

بارگذاری ساختمان‌ها و سایر سازه‌ها

بر اساس مبحث ششم مقررات ملی ساختمان ویرایش ۹۲

فصل هفتم: بار برف

نویسنده :

بیژن سیاف‌زاده

کارشناس ارشد شرکت ملی مناطق نفتخیز جنوب

بازنگری علمی :

ایرج رسولان

عضو هیأت علمی دانشگاه شهید چمران اهواز

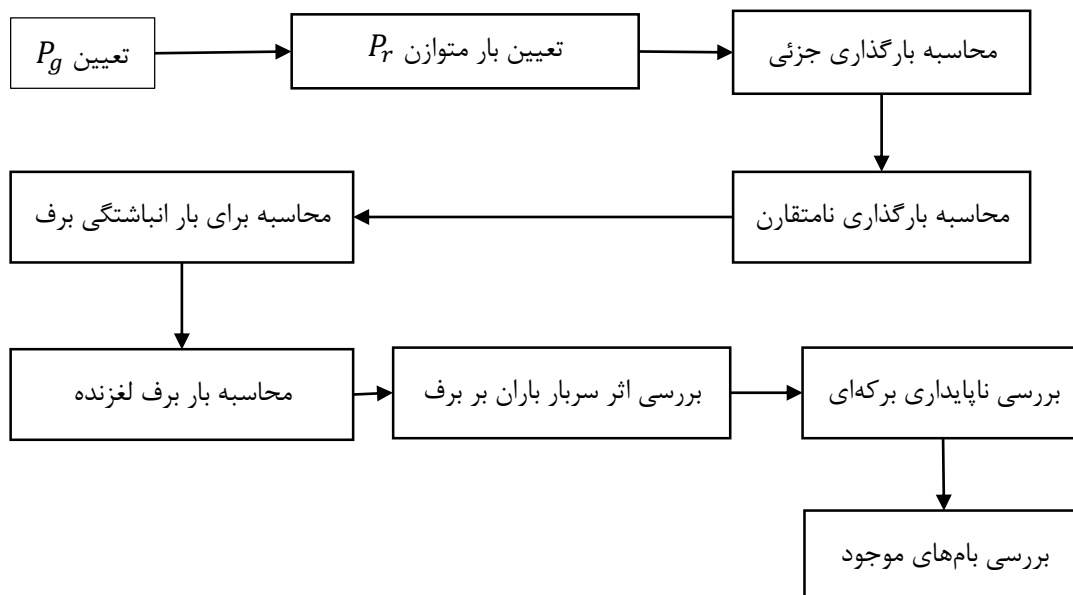
ویراستار :

محمد حسین فیاض‌مهر

کارشناس عمران دانشگاه آزاد اسلامی دزفول

۷- فصل هفتم: بار برف

بار برف در حالات مختلفی چون: متوازن، جزئی، نامتوازن، انباشتگی و لغزندگی می‌تواند اعمال گردد که باید تمامی این حالات در نظر گرفته شود و بحرانی‌ترین آنها به سازه باید اعمال گردد. در فلوچارت زیر مسیر بررسی بار برف یک ساختمان تشریح شده است.



۷-۱- بار برف بام

بار برف بام برای هر متر مربع تصویر افقی بام مطابق آیین نامه برابر با P_r می‌باشد که برابر است با:

$$P_r = 0.7 C_s C_t C_e I_s P_g$$

که در آن P_g بار برف زمین می‌باشد که باتوجه به جدول ۶-۷-۱ مبحث ششم منطقه بندی شهر مورد نظر مشخص می‌گردد و باتوجه به شماره منطقه مقدار بار برف زمین P_g از جدول زیر بدست می‌آید:

منطقه	$P_g \left(\frac{kg}{m^2} \right)$
۱	۲۵
۲	۵۰
۳	۱۰۰
۴	۱۵۰
۵	۲۰۰
۶	۳۰۰

سایر ضرائب موجود در رابطه فوق (P_r) در ادامه تشریح می‌گردد.

۷-۲- ضریب اهمیت (I_s) :

مطابق با مبحث ششم مقررات ملی، ضریب اهمیت براساس گروه خطر پذیری ساختمان که از جدول ۶-۱ آن مبحث بدست می‌آید، بدین شرح است:

I_s	گروه خطر پذیری
۱/۲	۱
۱/۱	۲
۱	۳
۰/۸	۴

۷-۳- ضریب برف‌گیری (C_e) :

جهت تعیین این ضریب در ابتدا نیاز به مشخص نمودن گروه برف‌گیری یا برف‌ریزی بام و همچنین تعیین گروه ناهمواری محیط می‌باشد. هر یک از گروه‌های فوق در ادامه شرح داده شده‌اند :

تعیین گروه برف‌گیری :

الف) حالت برف‌ریز : این حالت زمانی است که بام بالاتر از محیط اطراف خود باشد و محافظتی از اطراف برای جلوگیری از ریزش برف نمی‌باشد. در صورت برقراری یکی از حالات زیر بام برف‌ریز نمی‌باشد :

۱- در روی بام واحدهای تاسیساتی بزرگ مستقر باشد.

۲- ارتفاع دست‌انداز بام یا برجستگی بام بیشتر از h_b باشد :

$$h_b = \frac{P_r}{\gamma}$$

$$\gamma = 0.34P_g + 2.2 \left(\frac{kN}{m^2} \right)$$

۳- موانع اطراف بام در فاصله‌ای کمتر از $10 \times h_0$ باشد.

h_0 = فاصله قائم بالاترین ارتفاع مانع مورد بررسی تا بام مورد نظر

ب) بام برف‌گیر : اگر بامی از تمامی جهات اطرافش پایین‌تر از موانع اطراف با موانع متصل باشد، آن بام برف‌گیر است.

پ) بام نیمه برف‌گیر : آن بامی که نه برف‌گیر باشد و نه برف‌ریز باشد، بام نیمه برف‌گیر است. یعنی بامی که شامل دو حالت قبل نباشد و نه از تمامی اطراف برف‌گیر باشد (از تمامی بام‌های مجاور خود پایین‌تر نباشد و تنها از برخی از آنها پایین‌تر و از برخی دیگر بالاتر باشد) و نه برف‌ریز باشد (یکی از حالات قید شده در بند الف در مورد آن صادق باشد)

تعیین گروه ناهمواری محیط :

الف) زیاد : اگر ساختمان مورد بررسی در محیط شهری و یا حومه شهری و یا درون باغ یا جنگل و یا در کل محیط‌هایی که شامل ناهمواری و موانع متعدد و متراکم با ارتفاع ۹ متر و یا بیشتر باشد.

ب) متوسط : محیط با موانع پراکنده و متراکم با ارتفاع عموماً کمتر از ۹ متر

ج) کم : محیط‌های مستوی بدون موانع از قبیل دریاف دریاچه، باتلاق و نمکزار

با مشخص شدن دو دسته بندی فوق، ضریب C_e از جدول زیر بدست می‌آید:

گروه ناهمواری	بام برف ریز	بام نیمه برف ریز	بام برف گیر
زیاد	۰/۹	۱	۱/۲
متوسط	۰/۹	۱	۱/۱
کم	۰/۸	۰/۹	۱

۴-۷- ضریب شرایط دمائی (C_t)

ضریب شرایط دمایی ساختمان با توجه به جدول زیر بدست می‌آید. بدیهی است هرچه ساختمان ماهیت سردتری داشته باشد، اثرات یخ زدگی برف و ماندگاری برف و به تبع آن بار برف بیشتر خواهد شد.

۱/۰	تمام ساختمان‌ها به جز موارد زیر
۱/۱	سازه‌هایی که همیشه در دمای کمی بالاتر از صفر درجه سانتی گراد نگهداری می‌شوند
۱/۲	سازه‌های با زیر بام باز و سازه‌های بدون گرمایش
۱/۳	سازه‌هایی که همیشه دمای آن‌ها زیر صفر درجه نگهداشته می‌شود

۵-۷- ضریب شیب (C_s)

الف) بام مسطح :

باتوجه به زاویه شیب بام‌های مسطح α ضریب C_s برابر است با :

$$C_s = 1 \quad \alpha \leq \alpha_0$$

$$C_s = 1 - \frac{C_s - \alpha_0}{70 - \alpha_0} \quad \alpha_0 < \alpha < 70^\circ$$

$$C_s = 0 \quad \alpha \geq 70^\circ$$

ضریب α_0 باتوجه به C_t به شرح زیر مشخص می‌گردد :

اگر سطح بام لغزنده باشد:

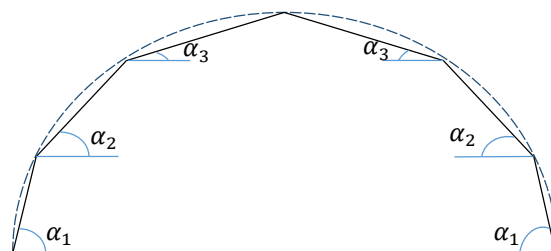
$$\begin{aligned} C_t = 1 & \rightarrow \alpha_0 = 5^\circ \\ C_t = 1.1 & \rightarrow \alpha_0 = 10^\circ \\ C_t > 1.1 & \rightarrow \alpha_0 = 15^\circ \end{aligned}$$

اگر سطح بام غیر لغزنده باشد:

$$\begin{aligned} C_t = 1 & \rightarrow \alpha_0 = 30^\circ \\ C_t > 1 & \rightarrow \alpha_0 = 45^\circ \end{aligned}$$

ب) بام قوسی :

برای بام‌های قوسی نیز در گام اول هر نیم قوس را به چند ضلعی تبدیل می‌کرده (حداقل ۳ ضلع) و برای هر ضلع باتوجه به شیب آن ضلع ضریب C_s همانند روال بام‌های مسطح محاسبه می‌گردد:



ج) برای بام‌های کنگره‌ای و شیب دار دندانه‌ای ضریب شیب C_s برابر با یک برای کلیه سطوح آن می‌باشد.

د) در صورتی که بام طره داشته باشیم با برف در ناحیه طره با $C_s = C_t = 1$ باید گرفته شود و P_r برای این ناحیه باید با ضریب ۲ بکار رود. طول این بار را لازم نیست بیشتر از ۱/۵ متر در نظر گرفت.

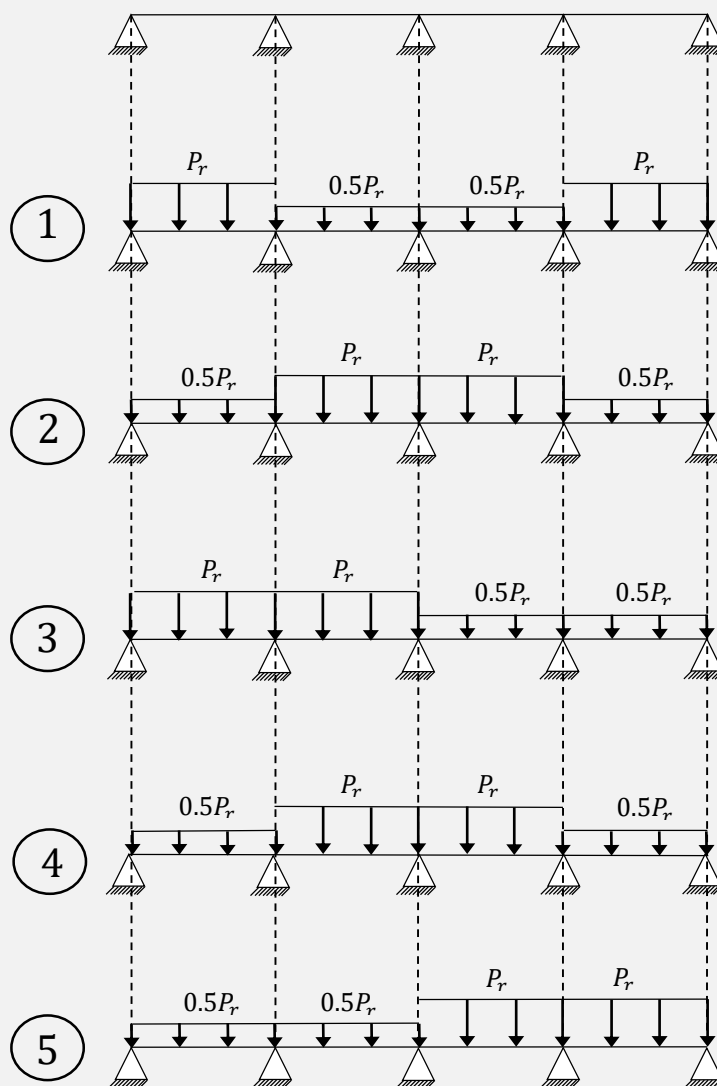
۶-۷- بارگذاری جزئی

اثر لحاظ بار برف متوازن P_r ، فقط بر روی برخی دهانه‌ها و مقدار $0.5P_r$ برای سایر قسمت‌ها باید بررسی شود. برای تیرهای ممتد چنددهانه، سه حالت زیر در نظر گرفته می‌شود:

- بار کامل متوازن برف بر روی هریک دهانه‌های انتهایی و نیم بار متوازن بر روی سایر دهانه‌ها
- نیم بار متوازن برف بر روی هریک از دهانه‌های انتهایی و بار کامل متوازن بر روی سایر دهانه‌ها
- تمام ترکیب‌های ممکن بار کامل متوازن بر روی دو دهانه مجاور و نیم بار متوازن بر روی سایر دهانه‌ها
- طره‌ها نیز یک دهانه جداگانه در نظر گرفته شوند.
- برای تیرهای عمود بر راس سقف‌های شیب دار دوطرفه با شیب بیشتر از ۴٪ در نظر گرفتن این حالت بارگذاری ضروری نمی‌باشد.

^۱ در صورتی که تعداد دهانه‌های موجود n دهانه باشد، جهت در نظر گرفتن این بند $(n - 1)$ حالت بارگذاری بوجود خواهد آمد.

مثال: حالات بارگذاری جزئی را برای تیر ممتد روبه‌رو تعیین کنید.



مثال : مقدار بار برف را برای ساختمانی بدون جانپناه و بالاتر از ساختمان‌های مسکونی در شهر بانه بدست آورید.

حل :

با توجه به اینکه طبق جدول داده شده توسط آیین‌نامه، بانه در منطقه ۵ قرار دارد لذا :

$$p_g = 200 \left(\frac{kg}{m^2} \right)$$

ساختمان برف ریز و در گروه ناهمواری زیاد :

$$C_e = 0.9$$

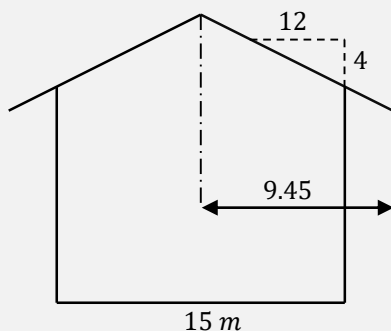
$$C_t = 1$$

ساختمان گروه ۳ می باشد لذا $I_s = 1$ بوده پس :

$$\alpha = 0 \longrightarrow C_s = 1$$

$$P_r = 0.7 \times 1 \times 1 \times 0.9 \times 1 \times 200 = 126 \frac{kg}{m^2}$$

مثال : بار برف متوازن سوله روبرو را بیابید. ($I_s = 1$ و $P_g = 50 \frac{kg}{m^2}$ و $C_e = 1.1$) توجه شود که سوله محصور نمی باشد و با دیوار محیطی پوشیده نشده است. سقف بام غیر لغزنده می باشد.



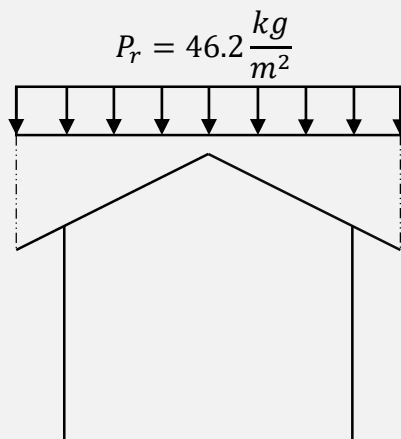
حل:

سازه با زیر بام باز می باشد لذا :

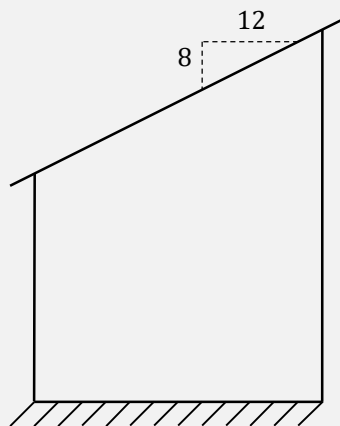
$$C_t = 1.2$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \alpha = \tan^{-1} \left(\frac{4}{12} \right) = 18.4^\circ \\ \alpha_0 = 45^\circ \text{ بام غیر لغزنده} \end{array} \right. \longrightarrow \alpha < \alpha_0 \longrightarrow C_s = 1$$

$$\longrightarrow P_r = 0.7 C_e C_s C_t I_s P_g = 0.7 \times 1 \times 1.1 \times 1.2 \times 1 \times 50 = 46.2 \frac{kg}{m^2}$$



حل : مطلوب است بار برف متوازن ساختمان روبرو؟
 و ساختمان در محیط شهری و برف گیر و با کاربری عادی می باشد.
 $(P_g = 150 \frac{kg}{m^2})$
 بام ساختمان لغزنده می باشد. $(I_s = 1)$



حل:

ساختمان در محیط شهری می باشد لذا گروه ناهمواری زیاد انتخاب می گردد. باتوجه به برف گیر بودن ساختمان از جدول داده شده داریم :

$$C_e = 1.2$$

باتوجه به عادی بودن کاربری ساختمان نتیجه می شود :

$$C_t = 1$$

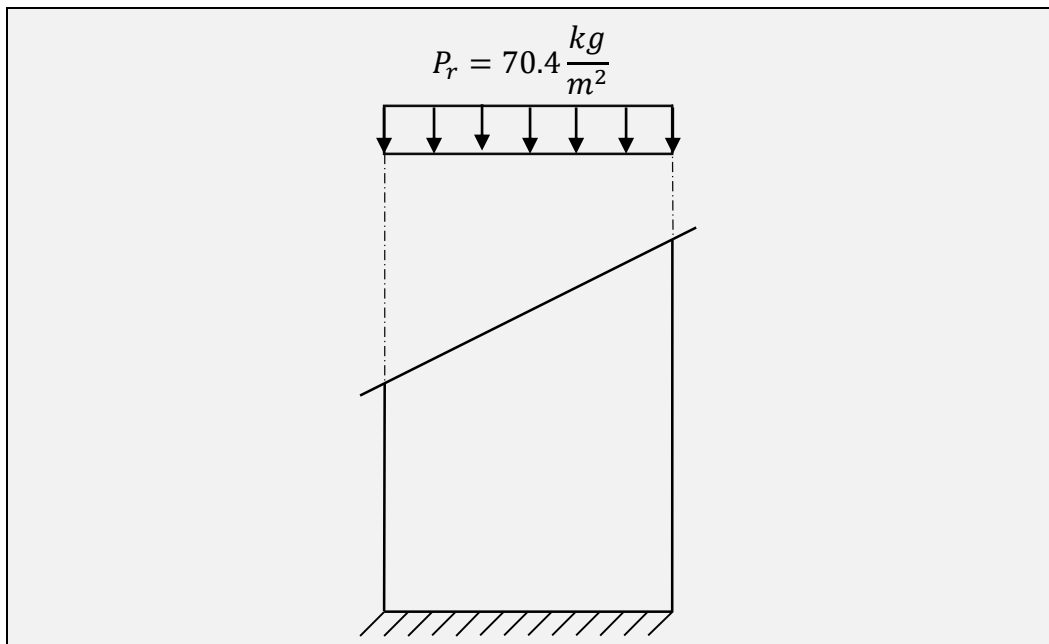
جهت محاسبه اثر شیب ساختمان داریم :

$$\alpha = \tan^{-1} \left(\frac{8}{12} \right) = 33.69^\circ$$

$$C_t = 1 \xrightarrow{\text{بام لغزنده}}$$

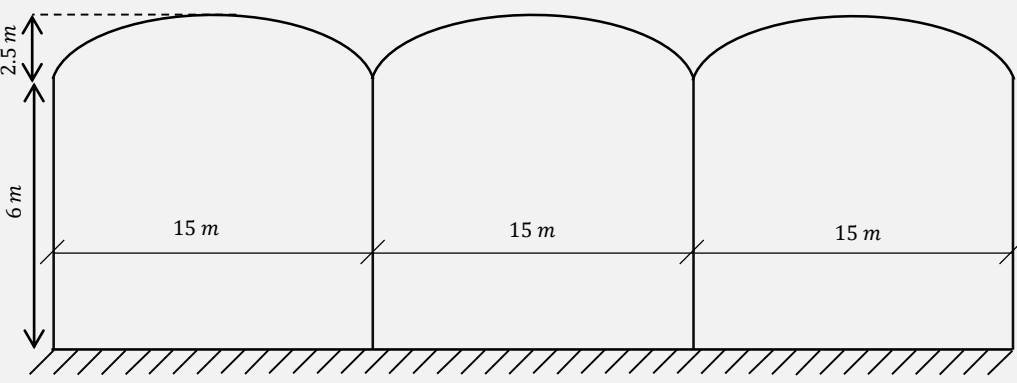
$$\alpha_0 = 5^\circ \longrightarrow \alpha_0 < \alpha < 70^\circ \longrightarrow C_s = 1 - \frac{\alpha - \alpha_0}{70 - \alpha_0} = 1 - \frac{33.69 - 5}{70 - 5} = 0.59$$

$$\longrightarrow P_r = 0.7 C_s C_t C_e I_s P_g = 0.7 \times 0.559 \times 1 \times 1.2 \times 1 \times 150 = 70.4 \frac{kg}{m^2}$$



مثال : مطبوع است بارگذاری برف متوازن سقف روبرو:

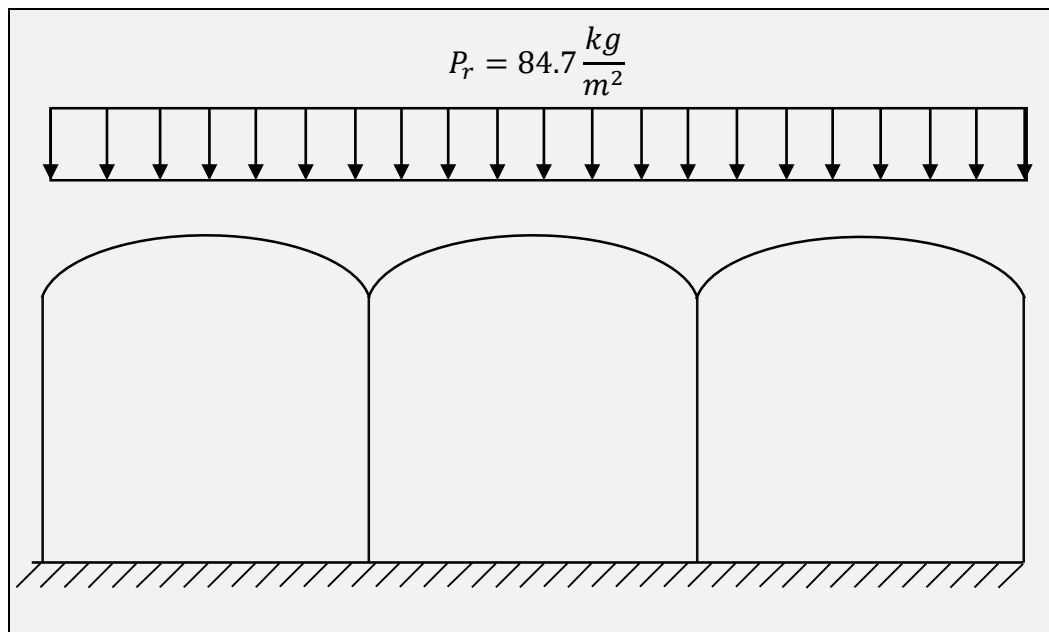
$(I_s = 1 \text{ و } P_g = 100 \frac{kg}{m^2} \text{ و } C_e = 1.1 \text{ } C_t = 1.1)$



حل:

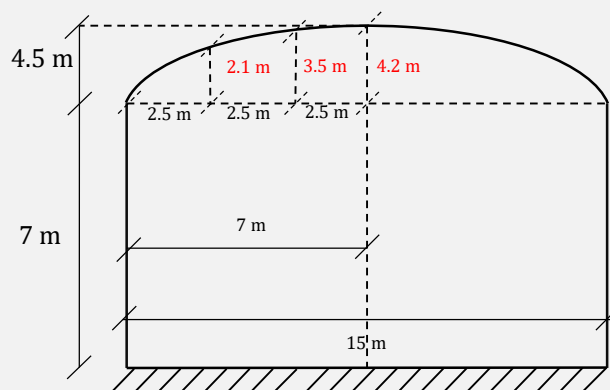
سقف فوق سقف گنجره‌ای می‌باشد، لذا برای آن $C_s = 1$ در نظر گرفته می‌شود:

$$P_r = 0.7 \times 1.1 \times 1.1 \times 1 \times 1 \times 100 = 84.7 \frac{kg}{m^2}$$



مثال : مطلوب است بار متوازن شکل روبرو؟ مخزن جهت مواردی است که دمای آن زیر صفر باشد.

$$(I_s = 1.1 \text{ و } P_g = 200 \frac{kg}{m^2} \text{ و } C_e = 1.2)$$

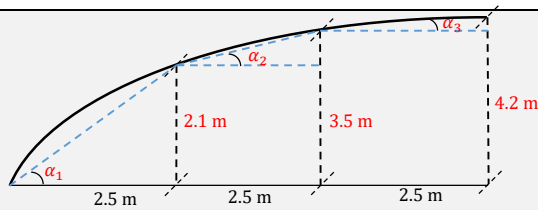


حل:

باتوجه به دمای مخزن:

$$C_t = 1.3$$

جهت محاسبه ضریب شیب (C_s) زوایای مخزن را در ۳ بازه محاسبه می‌کنیم:



$$C_t > 1.1 \longrightarrow \alpha_0 = 15^\circ$$

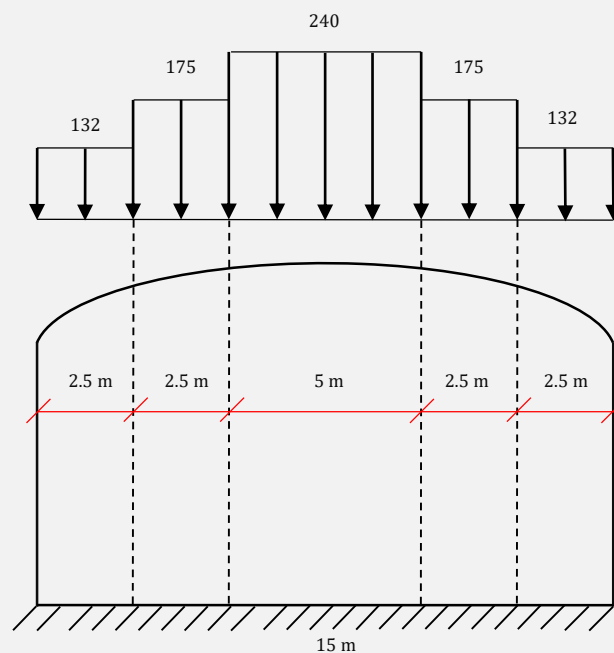
$$\alpha_1 = \tan^{-1} \left(\frac{2.1}{2.5} \right) = 40^\circ > \alpha_0 \longrightarrow C_s = 1 - \frac{40-15}{70-15} = 0.55$$

$$\alpha_2 = \tan^{-1} \left(\frac{1.4}{2.5} \right) = 30^\circ > \alpha_0 \longrightarrow C_s = 1 - \frac{30-15}{70-15} = 0.73$$

$$\alpha_3 = \tan^{-1} \left(\frac{0.7}{2.5} \right) = 15^\circ = \alpha_0 \longrightarrow C_s = 1$$

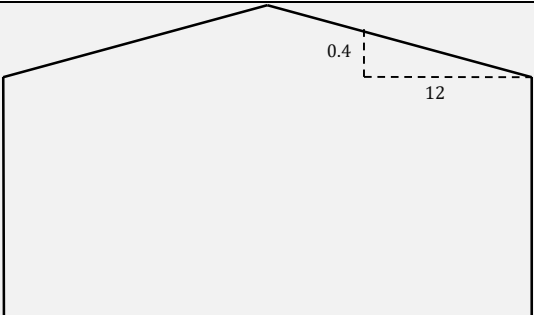
$$\longrightarrow P_r = 0.7 \times C_s C_t C_e I_s P_g = 0.7 \times 1.3 \times 1.3 \times \begin{cases} 0.55 \\ 0.73 \\ 1 \end{cases} \times 1.1 \times 200$$

$$\longrightarrow P_r = \begin{cases} 132 \\ 175 \\ 240 \end{cases} \frac{kg}{m^2}$$



مثال : بار برف متوازن سازه نشان داده شده را بدست آورید؟ بام غیرلغزنده می باشد.

$$\left(C_t = 1 \text{ و } I_s = 1 \text{ و } P_g = 100 \frac{kg}{m^2} \text{ و } C_e = 1 \right)$$



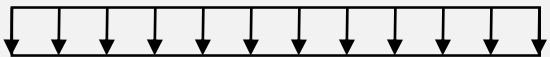
حل:

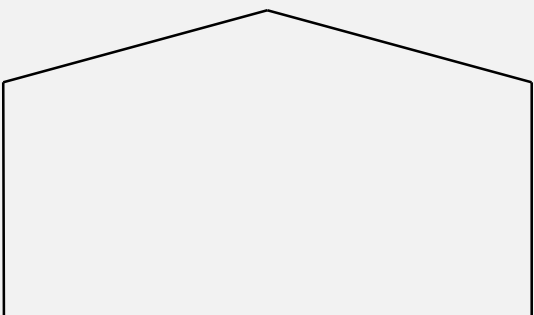
$C_t = 1 \xrightarrow{\text{بام غیر لغزنده}} \alpha_0 = 30^\circ$

شیب سقف برابر است با:

$\alpha = \tan^{-1} \left(\frac{0.4}{12} \right) = 2^\circ < \alpha_0 = 30^\circ \longrightarrow C_s = 1$

$\longrightarrow P_r = C_s C_t C_e I_s P_g = 0.7 \times 1 \times 1 \times 1 \times 100 = 700$

$P_r = 700 \frac{kg}{m^2}$




۷-۷- بارگذاری نامتوازن

با توجه به امکان وجود وزش باد در هنگام بارش برف، بسته به جهت وزش باد توزیع بار برف غیر یکنواخت می‌گردد و این ناهمگنی در توزیع بار می‌تواند کنترل کننده و بحرانی گردد. در این بخش ضوابط مربوط به بارگذاری نامتقارن جهت در نظر گرفتن اثر توضیح داده شده شرح داده شده است.

بارگذاری متوازن و نامتوازن برف جداگانه در نظر گرفته می‌شود. در تعیین بار متوازن امکان وزش باد از تمام جوانب باید بررسی شود.

۷-۷-۱- بار نامتوازن برف برای بام‌های با شیب دو یا چند طرفه

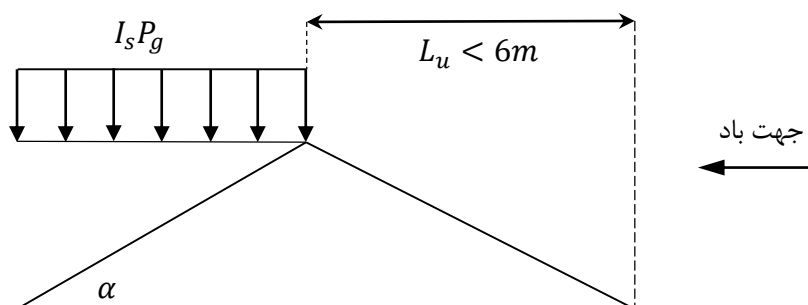
در نظر گرفتن بار نامتوازن برف برای بام‌های با شیب کمتر از ۴ درصد و شیب بیشتر از ۶۰ درصد لازم نیست. برای بام‌های با فاصله افقی کمتر از ۶ متر بین تاج و پای شیب با تیرهای با تکیه‌گاه ساده بین تاج و پای شیب، بار نامتوازن یکنواخت برف در حالت پشت به باد با شدت $I_s P_g$ در نظر گرفته شده و قسمت روبه باد بدون بار برف در نظر گرفته می‌شود. برای سایر بام‌ها، بار نامتوازن شامل بار گسترده $0.3 P_r$ در سمت بادگیر و در سمت پشت به باد P_r به اضافه سربار به شدت بار بر واحد سطح افقی برابر $\gamma h_d \sqrt{i}$ و در فاصله افقی $8h_d/(3\sqrt{i})$ از تاج شیب به سمت پای شیب خواهد بود.

i : بیانگر شیب سقف (تانژانت زاویه شیب) می‌باشد. ارتفاع انباشت برف، h_d برحسب متر، از رابطه زیر بدست می‌آید:

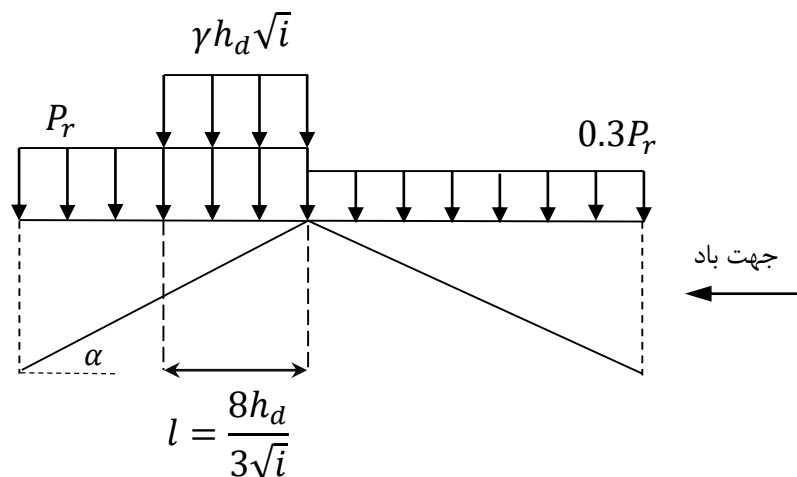
$$h_d = 0.12 \sqrt[3]{l_u^4} \sqrt{100 P_g + 50} - 0.5$$

در رابطه فوق، l_u فاصله افقی تاج تا پای شیب در قسمت رو به باد برحسب متر می‌باشد. برای طول افقی ناحیه پشت به باد کمتر از ۶ متر، از مقدار ۶ متر برای l_u استفاده می‌شود.

- برای بام‌های شیب‌دار اگر $\alpha < 4^\circ$ یا $\alpha > 60^\circ$ باشد نیازی به در نظر گرفتن بار نامتوازن نمی‌باشد.
- اما اگر فاصله افقی تاج تا پای شیب (L_u) کمتر از ۶ متر باشد :



- برای سایر بام‌ها ($4^\circ < \alpha < 60^\circ$ و $L_u \geq 6 \text{ m}$) :



که در روابط فوق :

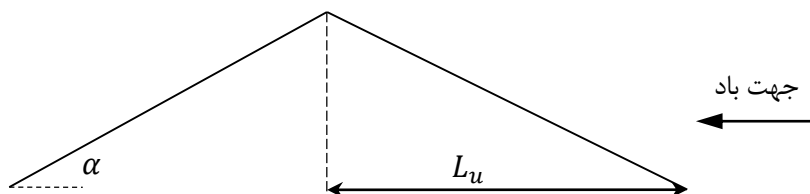
$$i = \tan \alpha$$

$$h_d = \text{ارتفاع انباشته برف} = 0.12 \sqrt[3]{L_u} \sqrt{100P_g + 50} - 0.5$$

$$\gamma = 0.45P_g + 2.2 \left(\frac{kn}{m^3} \right)$$

توجه : در صورتی که L_u کمتر از ۶ متر باشد برابر با ۶ متر در نظر باید گرفته شود :

$$\text{if } L_u < 6 \longrightarrow L_u = 6m$$



۷-۷-۲- بار نامتوازن برف برای بام‌های قوسی

برای بخش‌هایی از بام با شیب بیشتر از ۷۰ درجه بار برف لحاظ نخواهد شد. اگر شیب خط رابط از تاج به پای قوس (یا نقطه با شیب ۷۰ درجه در صورت وجود) کمتر از ده درجه و یا بیشتر از ۶۰ درجه باشد، لحاظ بار نامتوازن ضروری نیست. برای روبه باد بار برف در نظر گرفته نخواهد شد و برای قسمت پشت به باد توزیع بار برف نامتوازن بصورت زیر خواهد بود:

الف- اگر شیب پای بام کمتر یا برابر ۳۰ درجه باشد، مقدار شدت بار در تصویر افقی بام در پای شیب از مقدار $0.2P_r/C_e$ محاسبه شده برای شیب پای بام، بطور خطی به مقدار $0.5P_r$ ، با لحاظ $C_s = 1$ ، در تاج کاهش خواهد داد.

ب- اگر شیب پای بام بین 30° و 70° درجه باشد، مقدار شدت بار برف در تصویر افقی بام از $0.5P_r$ (با $C_s = 1$) در تاج بطور خطی تا مقدار $2P_r/C_e$ (محاسبه شده برای شیب 30° درجه) در محل شیب 30° درجه افزایش داده شده و سپس به مقدار $0.2P_r/C_e$ در پای بام (محاسبه شده برای شیب پای بام) به طور خطی کاهش داده می شود.

پ- اگر شیب پای بام بیشتر از 70° درجه باشد، برای ناحیه بیشتر از شیب 70° درجه بار برف صفر در نظر گرفته شده و برای یقیه بام مطابق حالت ب عمل خواهد شد.

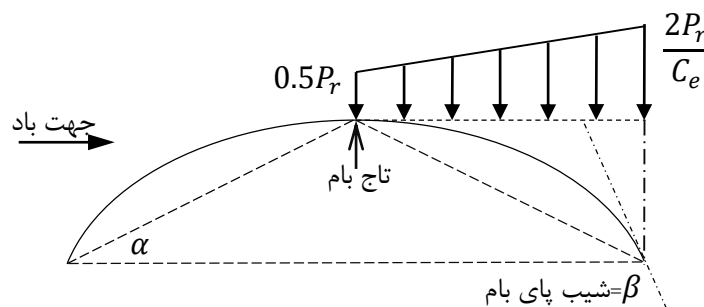
اگر در کمتر از یک متری پای بام زمین و با بام دیگری قرار دارد، برای دو حالت ب و پ، مقدار شدت بار برف برای ناحیه با شیب بیشتر از 30° درجه کاهش داده نشد و برابر مقدار محاسبه شده در شیب 30° درجه تا لبه بام در نظر گرفته خواهد شد.

- اگر بخش هایی با شیب بیشتر از 70° موجود باشد، برای آن بخش ها بار برف لحاظ نخواهد شد.

- اگر $\alpha < 10^\circ$ یا $\alpha > 60^\circ$ بار برف متوازن لحاظ خواهد شد و نیازی به بارگذاری نامتقارن نخواهد بود.

- اگر $10^\circ < \alpha < 60^\circ$ بارگذاری به صورت زیر باید صورت گیرد :

الف) اگر $\beta \leq 30^\circ$:

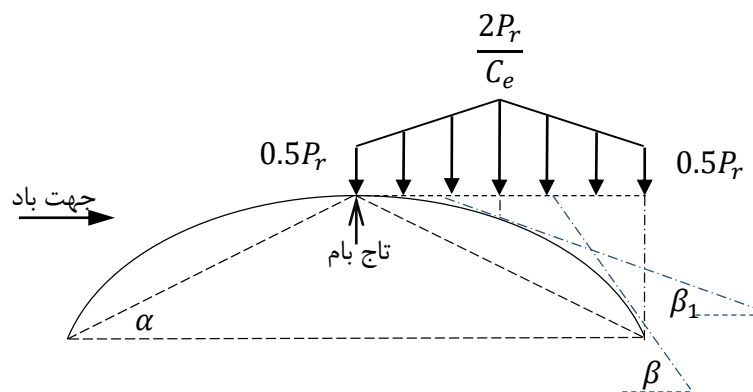


توجه: در محاسبه P_r در حالت فوق باید $C_s = 1$ در نظر گرفته شود.

ب) $30^\circ \leq \beta \leq 70^\circ$:

β_1 یا نقطه صفر : نقطه صفر نقطه ای است که شیب آن نقطه (β_1) برابر با 30° درجه باشد.

توجه شود که مقدار $\frac{2P_r}{C_e}$ برای نقطه صفر با شیب (β_1) 30° درجه و برای نقطه انتهایی بام با شیب همان نقطه (β) محاسبه گردد و مقدار C_s برای آنها برابر با یک در نظر گرفته شود.

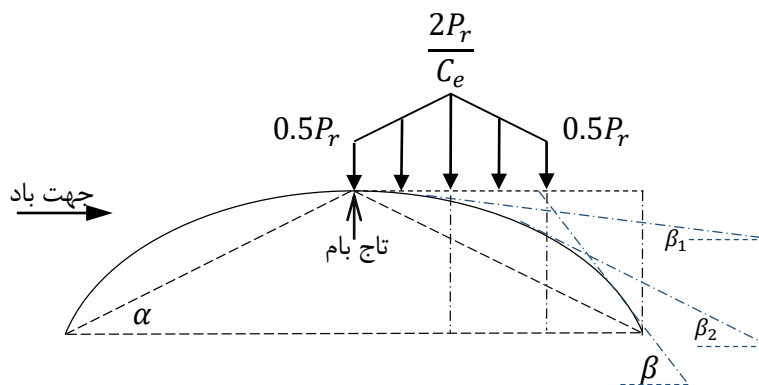


پ) اگر $\beta > 70^\circ$:

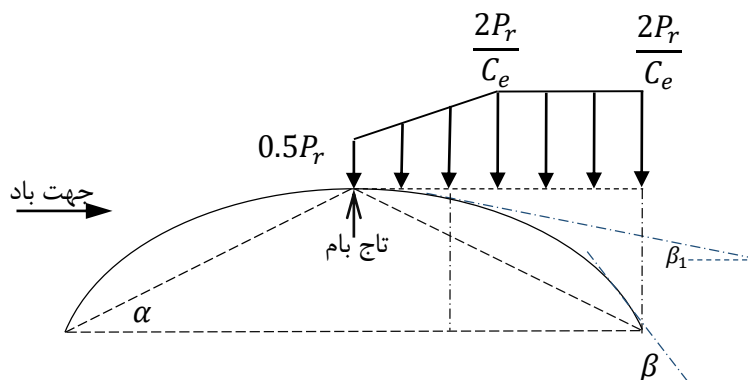
$30^\circ = \beta_1$ در نقطه 0

$70^\circ = \beta_2$

β = بزرگتر از 70 درجه در پای شیب



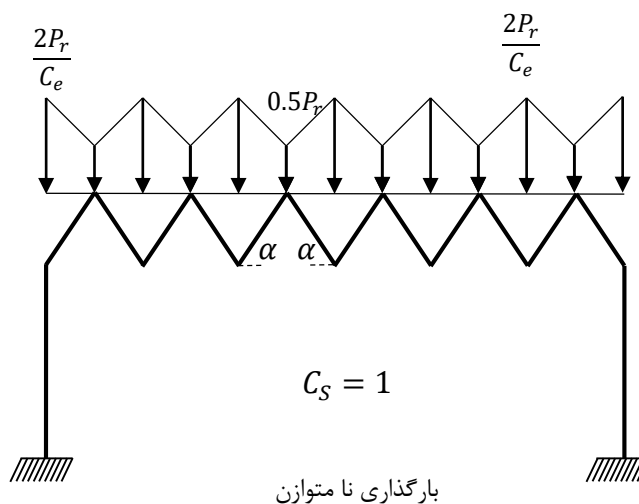
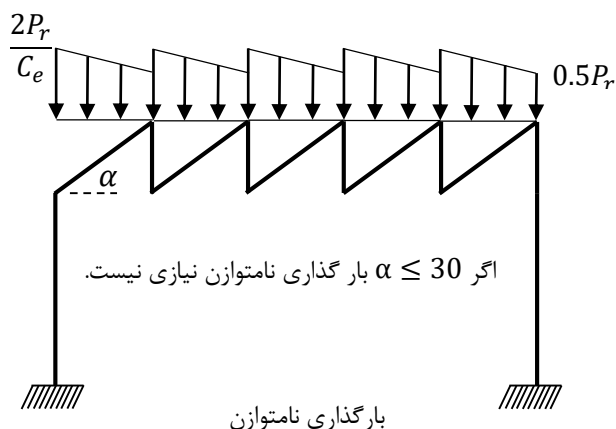
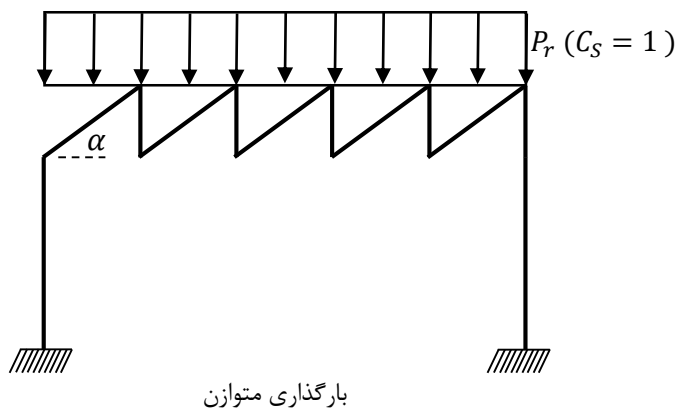
نکته : برای دو حالت ب و پ که در آن $\beta > 30^\circ$ است، اگر به فاصله یک متر یا کمتر از پای بام سطحی دیگر قرار داشته باشد از شیب 30 درجه به بعد کاهش بار نباید در نظر گرفته شود :



$\frac{2Pr}{C_e}$ برای شیب 30 درجه محاسبه می شود و C_s برابر 1 در نظر گرفته می شود.

۳-۷-۷- بار نامتوازن بار برف برای بام‌های دندانه‌دار، کنگره‌ای و تاوه چین‌دار

برای اینگونه بام‌ها، اگر شیب بیشتر از ۳ در صد باشند، بار برف نامتوازن در نظر گرفته می‌شود. مقدار بار متوازن، برای اینگونه بام‌ها، برابر P_r با لحاظ $C_s = 1$ می‌باشد (بند ۳-۶-۷-۶). شدت بار برف نامتوازن، در تصویر افقی، از نصف بار مقدار بار برف متوازن در نقاط تاج به صورت خطی به مقدار $\frac{2P_r}{C_e}$ در نقاط قعر بام (با لحاظ $C_s = 1$) افزایش می‌یابد. تراز برف معادل حساب شده در نقاط قعر لازم نیست از تراز در نقاط تاج بیشتر باشد.



مطابق آیین نامه اگر اختلاف تراز نقطه قعر و تاج h باشد آنگاه :

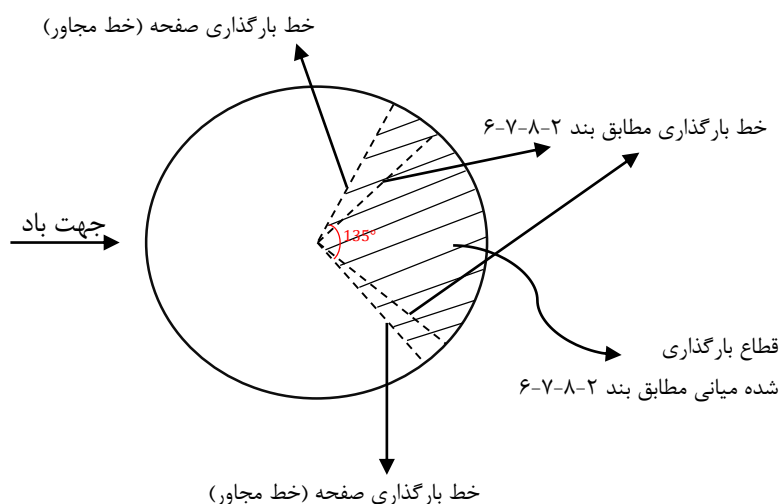
$$\frac{2P_r}{c_e \gamma} \leq h + \frac{0.5P_r}{\gamma} \rightarrow \text{if } \frac{2P_r}{c_e \gamma} > h + \frac{0.5P_r}{\gamma} \text{ then } \text{بار تاج} = h\gamma + 0.5P_r$$

که در رابطه فوق :

$$\gamma = 0.43P_g + 2.2 \quad (kN/m^3)$$

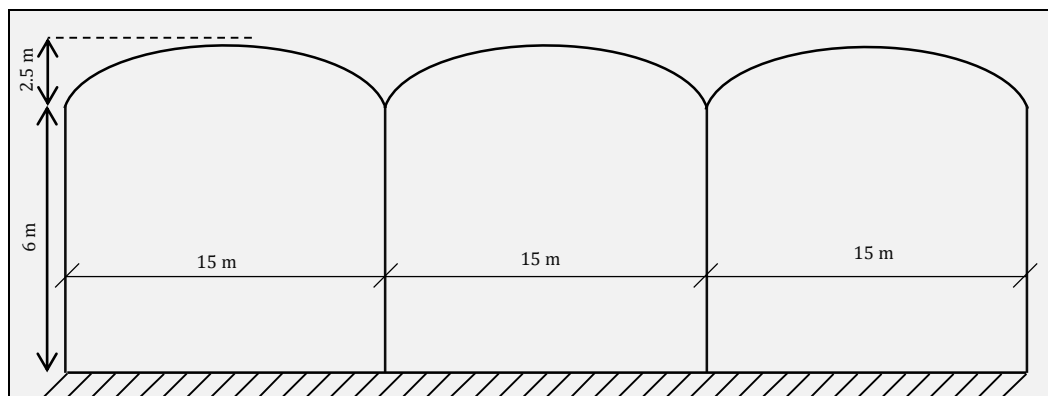
۴-۷-۷- بار نامتوازن برای گنبد

گنبد و یا پوشش‌های مدور مشابه به چهار ربع (قطاع نود درجه) در پلان تقسیم شده و هر قطاع نود درجه به طور جداگانه، مشابه بند ۶-۸-۷-۲، به صورت پشت به باد بارگذاری می‌شود. از هر لبه مشترک قطاع نود درجه مورد نظر با قطاع نود درجه مجاور، بار برف به تدریج تا مقدار صفر در یک چهارم قطاع مجاور کاهش داده می‌شود. زاویه کل قطاع بارگذاری شده پشت به باد در مجموع ۱۳۵ درجه خواهد بود. برای قطاع رو به باد باقی مانده با زاویه کل ۲۲۵ در پلان بار برف لحاظ نخواهد شد.



قطاع بارگذاری شده میانی دارای بارگذاری منطبق با بند ۶-۸-۲ می‌باشد و این بارگذاری بصورت خطی تا خط‌های مجاور نشان داده شده در تصویر فوق کاهش می‌یابد و صفر می‌رسد.

مثال : مطلوب است بار نامتوازن برف بام سازه نشان داده شده را بدست آورید.



حل :

از حل مسئله در قبل اطلاعات زیر موجود می باشد:

$$(C_s = 1.1 \text{ و } P_r = 0.85 \frac{kg}{m^2} \text{ و } C_e = 1.1 \text{ و } P_g = 100 \frac{kg}{m^2})$$

شیب خط و اصل تاج به بای سقف برابر است با (برحسب درصد):

$$i = \frac{2.5}{7.5} \times 100 = \%33 > \%3$$

باتوجه به اینکه $C_s = 1$ می باشد مقدار P_r محاسبه شده مورد استفاده قرار می گیرد.

بار در بای سقف با نقطه قعر سقف برابر است با:

$$0.5P_r = 0.5 \times 0.85 = 0.425 \frac{Kn}{m^2} = 42.5 \frac{Kg}{m^2}$$

و در تاج برار است با:

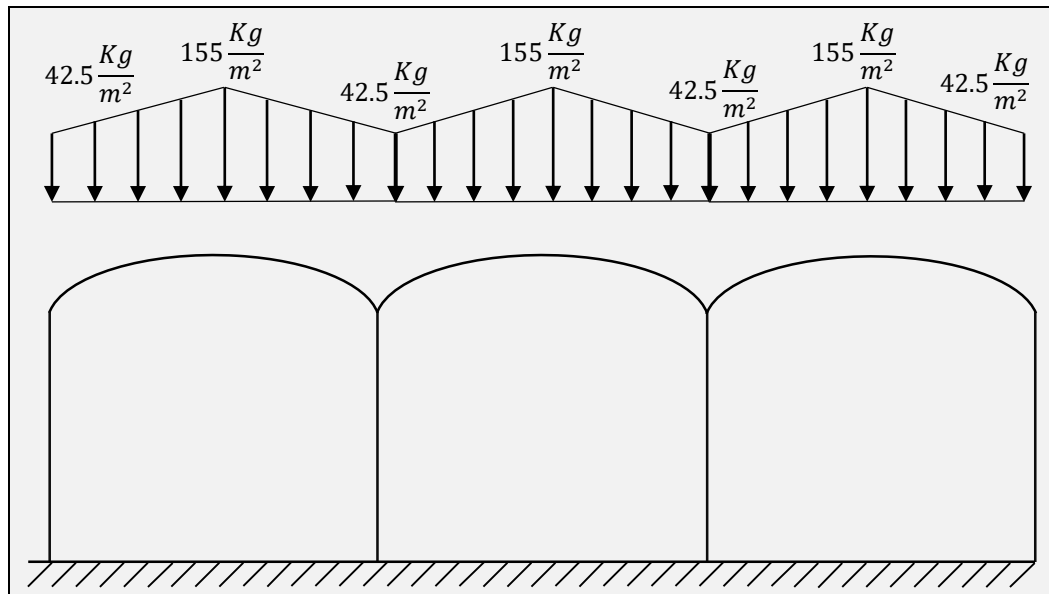
$$\frac{2P_r}{C_e} = 2 \times \frac{0.85}{1.1} = 1.55 \frac{Kn}{m^2} = 155 \frac{Kg}{m^2}$$

کنترل ارتفاع برف دو نقطه قعر: ($h = 2.5 \text{ m}$)

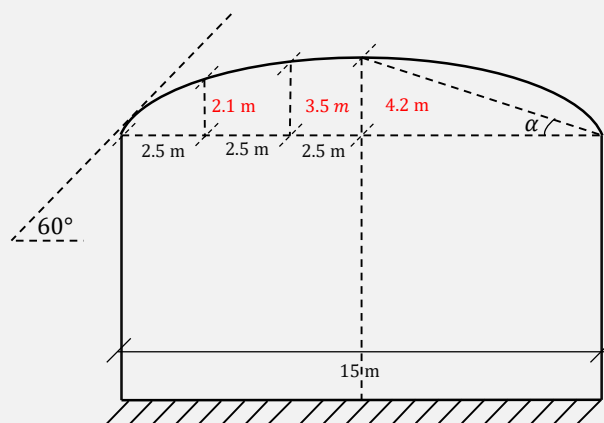
$$\gamma = 0.43 \times 1 + 2.2 = 2.63 \frac{kN}{m^3} \rightarrow$$

$$\frac{2P_r}{C_e \gamma} = \frac{1.55}{2.63} = 0.59 \leq h + \frac{0.5P_r}{\gamma} = 2.5 + \frac{0.425}{2.63} = 2.66 \quad OK$$

لذا بارگذاری بام به شرح زیر می شود:



مثال : بار نامتوازن سقف نشان داده شده ؟



حل :

از حل متوازن مسئله داریم :

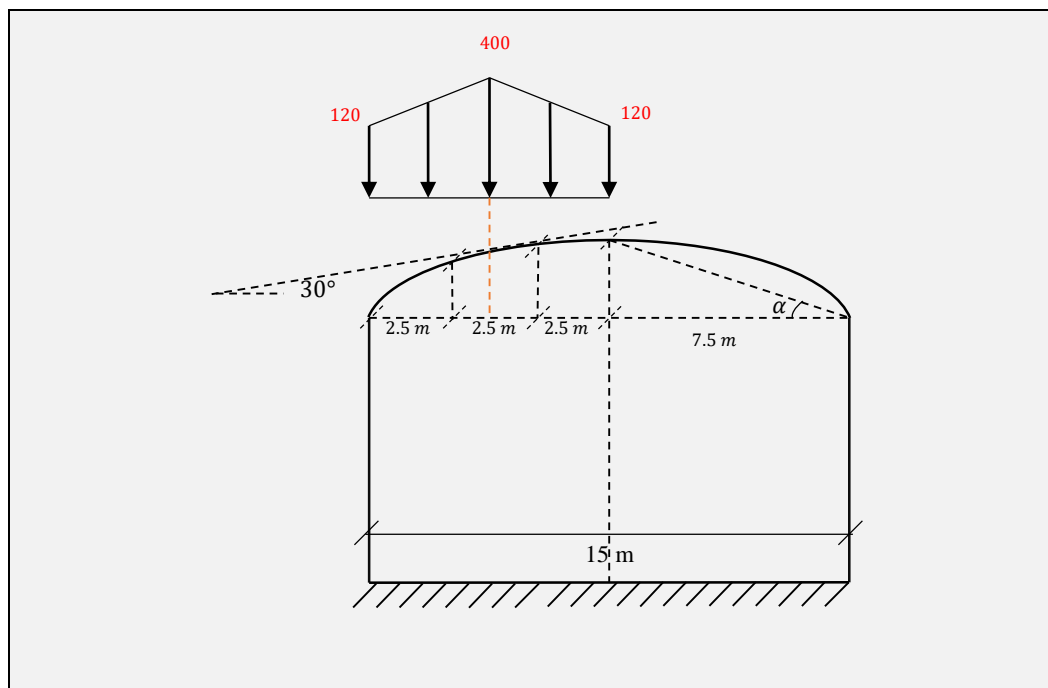
$$(P_r = 240 \frac{kg}{m^2} \text{ و } C_e = 1.2)$$

$$\alpha = \tan^{-1} \left(\frac{4.3}{7.5} \right) = 29.25^\circ < 60^\circ < 70^\circ$$

چون $10^\circ < \alpha < 60^\circ$ در نتیجه بار نامتوازن باید لحاظ گردد.

$$30^\circ < \beta = 60^\circ < 70^\circ \longrightarrow 0.5P_r = 120 \frac{Kg}{m^2}$$

$$\frac{2P_r}{C_e} = 2 \times \frac{240}{120} = 400 \text{ Kg/m}^2$$



۸-۷- انباشتگی برف در بام پایین تر

بام برای تحمل بارهای انباشته شده از سایه باد قسمت‌های بالاتر همان ساختمان و یا ساختمان‌های مجاور باید طراحی گردد.

۱-۸-۷- بام پایین تر از ساختمان

برف ممکن است بر اثر وزش باد از قسمت بالاتر بام ساختمان بر روی بام پایین تر آن ریزش کند (انباشت پشت به باد) و یا باد در جهت مقابل بار برف را بر روی بام پایین تر در مجاورت قسمت بلندتر انباشته سازد (انباشت رو به باد). مقدار انباشت بار برف به بار متوازن اضافه خواهد شد. اگر شرط $\frac{h_c}{h_b} < 0.2$ برقرار باشد در نظر گرفتن انباشتگی برف لازم نیست. $h_b = \frac{P_r}{\gamma}$ ، ارتفاع بار بام پایین تر می‌باشد و h_c برابر ارتفاع نزدیک‌ترین نقطه بام مجاور بالاتر از روی برف متوازن روی بام پایین تر می‌باشد. هر دو امکان انباشت پشت به باد و رو به باد باید در نظر گرفته شود:

الف- در امکان پشت به باد، شدت بار برف انباشت برابر مقدار $P_d = \gamma h_d$ در پای دیوار قسمت بلندتر خواهد بود. h_d از رابطه ۶-۷-۵ بدست می‌آید و در آن رابطه l_u بیانگر طول بام بالاتر می‌باشد.

ب- برای امکان رو به باد، عرض بام پایین تر برابر l_u در نظر گرفته شده و سه چهارم مقدار حاصل از رابطه ۶-۷-۶، برای h_d به عنوان ارتفاع برف انباشت بر روی بام مورد نظر در مجاورت بخش بلندتر در نظر گرفته می‌شود. اگر این مقدار از مقدار h_d امکان الف بیشتر بود، نتیجه امکان الف ملاک بارگذاری انباشت برف خواهد بود.

اگر h_d محاسبه شده از h_c کمتر باشد، عرض توزیع مثلثی انباشت برف برابر $w = 4h_d$ و اگر مقدار h_d از h_c بیشتر بود، مقدار عرض انباشتگی از رابطه:

(۶-۷-۶)

$$w = \frac{4h_d^2}{h_c}$$

بدست می‌آید. ارتفاع انباشت مثلثی در پای ناحیه بلندتر مقدار حداکثر h_d را داشته و ارتفاع انباشت برف به‌طور خطی به صفر در فاصله w از آن کاهش داده می‌شود. مقدار w از مقدار $8h_c$ بیشتر در نظر گرفته نخواهد شد. اگر w از عرض بام مورد نظر، l_u ، بیشتر باشد مقدار ارتفاع برف در لبه انتهایی بام برابر $h_d(w - l_r)/w$ بوده و برف انباشت توزیع دوزنقه‌ای خواهد داشت.

جهت محاسبه بار انباشتگی :

- اگر ارتفاع بار انباشتگی (h_c) به ارتفاع بار متوازن (h_d) کمتر از 0.2 بود، نیازی به در نظر گرفتن بار انباشتگی P_d نمی‌باشد :

$$h_b = \frac{P_r}{\gamma} \xrightarrow{h_c = h_0 - h_b} \text{ if } \frac{h_c}{h_b} < 0.2 \rightarrow P_d = 0$$

- اگر ضابطه در نظر گرفتن بار انباشتگی برقرار بود مقدار بار برابر است با :

(الف) بار انباشتگی پشت به باد برابر است با:

$$P_d = \gamma h_d$$

$$h_d = 0.12 \sqrt[3]{l_u^4} \sqrt{100P_g + 50} - 0.5$$

l_u : طول بام بالاتر بر حسب متر

(ب) بار انباشتگی برای حالت رو به باد:

$$P_d = \gamma h_d$$

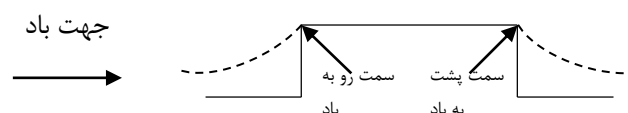
$$h_d = \frac{3}{4} \times \left[0.12 \times \sqrt[3]{l_u^4} \sqrt{100P_g + 50} - 0.5 \right]$$

l_u : طول بام پایین‌تر بر حسب متر

که در روابط فوق P_g بار برف زمین بر حسب کیلونیوتن بر مترمربع می‌باشد

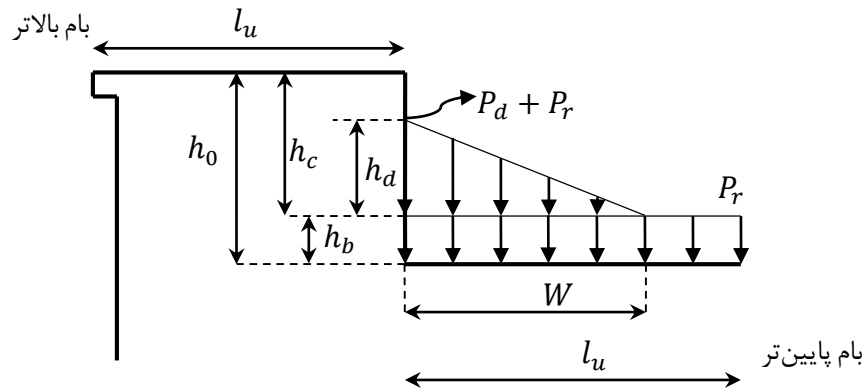
$$\gamma = 0.43P_g + 2.2$$

- در هر حالت باید هر دو امکان انباشتگی رو به باد و پشت به باد در نظر گرفته شود.

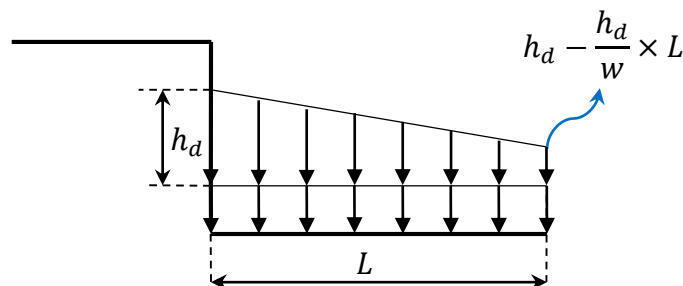


- طول بار انباشتگی (w) برابر است با:

$$w = \begin{cases} \text{if } h_d \leq h_c & \rightarrow w = 4h_d \leq 8h_c \\ \text{if } h_d > h_c & \rightarrow w = \frac{4h_d^2}{h_c} \leq 8h_c \end{cases}$$



- اگر w از طول پایین بیشتر بود در هر کجا که بام به انتها رسید کاهش بار باید متوقف گردد:
 $if\ w > L :$



لذا بار برف در پای بام بلندتر برابر است با $P_d = \gamma h_d$ و در انتهای آن برابر است با $P_d = \gamma \left(h_d - \frac{h_d}{w} \times L \right)$ که این مقادیر باید به بار برف متوازن افزوده گردند.

- باتوجه به اینکه هر دو حالت رو به باد و پشت به باد باید در نظر گرفته شود مسلماً آن حالتی که بحرانی‌ترین شرایط را بوجود می‌آورد باید به عنوان بار انباشتگی در نظر گرفته شود.
- همچنین بار انباشتگی باید به بار متوازن افزوده گردد و جزء آن بار محسوب می‌گردد و بار متوازن و بار انباشتگی دو حالت بار مجزا از هم نمی‌باشند.

۲-۸-۷- ساختمان‌های مجاور

اگر فاصله افقی دو ساختمان (d) کمتر از ۶ متر و کمتر از ۶ برابر فاصله قائم آن‌ها، h ، باشد، بار انباشتی بر روی بام پایین‌تر بر اساس قسمت الف بند ۶-۷-۹-۱، برای حالت پشت به باد، با اختیار ارتفاع انباشتی برف

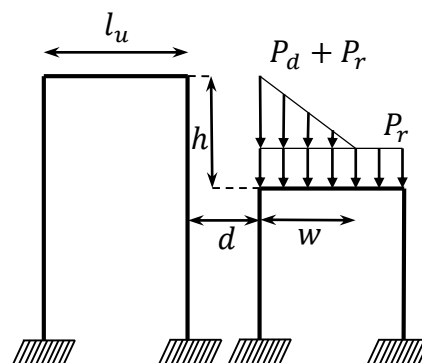
برابر کمترین مقادیر h_d (بر اساس طول ساختمان بلندتر) و $(6h - d)/6$ محاسبه می‌شود. عرض ناحیه مثلی برابر مقدار کمتر $6h_d$ و $(6h - d)$ در نظر گرفته می‌شود. h ، بیانگر اختلاف تراز لبه بام بلندتر با لحاظ دست‌انداز و روی بله بام پایین بدون لحاظ دست‌انداز می‌باشد.

برای امکان رو به باد محاسبه بر اساس قسمت ب بند ۶-۷-۹-۱ انجام می‌شود. در مجاورت ساختمان بلندتر مقدار حداکثر انباشت فرض شده و از توزیع مثلی حاصل، بخشی از توزیع برف انباشت که در بین دو ساختمان قرار می‌گیرد از بارگذاری حذف می‌گردد.

در مورد دست‌اندازها، طول بام در جهت عمود بر دست‌اندازها برای l_u منظور خواهد شد. در مورد قسمت بالا آمده از بام، مقدار بزرگتر طول بالادست و طول پایین دست باد بروی بام برای l_u منظور خواهد شد. اگر ناحیه‌ای مجاور قسمت بالا آمده بر روی بام عرض کمتر از $5/4$ متر داشته باشد، برای آن لحاظ بار برف انباشت لازم نیست.

در صورتی که شروط $(d < 6m, d < 6h)$ برقرار باشد لازم است که برای ساختمان بار انباشتگی در نظر گرفته شود. در این حالت نیز همانند ساختمان‌های دارای دست‌انداز در بام هر دو حالت رو به باد و پشت به باد به شرح زیر باید مورد بررسی قرار گیرد و بحرانی‌ترین آن لحاظ گردد:

الف) جهت در نظر گرفتن حالت پشت به باد اگر فاصله ساختمان‌های مجاور d باشد:



h_{d1} همانند بند قبلی باید مطابق ضوابط مربوطه به حالت پشت به باد (بند الف) محاسبه گردد، در این حالت h_d برابر است با:

$$\gamma = 0.43P_g + 2.2$$

$$h_{d1} = 0.12 \sqrt[3]{l_u^4} \sqrt{100P_g + 50} - 0.5$$

$$h_d = \min(h_{d1}, \frac{6h - d}{6}) \rightarrow P_d = \gamma h_d$$

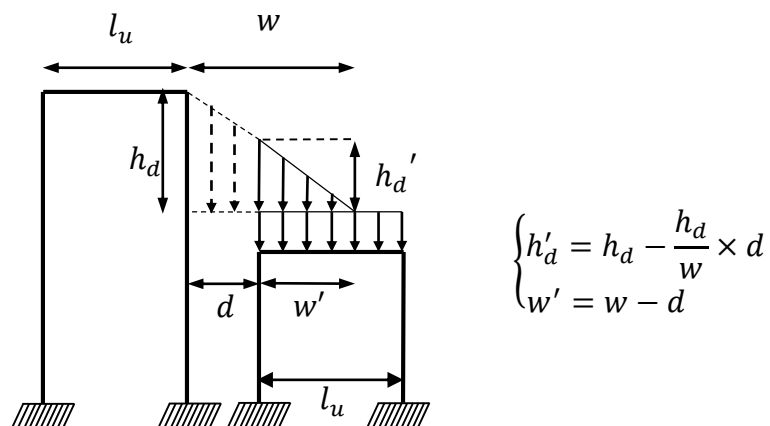
$$w = \min(6h_d, 6h - d)$$

توجه شود در محاسبه h_{d1} برای l_u باید طول ساختمان بلندتر در نظر گرفته شود و همانند قبل در روابط فوق P_g بر حسب کیلونیوتن می‌باشد.

نکته: h همانطور که در شکل نشان داده شده است بیانگر اختلاف ارتفاع تراز بام بلندتر با احتساب دست‌انداز (اگر دارای دست‌انداز باشد) و روی لبه پایین بام بدون احتساب دست‌انداز می‌باشد. (حتی اگر دارای دست‌انداز باشد).

(ب) جهت در نظر گرفتن حالت روبه باد :

h_d همانند بند ۱-۹-۷-۶ برای حالت رو به باد محاسبه باید گردد. پس از محاسبه h_d و w از کنار ساختمان بند تر بار مثلی تر سیم باید گردد و آن قسمتی که روی ساختمان کوتاه تر قرار می‌گیرد به عنوان انباشته باید در نظر گرفته شود.

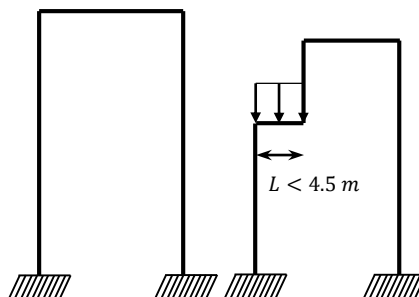


h_d و w : محاسبه شده از بند ۶-۷-۹-۱، حالت ب بند مربوط به رو به باد:

$$h_d = \frac{3}{4} \times \left[0.12 \times \sqrt[3]{l_u}^4 \sqrt{100P_g + 50} - 0.5 \right]$$

$$w = \begin{cases} \text{if } h_d \leq h_c & \rightarrow w = 4h_d \leq 8h_c \\ \text{if } h_d > h_c & \rightarrow w = \frac{4h_d^2}{h_c} \leq 8h_c \end{cases}$$

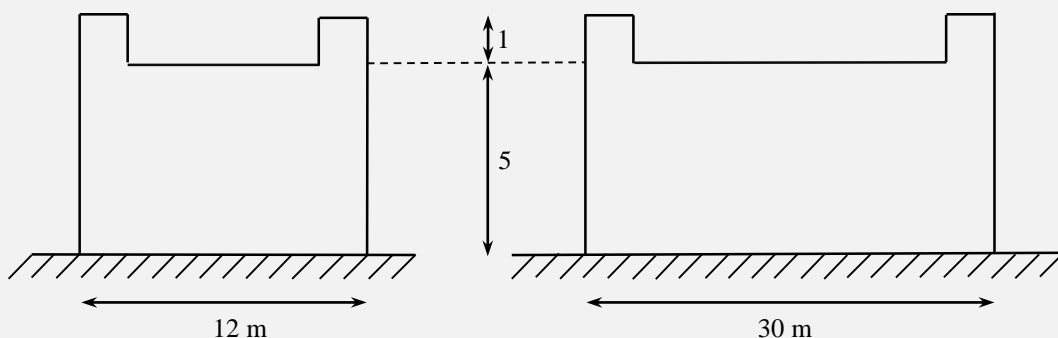
- اگر بامی دارای دست انداز بود در محاسبه l_u ، طول بام تا مرز دست انداز محاسبه می‌گردد.
- اگر در ساختمان کوتاه‌تر، بام دارای ۲ تراز با شد و تراز کوتاه‌تر مجاور ساختمان بلندتر با شد و طول آن از 4.5 متر کمتر باشد نیازی به محاسبه بار انباشته برف نمی‌باشد.



- برای بالا آمدگی‌های موجود در بام (مثل فرپشته یا فضاهای تاسیساتی) همانند قسمت بام پایین‌تر از ساختمان، جهت محاسبه انباشت برف باید عمل گردد.

مثال : بار برف متوازن سازه نشان داده شده را محاسبه نمایید.

$$(P_g = 100 \frac{kg}{m^2} = 1 \frac{Kn}{m^2}, C_e = 0.9, C_t = 1, I = 1, C_s = 1)$$



حل:

باتوجه به داده‌های مسئله با برف متوازن برابر می‌باشد با

$$P_r = 0.7 C_s C_t C_e I_s P_g = 0.7 \times 1 \times 0.9 \times 1 \times 1 \times 100 = 63 \frac{Kn}{m^2}$$

$$\gamma = 0.43 \times P_g + 2.2 = 0.43 \times 1 + 2.2 = 2.63 \frac{Kn}{m^3} \rightarrow h_b = \frac{P_r}{\gamma} = \frac{0.63}{2.63} = 0.24m \rightarrow h_c = 1 - 0.24 = 0.76m \rightarrow$$

$$\frac{h_c}{h_b} = \frac{0.76}{0.24} = 3.16 > 0.2 \rightarrow \text{انباشتگی باید در نظر گرفته شود}$$

باتوجه به اینکه طول بام بالاتر بسیار ناچیز می‌باشد تنها حالت انباشتگی رو به باد را بررسی خواهیم کرد. برای عرض کوچکتر :

$$L_u = 12m \rightarrow h_d = \frac{3}{4} \times [0.12 \times \sqrt[3]{12} \sqrt[4]{100 \times 1 + 50} - 0.5] = 0.346 \rightarrow$$

$$P_g = \gamma h_d = 2.63 \times 0.346 = 0.91 \frac{Kn}{m^2}$$

برای راستا با عرض بلندتر :

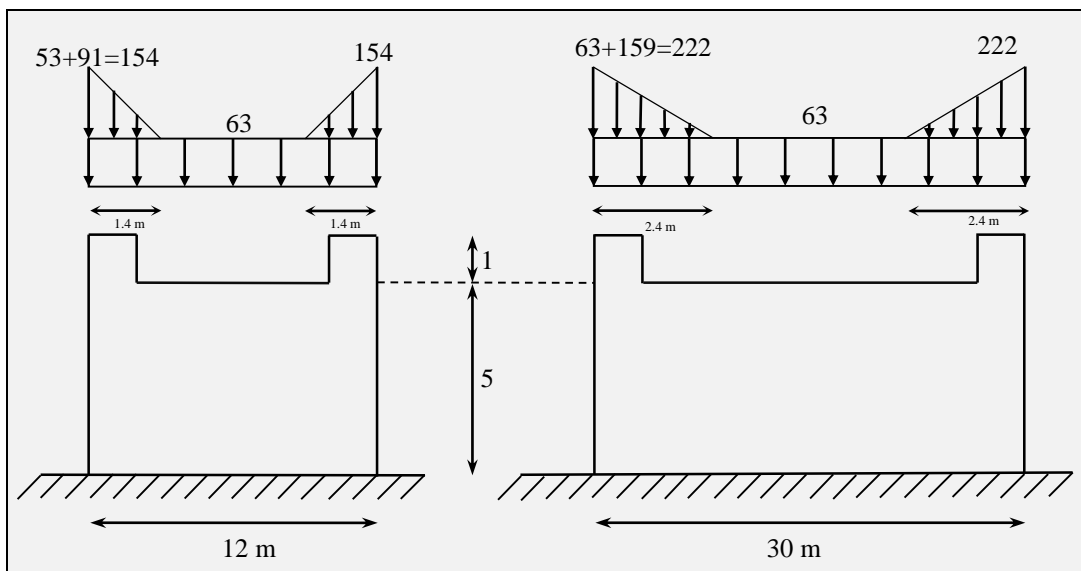
$$L_u = 30m \rightarrow h_d = \frac{3}{4} \times [0.12 \times \sqrt[3]{3} \sqrt[4]{100 \times 1 + 50} - 0.5] = 0.6 \rightarrow$$

$$P_d = \gamma h_d = 0.6 \times 2.63 = 1.50 \frac{Kn}{m^2}$$

عرض با برف انباشتگی برای راستای کوچکتر:

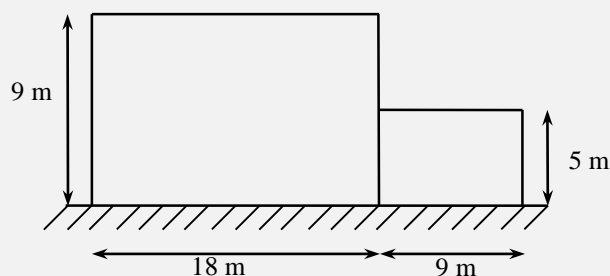
$$h_d = 0.6 < h_c \rightarrow w = 4 \times 0.6 = 2.4m < 8h_c$$

لذا بارگذاری برف متوازن سقف به شرح زیر می‌گردد:



مثال : مطلوب است محاسبه بار متوازن و انباشتگی سقف روبرو؟ داده‌های مسئله به شرح زیر می‌باشند :

$$(P_g = 150 \frac{kg}{m^2} = 1.5 \frac{Kn}{m^2}, C_e = 1, C_t = 1, I = 1, C_s = 1)$$



حل:

بار برف متوازن سقف فوق برابر است با:

$$P_r = 0.7 C_s C_t C_e I_s P_g = 0.7 \times 1 \times 1 \times 1 \times 1 \times 150 = 105 \frac{Kn}{m^2}$$

$$\gamma = 0.43 \times P_g + 2.2 = 0.43 \times 1.5 + 2.2 = 2.85 \frac{Kn}{m^3}$$

$$h_d = \frac{P_r}{\gamma} = \frac{1.05}{2.85} = 0.368$$

$$h_c = 4 - 0.368 = 3.6 \rightarrow \frac{h_c}{h_b} > 0.2 \quad \text{لذا بار برف انباشتگی باید در نظر گرفته شود}$$

بررسی امکان پشت به باد:

$$L_u = 18m \rightarrow h_d = 0.12 \times \sqrt[3]{18^4 \sqrt{100 \times 1.5 \times 50}} - 50 = 0.682m$$

$$\rightarrow P_d = \gamma h_d = 2.85 \times 0.682 = 1.94 \frac{Kn}{m^2}$$

$$h_d = 0.682 < h_c \rightarrow W = 4h_d = 4 \times 0.682 = 2.728m$$

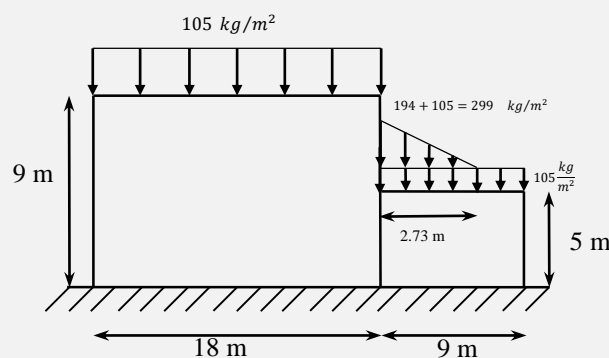
بررسی امکان رو باد:

$$L_u = 9m \rightarrow h_d = \frac{3}{4} [0.12 \times \sqrt[3]{9^4 \times 100 \times 1.5 \times 50} - 0.5] = 0.33 m$$

$$\rightarrow P_d = \gamma h_d = 2.85 \times 0.33 = 0.94 \frac{Kn}{m^2}$$

$$\rightarrow w = 4h_d = 1.32$$

با توجه به اینکه شدت حالت پشت به باد بیشتر است آن بار به عنوان بار انباشتی انتخاب می‌شود:



۹-۷- برف لغزنده

بار حاصل از لغزش برف از بام شیب‌دار بالاتر و ریختن آن به سقف پایین‌تر باید برای بام‌های لغزنده با شیب بیشتر از ۲ درصد و برای سایر بام‌ها با شیب بیشتر از ۱۵ درصد باید در نظر گرفته شود. مقدار کل بار بر واحد طول در مجاورت لبه پایین بام بالاتر برابر $0.4P_r/C_s$ بر روی بام پایین در نظر گرفته شود. W ، فاصله افقی لبه پایین تا خط‌الرأس سقف شیب‌دار بالاتر است. این بار بطور یکنواخت از لبه پایین بام بالاتر تا فاصله ۵/۴ متر از آن بر روی بام پایین به صورت نواری توزیع می‌شود. اگر عرض بام پایینی کمتر از ۵/۴ متر باشد، مقدار بار به نسبت عرض بام بر ۵/۴ متر کاهش می‌یابد.

برای دو سازه جدا، بار برف در صورتی در نظر گرفته می‌شود که $1 < \frac{h}{d}$ و $d < 4.5$ متر باشد، عرض نوار بار برف لغزیده بر روی بام پایین‌تر برابر $4.5 - d$ متر بوده و مقدار بار برف بر واحد طول نوار برابر $0.4P_r W [(4.5 - d)/4.5 C_s]$ در نظر گرفته خواهد شد. اگر اختلاف تراز لبه پایین سقف شیب‌دار با سقف پایین کم باشد بطوری در نظر گرفته خواهد شد که برف روی بام پایین باعث کاهش لغزش برف از بام بالاتر گردد می‌توان مقدار برف لغزیده شده را کمتر در نظر گرفت.

بار برف لغزنده به بار متوازن اضافه می‌شود و اثر آن به صورت هم‌زمان با برف نامتوازن، انباشتی برف، بارگذاری جزئی برف و اثر باران برف در نظر گرفته نمی‌شود.

- در صورتی که بالای بام مورد نظر بامی شیب‌دار موجود باشد، این بار باید در نظر گرفته شود. اگر شیب سقف α باشد در صورتی که α در محدوده‌های زیر باشد این بار باید محاسبه گردد:

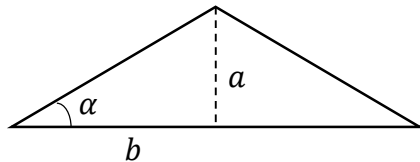
■ بام لغزنده :

$$\text{if } \alpha > 2\% \rightarrow P_b < 0$$

■ بام غیرلغزنده :

$$\text{if } \alpha > 15\% \rightarrow P_b < 0$$

که در روابط فوق α برابر است با :

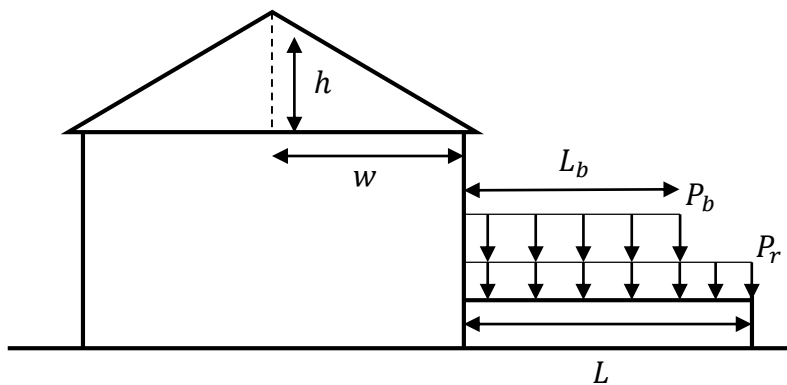


$$\alpha = \frac{a}{b} \times 100$$

P_b : بار برف لغزنده بر واحد سطح

L_b : طول بار برف لغزنده

L : طول بام پایین

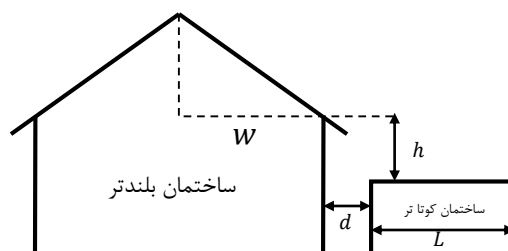


$$\text{if } L \geq 4.5 \rightarrow L_b = 4.5 \rightarrow P_b = \frac{0.4P_r w}{C_s L_b}$$

$$\text{if } L < 4.5 \rightarrow L_b = L \rightarrow P_b = \frac{L_b}{4.5} \times \frac{0.4P_r w}{C_s L_b}$$

این بار به بار متوازن (P_r) افزوده و بصورت جداگانه بدون اثرات برف نامتوازن، انباشتگی، بارگذاری، جزئی و اثر باران به برف بررسی می گردد.

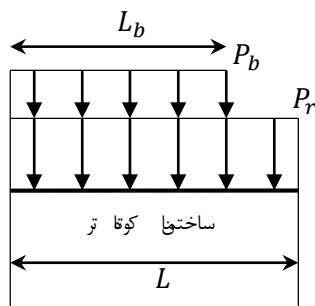
• چنانچه دو سازه از هم فاصله داشتند آنگاه :



در چنین حالتی اگر $\frac{h}{d} > 1$ و $d < 4.5$ متر باشد اثر بار برف لغزنده در نظر گرفته می‌شود و باید بصورت روبرو محاسبه گردد:

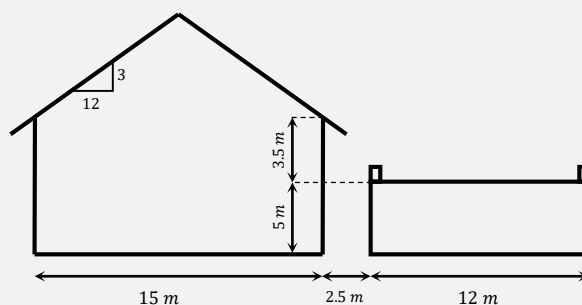
$$L_b = 4.5 - d$$

$$P_b = \frac{L_b}{4.5} \times \frac{0.4P_r w}{C_s L_b}$$



مثال: بار برف لغزنده را برای سازه نشان داده شده محاسبه نمایید. بام غیرلغزنده می‌باشد و سایر مشخصات منطقه به شرح زیر می‌باشد:

$$(I_s = 1, C_t = 1, C_s = 1, C_e = 0.9, P_g = 100 \text{ kg/m}^2)$$



حل:

بار برف یکنواخت برابر است با:

$$P_r = 0.7C_e C_s C_t I_s P_g = 0.7 \times 0.9 \times 1 \times 1 \times 1 \times 100 = 63 \text{ kg/m}^2$$

شیب سقف برابر است با:

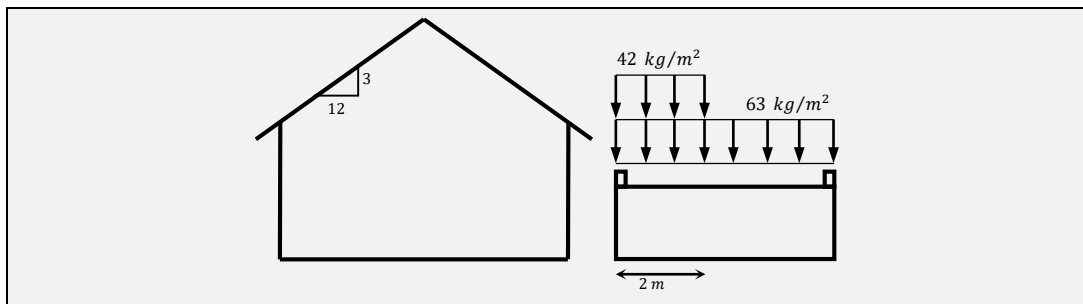
$$\alpha = \frac{3}{12} \times 100 = 25\% > 15\%$$

$$\begin{cases} h = 3.5 \text{ m} \\ d = 2.5 \text{ m} \end{cases} \rightarrow \frac{h}{d} = \frac{3.5}{2.5} = 1.4 > 1 \quad \text{and} \quad d = 2.5 < 4.5 \text{ m}$$

لذا بار برف لغزنده باید در نظر گرفته شود.

$$L_b = 4.5 - 2.5 = 2 \text{ m}$$

$$P_b = \frac{L_b}{4.5} \times \frac{0.4P_r w}{C_s L_b} = \frac{2}{4.5} \times \frac{0.4 \times 63 \times 7.5}{1 \times 2} = 42 \text{ kg/m}^2$$

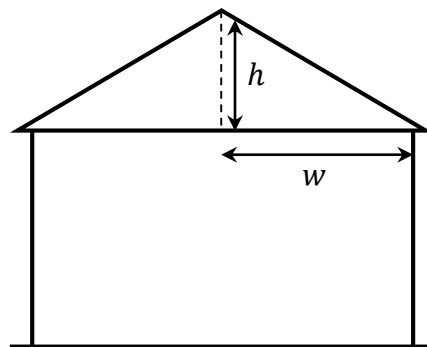


۷-۱۰- سربار باران بر برف

در مناطق با بار برف زمین ۱ کیلو نیوتن بر مترمربع و کمتر ولی بیشتر از ۰.۲۵ کیلونیوتن بر مترمربع (مناطق ۳ و ۲) برای بام شیب کمتر $W/15$ درجه (W بر حسب متر می باشد)، سربار باران به مقدار ۰.۲۵ کیلونیوتن بر مترمربع به بار برف متوازن اضافه خواهد شد. این بار لازم نیست همراه با اثر انباشتگی، لغزش، بار برف نامتوازن، بار برف حداقل و یا بارگذاری جزئی برف در نظر گرفته شود.

برای بامهای شیبدار، در مناطق ۳ و ۲ که در آنها $0.25 < P_g < 1 \frac{kN}{m^2}$ می باشد، اگر نسبت $\frac{h}{w}$ از $\frac{w}{15}$ درجه (W بر حسب متر) کمتر باشد باید این اثر نیز به صورت جداگانه از اثرات انباشتگی، لغزش بار برف نامتوازن، بار برف حداقل و بارگذاری جزئی دیده شود.

برای دیدن اثر این حالت مقدار ۰.۲۵ کیلونیوتن بر مترمربع را به بار متوازن (P_r) اضافه خواهد شد.



۷-۱۱- ناپایداری برکهای

در بامهاب با شیب کمتر از ۲٪ و بامهای با امکان انباشتگی آب، با توجه به امکان گرفتگی خروجیهای در نظر گرفته شده امکان انباشتگی برف بسیار محتمل می باشد. این انباشتگی می تواند تغییر شکل های بزرگی را به همراه داشته باشد و لذا کف و سازه باید بگونه ای باشد که قابلیت حمل این اثر را داشته باشد. وقایع مشابه بسیاری ناشی از این پدیده مشاهده شده است.