

فرض کنید کف یک ساختمان اداری که یک دفتر کار معمولی است، از دو قسمت مساوی  $A$  و  $B$  تشکیل شده و سطح هر قسمت ۲۰۰ مترمربع باشد، چنانچه مساحت کل تیغه‌های قسمت  $A$  برابر ۲۰۰ متر مربع و مساحت کل تیغه‌های قسمت  $B$  برابر ۱۰۰ مترمربع و وزن هر مترمربع سطح تیغه برابر ۱۴۰ کیلوگرم باشد، بار زنده معادل تیغه‌بندی کدام یک از مقادیر زیر است؟

(۱) ۱۰۰ کیلوگرم بر مترمربع برای هر دو قسمت  $A$  و  $B$

(۲) ۱۰۰ کیلوگرم بر مترمربع برای قسمت  $A$  و ۷۰ کیلوگرم بر مترمربع برای قسمت  $B$

(۳) ۱۴۰ کیلوگرم بر مترمربع برای قسمت  $A$  و ۱۰۰ کیلوگرم بر مترمربع برای قسمت  $B$

(۴) ۱۴۰ کیلوگرم بر مترمربع برای هر دو قسمت  $A$  و  $B$

**حل:** با توجه به این که وزن هر مترمربع از سطح تیغه‌ها بین ۰/۴ تا ۲ کیلونیوتن بر مترمربع است، بنابراین مطابق حالت (۲) از موارد فوق، وزن تیغه‌ها به صورت بار معادل، که از تقسیم وزن تیغه‌های هر قسمت بر مساحت آن قسمت به دست آمده و به صورت یکنواخت بر کف وارد می‌شود، باید در نظر گرفته شود. بار معادل تیغه‌های  $A$ :

$$0.4 < w < 2 \text{ kN/m}^2 \Rightarrow q = \max \left\{ 1 \text{ kN/m}^2, \frac{\text{وزن کل تیغه‌ها}}{\text{مساحت کف}} \right\}$$

$$\frac{\text{وزن کل تیغه‌های } A}{\text{مساحت کف}} = \frac{\text{وزن } 1 \text{ m}^2 \text{ از تیغه} \times \text{مساحت تیغه‌های } A}{\text{مساحت کف}} = \frac{200 \times 140}{200} = 140 \text{ kg/m}^2 = 1.4 \text{ kN/m}^2$$

$$q_A = \max \{ 1 \text{ kN/m}^2, 1.4 \text{ kN/m}^2 \} = 1.4 \text{ kN/m}^2 = 140 \text{ kg/m}^2$$

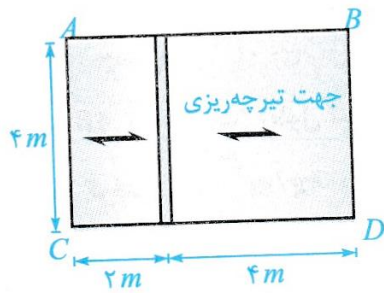
بار معادل تیغه‌های  $B$ :

$$\frac{\text{وزن کل تیغه‌های } B}{\text{مساحت کف}} = \frac{\text{وزن } 1 \text{ m}^2 \text{ از تیغه} \times \text{مساحت تیغه‌های } B}{\text{مساحت کف}} = \frac{100 \times 140}{200} = 70 \text{ kg/m}^2 = 0.7 \text{ kN/m}^2$$

$$0.4 < w < 2 \text{ kN/m}^2 \Rightarrow q = \max \left\{ 1 \text{ kN/m}^2, \frac{\text{وزن کل تیغه‌ها } B}{\text{مساحت کف}} \right\}$$

$$q_B = \max \{ 1, 0.7 \} = 1 \text{ kN/m}^2 = 100 \text{ kg/m}^2$$

**دقت:** با توجه به این که سطح اداری و از نوع دفتر کار معمولی است، بار زنده آن طبق جدول (۱) برابر  $2.5 \text{ kN/m}^2$  است و مشمول حالت چهارم که در آن از بار زنده معادل تیغه صرف نظر کردیم، نمی‌شود و با توجه به این توضیحات، گزینه (۳) صحیح است.

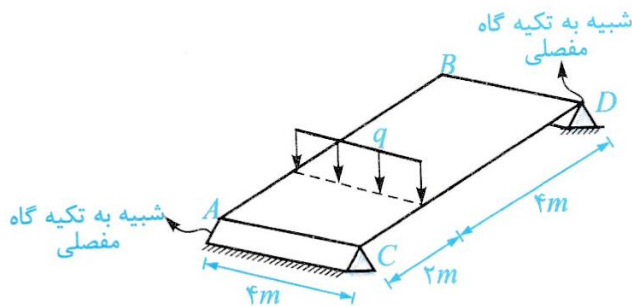


در پلان مقابل، موقعیت تیغه‌ای با وزن واحد سطح  $2/5 \text{ kN/m}^2$  نشان داده شده است. بار معادل وارد بر تیر  $AC$  و  $BD$  ناشی از این تیغه چقدر می‌باشد؟ (ارتفاع تیغه  $3 \text{ m}$  است، بار زنده سطح  $2 \text{ kN/m}^2$  است.)

**حل:** با توجه به اینکه وزن واحد سطح تیغه بیشتر از  $2 \text{ kN/m}^2$  است بنابراین بار تیغه باید به عنوان بار مرده و به صورت خطی، در محل دقیق خود باید مدل سازی شود. در این حالت، بار خطی معادل تیغه از ضرب  $w$  در ارتفاع تیغه به دست می‌آید و مقدار آن برابر است با:

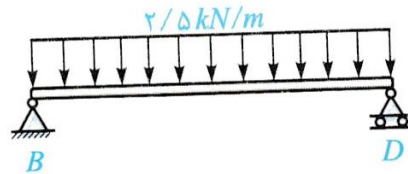
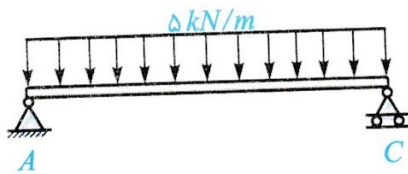
$$q = 2/5 \times 3 = 7/5 \text{ kN/m}$$

همانطور که در حالت‌های مطرح شده در نکته فوق نیز مشاهده کردیم، این بار به طور تقریبی مشابه یک تیر دو سر مفصل بین  $AC$  و  $BD$  توزیع می‌شود و در نتیجه خواهیم داشت:

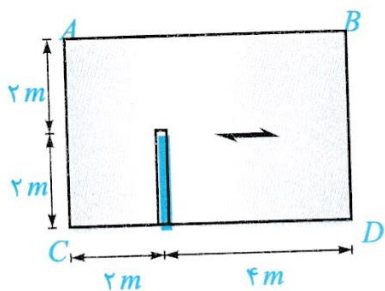


$$\begin{cases} \text{سهم تیر } AC = q \times \frac{4}{6} = 7/5 \times \frac{4}{6} = 5 \text{ kN/m} \\ \text{سهم تیر } BD = q \times \frac{2}{6} = 7/5 \times \frac{2}{6} = 2/5 \text{ kN/m} \end{cases}$$

توزیع این بارها بر روی تیرها به صورت زیر می‌باشد:



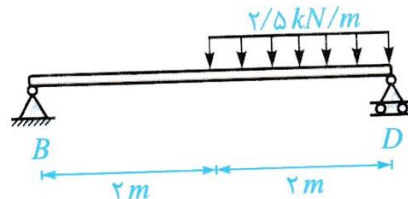
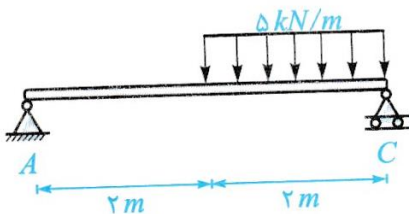
**تذکره:** در این گونه سؤالات چنانچه عرض تیغه از عرض پلان کوچک‌تر باشد (مثلاً  $2 \text{ m}$ )، بار ناشی از تیغه روی تیرهای  $AC$  و  $BD$ ، فقط در طولی برابر طول تیغه اعمال می‌شود. برای درک بهتر به شکل زیر توجه کنید:

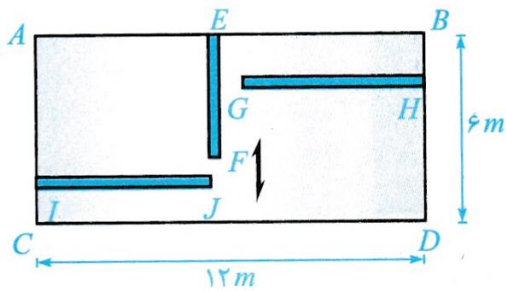


$$q = 2/5 \times 3 = 7/5 \text{ kN/m}$$

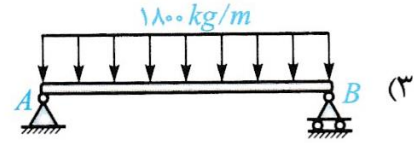
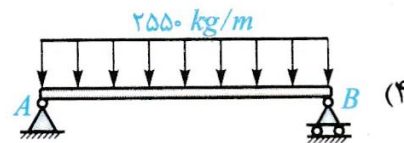
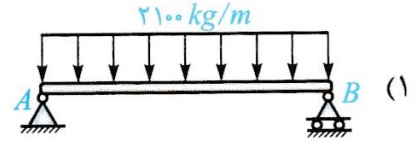
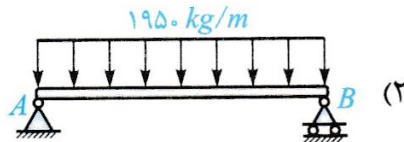
$$\text{سهم تیر } AC = 7/5 \times \frac{4}{6} = 5 \text{ kN/m}$$

$$\text{سهم تیر } BD = 7/5 \times \frac{2}{6} = 2/5 \text{ kN/m}$$





در ساختمان مسکونی، بار مرده کف ۶۰۰ کیلوگرم بر مترمربع و وزن تیغه‌ها در چشمه  $ABCD$  برابر با ۱۲۰ کیلوگرم بر متر مربع و ارتفاع تیغه‌ها ۳ متر می‌باشد، مجموع بار مرده و بار زنده وارد بر تیر  $AB$  کدام است؟  
(  $3m$  = طول تیغه  $GH$  و  $EF$  ،  $4m$  = طول تیغه  $IJ$  ، بار زنده بدون لحاظ کردن اثر تیغه‌ها،  $1/5 \text{ kN/m}^2$  است.)



● **هله:** با توجه به اینکه وزن واحد سطح تیغه‌ها کمتر از  $2 \text{ kN/m}^2$  می‌باشد می‌توان وزن تیغه‌ها را به صورت یک بار گسترده زنده یکنواخت در نظر گرفت. از طرفی مقدار این بار گسترده معادل نباید کمتر از  $1 \text{ kN/m}^2$  (یا  $100 \text{ kg/m}^2$ ) در نظر گرفته شود:

وزن تیغه  $GH$  + وزن تیغه  $EF$  + وزن تیغه  $IJ$  = وزن تیغه‌ها

$$\text{وزن تیغه‌ها} = 120 \times 3 \times (4 + 3 + 3) = 3600 \text{ kg}$$

مجموع طول تیغه‌ها → ارتفاع تیغه‌ها ←

(بار زنده معادل،  $100 \text{ kg/m}^2$  در نظر گرفته می‌شود).  $50 \text{ kg/m}^2 = \frac{3600}{6 \times 12} = \text{بار معادل تیغه‌ها}$

از طرفی با توجه به جهت تیرچه‌ریزی و داشتن  $3m$  عرض بار گیر در تیر  $AB$ ، بار کل وارد بر تیر  $AB$  برابر است با:

$$\text{بار مرده کف} = 600 \times 3 = 1800 \text{ kg/m}$$

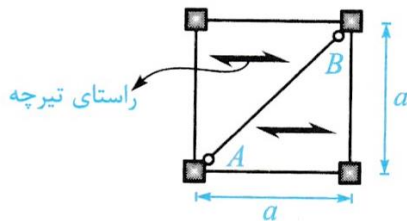
$$\text{مجموع بار تیر } AB = 2550 \text{ kg/m} \Rightarrow \text{بار زنده ناشی از تیغه} = 100 \times 3 = 300 \text{ kg/m}$$

$$\text{بار زنده کف} = 150 \times 3 = 450 \text{ kg/m}$$

→  $1/5 \text{ kN/m}^2$

بنابراین گزینه (۴) صحیح است.

در صورتی که مجموع شدت بارهای مرده و زنده در واحد سطح برابر  $q$  فرض شود، در طراحی به روش تنش مجاز تیر دو سر مفصل  $AB$  باید حداقل برای چه لنگر خمشی طراحی شود؟



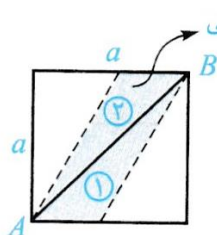
$$\frac{\sqrt{2}}{8} qa^3 \quad (2)$$

$$\frac{\sqrt{2}}{4} qa^3 \quad (4)$$

$$\frac{qa^3}{8\sqrt{2}} \quad (1)$$

$$\frac{1}{8} qa^3 \quad (3)$$

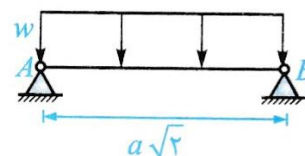
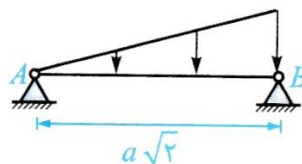
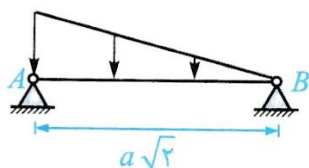
با سؤال جالبی روبه‌رو شده‌ایم، همان‌طور که توضیح دادیم در سقف‌های یکطرفه، تیرهای دو طرف دهانه نیمی از بار دهانه را تحمل می‌کنند. بنابراین در این سؤال، تیر میانی به‌طور تقریبی نیمی از بار در دهانه‌های مجاور خود را تحمل خواهد کرد. با توجه به اینکه کل نیروی وارد بر سمت چپ و



سطح بارگیر میانی راست  $AB$  برابر  $\frac{qa^2}{2}$  می‌باشد، سهم تیر میانی از هر دهانه برابر  $\frac{qa^2}{4}$  است و

در مجموع نیرویی معادل  $(2 \times \frac{qa^2}{4} = \frac{qa^2}{2})$  به تیر  $AB$  وارد خواهد شد.

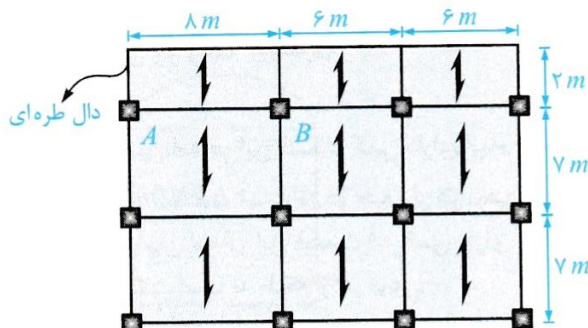
دقت شود که در هر چشمه، نیرو به‌صورت مثلی بر روی تیر قرار می‌گیرد و با جمع کردن این نیروها، توزیع نیروی تیر میانی یکنواخت خواهد شد:



در ادامه با تقسیم نیروی کل تیر بر طول آن، بار گسترده خطی معادل وارد بر تیر به‌دست می‌آید:

$$w = \frac{qa^2}{a\sqrt{2}} = \frac{qa}{\sqrt{2}}$$

در پلان زیر در صورتی که بار زنده کلیه سطوح را  $2 \text{ kN/m}^2$  در نظر بگیریم، بارگذاری بار زنده تیر  $AB$  را چقدر می‌توان کاهش داد؟





● **حل:** با توجه به ابعاد پلان و طره‌ای بودن دهانه ۲ متری، سطح بارگیری این تیر برابر است با:

قسمت طره →  

$$A_T = (2 + 3/5) \times 8 = 44 m^2$$
 نصف دهانه ۷m →

از طرفی با استفاده از جدول (۳)، ضریب  $K_{LL}$  برای تیر کناری با دال طره‌ای برابر ۱ به دست می‌آید  $K_{LL} = 1$  و در ادامه داریم:

امکان کاهش بار زنده وجود دارد.  $\Rightarrow K_{LL} A_T = 1 \times 44 m^2 > 37 m^2$  کنترل حاصل  $K_{LL} A_T$  و در نهایت خواهیم داشت ( $L_o$  در صورت سؤال،  $2 kN/m^2$  داده شده است):

$$L = L_o \left[ 0.25 + \frac{4/57}{\sqrt{K_{LL} A_T}} \right] = 2 \times \left[ 0.25 + \frac{4/57}{\sqrt{1 \times 44}} \right] = 1.88 kN/m^2$$

این موضوع یعنی می‌توان بار زنده را به اندازه  $0.12 kN/m^2$  کاهش داد.

● **دقت:** اگر میزان درصد کاهش بار زنده پرسیده شد، ابتدا نسبت  $\times 100 = \left[ 0.25 + \frac{4/57}{\sqrt{K_{LL} A_T}} \right] \times 100$  را به دست می‌آوریم. ۱۰۰ منهای عدد به دست آمده، در واقع همان درصد کاهش بار زنده در عضو است.

در یک بام معمولی شیب‌دار با شیب ۳۰ درجه، بار زنده وارد بر یکی از تیرهای فرعی با  $20 m^2$  سطح بارگیر را حساب کنید.

● **حل:** بار زنده کاهش یافته بام، با استفاده از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$L_r = L_o R_1 R_2$$

دقت شود که در جدول (۲) بار زنده یکنواخت برای بام‌های شیب‌دار معمولی،  $1/5 kN/m^2$  داده شده است ( $L_o = 1/5 kN/m^2$ ).

در این تیر ضریب  $R_1$  با توجه به سطح بارگیری تیر و رابطه (۴) برابر است با:

$$18 m^2 \leq A_T = 20 m^2 < 54 m^2 \Rightarrow R_1 = 1/2 - 0.0111 A_T = 1/2 - 0.0111 \times 20 = 0.98$$

برای محاسبه ضریب  $R_2$ ، ابتدا باید شیب سقف را به درصد تبدیل کنیم. با استفاده از روابط مثلثاتی خواهیم داشت:

$$S = 100 \tan \theta = 100 \tan 30^\circ = 57.7\%$$

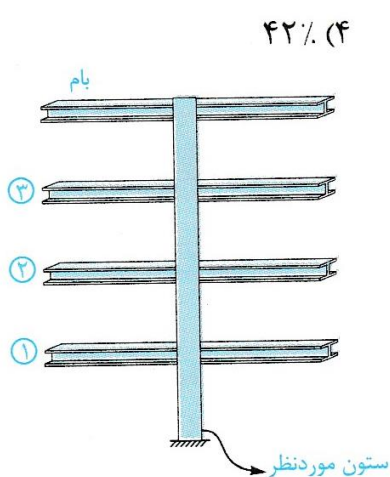
$$33 < S = 57.7 < 100 \Rightarrow R_2 = 1/2 - 0.006 S = 1/2 - 0.006 \times 57.7 = 0.85$$

در نهایت، مقدار بار زنده کاهش یافته بام برای این عضو برابر است با:

$$L_r = L_o R_1 R_2 = 1/5 \times 0.98 \times 0.85 = 1/25 kN/m^2$$

دقت کنید که این مقدار حتماً باید در بازه مجاز  $0.16 kN/m^2 \leq L_r \leq 1/5 kN/m^2$  قرار گیرد، که این موضوع برقرار است.

در یک ساختمان مسکونی چهار طبقه، سطح بارگیر یکی از ستون‌های میانی در هر طبقه ۱۶ مترمربع است. درصد مجاز کاهش بار زنده ناشی از سه طبقه اول به جز بام را برای این ستون در طبقه پایین (اولین طبقه) محاسبه نمایید.



همان‌طور که گفتیم طبقاتی که مجاز به کاهش بار زنده آنها نیستیم و بام (قسمت شرایط خاص) جز سطوح بارگیر اعضا در سایر کفها محسوب نمی‌شوند (کاهش سربار آنها در صورت امکان، باید جداگانه محاسبه شود)، بنابراین در این سوال جمع سطوح بارگیر ستون در طبقه اول برابر است با:

$$A_T = 3 \times 16 = 48 \text{ m}^2$$

از سوی دیگر با توجه به جدول (۲)، ضریب بار زنده برای ستون میانی برابر ۴ است:

$$K_{LL} = 4$$

و در نهایت خواهیم داشت:

$$K_{LL} A_T = 4 \times 48 = 192 \text{ m}^2 > 37 \text{ m}^2 \text{ (مجاز به کاهش بار زنده هستیم.)}$$

$$L = L_o \left( 0.25 + \frac{4/75}{\sqrt{K_{LL} A_T}} \right) \Rightarrow \frac{L}{L_o} = \left( 0.25 + \frac{4/75}{\sqrt{192}} \right) = 0.58 = 58\%$$

با توجه به این که عضو بار بیش از دو طبقه را تحمل می‌کند،  $L \geq 0.5L_o$  باشد که برقرار است. بنابراین بار زنده این ستون را در سه طبقه اول  $42\% = (100 - 58)$  می‌توانیم کاهش دهیم و گزینه (۴) صحیح است. دقت شود که در این تمرین اگر میزان کاهش سربار بام را بخواهیم، باید جداگانه آن را از رابطه  $L_r = L_o R_1 R_2$  به دست آوریم.

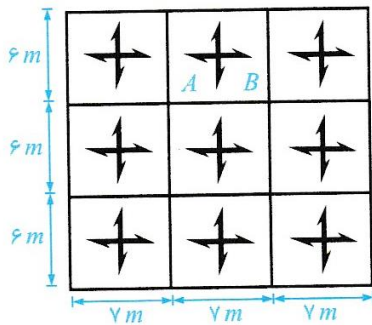
یک ساختمان مسکونی از نوع قاب ساختمانی ساده توأم با مهاربندی هم محور فولادی در شهر تهران مفروض است. این ساختمان پنج طبقه و دارای سقف با دال بتنی می‌باشد. پلان تیرریزی طبقه چهارم به همراه طول دهانه‌ها در شکل زیر نشان داده شده است. اگر بار زنده طبقات ۲۰۰ کیلوگرم بر مترمربع باشد، درصد کاهش بار زنده برای طراحی تیر  $AB$  به کدامیک از مقادیر زیر نزدیک‌تر است؟

(۱)  $43/3$

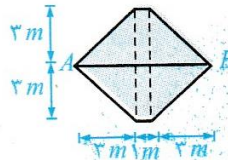
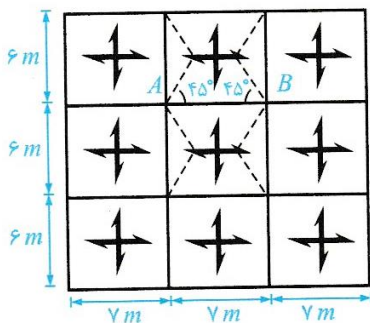
(۲) ۱۰

(۳)  $23/7$

(۴) ۴۰



حل: با توجه به عملکرد دو طرفه کف، سطح بارگیر تیر  $AB$  با رسم نیمساز زوایای داخلی چشمه‌ها به صورت زیر به دست می‌آید:



$$AB \text{ سطح بارگیری تیر } = \left( \frac{7+1}{2} \times 3 \right) \times 2 = 24 m^2$$

از طرفی ضریب عضو ( $K_{LL}$ ) برای بار زنده تیر میانی  $AB$  با استفاده از جدول (۲) برابر ۲ به دست می‌آید ( $K_{LL} = 2$ ):

$$K_{LL} A_T = 2 \times 24 = 48 m^2 > 37 m^2 \Rightarrow \text{کاهش بار زنده مجاز است.}$$

درصد کاهش بار زنده برابر است با:

$$\frac{L}{L_o} \times 100 = \left( 0.25 + \frac{4/57}{\sqrt{K_{LL} A_T}} \right) \times 100 = \left( 0.25 + \frac{4/57}{\sqrt{48}} \right) \times 100 = 90\%$$

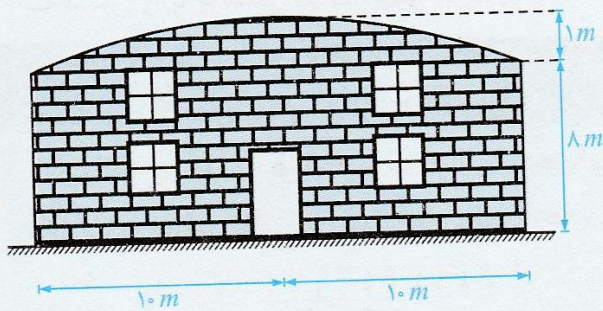
$$q \text{ درصد کاهش بار زنده } = 100 - 90 = 10\%$$

بنابراین گزینه (۲) صحیح است.



شکل مقابل، ساختمان یک مدرسه را نشان می‌دهد. بار برف حداقل این مدرسه، در شهر رشت چند برابر

شهر اهواز است؟



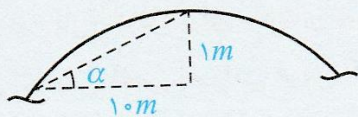
(۱) ۱/۵

(۲) ۲

(۳) ۲/۵

(۴) بار برف حداقل در نظر گرفته نمی‌شود.

**حل:** ابتدا باید دقت شود که با توجه به جدول (۴)، مدرسه در گروه خطرپذیری (۲) قرار می‌گیرد و ضریب  $I_s$  برای آن برابر ۱/۱ است. از سوی دیگر شهر رشت با توجه به جدول (۲)، در منطقه ۵ قرار گرفته و شدت بار برف در سطح زمین ( $P_g$ ) برای آن برابر  $2 \text{ kN/m}^2$  است و شهر اهواز در منطقه ۲ قرار گرفته و شدت بار آن در سطح زمین  $0.15 \text{ kN/m}^2$  است. در ادامه با توجه به این که شیب بام قوسی نشان داده شده کمتر از  $10^\circ$  درجه است، داریم:



$$\tan \alpha = \frac{1}{10} \Rightarrow \alpha = \text{Arctan } 0.1 = 5.71^\circ < 10^\circ$$

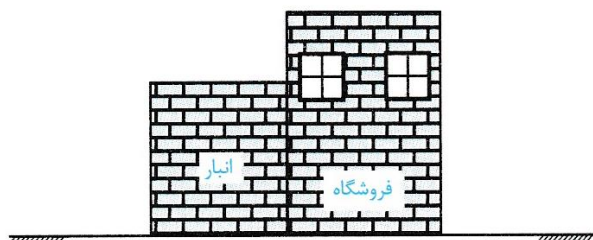
$$\begin{cases} \text{شهر رشت: } P_g > 1 \text{ kN/m}^2 \Rightarrow P_m = I_s = 1.1 \text{ kN/m}^2 \\ \text{شهر اهواز: } P_g < 1 \text{ kN/m}^2 \Rightarrow P_m = I_s P_g = 1.1 \times 0.15 \end{cases} \Rightarrow \frac{(P_m)_{\text{رشت}}}{(P_m)_{\text{اهواز}}} = \frac{1.1}{1.1 \times 0.15} = 2$$

بنابراین گزینه (۲) صحیح است.

**دقت:** مبحث ششم مقررات ملی ساختمان بیان کرده است که بار برف حداقل، یک امکان بار جداگانه محسوب می‌شود و در ترکیب با بار برف متوازن در نظر گرفته نمی‌شود. منظور آیین‌نامه از این عبارت آن است که بار حداقل و بار متوازن نباید به صورت همزمان بر سازه وارد شوند و طبیعتاً هر یک از آنها که بزرگ‌تر باشد بر سازه اعمال می‌شود و به همین دلیل ما بار متوازن را با بار حداقل مقایسه کردیم (البته در مواردی که بار حداقل تعریف می‌شود).



فروشگاه بزرگی به همراه یک انبار، جهت نگهداری کالاهای خود در مرکز شهر تهران قرار گرفته است و این مجموعه از سازه‌های اطراف برف نمی‌گیرد، بار برف متوازن این سازه را به دست آورید. (پوشش سقف از نوع آسفالت و انبار بدون گرمایش داخلی است).



**حل:** برای تعیین بار برف متوازن این ساختمان (یعنی  $P_r$ )، گام‌های زیر را طی می‌کنیم:

**گام اول (تعیین بار برف زمین):** مطابق جدول (۲) در ابتدای درسنامه، شهر تهران در منطقه ۴ با بارش برف زیاد قرار گرفته است، بنابراین  $P_g = 1/5 \text{ kN/m}^2$  در نظر گرفته می‌شود.

**گام دوم (تعیین ضریب اهمیت ساختمان در بار برف):** این ساختمان از دو قسمت با کاربری‌های متفاوت تشکیل شده است. بنابراین برای هر قسمت، باید ضریب اهمیت جداگانه‌ای تعیین شود. از طرفی فروشگاه‌های بزرگ در گروه خطرپذیری ۲ قرار دارند و ضریب بار برف آن‌ها ۱/۱ می‌باشد و انباری‌ها در گروه خطرپذیری ۳ قرار می‌گیرند و دارای ضریب بار برف ۱ هستند.

$I_s = 1/1$  : فروشگاه و  $I_s = 1$  : انبار

**گام سوم (تعیین ضریب برف‌گیری):** با توجه به شکل صورت سؤال، این ساختمان از دو قسمت با ارتفاع‌های متفاوت ساخته شده است. با توجه به این‌که این مجموعه از سازه‌های اطراف برف نمی‌گیرد و انبار کوتاه‌تر از فروشگاه است، در مجموع مانع برای بام فروشگاه محسوب نمی‌شود و در نتیجه بام فروشگاه به عنوان بام برف‌ریز در نظر گرفته شده و بام انباری به عنوان بام برف‌گیر محسوب می‌شود. از سوی دیگر این مجموعه در منطقه شهری با ناهمواری زیاد قرار گرفته است و در مجموع می‌توان ضریب برف‌گیری فروشگاه را ۰/۹ و ضریب برف‌گیری انبار را ۱/۲ در نظر گرفت (با توجه به جدول (۵)):

$C_e = 0/9$ : فروشگاه (ناهمواری زیاد، بام برف‌ریز)

$C_e = 1/2$ : انبار (ناهمواری زیاد، بام برف‌گیر)

گام چهارم (تعیین ضریب شرایط دمایی): با توجه به این که فضای داخل فروشگاه همیشه گرم است، ضریب دمایی آن یک در نظر گرفته می شود، همچنین انبار بدون گرمایش بوده و ضریب دمایی آن ۱/۲ می باشد:

$C_t = 1/2$  : انبار و  $C_t = 1$  : فروشگاه

گام پنجم (تعیین ضریب شیب): مطابق آنچه یاد گرفتیم، ضریب شیب برای سقف های مسطح واحد است ( $C_s = 1$ ).

گام ششم (محاسبه بار متوازن برف): مقدار بار متوازن برف برای فروشگاه و انبار، از رابطه زیر به دست می آید:

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

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{بار متوازن فروشگاه: } P_r = 0.7 \times 1 \times 1 \times 0.9 \times 1.1 \times 1.5 = 1.04 \text{ kN/m}^2 \\ \text{بار متوازن انبار: } P_r = 0.7 \times 1 \times 1/2 \times 1.2 \times 1.2 \times 1.5 = 1.51 \text{ kN/m}^2 \end{array} \right.$$

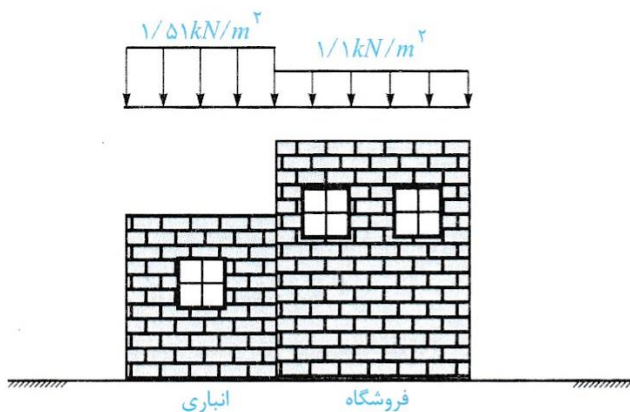
گام هفتم (کنترل بار حداقل): با توجه به این که بام این ساختمان مسطح است، بار حداقل باید در آن کنترل

شود. از طرفی بار برف زمین در این منطقه بیشتر از  $1 \text{ kN/m}^2$  می باشد، بنابراین این بار حداقل برابر است با:

$$P_m = I_s, \quad P_g > 1 \text{ kN/m}^2$$

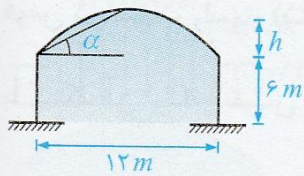
(بار برف فروشگاه، برابر بار حداقل فرض می شود)  $P_r = 1.1 \text{ kN/m}^2 \Rightarrow P_m = 1.1 < 1.04$  : بار برف حداقل فروشگاه

(کنترل مورد تأیید است و نیازی به تغییر  $P_r$  در انبار نیست)  $P_r = 1.51 \text{ kN/m}^2 \Rightarrow P_m = 1 < 1.51$  : بار برف حداقل انبار



تذکره: از حل این مثال می توانیم نتیجه بگیریم که بار برف بام، لزوماً کمتر از بار برف زمین نیست و در صورتی که بام برف گیر بوده و ضریب شرایط دمایی بیشتر از یک داشته باشد، احتمال این که بار برف بام بیشتر از بار برف زمین شود افزایش می یابد.





بام قوسی زیر قسمتی از یک دایره با شعاع  $6/71m$  بوده که در مرکز شهر اصفهان قرار دارد. پوشش این بام لغزنده بوده و ساختمان برف ریز است. توزیع بارگذاری نامتوازن را برای این بام به دست آورید. (فرض کنید  $C_s, C_t = I_s = 1$  در پای قوس برابر  $0/1$  فرض شود،  $30^\circ < \alpha < 70^\circ$ )

**حل:** با توجه به جدول (۲) در سنامه، اصفهان در منطقه با میزان بارش برف متوسط (منطقه ۳) قرار داشته و بار برف زمین برای آن  $1 kN/m^2$  می باشد. در ادامه در گام اول باید شیب خط واصل بین پای شیب و تاج را به دست آوریم که با توجه به صورت سؤال، بین  $30^\circ$  و  $70^\circ$  درجه قرار دارد و در نتیجه باید از الگوی بارگذاری حالت (۲) استفاده کنیم، برای این منظور ابتدا بارگذاری در تاج قوس را به دست می آوریم. در این بام  $C_e = 0/9$  می باشد (بام برف ریز در منطقه شهری با ناهمواری زیاد) و در تاج ضریب شیب ( $C_s$ ) برابر واحد در نظر گرفته می شود، بنابراین خواهیم داشت:

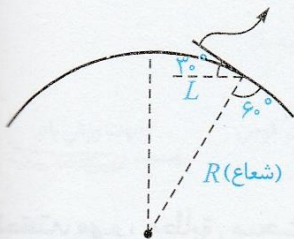
$$P_r = 0/7 C_s C_t C_e I_s P_g = 0/7 \times 1 \times 1 \times 0/9 \times 1 \times 1 = 0/63 kN/m^2$$

در گام بعد، باید بار برف در محلی که شیب قوس  $30^\circ$  درجه است را به دست آوریم. با توجه به لغزنده بودن سقف و  $\alpha_0 = 5^\circ, C_t = 1$  بوده و ضریب شیب با توجه به جدول (۷) از رابطه زیر به دست می آید:

$$C_s = 1 - \frac{\alpha - 5^\circ}{65^\circ} = 1 - \frac{30^\circ - 5^\circ}{65^\circ} = 0/61 \Rightarrow \frac{2P_r}{C_e} = \frac{2 \times (0/7 \times 0/61 \times 1 \times 0/9 \times 1 \times 1)}{0/9} = 0/185 kN/m^2$$

این بار به صورت خطی از  $0/315 kN/m^2$  در تاج قوس به  $0/185 kN/m^2$  در فاصله افقی  $L$  از تاج قوس می رسد. این فاصله با استفاده از روابط هندسی، به صورت زیر به دست می آید:

خط مماس بر دایره، بر شعاع عمود است.



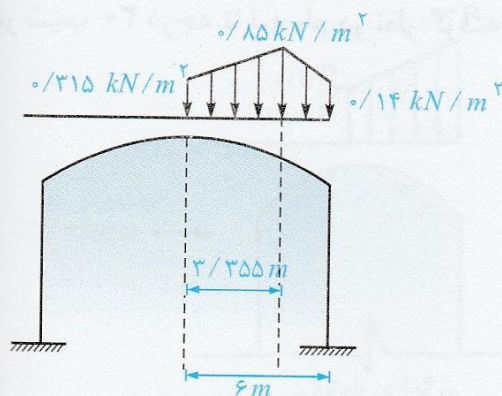
$$\cos 60^\circ = \frac{\text{ضلع مجاور}}{\text{وتر}} = \frac{L}{R} \Rightarrow L = R \cos 60^\circ = R \times \frac{1}{2}$$

$$\Rightarrow L = \frac{R}{2} = \frac{6/71}{2} = 3/355 m$$

در گام آخر، بار برف در پای شیب را به دست می آوریم. برای این منظور با توجه به داشتن  $C_s$  در پای قوس که در صورت سؤال داده شده است، داریم:

$$\frac{2P_r}{C_e} = \frac{2 \times 0/7 \times 0/1 \times 1 \times 0/9 \times 1 \times 1}{0/9} = 0/14 kN/m^2$$

در نهایت توزیع بارگذاری نامتوازن به صورت زیر به دست می آید:



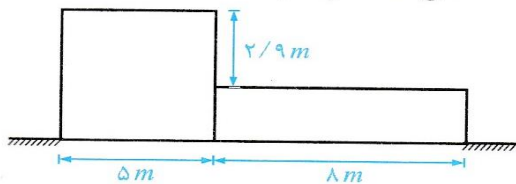


بام ساختمانی با دو تراز ارتفاعی در شکل زیر نشان داده شده است. بار برف زمین در محل قرارگیری این

ساختمان  $3 \text{ kN/m}^2$  بوده و ضرایب  $C_e$  و  $I_s$  برابر واحد است. در ساختمان سمت راست:

الف) بار برف متوازن چه قدر است؟

ب) آیا اثر انباشت برف باید لحاظ شود؟ در صورت مثبت بودن پاسخ، مقدار بار ناشی از انباشتگی برف و ناحیه اثر آن را محاسبه کنید.



● **حل:** برای پاسخ به این تمرین به صورت زیر عمل می کنیم:

الف) با توجه به این که این بام مسطح است، ضریب شیب نیز در آن واحد بوده و مقدار بار متوازن به صورت زیر به دست می آید:

$$P_r = 0.7 C_s C_t C_e I_s P_g = 0.7 \times 1 \times 1 \times 1 \times 1 \times 3 = 2.1 \text{ kN/m}^2$$

از سوی دیگر با توجه به این که بام مسطح بوده و مقدار برف زمین بیشتر از  $1 \text{ kN/m}^2$  می باشد، مقدار برف حداقل در ساختمان برابر است با:

$$P_m = I_s \Rightarrow P_m = 1 \text{ kN/m}^2$$

که این مقدار از مقدار برف محاسبه شده کمتر بوده و مقدار آن کنترل کننده نمی باشد.

ب) برای این که بفهمیم اثر انباشت برف را باید در نظر بگیریم یا خیر، باید  $h_b$  و  $h_c$  را با هم مقایسه کنیم. برای به دست آوردن ارتفاع برف متوازن، ابتدا چگالی برف را به دست می آوریم:

$$\gamma = 0.43 P_g + 2/2 = 0.43 \times 3 + 2/2 = 3.49 \text{ kN/m}^3 \Rightarrow h_b = \frac{P_g}{\gamma} = \frac{2.1}{3.49} = 0.6 \text{ m}$$

یا توجه به محاسبه  $h_d$ ، اختلاف تراز بام بالاتر تا سطح روی برف متوازن بام پایین تر برابر است با:

$$h_c = 2/9 - 0.6 = 2/3 \text{ m}$$

یا توجه به این که نسبت  $\frac{h_c}{h_b} = 3/8$  بزرگتر از  $0.2$  است؛ اثر برف انباشتگی باید در نظر گرفته شود.

برای تعیین مقدار بار ناشی از انباشتگی برف، ابتدا باید  $h_d$  (ارتفاع انباشتگی برف) را در دو حالت انباشت رو به باد و پشت به باد محاسبه کنیم و هر کدام که بزرگ تر بودند را به عنوان ارتفاع انباشتگی برف در نظر بگیریم.

- انباشت پشت به باد:

$$L_u = 5 \text{ m} \Rightarrow h_d = 0.12 \sqrt[3]{L_u} \sqrt[4]{100 P_g + 50} - 0.15 = 0.12 \sqrt[3]{5} \sqrt[4]{100 \times 3 + 50} - 0.15 = 0.38 \text{ m}$$

- انباشت رو به باد:

$$L_u = 8 \text{ m} \Rightarrow h_d = \frac{3}{4} (0.12 \sqrt[3]{L_u} \sqrt[4]{100 P_g + 50} - 0.15)$$

$$= 0.75 (0.12 \sqrt[3]{8} \sqrt[4]{100 \times 3 + 50} - 0.15) = 0.4 \text{ m}$$

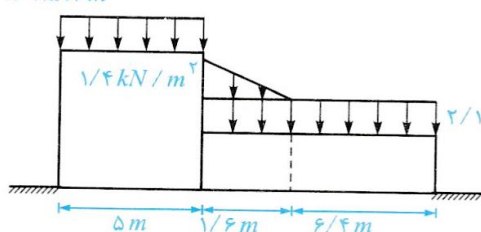
بنابراین  $h_d = 0.4 \text{ m}$  برای حالت انباشتگی رو به باد کنترل کننده خواهد بود. از طرفی بار انباشتگی برف به

صورت مثلثی با شدت  $P_d$  می باشد و مقدار این بار برابر است با:

$$P_d = \gamma h_d = 3.49 \times 0.4 \approx 1.4 \text{ kN/m}^2$$

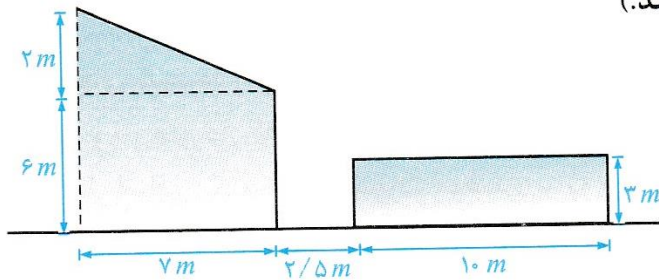
یا توجه به این که  $h_d = 0.4 < h_c = 2/3$  می باشد عرض مثلث بارگذاری از رابطه زیر به دست می آید:

$$2/1 \text{ kN/m}^2$$



$$w = 4 h_d = 4 \times 0.4 = 1.6 \text{ m}$$

دو ساختمان زیر که در مجاورت هم در شهر اردبیل قرار گرفته‌اند را در نظر بگیرید. توزیع بار برف بر روی بام مسطح را با در نظر گرفتن برف لغزنده به‌دست آورید. (فرض کنید سطح شیب‌دار لغزنده بوده و  $C_t = I_s = 1$  و  $C_e = 0.9$  و این ضرایب برای بام مسطح برابر واحد می‌باشد).



● **حل:** برای حل این سؤال، ابتدا بار متوازن بام مسطح را به‌دست می‌آوریم. با توجه به این که این ساختمان در شهر اردبیل قرار دارد (منطقه ۵)، بار برف زمین در آن برابر  $2 \text{ kN/m}^2$  خواهد بود و مقدار بار متوازن بام مسطح برابر است با:

$$P_r = 0.7 C_s C_t C_e I_s P_g = 0.7 \times 1 \times 1 \times 1 \times 2 = 1.4 \text{ kN/m}^2$$

با توجه به این که سقف شیب‌دار لغزنده بوده و شیب آن بیش از ۲ درصد است و همچنین فاصله دو ساختمان از  $4/5 \text{ m}$  کمتر بوده ( $2/5 \text{ m} < 4/5 \text{ m}$ ) و  $\frac{h}{d} = \frac{3}{2/5} > 1$  می‌باشد، باید اثر برف لغزنده بر بام مسطح را در نظر بگیریم. مقدار این بار برابر است با:

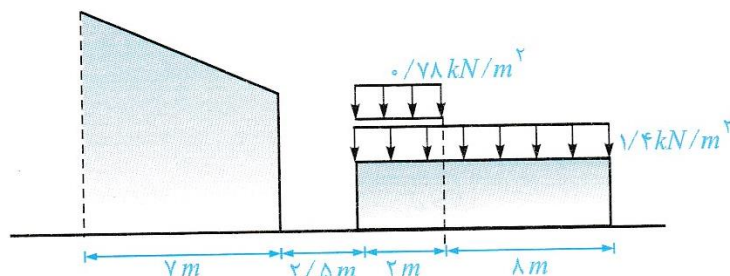
$$0.4 P_r w \left( \frac{4/5 - d}{4/5 C_s} \right) = 0.4 \times (0.7 \times C_s \times 1 \times 0.9 \times 1 \times 2) \times 7 \times \left( \frac{4/5 - 2/5}{4/5 \times C_s} \right) = 1.56 \text{ kN/m}$$

در این قسمت باید به نکات مهم زیر توجه کنید:

(۱) مقدار  $P_r$  مورد استفاده در این رابطه، باید برای بام شیب‌دار محاسبه گردد زیرا برف از روی بام شیب‌دار به روی بام مسطح می‌ریزد.

(۲) واحد مقدار به‌دست آمده برای برف‌انباشتگی کیلونیوتن بر متر است و به‌صورت یک بار خطی در طول  $4/5 - d$  (یعنی  $2 \text{ m}$ ) در نظر گرفته می‌شود. در صورتی که بار سطحی مورد نیاز باشد، این مقدار باید به طول  $4/5 - d$  تقسیم شود:

$$\text{شدت بار سطحی} = \frac{1.56}{4/5 - 2/5} = 0.78 \text{ kN/m}^2$$



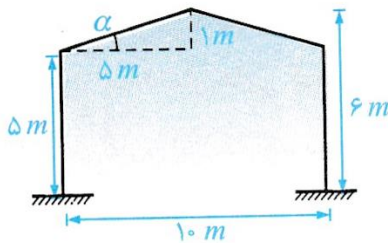
حالت ۲: در صورتی که ناهمواری در فاصله کمتر از ۵۰ متر ادامه پیدا کند ( $x_r < 0.105 km$ ):

$$C_e = C_{eo}$$

توجه شود که در دو حالت فوق،  $C_{er}$  ضریب بادگیری زمین در حالت ناهموار و  $C_{eo}$  ضریب بادگیری زمین در حالت باز می‌باشد.

در ادامه با حل یک تمرین، این بحث را با هم مرور می‌کنیم.

ضریب بادگیری خارجی را برای پناهگاه زیر که در اطراف شهر کلاردشت قرار گرفته است، محاسبه کنید. (اطراف این پناهگاه تا شعاع ۵۰۰ متری پوشش جنگلی وجود دارد، ساختمان کوتاه مرتبه است).



علی: در این ساختمان کوتاه مرتبه، ابتدا باید شیب سقف را حساب کنیم:

$$\alpha = \tan^{-1}\left(\frac{1}{5}\right) = 11.3^\circ$$

یا توجه به اینکه شیب سقف از ۷ درجه بیشتر می‌باشد، ارتفاع مبنا برای محاسبه فشار خارجی، از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$h = \max\left\{\frac{a+b}{2}, 6\right\} = \max\left\{\frac{5+6}{2}, 6\right\} = 6m$$

در ادامه ضریب بادگیری در دو حالت پرتراکم و باز از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$C_{er} = \max\left\{0.17, 0.17\left(\frac{6}{12}\right)^{1/3}\right\} = \max\{0.17, 0.156\} = 0.17$$

$$C_{eo} = \max\left\{0.19, \left(\frac{6}{10}\right)^{1/2}\right\} = 0.19$$

از طرفی با توجه به اینکه ناهمواری زمین کمتر از ۱۰۰۰ متر ادامه پیدا کرده است، ضریب بادگیری باید اصلاح گردد و داریم:

$$C_e = C_{er} \left[ 0.1816 + 0.1884 \log_{10} \left( \frac{10}{x_r - 0.105} \right) \right] \leq C_{eo}$$

$$\Rightarrow C_e = 0.17 \left[ 0.1816 + 0.1884 \log_{10} \left( \frac{10}{0.15 - 0.105} \right) \right] = 0.17 \times (1.06) = 0.174 \leq 0.19 \Rightarrow C_e = 0.174$$

توصیه می‌شود که به عنوان تمرین،  $C_e$  را برای محاسبه فشار داخلی نیز محاسبه کنید.



ضریب جهشی باد برای محاسبه فشار داخلی را برای یک انبار کالا با ابعاد پلان  $40 \times 90m$  و ارتفاع ۵ متر به دست آورید. (۵ درصد مساحت جانبی دیوارهای این انبار، باز شو در آن وجود دارد).

● **حل:** با توجه به اینکه در این سازه تیغه بندی وجود ندارد، ضریب جهشی داخلی با استفاده از رابطه زیر به دست می آید:

$$C_{gi} = 1 + \frac{1}{\sqrt{1 + \tau}}$$

از سوی دیگر باید توجه شود که متغیر  $\tau$  را می توانیم با استفاده از رابطه زیر به دست آوریم:

$$\tau = \frac{V_o}{6950A} \left( 1 + 1/42 \times 10^5 \frac{A_s}{V_o} \delta \right)$$

با توجه به نداشتن اطلاعات در مورد نمای ساختمان، به طور محافظه کارانه فرض می کنیم که سازه انعطاف پذیر نبوده و  $\delta = 0$  می باشد. در ادامه با محاسبه حجم فضا و مساحت بازشوها، ضریب  $C_{gi}$  برابر است با:

$$V_o = 40 \times 90 \times 5 = 18000 m^3$$

$$\text{(سازه ۴ دیوار بزرگ دارد)} \quad 1300 m^2 = 2 \times (40 \times 5) + 2 \times (90 \times 5) = \text{مساحت جانبی دیوارها}$$

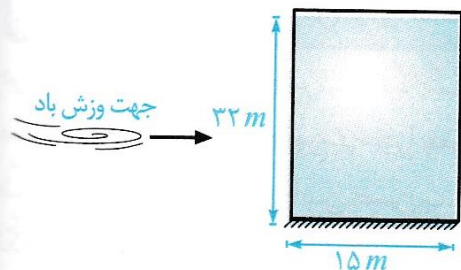
$$A = 0.05 \times 1300 = 65 m^2$$

← ۵ درصد
→ مساحت جانبی

$$\tau = \frac{18000}{6950 \times 65} \left[ 1 + 1/42 \times 10^5 \times \frac{A_s}{V_o} \times 0 \right] = 0.04 \Rightarrow C_{gi} = 1 + \frac{1}{\sqrt{1 + 0.04}} = 1.98$$

دقت شود که با توجه به صفر فرض کردن  $\delta$ ، عملاً نیازی به محاسبه  $A_s$  برای سازه نبود.

● **نتیجه:** در ساختمان های معمولی با ابعاد و درصد بازشوی متعارف، اثر پارامتر  $\tau$  کم بوده و فرض  $C_{gi} = 2$ ، فرض معقولی است (یعنی صرف نظر کردن از اثر  $\tau$ ).



در ساختمان بلندمرتبه نشان داده شده در شکل مقابل، پلان دارای ابعاد  $15 \times 20$  متر بوده و در داخل شهر کرمان ساخته شده است. توزیع فشار و مکش ناشی از باد که بر سازه این ساختمان در جهت نشان داده شده وارد می‌شود را حساب کنید. (فرض کنید

$$(C_g = 2 \text{ و } q = 10.36 \text{ kN/m}^2, I_w = 1)$$

فشار و مکش ناشی از باد، با استفاده از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$P = I_w q C_e C_g C_p$$

ضرایب  $I_w$ ،  $q$  و  $C_g$  در صورت مسأله داده شده‌اند، بنابراین برای محاسبه فشار ناشی از باد، باید ضرایب  $C_e$  و  $C_p$  را برای این ساختمان محاسبه کنیم.

برای محاسبه ضریب  $C_e$ ، ابتدا باید ارتفاع مبنای این ساختمان بلندمرتبه را محاسبه کنیم. بر اساس نکات ارائه شده در قسمت  $(1-B)$ ، در ساختمان‌های بلند ارتفاع مبنا برای وجه رو به باد ارتفاع واقعی نقطه از سطح زمین، برای بام برابر ارتفاع ساختمان و برای وجه پشت به باد، نصف ارتفاع ساختمان می‌باشد. بنابراین ضریب بادگیری  $C_e$  برای زمین پرتراکم شهر کرمان برابر است با:

$$C_e = \max \{0.17, 0.17 \left(\frac{h}{12}\right)^{0.3}\} = \max \{0.17, 0.17 \left(\frac{32}{12}\right)^{0.3}\} = 0.93$$

$$C_e = \max \{0.17, 0.17 \left(\frac{h}{12}\right)^{0.3}\} = \max \{0.17, 0.17 \left(\frac{2}{12}\right)^{0.3}\} = 0.176$$

ضریب  $C_e$  برای وجه رو به باد تا ارتفاعی که مقدار  $0.17 \left(\frac{h}{12}\right)^{0.3}$  برابر  $0.17$  گردد ثابت و برابر  $0.17$  خواهد بود.

$$0.17 \left(\frac{h}{12}\right)^{0.3} = 0.17 \Rightarrow \left(\frac{h}{12}\right)^{0.3} = 1 \Rightarrow h = 12 \text{ m}$$

بنابراین در ارتفاع بیشتر از  $12 \text{ m}$ ، مقدار  $C_e$  برای هر نقطه از رابطه  $0.17 \left(\frac{h}{12}\right)^{0.3}$  به دست می‌آید، برای مثال

برای ارتفاع بام این مقدار برابر  $0.93$  خواهد بود ( $h = 32 \text{ m}$ ).

بنابراین توزیع فشار و مکش وارد بر این ساختمان برابر است با:

وجه رو به باد:

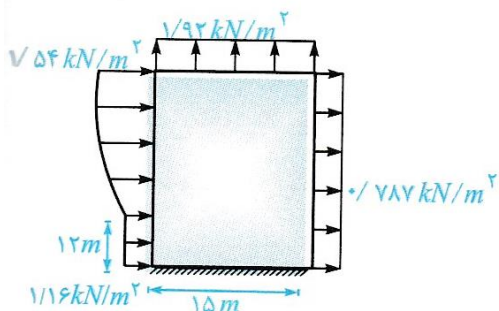
$$\frac{H}{D} = \frac{32}{15} = 2.13 > 1 \Rightarrow C_p = 0.18 \xrightarrow{h=32\text{m}} P = 1 \times 10.36 \times 0.93 \times 0.18 \times 2 = 1.54 \text{ kN/m}^2$$

$$h = 12 \text{ m} \Rightarrow C_e = 0.17 \Rightarrow P = 1 \times 10.36 \times 0.17 \times 0.18 \times 2 = 1.16 \text{ kN/m}^2$$

بام:

$$\frac{H}{D} = 2.13 > 1 \Rightarrow C_p = -1.0 \Rightarrow P = 1 \times 10.36 \times 0.93 \times (-1) \times 2 = -1.92 \text{ kN/m}^2$$

وجه پشت به باد:

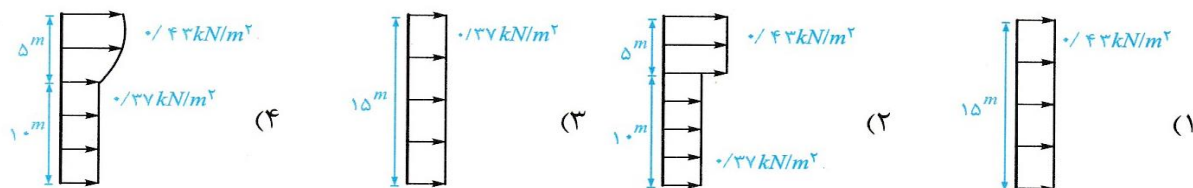
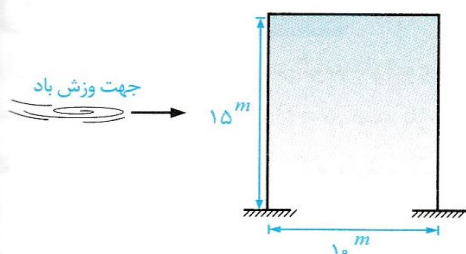


$$\frac{H}{D} = 2.13 > 1 \Rightarrow C_p = -0.15$$

$$P = 1 \times 10.36 \times 0.176 \times 2 \times (-0.15) = -0.787 \text{ kN/m}^2$$



در سازه نشان داده شده، توزیع نیروی باد روی دیوار پشت به باد برحسب کیلونیوتن بر مترمربع، مطابق کدام یک از گزینه‌های زیر است؟ (سازه بلندمرتبه و در داخل شهر کاشان می‌باشد، این سازه قاب یک ساختمان مسکونی است،  $C_g = 2$ )



● **هله:** با توجه به این که ساختمان در شهر کاشان است، مقدار فشار مبنای باد بر طبق جدول (۱) برابر  $q = 0.613 \text{ kN/m}^2$  می‌باشد و فشار یا مکش ناشی از باد در سازه برابر است با:

$$P = I_w q C_e C_p C_g$$

**تعیین  $I_w$ :** با توجه به کاربری مسکونی سازه، گروه اهمیت سازه ۳ بوده و با توجه به جدول (۲) ضریب اهمیت آن برابر یک است.

**تعیین  $h$  و  $C_e$ :** با توجه به این که سازه بلندمرتبه است، ارتفاع مبنای آن برای وجه پشت به باد، نصف ارتفاع ساختمان در نظر گرفته می‌شود.

$$h = \frac{15}{2} = 7.5 \text{ m}$$

از طرفی ساختمان داخل شهر قرار دارد، بنابراین برای محاسبه ضریب بادگیری،  $C_e$  را برای زمین پرتراکم در نظر گرفته و داریم:

$$C_e = \max \left\{ 0.17, 0.17 \left( \frac{h}{12} \right)^{0.3} \right\} = \max \left\{ 0.17, 0.17 \left( \frac{7.5}{12} \right)^{0.3} \right\} = \max \{ 0.17, 0.161 \} = 0.17$$

**تعیین  $C_p$ :** ضریب فشار خارجی ( $C_p$ ) برای وجه پشت به باد با استفاده از شکل ارائه شده در قسمت (۴-D) به دست آمده و داریم:

$$\frac{H}{D} = \frac{15}{10} = 1.5 > 1 \Rightarrow C_p = -0.15$$

در نهایت برای محاسبه  $P$  در وجه پشت به باد، خواهیم داشت:

$$P = 1 \times 0.613 \times 0.17 \times (-0.15) \times 2 = -0.43 \text{ kN/m}^2$$

بنابراین گزینه (۱) صحیح است.

● **هله:** برای طراحی بام یک ساختمان صنعتی با مساحت  $100 \text{ m}^2$  و ارتفاع کل کمتر از ۶ متر واقع در داخل شهر کرج، مقدار مکش ناشی از باد برحسب دکانیوتن بر متر مربع، در نواحی غیر پیرامونی بام به کدام یک از مقادیر زیر نزدیکتر است؟ (ضریب  $C_p C_g$  برای سقف برابر ۲- فرض شود).

۹۶ (۴)

۶۴ (۳)

۸۵ (۲)

۸۰ (۱)

● **هله:** با توجه به قسمت (۱-B) ارتفاع مبنای سازه برای ساختمان‌های کوتاه مرتبه  $\{ 6 \text{ m}, \text{ ارتفاع متوسط} \}$  در نظر گرفته می‌شود که در اینجا برابر ۶ متر است. هم‌چنین سازه موردنظر در نواحی شهری (پر تراکم) بوده و ضریب بادگیری آن با استفاده از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$C_e = \max \left\{ 0.17, 0.17 \left( \frac{h}{12} \right)^{0.3} \right\} = \max \left\{ 0.17, 0.17 \left( \frac{6}{12} \right)^{0.3} \right\} = 0.17$$

از طرفی در جدول (۱) در سنامه، فشار مبنای باد شهر کرج داده نشده است، در این گونه موارد فرض می‌شود که فشار مبنای باد در شهر کرج مطابق شهر تهران و برابر  $0.613 \text{ kN/m}^2$  باشد.

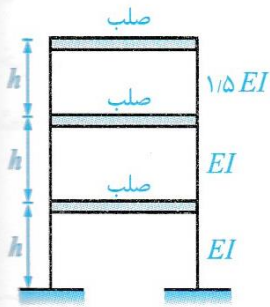
از طرفی ساختمان‌های صنعتی در گروه خطرپذیری ۳ قرار می‌گیرند و ضریب اهمیت آن‌ها ۱ می‌باشد. بنابراین فشار وارد بر سقف را با استفاده از رابطه زیر به دست می‌آوریم:

$$P = I_w C_e C_p C_g = 1 \times 0.613 \times 0.17 \times (-2) = -0.85 \text{ kN/m}^2 = -850 \text{ N/m}^2 = -85 \text{ dN/m}^2$$

بنابراین گزینه (۲) صحیح می‌باشد.



در قاب روبه‌رو، تحت اثر بارهای ناشی از زلزله، مقاومت جانبی طبقات اول و دوم و سوم به ترتیب  $8\text{ ton}$ ،  $9\text{ ton}$  و  $10\text{ ton}$  می‌باشد. گزینه صحیح، کدام است؟



(۱) در این قاب طبقه نرم وجود دارد.

(۲) در این قاب طبقه ضعیف وجود دارد.

(۳) در این قاب طبقه نرم و طبقه ضعیف وجود ندارد.

(۴) در این قاب هم طبقه نرم و هم طبقه ضعیف وجود دارد.

● **حل:** در قاب موردنظر، سختی طبقه دوم  $0.67$  برابر  $(\frac{1EI}{1/5EI})$  سختی طبقه سوم می‌باشد، بنابراین مطابق مورد (۲) از نکات نظم، طبقه دوم به عنوان طبقه نرم در نظر گرفته می‌شود.

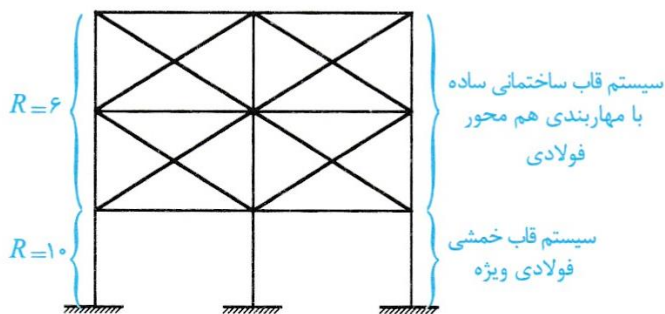
● **دقت:** با توجه به اینکه ارتفاع طبقات یکسان است و سقف‌ها صلب می‌باشند، می‌توان گفت سختی آنها با  $EI$  متناسب است و نسبت سختی‌ها، همان نسبت  $EI$  است. از طرفی با توجه به مقاومت‌های داده شده برای هر طبقه داریم:

$$\frac{\text{مقاومت طبقه ۱}}{\text{مقاومت طبقه ۲}} = \frac{8\text{ ton}}{9\text{ ton}} = 0.89 > 0.8$$

$$\frac{\text{مقاومت طبقه ۲}}{\text{مقاومت طبقه ۳}} = \frac{9\text{ ton}}{10\text{ ton}} = 0.9 > 0.8$$

بنابراین مطابق مورد (۳) از قسمت (۲) درسنامه، در این قاب، طبقه ضعیف وجود ندارد. گزینه (۱) صحیح است.

ساختمان سه طبقه‌ای مطابق شکل زیر از سیستم‌های مختلف سازه‌ای در ارتفاع تشکیل شده است. زمان تناوب قسمت بادی شده فوقانی به تنهایی برابر با  $0.3$  ثانیه و زمان تناوب کل سازه  $0.4$  ثانیه است. در صورتی که سختی جانبی متوسط طبقات بادی شده،  $40$  برابر سختی متوسط طبقه تحتانی باشد، مقدار ضریب رفتار،  $R$ ، را برای این ساختمان تعیین کنید.



(۱) ضریب رفتار کل سازه برابر با  $6$  منظور می‌گردد.

(۲) ضریب رفتار کل سازه برابر با  $10$  منظور می‌گردد.

(۳) ضریب رفتار کل سازه برابر متوسط دو مقدار  $6$  و  $10$  یعنی  $8$  می‌باشد.

(۴) کل سازه با روش دو مرحله‌ای و با منظور نمودن ضرایب رفتار مربوطه برای قسمت‌های فوقانی و تحتانی، مطابق ضوابط مبحث ششم مقررات ملی ساختمان محاسبه می‌گردد.

● **حل:** هنگامی که دو سیستم سازه‌ای متفاوت در ارتفاع ساختمان به کار رفته باشد، مقدار ضریب رفتار ( $R$ ) برابر کوچک‌ترین مقدار ضریب رفتار هر یک از دو سیستم در نظر گرفته می‌شود.

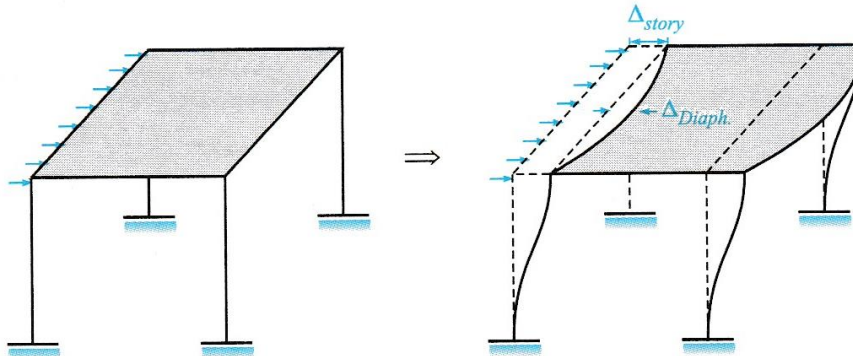
در این ساختمان، از دو سیستم قاب ساختمانی ساده همراه مهاربندهای هم‌محور فولادی و قاب خمشی فولادی ویژه استفاده شده است، که ضریب رفتار آنها به ترتیب  $6$  و  $10$  می‌باشد. بنابراین ضریب رفتار کل سازه، برابر ضریب رفتار کوچکتر، یعنی  $R = 6$  در نظر گرفته می‌شود. لذا گزینه (۱) صحیح است.

### ب) دیافراگم انعطاف پذیر

در صورتی که  $\frac{\Delta_{story}}{\Delta_{diaph}} \leq 2$  باشد و یا تکیه گاه های دیافراگم سختی زیادی داشته باشند، دیافراگم انعطاف پذیر محسوب می شود.

در این حالت نیروی جانبی در اعضای قائم سیستم باربر جانبی، با توجه به پشتمه باربر هر کدام (نصف طول دهانه از هر طرف) در آنها توزیع می شود.

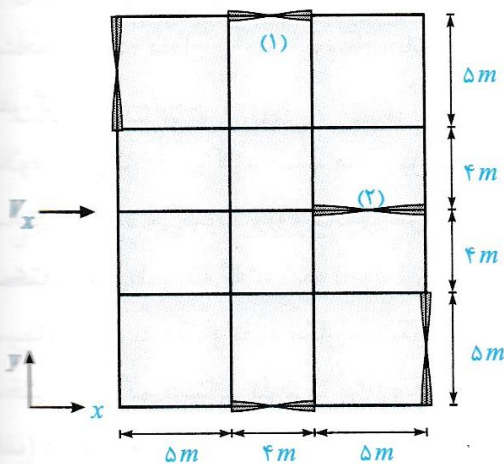
در شکل زیر،  $\Delta_{diaph}$  و  $\Delta_{story}$  در یک سازه فرضی نشان داده شده است.



لازم به ذکر است اعضای قائم (دیوارها و ستون ها) مشابه تکیه گاه برای دیافراگم عمل می کنند.

در ادامه با حل دو تمرین، این موضوع را مرور می کنیم.

در پلان زیر با فرض این که دیافراگم انعطاف پذیر باشد، نیروی مهاربندهای ۱ و ۲ را تحت اثر نیروی زلزله  $V_x$ ، محاسبه نمایید.



📌 **نکته:** با توجه به این که دیافراگم انعطاف پذیر است، بنابراین نیروی زلزله به نسبت سطح باربر مهاربندها در آنها توزیع می شود.

بنابراین با توجه به عرض بارگیر هر مهاربند، نیروی وارد بر هر یک برابر است با:

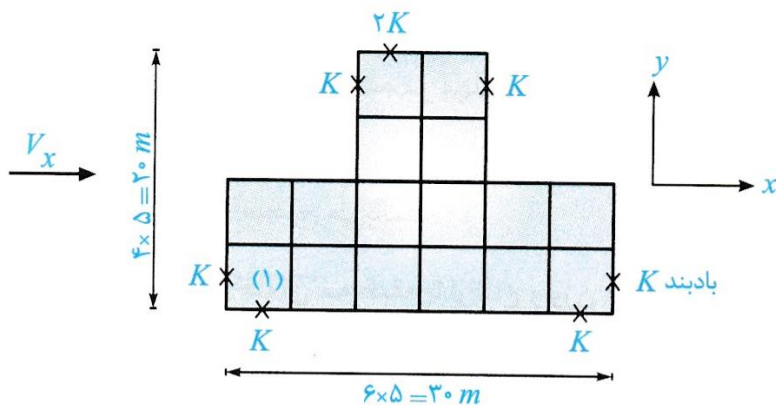
$$(1) \text{ نیروی بادبند } V_1 = \frac{\text{عرض بارگیر بادبند (1)}}{\text{کل عرض بارگیر}} V = \frac{\frac{5}{2}}{5+4+4+5} V = 0.14V$$

$$(2) \text{ نیروی بادبند } V_2 = \frac{\text{عرض بارگیر بادبند (2)}}{\text{کل عرض بارگیر}} V = \frac{\frac{4}{2} + \frac{4}{2}}{5+4+4+5} V = 0.22V$$

تذکر: مهاربندهای جهت  $y$ ، در تحمل نیروی  $V_x$  نقشی ندارند.



ساختمانی با پلان زیر در نظر است. ساختمان در دو جهت دارای سیستم سازه‌ای قاب فضایی ساده همراه با بادبندی است. مقدار برش در یکی از طبقات تیپ  $V_x = 150t$  است. شدت بار مؤثر (بار مرده به اضافه مشارکت بار زنده) به طور متوسط برابر با  $1/7t/m^2$  در سطح طبقه است. با در نظر گرفتن برون محوری اتفاقی، بگویید حداکثر مقدار برش در بادبند (۱) چه اندازه است. (سختی بادبندها روی شکل نشان داده شده است)



- ۴۳/۳t (۱)
- ۴۱/۷t (۲)
- ۴۰/۰t (۳)
- ۳۹/۲t (۴)

● **هله:** میزان برشی که در مهاربند (۱) ایجاد می‌شود، ناشی از توزیع  $V_x$  بین مهاربند  $(V_{x1})$  و همچنین ناشی از پیچشی است که در اثر فاصله مرکز جرم و سختی (و همچنین خروج از مرکزیت اتفاقی) در پلان ایجاد می‌شود  $(V_{xp})$ .

با توجه به این که نیروی برشی  $V_x$  به نسبت سختی بین مهاربندهای جهت  $x$  توزیع می‌شود،  $V_{x1}$  برابر است با:

$$V_{x1} = \frac{k_1}{\sum k_i} V_x = \frac{k}{k + k + 2k} \times 150 = 37/5t$$

**تذکر:** در رابطه فوق  $\sum k_i$ ، مجموع سختی بادبندها در راستای  $x$  می‌باشد.

برای محاسبه  $V_{xp}$ ، ابتدا محل مرکز جرم و مرکز سختی، با توجه به مرکز مختصات داده شده تعیین می‌شود (دقت شود با توجه به این که نیروی برشی در راستای  $x$  داده شده فقط مؤلفه  $y$  مرکز جرم و سختی محاسبه می‌شود). با توجه به توزیع یکنواخت بار مرده در سطح طبقه، مؤلفه  $y$  مرکز جرم برابر است با:

$$Y_m = \frac{\sum w_i y_i}{\sum w_i} = \frac{30 \times 10 \times (-5) + 10 \times 10 \times 5}{30 \times 10 + 10 \times 10} = -2/5 m$$

$$Y_s = \frac{\sum k_{xi} y_i}{\sum k_{xi}} = \frac{2 \times k \times (-10) + 2k \times 10}{k + k + 2k} = 0$$

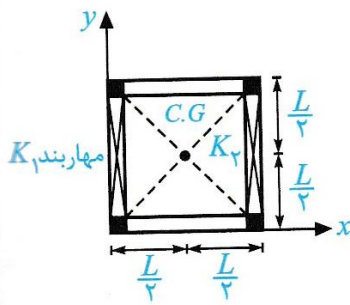
بنابراین فاصله مرکز جرم و سختی در این طبقه برابر  $2/5$  متر می‌باشد. از طرفی مقدار خروج از مرکزیت اتفاقی نیز برابر  $0/05$  بعد ساختمان در راستای  $y$  می‌باشد. همچنین این خروج از مرکزیت باید در جهتی که بیشترین تأثیر را دارد، اعمال شود.

بنابراین فاصله مرکز جرم و سختی با در نظر گرفتن خروج از مرکزیت اتفاقی، برابر  $\bar{e}_y = 2/5 + 1 = 3/5 m$  نظر گرفته می‌شود. در این صورت پیچش ایجاد شده در طبقه برابر است با:

$$M = V_x \times \bar{e}_y = 150 \times 3/5 = 525 t.m$$



یک ساختمان سه طبقه با ارتفاع و وزن طبقات یکسان و زمان تناوب کمتر از  $0.6$  ثانیه با نیروی برش پایه  $V$  مفروض است. لنگر پیچشی مؤثر به طبقه اول (پایین ترین طبقه) ناشی از نیروی زلزله در جهت  $y$  به کدام یک از مقادیر زیر نزدیک تر است؟ ( $k_1$  و  $k_2$  سختی جانبی مهاربندها می باشد)



اول طبقه  $k_1 = k$  ,  $k_2 = 1/5 k$

دوم طبقه  $k_1 = k_2 = k$

سوم طبقه  $k_1 = k_2 = k$

(۲)  $0.15 VL$

(۴)  $0.067 VL$

(۱)  $0.1 VL$

(۳) صفر

● **هله:** با توجه به شکل، مرکز جرم طبقه در محل مرکز سطح آن می باشد. با توجه به این که نیروی زلزله در جهت  $y$  اعمال می شود، مختصات مرکز سختی طبقه اول در راستای  $x$ ، مطابق رابطه (۱) درسنامه، به صورت زیر تعیین می شود:

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

$$X_{s_1} = \frac{k_1 \times 0 + k_2 \times L}{k_1 + k_2} = \frac{1/5 k L}{k + 1/5 k} = 0.06 L$$

با توجه به موقعیت مرکز سختی طبقه اول ( $X_{s_1} = 0.06 L$ ) و همچنین توجه به اینکه مرکز جرم همه طبقات در مرکز طبقات قرار دارد، نتیجه می شود که خروج از مرکزیت نیروی برشی همه طبقات نسبت به مرکز سختی طبقه اول برابر  $0.1 L$  است. با لحاظ کردن ۵ درصد بعد سازه برای خروج از مرکزیت تصادفی، مطابق رابطه (۲۱) درسنامه، داریم:

$$M_1 = \sum_{j=1}^3 (e_{1j} + e_{aj}) F_j = (0.1 L + 0.05 L) F_1 + (0.1 L + 0.05 L) F_2 + (0.1 L + 0.05 L) F_3$$

$$M_1 = 0.15 L \times (F_1 + F_2 + F_3) = 0.15 L \times V = 0.15 VL$$

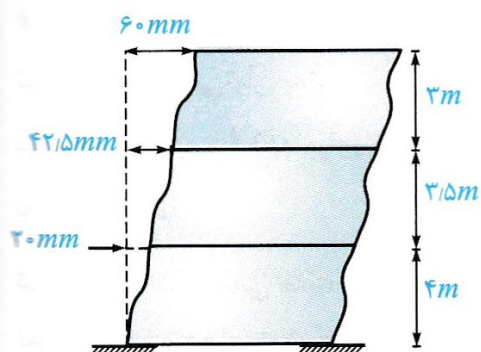
برابر برش کل است.

بنابراین گزینه (۲) صحیح است.

یک ساختمان سه طبقه با سیستم سازه‌ای از نوع قاب خمشی متوسط و زمان تناوب اصلی ۰/۶ ثانیه و با ارتفاع طبقات به ترتیب از پایین به بالا برابر ۴ متر، ۳/۵ متر و ۳ متر مفروض می‌باشد. در صورتی که براساس تحلیل استاتیکی معادل و با در نظر گرفتن اثرات  $P - \Delta$ ، تغییر مکان جانبی ناشی از زلزله طرح نسبت به تراز پایه در طبقات اول تا سوم به ترتیب برابر ۲۰ میلی‌متر، ۴۲/۵ میلی‌متر و ۶۰ میلی‌متر باشد، تغییر مکان جانبی نسبی واقعی در کدام طبقه یا طبقات از مقدار مجاز بیشتر است؟

(۱) طبقه ۱ و ۲ (۲) طبقه ۱ (۳) طبقه ۲ و ۳ (۴) طبقه ۳

🔴 **هله:** تغییر مکان نسبی واقعی طبقه با منظور کردن اثر  $P - \Delta$  طبق رابطه زیر به دست می‌آید:



$$\bar{\Delta}_{Mi} = 0.7R \bar{\Delta}_{wi}$$

با توجه به جدول ۶ همان آیین‌نامه ضریب رفتار سیستم قاب خمشی متوسط ۷ می‌باشد بنابراین داریم:

$$\text{طبقه اول: } \bar{\Delta}_{wi} = 20 - 0 = 20 \text{ mm} \Rightarrow \bar{\Delta}_{Mi} = 0.7 \times 7 \times 20 = 98 \text{ mm}$$

$$\text{طبقه دوم: } \bar{\Delta}_{wi} = 42.5 - 20 = 22.5 \text{ mm} \Rightarrow \bar{\Delta}_{Mi} = 0.7 \times 7 \times 22.5 = 110.25 \text{ mm}$$

$$\text{طبقه سوم: } \bar{\Delta}_{wi} = 60 - 42.5 = 17.5 \text{ mm} \Rightarrow \bar{\Delta}_{Mi} = 0.7 \times 7 \times 17.5 = 85.75 \text{ mm}$$

با توجه به بند ۲-۵-۴ آیین‌نامه ۲۸۰۰، مقدار مجاز تغییر مکان نسبی با منظور کردن اثر  $P - \Delta$  برای ساختمان‌های با زمان تناوب اصلی کمتر از ۰/۷ ثانیه برابر است با:

$$\bar{\Delta}_M < 0.025 \times \text{ارتفاع طبقه}$$

بنابراین تغییر مکان مجاز هر طبقه برابر است با:

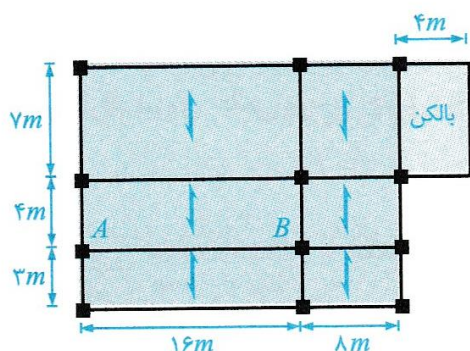
$$\text{از مقدار مجاز کمتر است. } 98 < 100 \checkmark \Rightarrow \bar{\Delta} < 4000 \times 0.025 \text{ طبقه اول}$$

$$\text{از مقدار مجاز بیشتر است. } 110.25 \not< 87.5 \Rightarrow \bar{\Delta}_M < 3500 \times 0.025 \text{ طبقه دوم}$$

$$\text{از مقدار مجاز بیشتر است. } 85.75 \not< 75 \Rightarrow \bar{\Delta}_M < 3000 \times 0.025 \text{ طبقه سوم}$$

بنابراین تغییر مکان واقعی طبقات دوم و سوم از مقدار مجاز بیشتر بوده و گزینه (۳) صحیح می‌باشد.

پلان تیرریزی ساختمان مسکونی با سقف بتن پیش تنیده در شهر گرمسار مطابق شکل زیر می باشد،  
نسبت نیروی قائم ناشی از زلزله در تیر AB به نیروی قائم ناشی از زلزله در بالکن طره ای، کدام است؟



بار مرده طبقه: ۶ کیلو نیوتن بر مترمربع

بار زنده طبقه: ۳ کیلو نیوتن بر متر مربع

۰/۵ (۱)

۰/۸۵ (۲)

۱/۵ (۳)

۲ (۴)

**حل:** ساختمان های مسکونی جزء سازه های با اهمیت متوسط بوده، بنابراین ضریب اهمیت آنها برابر ۱ می باشد. مطابق پیوست (۱) آیین نامه ۲۸۰۰، شهر گرمسار جزء مناطق با خطر لرزه خیزی زیاد بوده و نسبت شتاب مبنای طرح آن مطابق جدول (۱) درسنامه، برابر ۰/۳ می باشد. بار زنده وارد بر طره ۱/۵ برابر بار وارد بر کف اتاق مجاور آن است بنابراین بار زنده این بالکن را ۴/۵ کیلونیوتن بر متر مربع در نظر می گیریم. با توجه به سطح بارگیر تیر AB داریم:

$$W_{P_{AB}} = (6 + 3) \times \left( \frac{4}{7} + \frac{3}{7} \right) \times 16 = 50.4 \text{ kN}$$

$$F_{v_{AB}} = 0.7 \times 0.3 \times 1.0 \times 50.4 = 10.584 \text{ kN}$$

$$W_{P_{\text{بالکن}}} = (6 + 4/5) \times 4 \times 7 = 294 \text{ kN}$$

$$F_v = 2 \times 0.7 \text{ AIW}_p$$

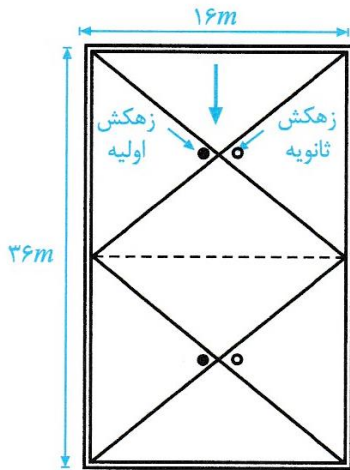
$$F_{v_{\text{بالکن}}} = 1/4 \times 0.3 \times 1.0 \times 294 = 123.48 \text{ kN}$$

$$\frac{F_{v_{AB}}}{F_{v_{\text{بالکن}}}} = \frac{10.584}{123.48} = 0.085$$

بنابراین گزینه (۲) صحیح است.



ساختمانی دارای زهکش ثانویه به قطر ۱۰۰ میلی‌متر و ارتفاع ۱۰ سانتی‌متر از سطح بام می‌باشد. در صورتی که شدت بارش باران طرح ۷۰ میلی‌متر بر ساعت در نظر گرفته شود، بار ناشی از آب باران وارد بر این بام چقدر است؟



● حل: ابتدا با استفاده از رابطه‌ی زیر، دبی جریان ورودی را به دست می‌آوریم:

$$Q = 0.278 \times 10^{-6} A i = 0.278 \times 10^{-6} \times 18 \times 16 \times 70 = 5604/5 \times 10^{-6} m^3/s = 0.0056 m^3/s$$

دقت شود که بام به دو سیستم زهکش مجهز است و سهم مساحت برای هر یک از آنها،  $18 \times 16$  مترمربع می‌باشد.

برای به دست آوردن ارتفاع هیدرولیکی با توجه به نبودن  $Q = 0.0056 m^3/s$  در جدول (۱) برای زهکش با قطر ۱۰۰ میلی‌متر، از روش درونیابی خطی استفاده کرده و داریم:

$$\begin{cases} 25 & 0.0051 \\ d_h & 0.0056 \\ 50 & 0.0107 \end{cases} \Rightarrow \frac{25 - d_h}{25 - 50} = \frac{0.0051 - 0.0056}{0.0051 - 0.0107} \Rightarrow d_h = 27.23 mm$$

از طرفی با توجه به صورت سؤال، ارتفاع استاتیکی زهکش (ارتفاع زهکش از سطح بام) برابر ۱۰۰ میلی‌متر می‌باشد:

$$d_s = 100 mm$$

و در مجموع بار ناشی از آب باران برابر است با:

$$R = 0.01 \times (d_s + d_h) = 0.01 \times (100 + 27.23) = 1.27 kN/m^2$$