



مهاربندهای واگرا

براساس آخرین ویرایش مبحث دهم و
آئین نامه ۲۸۰۰ ویرایش چهارم

مؤلفین:

دکتر عباس اکبرپور

عضو هیئت علمی دانشگاه آزاد واحد تهران جنوب

دکتر علی قمری

عضو هیئت علمی دانشگاه آزاد واحد دره شهر

نشر نوآور

تلفن: ۲-۶۸۸۴۱۹۱

سرشناسه:

عنوان و نام پدیدآور:

مشخصات نشر:

مشخصات ظاهری:

شابک:

وضعیت فهرست نویسی:

یادداشت:

شناسه افزوده:

شماره کتابشناسی ملی:

اکبرپور، عباس، ۱۳۳۲-

مهاربندهای واگرا براساس آخرین ویرایش مبحث دهم و آئین نامه ۲۸۰۰

تهران: نوآور، ۱۳۹۴.

۱۷۶ص.

۹۷۸-۶۰۰-۱۶۸-۲۳۴-۶

فیبای مختصر

این مدرک در آدرس <http://opac.nlai.ir> قابل دسترسی است.

قمری، علی، ۱۳۶۲ -

۳۷۷۱۹۲۳

مهاربندهای واگرا

مؤلفین:

ناشر:

شمارگان:

ناظر چاپ:

نوبت چاپ:

شابک:

قیمت:

دکتر عباس اکبرپور، دکتر علی قمری

نوآور

۱۰۰۰ نسخه

محمد رضا نصیرنیا

۹۷۸-۶۰۰-۱۶۸-۲۳۴-۶

نوآور، تهران، خیابان انقلاب، خیابان فخر رازی، 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 منحصرأ متعلق به نشر نوآور می‌باشد. لذا هرگونه استفاده از کل یا قسمتی از این کتاب (از قبیل هر نوع چاپ، فتوکپی، اسکن، عکس برداری، 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.

مرکز پخش:



نشر نوآور

فهرست مطالب

	پیشگفتار
۹	فصل اول: رفتار سازه‌ها
۹	۱-۱ مقدمه
۱۰	۲-۱ پاسخ الاستیک و طیف پاسخ
۱۲	۳-۱ پاسخ غیرالاستیک (غیرارتجاعی) و کاهش نیروهای طراحی
۱۴	۴-۱ اهمیت ضریب شکل‌پذیری
۱۷	۵-۱ طراحی در برابر زلزله براساس آئین‌نامه‌های زلزله
۱۹	۶-۱ مفاهیم ضریب عملکرد (ضریب رفتار) سازه
۲۰	۷-۱ محاسبه ضریب رفتار به روش یوانگ
۲۱	۸-۱ عوامل موثر بر ضریب رفتار
۲۱	ضریب اضافه مقاومت
۲۲	ضریب کاهش در اثر شکل‌پذیری
۲۳	فرمول‌بندی ضریب رفتار
۲۳	۹-۱ تحلیل غیرخطی سازه
۲۴	۱۰-۱ ساده‌سازی منحنی پاسخ کلی سازه‌ها
۲۵	۱۱-۱ سختی و مقاومت جانبی
۲۶	۱۲-۱ تفاوت بار باد و زلزله
۲۸	فصل دوم: قاب‌های مهاربندی شده واگرا (EBF)
۲۸	۱-۲ مقدمه
۲۹	۲-۲ رفتار کلی و مکانیزم پلاستیک
۲۹	۳-۲ فلسفه طراحی
۳۱	۴-۲ رفتار تیر پیوند
۳۲	۱-۵-۲ طول بحرانی برای تسلیم برشی
۳۲	۲-۵-۲ طبقه‌بندی تیر پیوند و ظرفیت آن
۳۷	۳-۵-۲ سخت‌کننده‌های عرضی تیر پیوند
۳۸	۴-۵-۲ سخت‌کننده‌های انتهایی
۳۹	۵-۵-۲ سخت‌کننده‌های میانی
۴۰	۶-۲ تاثیر نیروی محوری
۴۱	۷-۲ تاثیر دال بتنی بر روی تیر پیوند
۴۱	۸-۲ اضافه مقاومت تیر پیوند
۴۱	۹-۲ سختی و مقاومت جانبی EBF
۴۲	۱-۹-۲ سختی الاستیک
۴۳	۲-۹-۲ دوران تیر پیوند
۴۴	۱۰-۲ طراحی شکل‌پذیر
۴۵	۱۱-۲ طراحی اعضا خارج از تیر پیوند
۴۷	۱۲-۲ اتصالات
۴۷	۱-۱۲-۲ اتصال مهاربند به تیر
۴۹	۲-۱۲-۲ اتصال تیر به ستون
۵۴	الف) مقاومت تیر پیوند برشی
۵۶	کنترل تیر
۵۶	الف) بررسی فشردگی

۵۶	(ب) مقاومت تیر پیوند
۵۷	بازبینی تیر پیوند
۵۷	تیر خارج از پیوند
۵۹	مهارجانبی تیر پیوند
۵۹	سخت کننده‌های تیر پیوند
۵۹	سخت کننده‌های انتهای
۶۰	سخت کننده میانی
۶۰	طراحی مهاربند
۶۱	طراحی ستون
۶۱	طراحی ستون طبقه اول
۶۱	فرض اولیه
۶۲	اتصال مهاربند
۶۳	کنترل تنش ویتمور
۶۳	اتصال به تیر
۶۴	اتصال به ستون
۶۴	۲-۱۳ تاثیر بار ثقیلی
۶۹	(الف) مقاومت تیر پیوند برشی
۷۰	کنترل تیر
۷۰	(الف) بررسی فشرده‌گی
۷۰	(ب) مقاومت تیر پیوند
۷۴	۲-۱۴ استفاده از مهاربندهای BRB در قاب‌های مهاربندی شده واگرا
۷۴	۲-۱۴-۱ معرفی مهاربند BRB
۷۶	۲-۱۴-۲ ترکیب سیستم BRB و EBF
۷۸	۲-۱۵ مهاربندهای واگرا با تیر پیوند قابل تعویض
۸۳	فصل سوم: مهاربند واگرا با لینک قائم برشی
۸۳	۳-۱ مقدمه
۸۵	۳-۲ نگاهی مختصر بر پیشینه تحقیقات لینک قائم برشی
۸۶	۳-۳ مهاربند واگرا با جفت لینک قائم برشی
۸۸	۳-۴ ضوابط طراحی
۸۸	(الف) سختی
۸۹	(ب) کنترل دوران تیر پیوند
۹۰	(پ) فواصل سخت کننده‌ها
۹۰	(ج) طراحی لینک قائم برشی
۹۰	(چ) کنترل ضریب اضافه مقاومت
۹۱	(ح) تیر خارج از پیوند
۹۲	(خ) مهارجانبی تیر پیوند
۹۲	۳-۵ مثال طراحی
۹۳	کنترل تیر
۹۳	(الف) بررسی فشرده‌گی
۹۳	(ب) مقاومت تیر پیوند
۹۴	کنترل ضریب اضافه مقاومت
۹۴	طراحی سخت کننده جان لینک قائم برشی
۹۴	سخت کننده‌های تیر پیوند
۹۵	بازبینی تیر پیوند
۹۶	طراحی تیر طبقه اول

۹۷	طراحی مهاربند
۹۸	طراحی مهاربند طبقه پنجم (بام)
۹۹	طراحی مهاربند طبقه چهارم
۱۰۰	طراحی مهاربند طبقه سوم
۱۰۰	طراحی مهاربند طبقه دوم
۱۰۰	طراحی مهاربند طبقه اول
۱۰۱	کنترل سختی
۱۰۱	اتصال مهاربند
۱۰۱	اتصال قطری مهاربندی به لینک قائم برشی
۱۰۲	محاسبه L1
۱۰۲	کنترل تنش ویتامور
۱۰۲	محاسبه Lx
۱۰۴	طراحی ورق اتصال مهاربند به تیر- ستون
۱۰۴	اتصال مهاربند به ورق اتصال
۱۰۷	فصل چهارم: قاب‌های مهاربندی شده واگرای مرکب
۱۰۷	۱-۴ کلیات رفتاری
۱۰۹	۲-۴ مهاربند واگرا با تیر پیوند قائم در قاب‌های بتن آرمه
۱۱۱	۳-۴ ضوابط طراحی
۱۱۲	الف) محاسبه و کنترل تغییر شکل‌ها
۱۱۲	ب) کنترل دوران تیر پیوند
۱۱۳	پ) فواصل سخت کننده‌ها
۱۱۳	۴-۴ جفت لینک قائم برشی در قاب بتن آرمه
۱۱۴	توزیع نیرو بین قاب و مهاربند
۱۱۴	طراحی اعضا
۱۱۵	کنترل تیر طبقه
۱۱۵	الف) بررسی فشردگی
۱۱۵	ب) کنترل ضریب اضافه مقاومت
۱۱۶	طراحی مهاربند
۱۱۶	طراحی مهاربند طبقه پنجم (بام)
۱۱۷	طراحی مهاربند طبقه چهارم
۱۱۸	سخت کننده‌های تیر پیوند
۱۱۹	طراحی قاب خمشی بتنی
۱۱۹	لنگر تیر
۱۱۹	برش تیر
۱۱۹	۵-۴ تیر پیوند افقی بین دو دیوار برشی بتنی
۱۲۰	۲-۳ مهاربند واگرا با لینک قائم مرکب
۱۲۲	استفاده از پانل برشی قاب آرمه
۱۲۵	فصل پنجم: تحلیل و طراحی ساختمان دارای مهاربند واگرا با Etabs-2013
۱۲۵	بارگذاری سازه
۱۲۵	بارگذاری ثقلی
۱۲۸	بار دیوارها
۱۲۹	جزئیات راه پله
۱۲۹	خلاصه بارگذاری مرده و زنده
۱۳۰	بار زلزله
۱۳۱	راه‌اندازی برنامه

۱۳۱	ایجاد هندسه مدل و ترسیم اجزا
۱۳۱	ترسیم خطوط شبکه
۱۳۴	ترسیم ستون‌ها
۱۳۶	ترسیم تیرها
۱۳۷	ترسیم مهاربندها
۱۳۸	ترسیم کف‌ها
۱۳۹	انتقال تیر پاگرد نیم طبقه
۱۳۹	تعریف مشخصات
۱۴۰	مصالح
۱۴۱	معرفی مقاطع تیر
۱۴۲	مقاطع ستون
۱۴۲	معرفی مقاطع مهاربند
۱۴۴	معرفی مقطع تیرچه
۱۴۴	معرفی لیست خودکار
۱۴۵	معرفی نوع بارها
۱۴۶	معرفی طیف و تحلیل طیفی براساس آئین‌نامه ۲۸۰۰
۱۴۸	معرفی بار معدل جهت محاسبه وزن موثر ساختمان
۱۴۹	معرفی ترکیبات بار
۱۵۱	اختصاص مشخصات به عناصر
۱۵۲	تکیه‌گاه
۱۵۳	اختصاص مقاطع خطی
۱۵۳	اختصاص اتصال مفصلی تیر به ستون
۱۵۴	اختصاص نواحی صلب
۱۵۵	انتخاب جهت پخش بار در تیرچه‌ها
۱۵۶	ایجاد دیافراگم صلب
۱۵۶	ایجاد خرپشته
۱۵۷	اختصاص بارها
۱۶۰	بار اتاق راه پله
۱۶۱	بار مرده معادل‌سازی جرم
۱۶۲	بار سقف
۱۶۲	تحلیل سازه
۱۶۲	کنترل نتایج
۱۶۵	طراحی
۱۶۵	تنظیم آئین‌نامه و پارامترهای آن
۱۶۶	انتخاب ترکیبات بار
۱۶۶	انجام عملیات طراحی
۱۶۷	کنترل سازه
۱۷۱	کنترل نامنظمی سازه
۱۷۱	نامنظمی در پلان
۱۷۴	منظم بودن در ارتفاع
۱۷۵	کنترل لنگر واژگونی



۶۶۴۸

۱۹۱-۲

در حال حاضر در ایران مهاربندهای واگرا در سطح وسیع مورد استفاده قرار می گیرند. با وجود این استفاده گسترده، فقدان مرجعی مناسب در خصوص این سیستم مهاربندی مشهود است. با چاپ نسخه جدید مقررات ملی ساختمان-مبحث دهم- و رویکرد آن به روش طراحی LRFD این فقدان نمایان تر گردید. از طرفی علیرغم مزایا و رفتار مناسب این سیستم، به دلیل عدم دانش کافی طراحان و مجریان در خصوص این سیستم منجر به اشتباهاتی شده که رفتار مناسب سیستم را به یک رفتار نامطلوب لرزه‌ای تبدیل خواهد نمود. بنابراین سالها تدریس و فعالیت اجرایی نویسندگان را بر آن داشت که نوشته حاضر را برای استفاده مهندسان محاسب و طراح، محققان و دانشجویان ارائه نمایند. در مطالب کتاب فلسفه‌های طراحی، نگاهی مختصر به تاریخچه آن و نتایج آخرین تحقیقات و همچنین مثال‌های طراحی در خصوص این سیستم گنجانده شده است. قبل از مطالعه کتاب لازم است خوانندگان عزیز با دروس طراحی دوره کارشناسی آشنایی و تسلط لازم داشته باشند. همچنین مطالب کتاب به نحوی است که باید به ترتیب فصول مطالعه گردد تا نتیجه مطلوب حاصل گردد. از راهنمایی‌های ارزشمند دکترا و تر به عنوان یکی از اولین پیشگامان تحقیق بر روی مهاربندهای واگرا سپاسگذاری می‌شود. همچنین از سرکار خانم نوروزی و آقای کریمی دانش آموخته شایسته مقطع لیسانس بابت بازخوانی متن کتاب از جنبه اشتباهات تایپی قدردانی می‌شود. امید است این کتاب گامی هر چند کوچک در راه رشد و اعتلای دانش این مملکت باشد.

علی قمری

عباس اکبرپور

فون: ۲-۶۶۴۸۴۱۹۱

فصل اول

رفتار سازه‌ها

۱-۱ مقدمه

هر سازه در عمر مفید خود بارهای ثقلی و جانبی را تجربه خواهد کرد. ماهیت بارهای جانبی و ثقلی، پاسخ سازه‌ها در برابر آنها و همچنین انتظار طراح از سازه در مقابل این نوع بارها، با هم متفاوت است. بارهای ثقلی را می‌توان با دقت بالایی محاسبه و در طراحی منظور نمود که آئین‌نامه‌های بارگذاری، راهکارهایی با دقت قابل قبولی در اختیار طراح قرار می‌دهند تا طراح با دقت بالایی بارگذاری ثقلی را انجام دهد. هر چند محاسبه بارهای زلزله (که نوعی بار جانبی است) براساس علم آمار و احتمالات انجام می‌شود، اما دقت محاسبه آن بسیار بالاست. به طور کلی می‌توان چنین بیان نمود که محاسبه بارهای ثقلی ساده بوده و به راحتی با دقت بسیار بالا قابل انجام است. این دقت را می‌توان با تکیه بر آئین‌نامه‌ها و یا قضاوت مهندسی کسب نمود. اما در خصوص بارهای جانبی مخصوصاً زلزله چنین نیست (بارهای جانبی نیز با هم متفاوت هستند. مثلاً بار باد و زلزله تفاوت‌های اساسی در برآورد مقدار و محاسبه دارند که در این مبحث هدف ارزیابی و برآورد بارهای لرزه‌ای است). برآورد بارهای زلزله بسیار مشکل و پرهزینه است. بر این اساس آئین‌نامه‌ها با تکیه بر علم ارتعاشات تصادفی، قابلیت اعتماد و عدم قطعیت بارها، علم آمار و... روابط ساده شده‌ای را برای محاسبه (با آگاهی به محدودیت استفاده از این روابط) پیشنهاد می‌کنند. البته هر چند این روابط، ساده شده معادلات پیچیده هستند، اما باید با دانش و آگاهی به کار برده شوند. به هر حال با مشخص شدن بارهای ثقلی و جانبی می‌توان براساس احتمال تغییر بارها، با استفاده ترکیبات بار، بار طراحی را در نظر گرفت. ترکیبات بار طراحی سازه‌های فولادی براساس مقررات ملی ساختمان به قرار زیر است.

1.4D

$1.2D + 1.6L + 0.5(L_r \text{ یا } S \text{ یا } R)$

$1.2D + 1.6(L_r \text{ یا } S \text{ یا } R) + [L \text{ یا } 0.7W]$

$1.2D \mp 1.4W + L + 0.5(L_r \text{ یا } S \text{ یا } R)$

$1.2D \mp E + L + 0.2S$

$0.9D \mp 1.4W$

$0.9D \mp E$

ترکیب بار مرده، بهره‌برداری و آثار حرارتی، نشست و جمع شدگی

$1.2D + 0.5L + 0.5(L_r \text{ یا } S) + 1.2T$

$1.2D + 1.6L + 1.6(L_r \text{ یا } S) + T$

که در آن D بار مرده، L بار زنده، E زلزله، W باد، S برف، R باران و L_r بار زنده بام می‌باشد. در

میان تمام بارها جهت طراحی، بار زلزله اغلب پیچیده تر است. دلیل اصلی این پیچیدگی، تاثیر یک شتاب واقعی بر پی سازه است که بارهای زلزله را ناشی می‌شود.

۱-۲ پاسخ الاستیک و طیف پاسخ

برای مطالعه تاثیر بارهای لرزه‌ای بر سازه‌ها، در ابتدا بحث را با یک سازه یک درجه آزاد شروع کرده سپس به سازه‌های چند درجه آزاد خواهیم پرداخت. بنابراین فرض می‌شود یک سازه یک طبقه را می‌توان به عنوان یک سیستم یک درجه آزاد (SDOF) همانند شکل (۱-۱-۱) در نظر گرفت که در آن سختی جانبی و M جرم متمرکز بام است. در سیستم یک درجه آزاد، فرکانس زاویه‌ای ω ، و زمان تناوب طبیعی T برابر است با:

$$\omega = \sqrt{\frac{M}{K}} \quad (1-1-الف)$$

$$T = \frac{2\pi}{\omega} = 2\pi \sqrt{\frac{K}{M}} \quad (1-1-ب)$$

همچنین فرض می‌شود که سیستم دارای ۵٪ میرایی معادل ویسکوز است. با اعمال تحریک یک زلزله خاص همانند شکل (۱-۱-۱) به پی قاب، تغییر شکل جانبی سازه را می‌توان به عنوان پاسخ سازه، از علم دینامیک سازه محاسبه نمود. به بیان ساده، پاسخ سازه یعنی تغییر مکان، سرعت و یا شتاب یک سازه نسبت به یک تحریک مشخص. این تحریک می‌تواند تغییر مکان، سرعت، شتاب و یا نیروی مشخص باشد که به سازه اعمال می‌شود. در تحریک زلزله، یک شتاب به سازه اعمال می‌شود که این تحریک شتاب از پایه، در سازه نیرو ایجاد می‌کند. در شکل (۱-۱) قسمت C برای یک پاسخ وقتی که زمان تناوب برابر یک ثانیه باشد، ترسیم شده است. از نقطه نظر طراحی عملی، بیشترین پاسخ سازه در حداکثر تغییر مکان نسبی جرم نسبت به زمین حاصل می‌شود. این مقدار حداکثر پاسخ تغییر مکان به نام پاسخ طیفی $S_d(T)$ در زمان تناوب T شناخته می‌شود. با مقادیر مختلف M یا K ، زمان تناوب طبیعی سیستم نیز تغییر خواهد کرد. اگر روند ذکر شده برای دیگر مقادیر زمان تناوب تکرار شود، طیف پاسخ همانند شکل (۱-۲-۱) حاصل می‌گردد. وقتی طیف پاسخ ایجاد شود دیگر نیازی به تحلیل‌های زمانبر دینامیکی تاریخچه زمانی نخواهد بود و به راحتی با استفاده از زمان تناوب مشخص، می‌توان پاسخ را تعیین نمود.

در طراحی سازه‌ها، مقدار حداکثر نیرو در عضو اهمیت ویژه‌ای دارد و لازم است که مقدار آن مشخص شود. براساس قانون هوک، حداکثر مقدار نیرو یا برش پایه، V_e ، برای یک سیستم الاستیک برابر است با:

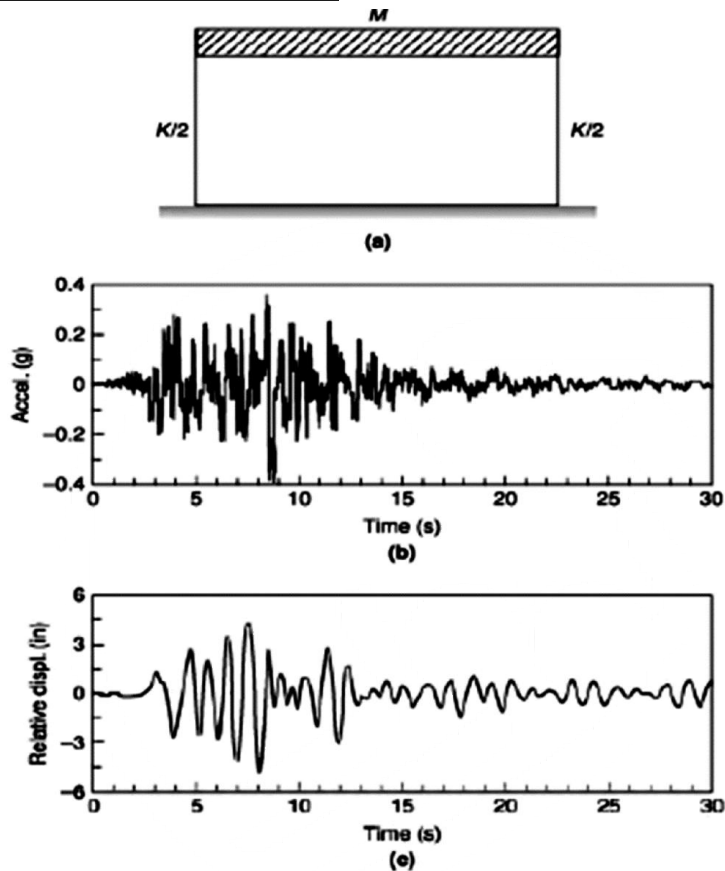
$$V_e(T) = K\Delta_{max} = KS_d(T) \quad (2-1)$$

با ترکیب معادله (۱-۱)، رابطه فوق را می‌توان به صورت زیر نوشت:

$$V_e(T) = M\omega^2 S_d(T) \quad (3-1)$$

بنابراین شبه شتاب $S_a(T)$ به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$S_a(T) = \omega^2 S_d(T) \quad (4-1)$$

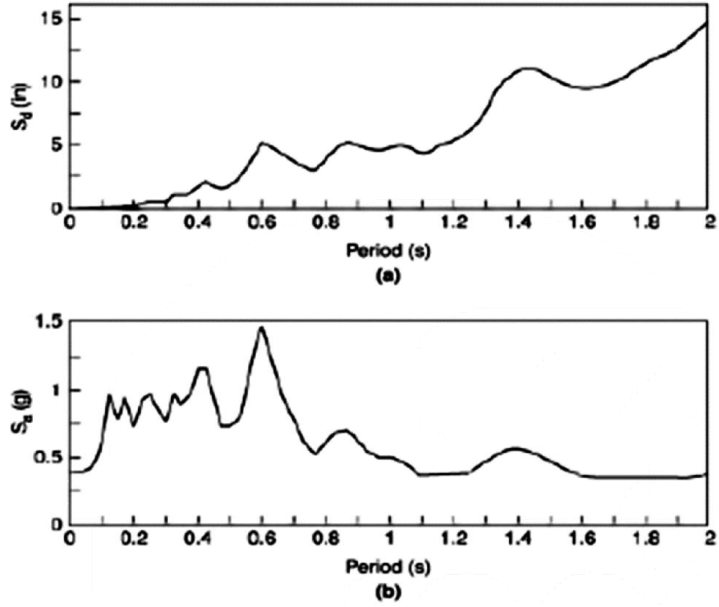


شکل (۱-۱)

سپس طیف پاسخ تغییر مکان در شکل (۱-۲-۱) را می‌توان به طیف پاسخ شبه شتاب همانند شکل (۱-۲-۲) و معادله (۱-۴) تبدیل نمود.

$$V_e(T) = MS_a(T) = W \left(\frac{s_a(T)}{g} \right) \quad (۱-۵)$$

در رابطه فوق w وزن واکنش دهنده سیستم است. به طور کلی، برش پایه به صورت ضریبی از وزن سازه معرفی می‌شود. بنابراین با افزایش وزن، نیروی اعمال شده به سازه افزایش پیدا می‌کند. آئین‌نامه‌های طراحی ساختمان در برابر زلزله نیز، نیروی برش پایه ناشی از زلزله را به صورت ضریبی از وزن ساختمان لحاظ می‌کنند. یعنی برش پایه به صورت $V=C.W$ معرفی می‌شود که C به نام ضریب زلزله یا ضریب نرمال شده برش به وزن سازه اطلاق می‌شود.



شکل (۲-۱)

نشر نوآور

تلفن: ۲-۶۶۴۸۴۱۹۱