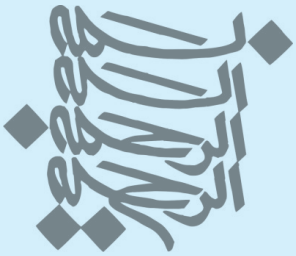


به نام یکتا مهندس هستی

سری عمران

سخن مدیر تألیف

سپاس خداوند متعال را که در این سال‌ها لطف خود را از مؤسسه سری عمران دریغ نکرده و به ما انگیزه‌ای دو چندان داده است تا با **تولید کتاب‌ها و برگزاری کلاس‌های ویژه آزمون نظام مهندسی** و کارشناسی ارشد، قدمی هر چند کوچک برای موفقیت شما مهندسین عزیز بردارد.

پس از ایجاد تغییرات اساسی در آیین‌نامه‌های رسمی کشور (مقررات ملی ساختمان)، تصمیم گرفتیم که با تلاش شبانه‌روزی، فعالیت‌های مؤسسه سری عمران را در زمینه تولید کتاب و برگزاری کلاس‌های آزمون نظام مهندسی ارتقاء دهیم که خلاصه این فعالیت‌ها به شرح زیر است:

کتاب‌های ویژه آزمون نظام مهندسی

با تألیف **نسل جدید** کتاب‌های نظام مهندسی توسط اساتید برجسته و ممتاز، تلاش کرده‌ایم که مجموعه‌ای کم نقص در اختیار شما قرار گیرد. در این کتاب‌ها، ما به‌دنبال ویژگی‌های زیر بوده‌ایم:

۱- با بیانی ساده و روان، کلیه مفاهیم مورد نیاز را آموزش داده و در کنار آن درک و قضاوت مهندسی شما را افزایش دهیم.

۲- با توجه به ابهامات نسبتاً زیاد در آیین‌نامه‌های جدید، با حساسیت خاصی بندهای آیین‌نامه‌ها را شرح داده و سعی کرده‌ایم که کاربرد این بندها، با ارائه مثال‌های متنوع، کاملاً شفاف و واضح شوند.

۳- در یک فرایند سخت و دشوار، تست‌های آزمون سال‌های گذشته (از سال ۸۰ به بعد) را که بر مبنای آیین‌نامه‌های قدیم بوده است، با کمترین تغییر ممکن بر مبنای ویرایش جدید آیین‌نامه‌ها حل کرده و پاسخ تشریحی آنها را نیز با توضیحات کامل آورده‌ایم.

۴- با ارائه فهرست مطالب همراه با جزئیات کامل آن در ابتدای کتاب، عملاً به داوطلبان کمک کرده‌ایم تا در جلسه آزمون، سریعتر مطالب مورد نیاز خود را برای حل سؤالات پیدا کنند. همانطور که می‌دانید این آزمون به‌صورت کتاب باز (open book) برگزار می‌شود و با استفاده از این فهرست، می‌توانید در کوتاهترین زمان ممکن، مطلب مورد نیاز خود در کتاب را پیدا کنید.

کلاس‌های آمادگی آزمون نظام مهندسی

استقبال فراوان و بی‌نظیر مهندسین عزیز از کلاس‌های آمادگی آزمون نظام مهندسی و کارشناسی ارشد مؤسسه سری عمران در سال گذشته و همچنین نتایج درخشان قبولی شرکت‌کنندگان در این کلاس‌ها، باعث شد تا مؤسسه با بازنگری کلی، برنامه‌ریزی دقیق و هدفمندی را جهت برگزاری هر چه بهتر کلاس‌های آمادگی آزمون محاسبات و نظارت انجام دهد. شاخص‌ترین ویژگی این کلاس‌ها به شرح زیر است:

۱- تمامی مطالب مورد نیاز جهت آزمون نظام مهندسی، توسط اساتید برجسته کشور، به‌طور کامل تدریس می‌شوند و شیوه تدریس اساتید به‌گونه‌ای است که شما می‌توانید در کمترین زمان ممکن، به مطالب احاطه پیدا کنید.

۲- با آموزش نکات و مفاهیم تستی برای پاسخ‌دهی سریع به سؤالات، عملاً یک گام جلوتر از سایر داوطلبین هستید.

۳- با حل کلیه تست‌های آزمون‌های نظام‌مهندسی سالیان گذشته و همچنین حل تست‌های تألیفی مکمل، دید بسیار خوبی از نحوه طرح سؤال در آزمون پیدا می‌کنید.

قابل ذکر است که جهت کسب اطلاعات بیشتر از کلاس‌ها و کتاب‌های مؤسسه سری عمران می‌توانید به سایت **www.serieomran.com** مراجعه نمایید.

امید است که تلاش مؤسسه سری عمران مورد قبول مهندسان گرامی قرار گیرد. ارائه پیشنهادهای سازنده شما دوستان و همراهان گرامی، مجموعه را بهتر و پربارتر کرده و ما را که به دنبال کیفیت برتر هستیم یاری می‌کند.

به یادتان هستیم، به یادمان باشید

محمد آهنگر

فهـــــرست

بخش اول

پیش فصل: آنچه در این فصل خواهیم خواند

A-۱-آشنایی با انواع بارها ۸
A-۲-شیوه ارائه مطالب در این کتاب چگونه است؟ ۱۱

فصل اول: پارامترهای اساسی در محاسبات زلزله

قسمت اول: مفاهیم اولیه و کلیات

A-۱-مفاهیم اولیه ۱۴
A-۲-آشنایی با زلزله سطح طرح و بهره‌برداری ۱۴
A-۳- مفهوم برش پایه ۱۵
A-۴-وزن مؤثر لرزه‌ای ۱۵
A-۵-مفهوم سختی جانبی در سازه ۱۷
A-۶-مفهوم تراز پایه و ارتفاع محاسباتی ساختمان ۲۱
A-۷-مفهوم زمان تناوب اصلی سازه ۲۳

قسمت دوم: آشنایی با پارامترهای B، و I در محاسبات زلزله

B-۱-نسبت شتاب مبنای طرح (A) ۲۹
B-۲-ضریب بازتاب ساختمان (B) ۳۰
B-۳-طبقه‌بندی نوع زمین ۳۲
B-۴-ضریب اهمیت ساختمان ۳۴

قسمت سوم: ضریب رفتار ساختمان

C-۱- ضریب رفتار ساختمان (R_u) ۳۶
C-۲-ضریب نامعینی سازه (ρ) ۳۹
C-۳-ترکیب سیستم‌ها در پلان و ارتفاع سازه ۴۱
تست‌های فصل اول ۴۴

فصل دوم: روش تحلیل استاتیکی معادل

قسمت اول: محاسبه برش پایه و توزیع آن در ارتفاع سازه

A-۱-مفاهیم اولیه ۵۴
A-۲-محاسبه برش پایه ۵۵
A-۳-توزیع برش پایه در ارتفاع سازه ۵۷
A-۴-تحلیل سؤالات آزمون ۶۰

قسمت دوم: بررسی برش و پیچش ایجاد شده در سازه

B-۱-اثر پیچش در سازه ۶۹
B-۲-توزیع نیروی برشی و لنگر پیچشی در اجزاء پلان ساختمان ۷۲
B-۳- نیروی جانبی زلزله مؤثر برای طراحی دیافراگم‌ها ۷۶

قسمت سوم: نکات تکمیلی در محاسبه نیروی زلزله

C-۱-آشنایی با قاعده صد-سی (۳۰-۱۰۰) ۷۹
C-۲-مؤلفه قائم نیروی ناشی از زلزله ۸۳
تست‌های فصل دوم ۸۷

فصل سوم: کنترل‌های لرزه‌ای سازه و روش‌های تحلیل دینامیکی

قسمت اول: کنترل نامنظمی در سازه

A-۱-مفاهیم اولیه ۱۰۴
A-۲- نامنظمی در پلان ۱۰۴
A-۳-نامنظمی در ارتفاع ۱۰۸

قسمت دوم: کنترل تغییرمکان جانبی نسبی طبقات

B-۱- مفاهیم و کلیات ۱۱۴
B-۲-محاسبه تغییرمکان نسبی طبقات ۱۱۴
B-۳- اثر P–Δ ۱۱۵
B-۴-محدودیت‌های تغییرمکان جانبی طبقات ۱۱۷

قسمت سوم: سایر کنترل‌ها

C-۱-کنترل سازه در برابر واژگونی ۱۲۱
C-۲-درز انقطاع ۱۲۴
C-۳-زلزله سطح بهره‌برداری ۱۲۶

قسمت چهارم: مروری بر فلسفه روش‌های تحلیل دینامیکی

D-۱-مفاهیم و کلیات ۱۲۸
D-۲-حرکت زمین بر اثر زلزله ۱۲۹
D-۳-روش تحلیل دینامیکی طیفی ۱۳۱
D-۴-روش تحلیل دینامیکی تاریخچه زمانی ۱۳۵

قسمت پنجم: روش ساده شده تحلیل و طراحی

E-۱-مفاهیم اولیه ۱۳۶
E-۲-شرایط استفاده از روش ساده شده تحلیل و طراحی ۱۳۶
E-۳-محاسبه برش پایه در روش ساده شده تحلیل و طراحی ۱۳۷
E-۴- توزیع نیروی جانبی زلزله در ارتفاع و پلان ساختمان در روش ساده شده تحلیل و طراحی ۱۳۷
تست‌های فصل سوم ۱۴۰

فصل چهارم: طراحی لرزه‌ای اجزای غیرسازه‌ای و سازه‌های غیرساختمانی

قسمت اول: اجزای غیرسازه‌ای

A-۱-معرفی اجزای غیرسازه‌ای ۱۴۶
A-۲- محدوده کاربرد ضوابط لرزه‌ای در طراحی اجزای غیرسازه‌ای ۱۴۶
A-۳-محاسبه نیروی جانبی وارد بر اجزای غیرسازه‌ای ۱۴۷
A-۴-کنترل تغییرمکان جانبی اجزای غیرسازه‌ای ۱۵۳
A-۵-ضوابط تکمیلی ۱۵۴

قسمت دوم: سازه‌های غیرساختمانی

B-۱-مفاهیم و کلیات ۱۵۶
B-۲-کنترل‌های طراحی سازه‌های غیرساختمانی ۱۵۹
B-۳-سازه‌های غیرساختمانی مشابه ساختمان ۱۵۹
B-۴-سازه‌های غیرساختمانی غیرمشابه ساختمان-متکی بر زمین ۱۶۳
B-۵- سازه‌های غیرساختمانی غیرمشابه ساختمان - متکی بر سازه‌های دیگر ۱۶۵
تست‌های فصل چهارم ۱۶۷
پیوست ۱: درجه‌بندی خطر نسبی زلزله در شهرهای مهم ایران ۱۷۴

بخش دوم

فصل اول: بارهای ثقلی (مرده و زنده)

قسمت اول: بار مرده

A-۱-مفهوم بار مرده ۱۷۶
A-۲-تخمین بار مرده کف ۱۷۸
A-۳-تخمین بار دیوارهای پیرامونی (محیطی) ۱۸۲
A-۴-وزن تجهیزات و تأسیسات ثابت ۱۸۳

قسمت دوم: بار زنده

B-۱-مفهوم بار زنده ۱۸۴
B-۲-بارهای زنده استاتیکی ۱۸۵
B-۳-نامناسب‌ترین وضعیت بارگذاری ۱۹۰
B-۴-بار دیوارهای تقسیم‌کننده (تیغه‌ها) ۱۹۳
B-۵-بارهای وارد بر نرده حفاظ، دست‌انداز، حفاظ پارکینگ و نردبان ثابت ۱۹۹

قسمت سوم: سطح بارگیر اعضاء و کاهش بار زنده

C-۱-توزیع بارهای قائم در اعضاء مختلف ۲۰۲
C-۲-کاهش بار زنده ۲۰۴

قسمت چهارم: بارگذاری زنده دینامیکی

D-۱-بار زنده دینامیکی (بار ضربه‌ای) ۲۱۵
D-۲-بارگذاری جرثقیل‌ها ۲۱۶
تست‌های فصل اول ۲۱۹

فصل دوم: بارگذاری برف بر سازه‌ها

قسمت اول: مفاهیم و کلیات

A-۱-مفاهیم اولیه ۲۳۴
A-۲-بار برف در سطح زمین ۲۳۵
A-۳-بار برف در بام‌ها ۲۳۷

قسمت دوم: محاسبه ضرایب در بارگذاری برف

B-۱-ضریب برف‌گیری (C_e) ۲۴۱
B-۲-ضریب شرایط دمایی (C_t) ۲۴۵
B-۳-ضریب شیب (C_s) ۲۴۶
B-۴-بررسی چند مثال متنوع ۲۵۱

قسمت سوم: بار متوازن و نامتوازن برف در بام‌های با شیب دوطرفه

C-۱-بار متوازن ۲۵۵
C-۲-بار نامتوازن ۲۵۵

قسمت چهارم: بار متوازن و نامتوازن برف در بام‌های قوسی

D-۱-بار متوازن ۲۵۹
D-۲-بار نامتوازن ۲۶۱

قسمت پنجم: بار متوازن و نامتوازن برف در بام‌های کنگره‌ای و دندانه‌ای

E-۱-بار متوازن ۲۶۴
E-۲-بار نامتوازن ۲۶۴

قسمت ششم: انباشتگی برف در بام پایین‌تر

F-۱-انباشتگی برف در بام پایین‌تر ساختمان ۲۶۶
F-۲-انباشتگی برف بر روی بام ساختمان‌های مجاور هم ۲۷۰

قسمت هفتم: نکات تکمیلی بارگذاری برف

H-۱-برف لغزنده ۲۷۲
H-۲-سربار باران بر برف ۲۷۴
H-۳-بارگذاری جزئی ۲۷۴
تست‌های فصل دوم ۲۷۶

فصل سوم: بارگذاری باد بر سازه‌ها

قسمت اول: مفاهیم و کلیات بار باد

A-۱-مفاهیم مقدماتی ۲۸۸
A-۲-چگونگی تأثیر نیروی باد بر روی سطوح ۲۸۹
A-۳-سرعت و فشار مبنای باد ۲۹۱
A-۴-فشارناشی از باد بر ساختمان‌ها و سازه‌ها بر اساس آیین‌نامه ۲۹۴

قسمت دوم: تعیین ضریب بادگیری (C_e)

B-۱-ارتفاع مبنا ۲۹۷
B-۲-محاسبه ضریب بادگیری ۲۹۸
B-۳-خیز سرعت در بالای تپه‌ها و بالا آمدگی زمین ۳۰۲

قسمت سوم: تعیین ضریب جهشی باد (C_g)

C-۱-ضریب اثر جهشی باد خارجی (C_g) ۳۰۳
C-۲-ضریب اثر جهشی باد داخلی (C_{gi}) ۳۰۴

قسمت چهارم: تعیین ضریب فشار باد (C_p)

D-۱-مفاهیم اولیه ۳۰۶
D-۲-ضریب ترکیبی C_pC_g برای سیستم اصلی باربر جانبی ساختمان‌های کوتاه مرتبه ۳۰۷
D-۳-ضریب ترکیبی C_pC_g برای دیوارهای منفرد ۳۱۲
D-۴-ضریب ترکیبی C_pC_g برای پوشش بام‌ها ۳۱۴
D-۵-ضریب فشار خارجی ساختمان‌های بلندمرتبه ۳۲۱
D-۶-ضریب فشار داخلی C_{pi} ۳۲۴
D-۷-بررسی چند مثال متنوع ۳۲۵

قسمت پنجم: نکات تکمیلی بارگذاری باد

F-۱-بارگذاری جزئی نیروی باد ۳۲۷
F-۲-اثرات ریزش گردبادی ۳۲۹
تست‌های فصل سوم ۳۳۰

فصل چهارم: مباحث تکمیلی

قسمت اول: آشنایی با چند نوع بارگذاری دیگر

A-۱-بار سیل ۳۴۲
A-۲-بار باران ۳۴۳
A-۳-بار یخ و یخ‌زدگی جوی ۳۴۶
A-۴-بار انفجار ۳۵۰

قسمت دوم: ترکیب‌های بارگذاری

B-۱-مفاهیم اولیه ۳۵۱
B-۲-ترکیب بارها ۳۵۲
آزمون‌های سال ۹۴ (بهمن) ۳۵۶

بودجه‌بندی سؤالات آزمون محاسبات

سال		بخش اول				بخش دوم			
		فصل ۱	فصل ۲	فصل ۳	فصل ۴	فصل ۱	فصل ۲	فصل ۳	فصل ۴
۹۰		۲	۳	۲	-	۳	۱	۲	-
۹۱	شهریور	۲	۵	۴	-	۲	۱	-	-
۹۱	اسفند	۳	۳	۱	۱	۲	۱	۱	۱
۹۲		-	۴	۱	۳	۱	۱	۵	-
۹۳	خرداد	۳	۲	۲	-	۳	۲	۱	۱
۹۳	آبان	۳	۳	-	۱	۱	۳	۱	۲
۹۴	مرداد	۳	۳	۵	-	۱	۱	-	-
	بهمن	۲	۴	۱	۲	۲	۱	-	۱

تعداد سؤالات مطرح شده

بودجه‌بندی سؤالات آزمون نظارت

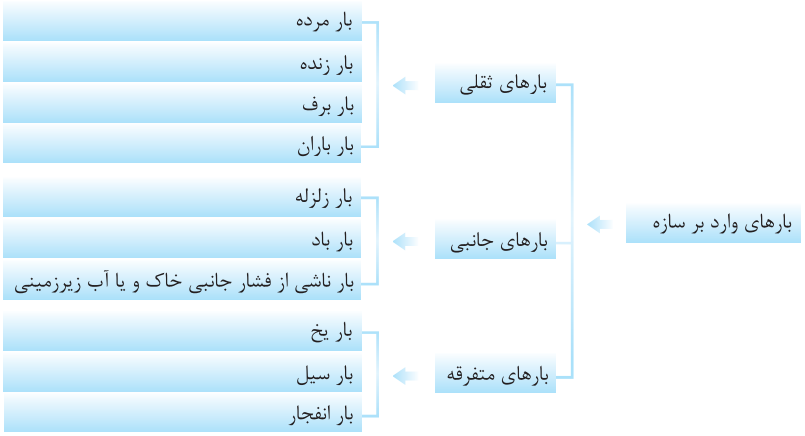
سال		بخش اول				بخش دوم			
		فصل ۱	فصل ۲	فصل ۳	فصل ۴	فصل ۱	فصل ۲	فصل ۳	فصل ۴
۹۰		۱	۱	۱	-	۱	-	-	-
۹۱	شهریور	-	-	۱	-	۱	-	-	-
۹۱	اسفند	۱	-	۱	-	۱	-	-	۱
۹۲		-	-	۱	۱	۳	۱	-	-
۹۳	خرداد	-	-	-	۲	۱	۲	-	-
۹۳	آبان	-	-	-	۱	۳	۱	-	۱
۹۴	مرداد	۴	-	۱	۱	-	-	-	-
	بهمن	۱	۱	۱	-	۲	-	-	۱

تعداد سؤالات مطرح شده

سری عمران

A-۱- آشنایی با انواع بارها

بارهای وارد بر ساختمان یکی از مهمترین عوامل مؤثر بر طراحی سازه بوده و محاسبه و اعمال این بارها به سازه به‌عنوان اولین گام در روند طراحی محسوب می‌شود. در این گام مهندس طراح باید براساس ویژگی‌های سازه و شرایط منطقه‌ای که ساختمان در آن قرار می‌گیرد نوع بارهای وارد بر سازه را تعیین کرده و مقدار آنها را محاسبه کند. محاسبهٔ مقدار دقیق این بارها برای هر پروژه به‌طور جداگانه بسیار وقت‌گیر بوده و عملاً غیرممکن است. با توجه به این موضوع، مهندسان طراح سازه برای حل این مشکل از آیین‌نامه‌های بارگذاری استفاده می‌کنند. در این آیین‌نامه‌ها، با در نظر گرفتن یک ضریب اطمینان منطقی، روش‌هایی برای محاسبهٔ مقدار تقریبی بارهای وارد بر ساختمان ارائه می‌شود. در کشور عزیزمان ایران، آیین‌نامه‌های بارگذاری ساختمان‌ها شامل مبحث ششم مقررات ملی ساختمان و استاندارد ۲۸۰۰ هستند که در سال‌های اخیر تغییرات زیادی در آنها ایجاد شده و به روزرسانی شده‌اند. در این کتاب به بررسی کامل روش محاسبهٔ انواع بارهای وارد بر سازه براساس آخرین ویرایش این آیین‌نامه‌ها (ویرایش سال ۱۳۹۲ مبحث ششم مقررات ملی ساختمان و ویرایش چهارم استاندارد ۲۸۰۰) پرداخته‌ایم. براساس این آیین‌نامه‌ها، بارهای زیر باید در طراحی سازه لحاظ شوند:



در ادامه مرور کوتاهی بر هر یک از این بارها خواهیم داشت.

مفهوم بار مرده

به طور کلی بارهای مرده، بارهای ثابتی هستند که ناشی از وزن اجزای ساختمان بوده و در طول عمر سازه، مقدار و محل اثر آنها ثابت است. این بارها معمولاً شامل وزن اجزای دائمی ساختمان از جمله تیرها، ستون‌ها، کف‌ها، دیوارها، راه پله و وزن تاسیسات و تجهیزات درون ساختمان می‌باشند که در یکی از حالات زیر به سازه وارد می‌شوند:

۱) بار گستردهٔ سطحی، مانند وزن سقف.

۲) بار گستردهٔ خطی، مانند بار دیوارهای پیرامونی سازه که مستقیماً بر روی تیرها قرار گرفته‌اند.

۳) بار متمرکز، نظیر وزن تجهیزات سنگین یا نیروی وارده از طرف یک ستون بر کف سازه که در طبقهٔ پایین ادامه نیافته است.

مفهوم بار زنده

به طور کلی بارهای زنده، به بارهایی گفته می‌شود که به لحاظ مقدار و محل اثر، وضعیت مشخصی ندارند. با توجه به این موضوع، هم محل اثر این بارها می‌تواند تغییر کند و هم مقدار آنها می‌تواند کم و زیاد شود.

چند تذکر:

۱) اصطلاحی که مفهوم بار زنده را در ذهن یک مهندس تداعی می‌کند، عمدتاً در اثر وزن انسان‌هایی است که در سازه رفت و آمد می‌کنند و یا وسایلی که در آن قرار می‌گیرند.

۲) بارهای محیطی (بار باد، برف، زلزله و ...) که در طول عمر سازه به آن وارد می‌شوند و همچنین بارهای حین ساخت، جزء بارهای زنده محسوب نشده و در آیین‌نامه‌ها، هر یک از این بارها به طور جداگانه و با روش‌های خاص خود محاسبه می‌شوند.

۳) مقدار بارهای زنده با توجه به نوع کاربری ساختمان و یا هر بخش از آن و مقداری که احتمال دارد در طول عمر ساختمان به آن وارد گردد، تعریف می‌شود. تعیین مقدار بار زنده برخلاف بار مرده، به‌طور مستقیم توسط مهندس محاسب امکان پذیر نبوده و باید مقدار این بار توسط مطالعات آماری آیین‌نامه بیان شود.

مفهوم بار برف

به طور کلی بارش برف و انباشته شدن آن بر روی بام، باعث ایجاد بار ثقلی بر روی سازه خواهد شد. این بار ثقلی در شرایط خاص بحرانی شده و حتی می‌تواند باعث تخریب سازه نیز شود. مشهورترین خرابی ناشی از برف در ایران، ریزش سقف ترمینال فرودگاه مهرآباد در سال ۱۳۵۳ می‌باشد که در این حادثهٔ دلخراش، ۲۰ نفر کشته و افراد زیادی زخمی شدند. قابل ذکر است که محاسبهٔ بار برف وارد بر یک سازه به عوامل مختلفی از جمله موارد زیر بستگی دارد:

۱) موقعیت جغرافیایی و شرایط اقلیمی

۲) بافت شهری (تأثیر کنار هم قرار گرفتن ساختمان‌ها)

۳) شکل و کاربری ساختمان

مفهوم بار باران

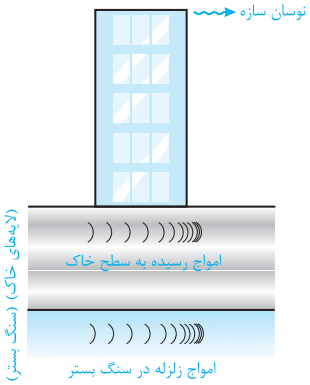
در طول مدت بهره‌برداری از ساختمان، ممکن است زهکش‌های اصلی بام دچار گرفتگی شده و آب باران بر روی بام انباشته شود. وزن ناشی از انباشتگی آب باران بر روی بام، باعث ایجاد نیروهای اضافی در اعضای سازه خواهد شد (برای جلوگیری از انباشت آب، آیین‌نامه تعبیهٔ زهکش ثانویه در بام را توصیه کرده است). جالب است بدانید که با توجه به ویرایش سال ۱۳۹۲ از مبحث ششم مقررات ملی ساختمان، مقدار بار ناشی از باران باید محاسبه شود.

مفهوم بار زلزله

شکل مقابل را در نظر بگیرید که در آن، سنگ بستر زمین با شتاب a_g شروع به نوسان می‌کند. احتمالاً با ما موافق هستید که در اثر عبور امواج زلزله از بین لایه‌های خاک، ویژگی‌های آنها دچار یک‌سری تغییرات شده و در نهایت در اثر ارتعاش زمین، شتاب a'_g در سازه ایجاد می‌شود. حال اگر جرم کل سازه را برابر m در نظر بگیریم، تأثیر ناشی از زلزله که از این به بعد آن را «**نیروی زلزلهٔ وارد بر سازه**» یا به‌طور اختصار «**نیروی زلزله**» می‌نامیم، مطابق قانون دوم نیوتن برابر است با:

نیروی زلزلهٔ وارد بر سازه V = جرم سازه × شتاب سازه

$$\Rightarrow V = m \times a'_g$$



شکل کلی ارتعاش سنگ بستر و سازه در هنگام زلزله

رابطهٔ فوق، رابطه‌ای پایه‌ای در هنگام محاسبهٔ نیروی زلزله می‌باشد. در ویرایش چهارم استاندارد ۲۸۰۰، این نیرو «**برش پایه**» وارد بر ساختمان نامیده می‌شود.

مفهوم بار باد

اصولاً باد به علت اختلاف درجهٔ حرارت دو منطقه از زمین ایجاد شده و در طی وزش آن، ذرات هوا از یک نقطه به نقطهٔ دیگر حرکت می‌کنند. بد نیست بدانید که سرعت حرکت باد بستگی به اختلاف درجهٔ حرارت دو منطقه دارد و هرچه این اختلاف بیشتر باشد، سرعت ذرات هوا نیز بیشتر است. هنگامی که ذرات هوا به مانعی (مانند سطح یک ساختمان) برخورد می‌کنند، قسمتی از انرژی جنبشی خود را تبدیل به فشار وارد بر آن سطح کرده و این موضوع باعث می‌شود که به سطح، فشار و در نتیجه نیرو وارد شود. بار باد، در اثر این فشار به ساختمان وارد می‌گردد که مقدار آن به عوامل مختلفی همچون سرعت باد، شکل و ارتفاع ساختمان و ... بستگی دارد.

مفهوم بار ناشی از فشار جانبی خاک و یا آب زیرزمینی

ساختمانی را در نظر بگیرید که قرار است چند طبقهٔ آن در ترازی پایین‌تر از تراز زمین اجرا شود. در این شرایط اگر عمق مورد نیاز برای اجرای این طبقات زیاد باشد، غالباً از دیوارهای حائل در اطراف ساختمان استفاده می‌شود. این دیوارها می‌توانند به دو شکل یکپارچه با سیستم سازه‌ای ساختمان و یا مستقل (جدا) از سازهٔ ساختمان اجرا شوند. در طراحی سازه‌های با دیوار حائل لازم است برآورد مناسبی از فشارهای جانبی وارد بر دیوار انجام شده و در محاسبات در نظر گرفته شود. دقت کنید که این فشار جانبی می‌تواند ناشی از وزن خاک، سربار روی خاک یا آب زیرزمینی باشد.

مفهوم بار یخ

یخ زدن آب باران، برف و رطوبت موجود در هوا بر روی سطوح سازه، می‌تواند بار قابل توجهی بر برخی از سازه‌ها اعمال کند که این موضوع ناشی از وزن یخ ایجاد شده است. البته باید به این نکته دقت کنیم که با یخ زدن سطح سازه، سطح بادگیر آن‌ها افزایش یافته و تأثیر باد بر روی این سطوح نیز افزایش خواهد یافت.

به‌طور کلی سازه‌ها و اجزای حساس به یخ شامل سازه‌های مشبک، لوله‌ای، کابل‌ها و پایه‌های آن‌ها، سازه‌های شهربازی، نرده، تابلو، علائم و ... می‌باشند که باید در طراحی آن‌ها، اثر وزن یخ و تغییر ایجاد شده بر روی نیروی ناشی از باد (به دلیل وجود یخ) در نظر گرفته شود.

مفهوم بار سیل

برخورد امواج ناشی از سیل به ساختمان و یا دیواره‌های اطراف آن، باعث اعمال نیرو به سازه خواهد شد که این موضوع می‌تواند خسارت‌های فراوانی را به سازه وارد کند. این نیروها، ناشی از بارهای هیدرواستاتیکی (فشار ستون آب) و هیدرودینامیکی (نیروی ناشی از برخورد امواج) می‌باشند. درصورتی‌که براساس آمار هواشناسی موجود و مطالعات هیدرولوژیکی و مهندسی آب، امکان وقوع سیل در منطقه‌ای باشد، باید تمهیدات خاصی را برای آن لحاظ کرده و بار آن را در نظر بگیریم. در مبحث ششم مقررات ملی ساختمان، ضوابط کلی برای در نظر گرفتن اثر این بار ارائه شده است.

مفهوم بار انفجار

اگر در نزدیکی و یا داخل ساختمان انفجاری رخ دهد، فشار ایجاد شده ناشی از انفجار که به‌صورت موج منتشر می‌شود، باعث ایجاد ضربات شدیدی به ساختمان خواهد شد. ماهیت بارگذاری ناشی از انفجار، یک نوع بارگذاری دینامیکی می‌باشد که لازم است برای کاربردهای مهندسی، ساده‌سازی‌های خاصی دربارهٔ آن انجام گیرد. این بار یکی از بارهای جدیدی است که در ویرایش سال ۱۳۹۲ مبحث ششم مقررات ملی ساختمان معرفی شده است.

A-۲- شیوهٔ ارائهٔ مطالب در این کتاب چگونه است؟

در این کتاب برای درک دقیق دانشجویان و مهندسان گرامی مطالب مرتبط با بارگذاری سازه‌ها در دو بخش مجزا به‌صورت زیر ارائه شده است:

بخش اول: استاندارد ۲۸۰۰

با توجه به اهمیت ویژهٔ روش‌های محاسبهٔ بار زلزله در سؤالات آزمون نظام مهندسی، در بخش اول، در چهار فصل به‌طور کامل شما را با روش‌های محاسبهٔ بار زلزلهٔ وارد بر سازه آشنا کرده و کلیهٔ ضوابط ویرایش چهارم استاندارد ۲۸۰۰ را بررسی می‌کنیم. یکی از تغییرات اساسی ایجاد شده در ویرایش چهارم استاندارد ۲۸۰۰، ارائهٔ ضوابط طراحی لرزه‌ای اجزای غیرسازه‌ای و غیرساختمانی در دو فصل جداگانه و به‌صورت کامل می‌باشد. با توجه به این موضوع و برای آشنایی شما مهندسان عزیز با روش محاسبهٔ بارهای جانبی وارد بر این نوع از سازه‌ها، ما نیز در فصل چهارم این بخش، به بررسی ضوابط لرزه‌ای این اجزا پرداخته‌ایم.

بخش دوم: مبحث ششم مقررات ملی ساختمان

در بخش دوم کتاب در چهار فصل به‌طور کامل به بررسی بارهایی نظیر بار مرده، زنده، برف، سیل، باران و بار جانبی باد پرداخته‌ایم. شایان ذکر است که ضوابط مرتبط با این بارها در مبحث ششم مقررات ملی ساختمان ویرایش ۱۳۹۲ ارائه شده است.

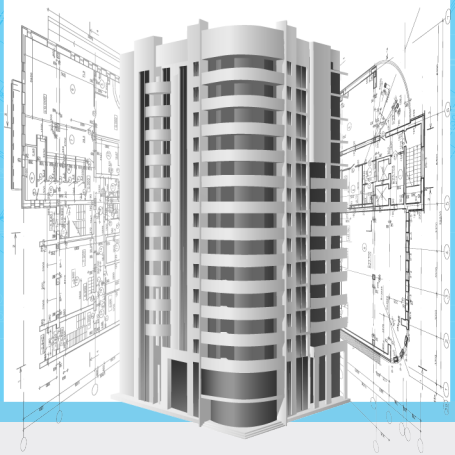
سری عمران

بخش اول

استاندارد ۲۸۰۰

فصل اول

پارامترهای اساسی در محاسبات زلزله



پارامترهای اساسی در محاسبات زلزله

- قسمت اول: مفاهیم اولیه و کلیات
- قسمت دوم: آشنایی با پارامترهای A، B و I در محاسبات زلزله
- قسمت سوم: ضریب رفتار ساختمان

قسمت اول (مفاهیم اولیه و کلیات)

در این قسمت از فصل، چه خواهیم خواند؟

در شروع این فصل، ابتدا قصد داریم سطوح مختلف زلزله که مبنای طراحی در استاندارد ۲۸۰۰ قرار می‌گیرد را به شما معرفی کنیم و در ادامه به بررسی مفاهیم پایه‌ای مهمی نظیر برش پایه، مفهوم جرم و سختی در سازه و زمان تناوب اصلی سازه بپردازیم.

A-۱- مفاهیم اولیه

زمین‌لرزه یکی از پدیده‌های طبیعی است که در سال‌های اخیر باعث ایجاد آسیب‌های مالی و جانی فراوانی در نقاط مختلف کشور عزیزمان ایران شده است. از نظر علمی، زلزله یک پدیدهٔ تصادفی بوده و وقوع زمین‌لرزه‌های شدید در هر نقطه‌ای از زمین و در هر زمانی امکان‌پذیر است و این موضوع یعنی همهٔ ساختمان‌ها ممکن است در طول عمر مفید خود زلزلهٔ شدیدی را تجربه کنند. همچنین در زمان وقوع زمین‌لرزه، سطح زمین در هر راستا و جهتی ممکن است حرکت کند ولی ارتعاشات افقی (موازی سطح زمین) آسیب بیشتری در ساختمان‌ها ایجاد می‌کنند. به همین دلیل ساختمان‌ها باید به‌گونه‌ای طراحی شوند تا در همهٔ جهات، دارای مقاومت و سختی جانبی کافی در برابر نیروهای ناشی از زلزله باشند. از طرفی واضح است که طراحی سازه در همهٔ جهات، کاری دشوار و عملاً غیرممکن است و در نتیجه در آیین‌نامه‌های متداول دنیا ساختمان‌ها به‌جای طراحی در همهٔ جهات، در دو راستای متعامد اصلی در برابر نیروهای زلزله طراحی می‌شوند.

انتخاب شدت زلزله‌ای که سازه باید در برابر آن مقاوم باشد، اولین گام در طراحی سازه در برابر زلزله است. به همین دلیل در این قسمت ابتدا به معرفی سطوح زلزلهٔ مبنای طراحی در استاندارد ۲۸۰۰ می‌پردازیم و در ادامه به بررسی مشخصه‌های اصلی سازه نظیر جرم، سختی و زمان تناوب سازه خواهیم پرداخت.

A-۲- آشنایی با زلزلهٔ سطح طرح و بهره‌برداری

اولین گام در طراحی سازه در برابر زلزله، تعیین مقدار نیروهای جانبی وارد بر سازه است و برای این کار لازم است سطحی از زلزله را به‌عنوان زلزلهٔ مبنای طراحی در نظر بگیریم. واضح است که این سطح رابطهٔ مستقیم با میزان لرزه‌خیزی منطقه دارد. به‌عنوان مثال در کشور لرزه‌خیزی مانند ژاپن که احتمال وقوع زلزله‌های شدید در دوره‌های بازگشت کوتاه مدت وجود دارد، منطقی است که زلزله‌های شدیدتری نسبت به ایران مبنای طراحی سازه‌ها قرار گیرد.

زیر شاخه‌های قسمت اول:

A-۱- مفاهیم اولیه
A-۲- آشنایی با زلزلهٔ سطح طرح و بهره‌برداری
A-۳- مفهوم برش پایه
A-۴- وزن مؤثر لرزه‌ای
A-۵- مفهوم سختی جانبی در سازه
A-۶- مفهوم تراز پایه و ارتفاع محاسباتی ساختمان
A-۷- مفهوم زمان تناوب اصلی سازه

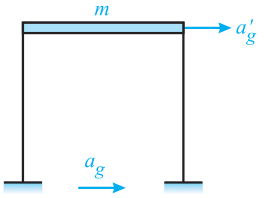
در استاندارد ۲۸۰۰ ویرایش چهارم، دو سطح زلزله برای محاسبهٔ نیروی زلزلهٔ وارد بر سازه در نظر گرفته شده است که در ادامه به بررسی مفاهیم آنها می‌پردازیم:

۱) **زلزلهٔ طرح:** این سطح از زلزله که مبنای طراحی سازه‌ها در ویرایش چهارم استاندارد ۲۸۰۰ است، دارای احتمال وقوع کمتر از ۱۰ درصد در ۵۰ سال عمر مفید ساختمان بوده و دورهٔ بازگشت آن ۴۷۵ سال می‌باشد.

۲) **زلزلهٔ بهره‌برداری:** این زلزله دارای احتمال وقوع ۹۹/۵ درصد در ۵۰ سال عمر مفید سازه است. براساس ویرایش چهارم استاندارد ۲۸۰۰، همهٔ ساختمان‌های بلندتر از ۵۰ متر و یا بیشتر از ۱۵ طبقه و ساختمان‌های با اهمیت زیاد و خیلی زیاد، نباید در برابر این زلزله آسیبی ببینند و پس از وقوع آن باید بدون وقفه قابلیت بهره‌برداری داشته باشند. در مورد زلزلهٔ بهره‌برداری در فصل سوم بیشتر بحث خواهیم کرد.

بر مبنای بند (۱-۱-۳)*

A-۳- مفهوم برش پایه



برش پایه یکی از مفاهیم اساسی در محاسبهٔ نیروی جانبی ناشی از زلزله وارد بر سازه است که در همهٔ روش‌های محاسبهٔ نیروی زلزله کاربرد دارد. برای آشنایی با این مفهوم، سازهٔ مقابل را در نظر بگیرید:

در اثر ارتعاش زمین در زمان وقوع زلزله، شتابی معادل a'_g در سازه ایجاد می‌شود. در صورتی‌که جرم سازه را برابر m در نظر بگیریم، نیروی زلزلهٔ وارد بر سازه یا به‌طور اختصار «نیروی زلزله»، مطابق قانون دوم نیوتن برابر است با:

نیروی زلزله = جرم سازه × شتاب سازه $= ma'_g$

بنابراین نیروی وارد به سازه ناشی از زلزله وابسته به جرم سازه بوده که در سازه‌های چند طبقه این نیرو را به جرم هر طبقه وارد می‌کنیم. در علم مهندسی زلزله، به مجموع نیروهای وارد بر جرم‌های سازه، برش پایه گفته شده که ثابت می‌شود این نیرو با استفاده از رابطهٔ زیر قابل محاسبه است:

$$V_u = \frac{ABI}{R_u} W \qquad (۱)$$

این رابطه، پایه‌ای‌ترین رابطه برای محاسبهٔ کل نیروی زلزلهٔ وارد بر سازه است و در ادامه می‌خواهیم پارامترهای آن را به شما معرفی کنیم.

A-۴- وزن مؤثر لرزه‌ای

همانطورکه در رابطهٔ برش پایه ملاحظه کردید، وزن سازه نقش مهمی در مقدار نیروی زلزلهٔ ایجاد شده در آن دارد. به‌طور کلی در محاسبات نیروی زلزله، از مفهومی به نام وزن لرزه‌ای استفاده می‌شود که در ادامهٔ بحث آن را شرح می‌دهیم.

براساس ویرایش چهارم استاندارد ۲۸۰۰، وزن مؤثر لرزه‌ای سازه شامل بار مرده، وزن تأسیسات ثابت، دیوارهای تقسیم‌کننده و همچنین درصدی از بار زندهٔ تخفیف نیافته و بار برف بوده که به‌صورت زیر محاسبه می‌شود:

بند (۳-۳-۱-۱)

W : وزن مؤثر لرزه‌ای = بار مرده + وزن تأسیسات ثابت و دیوارهای تقسیم‌کننده + درصدی از بار زنده و برف (۲)

* ارجاع شمارهٔ بندها و جداول در این بخش، به ویرایش چهارم استاندارد ۲۸۰۰ می‌باشد.

توجه: درصدی از بار زنده و برف که به‌عنوان وزن مؤثر لرزه‌ای سازه در نظر گرفته می‌شود، بر حسب کاربری‌های گوناگون در سازه‌ها متفاوت بوده و با توجه به جدول زیر محاسبه می‌شود:

جدول ۱: درصد میزان مشارکت بار زنده و بار برف در محاسبهٔ نیروی جانبی زلزله

	محل بار زنده	درصد بار زنده
نحوهٔ مشارکت بار برف	بام ساختمان‌ها در مناطق با برف زیاد، سنگین و فوق سنگین[1]	۲۰
	بام ساختمان‌ها در سایر مناطق	-
نحوهٔ مشارکت بار زنده	ساختمان‌های مسکونی، اداری، هتل‌ها و پارکینگ‌ها	۲۰
	بیمارستان‌ها، مدارس، فروشگاه‌ها، ساختمان‌های محل اجتماع یا ازدحام	۲۰
	کتابخانه‌ها و انبارها (با توجه به نوع کاربری)	حداقل ۴۰[2]
	مخازن آب و یا سایر مایعات	۱۰۰

مفهوم مرکز جرم

مرکز جرم یک طبقه، محلی است که نیروی زلزلهٔ طبقه را می‌توان به‌طور متمرکز به آن وارد کرد. اصولاً درصورتی‌که وزن طبقه به‌صورت یکنواخت در سطح طبقه گسترده باشد، مرکز جرم منطبق بر مرکز سطح طبقه خواهد بود. اما چنانچه به‌دلیل وجود بازشو در سقف و یا وجود بارهای زندهٔ متفاوت، توزیع بار و جرم در سطح طبقه یکنواخت نباشد، می‌توانیم با استفاده از روابط زیر مختصات مرکز جرم را تعیین کنیم:

$$Y_m = \frac{\sum w_i\, y_i}{\sum w_i} \quad , \quad X_m = \frac{\sum w_i\, x_i}{\sum w_i} \qquad (۳)$$

که در این روابط:

w_i : وزن مؤثر لرزه‌ای قسمت i ام (معمولاً برای هر پانل در نظر گرفته می‌شود)

x_i: فاصلهٔ مرکز جرم قسمت i ام تا محور y

y_i: فاصلهٔ مرکز جرم قسمت i ام تا محور x

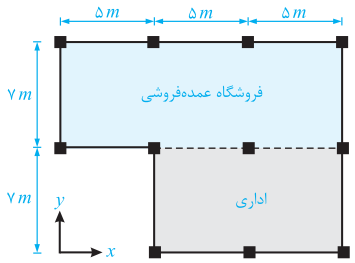
در تمرین بعد، نحوهٔ استفاده از این روابط را بهتر درک خواهیم کرد.

تمرین ۱: مختصات مرکز جرم پلان نشان داده شده در شکل مقابل را حساب کنید. کاربری هر دهانه بر روی پلان نشان داده شده است:

بار مردهٔ دال: $۶۰۰\ kg/m^2$

بار زندهٔ فروشگاه: $۶۰۰\ kg/m^2$

بار زندهٔ اداری: $۲۵۰\ kg/m^2$



۱- وضعیت مناطق مختلف کشور از نظر برف‌گیری، در فصل دوم از بخش دوم کتاب آورده شده است.

۲- برای کتابخانه‌ها و انبارها، حداقل میزان مشارکت بار زنده ۴۰ درصد است که ممکن است برحسب نوع و اهمیت پروژه، بیش از این مقدار نیز در نظر گرفته شود.

حل: برای به‌دست آوردن مرکز جرم این پلان، ابتدا وزن مؤثر لرزه‌ای هر قسمت را به‌دست می‌آوریم. با توجه به جدول (۱)، درصد مشارکت بار زنده در کاربری‌های اداری و فروشگاه ٪۲۰ می‌باشد، در نتیجه داریم:

وزن مؤثر لرزه‌ای قسمت اداری در واحد سطح $= ۶۰۰ + ۰/۲ \times ۲۵۰ = ۶۵۰\ kg/m^۲$

وزن مؤثر لرزه‌ای قسمت فروشگاه در واحد سطح $= ۶۰۰ + ۰/۲ \times ۶۰۰ = ۷۲۰\ kg/m^۲$

وزن مؤثر لرزه‌ای کل طبقه $\sum w_i = ۶۵۰ \times ۷ \times ۱۰ + ۷۲۰ \times ۷ \times ۱۵ = ۱۲۱۱۰۰\ kg$

برای به‌دست آوردن مرکز جرم، قسمت‌های اداری و تجاری را به‌صورت پانل‌های مجزا در نظر می‌گیریم. بنابراین داریم:

$$X_m = \frac{\sum w_i x_i}{\sum w_i} = \frac{۱۰ \times ۷ \times ۶۵۰ \times (۵ + \frac{۱۰}{۲}) + ۱۵ \times ۷ \times ۷۲۰ \times (\frac{۱۵}{۲})}{۱۲۱۱۰۰} = ۸/۴۳\ m$$

$$Y_m = \frac{\sum w_i y_i}{\sum w_i} = \frac{۱۰ \times ۷ \times ۶۵۰ \times (\frac{۷}{۲}) + ۱۵ \times ۷ \times ۷۲۰ \times (۷ + \frac{۷}{۲})}{۱۲۱۱۰۰} = ۷/۸۶\ m$$

دقت: در این حالت به‌دلیل بارگذاری متفاوت سطح پلان، مرکز جرم بر مرکز سطح طبقه منطبق نمی‌باشد.

A-۵- مفهوم سختی جانبی در سازه

همهٔ سازه‌ها علاوه بر سیستم باربر ثقلی، برای تحمل بارهای جانبی، نیازمند سیستم‌های باربر جانبی نیز هستند. سیستم باربر جانبی علاوه بر افزایش پایداری و درجهٔ نامعینی در سازه، بارهای جانبی وارد بر سازه را نیز تحمل کرده و به فنداسیون انتقال می‌دهد.

همانطورکه گفتیم برای طراحی سازه‌ها، جهت نیروی زلزله به موازات دو راستای متعامد اصلی ساختمان در نظر گرفته می‌شود و لازم است سیستم‌های باربری جانبی مناسب در این دو راستا استفاده شود. از جملهٔ این سیستم‌های باربر جانبی می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

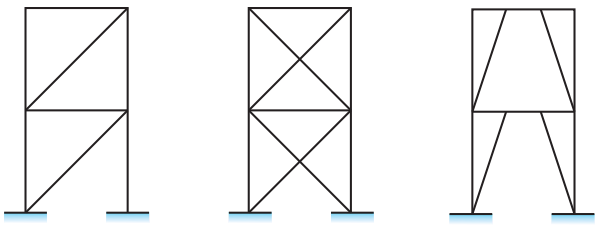
دیوار برشی

سیستم دیوار برشی از متداول‌ترین سیستم‌های باربر جانبی در سازه‌ها بوده و معمولاً به‌صورت یکپارچه از تراز پی تا ارتفاع موردنظر ساخته می‌شوند. دقت شود که در صورت نیاز می‌توان بازشوهایی به‌عنوان در و یا پنجره در این دیوارها ایجاد کرد. دیوارهای برشی معمولاً دارای سختی زیادی بوده و قادر هستند که تمام نیروهای جانبی وارد بر سازه را جذب کنند.

قاب مهاربندی شده

در این قاب‌ها، اتصالات تیر به ستون از نوع ساده بوده و نیروهای جانبی توسط مهاربند انتقال می‌یابند. استفاده از این نوع سیستم در سازه‌های فولادی بسیار مرسوم می‌باشد.

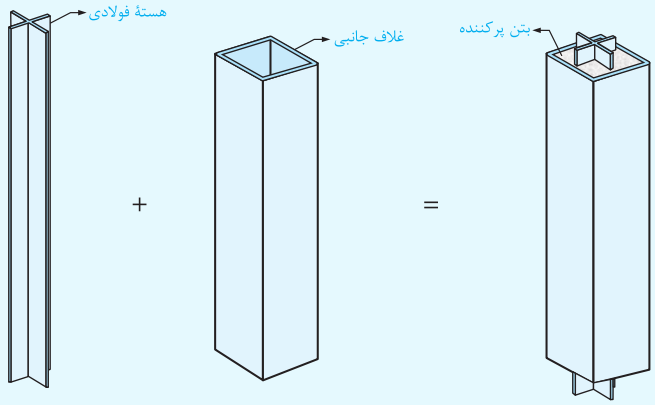
انواع متداول مهاربندها، شامل مهاربندهای قطری، ضربدری و مهاربندهای واگرا می‌باشد که در شکل‌های زیر آنها را مشاهده می‌کنید:



مهاربند قطری — مهاربند ضربدری — مهاربند واگرا

معرفی مهاربندهای کمانش‌تاب

در مهاربندهای کمانش‌تاب، به منظور افزایش ظرفیت فشاری اعضا و جلوگیری از کمانش آنها، از یک غلاف بتنی بر روی هستهٔ فولادی استفاده خواهد شد. این غلاف بتنی نقش تکیه‌گاه جانبی برای مهاربند را داشته و از کمانش آن جلوگیری می‌کند. به این نکته دقت کنید که نیروی محوری فقط به هستهٔ فولادی وارد شده و غلاف بتنی نقشی در تحمل این بارها نخواهد داشت.



قاب خمشی

در قاب خمشی، اتصالات تیر به ستون از نوع گیردار (صلب) است. در این نوع قاب‌ها، نیروهای جانبی از طریق عملکرد خمشی و برشی تیرها و ستون‌ها و با کمک اتصال صلب بین آنها به زمین منتقل می‌شوند. در سازه‌های بتنی به جز در موارد خاص، همهٔ اتصالات موجود در قاب‌ها صلب بوده و همهٔ قاب‌های موجود در این سازه‌ها به نوعی قاب خمشی محسوب می‌شوند. از سوی دیگر در سازه‌های فولادی، ایجاد قاب خمشی نیازمند استفاده از جزئیات خاص در اتصالات تیر به ستون و ستون به فنداسیون است.

سیستم دوگانه

در این سیستم، بارهای جانبی وارد بر سازه در یک راستا، توسط مجموعه‌ای از دیوارهای برشی یا قاب‌های مهاربندی شده به همراه قاب‌های خمشی تحمل می‌شود. به‌عنوان یک موضوع مهم از ویرایش چهارم استاندارد ۲۸۰۰ باید بدانید که در این سیستم قاب‌های خمشی باید به‌طور مستقل قادر به تحمل ۲۵ درصد بار جانبی باشند، همچنین دیوارهای برشی نیز باید بتوانند حداقل ۵۰ درصد برش پایه در تراز پایه را تحمل کنند و در غیر این‌صورت نمی‌توان سیستم سازه‌ای در یک راستا را دوگانه در نظر گرفت.

بررسی یک نکتهٔ مهم

با توجه به ویرایش چهارم استاندارد ۲۸۰۰ اگر قاب‌های خمشی نتوانند مستقلاً ۲۵ درصد نیروی جانبی را تحمل کنند، سیستم سازه از نوع دوگانه محسوب نشده و به‌عنوان قاب ساختمانی ساده با مهاربند (یا دیوار برشی) در نظر گرفته می‌شود. در حالت دیگری که مهاربندها (یا دیوارهای برشی) نتوانند مستقلاً ۵۰ درصد نیروهای جانبی را تحمل کنند، سیستم سازه از نوع دوگانه محسوب نشده و به‌عنوان سیستم قاب خمشی در نظر گرفته می‌شود.

مفهوم مرکز سختی

در قسمت قبل توضیح دادیم که در عناصر تأمین‌کنندهٔ سختی جانبی، نیرویی مقاوم در برابر نیروی زلزله به‌وجود می‌آید. برآیند این نیروهای مقاوم را می‌توانیم در محلی به‌نام مرکز سختی در نظر بگیریم. با در نظر گرفتن فرضیات ساده کننده‌ای، محل مرکز سختی را می‌توانیم با استفاده از روابط زیر به‌دست آوریم:

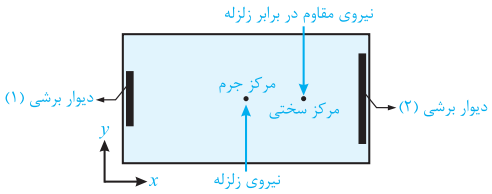
$$X_s = \frac{\sum k_{y_i} x_i}{\sum k_{y_i}} \quad , \quad Y_s = \frac{\sum k_{x_i} y_i}{\sum k_{x_i}} \qquad (۴)$$

k_{x_i}: سختی جانبی عنصر i ام در امتداد محور x

k_{y_i}: سختی جانبی عنصر i ام در امتداد محور y

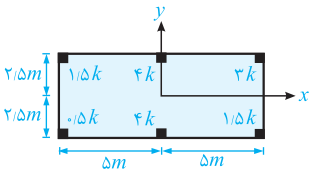
x_i و y_i: مختصات مرکز عنصر i ام

دقت: در پلان زیر با فرض یکنواخت بودن بار کف، مرکز جرم در وسط قرار می‌گیرد و با فرض اینکه سختی دیوار برشی (۲) از (۱) بیشتر است، مرکز سختی به سمت راست متمایل می‌شود.



در تمرین بعد این موضوع را بهتر درک خواهیم کرد.

تمرین ۲: پلان ستون‌گذاری یک ساختمان یک طبقه، در شکل زیر نشان داده شده است. فرض می‌شود سقف به‌عنوان دیافراگم، صلب بوده و همچنین سختی خمشی آن در مقایسه با سختی خمشی ستون‌ها بسیار زیاد باشد، با این فرض، سختی جانبی ستون‌ها (که در هر دو راستای اصلی یکسان فرض می‌شود) مطابق با آنچه در شکل نشان داده شده، می‌باشد. اگر مرکز جرم سقف منطبق بر مرکز محور مختصات باشد، مقدار خروج از مرکزیت مرکز سختی از مرکز جرم در دو راستای x و y به‌ترتیب به‌کدام‌یک از گزینه‌های زیر نزدیک‌تر است؟ (پایه ۳ - آبان ۹۳)



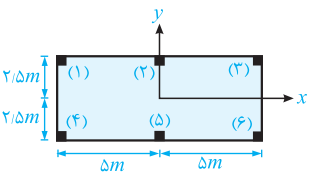
۱) $0/86\ m$ و $0/43\ m$

۲) $0/43\ m$ و $0/21\ m$

۳) $5/86\ m$ و $2/93\ m$

۴) $5/0\ m$ و $2/5\ m$

حل: با توجه به مرکز مختصات داده شده، مختصات مرکز سختی طبقه برابر است با:



ستون ۱ : $x_1 = -5\ m\ ,\ y_1 = +2/5\ m\ ,\ k_1 = 1/5\ k$

ستون ۲ : $x_2 = 0\ ,\ y_2 = +2/5\ m\ ,\ k_2 = 4\ k$

ستون ۳ : $x_3 = +5\ m\ ,\ y_3 = +2/5\ m\ ,\ k_3 = 3\ k$

ستون ۴ : $x_4 = -5\ m\ ,\ y_4 = -2/5\ m\ ,\ k_4 = 0/5\ k$

ستون ۵ : $x_5 = 0\ ,\ y_5 = -2/5\ m\ ,\ k_5 = 4\ k$

ستون ۶ : $x_6 = +5\ m\ ,\ y_6 = -2/5\ m\ ,\ k_6 = 1/5\ k$

$$X_s = \frac{\sum k_{y_i} x_i}{\sum k_{yi}}$$

$$\Rightarrow X_s = \frac{۱/۵k\times(-۵)+۴k\times(۰)+۳k\times۵+۰/۵k\times(-۵)+۴k\times(۰)+۱/۵k\times۵}{۱/۵k+۴k+۳k+۰/۵k+۴k+۱/۵k} = \frac{۱۲/۵k}{۱۴/۵k} = ۰/۸۶\ m$$

$$Y_s = \frac{\sum k_{xi} y_i}{\sum k_{xi}}$$

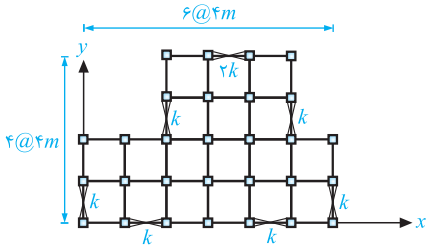
$$\Rightarrow Y_s = \frac{۱/۵k\times۲/۵+۴k\times۲/۵+۳k\times۲/۵+۰/۵k\times(-۲/۵)+۴k\times(-۲/۵)+۱/۵k\times(-۲/۵)}{۱/۵k+۴k+۳k+۰/۵k+۴k+۱/۵k}$$

$$Y_s = \frac{۶/۲۵\,k}{۱۴/۵\,k} = ۰/۴۳\,m$$

با توجه به اینکه مرکز جرم بر مرکز مختصات منطبق است، مقادیر به‌دست آمده برای X_s و Y_s، در واقع همان مقدار خروج از مرکزیت مرکز سختی از مرکز جرم خواهد بود و گزینه (۱) صحیح است.

تمرین ۳: در ساختمانی با سیستم قاب ساختمانی ساده با مهاربندهای هم‌محور فولادی پلان تیپ طبقات مطابق شکل زیر است. فاصله مرکز جرم و مرکز سختی در امتداد محور X برحسب متر در هر طبقه حدوداً چقدر می‌باشد؟ (توزیع جرم در هر طبقه یکنواخت و سقف طبقات صلب فرض شوند. محل و سختی جانبی مهاربندها در روی پلان مشخص شده است.) (پایه ۳ - مرداد ۹۴)

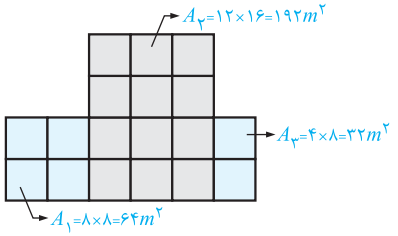
۱) ۱/۶۷
۲) ۱/۳۳
۳) ۰/۶۶
۴) ۰/۳۳



حل: مختصات مرکز سختی این ساختمان در راستای x برابر است با:

$$X_S = \frac{\sum k_{yi} x_i}{\sum k_{yi}} = \frac{k\times۰+k\times۲\times۴+k\times۵\times۴+k\times۶\times۴}{k+k+k+k} = ۱۳\ m$$

مرکز جرم این ساختمان با توجه به یکنواخت بودن توزیع جرم در طبقه، منطبق بر مرکز سطح طبقه می‌باشد، با توجه به این موضوع، سطح این طبقه را به سه قسمت تقسیم کرده و مرکز سطح آن را محاسبه می‌کنیم:



$$X_M = \frac{\sum A_i x_i}{\sum A_i} = \frac{۶۴\times۴+۱۹۲\times۱۴+۳۲\times۲۲}{۶۴+۱۹۲+۳۲} = ۱۲/۶۶\ m$$

$$X_S - X_M = ۱۳ - ۱۲/۶۶ = ۰/۳۳\ m$$

بنابراین گزینهٔ (۴) صحیح است.

تست‌های فصل اول

سطوح زلزله مبنای طراحی و وزن مؤثر لرزه‌ای

۱- منظور از زلزلهٔ طرح در آیین‌نامه ۲۸۰۰ ایران: (پایه ۳- ۸۲)

۱) بزرگ‌ترین زلزلهٔ محتمل در منطقهٔ مورد بررسی است.
۲) زلزله‌ای است که احتمال وقوع آن طی مدت عمر مفید ساختمان (۵۰ سال) کمتر از ده درصد باشد.
۳) زلزله‌ای است که احتمال وقوع آن طی مدت ده برابر عمر مفید ساختمان (۵۰۰ سال) کمتر از ده درصد باشد.
۴) بر اساس نظر طراح می‌تواند هر زلزله با احتمال وقوع بیشتر از ده درصد باشد.

۲- درصد مشارکت بار زنده در محاسبهٔ نیروهای جانبی زلزله در پارکینگ‌ها و ترمینال‌های مسافری به ترتیب عبارت است از: (پایه ۳ - ۸۶)

۱) ۴۰ درصد و ۴۰ درصد
۲) ۲۰ درصد و ۱۰۰ درصد
۳) ۲۰ درصد و ۲۰ درصد
۴) ۲۰ درصد و ۶۰ درصد

زمان تناوب سازه

۳- ساختمانی با سیستم سازه‌ای قاب خمشی بتن آرمه به ارتفاع ۶۰ متر برای زلزله طراحی می‌شود. تحلیل دینامیکی سازه، پریود نوسانات طبیعی ساختمان را در مود اصلی، برابر با $T = ۱/۷\ sec$ نشان می‌دهد. فرض کنید ساختمان دارای جداگرهای میانقابی است. بگویید این ساختمان را برای چه پریود نوسانی طراحی می‌کنید؟ (پایه ۳- ۸۴)

۱) ۱/۷۰ ثانیه
۲) ۱/۵۱ ثانیه
۳) ۱/۳۶ ثانیه
۴) ۱/۲۱ ثانیه

۴- در یک ساختمان، از قاب‌های خمشی فولادی مهاربندی شده در هر دو امتداد متعامد ساختمان استفاده شده است. ساختمان دارای هشت طبقهٔ مساوی و یک خرپشته است. وزن خرپشته یک سوم وزن بام و سطح آن یک پنجم سطح بام است. ارتفاع هر کدام از طبقات ۳/۵۰ متر و ارتفاع خرپشته هم ۲/۵۰ متر می‌باشد. زمان تناوب اصلی ساختمان به روش تجربی برابر است با: (پایه ۳- ۸۴)

۱) ۰/۵۲ ثانیه
۲) ۰/۶۱ ثانیه
۳) ۰/۶۵ ثانیه
۴) ۰/۹۷ ثانیه

۵- برای ساختمان بتنی با دیوار برشی، حداکثر زمان تناوب مورد استفاده برای طراحی اعضا چند ثانیه می‌تواند باشد؟ (ارتفاع ساختمان ۱۶ متر و زمان تناوب تحلیلی آن ۰/۶۴ ثانیه می‌باشد) (پایه ۳- ۸۹ ، مشابه ۸۴)

۱) ۰/۵۶ ثانیه
۲) ۰/۵۰ ثانیه
۳) ۰/۶۴ ثانیه
۴) ۰/۳۵ ثانیه

۶- زمان تناوب اصلی یک ساختمان با قابهای خمشی فولادی متوسط دارای جداگرهای میانقابی که مانعی برای حرکت قابها ایجاد می‌نماید، به ارتفاع کل ۳۰ متر از تراز پایه در تهران با استفاده از تحلیل دینامیکی ۱/۴ ثانیه محاسبه شده است. برای برآورد نیروی برشی پایه به روش تحلیل استاتیکی معادل، زمان تناوب اصلی چند ثانیه در نظر گرفته می‌شود؟ (پایه ۳ - ۹۰)

۱) ۱/۶۰۱
۲) ۱/۲۸۱
۳) ۱/۴
۴) ۱/۰۲۵

۷- در نظر است ساختمانی با سیستم قاب خمشی بتن‌آرمه سه دهانه به ارتفاع ۲۱ متر در یک منطقه با لرزه‌خیزی با خطر نسبی بسیار زیاد احداث شود. اگر میانقاب‌های آجری این سازه کاملاً درگیر با قاب بتن‌آرمه باشد، زمان تناوب تجربی اصلی نوسان این ساختمان به کدام‌یک از مقادیر زیر نزدیک‌تر است؟ (پایه ۳ - مرداد ۹۴)

۱) ۰/۸۶ ثانیه
۲) ۰/۷۸ ثانیه
۳) ۰/۶۹ ثانیه
۴) ۰/۶۲ ثانیه

۸- در یک ساختمان ۱۰ طبقه با ارتفاع ۳۴ متر از تراز پایه، از قاب‌های خمشی بتن مسلح ویژه بـه همـراه دیوارهـای برشی بتن مسلح ویژه استفاده شده است. تحلیل دینامیکی، زمان تناوب اولین مود در هر دو جهت را ۰/۸ ثانیـه نشان می‌دهد. میان‌قاب‌های این ساختمان با استفاده از آجر پر شده و دیوارهای ساختمان را تشکیل داده‌انـد. در تعیین نیروی برشی پایهٔ استاتیکی معادل برای این ساختمان، کدام گزینهٔ زیر صحیح است؟

۱) زمان تناوب اصلی را می‌توان ۰/۸۸ ثانیه در نظر گرفت. (پایه ۳ - ۸۹ ، مشابه ۸۲)

۲) لازم است زمان تناوب اصلی ۰/۸ ثانیه در نظر گرفته شود.

۳) لازم است زمان تناوب اصلی ۰/۷۰۴ ثانیه در نظر گرفته شود.

۴) زمان تناوب اصلی را می‌توان ۰/۵۶ ثانیه در نظر گرفت.

۹- در یک قاب ساختمانی دو طبقـه، در صـورتیکه مـاتریس سـختی $[K]=\begin{bmatrix}۹۰۰۰ & -۳۰۰۰\\ -۳۰۰۰ & ۳۰۰۰\end{bmatrix}$ برحسب N/m و ماتریس جرم $[M]=\begin{bmatrix}۲۰ & ۰\\ ۰ & ۱۵\end{bmatrix}$ برحسب kg باشد، زمان تناوب اصلی نوسان سازه، چند ثانیه است؟

۱) ۰/۲۷۱ ۲) ۰/۳۹۷ ۳) ۰/۵۹۵ ۴) ۰/۶۲۵ (پایه ۳ - شهریور ۹۱)

۱۰- اگر طول طره‌ای با مقطع و جرم یکنواخت و بدون جرم متمرکز انتهایی، ده درصد اضافه شود، زمان تناوب اصـلی نوسان آن حدوداً چند برابر می‌شود؟ (پایه ۳ - مرداد ۹۴)

۱) ۰/۹ ۲) ۱/۱۵ ۳) ۱/۲۱ ۴) ۱/۳۳

۱۱- چنانچه در یک سازهٔ بتنی مقاومت بتن از ردهٔ ۳۰ C به ردهٔ ۲۰ C تبدیل گردد، زمان تناوب تحلیلـی آن حـدوداً چند درصد تغییر خواهد کرد؟ (وزن مخصوص بتن در دو حالت تقریباً یکسان فرض شود.) (پایه ۳ - اسفند ۹۱)

۱) کاهش حدود ۱۰ درصد ۲) کاهش حدود ۲۰ درصد

۳) افزایش حدود ۱۰ درصد ۴) افزایش حدود ۲۰ درصد

۱۲- در محاسبهٔ زمان تناوب اصلی سازه‌های بتنی، به منظور در نظر گرفتن سختی مؤثر بر اثـر تـرک‌خـوردگی بـتن، ممان اینرسی مقاطع تیرها و ستون‌ها باید چگونه منظور شوند؟ (ممان اینرسی مقطـع کـل عـضو را I_g فـرض نمائید)

۱) ۰/۷ I_g برای تیرها و ۰/۳۵ I_g برای ستون‌ها ۲) I_g برای تیرها و I_g برای ستون‌ها (پایه ۳- ۸۹)

۳) I_g برای تیرها و ۰/۷ I_g برای ستون‌ها ۴) ۰/۵ I_g برای تیرها و I_g برای ستون‌ها

۱۳- در چه مواردی می‌توان از اثر وزن خرپشته در محاسبهٔ نیروی برش پایهٔ ناشی از زلزله صرف‌نظر نمود؟ (پایه ۳- ۸۹)

۱) در مواردی که وزن خرپشته کمتر از ۲۵ درصد وزن بام باشد.

۲) در مواردی که ارتفاع خرپشته ۲۵ درصد کمتر از ارتفاع بام باشد.

۳) در مواردی که مساحت خرپشته کمتر از ۲۵ درصد مساحت بام باشد.

۴) در هیچ موردی نمی‌توان از اثر وزن خرپشته صرف‌نظر نمود.

پاسخ تست‌های فصل اول

۱- (۲)

براساس مطالب ارائه شده در قسمت اول درسنامه، زلزلهٔ طرح، زلزله‌ای است که احتمال وقوع آن و یا زلزله‌های بزرگتر از آن، در طول ۵۰ سال عمر مفید ساختمان کمتر از ۱۰ درصد باشد.

۲- (۳)

مطابق جدول (۱) درسنامه، میزان مشارکت بار زنده در محاسبهٔ نیروهای جانبی در پارکینگ‌ها برابر ۲۰ درصد و در ترمینال‌های مسافری که از نوع محل‌های اجتماع یا ازدحام می‌باشند نیز برابر ۲۰ درصد در نظر گرفته می‌شود.

۳- (۱)

براساس درسنامه، برای تعیین زمان تناوب اصلی این سازه می‌توان از دو روش تجربی و تحلیلی استفاده کرد ولی مقدار آن نباید از ۱/۲۵ برابر زمان تناوب به‌دست آمده از رابطهٔ تجربی بیشتر اختیار شود.

همچنین با توجه به اینکه این سازه دارای جداگرهای میانقابی است، مقدار T برابر ۸۰ درصد مقادیر به‌دست آمده از روابط تجربی در نظر گرفته می‌شود. بنابراین داریم:

$$T_a = ۰/۸ \times (۰/۰۵\, H^{۰/۹}) = ۰/۸(۰/۰۵ \times ۶۰^{۰/۹}) = ۱/۵۹\ s$$

$$۱/۲۵\, T_a = ۱/۲۵ \times ۱/۵۹ = ۱/۹۹\ s$$

$$T_{\text{محاسباتی}} = min\ \{۱/۲۵ T_a , T_m\} = min\ \{۱/۹۹ , ۱/۷\} = ۱/۷\ s$$

۴- (۳)

با توجه به سیستم باربر ساختمان (قاب خمشی فولادی مهاربندی شده که یک سیستم دوگانه می‌باشد)، با استفاده از رابطهٔ (۱۱) درسنامه، داریم:

$$T_a = ۰/۰۵\, H^{۰/۷۵}$$

مطابق درسنامه، در صورت وجود خرپشته در ساختمان، چنانچه وزن آن از ۲۵ درصد وزن بام بیشتر باشد، ارتفاع آن در محاسبهٔ ارتفاع ساختمان (H) در نظر گرفته می‌شود. در ساختمان مذکور داریم:

$$\text{وزن خرپشته} = \frac{۱}{۳} \times \text{وزن بام} > ۲۵٪ \quad \text{(وزن بام)}$$

بنابراین ارتفاع خرپشته در ارتفاع کلی ساختمان (H) لحاظ می‌گردد.

$$H = ۸ \times ۳/۵ + ۲/۵ = ۳۰/۵\ m$$

$$T_a = ۰/۰۵(۳۰/۵)^{۰/۷۵} \simeq ۰/۶۵\ sec$$

۵- (۲)

مطابق رابطهٔ (۱۱) درسنامه، داریم:

$$T_a = ۰/۰۵\, H^{۰/۷۵} = ۰/۰۵ \times (۱۶)^{۰/۷۵} = ۰/۴\ sec$$

از طرفی مقدار زمان تناوب تحلیلی نباید از ۱/۲۵ برابر زمان تناوب تجربی بیشتر باشد. با توجه به مقدار فوق داریم:

$$T_{\text{محاسباتی}} = min\ \{۱/۲۵\, T_a , T_m\} = min\ \{۱/۲۵ \times ۰/۴ , ۰/۶۴\} = ۰/۵\ s$$

(۴) -۶

مطابق مطالب ارائه شده در درسنامه، در محاسبهٔ نیروی برش پایه می‌توان زمان تناوب اصلی نوسان ساختمان را با استفاده از روش تحلیلی دینامیکی محاسبه نمود، به شرط آنکه مقدار آن از ۱/۲۵ برابر زمان تناوب به دست آمده از روابط تجربی بیشتر نباشد.

با توجه به سیستم باربر ساختمان و وجود جداگرهای میانقابی، زمان تناوب اصلی نوسان مطابق رابطهٔ (۹) درسنامه، برابر است با:

$$T_a = ۰/۸\times(۰/۰۸\,H^{۰/۷۵}) = ۰/۸\times(۰/۰۸\times۳۰^{۰/۷۵}) = ۰/۸۲\ sec$$

$$T_{\text{محاسباتی}} = min\{۱/۲۵\,T_a, T_m\} = min\{۱/۲۵\times۰/۸۲, ۱/۴\} = ۱/۰۲۵\ s$$

(۴) -۷

زمان تناوب اصلی نوسان ساختمان با سیستم قاب خمشی بتنی با استفاده از رابطهٔ (۷) درسنامه به‌دست می‌آید. دقت کنید که اگر میانقاب‌ها در برابر حرکت قاب مانع ایجاد کنند مقدار T باید ۲۰ درصد کاهش یابد، بنابراین داریم:

$$T = ۰/۸\times۰/۰۵\,H^{۰/۹} = ۰/۸\times۰/۰۵\times۲۱^{۰/۹} = ۰/۶۲\ s$$

(۲) -۸

با توجه به این‌که سیستم باربر ساختمان، سیستم دوگانه می‌باشد (قاب خمشی بتن مسلح ویژه به علاوهٔ دیوارهای برشی بتن مسلح ویژه)، زمان تناوب اصلی نوسان مطابق رابطهٔ تجربی (۱۱) درسنامه، برابر است با:

$$T_a = ۰/۰۵H^{۰/۷۵} = ۰/۰۵\times۳۴^{۰/۷۵} = ۰/۷۰۴\ sec$$

$$T_{\text{محاسباتی}} = min\{۱/۲۵T_a, T_m\} = min\{۱/۲۵\times۰/۷۰۴, ۰/۸\} = ۰/۸\ s$$

● **دقت:** در آیین‌نامهٔ ۲۸۰۰ تأثیر میان قاب در زمان تناوب تجربی، تنها در ساختمان‌های قاب خمشی در نظر گرفته می‌شود.

(۳) -۹

نکته: طبق اصول مهندسی زلزله، در تحلیل دینامیکی برای محاسبهٔ زمان تناوب اصلی نوسان در صورتی‌که ماتریس‌های جرم و سختی سازه را بدانیم، کافیست دترمینان ماتریس $K-M\omega^۲$ را برابر صفر قرار دهیم. در این سؤال با توجه به این نکته داریم:

K : ماتریس سختی سازه M : ماتریس جرم سازه ω : فرکانس طبیعی سازه

$$K-M\omega^۲ = \begin{bmatrix} ۹۰۰۰ & -۳۰۰۰ \\ -۳۰۰۰ & ۳۰۰۰ \end{bmatrix} - \omega^۲\begin{bmatrix} ۲۰ & ۰ \\ ۰ & ۱۵ \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} ۹۰۰۰-۲۰\omega^۲ & -۳۰۰۰ \\ -۳۰۰۰ & ۳۰۰۰-۱۵\omega^۲ \end{bmatrix}$$

$$|K-M\omega^۲| = ۰ \Rightarrow \begin{vmatrix} ۹۰۰۰-۲۰\omega^۲ & -۳۰۰۰ \\ -۳۰۰۰ & ۳۰۰۰-۱۵\omega^۲ \end{vmatrix} = ۰$$

$$(۹۰۰۰-۲۰\omega^۲)(۳۰۰۰-۱۵\omega^۲) - ۳۰۰۰^۲ = ۰$$

$$۱۸\times۱۰^۶ - ۱۹۵\times۱۰^۳\omega^۲ + ۳۰۰\omega^۴ = ۰ \Rightarrow \omega^۴ - ۶۵۰\omega^۲ + ۶\times۱۰^۴ = ۰$$

$$\omega^۲ = x \Rightarrow x^۲ - ۶۵۰x + ۶\times۱۰^۴ = ۰ \Rightarrow x_۱ = ۱۱۱/۴\ ,\ x_۲ = ۵۳۸/۶$$

$$\omega_{۱,۲} = \pm۱۰/۵۵\ ,\ \omega_{۳,۴} = \pm۲۳/۲۱$$

در این قسمت از فصل، چه خواهیم خواند؟

در این قسمت از فصل، ابتدا شما را با بارهای مردهٔ وارد بر سازه آشنا کرده و در ادامه، مقدار آن را برای سقف‌ها و دیوارهای خارجی سازه محاسبه می‌کنیم. از مطالب بسیار مفید این قسمت، یادگیری مفاهیم جالبی در مورد سقف‌های رایج در ساختمان‌ها است.

در انتهای این قسمت نیز در مورد شیوهٔ در نظر گرفتن بار مردهٔ تأسیسات سازه بحث خواهیم کرد.

A-۱- مفهوم بار مرده

به طور کلی بارهای مرده، بارهای ثابتی هستند که ناشی از وزن اجزاء سازه بوده و در طول عمر سازه، مقدار و محل اثر آنها ثابت است. این بارها معمولاً شامل وزن اجزای دائمی ساختمان از جمله تیرها، ستون‌ها، کف‌ها، دیوارها، راه پله و وزن تاسیسات و تجهیزات درون ساختمان می‌باشند، که در یکی از حالات زیر به سازه وارد می‌شوند:

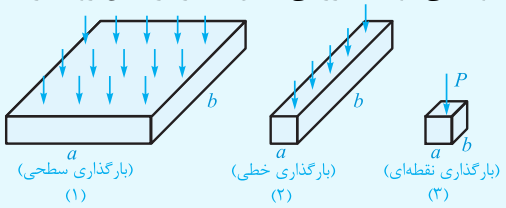
۱) بار گستردهٔ سطحی، مانند وزن سقف.

۲) بار گستردهٔ خطی، مانند بار دیوارهای پیرامونی سازه که مستقیماً بر روی یک تیر قرار گرفته‌اند.

۳) بار متمرکز، نظیر وزن تجهیزات سنگین یا نیروی وارده از طرف یک ستون بر کف یک سازه.

دید مهندسی

به طور کلی بارگذاری خطی و نقطه‌ای (متمرکز)، حالت خاصی از بارگذاری سطحی محسوب می‌شوند. با بررسی شکل‌های زیر، این روند را بهتر درک می‌کنید:



- معمولاً اگر بعد a در شکل (۱) کوچک باشد، به شکل (۲) می‌رسیم که یک بارگذاری خطی فرض می‌شود.
- معمولاً اگر بعدهای a و b در شکل (۱) هر دو کوچک باشند، به شکل (۳) می‌رسیم که یک بارگذاری نقطه‌ای فرض می‌شود.

برای تخمین بارهای مرده، ابتدا باید جزئیات و ابعاد قسمت‌های مختلف را تعیین کنیم، سپس با استفاده از رابطهٔ زیر، بار مردهٔ هر جزء از سازه را به‌دست آوریم:

(۱) وزن مخصوص مصالح آن قطعه × حجم قطعه = بار مردهٔ یک قطعه

قسمت اول) بار مرده)

زیر شاخه‌های قسمت اول:

A-۱- مفهوم بار مرده
A-۲- تخمین بار مردهٔ کف
A-۳- تخمین بار دیوارهای پیرامونی (محیطی)
A-۴- وزن تجهیزات و تأسیسات ثابت

بر مبنای بند (۶-۳-۲-۱)*

توجه: در رابطهٔ ارائه شده، حجم قطعه با توجه به ابعاد سازه‌ای و جزئیات معماری آن قطعه به دست می‌آید و جرم مخصوص مواد را می‌توانید با استفاده از جدول (پ ۶-۱-۲) آیین نامهٔ مبحث ششم مقررات ملی ساختمان در صفحه‌ی ۱۲۶ تا ۱۳۰ از آن تعیین کنید. در ادامه، چند مورد مهم و پرکاربرد از این جدول را همراه با دیدهای خوب و کاربردی برای بعضی از آنها برای شما آورده‌ایم:

جدول ۱: جرم واحد حجم مصالح ساختمانی

شرح	جرم واحد حجم (کیلوگرم بر مترمکعب)
آجرها و بلوک‌های ساختمانی	
۱- آجر توپر پختهٔ رسی معمولی (آجر فشاری)	۱۷۰۰
۲- آجر سوراخدار پختهٔ رسی (آجر سفال)	۱۳۰۰
۳- آجر مجوف	۶۰۰
۴- بلوک سیمانی	۹۰۰ تا ۱۳۰۰ (بسته به شکل)
دید مهندسی: در بین آجرها، آجر مجوف از سبکترین آجرها محسوب شده و آجر فشاری که در گذشته کاربرد زیادی داشته است، از آجرهای سنگین محسوب می‌شود.	
ملات‌ها	
۱- ملات ماسه سیمان	۲۱۰۰
۲- ملات گچ	۱۳۰۰
۳- ملات گچ و خاک	۱۶۰۰
دید مهندسی: در بین ملات‌های متداول، ملات ماسه سیمان از جمله ملات‌های سنگین و ملات گچ که در نازک کاری سازه به طور فراوان استفاده می‌شود، از ملات‌های سبک محسوب می‌شود.	
بتن‌ها	
۱- بتن با شن و ماسهٔ معمولی	۲۴۰۰
۲- بتن آرمه و بتن پیش‌تنیده با شن و ماسهٔ معمولی	۲۵۰۰
۳- بتن سبک هوادار و گازی	۶۰۰
۴- بتن با پوکهٔ معدنی و سیمان	۱۳۰۰
دید مهندسی: جرم مخصوص بتن معمولی که نقش سازه‌ای دارد، عدد نسبتاً زیادی است (۲۴۰۰ کیلوگرم برای یک مترمکعب) و بتن با پوکهٔ معدنی و سیمان که در دستهٔ بتن غیر سازه‌ای قرار می‌گیرد، در کفسازی کاربرد داشته و از جمله بتن‌های سبک محسوب می‌شود.	
سنگ‌دانه‌ها و پرکننده‌ها	
۱- شن خیس	۲۰۰۰
۲- شن خشک	۱۷۰۰
۳- ماسهٔ خیس	۱۸۰۰
۴- ماسهٔ خشک	۱۵۵۰
۵- پودر سیمان توده شده و به‌طور آزاد	۱۳۰۰
۶- پودر سیمان در کیسه و جابه‌جا شده	۱۸۰۰
دید مهندسی: در بین پرکننده‌ها، شن خیس جرم مخصوص نسبتاً زیادی دارد. ضمناً تفاوت جرم مخصوص در حالت خیس و خشک برای شن و ماسه و همچنین سیمان آزاد و سیمان کیسه‌ای نیز با کمک این اعداد مشهود است.	

بر مبنای جدول (پ ۶-۱-۲)*

* ارجاع شمارهٔ بندها و جداول در بخش دوم کتاب، براساس مبحث ششم مقررات ملی ساختمان ویرایش سال ۱۳۹۲ می‌باشد.

ادامه جدول ۱

بنایی با سنگ‌های طبیعی و ملات ماسه سیمان	
۱- گرانیت، پورفیت	۲۸۰۰
۲- سنگ آهکی فشرده، مرمر، دولومیت	۲۷۰۰
۳- سنگ چینی با سنگ‌های لاشه آهکی توپر	۲۰۰۰
دید مهندسی: در بین سنگ‌های رایج در نماسازی، سنگ گرانیت (که بسیار پرکاربرد است) بیشترین وزن مخصوص را به خود اختصاص می‌دهد.	
بنایی با آجر و بلوک (در محاسبهٔ وزن دیوار، می‌توان ۷۰ درصد وزن را آجر یا بلوک و ۳۰ درصد را ملات در نظر گرفت.)	
۱- آجرکاری با آجر فشاری و ملات ماسه سیمان	۱۸۵۰
۲- آجرکاری با آجر فشاری و ملات ماسه آهک	۱۸۰۰
۳- آجر کاری با آجر مجوف و ملات ماسه سیمان	۸۵۰
دید مهندسی: مجدداً به سبک بودن تیغه‌های ساخته شده با آجر مجوف که امروزه به طور گسترده در تیغه چینی داخل ساختمان استفاده می‌شود، پی می‌بریم.	
پوشش‌ها و مواد متفرقهٔ ساختمانی	
۱- آسفالت	۲۲۰۰
۲- قیر	۱۲۰۰
۳- موزائیک سیمانی	۲۲۵۰
۴- کاشی سرامیکی کف	۲۱۰۰
۵- کاشی سرامیکی دیوار	۱۷۰۰

تمرین ۱: اگر مقدار جرم مصالح ساختمانی انبار شده به‌طور موقت وارد بر کف‌های طبقات ساختمان در دست تکمیل به $۳۰۰\ kg/m^۲$ محدود شده باشد، حداکثر چند لایه از سنگ‌های کف‌پوش از جنس گرانیت به ضخامت ۲۰ میلی‌متر را می‌توان در هر کف این ساختمان به‌طور موقت انبار کرد؟ (پایه ۳ - مرداد ۹۴)

۱) ۴ ۲) ۵ ۳) ۷ ۴) ۸

حل: براساس جدول فوق، جرم مخصوص سنگ گرانیت برابر $۲۸۰۰\ kg/m^۳$ می‌باشد، بنابراین با توجه به ضخامت هر لایهٔ سنگ، جرم واحد سطح هر لایه برابر است با:

جرم واحد سطح گرانیت : $۲۸۰۰ \times ۰/۰۲ = ۵۶\ kg/m^۲$

$$\text{تعداد لایه‌ها} = \frac{۳۰۰}{۵۶} = ۵/۳$$

در نتیجه حداکثر ۵ لایه از این نوع سنگ می‌توان در این طبقه انبار کرد و گزینهٔ (۲) صحیح است.

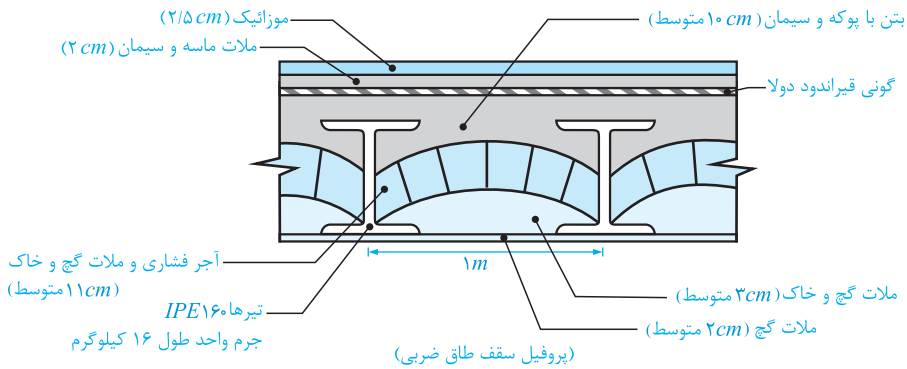
در ادامه‌ی بحث، شیوهٔ محاسبهٔ وزن مرده در چند نوع از سقف‌ها و دیوارها را با هم بررسی می‌کنیم.

A-۲- تخمین بار مردهٔ کف

معمولاً سقف‌ها دارای بیشترین سهم در بار مردهٔ هر ساختمان می‌باشند. با توجه به این موضوع، کاهش یا افزایش وزن سقف، تاثیر چشمگیری بر روی بار مردهٔ کل سازه خواهد داشت. در ادامه به بررسی بار مردهٔ چند نمونهٔ متداول از سیستم‌های سقف می‌پردازیم.

الف) سقف طاق ضربی

سقف طاق ضربی، از جمله سقف‌های قدیمی و رایج در کشورمان بوده است که به دلیل وجود ضعف‌های بسیار در عملکرد آن، تقریباً منسوخ شده است. شکل زیر مقطعی از این سقف را نشان می‌دهد (فرض کنید که در کف، از دو لایه قیر و گونی استفاده شده است):



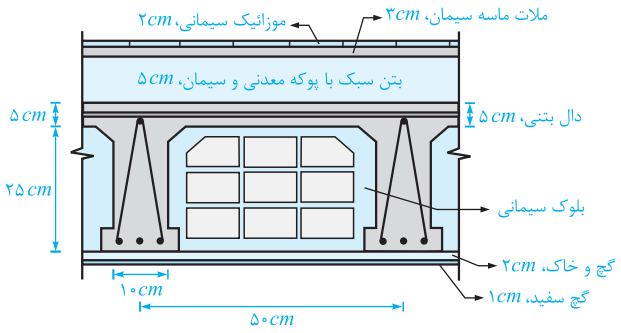
همانطور که گفتیم، برای محاسبه‌ی وزن کف، ابتدا لازم است جرم واحد حجم هر قسمت را مطابق جدول (۱) ارائه شده در قسمت (A-۱) و یا جدول شماره‌ی (پ ۶-۱-۲) مبحث ششم مقررات ملی ساختمان (ویرایش ۱۳۹۲) تعیین کنیم و سپس با توجه به ضخامت‌های داده شده برای هر قسمت، وزن واحد سطح برای این سقف را به صورت زیر محاسبه کنیم:

مصالح	جرم مخصوص (kg/m^3)	ضخامت (m)	جرم واحد سطح (kg/m^2)
موزائیک	۲۲۵۰	۰/۰۲۵	۲۲۵۰×۰/۰۲۵ = ۵۶/۳
ملات ماسه سیمان	۲۱۰۰	۰/۰۲	۲۱۰۰×۰/۰۲ = ۴۲
گونی قیراندود دولا	-	-	۱۵
بتن با پوکه و سیمان	۱۳۰۰	۰/۱	۱۳۰۰×۰/۱ = ۱۳۰
آجر فشاری و ملات گچ و خاک	۱۷۵۰	۰/۱۱	۱۷۵۰×۰/۱۱ = ۱۹۲/۵
ملات گچ و خاک	۱۶۰۰	۰/۰۳	۱۶۰۰×۰/۰۳ = ۴۸
ملات گچ	۱۳۰۰	۰/۰۲	۱۳۰۰×۰/۰۲ = ۲۶
تیرها			$\frac{۱۶}{۱×۱} = ۱۶$
			مجموع ≃ ۵۲۵ kg/m^2

تذکر: فاصلهٔ مرکز تا مرکز تیرآهن‌ها از هم $1m$ بوده و در هر مستطیل $1m \times 1m$، $16kg$ تیرآهن موجود است. از طرفی وزن واحد سطح گونی قیراندود دولا با توجه به جدول (پ-۶-۱-۲) مبحث ششم برابر $15\ kg/m^2$ می‌باشد.

ب) سقف تیرچه و بلوک

سقف تیرچه و بلوک، از سقف‌های رایج در ساختمان‌های کوچک و متوسط محسوب می‌شود. در سقف تیرچه و بلوک نیز مشابه با حالت قبل، وزن واحد سطح در هر قسمت برای پروفیل نشان داده شده، به‌صورت زیر محاسبه می‌شود (در سقف از گونی قیراندود دولا استفاده کرده‌ایم):



(پروفیل سقف تیرچه بلوک)

جرم واحد سطح (kg/m^2)	ضخامت (m)	جرم مخصوص (kg/m^3)	مصالح
۲۲۵۰×۰/۰۲ = ۴۵	۰/۰۲	۲۲۵۰	موزائیک سیمانی
۲۱۰۰×۰/۰۳ = ۶۳	۰/۰۳	۲۱۰۰	ملات ماسه و سیمان
۱۳۰۰×۰/۰۵ = ۶۵	۰/۰۵	۱۳۰۰	بتن سبک با پوکه معدنی و سیمان
۲۵۰۰×۰/۰۵ = ۱۲۵	۰/۰۵	۲۵۰۰	دال بتنی
۲۵۰۰×۲×(۰/۱×۰/۲۵) = ۱۲۵		۲۵۰۰	بتن بین بلوک‌ها
۱۶۰۰×۰/۰۲ = ۳۲	۰/۰۲	۱۶۰۰	ملات گچ و خاک
۱۳۰۰×۰/۰۱ = ۱۳	۰/۰۱	۱۳۰۰	ملات گچ
۸×۱۳			بلوک‌ها
مجموع ≃ ۵۷۰ kg/m^2			

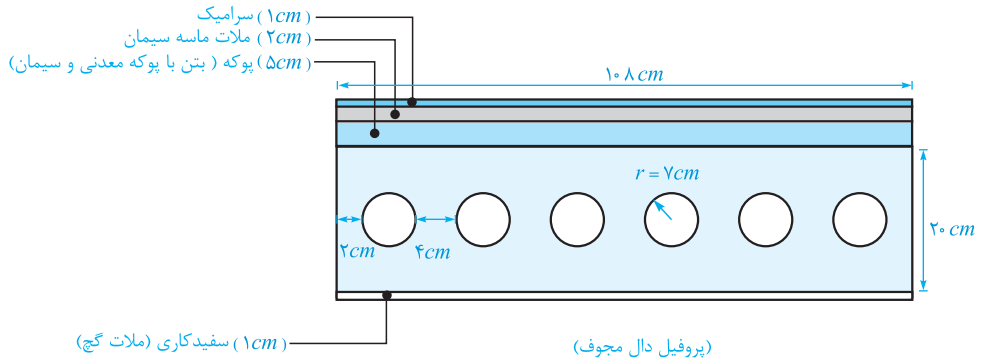
تذکر ۱: بتن بین بلوک‌ها، ۲۵ cm در ۱۰ cm برای فاصلهٔ متوسط ۰/۵ m (فاصلهٔ بین مرکز تا مرکز تیرچه‌ها) در نظر گرفته شده است.

تذکر ۲: برای جرم مخصوص بتن، از عدد ۲۵۰۰ kg/m^3 به عنوان جرم مخصوص بتن‌آرمه استفاده شده است.

تذکر ۳: در یک متر مربع از سقف ۸ عدد بلوک قرار گرفته که وزن هر یک از این بلوک‌ها ۱۳ kg فرض شده است.

چ) دال بتنی مجوف

اخیراً در ساختمان‌های با دهانه‌های بزرگ، از سقف‌های با دال بتنی مجوف استفاده می‌شود. در این دال‌ها، قسمتی از بتن ناحیهٔ کششی با استفاده از گوی‌های کروی از جنس پلی‌پروپیلن حذف شده است. مقطع عرضی نمونه‌ای از این نوع دال را می‌توان در شکل صفحهٔ بعد مشاهده کرد:



برای به‌دست آوردن وزن واحد سطح این نوع دال، ابتدا حجم خالص بتن در یک متر مکعب از این دال را به‌دست می‌آوریم. همانگونه که در شکل نشان داده شده است، در طول $۱۰۸cm$ از دال، ۶ گوی توخالی قرار گرفته است، بنابراین در مربعی با ابعاد $۱۰۸cm \times ۱۰۸cm$، ۳۶ گوی قرار خواهد گرفت و حجم بتن در این مربع با ضخامت $۲۰cm$ برابر است با:

$$V = ۱/۰۸ \times ۱/۰۸ \times ۰/۲ - ۶ \times ۶ \times \underbrace{\frac{۴}{۳} \times \pi \times ۰/۰۷^{۳}}_{\text{حجم یک گوی}} = ۰/۱۸۱ m^{۳}$$

بنابراین وزن واحد سطح بتن این دال برابر است با:

$$w = \frac{\text{وزن بتن}}{۱/۰۸ \times ۱/۰۸} = \frac{V_{\text{بتن}} \times \gamma_c}{۱/۰۸ \times ۱/۰۸} = \frac{۰/۱۸۱ \times ۲۵۰۰}{۱/۰۸ \times ۱/۰۸} = ۳۸۷/۹۴ kg/m^{۲}$$

در ادامه محاسبات مربوط به این سقف، به شکل جدول زیر ارائه می‌شود:

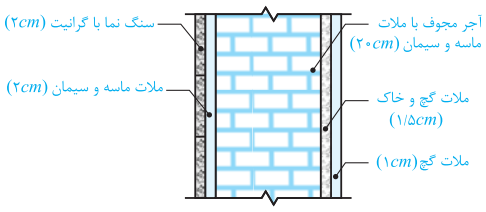
مصالح	جرم مخصوص $(kg/m^{۳})$	ضخامت (m)	جرم واحد سطح $(kg/m^{۲})$
سرامیک	۲۱۰۰	۰/۰۱	۲۱
ملات ماسه سیمان	۲۱۰۰	۰/۰۲	۴۲
بتن با پوکه معدنی و سیمان	۱۳۰۰	۰/۰۵	۶۵
دال مجوف			۳۸۷/۹
سفیدکاری	۱۳۰۰	۰/۰۱	۱۳
			مجموع $\simeq ۵۳۰ kg/m^{۲}$

دید مهندسی

سقف‌های تیرچه بلوک به صورت یک دال یک طرفه بار را منتقل می‌کنند و برای دهانه‌های بزرگ چندان مناسب نمی‌باشند، اما دال‌های مجوف در دهانه‌های بلند (تا دهانهٔ ۱۵ متر) نیز می‌توانند استفاده شوند. شایان ذکر است که در سال‌های اخیر، از سقف‌های پیش‌تنیده نیز برای دهانه‌های بلند استفاده می‌شود.

A-۳- تخمین بار دیوارهای پیرامونی (محیطی)

بار دیوارهای پیرامونی، به‌صورت خطی یکنواخت و برحسب مقدار وزن بر واحد طول محاسبه شده و بر تیرهای پیرامونی سازه وارد می‌شود. برای این منظور با توجه به جزئیات معماری دیوار، وزن واحد سطح آن محاسبه شده و در ارتفاع خالص دیوار ضرب می‌شود. در این محاسبه، اثر بازشوها نیز باید در نظر گرفته شود به این صورت که درصدی از مساحت دیوار که توسط بازشو اشغال شده است، محاسبه شده و از ۱۰۰ درصد سطح کل دیوار کم می‌شود. عدد باقیمانده نشان دهندهٔ سطح خالص دیوار بوده و در وزن واحد طول دیوار ضرب می‌گردد. برای این منظور، شکل مقابل را که مقطعی از یک دیوار خارجی در سازه است در نظر بگیرید:



در این دیوار وزن واحد سطح دیوار برابر است با:

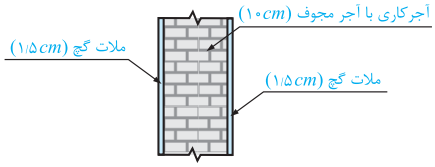
مصالح	جرم مخصوص (kg/m^3)	ضخامت (m)	جرم واحد سطح (kg/m^2)
سنگ نما (گرانیت)	۲۸۰۰	۰/۰۲	۵۶
ملات ماسه و سیمان	۲۱۰۰	۰/۰۲	۴۲
آجر مجوف با ملات ماسه و سیمان	۸۵۰	۰/۲	۱۷۰
ملات گچ و خاک	۱۶۰۰	۰/۰۱۵	۲۴
ملات گچ	۱۳۰۰	۰/۰۱	۱۳
		مجموع ≃	۳۰۵

دقت کنید که در یک سازه‌های متداول، دیوارهای خارجی معمولاً ۲۰ سانتی‌متر ضخامت آجر دارند و به دیوار ۲۰ سانتی معروف هستند.

تمرین ۲: وزن یک متر طول دیوار تیغه متشکل از آجرکاری با آجر مجوف و ملات ماسه و سیمان به ضخامت یکصد میلی‌متر و نازک‌کاری با ملات گچ به ضخامت متوسط پانزده میلی‌متر در هر طرف و ارتفاع دیوار برابر سه متر برحسب کیلونیوتن به کدام مقدار نزدیک‌تر است؟ (پایه ۳- خرداد ۹۳)

۱) ۳/۷ ۲) ۳/۴ ۳) ۴/۰ ۴) ۴/۳

حل: وزن واحد سطح این تیغه با توجه به جزئیات اجرایی داده شده و با استفاده از جدول (۱)، برابر است با:



آجرکاری با آجر مجوف و ملات ماسه سیمان $= ۸۵۰ \times ۰/۱ = ۸۵\ kg/m^2$

ملات گچ $= ۱۳۰۰ \times ۰/۰۳ = ۳۹\ kg/m^2$

وزن مجموع واحد سطح $= ۸۵ + ۳۹ = ۱۲۴\ kg/m^2$

در نهایت وزن تیغه با در نظر گرفتن ارتفاع ۳ متر در واحد طول برابر است با:

$$w = ۱۲۴ \times ۳ = ۳۷۲\ kg/m = ۳/۷۵\ kN/m \simeq ۳/۷\ kN/m$$

بنابراین گزینه (۱) صحیح است.

A-۴- وزن تجهیزات و تأسیسات ثابت

در برآورد بارهای مردهٔ ساختمان، وزن تأسیسات و تجهیزات ثابت موجود در ساختمان و یا تاسیساتی که احتمالاً در آینده به ساختمان اضافه می‌شوند، نیز باید در نظر گرفته شود. این تاسیسات معمولاً شامل لوله‌های آب و گاز، تجهیزات گرمایشی و تهویه‌ای هستند.

دید مهندسی

در مبحث ششم مقررات ملی ساختمان در بند (۶-۳-۳)، ضوابط خاصی برای وزن تأسیسات و تجهیزات ثابت ارائه نشده است. با این وجود، با توجه به مراجع معتبر می‌توان گفت که این بار در ساختمان‌های معمولی یک تا سه طبقه قابل صرف نظر کردن بوده و در غیر این صورت با توجه به نوع کاربری، اعمال یک بار گسترده بین ۲۰ تا ۳۰ کیلوگرم بر مترمربع بر کف یک برآورد نسبتا مناسب محسوب می‌شود. دقت شود که در مرحله طراحی سازه و قبل از ساخت آن، پیش‌بینی تجهیزات و تأسیسات ثابت کار نسبتاً دشواری محسوب می‌شود و نیاز به تجربه دارد.

در این قسمت از فصل، چه خواهیم خواند؟

در این قسمت از فصل، ابتدا شما را با انواع بارهای زندهٔ وارد بر سازه آشنا کـرده و یاد می‌گیریم که این بارها به دو دستهٔ دینامیکی و استاتیکی تقسیم می‌شوند.
در ادامهٔ بحث، با بارهای زندهٔ استاتیکی آشنا شده و مطالب بسیار جالبی را در مورد بار زندهٔ ناشی از تیغه‌ها در ساختمان یاد می‌گیریم.

B-۱- مفهوم بار زنده

به طور کلی بارهای زنده، به بارهایی گفته می‌شود که به لحاظ مقدار و محل اثـر، وضعیت مشخصی ندارند. با توجه به این موضوع، هم محل اثر این بارها مـی‌توانـد تغییر کند و هم مقدار آنها می‌تواند کم و زیاد شود.

چند تذکر:

۱) اصطلاحی که مفهوم بار زنده را در ذهن یک مهندس تداعی می‌کند، عمدتاً در اثر وزن انسان‌هایی است که در سازه رفت و آمد می‌کنند و یـا وسـایلی کـه در آن قرار می‌گیرد.

۲) بارهای محیطی (بار باد، برف، زلزله، فشار مایعات و ...) که در طول عمر سازه به آن وارد می‌شـوند و همچنـین بارهـای حـین سـاخت، جـزء بـارهـای زنـده محسوب نشده و در آیین‌نامه‌ها، هر یـک از ایـن بارهـا بـه طـور جداگانـه و بـا روش‌های خاص خود محاسبه می‌شوند.

۳) مقدار بارهای زنده با توجه به نوع کـاربری سـاختمان و یـا هـر بخـش از آن و مقداری که احتمال دارد در طـول عمـر سـاختمان بـه آن وارد گـردد، تعریـف می‌شود. تعیین مقدار بار زنده توسط یک مهنـدس امکـان پـذیر نبـوده و بایـد مقدار این بار توسط مطالعات آماری آیین نامه بیان شود که در ادامه بـه بحـث در مورد آن خواهیم پرداخت.

انواع بار زنده

بارهای زنده را می‌توانیم با یک نگاه دقیقتر، به دو گروه زیر تقسیم کنیم:

۱ **بار زندهٔ استاتیکی:** در این گروه از بـار زنـده، بـه هنگـام اعمـال بـار، انـرژی جنبشی قابل ملاحظه‌ای به ساختمان منتقل نمی‌شود و یا ممکن است تـأثیر این انرژی به دلیل زمان زیاد اعمال بار از بین رفته باشد. به عنوان مثـال وزن کارمندان یک اداره که به آرامی وارد ساختمان شده و در قسمت‌های مختلف ساختمان حرکت می‌کنند، معرف بار زندهٔ استاتیکی می‌باشد.

۲ **بار زندهٔ دینامیکی (بار ضربه‌ای):** بارهای متحرکی هستند که انرژی جنبـشی قابل ملاحظه‌ای به ساختمان منتقل می‌کنند. به عنوان مثال می‌توان بـه بـار ناشی از جمعیت هیجان‌زده در یک استادیوم و یـا بارهـای ضـربه‌ای صـنعتی ناشی از آسانسور و جرثقیل اشـاره کـرد. در ادامـه ایـن بحـث جالـب، در دو قسمت بعد، بارهای زندهٔ استاتیکی را توضیح مـی‌دهـیم و سـپس در قـسمت چهارم فصل، به بررسی بار زندهٔ دینامیکی می‌پردازیم.

زیرشاخه‌های قسمت دوم:
B-۱- مفهوم بار زنده
B-۲- بارهای زندهٔ استاتیکی
B-۳- نامناسب‌ترین وضعیت بارگذاری
B-۴- بار دیوارهای تقسیم‌کننده (تیغه‌ها)
B-۵- بارهای وارد بر نرده حفاظ، دسـتـه‌انـداز، حفـاظ پارکینـگ و نردبان ثابت

B-۲- بارهای زندهٔ استاتیکی

بار زندهٔ ساختمان در آیین‌نامه‌ها، به‌صورت یک بار گستردهٔ یکنواخت در نظر گرفته شده و فرض می شود که همهٔ کف تحت این بار گسترده قرار دارد. علاوه بر آن، برای این‌که اثر موضعی بارهای متمرکز نیز دیده شود، آیین‌نامه‌ها یک بار متمرکز را مشخص می‌کنند که می‌تواند در هر نقطه از کف قرار گیرد و کف باید توانایی تحمل آن را داشته باشد.

ثاثیر کلی بار زنده (بار زندهٔ گستردهٔ یکنواخت): بار زندهٔ گستردهٔ یکنواخت، تخمین واقع بینانه‌ای از بار زندهٔ وارد بر کف‌ها است که با توجه به کاربری ساختمان و با استفاده از تحلیل آماری و با در نظر گرفتن ریسک مناسب تعیین می‌شود.

تأثیر موضعی بار زنده (بار متمرکز): بار متمرکز موضعی، در سطحی به ابعاد $۷۵cm \times ۷۵cm$ وارد شده و محل آن طوری در نظر گرفته خواهد شد که بیشترین اثر را در اعضاء ایجاد کند. باید دقت کنیم که بار متمرکز موضعی به طور جداگانه در نظر گرفته شده و نباید همزمان با بارگسترده بر سازه اعمال شود.

دید مهندسی

اصولاً بارهای زنده به شکل بار متمرکز، بیشتر برای کنترل کردن اعضاء خاص پس از طراحی کاربرد دارد و در مدلسازی کامپیوتری، بار زنده به‌صورت گسترده لحاظ می‌شود.

آیین نامه مبحث ششم مقررات ملی ساختمان ویرایش ۱۳۹۲، مقادیر حداقل بار زندهٔ گسترده و متمرکز (در صورت نیاز) را به صورت زیر ارائه کرده است:

جدول ۲: حداقل بارهای زنده گستردهٔ یکنواخت و بار زنده متمرکز کف‌ها

ردیف	نوع کاربری	بار گسترده (kN/m^2)	بار متمرکز (kN)
	۱- بام‌ها		
۱-۱	بام‌های معمولی تخت، شیب‌دار و قوسی	۱/۵	۱/۳
۱-۲	بام با پوشش سبک	۰/۵	۱/۳
۱-۳	بام‌های دارای باغچه و گلخانه	۵	-
۱-۴	بام‌های با پوشش پارچه‌ای با سازه اسکلتی	۰/۲۵ (غیرقابل کاهش)	۱/۳
۱-۵	بام‌هایی با امکان تجمع و ازدحام	بسته به نوع کاربری	-
۱-۶	قاب‌های نگهدارنده یک فضابند	۰/۲۵ (غیرقابل کاهش، فقط به اعضای قاب‌ها وارد می‌شود)	۱
	۲- سالن‌ها و محل‌های تجمع و ازدحام		
۲-۱	سالن‌های عمومی و محل‌های تجمع دارای صندلی‌های ثابت (چسبیده به کف)	۳	-
۲-۲	سالن‌های عمومی ومحل‌های تجمع فاقد صندلی‌های ثابت	۵	-
۲-۳	سالن‌های غذاخوری و رستوران‌ها	۵	-
۲-۴	سینماها و تئاترها	۵	-
۲-۵	صحنه سینماها و تئاترها	۷/۵	-
۲-۶	سالن‌های اجرای مراسم گروهی، اجرای سرود و ...	۷/۵	-
۲-۷	شبستان مساجد و تکایا	۶	-
۲-۸	سالن انتظار و ملاقات	۵	-
۲-۹	پایانه‌های مسافربری	۶	-

بر مبنای جدول (۶-۵-۱)

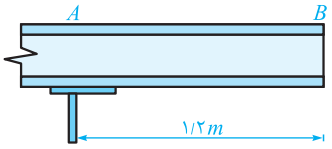
تست‌های فصل اول

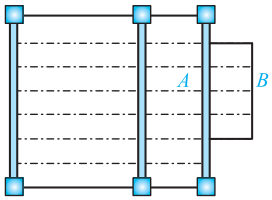
بار زنده

۱- تراس مقابل پنجرهٔ یک اتاق بیمار در بیمارستان، به ابعاد ۱/۵×۲ متر می‌باشد. کل بار زندهٔ وارد بر تراس، طبق آیین‌نامهٔ بارگذاری کدام یک از ارقام زیر است؟ (پایه ۳ - ۸۳)

۱) ۶۰۰ کیلوگرم ۲) ۷۵۰ کیلوگرم ۳) ۹۰۰ کیلوگرم ۴) ۱۵۰۰ کیلوگرم

۲- در پوشش بالکن یک ساختمان مسکونی، از تیرهای طره شدهٔ فولادی و طاق ضربی بین آنها استفاده شده است. لنگر خمشی ناشی از اثر بار زنده در تکیه‌گاه تیر طرهٔ AB کدام‌یک از مقادیر زیر است؟ (فاصلهٔ تیرهای طره شده از هم ۰/۷ متر و طول طره‌ها ۱/۲ متر است.) (پایه ۱ - ۸۲)





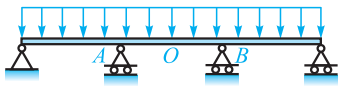
۱) $M_A = ۱/۵۱$ کیلونیوتن بر متر
۲) $M_A = ۲/۱۰$ کیلونیوتن بر متر
۳) $M_A = ۳/۰۰$ کیلونیوتن بر متر
۴) $M_A = ۳/۶۱۲$ کیلونیوتن بر متر

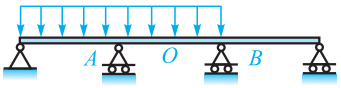
۳- مجاور راهرو یک ساختمان مسکونی، بالکنی به‌صورت طره به ابعاد ۱×۱ متر است. لنگر خمشی ناشی از اثر بار زنده در تکیه‌گاه طره، در یک متر عرض برابر است با: (پایه ۳ - ۸۹، با اندکی تغییر)

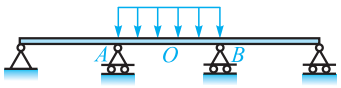
۱) $M = ۱۵۰ kg.m$
۲) $M = ۲۰۰ kg.m$
۳) $M = ۲۵۰ kg.m$
۴) $M = ۳۰۰ kg.m$

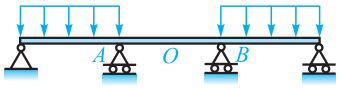
نامناسب‌ترین وضعیت بارگذاری

۴- در یک تیر یکسره، شدت بار مرده $w_D = ۴۰۰ kg/m$ و شدت بار زنده $w_L = ۸۰۰ kg/m$ است. در تعیین لنگر خمشی مثبت در وسط دهانهٔ AB، ناشی از بار زنده، کدام‌یک از وضعیت‌های بارگذاری زیر لازم است در نظر گرفته شود؟ (پایه ۳ - ۸۲)

۱) 

۲) 

۳) 

۴) 

بار دیوارهای تقسیم‌کننده

۵- برای تیغه‌های داخل یک ساختمان اداری از پانل‌های گچی با وزن ۱۸۰ کیلوگرم بر مترمربع استفاده می‌شود. از طرفی طول این تیغه‌ها در پلان حدود ۲۰۰ متر است. اگر مساحت طبقه ۱۴۰۰ مترمربع و ارتفاع تیغه‌ها ۳ متر باشد، بگویید کدام‌یک از الزامات زیر را باید در محاسبات منظور نمود؟ (پایه ۳ - ۸۴ ، با اندکی تغییر)

۱) تیغه‌ها سنگین‌اند و باید در محل خود اثر داده شوند و کف محاسبه شود.
۲) کف برای بار گستردهٔ یکنواخت معادل ۱۰۰ کیلوگرم بر مترمربع محاسبه می‌شود.
۳) کف برای بار گستردهٔ یکنواخت معادل ۵۰ کیلوگرم بر مترمربع محاسبه می‌شود، ولی باید اثر موضعی تیغه‌ها را در محل خود کنترل کرد.
۴) کف برای بار گستردهٔ یکنواخت معادل ۷۷ کیلوگرم بر مترمربع محاسبه می‌شود، ولی باید اثر موضعی تیغه‌ها را در محل خود کنترل کرد.

۶- در یک ساختمان یک طبقهٔ تجاری با کاربری فروشگاه، برای جداسازی فضاها از تیغه‌هایی استفاده شده که وزن یک متر مربع از سطح آنها ۱ کیلونیوتن است. چنانچه سطح پلان ساختمان ۳۰۰ مترمربع و طول کل تیغه‌ها برابر ۵۲/۵ متر و ارتفاع آنها ۴ متر باشد، بار معادل تیغه‌بندی بر حسب کیلونیوتن بر مترمربع به کدام‌یک از مقادیر زیر نزدیکتر است؟ (پایه ۳ - ۸۹ ، با اندکی تغییر)

۱) ۰/۷۰
۲) ۱
۳) ۱/۲۰
۴) با توجه به کاربری ساختمان، می‌توان از بار معادل تیغه‌بندی صرف‌نظر کرد.

۷- در بخشی از یک ساختمان که بار زندهٔ آن ۲ کیلونیوتن بر مترمربع و مساحت آن ۲۵۰ مترمربع می‌باشد، طول دیوارهای داخلی ۳۰ متر و ارتفاع دیوارها ۲/۸ متر و وزن یک متر مربع دیوار ۱/۸ کیلونیوتن می‌باشد. بار معادل دیوارها بر حسب کیلونیوتن بر مترمربع که می‌توان به‌طور یکنواخت در کف اثر داد، چقدر است؟

۱) ۰/۶ ۲) ۱ ۳) ۰/۷۶ ۴) ۲ (پایه ۳ - ۸۹)

۸- در یک ساختمان مسکونی برای جداسازی فضاها از تیغه‌هایی استفاده شده‌است که وزن یک مترمربع سطح آنها ۳ کیلونیوتن است. چنانچه سطح پلان ساختمان در هر طبقه ۳۰۰ مترمربع و طول تیغه‌ها در هر طبقه ۶۰ متر و ارتفاع آنها ۳ متر باشد، کدام‌یک از عبارات زیر در خصوص بار معادل تیغه‌ها درست است؟ (پایه ۳ - ۹۰)

۱) بار معادل تیغه‌ها را می‌توان ۱/۸ کیلونیوتن بر مترمربع (در واحد سطح پلان) در نظر گرفت.
۲) بار تیغه‌ها را باید در محل واقعی خود اعمال نمود.
۳) بار معادل تیغه‌ها را می‌توان ۱/۸۰ نیوتن بر مترمربع (در واحد سطح پلان) در نظر گرفت.
۴) بار معادل تیغه‌ها را می‌توان ۳ کیلونیوتن بر مترمربع (در واحد سطح پلان) در نظر گرفت.

۹- تیغه‌های غیرباربر داخلی یک ساختمان به‌صورت آجرکاری با آجر مجوف و ملات ماسه سیمان به ضخامت ۲۰۰ میلی‌متر و در دو طرف اندود گچ به ضخامت متوسط ۲۰ میلی‌متر در هر طرف دیوار خواهد بود، اگر ارتفاع تیغه‌ها برابر ۲/۸ متر باشد، نیروی وارد بر واحد طول از طرف تیغه بر کف برحسب کیلونیوتن بر متر، حدوداً چقدر باید در نظر گرفته شود؟ (شتاب ثقل برابر ده متر بر مجذور ثانیه فرض می‌شود) (پایه ۳ - اسفند ۹۱)

۱) ۶/۲ ۲) ۲/۲ ۳) ۵/۸ ۴) ۷/۳

پاسخ تست‌های فصل اول

۱- (۳)

با استفاده از جدول (۲) درسنامه، بار زندهٔ گستردهٔ یکنواخت اتاق بیمار برابر $۲\ kN/m^۲$ می‌باشد. بنابراین مقدار بار بالکن مجاور آن $۱/۵\times۲=۳\ kN/m^۲$ به‌دست می‌آید و کل بار زندهٔ وارد بر تراس برابر است با:

$$P=w\times A=۳\times۱/۵\times۲=۹kN=۹۰۰kg$$

۲- (۱)

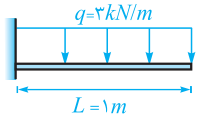
با توجه به جدول (۲) درسنامه، بار زنده گسترده وارد بر بالکن، ۱/۵ برابر بار زندهٔ کف اتاق متصل به آن می‌باشد. از طرفی با استفاده از همان جدول، بار زندهٔ گستردهٔ وارد بر کف ساختمان مسکونی $۲\ kN/m^۲$ می‌باشد و در نتیجه بار زندهٔ بالکن $۳\ kN/m^۲$ به‌دست می‌آید. در نهایت با توجه به عرض بارگیر تیر طره، بار خطی وارد بر تیر طره و لنگر آن برابر است با:

$$\text{عرض بارگیر طره}=\frac{۰/۷}{۲}+\frac{۰/۷}{۲}=۰/۷m \Rightarrow q=۳\times۰/۷=۲/۱\ kN/m$$

$$M=\frac{qL^۲}{۲}=\frac{۲/۱\times۱/۲^۲}{۲}=۱/۵۱۲\ kN.m$$

۳- (۱)

با توجه به جدول (۲) درسنامه، بار زندهٔ راهرو در ساختمان‌های مسکونی $۲\ kN/m^۲$ می‌باشد بنابراین بار گسترده بالکن مجاور آن ۱/۵ برابر بوده و برابر است با:



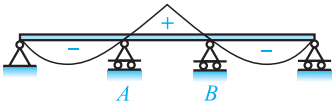
$$۱/۵\times۲=۳\ kN/m^۲ \Rightarrow q=۳\times۱=۳\ kN/m$$

$$M=\frac{qL^۲}{۲}=\frac{۳\times۱^۲}{۲}=۱/۵\ kN.m=۱۵۰kg.m$$

۴- (۳)

همانطورکه در درسنامه توضیح دادیم در تیرهای یکسره که بار زنده بیشتر از ۴ کیلونیوتن بر متر مربع و یا بیشتر از یک و نیم برابر بار مرده است علاوه بر بارگذاری یکنواخت، اثر نامناسب‌ترین وضع بارگذاری نیز باید در نظر گرفته شود. در این سازه به منظور آنکه بیشترین لنگر خمشی مثبت در دهانهٔ AB ایجاد شود، لازم است بار زنده در دهانهٔ مورد نظر و به‌طور یک در میان در سایر دهانه‌ها اعمال شود.

با توجه به نمودار خط تأثیر لنگر خمشی مثبت در دهانهٔ AB نیز همین نتیجه حاصل می شود:



۵- (۲)

در صورتی که وزن یک متر مربع از سطح تیغه‌ها بین ۰/۴ تا ۲ کیلونیوتن بر مترمربع باشد، بار تیغه‌ها به‌صورت بار معادل زنده که به‌طور یکنواخت بر کف‌ها گسترده شده در نظر گرفته می‌شود:

$$\text{بار معادل تیغه‌ها}=max\left\{۱۰۰kg/m^۲\ ,\ \frac{\text{وزن کل تیغه‌ها}}{\text{مساحت کف}}\right\}$$

$$\text{بار معادل تیغه‌ها}=max\left\{۱۰۰\ ,\ \frac{۱۸۰\times۲۰۰\times۳}{۱۴۰۰}\simeq۷۷kg/m^۲\right\}=۱۰۰kg/m^۲$$

دقت شود که $۱۰۰\ kg/m^۲$ در واقع همان $۱\ kN/m^۲$ است.

۶- (۴)

در صورتی که حداقل بار زنده ساختمان از ۴ کیلونیوتن بر مترمربع بیشتر باشد، نیازی به در نظر گرفتن بار زندهٔ دیوار تقسیم کننده نیست. ساختمان مورد نظر دارای کاربری تجاری می‌باشد، بنابراین مطابق جدول ۶-۵-۱ مبحث ششم و جدول (۲) درسنامه، بار زندهٔ آن برابر با $5\ kN/m^2$ بوده، در نتیجه می‌توانیم از بار زندهٔ دیوار تقسیم کننده صرف‌نظر کنیم و گزینهٔ (۴) صحیح است. دقت شود که وزن یک متر مربع از تیغه‌ها بین $0/4\ kN/m^2$ و $2\ kN/m^2$ بوده و تیغه در صورت لحاظ شدن، بار زنده در نظر گرفته می‌شود.

۷- (۲)

مطابق بند (۶-۵-۲-۲) مبحث ششم مقررات ملی ساختمان در صورتی‌که وزن یک مترمربع تیغه‌ها کمتر از ۲ کیلونیوتن باشد، بار معادل تیغه‌ها برابر است با:

$$\text{بار معادل تیغه‌ها} = max\left\{\frac{\text{وزن تیغه‌ها}}{\text{مساحت کف}}\ ,\ 1\ kN/m^2\right\}$$

$$\text{بار معادل تیغه‌ها} = max\left\{\frac{1/8\times 30\times 2/8}{250} = 0/6\ kN/m^2\ ,\ 1\ kN/m^2\right\} = 1\ kN/m^2$$

بنابراین بار گستردهٔ تیغه‌ها برابر حداقل بار، یعنی $1\ kN/m^2$ در نظر گرفته شود و گزینهٔ (۲) صحیح است.

۸- (۲)

در صورتی‌که وزن هر مترمربع سطح دیوارهای جداکننده از ۲ کیلونیوتن بیشتر باشد، وزن آن به عنوان بار مرده در نظر گرفته شده و در محل واقعی خود اعمال می‌گردد، بنابراین گزینهٔ (۲) صحیح است.

۹- (۱)

وزن واحد سطح تیغه‌ها با توجه به جزئیات اجرائی و جدول شمارهٔ پ ۶-۱-۲ از پیوست مبحث ششم مقررات ملی ساختمان، برابر است با:

$$\text{آجرکاری با آجر مجوف و ملات ماسه سیمان} = 850\times 0/2 = 170\ kg/m^2$$

$$\text{اندود گچ} = 1300\times 0/04 = 52\ kg/m^2$$

$$\text{وزن مجموع واحد سطح} = 222\ kg/m^2$$

وزن تیغه به‌صورت بار خطی برابر است با:

$$w = 222\times 2/8 = 621/6\ kg/m \simeq 6/21\ kN/m$$

۱۰- (۲)

برای محاسبهٔ بار معادل تیغه‌ها، ابتدا باید وزن یک متر مربع از سطح تیغه‌ها مشخص گردد. با استفاده از جدول شمارهٔ پ ۶-۱-۲ مبحث ششم مقررات ملی ساختمان، جرم واحد حجم پانل گچی برابر $1300\ kg/m^3$ به‌دست می‌آید. با توجه به ضخامت ۱۰ سانتی‌متر، وزن واحد سطح پانل گچی برابر است با:

$$w = p\times t = 1300\times 0/10 = 130\ kg/m^2$$

بنابراین با توجه به اینکه $w < 200\ kg/m^2$ است، بار معادل تیغه از تقسیم وزن تیغه‌ها به مساحت کف، به‌صورت زیر به‌دست می‌آید:

$$\text{وزن تیغه‌ها} = 130\times 3\times 60 = 23400\ kg$$

$$\text{بار معادل تیغه‌ها} = max\ \{100\ kg/m^2\ ,\ \frac{\text{وزن تیغه‌ها}}{\text{مساحت کف}}\}$$

$$\text{بار معادل تیغه‌ها} = max\ \{100\ kg/m^2\ ,\ \frac{23400}{200} = 117\ kg/m^2\} \simeq 120\ kg/m^2$$