



طراحی سازه‌های فولادی در برابر زلزله



مؤلفین:

دکتر محمد قاسم وتر

(عضو هیئت علمی پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله)

(عضو هیئت تدوین دستورالعمل بهسازی لرزه‌ای ایران)

(عضو شورای فنی انستیتو لرزه‌ای اروپا)

دکتر علی قمری

(دانش پژوه دکتری سازه دانشگاه علم و صنعت ایران)

(عضو هیئت علمی دانشگاه آزاد اسلامی)



سرشناسه: وتر، محمدقاسم، ۱۳۳۸ -
 عنوان و نام پدیدآور: طراحی سازه‌های فولادی در برابر زلزله / مولفین محمدقاسم وتر، علی قمری.
 مشخصات نشر: تهران: نوآور، ۱۳۹۶.
 مشخصات ظاهری: ۳۲۸ ص.: مصور (رنگی)، جدول، نمودار.
 شابک: ۹۷۸-۶۰۰-۱۶۸-۳۵۴-۱
 وضعیت فهرست نویسی: فیپا
 موضوع: سازه‌های فولادی -- طرح و ساختمان
 موضوع: Steel structures -- Design and construction*
 موضوع: سازه‌های فولادی -- اثر زلزله
 موضوع: Earthquake effects -- Steel structures*
 موضوع: ساختمان‌های ضد زلزله
 موضوع: Earthquake resistant design
 شناسه افزوده: قمری، علی، ۱۳۶۳ -
 رده بندی کنگره: ۶۸۴TA/۲۶ط۴ ۱۳۹۶
 رده بندی دیویی: ۱۸۲۱/۶۲۴
 شماره کتابشناسی ملی: ۴۷۵۶۱۹۷

طراحی سازه‌های فولادی در برابر زلزله



نشر نوآور

مؤلفین: دکتر محمد قاسم وتر، دکتر علی قمری

ناشر: نوآور

شمارگان: ۵۰۰ نسخه

مدیر فنی: محمدرضا نصیرنیا

نوبت چاپ:

شابک: ۹۷۸-۶۰۰-۱۶۸-۳۵۴-۱

قیمت:

مرکز پخش:

نوآور، تهران، خیابان انقلاب، خیابان فخررازی، خیابان شهدای
 ژاندارمری نرسیده به خیابان دانشگاه ساختمان ایرانیان، پلاک ۵۸،
 طبقه دوم، واحد ۶ تلفن: ۹۲-۶۶۴۸۴۱۹۱، www.noavarpub.com

کلیه حقوق چاپ و نشر این کتاب مطابق با قانون حقوق مؤلفان
 و مصنفان مصوب سال ۱۳۴۸ برای ناشر محفوظ و منحصراً
 متعلق به نشر نوآور می‌باشد. لذا هر گونه استفاده از کل یا
 قسمتی از این کتاب (از قبیل هر نوع چاپ، فتوکپی، اسکن،
 عکس‌برداری، نشر الکترونیکی، هر نوع انتشار به صورت
 اینترنتی، سی‌دی، دی‌وی‌دی، فیلم فایل صوتی یا تصویری و
 غیره) بدون اجازه کتبی از نشر نوآور ممنوع بوده و شرعاً حرام
 است و متخلفین تحت پیگرد قانونی قرار می‌گیرند.

۲۲۳.....	معیار سختی	۱۵۳.....	کنترل عرض ویتمور W _{whitmore}
۲۲۵.....	رفتار لرزه‌ای	۱۵۵.....	کنترل کماتش ورق اتصال
۲۲۶.....	ناحیه چشمه اتصال	۱۵۶.....	کنترل کماتش لبه آزاد
۲۲۷.....	اتصال خمشی قبل از زلزله ۱۹۹۴ نورتریج	۱۵۷.....	طراحی جوش ورق اتصال به تیر و ستون
۲۳۱.....	طبقه‌بندی اتصالات بر اساس مقررات ملی ساختمان	۱۵۸.....	کنترل گسیختگی قالبی
۲۳۸.....	طراحی اتصالات خمشی ویژه	۱۵۸.....	کنترل مقاومت کششی مهاربند
۲۳۸.....	طراحی برای خمش و برش	۱۶۰.....	جزئیات اجرایی ورق اتصال
۲۳۹.....	چشمه اتصال	۱۶۵.....	محدودیت لاغری
۲۴۰.....	کنترل تیر ضعیف-ستون قوی	۱۶۶.....	کمانش موضعی
۲۴۱.....	ورق‌های پیوستگی	۱۶۸.....	اتصال مهاربند به بیس بلیت
۲۴۱.....	مثال طراحی	۱۶۸.....	مثال‌های طراحی مهاربند همگرا V شکل
۲۴۴.....	کنترل فشردگی مقطع	۱۶۹.....	کنترل معیار سختی
۲۴۵.....	کنترل فشردگی جان	۱۷۱.....	کنترل معیار مقاومت
۲۴۵.....	بررسی اتکا جانبی	۱۷۳.....	نیروی ایجاد شده در ستون ناشی از بار جانبی
۲۴۹.....	کنترل چشمه اتصال	۱۷۴.....	کنترل تیر طبقه
۲۵۰.....	ورق‌های پیوستگی	۱۷۵.....	طراحی ستون
۲۵۱.....	قاب خمشی با اتصالات درختی	۱۷۷.....	طراحی اتصالات
۲۵۳.....	اتصالات خمشی ویژه برای بهسازی لرزه‌ای	۱۷۷.....	طراحی مهاربند همگرا ضربدری شکل
۲۵۳.....	اتصال جوشی Haunch	۱۸۰.....	کنترل خیز (افتادگی) تیر
۲۵۳.....	اتصال پیچی براکت	۱۸۱.....	کنترل ارتعاش
۲۵۴.....	اتصال تیر به ستون باکس	۱۸۱.....	طراحی تیر بام
۲۵۵.....	قاب خمشی خریابی	۱۸۱.....	طراحی ستون
۲۶۰.....	فصل یازدهم: دیوارهای برشی فولادی	۱۸۲.....	طراحی ستون برای نیروهای اعمالی
۲۶۰.....	معرفی	۱۸۲.....	طراحی اتصالات
۲۶۰.....	مزایای دیوار برشی فولادی	۱۸۲.....	طراحی ورق اتصال مهاربند به تیر و ستون
۲۶۱.....	مکانیزم‌های رفتار	۱۸۷.....	اتصال ورق میانی قطری‌های مهاربند
۲۶۴.....	ضوابط طراحی	۱۸۸.....	کنترل تنش ویتمور
۲۶۴.....	طراحی اولیه	۱۹۰.....	فصل نهم: قاب‌های مهاربندی شده واگرا
۲۶۷.....	طراحی نهایی	۱۹۰.....	معرفی: قاب‌های مهاربندی شده واگرا (EBF)
۲۶۷.....	مثال طراحی	۱۹۱.....	توسعه آیین‌نامه‌ها
۲۷۸.....	طراحی ستون	۱۹۲.....	اجزا مهاربندهای واگرا
۲۸۶.....	فصل دوازدهم: مهاربند کماتش تاب (BRB)	۱۹۳.....	رفتار برشی و خمشی تیر پیوند
۲۸۶.....	مهاربند کماتش تاب (BRB)	۱۹۷.....	طراحی سخت‌کننده‌ها
۲۸۸.....	مد خرابی ترد	۲۰۱.....	طراحی مهاربند و اجزا آن بر اساس مقررات ملی
۲۸۸.....	پوشش فلزی	۲۰۱.....	طراحی تیر پیوند
۲۸۹.....	ضوابط طراحی	۲۰۲.....	طراحی ستون
۲۹۳.....	فصل سیزدهم: میراگرهای فولادی	۲۰۳.....	تأثیر نیروی محوری
۲۹۳.....	مفهوم فیوز سازه‌ای	۲۰۴.....	محدودیت تیرها، ستون‌ها و مهاربندی‌ها
۲۹۴.....	سازه‌های قدیمی	۲۰۴.....	مثال طراحی
۲۹۶.....	ورق‌های مثلثی تحت خمش	۲۰۵.....	طراحی اعضا
۳۰۰.....	طراحی میراگر	۲۰۵.....	الف) مقاومت لینک برشی
۳۰۴.....	میراگرهای برشی	۲۰۷.....	ب) مقاومت تیر پیوند
۳۰۵.....	میراگرهای لغزشی	۲۰۹.....	سخت‌کننده میانی
۳۰۵.....	میراگر SSD	۲۱۵.....	مهاربند واگرا با لینک قائم برشی
۳۰۷.....	میراگر لغزشی در قاب خمشی	۲۱۸.....	ضوابط طراحی
۳۰۷.....	طراحی میراگر	۲۱۸.....	الف) سختی
۳۰۹.....	حلقه شکل پذیر	۲۱۹.....	محدودیت تغییر مکان جانبی سیستم
۳۱۱.....	میراگرهای اصطکاکی	۲۱۹.....	ب) کنترل دوران تیر پیوند
۳۱۵.....	ب- میراگر اصطکاکی PALL	۲۲۰.....	پ) فواصل سخت‌کننده‌ها
۳۱۸.....	د- میراگر اصطکاکی دورانی	۲۲۰.....	ج) طراحی لینک قائم برشی
۳۱۹.....	حالت‌های خاص	۲۲۳.....	فصل دهم: قاب‌های خمشی فولادی
۳۲۱.....	میراگرهای اصطکاکی در قاب خمشی	۲۲۳.....	رفتار قاب‌های خمشی
۳۲۳.....	پیوست		

با گسترش و توسعه علوم رایانه، تحقیقات و یافته‌های علمی در زمینه مهندسی زلزله و طراحی لرزه‌ای پیشرفت چشمگیری داشته است. در این راستا آئین‌نامه‌های زلزله در نقاط مختلف دنیا جهت بهبود رفتار لرزه‌ای سازه‌ها حداقل ضوابط را جهت تحقق امر به صورت کلی پیشنهاد نموده‌اند. لذا استفاده از آئین‌نامه‌ها بایستی با آگاهی و دانش کافی صورت گیرد. تاکنون در این زمینه کتب متعددی منتشر شده که مخاطبان جهت یادگیری، رفع ابهام، درک مطالب و... به آنها رجوع می‌نمایند که اغلب روند محاسبات را بصورت استفاده از چند رابطه هدایت کرده و توجه خاصی به فلسفه استفاده از آن روابط ننموده‌اند. متأسفانه مساله درک مفاهیم و فلسفه روابط اغلب از نظرها دور می‌ماند و مهندسان با جایگزینی اعداد در روابط و استفاده از چند عملگر ریاضی بسنده می‌کنند که ارزش واقعی هر طراح را زیر سوال می‌برد. از طرفی بسیاری از مراجع نیز به حدی مطالب را سنگین ارائه نموده که باعث سردرگمی و گمراهی علاقمندان می‌شوند. لذا نگارندگان را بر آن داشت تا کتابی با ذکر مطالب به بیان بسیار ساده، کاربردی و عملی با مفاهیم ارزشمند ارائه کنند، شاید گامی هر چند کوچک در جهت اعتلای رشد علمی مملکت باشد. مسائل کتاب با وسواس خاصی انتخاب شده که جوابگوی نیاز مهندسان، محققان، دانشجویان در مقاطع مختلف تحصیلی باشد. بسیاری از مطالب کتاب از متن Seismic Design Manual در کالیفرنیا انتخاب شده و به آیین‌نامه زلزله ایران مقیاس شده است. سعی بر آن بوده تا از ذکر مطالبی که نویسندگان در آن تجربه کافی نداشته پرهیز گردد. لذا این کتاب حاصل سال‌ها تجربه علمی، اجرایی، پژوهشی و آموزشی است. انتظار می‌رود خوانندگان محترم مطالب را با ترتیب موجود مطالعه نمایند.

در این جلد از کتاب سعی شده است به تحلیل و طراحی لرزه‌ای ساختمان‌های فولادی مقاوم در برابر زلزله پرداخته شود که می‌تواند مکمل دروس طراحی ساختمان‌های فولادی دوره کارشناسی باشد. به امید الهی، در اولین فرصت ممکن طراحی لرزه‌ای ساختمان‌های بتنی مقاوم در برابر زلزله هم به زیور طبع آراسته شود. در پایان خواهشمند است ابهامات و اشکالات را به نشانی Info@noavarpub.com ارسال بفرمائید.

محمد قاسم وتر، پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله
علی قمری، عضو هیئت علمی دانشگاه آزاد

نشر نوآور ضمن ارج نهادن و قدردانی از اعتماد شما به کتاب‌های این انتشارات، به استحضارتان می‌رساند که همکاران این انتشارات، اعم از مؤلفان و مترجمان و کارگروه‌های مختلف آماده‌سازی و نشر کتاب، تمامی سعی و همت خود را برای ارائه کتابی درخور و شایسته شما فرهیخته گرامی به‌کار بسته‌اند و تلاش کرده‌اند که اثری را ارائه نمایند که از حداقل‌های استاندارد یک کتاب خوب، هم از نظر محتوایی و غنای علمی و فرهنگی و هم از نظر کیفیت شکلی و ساختاری آن، برخوردار باشد.

با این وجود، علی‌رغم تمامی تلاش‌های این انتشارات برای ارائه اثری با کمترین اشکال، باز هم احتمال بروز ایراد و اشکال در کار وجود دارد و هیچ اثری را نمی‌توان الزاماً مبرماً از نقص و اشکال دانست. از سوی دیگر، این انتشارات بنابه تعهدات حرفه‌ای و اخلاقی خود و نیز بنابه اعتقاد راسخ به حقوق مسلم خوانندگان گرامی، سعی دارد از هر طریق ممکن، به‌ویژه از طریق فراخوان به خوانندگان گرامی، از هرگونه اشکال احتمالی کتاب‌های منتشره خود آگاه شده و آن‌ها را در چاپ‌ها و ویرایش‌های بعدی رفع نماید.

لذا در این راستا، از شما فرهیخته گرامی تقاضا داریم در صورتی که حین مطالعه کتاب با اشکالات، نواقص و یا ایرادهای شکلی یا محتوایی در آن برخورد نمودید، اگر اصلاحات را بر روی خود کتاب انجام داده‌اید پس از اتمام مطالعه، کتاب ویرایش‌شده خود را با هزینه انتشارات نوآور، پس از هماهنگی با انتشارات، ارسال نمایید، و نیز چنانچه اصلاحات خود را بر روی برگه جداگانه‌ای یادداشت نموده‌اید، لطف کرده عکس یا اسکن برگه مزبور را با ذکر نام و شماره تلفن تماس خود به ایمیل انتشارات نوآور ارسال نمایید، تا این موارد بررسی شده و در چاپ‌ها و ویرایش‌های بعدی کتاب اعمال و اصلاح گردد و باعث هرچه پربارتر شدن محتوای کتاب و ارتقاء سطح کیفی، شکلی و ساختاری آن گردد.

نشر نوآور، ضمن ابراز امتنان از این عمل متعهدانه و مسئولانه شما خواننده فرهیخته و گرانقدر، به‌منظور تقدیر و تشکر از این همدلی و همکاری علمی و فرهنگی، در صورتی که اصلاحات درست و بجا باشند، متناسب با میزان اصلاحات، به رسم ادب و قدرشناسی، نسخه دیگری از همان کتاب و یا چاپ اصلاح‌شده آن و نیز از سایر کتب منتشره خود را به‌عنوان هدیه، به انتخاب خودتان، برایتان ارسال می‌نماید، و در صورتی که اصلاحات تأثیرگذار باشند در مقدمه چاپ بعدی کتاب نیز از زحمات شما تقدیر می‌شود.

همچنین نشر نوآور و پدیدآورندگان کتاب، از هرگونه پیشنهادها، نظرات، انتقادات و راه‌کارهای شما عزیزان در راستای بهبود کتاب، و هرچه بهتر شدن سطح کیفی و علمی آن صمیمانه و مشتاقانه استقبال می‌نمایند.



تلفن: ۰۲۱-۶۶۴۸۴۱۹۱

www.noavarpub.com

info@noavarpub.com

هدف آیین‌نامه‌های زلزله دنیا طراحی و ساخت بنایی ضد زلزله نیست، بلکه

ساختمانی مقاوم در برابر زلزله است، بطوریکه در یک زلزله شدید ساختمان فرونریزد و ایمنی جانی ساکنین به عنوان یک سطح عملکردی فراهم شود. در این میان آنچه که از دید مهندسين جوان و کارفرمایان پنهان می‌ماند، این است که فراهم کردن سطوح دیگر عملکردی مانند عدم خسارت یا محدود کردن خسارتها یا استفاده بی‌وقفه از وظایف مهندس بر اساس آئین‌نامه ۲۸۰۰ نیست. زیرا بر اساس ۲۸۰۰، ساختمان باید بتواند در زلزله‌هایی که در عمر مفید ساختمان بیش از یکبار اتفاق می‌افتد (احتمال وقوع‌شان در ۵۰ سال عمر ساختمان بیش از ۹۹/۵ درصد) بدون آسیبهای غیر سازه‌ای و سازه‌ای به سرویس‌دهی خود ادامه دهد و در برابر زلزله طرح و یا شدیدتر (با احتمال وقوع ۱۰٪ یا کمتر)، حتی با آسیبهای بزرگ سازه‌ای بدون فرو ریزش به منظور حفظ ایمنی جانی ساکنین مقاومت نماید.

یادآوری می‌شود که اساس تحلیل مورد استفاده در طراحی متداول (طراحی بر اساس ظرفیت یا نیرو) ساختمانها در برابر زلزله خطی می‌باشد و این خود نقص بزرگی در مورد امری غیر خطی است. چرا که ساختمان برای زلزله‌های طرح و یا حتی کوچک تر از زلزله طرح می‌تواند وارد ناحیه غیر خطی شود. در فاز غیر خطی ارزیابی ظرفیت یا نیرو ملاک مشخص و قابل قبولی نیست و از بهترین ملاکهای ارزیابی جابجایی یا تغییر شکلهای فاز غیر خطی می‌باشد. شاید به همین دلیل است که هدف عملکردی طراحی بر اساس آئین‌نامه ۲۸۰۰ قابل ارزیابی نیست.

بدنه اصلی کتاب جهت مهندسين طراح و دانشجویان تحصیلات تکمیلی (ارشد و دکتری) آماده شده است. ولی این بدان معنی نیست که مهندسين ودانشجویان حاذق دیگری نتوانند از محتویات کتاب بهره مند شوند. به منظور کاربردی کردن هر چه بیشتر کتاب و درک هر چه بهتر و بیشتر مهندسين و دانشجویان سازه و معماری، سعی شده است در چارچوب حل مساله، مقدمه‌ای کوتاه از رفتار دینامیکی ساختمان و تشریح ساده معضلات تاثیرگذار زلزله در طراحی لرزه‌ای ساختمانها ارایه شود.

از طرفی متن کتاب بر اساس بالاترین استانداردهای دروس مشابه در آمریکا و اروپا و تدریس مکرر آن ارایه شده، و از طرف دیگر از آخرین نتایج تحقیقات انجام شده توسط اینجانب برای کمیسیون زلزله اروپا و در چارچوب آئین‌نامه زلزله مربوطه (EC8) استفاده شده است. در این میان آقای علی قمری دانش پژوه دکتری مهندسی سازه بیشترین نقش را در تشویق اینجانب در جهت تالیف این مجموعه و پیاده کردن متون درسی داشته‌اند. و همچنین از سرکار خانم دکتر لیلا حسین زاده بابت مطالعه بخش اول و ارائه سازنده قدردانی می‌شود.

در چاپ حاضر برخی اشکالات تایپی اصلاح شده و مطالب آن بر اساس آیین‌نامه ۲۸۰۰ ویرایش چهارم تنظیم گردیده و همچنین یک فصل در خصوص میراگرهای فولادی اضافه شده است.

محمد قاسم وتر

کلیه حقوق چاپ و نشر این کتاب مطابق با قانون حقوق مؤلفان و مصنفان و هنرمندان مصوب سال ۱۳۴۸ و آیین‌نامه اجرایی آن مصوب ۱۳۵۰، برای ناشر محفوظ و منحصرأ متعلق به نشر نوآور است. لذا هر گونه استفاده از کل یا قسمتی از مطالب، اشکال، نمودارها، جداول، تصاویر این کتاب در دیگر کتب، مجلات، نشریات، سایت‌ها و موارد دیگر، و نیز هر گونه استفاده از کل یا قسمتی از کتاب به هر شکل از قبیل هر نوع چاپ، فتوکپی، اسکن، تایپ از کتاب، تهیه پی‌دی‌اف از کتاب، عکس‌برداری، نشر الکترونیکی، هر نوع انتشار به صورت اینترنتی، سی‌دی، دی‌وی‌دی، فیلم، فایل صوتی یا تصویری و غیره بدون اجازه کتبی از نشر نوآور ممنوع و غیرقانونی بوده و شرعاً نیز حرام است، و متخلفین تحت پیگرد قانونی و قضایی قرار می‌گیرند.

با توجه به اینکه هیچ کتابی از کتب نشر نوآور به صورت فایل ورد یا پی‌دی‌اف و موارد این‌چنین، توسط این انتشارات در هیچ سایت اینترنتی ارائه نشده است، لذا در صورتی که هر سائیتی اقدام به تایپ، اسکن و یا موارد مشابه نماید و کل یا قسمتی از متن کتب نشر نوآور را در سایت خود قرار داده و یا اقدام به فروش آن نماید، توسط کارشناسان امور اینترنتی این انتشارات، که مسئولیت اداره سایت را به عهده دارند و به طور روزانه به بررسی محتوای سایت‌ها می‌پردازند، بررسی و در صورت مشخص شدن هرگونه تخلف، ضمن اینکه این کار از نظر قانونی غیرمجاز و از نظر شرعی نیز حرام می‌باشد، وکیل قانونی انتشارات از طریق وزارت فرهنگ و ارشاد اسلامی، پلیس فتا (پلیس رسیدگی به جرایم رایانه‌ای و اینترنتی) و نیز سایر مراجع قانونی، اقدام به مسدود نمودن سایت متخلف کرده و طی انجام مراحل قانونی و اقدامات قضایی، خاطیان را مورد پیگرد قانونی و قضایی قرار داده و کلیه خسارات وارده به این انتشارات از متخلف اخذ می‌گردد.

همچنین در صورتی که هر کتابفروشی، اقدام به تهیه کپی، جزوه، چاپ دیجیتال، چاپ ریسو، آفست از کتب انتشارات نوآور نموده و اقدام به فروش آن نماید، ضمن اطلاع‌رسانی تخلفات کتابفروشی مزبور به سایر همکاران و مؤذعین محترم، از طریق وزارت فرهنگ و ارشاد اسلامی، اتحادیه ناشران، و انجمن ناشران دانشگاهی و نیز مراجع قانونی و قضایی اقدام به استیفای حقوق خود از کتابفروشی متخلف می‌نماید.

خرید، فروش، تهیه، استفاده و مطالعه از روی نسخه غیراصل کتاب،

از نظر قانونی غیرمجاز و شرعاً نیز حرام است.

انتشارات نوآور از خوانندگان گرامی خود درخواست دارد که در صورت مشاهده هرگونه تخلف از قبیل موارد فوق، مراتب را یا از طریق تلفن‌های انتشارات نوآور به شماره‌های ۰۲-۶۶۴۸۴۱۹۱ و ۰۲۱-۰۹۱۲۳۰۷۶۷۴۸ و یا از طریق ایمیل انتشارات به آدرس info@noavarpub.com و یا از طریق منوی تماس با ما در سایت www.noavarpub.com به این انتشارات ابلاغ نمایند، تا از تضییع حقوق ناشر، پدیدآورنده و نیز خود خوانندگان محترم جلوگیری به عمل آید، و نیز به‌عنوان تشکر و قدردانی، از کتب انتشارات نوآور نیز هدیه دریافت نمایند.



بخش اول

رفتار دینامیکی سازه‌ها

تلفن: ۲ - ۸۴۱۹۱

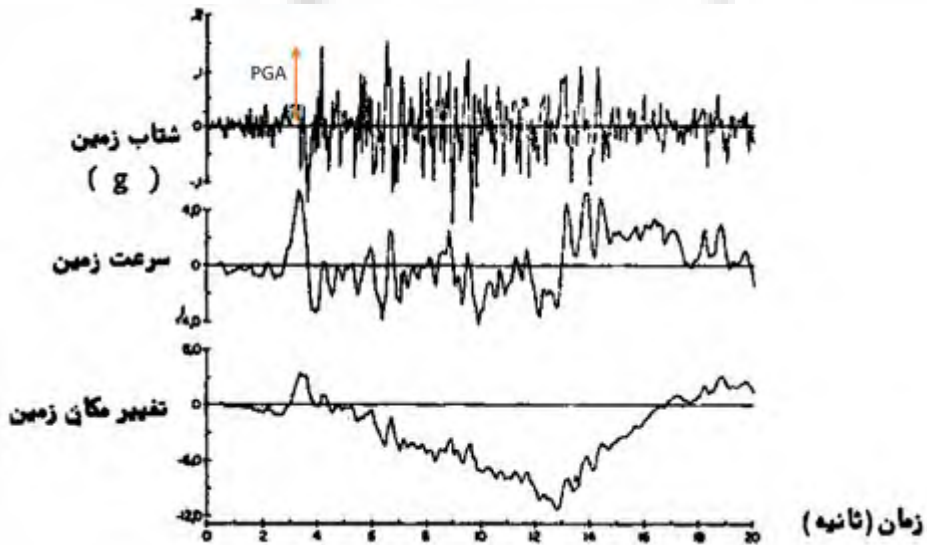
منحنی شتاب زمین

در هنگام زلزله، حرکات زمین شامل تغییر مکان، سرعت و شتاب در ایستگاه‌های مخصوص ثبت می‌شود. اطلاعات اساسی مهندسی زلزله از منحنی‌های ثبت شده شتاب به دست می‌آید. استفاده از نمودارهای شتاب زمین^۱ که بوسیله دستگاه‌های شتاب نگار^۲ ثبت می‌شوند برای درک رفتار دینامیکی سازه‌ها در هنگام وقوع زلزله ضروری است. در هر منطقه باید شبکه‌ای از ایستگاه‌های شتاب نگار برای ثبت حرکات شدید زمین وجود داشته باشد. در هر ایستگاه سه دستگاه شتاب نگاشت نصب می‌شود تا دو مؤلفه افقی (در امتداد‌های عمود برهم) و یک مؤلفه قائم شتاب زمین را ثبت کنند. هر چند که حالت ایده آل در طراحی سازه‌ها آن است که سازه در برابر یک شتاب نگاشت مشخص که احتمال وقوع آن در آینده با قبول یک میزان خطر معلوم، طراحی شود، اما اشکالاتی در حال حاضر برای تعیین مشخصات دقیق شتاب نگاشت فرضی در محل سازه وجود دارد که ایجاب می‌کند به جای استفاده مستقیم از شتاب نگاشت‌ها از روش‌های دیگری استفاده شود که حداکثر پاسخ (بازتاب) را تعیین می‌کند. هر چند آئین‌نامه روش‌های ساده‌ای را تحت عنوان روش تحلیل استاتیکی معادل پیشنهاد کرده‌اند اما عملی‌ترین و متداولترین روش تحلیل دینامیکی در حال حاضر برای تعیین حداکثر پاسخ سازه، روش تحلیل طیفی است. تعاریف پاسخ و طیف‌ها در ادامه تشریح خواهد شد.

با بررسی منحنی‌هایی که از ایستگاه‌های مختلف به دست می‌آید می‌توان دریافت که چگونه شتاب زمین با دور شدن از مرکز زلزله کاهش پیدا می‌کند. همچنین می‌توان ارتباط شتاب زمین را با نوع خاک و زمین بررسی نمود. برای فاصل دور از محل آزاد شدن انرژی زمین (حوزه دور از گسل)، کاهش شتاب تحت تأثیر بزرگی زلزله می‌باشد در حالیکه در فاصله نزدیک (حوزه نزدیک گسل)، کاهش شتاب تنها در زلزله‌های با شدت کم و نه برای زلزله‌های با شدت بالا، اتفاق می‌افتد. محققان نشان داده‌اند که سرعت سریع تر از شتاب مستهلک شده و همچنین بیشتر از شتاب به شرایط خاک بستگی دارد. اغلب مهندسان روابط کاهش مولفه‌های زمین را برای دو نوع، بستر سنگی و خاک ارائه می‌دهند. معمولاً عقیده بر این است که حداکثر شتاب زمین تحت تأثیر نوع خاک قرار نمی‌گیرد. اگرچه نتایج برخی محققان نشان می‌دهد که حداکثر شتاب زمین در لایه‌های آبرفتی اندکی بزرگتر از مقدار آن در بستر سنگی است. البته ثابت شده است که این امر تنها در مواردی اتفاق می‌افتد که حداکثر شتاب زمین از 0.1g بیشتر باشد. در خصوص حداکثر سرعت و تغییر مکان، نظر عمومی این است که این دو پارامتر می‌توانند به شدت تحت تأثیر شرایط خاک محل قرار گیرند.

۱. Accelerogram
۲. Accelerograph

با داشتن شتاب زمین می‌توان منحنی‌های سرعت و تغییر مکان را با انتگرال گیری به دست آورد. در شکل (۱-۱) شتاب یک زلزله نشان داده شده که سرعت و تغییر مکان آن با استفاده از انتگرال گیری از شتاب زمین محاسبه شده است. منحنی‌های شتاب زمین ممکن است واقعی یا ساختگی باشند. در منحنی‌ها ساختگی که به منحنی مصنوعی شتاب زمین موسوم هستند از تحلیل احتمالاتی منحنی‌های واقعی و اطلاعات دیگر به دست می‌آیند.



شکل (۱-۱): مؤلفه افقی شتاب زمین و سرعت و تغییر مکان محاسبه شده بر اساس آن

بسیاری از محققان بر این باورند که بین شتاب، سرعت و تغییر مکان واقعی زمین در حین زلزله ارتباطی وجود ندارد و نمی‌توان با استفاده از روابط ریاضی بین آنها ارتباط برقرار کرد. در تحلیل‌های دینامیکی سازه‌های پیچیده، بار زلزله بصورت منحنی شتاب زمین در نظر گرفته می‌شود.

شتاب حداکثر زمین^۱

منحنی شتاب زلزله تابع نامنظمی است که می‌توان آن را به صورت ترکیبی از یک سری پالس^۲ (ضربان) شتاب تناوبی تجسم نمود. مساحت زیر هر یک از این پالس‌های شتاب مقیاسی است برای اندازه‌گیری موثر بودن آن در ایجاد ارتعاش سازه. دامنه پالس یعنی شتاب حداکثر، غالباً برای نشان دادن شدت حرکت زمین به کار می‌رود. حداکثر شتاب زمین در هر زلزله PGA خوانده می‌شود که در مهندسی زلزله استفاده زیادی از آن می‌شود. حداکثر سرعت با PGV و حداکثر تغییر مکان زلزله با PGD نمایش داده می‌شود.

۱. Peak Ground Acceleration (PGA)

۲. Pulse

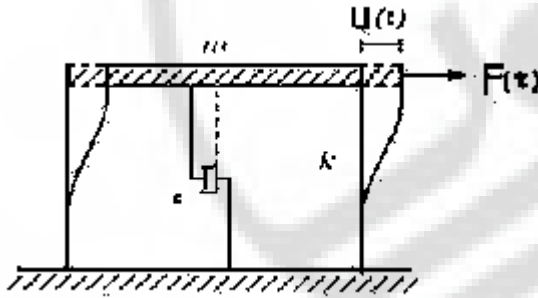
طیف پاسخ

دستگاه‌های یک درجه آزادی

جهت کامل کردن مطالب و برای آنکه به مرجع دیگری نیاز نباشد تئوری دینامیک سازه را به صورت خلاصه مرور می‌کنیم. بنابراین ابتدا به سیستم‌های یک درجه آزادی می‌پردازیم.

در شکل (۱-۲) قابی به صورت دستگاه یک درجه آزادی نمایش داده شده است. در این شکل، $F(t)$ نیروی تابع زمان است که بر جرم m اعمال می‌شود (در سیستم‌های یک درجه آزاد در تراز طبقه)، K سختی (ثابت فنریت)، C ضریب میرایی، u تغییر مکان جرم m می‌باشد. معادله دینامیکی هر سیستم یک درجه آزاد بصورت زیر است:

$$\underbrace{m\ddot{u}}_{\text{نیرو لختی (FI)}} + \underbrace{c\dot{u}}_{\text{نیرو میرایی (FD)}} + \underbrace{Ku}_{\text{نیرو سختی (FS)}} = F(t) \quad (1-1)$$



شکل (۱-۲): سیستم یک درجه آزادی

طی زلزله عملاً نیروی خارجی مستقیماً به سازه اعمال نمی‌شود اما پی سازه تحت تحریک قرار می‌گیرد. در حالتی که نیروی خارجی وجود نداشته باشد یعنی $F(t) = 0$ و پایه ساختمان تحت تأثیر شتاب زلزله یعنی $u_g(t)$ قرار بگیرد - شکل (۱-۳) تغییر مکان و شتاب کل سیستم برابر است با:

$$u_t = u + u_g \quad (1-2)$$

$$\ddot{u}_t = \ddot{u} + \ddot{u}_g \quad (1-3)$$

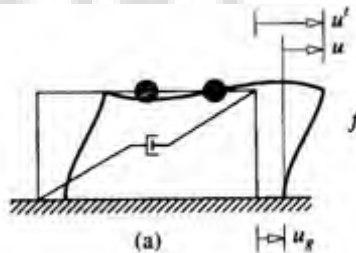
با جایگذاری در رابطه (۱-۱) داریم:

$$m(\ddot{u} + \ddot{u}_g) + c\dot{u} + ku = 0 \quad (1-4)$$

$$m\ddot{u} + c\dot{u} + ku = F_e(t) \quad (1-5)$$

در رابطه فوق $F_e(t)$ بار موثر ناشی از حرکت زمین می‌باشد که برابر است با:

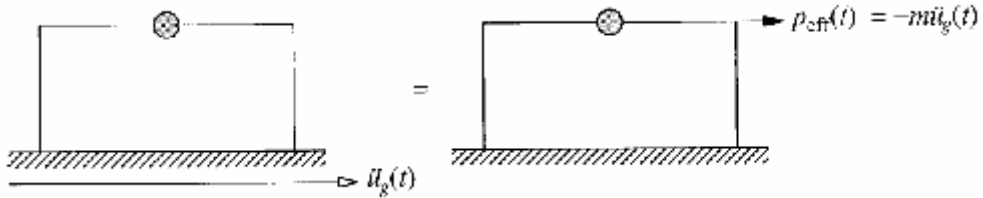
$$F_e(t) = -m\ddot{u}_g(t) \quad (1-6)$$



شکل (۱-۳): سیستم یک درجه آزاد تحت تغییر مکان زلزله



بنابراین در حالت تحریک پایه حتی بدون وجود نیروی خارجی، نیرویی معادل $F_e(t) = -m\ddot{u}_g(t)$ به سیستم اعمال می‌شود، شکل (۴-۱). از این مقدار نیرو می‌توان دریافت که با کاهش جرم، نیروی موثر زلزله نیز کاهش پیدا می‌کند.



شکل (۴-۱): نیروی متناظر با جرم تحت پایه در زلزله

اکنون که مشخص گردید در زلزله، تحریک پایه تبدیل به نیروی متناظر با جرم می‌شود، باید نحوه تحلیل سازه بررسی گردد. به طور کلی تحلیل‌ها شامل با میرایی و بدون میرایی تقسیم بندی می‌شوند. هر چند سیستم بدون میرایی در طبیعت یافت نمی‌شود اما بررسی سازه‌ها بدون میرایی از اهمیت زیادی در دینامیک سازه برخوردار است. در بسیاری از بارها که به صورت ناگهانی وارد می‌شوند و زمان اعمال آنها نیز بسیار کم است، به دلیل ناگهانی بودن آنها، میرایی سیستم فرصتی برای عرض اندام ندارد.

پاسخ سیستم عملاً حل معادله حرکت یعنی معادله (۵-۱) است. راه حل‌های زیادی را می‌توان به عنوان حل استفاده نمود که برخی از این روش‌ها عبارتند از: روش کلاسیک معادلات دیفرانسیل، انتگرال دوهمال، روش تبدیل لاپلاس، روش تبدیل فوریه، روش‌های عددی، استفاده از اصل هامیلتون، و...

یکی از مهمترین روش‌های حل، استفاده از انتگرال دوهمال است که بصورت زیر نوشته می‌شود:

$$u(t) = \frac{1}{m\omega_n} \int_0^t F(\tau) e^{-\zeta\omega_n(t-\tau)} \sin \omega_n(t-\tau) d\tau \quad (1-7)$$

که در این انتگرال $F(t)$ معرف تابع بارگذاری است. برای بارهای ساده می‌توان از حل انتگرال استفاده نمود اما در بارهای پیچیده حل انتگرال براحتی میسر نمی‌شود و معمولاً برای تعیین جواب انتگرال باید از روش‌های عددی استفاده نمود.

ارتعاش آزاد بدون میرایی

همانگونه که در بخش قبل نیز ذکر گردید؛ پاسخ سیستم یعنی جواب معادله حرکت که همان معادله (۵-۱) است. یکی از این راه حل‌های مرسوم، استفاده از حل کلاسیک معادلات دیفرانسیل است. در این حالت برای آنکه معادله (۵-۱) را حل کنیم ابتدا حالت ارتعاش آزاد ($F_e(t) = 0$) بدون میرایی را حل می‌کنیم. در دینامیکی سازه، در صورتیکه طرف دوم رابطه برابر صفر باشد، از معادله حرکت به عنوان ارتعاش آزاد سیستم تعبیر می‌شود.

$$m\ddot{u} + ku = 0 \quad (5-1\text{ب})$$

اگر معادله را بر m تقسیم کنیم، با دانستن این نکته که فرکانس زاویه‌ای طبیعی ارتعاش آزاد

سیستم که با ω_n نمایش داده می‌شود برابر $\omega_n = \sqrt{\frac{k}{m}}$ یا $\omega_n^2 = \frac{k}{m}$ لذا معادله به صورت زیر در می‌آید.

$$\ddot{u} + \omega_n^2 u = 0 \quad (1-8)$$

با رجوع به رابطه (۱-۸) می‌توان دریافت که در حالات بدون میرایی، ارتعاش آزاد سیستم فقط به فرکانس زاویه‌ای (یا پریود) بستگی دارد. پس هر دو سازه با جرم و سختی متفاوت اما نسبت جرم به سختی یکسان، پاسخ ارتعاش آزاد یکسانی خواهند داشت.
جواب معادله فوق برابر است با:

$$u(t) = A \cos \omega_n t + B \sin \omega_n t \quad (1-9)$$

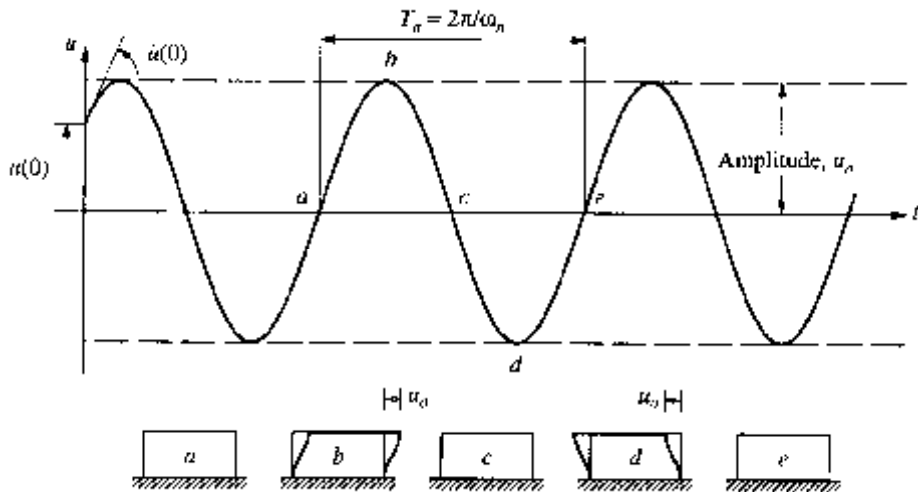
ضرایب ثابت A و B با در نظر گرفتن شرایط اولیه محاسبه می‌شوند. که برابر است با:

$$u(t) = u_0 \cos \omega_n t + \frac{\dot{u}_0}{\omega_n} \sin \omega_n t \quad (1-10)$$

در این رابطه u ، \dot{u} به ترتیب تغییر مکان اولیه و سرعت اولیه سیستم می‌باشند. زمان تناوب (پریود حرکت) برابر است با:

$$T_n = \frac{2\pi}{\omega_n} \quad (1-11)$$

حرکت نوسانی و زمان تناوب سیستم بر اساس رابطه (۱-۹) در شکل (۱-۵) ترسیم شده است.



شکل (۱-۵): ارتعاش آزاد سیستم یک درجه آزاد بدون میرایی

در معرفی $\omega_n = \sqrt{\frac{k}{m}}$ ، اعتبار رابطه به شرطی است که سختی سازه‌ها مورد بررسی، در محدوده رفتار الاستیک باشد. چونکه سختی سازه عددی ثابت است و رابطه خطی بین نیرو و تغییر شکل مطرح است بنابراین فرکانس سازه (و بالطبع زمان تناوب) عددی ثابت است. سختی الاستیک سازه با استفاده از اصول استاتیک و تحلیل خطی سازه‌ها قابل محاسبه می‌باشد. سختی چند سازه بصورت زیر قابل محاسبه می‌باشد.



نشر نوآور

تلفن: ۲-۶۶۴۸۴۱۹۱