

فصل ۵

بارهای طراحی

در طراحی سازه‌های معمولی، دو نوع عمده از بار وارد بر سازه‌ها قابل شناسایی‌اند. ۱- بارهای عمودی (ثقل)، ۲- نیروهای جانبی. برخی از اعضای سازه فقط تحت بار محوری قرار می‌گیرند و بعضی باید بار جانبی را تحمل کنند و تعدادی از اعضا هم در معرض اثر توام هر دو نوع بار قرار می‌گیرند. بنابراین اعضا یا ستون هستند، یعنی زیر بار محوری واقع می‌شوند و یا تیر هستند که به آن‌ها بار خمشی وارد می‌شود و یا تیر و ستون خواهند بود که تحت بار محوری و جانبی واقع می‌شوند. می‌توان نخست بارهای وارد بر سازه را در این دو دسته طبقه‌بندی کرده و سپس به چگونگی وارد شدن آن‌ها به اعضا پرداخت. وزن را همه می‌شناسند و حضور آن را در حالت‌های مختلف اطلاع دارند، پس نقطه شروع خوبی خواهد بود.

نکته قابل ذکر این است که در طراحی یک سازه برآورد بارها از بالاترین قسمت آن شروع شده و به طرف پایین ادامه می‌یابد، ولی در ساخت، عملیات از پایین شروع و به طرف بالای سازه پیش می‌رود.

بارهای طراحی در کد، (IBC (Uniform Building code) حالا International Building Code فصلی را به خود اختصاص دادند و پیشنهاد می‌شود خواننده برای اطلاعات بیشتر به آن مراجعه کند.

۱-۵. بارهای مرده عمودی

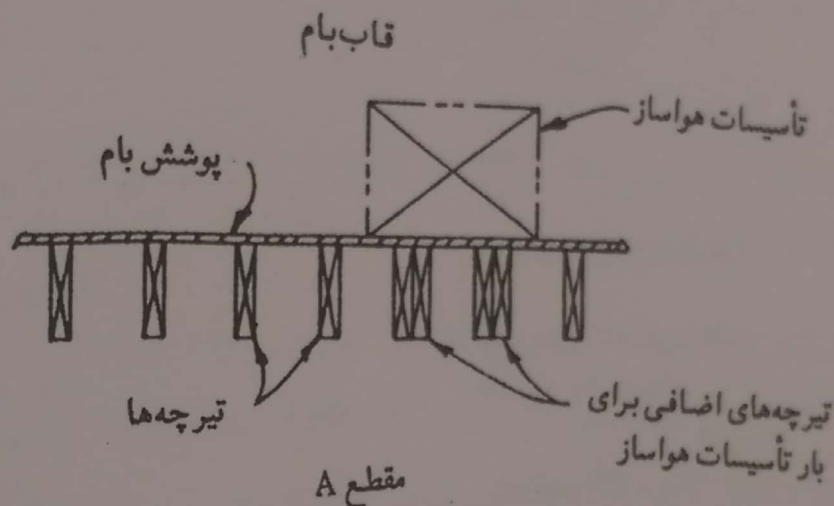
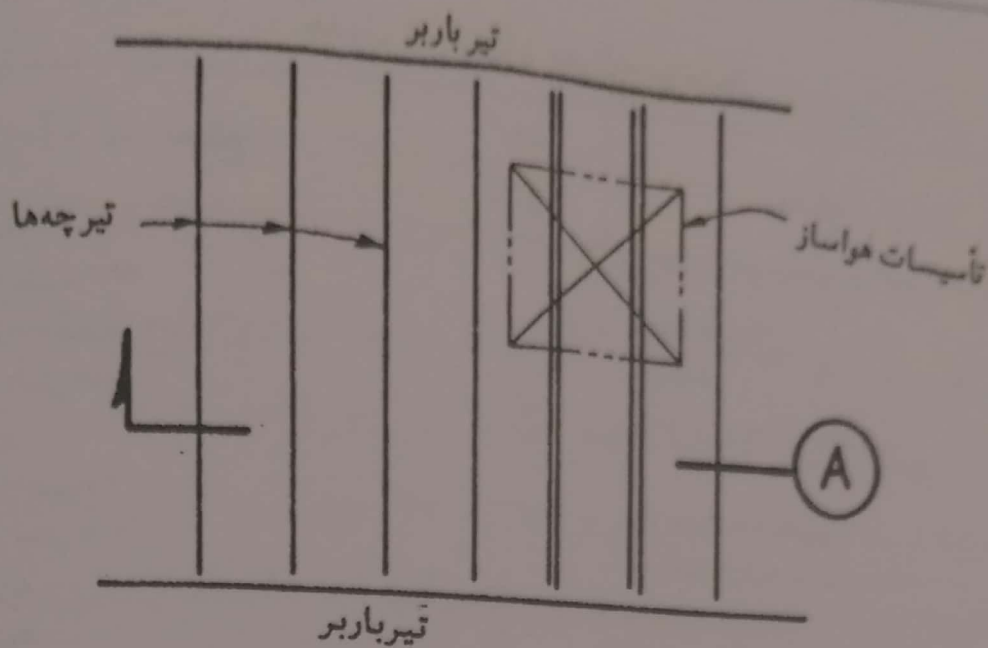
بارهای عمودی به دو دسته زنده و مرده تقسیم می‌شوند. بارهای مرده شامل وزن تمام مصالحی (جدول ۱-۵) است، که در احداث سازه به کار می‌روند. در خصوص سازه‌های چوبی بار مرده شامل مصالح ساخت بام (Roof) و کف (Floor)، قاب و پوشش آن، عایق سازی‌ها، سقف و دیگر مصالحی که پیوسته با سازه خواهند بود، مثل لوله‌ها، لوازم آتش‌نشانی و غیره‌اند. یکی از اقلام بار مرده بام تاسیسات هواساز است و اغلب این بار بر چند تیر یا تیرچه سقف وارد می‌شود که کنار هم قرار دارند. به طور معمول تیر و تیرچه‌ها اندازه‌های یکنواختی دارند و برای اضافه وزن تاسیسات هواساز می‌توان تیرهای آن قسمت از سقف را قوی تر در نظر گرفت (شکل ۵-۱).

مقدار بارهای مرده مصالح متعدد را در چند منابع می‌توان یافت و نمونه به نسبت کاملی از آنها در جدول ۱-۵ ملاحظه می‌شود.

در اکثر موارد بارهای مرده به صورت یکنواخت وارد بر سطح برآورد می‌شوند، Kg/m^2 ، اما توزیع آنها بر واحد طول اعضای قاب سازه برای مثال Kg/m یا Kg/cm برای کار محاسبات سهولتی را در بر دارد. روند تبدیل بارهای گسترده یکنواخت، Kg/m^2 ، به بار، به ازای Kg/cm در بخش سطح بارگیر اعضای قاب، تشریح می‌شود.

جدول ۵-۱. وزن مصالح ساختمانی

* ضخامت



شکل ۵-۱. تکیه‌گاه بار تأسیسات هواساز با اعضای قوی‌تر

برآورد بار مرده سازه به اطلاعاتی در مورد ساخت آن (برای مثال کف و بام) نیاز دارد. مجموعه عناصر سازنده دیوارهای یک سازه چوبی ممکن است 17 Kg/m^2 تا 80 Kg/m^2 متغیر باشد، که بسته به اندازه ستون‌های کلاف، فاصله بین آن‌ها، پوشش دهانه‌های کلاف (تخته چندلا، OSB و غیره) است. در بار از $35 - 100 \text{ Kg/m}^2$ ، برحسب مصالح ساخت، طول دهانه و این که زیر بام یا کف سقفی احداث می‌شود یا نه متغیر است. معمولاً محاسبه بار به تهیه خلاصه‌ای از انواع بار مطرح نیاز دارد، مثال ۵-۱

مثال ۱-۵

 Kg/m^2

بارهای مرده بام

۳۲

پوشش بام (اسفالت)

۷/۵

تخته چند لا

۱۶

اعضای قاب سقف (۳۰*۵) سانتی متر، به فاصله ۴۰ سانتی متر از هم

۲/۵

لایه عایق

۱۰

موزاییک آکوستیک

$$R_{DL} = 78 \text{ Kg/m}^2$$

 Kg/m^2

بارهای مرده کف

۶۰

پوشش کف (بتن سبک) ۳/۸ سانتی متر (1600 Kg/m^3)

۱۷

تخته چندلا، ضخامت ۲/۸ سانتی متر

۱۲

اعضای قاب کف (۳۰*۱۰) سانتی متر، به فاصله ۱/۲m

$$F_{DL} = 89 \text{ Kg/m}^2$$

اقدام بار مرده وارد بر سازه را باید مرور و کنترل کرد، تا اطمینان حاصل شود که اجزای یک نوع بار مرده درست به حساب آمده‌اند. برگشت و بازنگری در مقادیر بارهای لحاظ شده شاید در تکمیل محاسبات طراحی، چند مرتبه تکرار شود.

از مواردی که در برآورد بار وارد بر یک عضو سازه مهم است، تعیین سطح بارگیر عضو خواهد بود. سطحی که به عضو معینی بار اعمال می‌کند، در اصطلاح سطح بارگیر عضو نام دارد.

در مورد اعضای تیری، سطح بارگیر حاصل ضرب فاصله بین دو تیر متوالی در طول دهانه تیر است. (شکل ۵-۲). چنانچه بار گسترده یکنواخت باشد، وقتی شدت آن در واحد سطح در فاصله بین دو تیر ضرب شود، بار به ازای واحد طول تیر به دست می‌آید.

$$P(L \times d) = \text{مجموع بار} \quad (1-5)$$

$$W = \frac{P(L \times d)}{L}, \text{kg/m} \quad (2-5)$$

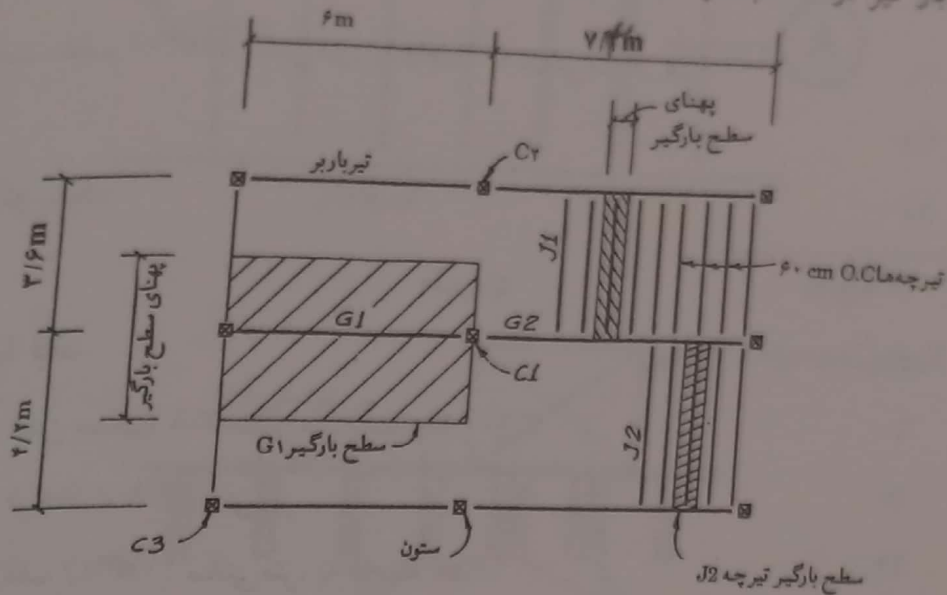
P - شدت بار در واحد سطح، Kg/m^2

d - فاصله بین دو تیر متوالی (محور تا محور)، m

L - طول دهانه، m

w - بار، Kg/m

سطح بارگیر در محاسبه درست بار وارد بر هر عضو مهم است.



شکل ۲-۵ - طرح اعضای بام یا کف

مثال ۲-۵. محاسبه سطح بارگیر اعضا را در شکل ۲-۵ انجام دهید.

دهانه * پهنا = A

J_1 تیرچه

$$3.6 \times 0.6 = 2.16 m^2$$

J_2 تیرچه

$$4.2 \times 0.6 = 2.52 m^2$$

G_1 تیر باربر

$$\left(\frac{4.2}{2} + \frac{3.6}{2} \right) 6 = 23.4 m^2$$

G_2 تیر باربر

$$\left(\frac{4.2}{2} + \frac{3.6}{2} \right) 7.3 = 28.47 m^2$$

C_1 ستون

$$\left(\frac{4.2}{2} + \frac{3.6}{2} \right) \left(\frac{6}{2} + \frac{7.3}{2} \right) = 25.94 m^2$$

C_2 ستون بیرونی

$$\left(\frac{3.6}{2} \right) \left(\frac{6}{2} + \frac{7.3}{2} \right) = 11.97 m^2$$

C_3 ستون گوشه

$$\left(\frac{4.2}{2} \right) \left(\frac{6}{2} \right) = 6.3 m^2$$

۵-۲. بارهای زنده عمودی

بارهای عمودی بارهای ثقل اند که همیشه حضور ندارند، مثل وزن انسان‌ها، لوازم منزل، وزن کارگران در زمان احداث و همین طور لوازم کار در هنگام ساخت. کدهای ساختمانی حداقل بار زنده بام و کف را تعیین می‌کنند، که باید در طراحی به کار گرفته شود. برای مثال کد، UBC (IBC) حداقل بار زنده کف را به Kg/m^2 مشخص کرده است (جدول ۵-۱) ولی اگر طراح مقدار بار را بیشتر پیش‌بینی می‌کند، باید بار بیشتر را در طراحی به کار برد.

در محاسبه مجموع بارهای زنده بام یا کف، باید سطح بارگیر عضو مورد طراحی، به حساب آید، یعنی مقدار بار با آن تعیین می‌شود و نه مجموع بار.

اگر عضو سطح بارگیر کمی داشته باشد، احتمال وارد شدن بار زیاد به آن سطح کوچک وجود دارد. از طرف دیگر اگر سطح بارگیر بزرگ باشد احتمال توزیع یکنواخت وجود دارد.

۵-۲-۱- بار زنده بام

کد، حداقل بار زنده بام را برای طراحی تعیین می‌کند. بارهای زنده بام در طول عمر سازه طی مدت به نسبت کوتاهی اعمال شوند. این واقعیت جز در مورد سازه چوبی، در طراحی سایر سازه‌ها لحاظ نمی‌شود. اما در بخش مربوط ملاحظه خواهد شد که طول مدت زمانی که بار زنده به بام سازه چوبی اعمال می‌شود (غیر از بار برف و نیروی باد)، بر روی ظرفیت تحمل بار بام، تاثیر مشهودی ندارد.

به بام، بارهای زنده متعددی وارد می‌شوند، از جمله لوازم کار هنگام عملیات ساخت، تاسیسات مکانی برای سرویس‌های نگهداری، آتش‌نشانی. بار باد و برف هم بار زنده روی بام به حساب می‌آیند، اما جداگانه تحلیل می‌شوند.

بار زنده حداقل بام براساس توصیه کد، UBC (IBC) در جدول ۵-۲ آمده است. در این جدول دو ترتیب بار زنده بام پیش‌بینی شده است. در روش اول با توجه به اندازه سطح بارگیر عضو مورد طراحی، شدت بار تعیین شده است. هر چه سطح بارگیر عضو بزرگ‌تر باشد، شدت بار کم‌تر خواهد بود. بنابراین گام اول، محاسبه تعیین سطح بارگیر عضو است.

در روش دوم این جدول که بخش جدیدی از کد است، طراح آن شدت بار زنده بام را به صورت تابع سطح بارگیر عضو محاسبه می‌کند. در این روش دامنه بارهای زنده در مقایسه با روش

اول، پیوسته دیده می‌شود. دو روش مذکور مستقل از یکدیگرند و توام کردن آن‌ها نیز مجاز نیست. در روش دوم درصد کاهش بار زنده مبنای بام با روابط زیر محاسبه شده و کوچک‌ترین مقدار به دست آمده اعمال خواهد شد:

جدول ۵-۲. حداقل بار زنده بام (kg/m)

جدول ۵-۲. حداقل بار زنده بام (kg/m ²)						
روش ۲			روش ۱			شیب بام
حداکثر کاهش R %	نرخ r %	بار یکنواخت	سطح بارگیر عضو m ²			
			بیش از ۵۵/۷	۱۸/۶-۵۵/۷	۰-۱۸/۵	
۴۰	۰/۹	۹۶	۵۸	۷۸	۹۶	سطح یا با شیب کم‌تر از ۱۸ درجه-قوسی یا گنبدی با شیب کم‌تر از $\frac{1}{8}$ روی دهانه
۲۵	۰/۷	۷۸	۵۸	۶۷	۷۸	۱۸ درجه تا کم‌تر از ۴۵ درجه - قوسی یا گنبدی با شیب $\frac{1}{8}$ تا کم‌تر از $\frac{3}{8}$ روی دهانه
کاهش مجاز نیست		۵۸	۵۸	۵۸	۵۸	۴۵ درجه و بیشتر - قوسی یا گنبد با شیب $\frac{3}{8}$ یا بیشتر روی دهانه
		۲۴	۲۴	۲۴	۲۴	سایبان غیر از پوشش دار پارچه‌ای
		۴۸	۴۸	۴۸	۴۸	گلخانه‌ها - سازه با چوب‌های گرد - ساختمان‌های کشاورزی

$$۱-R = r(A - ۱۴) \quad (۳-۵)$$

$$۲-R = ۲۳/۱ \left(۱ + \frac{DL}{RLL} \right) \quad (۴-۵)$$

۳-R

حداکثر کاهش مجاز جدول ۲-۵.

-R مقدار کاهش، %؛

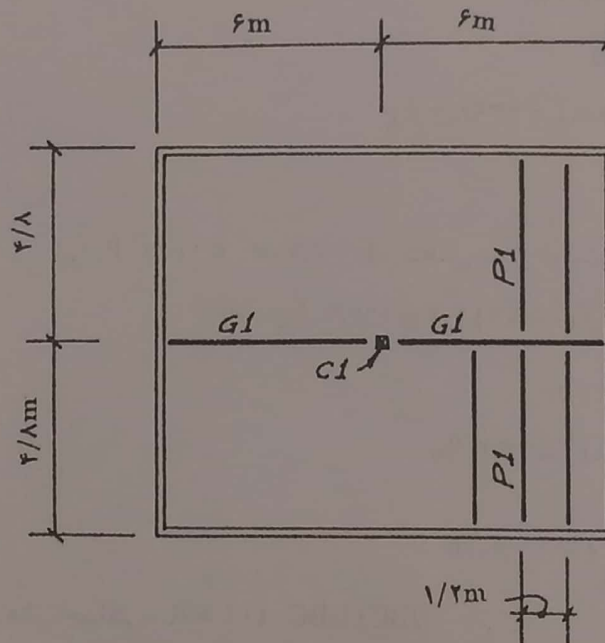
-r نرخ کاهش (جدول ۲-۵)؛

-A سطح بار گیر عضو؛

-DL بار مرده بام؛

-RLL بار زنده بام.

مثال ۳-۵. بار گسترده یکنواخت بامی با طرح قاب شکل ۳-۵ را تعیین کنید. بام مسطح (دارای حداقل شیب برای جریان آب) و بار مرده آن $۴۰ \text{ Kg/m}^۲$ است.



شکل ۳-۵. طرح قاب بام (مثال ۳-۵).

سطح بار گیر A:

$$۴/۸ \times ۱/۲ = ۵/۷۶ \text{ m}^۲$$

تیر P_1

$$۴/۸ \times ۶ = ۲۸/۸ \text{ m}^۲$$

تیرباربر G_1

$$4/8 \times 6 = 28/8 \text{ m}^2$$

ستون C_1

روش اول کد، UBC (IBC)

تیر P_1

$$A = 5/76 < 18/5 \text{ m}^2$$

$$R_{LL} = 96 \text{ kg/m}^2$$

$$W = (DL + LL)(1/2)$$

$$= (40 + 96)(1/2) = 163/2 \text{ kg/m}$$

تیر باربر G_1

$$A = 28/8 \text{ m}^2, 18/5 < 55/7 \text{ m}^2$$

$$R_{LL} = 76/8 \text{ kg/m}^2$$

$$W = (40 + 76/8) 4/8 = 560/64 \text{ kg}$$

$$A = 28/8 \text{ m}^2 < 55/7 \text{ m}^2$$

ستون C_1

$$R_{LL} = 78 \text{ kg/m}^2$$

$$P = (40 + 78)(28/8) = 3398/4 \text{ kg}$$

روش دوم

$$\text{تیر } P_1 \quad A = 5/7 \text{ m}^2 < 14 \text{ m}^2 \quad \text{کاهش مجاز نیست}$$

$$G_1 \text{ تیر باربر } W = (40 + 96) 1/2 = 163/2 \text{ kg/m}$$

$$A = 28/8 \text{ m}^2 > 14 \text{ m}^2$$

$$R = 0/9 (28/8 - 14) = 13/3 \%$$

$$R = 23/1 (1 + \frac{40}{96}) = 32/7 \%$$

جدول ۲-۵، کاهش حداکثر، $R = 40\%$ UBC (IBC)

کوچک‌ترین مقدار کاهش (فوق) روی بار زنده، مبنای بام اعمال می‌شود

$$R_{LL} = 96 (1 - 0/133) = 83 \text{ kg/m}^2$$

$$W = (40 + 83) 4/8 = 590/4 \text{ kg/m}$$

ستون C_1

$$A = 28/8 \text{ m}^2$$

مانند تیر باربر

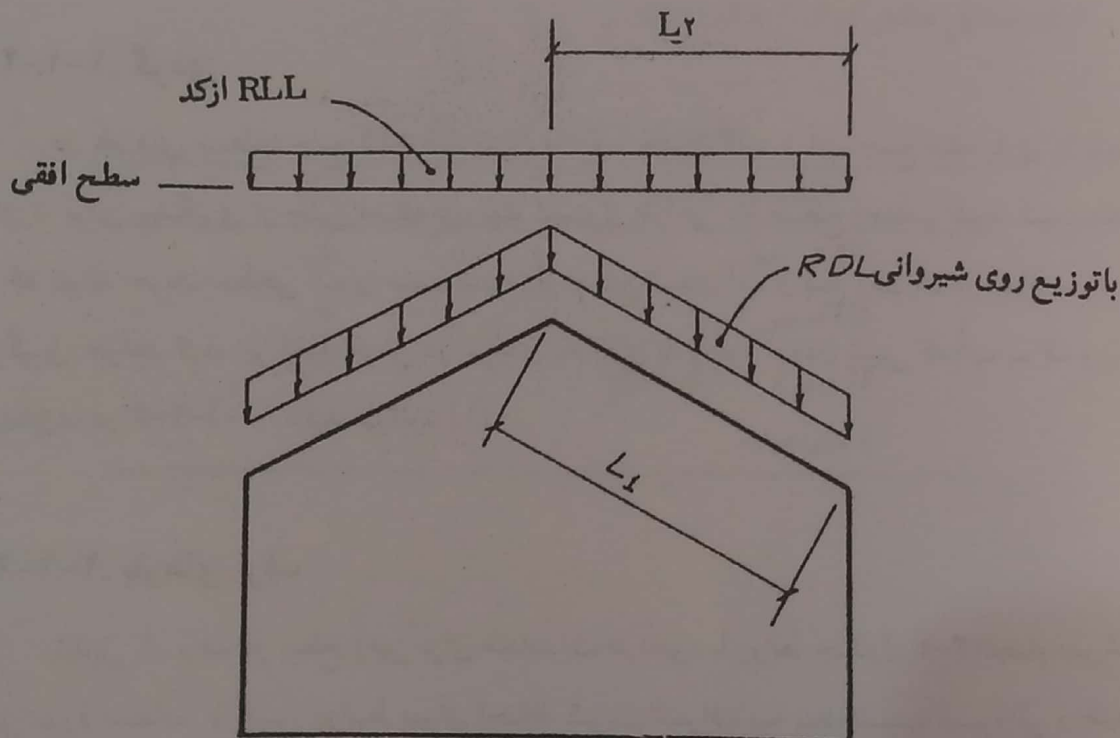
$$RLL = 96 (1 - 0.133) = 83 \text{ kg/m}^2$$

$$P = (40 + 83) 28/8 = 3542/8 \text{ kg}$$

معیار دوم در مورد بارهای زنده بام (کد، UBC)، شیب شیروانی بام است. لحاظ کردن شیب بام همان شرط حالت سطح بارگیر را دارد. در ارزیابی اثر شیب، تصور می شود امکان اتفاق بارهای زنده زیاد روی شیروانی کم شیب یا به نسبت مسطح وجود دارد. همین طور اتفاق بار کم روی شیروانی های با شیب تند هم احتمال دارد. در هر دو روش کد، UBC (IBC) شیب شیروانی منظور می شود. در مثال ۴-۵ هر دو روش تشریح خواهند شد.

مثال ۴-۵. تعیین مجموع بار مرده و زنده روی شیروانی

مجموع بار بام (مرده + زنده) را می توان هم با توزیع روی سطح شیب دار شیروانی و هم روی سطح افقی گرفت. باید طول های (L_1, L_2) را لحاظ کرد، که روی آن ها بار اعمال می شود.



شکل ۴-۵. توزیع بار روی سطح شیب دار و افقی (مثال ۴-۵)

مجموع بارهای بام:
بار با توزیع روی سطح افقی

$$W_{TL} = W_{DL} \left(\frac{L_1}{L_y} \right) + W_{LL}$$

بار با توزیع روی سطح شیب‌دار

$$W_{TL} = W_{DL} + W_{LL} \left(\frac{L_y}{L_1} \right)$$

باید توجه داشت که بارهای قید شده در کد، توزیع روی سطح افقی دارند و برای بام‌های مسطح بارهای مرده وزنده را می‌توان به صورت مستقیم با هم جمع کرد. بارهای مرده سطح شیروانی، توزیع روی سطح شیب‌دار را دارند، ولی توزیع بارهای زنده اغلب روی سطح افقی است. برای جمع کردن این دو نوع بار، تبدیل لازم را باید اعمال کرد. (مثال ۵-۴).

۵-۲-۱-۱. گودی

در بام‌های مسطح، جمع شدن آب باران و برف احتمال دارد و آب جمع شده باری را به وجود می‌آورد. برای پیشگیری از چنین مسئله‌ای، بهتر است از طراحی بام مسطح اجتناب شود. شیب مختصر بام که بتواند جریان سطحی آب را سبب شود، از جمع شدن آب و یخ زدن آن در ایام سرد هوا جلوگیری خواهد کرد. بر ایجاد قوس در تیرهای بام برای به وجود آوردن شیبی که آب برف و باران را بیاندازد، در ۵-۲-۱-۱۰ تاکید می‌شود [۱].

۵-۲-۱-۲. بارهای برف

تبدیل بار برف در سطح زمین برای محاسبات طراحی، با روابط جدول ۵-۳ انجام می‌شود. عوامل مورد استفاده در این روابط برای لحاظ کردن اشراف به باد، شیب شیروانی و طبیعت برف انداختن بام، دمای بام و اهمیت کاربری ساختمان، در جدول‌های ۵-۴ تا ۵-۶ ارائه شده‌اند.