



● **هله:** برای حل این سؤال، ابتدا بار متوازن بام مسطح را به دست می آوریم. با توجه به این که این ساختمان در شهر اردبیل قرار دارد (منطقه ۵)، بار برف مبنا در آن برابر 2 kN/m^2 خواهد بود و مقدار بار متوازن بام مسطح برابر است با:

$$P_{r1} = I_s C_n C_h C_s P_s = 1 \times 1 \times 1 \times 1 \times 2 = 2 \text{ kN/m}^2$$

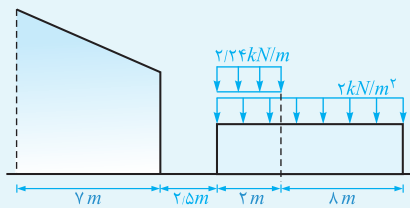
با توجه به این که سقف شیبدار لغزنده بوده و شیب آن بیش از ۲ درصد است و همچنین فاصله دو ساختمان از $4/5 \text{ m}$ کمتر بوده ($2/5 \text{ m} < 4/5 \text{ m}$) و $\frac{h}{d} = \frac{6-3}{2/5} > 1$ می باشد، باید اثر برف لغزنده بر بام مسطح را در نظر بگیریم. مقدار این بار در واحد طول گسترده خطی برابر است با:

$$0/4 P_{r1} W \left(\frac{4/5 - d}{4/5 C_s} \right) = 0/4 \times (1 \times 0/9 \times 1 \times C_s \times 2) \times 2 \times \left(\frac{4/5 - 2/5}{4/5 \times C_s} \right) = 2/24 \text{ kN/m}$$

در این قسمت باید به نکات مهم زیر توجه کنید:

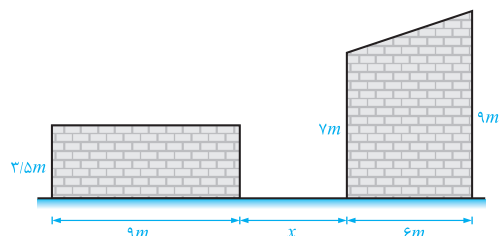
(۱) مقدار P_{r1} برای بام شیبدار محاسبه می گردد زیرا برف از روی بام شیبدار به روی بام مسطح می ریزد.

(۲) واحد مقدار به دست آمده برای برف انباشتهگی کیلونیوتن بر متر است و به صورت یک بار خطی در طول $4/5 - d$ (یعنی 2 m) در نظر گرفته می شود. این موضوع یعنی اگر شدت بار سطحی آن را بخواهیم، باید آن را به بعد عمود بر صفحه بام تقسیم کنیم.



بررسی چندمترین

تجربین ۲۳: دو ساختمان صنعتی در مجاورت یکدیگر در شهر مریوان ساخته شده اند. چنانچه با در نظر گرفتن برف لغزنده، حداکثر بار برف روی بام مسطح برابر $3/96 \text{ kN/m}^2$ باشد، فاصله دو ساختمان (x) به کدام یک از گزینه های زیر نزدیک تر است؟ (برای هر دو ساختمان $C_h = 1$ است. همچنین بام شیبدار، لغزنده و دارای $C_n = 0/9$ بوده و بام مسطح دارای $C_n = 1$ است.)



- (۱) $1/5 \text{ m}$
- (۲) $2/5 \text{ m}$
- (۳) $3/5 \text{ m}$
- (۴) $4/5 \text{ m}$

(مماسیات - مهر ۹۸، با تغییر)

● **حل:** ابتدا روند حل مدنظر طراح سؤال را انجام می‌دهیم. با توجه به نکات ارائه شده، برف لغزنده و برف متوازن به‌طور همزمان در طراحی سازه لحاظ می‌شوند. از طرفی $h = 7 - 3/5 = 3/5 m$ بوده و می‌دانیم برف لغزنده برای حالتی محسوب می‌شود که $h > d$ و $d < 4/5 m$ باشد. با توجه به لحاظ شدن لغزندگی در این سؤال، فاصله d باید کمتر از این دو مقدار ($4/5 m$, $h = 3/5 m$) باشد و گزینه‌های (۳) و (۴) نادرست می‌باشند. در ادامه برای محاسبه x ، گام‌های زیر را طی می‌کنیم:
گام ۱ (یافتن ارتفاع برف متوازن در بام مسطح):

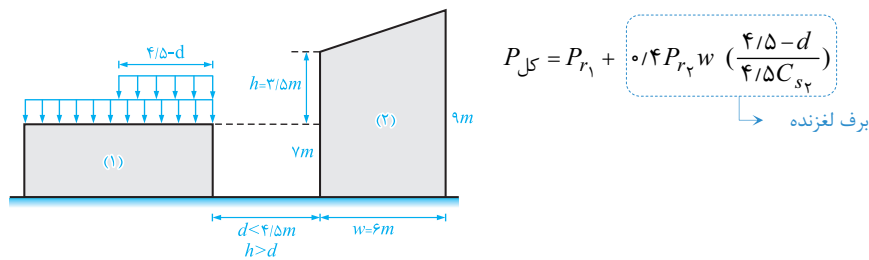
$$P_s = 2 \text{ kN/m}^2 \Rightarrow \text{منطقه } (5) \text{ مریوان}$$

$$I_s = 1, C_n = 1 \text{ (صورت سؤال)}, C_h = 1 \text{ (صورت سؤال)}, C_s = 1 \Rightarrow \text{بام افقی}$$

$$P_{r1} = I_s C_n C_h C_s P_s = 1 \times 1 \times 1 \times 1 \times 2 = 2 \text{ kN/m}^2$$

گام ۲ (یافتن برف متوازن قسمت شیب‌دار و برف لغزندی):

$$P_{r2} = I_s C_n C_h C_s P_s = 1 \times 0.9 \times 1 \times C_{s2} \times 2 = 1.8 C_{s2} \text{ kN/m}^2$$



$$P_{کل} = P_{r1} + 0.4 P_{r2} w \left(\frac{4/5 - d}{4/5 C_{s2}} \right)$$

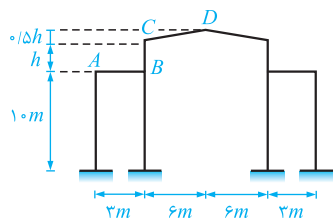
برف لغزنده

$$3/96 = 2 + 0.4 \times 1.8 C_{s2} \times 6 \times \left(\frac{4/5 - d}{4/5 C_{s2}} \right) \Rightarrow d = 2/46 m$$

دقت: این سؤال از لحاظ مفهومی غلط است، زیرا برف لغزنده یک بار گسترده خطی بوده و بار برف متوازن یک بار گسترده سطحی است و جمع کردن آنها به شکل مستقیم صحیح نمی‌باشد. حل فوق که بر مبنای ایده طراح سؤال بوده، این عمل را انجام داده است.
بنابراین سؤال نادرست بوده ولی منظور طراح گزینه (۲) بوده است.

تجربین ۲۴: در شکل زیر در صورتی که سطح قسمت شیب‌دار بام واقع در شهر تبریز، لغزنده نباشد، حداکثر مقدار h که نیازی به در نظر گرفتن اثر بار لغزنده برف روی قسمت تخت بام (AB)

نباشد، بر حسب متر به کدام یک از مقادیر زیر نزدیک‌تر است؟ (نظارت - مهر ۹۸)



۰/۹ (۱)

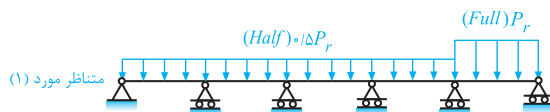
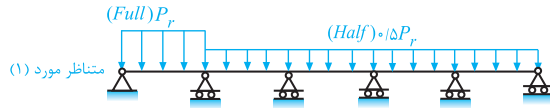
۱/۰ (۲)

۱/۲ (۳)

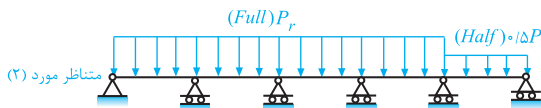
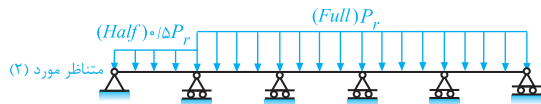
۱/۸ (۴)

● **هاله:** همان طور که گفتیم، برای بام‌های دارای تیرهای ممتد چند دهانه، حالت‌های زیر باید بررسی شود:

● **۱** بار کامل برف متوازن بر روی هر یک از دهانه‌های انتهایی و نیم بار برف متوازن بر روی سایر دهانه‌ها

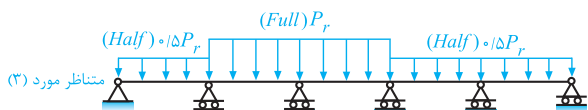
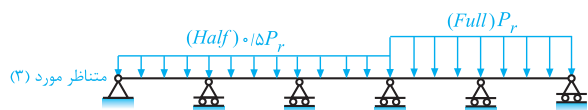
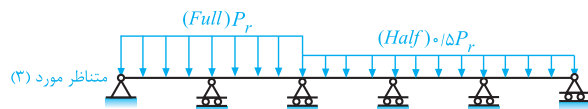
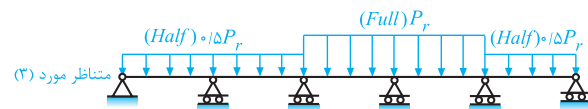


● **۲** نیم بار برف متوازن بر روی هر یک از دهانه‌های انتهایی و بار کامل متوازن بر روی سایر دهانه‌ها



● **۳** تمام ترکیب بارهای ممکن بار کامل برف متوازن بر روی دو دهانه مجاور و نیم بار برف متوازن بر روی سایر

دهانه‌ها که برای تیر موردنظر شامل موارد زیر می‌شود:

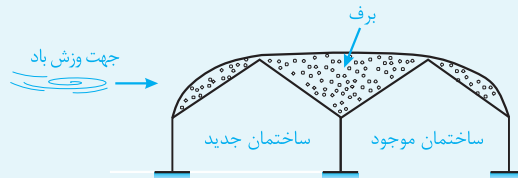


گزینه‌های (۱)، (۲)، (۳) و (۴) شبیه هیچ کدام از حالات فوق نیست، بنابراین این چهار گزینه جزء حالات الزامی نمی‌باشند. با توجه به این موضوع، همه گزینه‌ها صحیح می‌باشد و این تست از آزمون حذف شده است.

بررسی دو موضوع

۱ **ناپایداری برکه‌ای:** در طراحی بام باید بحث ناپایداری برکه‌ای بررسی شود. برای بام‌های با شیب کمتر از دو درصد و بام‌های با امکان انباشتگی آب، به دلیل گرفتگی آبرو، تغییر شکل بام بر اثر بار کامل برف، با لحاظ اثر برکه‌ای شدن باید محاسبه و ارزیابی شود.

۲ **بام ساختمان‌های موجود:** در مناطق ۵ و ۶ بار برف، در صورت ساخت ساختمان جدید به صورت چسبیده یا در فاصله کمتر از ۶ متر از ساختمان موجود، علاوه بر طراحی ساختمان جدید برای بار برف، اثرات اضافه شدن بار برف بر بام ساختمان موجود باید بررسی شود. ضمناً در مناطق ۳ و ۴ بار برف نیز در صورت ساخت ساختمان جدید به صورت چسبیده به ساختمان موجود (به عنوان نمونه مطابق شکل زیر)، اثر انباشتگی برف بر روی ساختمان‌های جدید و موجود باید در نظر گرفته شود.



بررسی یک‌ترین

(نظارت - فرداد ۹۳، با تغییر)

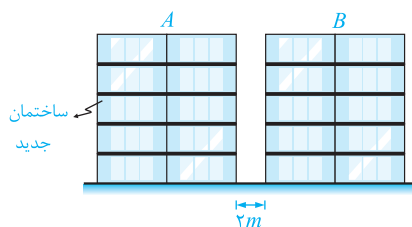
تجربین ۲۷: در صورتی که ساختمان A در شهر اردبیل بخواهد ساخته شود:

(۱) باید تأیید کتبی مالک ساختمان B را در رابطه با آگاهی از خطر احتمالی افزایش بار برف بام اخذ نماید.

(۲) باید خطرات احتمالی افزایش بار برف در بام B بررسی شود.

(۳) نیازی به تجدیدنظر در بار برف ساختمان B نمی‌باشد.

(۴) با پرداخت خسارت به مالک ساختمان B ، ساختمان A می‌تواند ساخته شود.

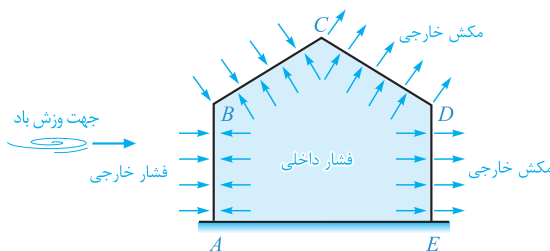


● **هاله:** براساس مطالب فوق در شهر اردبیل (منطقه ۵)، در صورت ساخت سازه جدید، امکان اضافه شدن بار برف بام‌های مجاور موجود باید بررسی شود. با توجه به اینکه در این سؤال فاصله دو ساختمان ۲ متر است، باید علاوه بر طراحی ساختمان جدید برای بار برف، اثرات اضافه شدن بار برف بر ساختمان B نیز بررسی شود و گزینه (۲) صحیح است.

تذکره: نیروی خالص باد، (F_t) ، برای کل ساختمان یا اجزاء پوششی ساختمان (اجزاء نما و پوشش بام) از جمع جبری حاصلضرب فشارها یا مکش‌های داخلی و خارجی وارد بر سطوح ساختمان (یا اجزاء) در مساحت سطوح ساختمان (یا اجزاء) به دست می‌آید.

$$F_t = \sum P_j A_j + \sum P_{ij} A_j \quad (7-3)$$

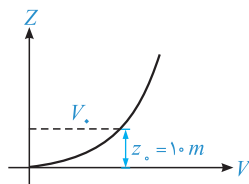
به عنوان مثال در شکل زیر، با فرض وجود بازشوهای زیاد در قسمت رو به باد، فشار داخلی و خارجی به صورت نشان داده شده در شکل می‌باشد. در این حالت، به عنوان مثال نیروی خالص وارد بر وجه‌های BC و CD با توجه به جمع جبری برابر است با:



$$F_{BC} = |P_{BC} \times A_{BC}| - |P_{iBC} \times A_{BC}|$$

$$F_{CD} = |P_{CD} \times A_{CD}| + |P_{iCD} \times A_{CD}|$$

۵-۱-۵- محاسبه سرعت و فشار مبنای باد (q)



سرعت باد یکی از مشخصات اساسی آن است که در ارتفاع سازه متغیر بوده و با افزایش ارتفاع از سطح زمین، افزایش می‌یابد. در نمودار مقابل، تغییرات سرعت باد نسبت به ارتفاع از سطح زمین، به صورت شماتیک نشان داده شده است:

از سوی دیگر، سرعت باد در طول زمان متغیر است و برای در نظر گرفتن این تغییرات، باید از متوسط سرعت استفاده کنیم. سازمان هواشناسی **سرعت مبنای باد** را که به طور مستقیم در محاسبات نیروی باد نقش دارد، سرعت متوسط در ارتفاع معادل $z_0 = 10 \text{ m}$ از سطح زمین در منطقه‌ای مسطح و بدون مانع در نظر می‌گیرد. اندازه این سرعت با توجه به آمار منطقه و بر اساس دوره بازگشت 50 ساله با احتمال وقوع کمتر از 2 درصد در طی یک سال، تعیین می‌گردد (به عبارتی احتمال فراگذشت از آن در سال، کمتر از 2 درصد برای دوره بازگشت 50 ساله است).

مقدار سرعت مبنای باد برای مناطق مختلف کشور، مطابق مبحث ششم مقررات ملی ساختمان ویرایش 1398 ، در جدول (۲) برای شهرهای مهم ارائه شده است.*

دقت شود برای مناطقی که نام آنها در جدول مبحث ششم ویرایش 1398 نیامده است، سرعت مبنای باد، برابر با مقدار سرعت در نزدیک‌ترین شهر موجود در جدول در نظر گرفته می‌شود.

* لیست کامل شهرها، در جدول (۶-۱۰-۱) مبحث ششم مقررات ملی ساختمان ویرایش 1398 آورده شده است.



تذکره: برای ساختمان‌هایی که بنا به اهمیت یا شکل خاص آن‌ها و شرایط توپوگرافی منطقه، نیاز به تأمین اطمینان بیشتر برای طراحی در برابر بار باد باشد، سرعت مبنای باد باید براساس مطالعات آماری و برای دوره بازگشت مساوی یا بیش از پنجاه سال تعیین گردد. این سرعت، در هیچ حالتی، نباید کمتر از ۸۰ کیلومتر در ساعت انتخاب شود.

فشار مبنای باد

فشار مبنای باد، فشاری است که بر اساس سرعت مبنای باد تعیین شده و عملاً فشاری است که در اثر وزش باد، در ارتفاع ۱۰ متری از سطح زمین به ساختمان وارد می‌شود. این فشار عمود بر سطح وزش باد در نظر گرفته شده و مقدار آن با توجه به سرعت مبنای باد، مطابق رابطه زیر از مبحث ششم مقررات ملی ساختمان به دست می‌آید:

$$q = 0.000613V^2 \xrightarrow{\text{مقایسه دو شهر}} \frac{q_2}{q_1} = \left(\frac{V_2}{V_1}\right)^2 \quad (۸-۳)$$

● **دقت:** در این رابطه، q فشار مبنای باد بر حسب کیلونیوتن بر مترمربع و V سرعت مبنای باد بر حسب متر بر ثانیه است.

در جدول زیر سرعت مبنای باد و فشار مبنای متناظر با آن، برای شهرهای مهم ارائه شده است:

جدول ۲: سرعت و فشار مبنای باد

ردیف	نام ایستگاه	سرعت مبنای باد (V) کیلومتر بر ساعت	فشار مبنای (q) کیلونیوتن بر مترمربع
۱	آبادان	۹۰	۰/۳۸
۲	آبعلی	۱۲۰	۰/۶۸
۳	اراک	۱۰۰	۰/۴۷
۴	اردبیل	۱۴۰	۰/۹۳
۵	ارومیه	۱۰۰	۰/۴۷
۶	اصفهان	۱۱۰	۰/۵۷
۷	اهواز	۱۱۰	۰/۵۷
۸	بجنورد	۱۴۰	۰/۹۳
۹	بندر انزلی	۱۲۰	۰/۶۸
۱۰	بندرعباس	۱۰۰	۰/۴۷
۱۱	بوشهر (فرودگاه)	۱۰۰	۰/۴۷
۱۲	بوشهر (ساحل)	۱۲۰	۰/۶۸
۱۳	بیرجند	۹۰	۰/۳۸
۱۴	تبریز	۱۱۰	۰/۵۷
۱۵	تهران	۱۰۰	۰/۴۷
۱۶	جزیره کیش	۱۰۰	۰/۴۷



ادامه جدول (۲)

فشار مبنا (q) کیلو نیوتن بر مترمربع	سرعت مبنای باد (V) کیلومتر بر ساعت	نام ایستگاه	ردیف
۰/۳۸	۹۰	چابهار	۱۷
۰/۳۸	۹۰	خرم‌آباد	۱۸
۰/۶۸	۱۲۰	دزفول	۱۹
۰/۵۷	۱۱۰	رامسر	۲۰
۰/۴۷	۱۰۰	رشت	۲۱
۰/۸	۱۳۰	زابل	۲۲
۰/۸	۱۳۰	زاهدان	۲۳
۰/۳۸	۹۰	زنجان	۲۴
۰/۳۸	۹۰	سمنان	۲۵
۰/۴۷	۱۰۰	سنندج	۲۶
۰/۳۸	۹۰	شاهرود	۲۷
۰/۳۸	۹۰	شهرکرد	۲۸
۰/۳۸	۹۰	شیراز	۲۹
۰/۵۷	۱۱۰	قزوین	۳۰
۰/۴۷	۱۰۰	قم	۳۱
۰/۴۷	۱۰۰	کاشان	۳۲
۰/۵۷	۱۱۰	کرج	۳۳
۰/۸	۱۳۰	کرمان	۳۴
۰/۳۸	۹۰	کرمانشاه	۳۵
۰/۴۷	۱۰۰	گرگان	۳۶
۰/۳۸	۹۰	مشهد	۳۷
۰/۹۳	۱۴۰	منجیل	۳۸
۰/۵۷	۱۱۰	نوشهر	۳۹
۰/۵۷	۱۱۰	همدان	۴۰
۰/۵۷	۱۱۰	یاسوج	۴۱
۰/۵۷	۱۱۰	یزد	۴۲

بررسی یک تمرین

تمرین ۱: اگر سرعت مبنای باد در محل A حدود $1/3$ برابر سرعت مبنای باد در محل B باشد، نسبت فشار مبنای باد در محل A به فشار مبنای باد در محل B حدوداً چقدر است؟ (مماسیات - فرداد ۹۳)

- (۱) $1/15$ (۲) $1/3$ (۳) $1/7$ (۴) 2

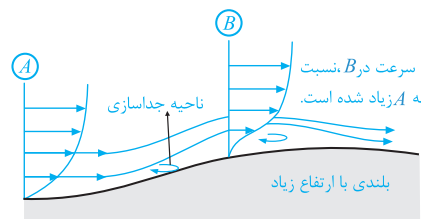
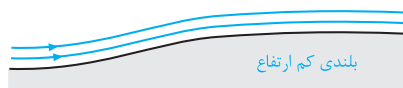
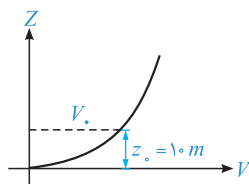
● **هله:** با توجه به رابطه (۳-۸) می توان نوشت:

$$\begin{cases} \frac{q_A}{q_B} = \left(\frac{V_A}{V_B}\right)^2 \\ V_A = 1/3 V_B \end{cases} \Rightarrow \frac{q_A}{q_B} = \left(\frac{1/3 V_B}{V_B}\right)^2 = 1/69 = 1/7$$

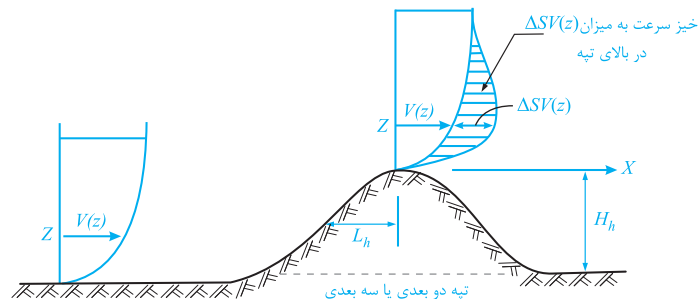
بنابراین گزینه (۳) صحیح است.

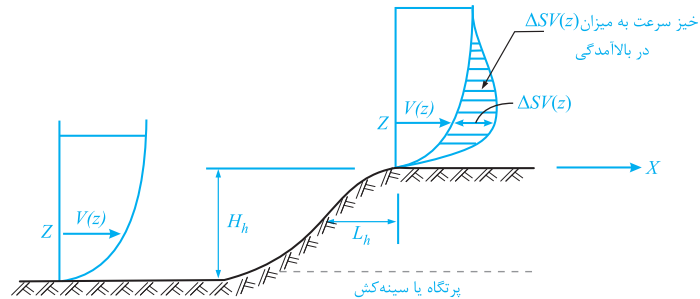
A-۶- ضریب پستی و بلندی زمین (C_f)

به طور کلی وجود پستی و بلندی در سطح زمین ناشی از توپوگرافی طبیعی زمین و یا عوارض ساخته شده توسط بشر نظیر پرتگاه‌های مصنوعی، می‌توانند به طور قابل ملاحظه‌ای باعث افزایش سرعت باد (خیز سرعت باد) شوند. در شکل زیر می‌توانیم تأثیر این ناهمواری‌ها را بر روی پروفیل سرعت باد مشاهده کنیم:



تذکر: مطابق مبحث ششم مقررات ملی ساختمان، ساختمان‌های واقع بر روی تپه یا پرتگاه با حداکثر شیب متوسط بزرگ‌تر از ۱ به ۱۰ (۱۰ درصد) مخصوصاً در نزدیک قله، ممکن است در معرض سرعت‌هایی به مراتب بزرگ‌تر از ساختمان‌هایی که روی سطح زمین مسطح هستند، قرار گیرند. آیین‌نامه در این‌گونه ساختمان‌ها، این موضوع را با استفاده از ضریب پستی و بلندی (C_f) در نظر می‌گیرد. این در حالی است که اگر شیب تپه و پرتگاه کمتر از ۱۰ درصد باشد، احتمال آنکه سرعت باد افزایش قابل توجهی داشته باشد، کم است و در این گونه موارد، $C_f = 1$ می‌باشد.





پارامترهای H_h و L_h در شکل‌های فوق عبارتند از:
 H_h : ارتفاع قله یا خط‌الرأس نسبت به زمین مسطح احاطه‌کننده تپه
 L_h : فاصله قله تا میانه نصف ارتفاع تپه در سمت رو به باد

$$\begin{cases} \frac{H_h}{\sqrt{L_h}} > 0.1 \Rightarrow \text{ضریب } C_f \text{ باید با کمک روابط محاسبه شود.} \\ \frac{H_h}{\sqrt{L_h}} \leq 0.1 \Rightarrow \text{ضریب } C_f = 1 \text{ در نظر گرفته می‌شود.} \end{cases}$$

مقدار این ضریب در حالت $\frac{H_h}{\sqrt{L_h}} > 0.1$ ، با استفاده از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$C_f = \left(1 + \frac{\Delta S}{C_g}\right) (1 + \Delta S) \quad (9-3)$$

در این رابطه، C_g ضرب اثر تندباد است که در قسمت‌های بعد آن را شرح می‌دهیم و برای محاسبه ضریب C_f ، نیاز به محاسبه نداشته و در روش استاتیکی برابر ۲ در نظر گرفته می‌شود. از طرفی پارامتر ΔS ، از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$\Delta S = \Delta S_{max} \left(1 - \frac{|x|}{K L_h}\right) e^{\left(\frac{-\alpha z}{L_h}\right)} \quad (10-3)$$

پارامترهای این رابطه، به شرح زیر است:

- ۱ پارامتر $|x|$ ، فاصله افقی محل ساختمان تا قله تپه و یا خط الرأس پرتگاه می‌باشد.
- ۲ پارامتر L_h ، فاصله قله تا میانه نصف ارتفاع تپه در سمت رو به باد است ($L_h \leq 2H_h$).
- ۳ پارامتر z ، ارتفاع نقطه مورد نظر از تراز سطح برآمدگی می‌باشد.

۴ پارامترهای ΔS_{max} ، α و K برای حالت‌های مختلف در جدول تعریف شده‌اند:

جدول ۳: پارامترهای محاسبه ΔS

K		α	ΔS_{max}	شکل تپه یا بالاآمدگی
$x < 0$	$x \geq 0$			
۱/۵	۱/۵	۳	$2/2 \left(\frac{H_h}{L_h} \right)$	تپه ممتد دو بعدی
۱/۵	۴	۲/۵	$1/3 \left(\frac{H_h}{L_h} \right)$	پرتگاه دو بعدی
۱/۵	۱/۵	۴	$1/6 \left(\frac{H_h}{L_h} \right)$	تپه سه بعدی متقارن محوری

به منظور استفاده از جدول فوق، دقت به موارد زیر ضروری است:

• برای نسبت $\frac{H_h}{L_h}$ ، حداکثر مقدار ۰/۵ را می‌توان در نظر گرفت ($\left(\frac{H_h}{L_h}\right) \leq 0.5$)

• جهت باد، همواره در جهت حداکثر شیب مطابق شکل‌های دو صفحه قبل فرض می‌شود.

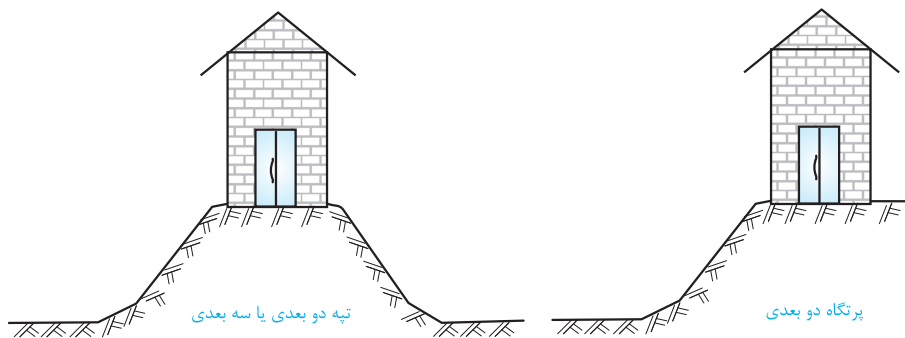
• مقدار x با حرکت از قله تپه در راستای وزش باد مثبت و در خلاف جهت آن منفی خواهد بود.

تذکره: جهت محاسبه ضریب C_f به ترتیب زیر عمل می‌کنیم:

گام (۱): ابتدا باید مشخص کنیم که ساختمان مورد نظر بر روی چه نوع ناهمواری قرار دارد. انواع ناهمواری‌های ذکر شده در مبحث ششم (پیرامون محاسبه ضریب C_f) عبارتند از:

- تپه ممتد دو بعدی - تپه سه بعدی متقارن محوری - پرتگاه دو بعدی

در اینجا ما با رسم شکل‌های شماتیک زیر، این نوع ناهمواری‌ها را نمایش داده‌ایم. البته نوع ناهمواری در صورت نیاز در سؤال ذکر می‌شود.



گام (۲): برای ناهمواری مطرح شده باید پارامترهای H_h و L_h را بیابیم که عبارتند از:

H_h : ارتفاع قله یا خط‌الرأس نسبت به زمین مسطح اطراف تپه

L_h : فاصله افقی قله تا میانه ارتفاع تپه یا پرتگاه در سمت رو به باد

نکته: در تپه‌ها جهت باد، از سمت شیب بیشتر باید در نظر گرفته شود.