

به نام آنکه جان را فکرت آموخت

بارهای طراحی سازه‌ها

تالیف

دکتر سیدمهدی زهرانی

(دانشیار دانشکده عمران دانشگاه تهران)



سرشناسه	زهرایی، سیدمهدی، ۱۳۴۳ -
عنوان و نام‌پدیدآور	بارهای طراحی سازه‌ها/ مولف سیدمهدی زهرایی.
مشخصات نشر	تهران: فدک ایستاتیس، ۱۳۹۲.
مشخصات ظاهری	۴۲۲ ص: تصویر، جدول، نمودار.
شابک	۱۹۰۰۰ ریال: ۳-۱۶۱-۱۶۰-۶۰۰-۹۷۸
موضوع	دینامیک سازه‌ها
موضوع	بارگذاری
موضوع	ضریب بار و مقاومت
موضوع	ساختمان‌ها - اثر زلزله
رده‌بندی کنگره	۱۳۹۲ ب۲/۹: TA۶۵۴
رده‌بندی دیویی	۶۲۴/۱۷۲:
شماره کتابشناسی ملی	۳۴۰۹۲۴۳:

بارهای طراحی سازه‌ها



تالیف	سیدمهدی زهرایی
مدیر تولید	رضا کرمی‌شاهنده
صفحه‌آرایی	واحد تولید انتشارات فدک ایستاتیس (فاطمه نوروزی)
نوبت چاپ	اول - ۱۳۹۳
تیراژ	۵۰۰
قیمت	۱۹۰۰۰ ریال
شابک	۳-۱۶۱-۱۶۰-۶۰۰-۹۷۸

فروشگاه:	تهران - خیابان انقلاب - بین خیابان فروردین و منیرى جاوید - روبروی دبیرخانه دانشگاه تهران - کتابفروشی فلاح
	تلفن: ۶۶۴۱۰۳۵۴
دفتر انتشارات:	تهران - خیابان انقلاب - خیابان اردیبهشت - بین لیاقی‌نژاد و جمهوری - ساختمان ۱۰
	تلفن: ۶۶۴۸۲۲۲۱ - ۶۶۴۸۱۰۹۶ - ۶۶۴۶۵۸۳۱

ایمیل و وبسایت: www.fadakhbook.ir - info@fadakhbook.ir

کتاب 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 ایستاتیس می‌باشد. هرگونه برداشت، تکثیر، کپی‌برداری به هر شکل (چاپ، فتوکپی، انتشار الکترونیکی) بدون اجازه کتبی از انتشارات فدک ایستاتیس ممنوع بوده و متخلفین تحت پیگرد قانونی قرار خواهند گرفت.

معاونت حقوقی
انتشارات فدک ایستاتیس

در فرآیند طراحی سازه‌ها به منظور تأمین اهداف عملکردی آن‌ها، بارگذاری سازه و آشنایی با بارهای وارد بر سازه و چگونگی تعیین مقادیر بارهای طراحی سازه نقش بسیار مهمی ایفا می‌کند. اگرچه آشنایی با چگونگی تعیین بارهای طراحی سازه‌ها بر مبنای آیین‌نامه‌های طراحی امری ضروری برای یک مهندس طراح است، ولی این مهارت تنها زمانی مفید واقع می‌شود که طراح با چگونگی اعمال این بارها بر سازه‌ها در فرآیند طراحی سازه تسلط کافی داشته باشد. این امر مستلزم آشنایی با اصول و مبنای بارگذاری و تعیین بارهای وارد بر سازه می‌باشد آشنایی با این اصول در اکثر موارد نیازمند آشنایی با مباحث پیچیده و پیشرفته در مورد ماهیت احتمالاتی بارهای طراحی سازه، رفتار هر یک از اعضای سازه، عدم قطعیت موجود در رفتار اعضا و رفتار کلی یک سازه می‌باشد. از طرف دیگر درس بارگذاری اولین آشنایی بسیاری از دانشجویان مهندسی عمران با پیچیدگی موجود در پدیده‌های طبیعی همچون باد و زلزله، مفاهیم و اصول رفتار سازه در برابر این پدیده‌ها می‌باشد. این امر استفاده از زبانی ساده به منظور آموزش مفاهیم اساسی در مورد ماهیت بارهای وارد بر سازه و چگونگی رفتار سازه در برابر این بارها را ضروری می‌نماید.

سال‌های طولانی تدریس درس بارگذاری در دانشکده‌ی عمران دانشگاه تهران مؤلف را بر آن داشت تا اقدام به تهیه‌ی کتابی در مورد بارهای طراحی وارد بر سازه‌ها نماید. هدف اصلی از تألیف این کتاب، ایجاد فهمی عمیق از اصول بارگذاری به منظور کاربرد مناسب آن‌ها در مهندسی سازه و دروس طراحی سازه‌های فولادی و بتنی با بکارگیری زبانی ساده و بدون پیچیدگی است. در واقع ضمن تأکید بر نقش آمار و احتمالات و تئوری تصمیم‌گیری آماری در موضوعات بارگذاری مهندسی عمران، هدف مؤلف، طرح مسائل کاربردی در مورد انواع بارهای وارد بر اجزای مختلف ساختمانها از دید مقاومت مصالح، مکانیک خاک، طراحی سازه‌ها، و ساخت و ساز می‌باشد.

انگیزه‌ی مؤلف از نگارش کتاب، تشویق دانشجویان این درس برای مطالعه کاملتر مباحث بارگذاری به کمک این مجموعه بوده است. نکته ویژه این کتاب با توجه به انتشار ویرایش سوم مبحث ۶ مقررات ملی ساختمانی، علاوه بر مطالب تکمیلی و جدید در زمینه آمار و احتمالات، بارهای زنده، بار برف (که برای اولین بار مطالب کاملی از آئین نامه‌ها آورده شده)، بارهای جانبی ناشی از باد و زلزله، ارائه مطالبی برای سیستمهای مقاوم در برابر بارهای قائم و جانبی و روشهای تقریبی و دقیق تحلیل این سیستمها است.

در این کتاب، مفاهیم پایه و مقدماتی بارگذاری سازه‌ها به صورتی ساده و قابل فهم برای مهندسين و دانشجویان مهندسی بیان شده‌اند. این مفاهیم توسط مثال‌های متعددی در مورد مسائل کاربردی در بارگذاری مطرح شده و تمرینی در پایان هر فصل به منظور ارتقای درک دانشجویان از

این مفاهیم آورده شده‌اند. این تمارین می‌توانند فرصتی برای دانشجویان فراهم کنند تا به میزان تسلط خود بر مطالب، آگاهی پیدا کنند. مطالب موجود در این کتاب برای دانشجویان سال سوم یا چهارم دانشگاهها، اساتید و محققینی که در مورد بارهای وارد بر سازه‌ها و نیز مقاومت مورد نیاز آنها مطالعه می‌کنند، تنظیم گردیده است. برای مطالعه‌ی کتاب، داشتن اطلاعات مقدماتی در مورد مفاهیم آمار و احتمالات، مقاومت مصالح و تحلیل سازه‌ها مورد نیاز است.

در این کتاب سعی شده تا تغییرات عمده اخیر در ویرایش سوم مبحث ۶ شامل ضریب اهمیت برای بارهای برف، یخ‌زدگی و باد، جزو بار زنده قرارگرفتن بار تیغه‌ها، تغییرات شرایط نامساعدترین وضعیت بارگذاری بار زنده، بار دست‌انداز و حفاظ پارکینگ، شرایط و نحوه کاهش سربار، مطالب افزوده شده برای بار برف، خاک، آب، یخ‌زدگی و سیل و بالاخره تغییرات اساسی در بار باد و نیز ترکیبات بارگذاری در نظر گرفته شود. همچنین در فصل بارهای زلزله به تغییرات عمده ویرایش چهارم استاندارد ۲۸۰۰ نیز اشاره شده است.

این کتاب از ۱۱ فصل تشکیل شده است. در فصل اول مقدمات بارگذاری، انواع بارها، مبانی احتمالاتی بارگذاری سازه‌ها و چگونگی کاربرد این مفاهیم در تعیین بارهای وارد بر سازه بیان شده است. علاوه بر معرفی مختصر برخی متغیرهای تصادفی و توابع احتمال حاکم بر آنها، عدم قطعیت در مقادیر بارها و مقاومت برای تأمین ایمنی، مبانی طراحی به روش حالت حدی و قابلیت اعتماد سازه‌ها در این فصل بحث شده است.

در فصل دوم، بارهای مرده و چگونگی تعیین این بارها بر اساس جزئیات اجزای سازه‌ای و غیرسازه‌ای در ساختمان‌ها ارائه شده است. در این فصل مفاهیم مربوط به بار معادل یکنواخت کف تیغه‌های ساختمان و چگونگی تعیین این مقادیر بر اساس مبحث ششم مقررات ملی ساختمان و استاندارد بارهای طراحی سازه‌ها ASCE7-05 بیان شده است.

در فصل سوم به ماهیت بارهای زنده پرداخته شده است تا با آشنا نمودن خوانندگان کتاب با ماهیت این بارها، چگونگی تعیین مقادیر این بارها به گونه‌ای صحیح و قابل اطمینان بیان شود. در ادامه موارد، کاهش سربار به منظور دستیابی به طرحی اقتصادی بیان شده است. علاوه بر این چگونگی رفتار سازه‌ها در برابر بارهای دینامیکی و اصول بارگذاری مربوط به این بارها در فصل سوم بیان شده است.

در فصل چهارم ماهیت بار برف و چگونگی تعیین آن بر اساس مبحث ششم مقررات ملی ساختمان بیان شده است. علاوه بر آن به منظور درک بهتر و کاملتر از بار برف، الگوی بارگذاری برف بر اساس استاندارد ASCE7-05 ارائه شده است. ضمناً، در این فصل بار موضعی برف، برف انباشتی بر روی بام‌های پایین‌تر، بار اضافی ناشی از ریزش باران بر روی برف، ناپایداری حاصل از برف انباشتی در بارگذاری برف بیان می‌شود. با توجه به تغییرات در ویرایش سوم مبحث ۶ مقررات ملی ساختمانی

کشور، بارهای حاصل از فشار خاک و اثرات خود کرنشی در فصل پنجم و بارهای ناشی از آب، یخزدگی و سیل در فصل ششم به اختصار آورده شده است.

در فصل هفتم به سیستم‌های باربر ثقلی ساختمان پرداخته می‌شود. علاوه بر معرفی انواع دال‌های سازه‌ای، چگونگی تعیین نحوه‌ی انتقال بار در سازه و تعیین سطح بارگیر اجزای سازه‌ای مانند تیرها و ستون‌ها مرور می‌شود. در پایان این فصل نیز روش‌های تحلیل تقریبی سازه‌ها در برابر بار جانبی بیان شده است.

در فصل هشتم به ماهیت بارهای ناشی از باد و چگونگی تعیین این بارها پرداخته می‌شود. ابتدا چگونگی تعیین باد مبنای بارگذاری مرور شده و در ادامه، مفاهیم و پارامترهای مؤثر بر بارهای ناشی از باد ارائه می‌شود. در پایان نیز معیارهای طراحی سازه در برابر باد و آثار دینامیکی باد بر سازه‌های انعطاف پذیر آورده می‌شود.

هدف اصلی در فصل نهم ایجاد درکی ساده از مفاهیم مربوط به پدیده‌ی زلزله و میانی لرزه-شناسی می‌باشد. در این فصل به پدیده‌ی زلزله و دلایل وقوع آن پرداخته می‌شود و مکانیزم‌های ایجاد خرابی در سازه‌ها طی یک زلزله و انواع امواج لرزه‌ای بیان می‌شود. علاوه بر آن، پارامترهای تأثیرگذار در شدت خرابی حاصل از زلزله نیز ارائه می‌شود.

در فصل دهم به مباحث مربوط به بارهای ایجاد شده در سازه‌ها در اثر زلزله پرداخته می‌شود. در این فصل با هدف‌های طراحی سازه، روش‌های تحلیل سازه در برابر زلزله و اصول تحلیل خطی استاتیکی سازه‌ها مرور می‌شود. علاوه بر آن، بر اساس ضوابط استاندارد ۲۸۵۰، چگونگی تعیین نیروی زلزله وارد بر سازه بر طبق روش تحلیل خطی استاتیکی ارائه شده و در ادامه، تغییر شکل ایجاد شده در سازه‌ها و چگونگی کنترل سازه‌ها در برابر بار زلزله سطح بهره‌برداری بررسی می‌شود. در این فصل، به انواع دیافراگم‌ها کف و چگونگی عملکرد آن‌ها در برابر بار جانبی و همچنین نیروهای وارد بر این دال‌ها در طی زلزله پرداخته می‌شود. در پایان نیز، چگونگی تعیین بار ناشی از زلزله وارد بر سازه‌های غیرساختمانی ارائه می‌شود.

فصل یازدهم به ویژگی‌های سیستم‌هایی باربر جانبی و معرفی انواع سیستم‌های باربر جانبی می‌پردازد. در ادامه انواع اتصالات در سازه‌های فولادی اشاره شده و در پایان، روش‌های تقریبی تحلیل سازه در برابر بار جانبی ارائه می‌شود.

در فصل دوازدهم به انواع روش‌های طراحی سازه پرداخته می‌شود و روند طراحی در روش‌های تنش مجاز و حالت حدی بیان می‌شود. در ادامه ترکیبیات بار طراحی در هر دو روش تنش مجاز و حالت حدی بر اساس مبحث ششم و دهم مقررات ملی ساختمان و استاندارد ASCE7-05 پرداخته می‌شود. فصل سیزدهم نیز بارهای وارد بر پل‌ها را به اختصار مرور می‌کند.

تهیه‌ی این کتاب که سه سال به طول انجامیده است بدون همراهی و یاری دانشجویان شایسته دانشکده عمران پردیس دانشکده‌های فنی دانشگاه تهران مقدور نبود. در اینجا مؤلف از این

دانشجویان به ویژه آقای مهندس محمد مطلبی نصرآبادی در تهیه پیش‌نویس اولیه کتاب در سال ۱۳۹۰، تشکر و قدردانی می‌نماید.

هر چند طی بازخوانی‌های مکرر، سعی و تلاش فراوانی به عمل آمده تا نوشته‌ی حاضر از کمترین اشتباهات برخوردار باشد، لیکن همچون سایر منابع علمی این اثر نیز دارای کمبودهایی است که با مطالعه عمیق تر روشن خواهد شد. پیشاپیش ضمن پوزش از خوانندگان محترم به لحاظ احتمال وجود اشتباهات و اشکالاتی که از نظر نویسنده به دور مانده، از دریافت نقطه نظرات، پیشنهادات و رهنمودهای همکاران محترم و دانشجویان عزیز، استقبال می‌شود.

سید مهدی زهرائی

زمستان ۱۳۹۲

Mzahrai @ ut.ac.ir

فهرست مطالب

۱ بارگذاری و عدم قطعیت

انواع بارهای وارد بر سازه	۱.۱
مراحل طراحی سازه	۲.۱
عدم قطعیت در ایمنی یک سازه	۳.۱
چند توزیع احتمالاتی مفید	۴.۱
طراحی احتمالاتی و تئوری قابلیت اطمینان سازه‌ها	۵.۱
تمرین‌های فصل ۱	۳۰

۳۳ بارهای مرده

مقدمه	۱.۲
تعریف بارهای مرده	۲.۲
دیوارهای محیطی و تیغه‌های ثابت	۳.۲
تمرین‌های فصل ۲	۵۲

۵۵ بارهای زنده

مقدمه	۱.۳
بار زنده	۲.۳
تخمین مقدار بار زنده	۳.۳
موارد خاص از بارهای زنده	۴.۳
نامناسب‌ترین وضعیت بارگذاری زنده	۵.۳
کاهش سربار	۶.۳
بارهای ضربه‌ای	۷.۳
تمرین‌های فصل ۳	۹۱

بار ناشی از فشار خاک و آثار خودکرنشی ۹۳

فشار جانبی خاک ۹۴	۱.۴
تعیین فشار جانبی خاک در حالات حدی ۹۴	۲.۴
کنترل پایداری دیوارهای حائل ۹۸	۳.۴
آثار خودکرنشی ۱۰۲	۴.۴
تمرین‌های فصل ۴ ۱۰۴	

بار ناشی از فشار آب، سیل و یخ‌زدگی ۱۰۵

بار فشار آب ۱۰۶	۱.۵
بار سیل ۱۱۲	۲.۵
بار یخ‌زدگی ۱۱۴	۳.۵
تمرین‌های فصل ۵ ۱۱۸	

بار برف ۱۲۱

مقدمه ۱۲۲	۱.۶
بار برف ۱۲۲	۲.۶
بار برف مبنا ۱۲۳	۳.۶
بار برف بام‌های مسطح ۱۲۶	۴.۶
حداقل مقدار بار برف ۱۳۶	۵.۶
بار برف بام‌های شیب‌دار ۱۳۶	۶.۶
بارگذاری نامتقارن برف ۱۴۸	۷.۶
بار موضعی برف ۱۵۵	۸.۶
برف انباشتگی روی بام‌های پایین‌تر ۱۶۰	۹.۶
بار حاصل از برف انباشتگی در دیواره‌ی جان‌پناه‌ها و مجاورت خریشته‌ها ۱۶۸	۱۰.۶
اثر ساختمان‌ها و عوارض زمینی مجاور در برف انباشتگی ۱۷۰	۱۱.۶
لغزش برف ۱۷۰	۱۲.۶
بار اضافی ناشی از ریزش باران روی برف ۱۷۳	۱۳.۶
ناپایداری حاصل از آب انباشتگی ۱۷۴	۱۴.۶
تمرین‌های فصل ۶ ۱۸۴	

سیستم ساختمانی مقاوم در برابر بار ثقیل ۱۸۷

مقدمه ۱۸۸	۱.۷
-----------	-----

سیستم‌های ساختمانی مقاوم در برابر بارهای قائم ۱۸۸	۲.۷
دال کف ۱۹۰	۲.۷
محاسبه بار وارد بر هریک از اجزای اصلی سیستم باربر قائم سازه‌ها ۱۹۵	۴.۷
تقریبی سازه‌ها در برابر بار قائم ۲۰۳	۵.۷
تمرین‌های فصل ۷ ۲۰۶	

بار ناشی از باد ۲۰۷

مقدمه ۲۰۸	۱.۸
باد ۲۰۸	۲.۸
اثر باد بر سازه‌ها ۲۱۱	۳.۸
سرعت و فشار مبنای باد ۲۱۳	۴.۸
فشار و کشش ناشی از نیروی باد ۲۱۳	۵.۸
ضریب بادگیری (اثر تغییر سرعت) C_e ۲۱۴	۶.۸
ضریب اثر جهش باد C_{gi} ۲۱۶	۷.۸
ضریب فشار C_p ۲۱۶	۸.۸
ضوابط عمومی طراحی سازه‌ها برای باد ۲۱۸	۹.۸
تحلیل دینامیکی بار باد ۲۲۹	۱۰.۸
تمرین‌های فصل ۸ ۲۳۲	

مروری بر لرزه‌شناسی ۲۳۵

مقدمه ۲۳۶	۱.۹
زلزله و ماهیت آن ۲۳۶	۲.۹
گسل‌ها ۲۴۰	۳.۹
کانون، مرکز و عمق زلزله ۲۴۲	۴.۹
موج‌های لرزه‌ای ۲۴۲	۵.۹
شدت و بزرگی زلزله ۲۴۶	۶.۹
ساز و کار خرابی در زلزله ۲۴۹	۷.۹

بار ناشی از زلزله ۲۵۵

مقدمه ۲۵۶	۱.۱۰
تاریخچه ۲۵۶	۲.۱۰
هدف طراحی ۲۵۸	۳.۱۰
راستای نیروی زلزله ۲۶۵	۴.۱۰

روش های تحلیل سازه در برابر زلزله ۲۶۶	۵.۱۰
مقدمه ای بر دینامیک سازه ۲۶۶	۶.۱۰
ساختمان منظم و نامنظم ۲۷۳	۷.۱۰
حدود اعتبار روش تحلیل استاتیکی خطی ۲۷۷	۸.۱۰
روش تحلیل خطی استاتیکی بر اساس ضوابط استاندارد ۲۸۰۰ ۲۷۷	۹.۱۰
توزیع نیروی جانبی زلزله در ارتفاع ساختمان ۲۹۲	۱۰.۱۰
بررسی ساختمان در برابر واژگونی ۲۹۵	۱۱.۱۰
لنگر پیچشی ناشی از نیروهای جانبی زلزله ۲۹۶	۱۲.۱۰
توزیع نیروی برشی در پلان ۳۰۱	۱۳.۱۰
تغییر مکان جانبی نسبی طبقات ۳۲۳	۱۴.۱۰
اثر $P-\Delta$ ۳۲۵	۱۵.۱۰
مؤلفه قائم نیروی زلزله ۳۲۷	۱۶.۱۰
نیروی زلزله وارد بر قطعات الحاقی ۳۲۸	۱۷.۱۰
دیافراگم ها و نیروی وارد بر آن ها در زلزله ۳۲۹	۱۸.۱۰
تأثیر خصوصیات معماری در زلزله ۳۳۴	۱۹.۱۰
کنترل سازه برای بار زلزله سطح بهره برداری ۳۴۱	۲۰.۱۰
سازه های غیرساختمانی ۳۴۲	۲۱.۱۰
تمرین های فصل ۱۰ ۳۵۰	

سیستم سازه ای مقاوم در برابر بار جانبی ۳۵۳

مقدمه ۳۵۴	۱.۱۱
سیستم باربر جانبی ۳۵۴	۲.۱۱
انواع سیستم های باربر جانبی ۳۵۵	۳.۱۱
انواع اتصالات در سازه های فولادی ۳۶۹	۴.۱۱
تحلیل تقریبی قاب ها در مقابل بارهای جانبی ۳۷۳	۵.۱۱
تمرین های فصل ۱۱ ۳۸۲	

ترکیبات بارگذاری ۳۸۵

مقدمه ۳۸۶	۱.۱۲
هدف از طراحی سازه ها ۳۸۶	۲.۱۲
روش طراحی تنش مجاز ۳۸۷	۳.۱۲
روش طراحی حالت حدی ۳۹۰	۴.۱۲
تمرین های فصل ۱۲ ۳۹۴	

بارگذاری پلها ۳۹۵

مقدمه ۳۹۶	۱.۱۳
بار دائمی ۳۹۶	۲.۱۳
بار بهره‌برداری ۳۹۷	۳.۱۳
اثرات مربوط به بار بهره‌برداری ۳۹۹	۴.۱۳
اثر ترمز ۳۹۹	۵.۱۳
نیروی گریز از مرکز ۴۰۰	۶.۱۳
بارهای پیاده‌رو ۴۰۰	۷.۱۳
نیروهای ناشی از حرارت ۴۰۱	۸.۱۳
نیروی ناشی از جریان آب بر پایه‌ها ۴۰۱	۹.۱۳
بار زلزله ۴۰۱	۱۰.۱۳

منابع و مراجع ۴۰۵