دوم: طراحی اجزای غیرسازه‌ای برای نیرو و تغییرمکان ۲۷۹
B-۱- محدوده کاربرد ضوابط طراحی لرزه‌ای برای اجزای غیرسازه‌ای ۲۷۹
B-۲-فلسفه طراحی اجزای غیرسازه‌ای ۲۸۰
B-۳- نیروی جانبی مؤثر زلزله وارد بر اجزای غیرسازه‌ای ۲۸۲
B-۴- تأثیر تغییرمکان‌های جانبی بر اجزای غیرسازه‌ای ۲۸۹
قسمت سوم: ضوابط تکمیلی در طراحی لرزه‌ای اجزای غیرسازه‌ای ۲۹۱
C-۱- مهار اجزای غیرسازه‌ای ۲۹۱
C-۲- ضوابط خاص اجزای معماری ۲۹۱
C-۳-ضوابط خاص اجزای مکانیکی و برقی ۲۹۴

فصل هشتم ضوابط طراحی لرزه‌ای سازه‌های غیرساختمانی

قسمت اول: آشنایی با سازه‌های غیرساختمانی ۲۹۶
A-۱-مفاهیم اولیه ۲۹۶
A-۲- دسته‌بندی سازه‌های غیرساختمانی ۲۹۸
قسمت دوم: پارامترهای لازم برای طراحی لرزه‌ای سازه‌های غیرساختمانی ۳۰۰
B-۱-وزن مؤثر لرزه‌ای ۳۰۰
B-۲- زمان تناوب ۳۰۰
B-۳-پارامترهای A ، B و I ۳۰۳
B-۴- ضریب رفتار سازه (R_u) و پارامترهای Ω. و C_d ۳۰۳
قسمت سوم: روش‌های محاسبه نیروی جانبی زلزله در سازه‌های غیرساختمانی ۳۰۶
C-۱- محاسبه نیروی جانبی مؤثر بر سازه‌های غیرساختمانی مشابه ساختمان‌ها ۳۰۶
C-۲- محاسبه نیروی جانبی مؤثر بر سازه‌های غیرساختمانی غیرمشابه ساختمان‌ها و متکی بر زمین ۳۰۹
C-۳- محاسبه نیروی جانبی مؤثر بر سازه‌های غیرساختمانی غیرمشابه ساختمان‌ها و متکی بر سازه‌های دیگر ۳۰۹
C-۴- ضوابط عمومی تکمیلی برای طراحی سازه‌های غیرساختمانی ۳۱۳

فصل نهم الزامات ژئوتکنیکی

قسمت اول: توصیه‌های اولیه مرتبط با الزامات ژئوتکنیکی ۳۲۰
A-۱-شناسایی ژئوتکنیکی ۳۲۰
A-۲- گسلش ۳۲۲
A-۳- فرونشست ۳۲۳
قسمت دوم: بررسی پدیده‌های روانگرایی و گسترش جانبی ۳۲۵
B-۱-مفهوم پدیده روانگرایی ۳۲۵
B-۲-کنترل روانگرایی خاک ۳۲۶
B-۳-مفهوم گسترش جانبی ۳۲۹
B-۴- روش‌های کاهش خطرات ناشی از روانگرایی و گسترش جانبی ۳۳۰
قسمت سوم: مصادیق تأثیر زلزله در تحلیل و طراحی ژئوتکنیکی ۳۳۳
C-۱- دیوار نگهبان ۳۳۳
C-۲-زمین‌لغزش ۳۳۴
C-۳-بزرگنمایی ناشی از توپوگرافی ۳۳۶

فصل دهم ضوابط ساختمان‌های با مصالح بنایی کلاف‌دار

قسمت اول: آشنایی با انواع ساختمان‌های بنایی ۳۴۰
قسمت دوم: ضوابط معماری در ساختمان‌های بنایی کلاف‌دار ۳۴۲
قسمت سوم: ضوابط شالوده و کرسی‌چینی در ساختمان‌های بنایی کلاف‌دار ۳۴۹
قسمت چهارم: ضوابط سازه‌ای در ساختمان‌های بنایی کلاف‌دار ۳۵۲
قسمت پنجم: ضوابط اجزای غیرسازه‌ای در ساختمان‌های بنایی کلاف‌دار ۳۶۵

پیوست اول اندرکنش خاک و سازه

قسمت اول: آشنایی با مفهوم اندرکنش خاک و سازه ۳۶۸
قسمت دوم: اندرکنش خاک و سازه در روش تحلیل استاتیکی معادل ۳۷۳
قسمت سوم: اندرکنش خاک و سازه در روش تحلیل طیفی ۳۸۳

پیوست دوم درجه‌بندی خطر نسبی زلزله در شهرها و نقاط مهم ایران

پیوست سوم راهنمای انجام روش‌های تحلیل غیرخطی

(به سایت سری عمران مراجعه شود www.serieomran.ir)

پیوست چهارم معرفی سیستم‌های سازه‌ای

(به سایت سری عمران مراجعه شود www.serieomran.ir)

C- در هر یک از فصل‌های این کتاب، چه خواهیم خواند؟

کتاب حاضر شامل (۱۰) فصل و (۴) پیوست می‌باشد که همهٔ ضوابط ارائه شده در ویرایش چهارم استاندارد ۲۸۰۰ را با دسته‌بندی ویژه‌ای به‌طور کامل پوشش می‌دهد. در ادامهٔ این توضیحات، خلاصه‌ای از مطالب ارائه شده در هر یک از فصل‌های این کتاب را برای شما مهندسان عزیز بیان می‌کنیم.

فصل اول: آشنایی با مفاهیم لرزه‌شناسی

در این فصل به دنبال آن هستیم که در اولین قدم، مروری کوتاه بر شناخت پدیدهٔ زلزله و نحوهٔ وقوع آن داشته باشیم. همچنین شما را با انواع گسل‌ها آشنا کرده و امواج ایجاد شده در زمین در هنگام وقوع زلزله را خواهیم شناخت. سپس روش‌های اندازه‌گیری شدت و بزرگای زلزله و همچنین دستگاه‌های ثبت زلزله را برای شما معرفی کرده و در آخرین قدم مفاهیمی مانند دورهٔ بازگشت زلزله و زلزله‌های مبنای طراحی در ویرایش چهارم استاندارد ۲۸۰۰ را بیان می‌کنیم. دقت داشته باشید که این فصل دید مهندسی بسیار خوبی را در ذهن شما عزیزان ایجاد خواهد کرد.

فصل دوم: مفاهیم مقدماتی مرتبط با رفتار سازه‌ها در زلزله

در این فصل مفاهیم مقدماتی اما بسیار مهم از استاندارد ۲۸۰۰ را برای شما تشریح می‌کنیم. به همین منظور در ابتدا مروری کوتاه بر سیستم‌های سازه‌ای مطرح شده در ویرایش چهارم استاندارد ۲۸۰۰ داشته و در ادامه مفاهیمی مانند وزن لرزه‌ای، مرکز جرم و مرکز سختی را خواهیم شناخت تا بتوانیم وارد بحث بسیار مهم نامنظمی در سازه‌ها شویم. سپس به‌طور کامل در مورد انواع موارد نامنظمی در پلان و نامنظمی در ارتفاع سازه بحث می‌کنیم که بسیاری از آنها به تازگی به استاندارد ۲۸۰۰ اضافه شده‌اند. در آخرین قدم نیز توصیه‌های کلی ویرایش چهارم استاندارد ۲۸۰۰ برای دستیابی به سازه‌هایی مقاوم در برابر زلزله که در حیطهٔ توصیه‌های سازه‌ای و معماری می‌باشد را به‌طور مفهومی بررسی خواهیم کرد.

فصل سوم: پارامترهای اساسی در محاسبات زلزله

این فصل، بحث بسیار جالبی را در مورد پارامترهای اساسی که در محاسبات نیروی زلزله کاربرد دارند، دنبال می‌کند. برای این منظور در اولین قدم، یک نگاه مفهومی و جذاب در مورد شیوهٔ محاسبهٔ رابطهٔ $V_u = \frac{ABI}{R_u}W$ ارائه می‌شود. در قدم بعد، نحوهٔ تعیین تراز پایهٔ ساختمان را یاد گرفته، پارامتر زمان تناوب را به شما معرفی کرده و بندهای مرتبط با آن در ویرایش چهارم استاندارد ۲۸۰۰ را به‌طور کامل بررسی می‌کنیم. قابل ذکر است که مطالب مربوط به این بحث در ویرایش جدید آیین‌نامه، تغییرات زیادی داشته است. در ادامهٔ این فصل در مورد ضوابط مرتبط با به دست آوردن پارامترهای A، I و B بحث می‌کنیم و در نهایت نیز پارامتر ضریب رفتار و عوامل مؤثر بر آن را به‌صورت کاملاً مفهومی تحلیل خواهیم کرد. مهندسان عزیز توجه داشته باشید که طیف مربوط به ضریب بازتاب (B) در ویرایش جدید آیین‌نامه تغییرات قابل توجهی داشته و از طرفی ضریب رفتار مورد استفاده در ویرایش چهارم، به جای تفکر تنش مجاز، بر مبنای تفکر حالت مقاومت ارائه شده است که این موضوع باعث ایجاد اصلاحات زیادی در روند تحلیل و طراحی سازه‌ها نسبت به ویرایش سوم می‌شود.

فصل چهارم: روش تحلیل استاتیکی معادل

در این فصل در اولین قدم، شما را با کلیاتی در مورد روش‌های تحلیل سازه در برابر زلزله آشنا می‌کنیم. در قدم بعد، روش تحلیل استاتیکی معادل و مراحل انجام آن را بر مبنای ویرایش چهارم استاندارد ۲۸۰۰ به‌طور کامل برای شما شرح می‌دهیم. دقت شود که شیوهٔ توزیع نیرو در ارتفاع سازه در ویرایش چهارم استاندارد ۲۸۰۰، نسبت به ویرایش سوم تفاوت زیادی دارد. در ادامهٔ این فصل، مفهوم چند ضریب جدید در ویرایش چهارم استاندارد ۲۸۰۰ (ضرایب ρ، Ω_0 و C_d) را به‌طور مفصل بیان می‌کنیم. سپس بحث‌های بسیار مفهومی و مهمی را در مورد ترکیب سیستم‌های سازه‌ای در پلان و ارتفاع سازه مطرح خواهیم کرد که در ویرایش چهارم استاندارد ۲۸۰۰ نسبت به ویرایش‌های قبلی بسیار کامل‌تر شده است. در انتهای فصل نیز نحوهٔ تأثیر نیروی زلزله در راستای قائم و قاعدهٔ معروف صد - سی (۳۰-۱۰۰) را شرح داده و ترکیب بارهای مورد نیاز برای طراحی انواع سازه‌ها را با توجه به مبحث ششم مقررات ملی ساختمان با یکدیگر بررسی خواهیم کرد. مهندسان گرامی توجه کنید که نحوهٔ اعمال اثر بارهای قائم بر سازه‌ها، تغییرات زیادی در ویرایش چهارم داشته و همچنین رویکرد استفاده از ترکیب بارهای طراحی سازه‌ها نیز تغییر کرده است. در این فصل علاوه بر مطالب بیان شده، با یک روش ساده شده برای تحلیل برخی از ساختمان‌های کوتاه و منظم در برابر نیروی زلزله که به تازگی به استاندارد ۲۸۰۰ افزوده شده است، آشنا خواهیم شد.

فصل پنجم: روش‌های تحلیل دینامیکی خطی

در این فصل با توجه به ضعف‌های مفهومی بسیاری از مهندسان دربارهٔ روش‌های تحلیل دینامیکی، در ابتدا می‌خواهیم شما را با نحوهٔ انجام تحلیل مودال سازه با سبکی کاملاً روان آشنا کنیم. به همین منظور در اولین قدم، مراحل انجام روش تحلیل طیفی را به شما عزیزان آموزش می‌دهیم و سپس نکات آیین‌نامه‌ای مرتبط با آن را شرح خواهیم داد. در نهایت نیز نکات مرتبط با روش تحلیل تاریخچه زمانی را بررسی کرده و مراحل انجام آن را به‌صورت قدم به قدم و با استفاده از رکوردهای زلزلهٔ واقعی به شما یاد می‌دهیم.

فصل ششم: کنترل‌های لرزه‌ای سازه‌های ساختمانی

با توجه به اهمیت مطالب مورد بحث در این فصل، می‌توان آن را یکی از مهمترین فصل‌های کتاب در پروژه‌های حرفه‌ای طراحی دانست. در این فصل در اولین قدم، شما را با عوامل مؤثر بر تغییرمکان جانبی سازه (مانند اثر $P-\Delta$، رفتار غیرخطی مصالح و ترک‌خوردگی مقاطع بتنی) آشنا کرده و پس از شرح کامل آنها، نحوهٔ کنترل تغییرمکان‌های جانبی نسبی ساختمان را با توجه به ضوابط ویرایش چهارم استاندارد ۲۸۰۰ بررسی خواهیم کرد. در قدم بعدی، نحوهٔ انجام چند کنترل متداول مانند واژگونی، درز انقطاع و کنترل عملکرد سیستم‌های دوگانه در ویرایش چهارم استاندارد ۲۸۰۰ را یاد می‌گیریم. سپس کنترل‌های خاص در ویرایش چهارم استاندارد ۲۸۰۰ مانند کنترل سازه در زلزلهٔ سطح بهره‌برداری، کنترل بار زلزلهٔ افزایش یافته در اعضای خاص، کنترل اعضایی که در زیر تراز پایه تا روی شالوده قرار دارند و نیز کنترل اعضایی که جزئی از سیستم باربر جانبی سازه نیستند، مطرح خواهیم کرد. همچنین در انتهای این فصل، در یک بخش کاملاً مفصل و جذاب، شما را با مفهوم بسیار مهم دیافراگم در سازه و نحوهٔ عملکرد اجزای آن آشنا کرده و ضوابط طراحی آن در استاندارد ۲۸۰۰ را به‌طور کامل بررسی خواهیم کرد.

فصل هفتم: ضوابط طراحی لرزه‌ای اجزای غیرسازه‌ای

ضوابط طراحی اجزای غیرسازه‌ای که پیش از این به‌صورت چند بند مختصر در ویرایش سوم ارائه شده بود، در ویرایش چهارم استاندارد ۲۸۰۰ اهمیت بسیار بیشتری یافته و در قالب یک فصل مجزا ارائه شده است. در فصل هفتم این کتاب، ابتدا با انواع اجزای غیرسازه‌ای آشنا می‌شویم، سپس با یک بحث مفهومی و مهندسی، نحوهٔ طراحی اجزای غیرسازه‌ای را برای اثرات نیرویی و تغییرمکانی ناشی از زلزله خواهیم شناخت. در انتها نیز ضوابط تکمیلی مرتبط با طراحی لرزه‌ای اجزای غیرسازه‌ای را یاد می‌گیریم. دقت داشته باشید که کنترل ضوابط این فصل برای بسیاری از ساختمان‌های با اهمیت و یا سازه‌های بلند الزامی می‌باشد.

فصل هشتم: ضوابط طراحی لرزه‌ای سازه‌های غیرساختمانی

ضوابط مرتبط با سازه‌های غیرساختمانی که گسترهٔ زیادی از سازه‌های صنعتی و کارخانه‌ای را در بر می‌گیرند، در ویرایش چهارم استاندارد ۲۸۰۰ در قالب یک فصل مجزا ارائه شده است. در فصل هشتم این کتاب، ابتدا با انواع سازه‌های غیرساختمانی و نحوهٔ مشابهت آنها با سازه‌های ساختمانی بحث می‌کنیم که موضوعی بسیار مهم و مفهومی می‌باشد. سپس نحوهٔ تعیین پارامترهایی نظیر زمان تناوب، وزن مؤثر لرزه‌ای و ضریب رفتار را که برای تحلیل و طراحی لرزه‌ای این سازه‌ها مورد نیاز می‌باشد، به شما عزیزان یاد خواهیم داد. در انتهای این فصل در یک بخش مجزا، روش‌های مختلفی که برای محاسبهٔ نیروی جانبی زلزله در سازه‌های غیرساختمانی استفاده می‌شود را به‌صورت کاملاً مفهومی بررسی می‌کنیم.

فصل نهم: الزامات ژئوتکنیکی

بحث الزامات ژئوتکنیکی موضوعی است که در ویرایش چهارم استاندارد ۲۸۰۰ اهمیتی دو چندان نسبت به ویرایش سوم پیدا کرده و فصلی مجزا به آن اختصاص داده شده است. در این فصل که موضوعات متنوعی در آن مطرح می‌شود، در قدم اول به بررسی نحوهٔ شناسایی زمین برای انجام مطالعات ژئوتکنیکی پرداخته و سپس ضوابط مرتبط با پدیده‌های گسلش و فرونشست را با یکدیگر یاد می‌گیریم. در ادامه دربارهٔ پدیدهٔ جالب اما مخرب روانگرایی صحبت خواهیم کرد و همچنین پدیدهٔ گسترش جانبی را که ناشی از روانگرایی می‌باشد بررسی می‌کنیم. در انتهای این فصل نیز مباحث مرتبط با دیوار نگهبان خاک، پدیدهٔ زمین‌لغزش و موضوع بزرگنمایی ناشی از توپوگرافی را بیان خواهیم کرد.

فصل دهم: ضوابط ساختمان‌های با مصالح بنایی کلاف‌دار

در ویرایش چهارم استاندارد ۲۸۰۰، ضوابط ساختمان‌های با مصالح بنایی کلاف‌دار به‌صورت مفصل‌تر و با جزئیات بیشتری نسبت به ویرایش سوم آیین‌نامه ارائه شده است. در تشریح مباحث این فصل، ابتدا با انواع ساختمان‌های با مصالح بنایی آشنا شده و سپس ضوابط مرتبط با طرح معماری آنها را بررسی خواهیم کرد. در ادامه، ضوابط مربوط به شالوده و کرسی‌چینی در ساختمان‌های بنایی را بحث می‌کنیم و سپس در یک قسمت مفصل، به شرح ضوابط سازه‌ای این ساختمان‌ها که در سه بخش کلاف، دیوار و سقف مطرح می‌شود می‌پردازیم. در انتها نیز ضوابط اجزای غیرسازه‌ای در ساختمان‌های بنایی را یاد خواهیم گرفت.

پیوست اول: اندرکنش خاک و سازه

بحث اندرکنش خاک و سازه، موضوع جدید و جالبی است که در ویرایش چهارم استاندارد ۲۸۰۰ به آن پرداخته شده و می‌تواند در طراحی بهینهٔ برخی از ساختمان‌ها مؤثر باشد. در این فصل در گام نخست، با مفهوم اندرکنش خاک و سازه آشنا شده و فلسفهٔ تأثیر آن بر نتایج تحلیل سازه را بررسی می‌کنیم. در گام بعدی، نگاهی ریزبینانه و دقیق به چگونگی اعمال اندرکنش خاک و سازه در روش تحلیل استاتیکی معادل می‌اندازیم و در پایان نیز با رویکرد اندرکنش خاک و سازه در تحلیل طیفی سازه‌ها آشنا می‌شویم.

پیوست دوم: درجه‌بندی خطر نسبی زلزله در شهرها و نقاط مهم ایران

در این پیوست، درجه‌بندی خطر نسبی زلزله را برای شهرها و نقاط مختلف ایران که می‌تواند از نوع کم، متوسط، زیاد یا خیلی زیاد باشد، در قالب جدولی کامل به شما عزیزان ارائه می‌دهیم. دقت کنید که موارد بیان شده در این جدول نسبت به ویرایش سوم آیین‌نامه، بسیار کامل‌تر شده است.

پیوست سوم: راهنمای انجام روش‌های تحلیل غیرخطی

روش‌های تحلیل غیرخطی، موضوعی است که بسیاری از مهندسان از مدت‌ها پیش منتظر ورود آن به استاندارد ۲۸۰۰ بوده‌اند. هر چند این ضوابط در ویرایش سوم این آیین‌نامه در قالب بند مختصری بود، ولی در ویرایش چهارم به‌صورت بسیار کامل‌تر و در قالب یکی از پیوست‌های آیین‌نامه ارائه شده است. در پیوست سوم این کتاب، در ابتدا مفاهیم اولیهٔ مرتبط با تحلیل‌های غیرخطی را معرفی کرده و دلیل رفتار غیرخطی سازه‌ها را شرح خواهیم داد. سپس با یک رویکرد جذاب و مفهومی، روش تحلیل استاتیکی غیرخطی (روش پوش‌آور) را به شما عزیزان یاد داده و ضوابط مرتبط با آن را در ویرایش چهارم استاندارد ۲۸۰۰ بیان می‌کنیم. در انتهای این پیوست نیز، ضوابط تحلیل تاریخچه زمانی غیرخطی را بررسی خواهیم کرد.

پیوست چهارم: معرفی سیستم‌های سازه‌ای

در این پیوست قصد داریم انواع سیستم‌های سازه‌ای را معرفی کرده و دید مهندسی بسیار خوبی را در ذهن شما ایجاد کنیم. به همین دلیل ابتدا سیستم دیوار برشی که می‌تواند به‌صورت دیوار برشی بتن مسلح، دیوار برشی فولادی یا دیوار برشی بنایی باشد را بررسی خواهیم کرد. سپس با انواع مهاربندهای فولادی اعم از مهاربندهای همگرا یا واگرا آشنا شده و نحوهٔ عملکرد سیستم نوین مهاربندهای کمانش‌تاب را برای شما معرفی می‌کنیم. در قدم بعد، سیستم قاب خمشی فولادی و بتنی را شرح داده و با سیستم دوگانه آشنا می‌شویم. در انتها نیز چند سیستم با کاربرد خاص که در ویرایش چهارم استاندارد ۲۸۰۰ معرفی شده‌اند را بررسی می‌کنیم که شامل سیستم قاب سبک فولادی (LSF)، سیستم دیوارهای بتن پاششی سه بعدی و سیستم کنسولی می‌باشند.

تذکر: مهندسان عزیز توجه داشته باشید که پیوست‌های سوم و چهارم این کتاب به‌صورت فایل PDF در سایت مؤسسه سری عمران به نشانی www.serieomran.ir قرار گرفته است که می‌توانید به‌صورت رایگان آن را دانلود کرده و مطالعه کنید.

سری عمران

فصل سوم

پارامترهای اساسی در محاسبات زلزله

قسمت اول: رابطهٔ بنیادی برش پایه در محاسبات زلزله

قسمت دوم: محاسبهٔ زمان تناوب در سازه‌ها

قسمت سوم: آشنایی با پارامترهای A و I در محاسبات زلزله

قسمت چهارم: ضریب بازتاب ساختمان

قسمت پنجم: ضریب رفتار سازه

قسمت ششم: بررسی چند موضوع دیگر در استاندارد ۲۸۰۰

قسمت چهارم: ضریب بازتاب ساختمان

در این قسمت از فصل، چه خواهیم خواند؟

ضریب بازتاب (B) در روند طراحی ساختمان، یک پارامتر بسیار مهم است که به نوعی میزان شتاب ایجاد شده در سازه هنگام رخ دادن زلزله را به ما نشان می‌دهد. این ضریب به ویژگی‌های خاک و سازه وابسته بوده که در این قسمت از فصل، به بررسی آن می‌پردازیم.

D-۱- مفهوم ضریب بازتاب ساختمان

به‌طور کلی در علم مهندسی زلزله فرض می‌شود که در هنگام وقوع زمین‌لرزه، سنگ بستر زمین که در زیر لایه‌های خاک قرار دارد، با شتاب a_g نوسان می‌کند و این ارتعاش پس از عبور از خاک به سازه رسیده و باعث ارتعاش آن می‌شود. از سوی دیگر می‌دانیم که در محاسبات ساختمان تحت امواج زلزله، شتاب ایجاد شده در سازه برای ما بسیار حائز اهمیت است و به دنبال یافتن آن هستیم (زیرا حاصل‌ضرب شتاب سازه در جرم آن، نیروی جانبی ایجاد شده در سازه را نتیجه می‌دهد). در مهندسی زلزله، شتاب سازه را به‌صورت ضریبی از شتاب سنگ بستر نشان می‌دهند که این ضریب، «**ضریب بازتاب ساختمان**» نام دارد و به‌صورت مفهومی از رابطه‌ای به فرم کلی زیر به‌دست می‌آید:

شتاب سنگ بستر × ضریب بازتاب = شتاب سازه

$$\Rightarrow \text{ضریب بازتاب} = \frac{\text{شتاب سازه}}{\text{شتاب سنگ بستر}} \qquad (۱۳)$$

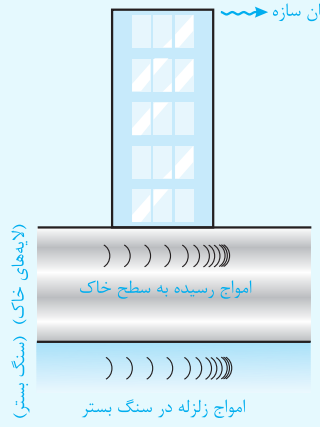
نگاه مفهومی

به شکل زیر دقت کنید. در یک نگاه مفهومی می‌توان گفت که انتقال امواج ناشی از زلزله از سنگ بستر تا بالای سازه، در دو فاز انجام می‌گیرد:

فاز اول: انتقال امواج از سنگ بستر تا سطح زمین

فاز دوم: انتقال امواج از سطح زمین تا بالای سازه

بنابراین برای پیدا کردن شتاب سازه که به‌صورت ضریبی از شتاب سنگ بستر است، ویژگی‌های لایه‌های خاک و سازه هر دو تأثیرگذار می‌باشند.



شکل ۱۲: رسیدن امواج از سنگ بستر به سازه

زیر شاخه‌های اصلی قسمت چهارم

D-۱- مفهوم ضریب بازتاب ساختمان

D-۲- طبقه‌بندی انواع خاک‌ها

D-۳- محاسبهٔ ضریب بازتاب ساختمان

D-۴- نکات مفهومی دربارهٔ ضریب بازتاب در ویرایش چهارم استاندارد ۲۸۰۰

تحقیقات نشان می‌دهد که مهمترین عوامل تأثیرگذار روی ضریب بازتاب ساختمان و در نتیجه روی شتاب سازه در هنگام زلزله، موارد زیر می‌باشند:

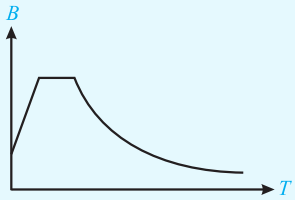
۱) **نوع خاک:** امواج زلزله برای رسیدن به سازه باید از لایه‌های خاک عبور کنند. با توجه به مفاهیم ژئوتکنیک لرزه‌ای، ویژگی‌های خاک می‌تواند بر روی این امواج تأثیر گذاشته و شتابی که به سازه می‌رسد را نسبت به شتاب سنگ بستر تغییر دهد.

۲) **ویژگی‌های سازه:** سختی سازه بر روی نحوهٔ ارتعاش و شتاب آن تأثیر می‌گذارد. به‌عنوان مثال ساختمان‌های بلند در مقایسه با ساختمان‌های کوتاه با زمان تناوب بیشتری نوسان می‌کنند که این موضوع می‌تواند باعث تفاوت شتاب این سازه‌ها نسبت به سازه‌های کوتاه شود.

پارامتر اصلی که تأثیر نوع خاک بر روی امواج زلزله را بیان می‌کند، سرعت موج برشی در خاک است که در ادامهٔ این قسمت از فصل آن را به‌طور کامل بررسی خواهیم کرد. از طرف دیگر، پارامتر اصلی که تأثیر ویژگی‌های سازه را بر روی امواج زلزله بیان می‌کند، زمان تناوب سازه است که در ابتدای این فصل با آن آشنا شدیم.

دید اولیه

مقدار ضریب بازتاب ساختمان که در بخش‌های بعد با نحوهٔ تعیین آن آشنا خواهیم شد، از نمودارهایی که شکل کلی آنها به‌صورت مقابل است به‌دست می‌آید که دربارهٔ آن می‌توان به چند نکتهٔ زیر اشاره کرد:



شکل ۱۳: شکل کلی نمودار ضریب بازتاب

۱- ضریب بازتاب با پارامتر B نشان داده می‌شود که مقدار آن در نمودار مقابل، بر حسب مقدار زمان تناوب اصلی ساختمان (T) بیان می‌شود.

۲- از آنجاکه براساس نمودار فوق، مقدار ضریب B بر حسب مقادیر مختلف T به‌دست می‌آید، به آن اصطلاحاً **طیف بازتاب ساختمان** (یا بعضاً طیف زلزله) گفته می‌شود.

D-۲- طبقه‌بندی انواع خاک‌ها

برای آنکه بفهمیم نقش نوع خاک و ویژگی‌های آن بر روی ضریب بازتاب ساختمان چگونه است، باید بتوانیم در اولین گام، خاک‌ها را متناسب با سختی آنها گروه‌بندی کنیم. ویرایش چهارم استاندارد ۲۸۰۰، برای گروه‌بندی خاک‌ها از پارامتر سرعت موج برشی در خاک (v_s) استفاده می‌کند که با مفهوم آن در فصل اول آشنا شدیم، دقت شود که این پارامتر را معمولاً توسط آزمایش‌های ژئوفیزیک به‌دست می‌آورند.

نکته: با توجه به ویرایش چهارم استاندارد ۲۸۰۰، در صورت عدم دسترسی به سرعت موج برشی برای یک خاک، می‌توان در خاک‌های دانه‌ای از تعداد ضربات آزمایش نفوذ استاندارد ($\bar{N}_{1(60)}$) و در خاک‌های چسبنده از مقاومت برشی زهکشی نشدهٔ خاک ($\bar{C}_u$) استفاده کرد.

پس از تعیین مقدار $\bar{v}_s$ در خاک (یا معادل آن که پارامترهای $\bar{N}_{1(60)}$ یا $\bar{C}_u$ می‌باشد) با کمک جدول صفحهٔ بعد، خاک‌ها به چهار نوع (یا اصطلاحاً چهار تیپ) شامل انواع I، II، III و IV تقسیم می‌شوند:

جدول ۵: طبقه‌بندی نوع زمین

نوع زمین	توصیف لایه‌بندی زمین	پارامترها		
		$\bar{v}_s\ (m/s)$	$\bar{N}_{1(60)}$	$\bar{C}_u\ (kPa)$
I	**سنگ و شبه سنگ**، شامل سنگ‌های آذرین، دگرگونی و رسوبی و خاک‌های سیمانتهٔ بسیار محکم با حداکثر ۵ متر مصالح ضعیف‌تر تا سطح زمین	>۷۵۰	-	-
II	**خاک خیلی متراکم یا سنگ سست**، شامل شن و ماسهٔ خیلی متراکم، رس بسیار سخت با ضخامت بیشتر از ۳۰ متر که مشخصات مکانیکی آن با افزایش عمق به‌تدریج بهبود یابد. سنگ‌های آذرین و رسوبی سست، مانند توف و یا سنگ متورق و یا کاملاً هوازده	$۳۷۵-۷۵۰$	>۵۰	>۲۵۰
III	**خاک متراکم تا متوسط**، شامل شن و ماسهٔ متراکم تا متوسط یا رس‌های سخت با ضخامت بیشتر از ۳۰ متر	$۱۷۵-۳۷۵$	$۱۵-۵۰$	$۷۰-۲۵۰$
IV	**خاک متوسط تا نرم**، لایه‌های خاک غیر چسبنده یا با کمی خاک چسبنده با تراکم متوسط تا کم، لایه‌های خاک کاملاً چسبندهٔ نرم تا محکم	<۱۷۵	<۱۵	<۷۰

پارامترهای معرفی شده در جدول طبقه‌بندی نوع زمین عبارتند از:

$\bar{v}_s$: متوسط سرعت موج برشی در لایه‌های مختلف خاک تا عمق ۳۰ متری از تراز پایه

$\bar{N}_{1(60)}$: متوسط $N_{1(60)}$ در لایه‌های مختلف خاک تا عمق ۳۰ متری

$N_{1(60)}$: تعداد ضربات نفوذ استاندارد (اصلاح شده برای فشار مؤثر سربار و انرژی)

$\bar{C}_u$: متوسط C_u در لایه‌های مختلف خاک تا عمق ۳۰ متری

C_u: مقاومت برشی زهکشی نشده در خاک‌های چسبنده

نکات تکمیلی در تعیین نوع زمین

همان‌طورکه مشاهده کردید، در جدول ویرایش چهارم استاندارد ۲۸۰۰ به پارامترهای $\bar{v}_s$ ، $\bar{N}_{1(60)}$ و $\bar{C}_u$ اشاره شده است. در تحلیل این موضوع باید گفت که در بسیاری از حالات، خاک زیر سازه چند لایه بوده و هر لایه پارامترهای مربط به خود را دارد. در این‌گونه موارد باید به سه موضوع زیر توجه کرد:

۱) مطابق ویرایش چهارم استاندارد ۲۸۰۰، به‌طور کلی لایه‌های خاک زیر سازه باید تا عمق ۳۰ متری از سطح زمین بررسی شوند.

۲) در محاسبات باید با استفاده از متوسط‌گیری، پارامترهای میانگین را برای ۳۰ متر خاک زیر سازه به‌دست آورد که این اقدام در مورد سرعت موج برشی با توجه به پیشنهاد ویرایش چهارم استاندارد ۲۸۰۰، با کمک رابطهٔ زیر انجام می‌شود:

$$\bar{v}_s = \frac{\sum_{i=1}^{n} d_i}{\sum_{i=1}^{n} \frac{d_i}{v_{s_i}}} \qquad (۱۴)$$

d_i: ضخامت لایهٔ i اُم v_{s_i}: سرعت موج برشی در لایهٔ i اُم n : تعداد لایه‌های خاک

مبحث ۲ بند (۲-۱-۳)
مبحث ۲ بند (۲-۳-۱)

۳ متوسط‌گیری پارامترهای $\bar{N}_{1(60)}$ و C_u نیز در آیین‌نامه‌های معتبر بین‌المللی، به‌صورت مشابه و با کمک روابط زیر انجام می‌شود:

$$\bar{N}_{1(60)} = \frac{\sum_{i=1}^{m} d_i}{\sum_{i=1}^{m} \frac{d_i}{N_{i(60)}}} \quad , \quad \bar{C}_u = \frac{\sum_{i=1}^{k} d_i}{\sum_{i=1}^{k} \frac{d_i}{C_{u_i}}} \qquad (15)$$

در این روابط ، m تعداد لایه‌های خاک دانه‌ای و k تعداد لایه‌های خاک چسبنده است $(n = m + k)$.

دقت: در مواردی‌که در انطباق مشخصات محل ساختگاه با انواع خاک‌های مندرج در جدول (۵) تردیدی وجود داشته باشد، باید نوع زمینی که در نهایت ضریب بازتاب بزرگتری را نتیجه می‌دهد انتخاب کنیم (نحوهٔ تعیین ضریب بازتاب از روی تیپ خاک را در ادامهٔ مطالب این قسمت یاد خواهیم گرفت). به‌طور مثال فرض کنید که تا عمق ۳۰ متری در زیر سازه‌ای، سه لایه خاک غیر چسبنده و دو لایه خاک چسبنده وجود دارد و نتایج سرعت موج برشی نیز برای آنها مشخص نیست. در این حالت پارامتر $\bar{N}_{1(60)}$ برای سه لایهٔ خاک غیرچسبنده و $\bar{C}_u$ برای دو لایهٔ خاک چسبنده به‌دست می‌آید، سپس با استفاده از هر یک از این مقادیر، یک تیپ خاک از روی جدول مشخص می‌شود و در صورتی‌که نتایج این دو حالت در انتخاب نوع زمین متفاوت باشد، حالتی که ضریب بازتاب بزرگتری را نتیجه می‌دهد، ملاک قرار خواهد گرفت.

تذکر: در مواردی‌که جزئیات خصوصیات خاک به حد کافی برای تعیین نوع زمین محل شناخته شده نباشد و داده‌های ژئوتکنیکی خصوصیاتی شبیه زمین نوع IV را در محل نشان ندهد و ساختمان مورد نظر با حداکثر چهار سقف (ارتفاع کمتر از ۱۲ متر) و سطح اشغال حداکثر ۳۰۰ متر مربع باشد، می‌توان زمین موردنظر را نوع III از جدول (۵) انتخاب کرد.

بر مبنای بند (۴-۴-۳-۱۳)

بر مبنای بند (۴-۴-۳-۱۴)

D-۲-۱- پارامترهای مرتبط با خاک برای تعیین ضریب بازتاب

تا اینجای بحث توانسته‌ایم رده‌بندی خاک زیر سازه را تعیین کنیم. پس از انجام این‌کار و قبل از مرحلهٔ تعیین ضریب بازتاب، باید بتوانیم مشخصاتی از خاک زیر سازه را به‌دست آوریم. این مشخصات شامل چهار پارامتر T_0، T_s، S_0 و S می‌باشند که با کمک جدول زیر، بر حسب نوع خاک و میزان خطر لرزه‌خیزی منطقه به‌دست می‌آیند:

جدول ٦: پارامترهای مرتبط با خاک‌ها

نوع زمین	T_0	T_s	خطر نسبی کم و متوسط		خطر نسبی زیاد و خیلی زیاد	
			S	S_0	S	S_0
I	۰/۱	۰/۴	۱/۵	۱	۱/۵	۱
II	۰/۱	۰/۵	۱/۵	۱	۱/۵	۱
III	۰/۱۵	۰/۷	۱/۷۵	۱/۱	۱/۷۵	۱/۱
IV	۰/۱۵	۱/۰	۲/۲۵	۱/۳	۱/۷۵	۱/۱

بر مبنای جدول (۴-۵)

D-۳- محاسبهٔ ضریب بازتاب ساختمان

همان‌طورکه پیش‌تر نیز گفتیم، ضریب بازتاب ساختمان بیانگر نحوهٔ پاسخ ساختمان به حرکت زمین است. براساس ویرایش چهارم استاندارد ۲۸۰۰، این ضریب با استفاده از رابطهٔ زیر تعیین می‌شود:

$$B = B_1 N \quad (۱۶)$$

در این رابطه، B_1 «**ضریب شکل طیف**» و N «**ضریب اصلاح طیف**» نامیده می‌شود که در ادامه نحوهٔ محاسبهٔ آنها را بررسی می‌کنیم.

D-۳-۱- شیوهٔ محاسبهٔ ضریب شکل طیف

ضریب شکل طیف (B_1) با در نظر گرفتن پارامترهای مرتبط با خاک، میزان لرزه‌خیزی منطقه و زمان تناوب سازه، با استفاده از روابط زیر تعیین می‌گردد:

$$\begin{cases} B_1 = S_0 + (S - S_0 + 1)(\frac{T}{T_0}) & 0 \le T \le T_0 \\ B_1 = S + 1 & T_0 < T \le T_s \\ B_1 = (S + 1)(\frac{T_s}{T}) & T > T_s \end{cases} \quad (۱۷)$$

● **دقت:** در این روابط از پارامترهای T_0، T_s، S_0 و S خاک استفاده می‌شود که در بخش قبلی با آنها آشنا شدیم. از طرف دیگر می‌دانیم که در این روابط، پارامتر T نشان‌دهندهٔ زمان تناوب اصلی سازه است.

D-۳-۲- شیوهٔ محاسبهٔ ضریب اصلاح طیف

با توجه به ویرایش چهارم استاندارد ۲۸۰۰، ضریب اصلاح طیف (N) به شرح زیر تعیین می‌شود:

الف) برای پهنه‌های با خطر نسبی خیلی زیاد و زیاد:

$$\begin{cases} N = 1 & T \le T_s \\ N = \frac{0/7}{4 - T_s}(T - T_s) + 1 & T_s < T \le 4s \\ N = 1/7 & T > 4s \end{cases} \quad (۱۸)$$

ب) برای پهنه‌های با خطر نسبی متوسط و کم:

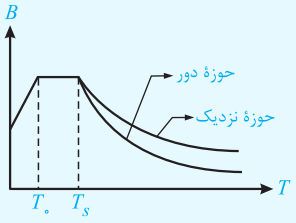
$$\begin{cases} N = 1 & T \le T_s \\ N = \frac{0/4}{4 - T_s}(T - T_s) + 1 & T_s < T \le 4s \\ N = 1/4 & T > 4s \end{cases} \quad (۱۹)$$

● **دقت:** در این روابط از پارامترهای زمان تناوب خاک (T_s) و زمان تناوب سازه (T) استفاده می‌شود.

دید مهندسی

مطالعات زلزله‌شناسی و تحلیل خطر زلزله نشان می‌دهد که دوری یا نزدیکی سازه به گسل ایجادکنندهٔ زلزله، تأثیر قابل ملاحظه‌ای بر روی ضریب بازتاب ساختمان‌هایی با زمان تناوب زیاد دارد که این موضوع به‌صورت کلی در شکل صفحهٔ بعد نشان داده شده است:

دقت: در شکل زیر منظور از حوزهٔ نزدیک، سازه‌های نزدیک به محل گسل ایجادکنندهٔ زلزله (معمولاً کمتر از ۱۵km فاصله) و منظور از حوزهٔ دور، سازه‌های دور از محل گسل ایجاد کنندهٔ زلزله (معمولاً بیشتر از ۱۵ km فاصله) می‌باشد.



شکل ۱۴: تأثیر زلزلهٔ حوزهٔ نزدیک بر روی طیف بازتاب

ویرایش چهارم استاندارد ۲۸۰۰ با در نظر گرفتن ضریب اصلاح طیف (N)، در واقع اثر مربوط به زلزلهٔ حوزهٔ نزدیک را برای سازه در نظر می‌گیرد. دقت شود از آنجا که با توجه به روابط ضریب اصلاح طیف برای سازه‌های با زمان تناوب کمتر از T_s مقدار $N=1$ می‌باشد، عملاً این ضریب در ویرایش چهارم استاندارد ۲۸۰۰، تنها برای سازه‌های با $T>T_s$ لحاظ شده است.

تذکر: رویکرد ویرایش چهارم استاندارد ۲۸۰۰ در اعمال ضریب اصلاح طیف برای تأثیر دادن زلزله‌های حوزهٔ نزدیک، بحث جدیدی است که با این نگاه در ویرایش سوم استاندارد ۲۸۰۰ وجود نداشت.

با توجه به روابط مربوط به B_1 و N، ضریب بازتاب در ویرایش چهارم استاندارد ۲۸۰۰، از روابط زیر به‌دست می‌آید:

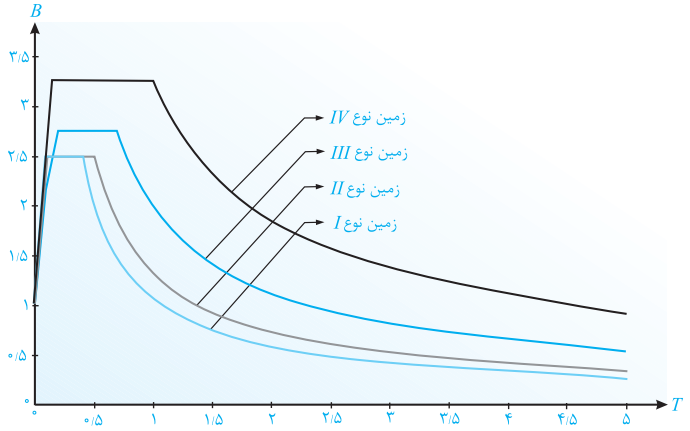
الف) برای پهنه‌های با خطر نسبی خیلی زیاد و زیاد:

$$B=\begin{cases} S_0+(S-S_0+1)\left(\frac{T}{T_0}\right) & 0\le T\le T_0 \\ (S+1) & T_0<T\le T_s \\ (S+1)\left(\frac{T_s}{T}\right)\times\left(\frac{0/7}{4-T_s}(T-T_s)+1\right) & T_s<T\le 4s \\ 1/7(S+1)\left(\frac{T_s}{T}\right) & T>4s \end{cases} \qquad (20)$$

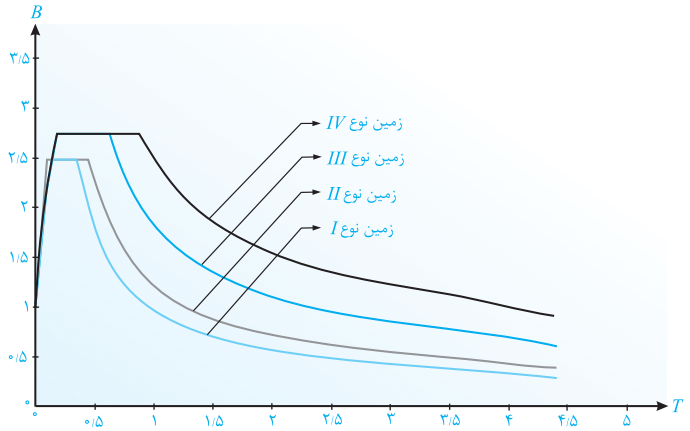
ب) برای پهنه‌های با خطر نسبی متوسط و کم:

$$B=\begin{cases} S_0+(S-S_0+1)\left(\frac{T}{T_0}\right) & 0\le T\le T_0 \\ (S+1) & T_0<T\le T_s \\ (S+1)\left(\frac{T_s}{T}\right)\times\left(\frac{0/7}{4-T_s}(T-T_s)+1\right) & T_s<T\le 4s \\ 1/4(S+1)\left(\frac{T_s}{T}\right) & T>4s \end{cases} \qquad (21)$$

در شکل‌های زیر، نمودار ضریب بازتاب ساختمان برای انواع زمین‌ها را که براساس روابط صفحهٔ قبل رسم شده‌اند مشاهده می‌کنید:



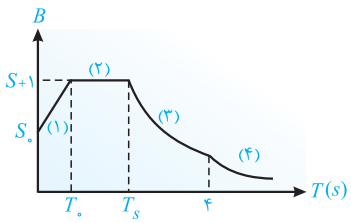
شکل ۱۵: نمودار ضریب بازتاب ساختمان برای انواع زمین‌ها در محدودهٔ با خطر نسبی زیاد و خیلی زیاد



شکل ۱۶: نمودار ضریب بازتاب ساختمان برای انواع زمین‌ها در محدودهٔ با خطر نسبی کم و متوسط

D-۴- نکات مفهومی دربارهٔ ضریب بازتاب در ویرایش چهارم استاندارد ۲۸۰۰

با توجه به روابط به‌دست آمده برای ضریب بازتاب، شکل کلی نمودار آن در ویرایش چهارم استاندارد ۲۸۰۰، به‌صورت مقابل می‌باشد:



شکل ۱۷: شکل کلی نمودار ضریب بازتاب در ویرایش چهارم استاندارد ۲۸۰۰

در مورد شکل کلی نمودار ضریب بازتاب، می‌توان به نکات مفهومی زیر اشاره کرد:

۱) ویرایش چهارم استاندارد ۲۸۰۰، به نوعی ضریب بازتاب زلزله را با یک نمودار ۴ قسمتی تقریب زده است که آنها را در شکل صفحهٔ قبل مشاهده کردید.

۲) در سازه‌های صلب ($T = ۰$)، شتاب منتقل شده به سازه، $S_۰$ برابر شتاب ایجاد شده در سنگ بستر است ($B = S_۰$)، که این موضوع به نوعی نشان‌دهندهٔ مفهوم پارامتر $S_۰$ نیز می‌باشد. دقت شود که سازه‌های ساختمانی متداول، به‌ندرت در بازهٔ $۰ < T < T_۰$ قرار می‌گیرند و این بازه اهمیت چندانی در مورد ساختمان‌ها ندارد.

۳) هنگامی‌که زمان تناوب سازه در بازهٔ $T_۰ < T < T_s$ قرار می‌گیرد، بیشترین استعداد برای انتقال شتاب بستر زمین به سازه وجود دارد ($B = S + ۱$) و نیروی زلزلهٔ وارد بر سازه نیز بیشینه می‌شود. این ناحیه از طیف را در مراجع مهندسی زلزله، ناحیهٔ شتاب ثابت طیف نامگذاری کرده‌اند که در آن با تغییر زمان تناوب، ضریب B تغییر نمی‌کند.

۴) پارامتر T_s معرف زمان تناوب خاک در طیف بازتاب است. با توجه به جدول (۶) در مقایسهٔ زمان تناوب خاک‌های نوع I، II، III و IV، می‌توان گفت که زمان تناوب خاک نوع IV بزرگتر از سه نوع دیگر خاک بوده و سختی آن مقدار کمتری دارد ($T \propto \frac{۱}{\sqrt{k}}$). دقت شود که مهندسین ژئوتکنیک معمولاً سختی خاک را به سرعت موج برشی در خاک مربوط می‌دانند، به‌گونه‌ای که ارتباط زیر به‌دست می‌آید:

زمان تناوب خاک کمتر می‌شود ($T_s \downarrow$) $\Rightarrow$ سختی خاک بیشتر می‌شود ($k \uparrow$) $\Rightarrow$ سرعت موج برشی در خاک بیشتر شود ($v_s \uparrow$)

نکته: در علم ژئوتکنیک لرزه‌ای اثبات می‌شود که برای یک لایهٔ خاک به ضخامت H که سرعت موج برشی در آن v_s است، زمان تناوب خاک از رابطهٔ $T_s = \frac{۴H}{v_s}$ به‌دست می‌آید.

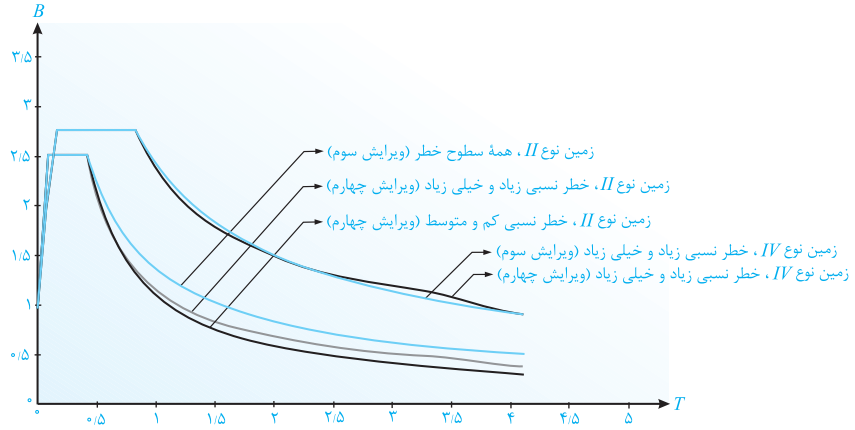
۵) هر چه زلزله شدت بیشتری داشته باشد، امکان خارج شدن خاک از رفتار الاستیک و وارد شدن آن به رفتار پلاستیک بیشتر است که این موضوع خود بر روی توانایی جذب انرژی خاک از زلزله و مقدار شتابی که از سنگ بستر به سطح خاک می‌رسد تأثیر می‌گذارد. پارامتر S در طیف زلزله، به نوعی تأثیر شدت زلزله در طیف بازتاب را در نظر می‌گیرد. با توجه به جدول (۶) مشاهده می‌شود که خاک تیپ IV که نرم‌ترین نوع خاک است، عملاً بیشترین مقدار S را به خود اختصاص می‌دهد.

تمرین ۷: ویرایش سوم استاندارد ۲۸۰۰، ضریب بازتاب ساختمان را با کمک سه رابطهٔ زیر محاسبه می‌کرد (پارامترهای S، T و $T_۰$، مشابه با ویرایش چهارم استاندارد ۲۸۰۰ است):

$$B = \begin{cases} ۱ + S\left(\frac{T}{T_۰}\right) & ۰ \le T \le T_۰ \\ S + ۱ & T_۰ < T \le T_s \\ (S+۱)\left(\frac{T_s}{T}\right)^{\frac{۲}{۳}} & T > T_s \end{cases}$$

مقدار ضریب بازتاب در ویرایش چهارم استاندارد ۲۸۰۰ را با ویرایش سوم آن مقایسه کنید.

حل: برای پاسخ به این سؤال می‌توان مقدار ضریب بازتاب را براساس ویرایش سوم و چهارم استاندارد ۲۸۰۰ در یک شکل و به‌طور همزمان رسم کرد که این کار برای دو نوع خاک در شکل زیر انجام شده است:



شکل ۱۸: مقایسهٔ نمودار ضریب بازتاب ویرایش سوم و چهارم استاندارد ۲۸۰۰ در چند حالت

از شکل فوق می‌توان نتیجه گرفت که مقادیر ضریب بازتاب ویرایش سوم و ویرایش چهارم استاندارد ۲۸۰۰، در بازهٔ $0 \leq T \leq T_0$ و $T_0 < T \leq T_s$ تقریباً بر هم منطبق می‌باشند ولی در بازهٔ $T > T_s$، ضریب بازتاب ویرایش چهارم اغلب مقادیر کوچکتری را نسبت به ویرایش سوم برای ضریب B در نظر می‌گیرد (می‌توان نشان داد که در مورد خاک‌های دیگر که در نمودار فوق نشان داده نشده‌اند نیز همین موضوع صادق است).

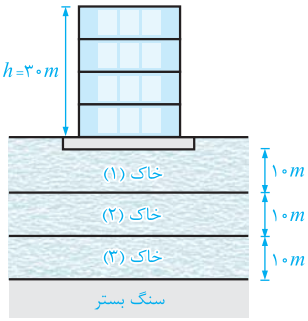
توجه: در جدول زیر، درصد کاهش ضریب بازتاب ساختمان‌ها در ویرایش چهارم استاندارد ۲۸۰۰ نسبت به ویرایش سوم برای زمان تناوب‌های ۰/۴ تا ۱/۵ ثانیه که طیف وسیعی از ساختمان‌های متداول را پوشش می‌دهد، ارائه شده است:

جدول ۷: درصد کاهش ضریب بازتاب در ویرایش چهارم نسبت به ویرایش سوم

زمان تناوب (T)	خطر نسبی کم و متوسط				خطر نسبی زیاد و خیلی زیاد			
	تیپ I	تیپ II	تیپ III	تیپ IV	تیپ I	تیپ II	تیپ III	تیپ IV
۰/۴	۰٪	۰٪	۰٪	۰٪	۰٪	۰٪	۰٪	۰٪
۰/۵	۶٪	۰٪	۰٪	۰٪	۵٪	۰٪	۰٪	۰٪
۰/۶	۱۱٪	۵٪	۰٪	۰٪	۹٪	۴٪	۰٪	۰٪
۰/۷	۱۴٪	۹٪	۰٪	۰٪	۱۲٪	۷٪	۰٪	۰٪
۰/۸	۱۷٪	۱۲٪	۳٪	۰٪	۱۴٪	۹٪	۲٪	۰٪
۰/۹	۱۹٪	۱۴٪	۶٪	۰٪	۱۶٪	۱۱٪	۴٪	۰٪
۱	۲۱٪	۱۶٪	۸٪	۰٪	۱۸٪	۱۳٪	۶٪	۰٪
۱/۱	۲۳٪	۱۸٪	۱۰٪	۲٪	۱۹٪	۱۴٪	۷٪	۱٪
۱/۲	۲۵٪	۱۹٪	۱۱٪	۳٪	۲۰٪	۱۵٪	۸٪	۲٪
۱/۳	۲۶٪	۲۱٪	۱۳٪	۵٪	۲۱٪	۱۶٪	۸٪	۲٪
۱/۴	۲۷٪	۲۲٪	۱۴٪	۶٪	۲۱٪	۱۶٪	۹٪	۲٪
۱/۵	۲۸٪	۲۳٪	۱۵٪	۷٪	۲۲٪	۱۷٪	۹٪	۲٪

- **دقت:** برای درک بهتر از جدول صفحهٔ قبل، توجه کنید که با فرض ارتفاع طبقهٔ ۳/۲ متر، زمان تناوب چند سازه براساس روابط تجربی عبارت است از:
- سازهٔ ۳ طبقهٔ قاب خمشی فولادی بدون اثر میانقاب ($T \simeq ۰/۴\,s$)
- سازهٔ ۶ طبقهٔ قاب خمشی بتنی با اثر میانقاب ($T \simeq ۰/۶\,s$)
- سازهٔ ۹ طبقهٔ فولادی با مهاربند واگرا ($T \simeq ۱/۰\,s$)
- سازهٔ ۱۳ طبقهٔ فولادی با مهاربند همگرا ($T = ۰/۸\,s$)
- سازهٔ ۱۷ طبقهٔ دوگانه با دیوار برشی بتنی ($T \simeq ۱/۰\,s$)

تمرین ۸: در شکل مقابل که پروفیلی از لایه‌های خاک زیر یک ساختمان در شهر تهران را نشان می‌دهد، سرعت موج برشی در سه لایهٔ متوالی خاک از سطح زمین به‌ترتیب برابر ۲۰۰، ۴۰۰ و ۵۰۰ متر بر ثانیه اندازه‌گیری شده است. اگر سازه از نوع قاب خمشی فولادی ویژه با میانقاب مؤثر در نوسان سازه باشد، مقدار ضریب بازتاب در روند محاسبات این سازه را محاسبه کنید.



شکل ۱۹: سازهٔ مورد بررسی در تمرین (۸)

- **حل:** برای محاسبهٔ ضریب بازتاب مراحل زیر را طی می‌کنیم:

مرحلهٔ ۱ (تعیین زمان تناوب ارتعاش سازه): با توجه به اینکه سازه از نوع قاب خمشی فولادی با میانقاب مؤثر در نوسان سازه است، زمان تناوب تجربی آن برابر است با:

$$T = ۰/۸ \times ۰/۰۸ H^{۰/۷۵} = ۰/۸ \times ۰/۰۸ \times (۳۰)^{۰/۷۵} = ۰/۸۲\,s$$

مرحلهٔ ۲ (تعیین متوسط سرعت موج برشی و نوع خاک): برای محاسبهٔ متوسط سرعت موج برشی به‌صورت زیر عمل می‌کنیم:

$$\bar{v}_s = \frac{\sum_{i=۱}^{۳} d_i}{\sum_{i=۱}^{۳} \frac{d_i}{v_{s_i}}} = \frac{۱۰+۱۰+۱۰}{\frac{۱۰}{۲۰۰}+\frac{۱۰}{۴۰۰}+\frac{۱۰}{۵۰۰}} \simeq ۳۱۶\,m/s$$

بنابراین با توجه به جدول ۵، زمین زیر این ساختمان از نوع III محسوب می‌شود و پارامترهای مرتبط با آن در شهر تهران که خطر لرزه‌خیزی خیلی زیاد دارد عبارت است از:

$$T_۰ = ۰/۱۵\,s \;,\; T_s = ۰/۷\,s \;,\; S = ۱/۷۵ \;,\; S_۰ = ۱/۱$$

مرحلهٔ ۳ (تعیین ضرایب $B_۱$، N و B): با توجه به زمان تناوب سازه، پارامترهای $B_۱$، N و B برای سازه عبارتند از:

$$T = ۰/۸۲ > T_s = ۰/۷ \;\Rightarrow\; B_۱ = (S+۱)\left(\frac{T_s}{T}\right) = (۱/۷۵+۱) \times \frac{۰/۷}{۰/۸۲} = ۲/۳۵\,s$$

$$T_s < T < ۴s \;\Rightarrow\; N = \frac{۰/۷}{۴-T_s}(T-T_s)+۱ = \frac{۰/۷}{۴-۰/۷}(۰/۸۲-۰/۷)+۱ = ۱/۰۲۵$$

$$B = B_۱ N = ۲/۳۵ \times ۱/۰۲۵ = ۲/۴۰۹$$