

بنام خداوند جان و



مبحث ششم مقررات ملی ساختمان

بارگذاری سازه‌ها

[منطبق بر ویرایش ۱۳۹۸ مبحث ششم]

ویژه آزمون محاسبات مهندسی عمران

مؤلف: دکتر امیرحسین فهیمی

ویراستار علمی: مهندس محسن هجرانی‌دلیر

چاپ اول ۱۴۰۱



فهرست مطالب

فصل اول: اهمیت ساختمان‌ها	۱۱
۱-۱ گروه بندی خطرپذیری ساختمان‌ها و سایر سازه‌ها در برابر بارهای زلزله، باد، یخ و برف	۱۳
۱-۲ ضرایب اهمیت مربوط به گروه‌بندی خطرپذیری ساختمان‌ها	۱۴
فصل دوم: ترکیب بارها	۱۷
۲-۱ معرفی علائم اختصاری بارها	۱۹
۲-۲ ترکیب بارها در طراحی در برابر بارهای ثقلی و محیطی	۲۰
۲-۲-۱ ترکیب بارها در طراحی به روش ضرایب بار و مقاومت	۲۰
۲-۲-۱-۱ حالات خاص ترکیب بارها در طراحی به روش ضرایب بار و مقاومت	۲۲
۲-۲-۲ ترکیب بارها در طراحی به روش تنش مجاز یا مقاومت مجاز	۲۷
۲-۲-۲-۱ حالات خاص ترکیب بارها در طراحی به روش تنش مجاز یا مقاومت مجاز	۲۷
۲-۲-۳ ترکیب بارها برای حوادث غیر عادی	۳۲
۲-۲-۳-۱ ترکیب بار شامل بار ناشی از حادثه غیرعادی قبل از وقوع حادثه (ظرفیت)	۳۳
۲-۲-۳-۲ ترکیب بار شامل بار ناشی از حادثه غیر عادی بعد از وقوع حادثه (ظرفیت باقیمانده)	۳۳
۲-۲-۳-۳ ملاحظات پایداری	۳۴
۲-۲-۴ ضوابط بهره‌برداری	۳۵
۲-۲-۴-۱ تغییر شکل قائم (افتادگی) (خیز)	۳۶
۲-۲-۴-۲ تغییر مکان جانبی سازه (دریفت)	۳۷
۲-۲-۵ تغییر مکان ناشی از بارهای خودکرنشی	۳۸
فصل سوم: بار مرده	۴۱
۳-۱ بار مرده دیوارهای بنایی	۴۲
۳-۲ بار مرده سقف‌ها	۴۶
۳-۳ وزن تاسیسات و تجهیزات ثابت	۴۷
فصل چهارم: بارهای خاک و فشار هیدرواستاتیکی	۴۹
۴-۱ فشار جانبی	۵۰
۴-۲ زیر فشار وارد بر کف و شالوده	۵۶
۴-۳ ضریب اطمینان در مقابل لغزش، واژگونی و برکنش	۵۸
فصل پنجم: بار زنده	۶۱
۵-۱ بار زنده طراحی	۶۲





۷۵.....	۵-۱-۱ نامناسب‌ترین وضع بارگذاری
۷۹.....	۵-۱-۲ ضوابط مربوط به بار تیغه‌ها
۸۳.....	۵-۱-۳ سطح بارگیر و توزیع بار
۸۴.....	۵-۱-۳-۱ سطح بارگیر تیرها
۹۴.....	۵-۱-۳-۲ سطح بارگیر ستون‌ها
۹۴.....	۵-۱-۳-۳ سطح بارگیر دال‌های یکطرفه
۹۵.....	۵-۱-۴ کاهش در بارهای زنده گسترده یکنواخت
۹۷.....	۵-۱-۴-۱ کاهش بارهای زنده بام
۱۰۴.....	۵-۱-۵ بارهای زنده وارد بر سیستم‌های جان‌پناه پارکینگ، سیستم میله دستگیره، سیستم جان‌پناه، سیستم نرده و نردبان ثابت
۱۰۶.....	۵-۱-۵-۱ نیروی وارد بر سیستم نرده و نرده حفاظ (جان‌پناه)
۱۰۷.....	۵-۱-۵-۲ بار وارد به میله دستگیره
۱۰۸.....	۵-۱-۵-۳ بارهای وارد بر سیستم جان‌پناه پارکینگ
۱۰۹.....	۵-۱-۵-۴ بار وارد بر سیستم نردبان ثابت
۱۱۱.....	۵-۱-۶ بارهای ضرب‌های
۱۱۱.....	۵-۱-۶-۱ آویزهای کششی نگهدارنده کف‌ها و بالکن‌ها
۱۱۲.....	۵-۱-۶-۲ سازه‌های نگهدارنده ماشین آلات
۱۱۳.....	۵-۱-۶-۳ سازه‌های نگهدارنده آسانسورها
۱۱۳.....	۵-۱-۶-۴ بارهای جرثقیل سقفی
۱۱۷.....	فصل ششم: بار برف
۱۱۸.....	۶-۱ محاسبه بار برف متوازن
۱۱۹.....	۶-۱-۱ بار مینای برف P_s
۱۲۱.....	۶-۱-۲ ضریب اهمیت بار برف I_s
۱۲۱.....	۶-۱-۳ ضریب برف‌گیری C_n
۱۲۳.....	۶-۱-۴ ضریب شرایط دمایی C_h
۱۲۳.....	۶-۱-۵ ضریب شیب C_s
۱۳۰.....	۶-۲ بار برف نامتوازن
۱۳۱.....	۶-۲-۱ بار برف نامتوازن برای بام‌های با شیب دو یا چند طرفه
۱۳۸.....	۶-۲-۲ بار برف متوازن و نامتوازن برای بام‌های قوسی
۱۴۵.....	۶-۲-۳ بار برف متوازن و نامتوازن بام‌های دندانه‌دار، کنگره‌ای و تاوه چیندار
۱۴۷.....	۶-۲-۴ بار متوازن و نامتوازن در بام‌های گنبدی یا مدور
۱۴۸.....	۶-۳ انباشتگی برف در بام‌های پایین‌تر
۱۴۸.....	۶-۳-۱ بام پایین‌تر در ساختمان‌های با بام پل‌های
۱۵۲.....	۶-۳-۲ بام پایین‌تر در ساختمان مجاور
۱۵۸.....	۶-۳-۳ انباشتگی برف در اطراف قسمت‌های بالا آمده و دست انداز بام



۱۶۲.....	۶-۴ برف لغزنده
۱۶۷.....	۶-۵ نامناسبترین وضع بارگذاری
۱۶۹.....	۶-۶ سربار باران بر برف
۱۶۹.....	۶-۷ ناپایداری برکه‌ای و انباشتگی آب
۱۷۰.....	۶-۸ بام ساختمان‌های موجود
۱۷۳.....	فصل هفتم: بار باد
۱۷۴.....	۷-۱ روش‌های محاسبه بار باد
۱۷۴.....	۷-۱-۱ دوره تناوب اصلی ساختمان
۱۷۵.....	۷-۱-۲ محدودیت‌های استفاده از روش‌های مختلف محاسبه بار باد
۱۷۶.....	۷-۱-۳ همپایه‌سازی
۱۷۸.....	۷-۲ ارتفاع مبنا
۱۸۱.....	۷-۴ بار باد
۱۸۱.....	۷-۵ تنش ناشی از باد
۱۸۲.....	۷-۵-۱ فشار مبنای باد q
۱۸۹.....	۷-۵-۲ ضریب C_e
۱۹۱.....	۷-۵-۳ ضریب پستی و بلندی زمین C_t
۱۹۴.....	۷-۵-۴ ضریب اثر تند باد (C_g و C_{gi}) و فشار (C_p و C_{p}^*)
۱۹۵.....	۷-۵-۴-۱ ضریب اثر تند باد (C_g و C_{gi}) ساختمان‌های بلند مرتبه و کوتاه مرتبه
۱۹۶.....	۷-۵-۴-۲ ضریب فشار خارجی (C_p و C_{p}^*) ساختمان‌های بلند مرتبه با بام تخت
۲۰۱.....	۷-۵-۴-۳ ضریب اثر تند باد (C_g) و فشار (C_p) خارجی برای ساختمان‌های کوتاه مرتبه
۲۲۵.....	۷-۵-۶ ضریب فشار داخلی (C_{pi}) در ساختمان‌های کوتاه مرتبه و بلند مرتبه
۲۲۸.....	۷-۵-۷ ضریب هم راستای باد C_d
۲۳۰.....	۷-۶ بارگذاری‌های بخشی وارد بر سازه باربر اصلی
۲۳۴.....	۷-۷ ضوابط عمومی طراحی ساختمان‌ها و سازه‌ها برای باد
۲۳۴.....	۷-۷-۱ کنترل لغزش
۲۳۶.....	۷-۷-۲ کنترل واژگونی
۲۳۸.....	۷-۸ کنترل سازه ساختمان‌ها در برابر باد سطح بهره‌برداری
۲۴۳.....	فصل هشتم: بار باران
۲۴۴.....	۸-۱ فرضیات محاسبه بار باران
۲۴۵.....	۸-۲ محاسبه بار باران
۲۴۶.....	۸-۲-۱ نحوه محاسبه ارتفاع هیدرولیکی dh
۲۵۱.....	۸-۳ ناپایداری برکه‌ای و انباشتگی آب
۲۵۵.....	فصل نهم: بار یخ
۲۵۶.....	۹-۱ محاسبه بار یخ

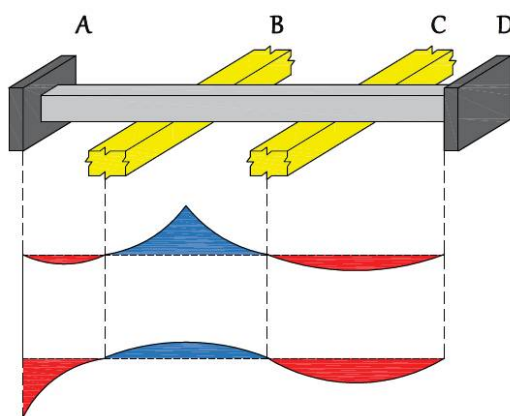


۲۵۷.....	۹-۱-۱ چگونگی محاسبه حجم یخ.....
۲۵۸.....	۹-۲ ضخامت طراحی یخ ناشی از یخ زدگی باران.....
۲۶۵ ...	فصل دهم: بار سیل
۲۶۹.....	۱۰-۱ محاسبه بار سیل طرح
۲۷۶.....	۱۰-۲ دیوارهای فروریزی
۲۷۷.....	۱۰-۳ ضرایب اطمینان در مقابل لغزش، واژگونی و برگشت کفها



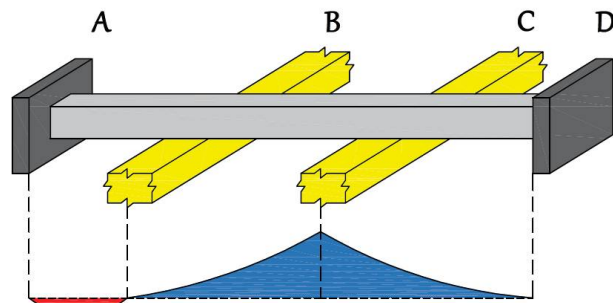
بطور مشابه به منظور محاسبه بیشترین برش ایجاد شده در تکیه‌گاه مشخصی از یک تیر یکسره تحت بار زنده گسترده یکنواخت، ابتدا خط تاثیر نیروی برشی آن مقطع را رسم می‌کنیم. سپس بار زنده یکنواخت را در دهانه‌های با خطوط تاثیر هم علامت با خط تاثیر در محل تکیه‌گاه مورد نظر قرار می‌دهیم و مقدار برش در محل تکیه‌گاه را براساس روابط تحلیل سازه‌ها محاسبه می‌کنیم. در شکل ۵-۲ خط تاثیر تکیه‌گاه C از تیر AD رسم شده است، به منظور محاسبه بیشترین میزان برش ایجاد شده در این تکیه‌گاه ناشی از بار زنده یکنواخت، کافی است بار زنده در دهانه‌ها BC و CD قرار گیرد و سپس مقدار برش در تکیه‌گاه C براساس روابط تحلیل سازه‌ها محاسبه شود.

نتیجه کلی اینکه، جهت محاسبه بیشترین برش ایجاد شده در یک تکیه‌گاه از تیر یا دال یکسره، کفایت ابتدا بار زنده در دهانه‌های طرفین تکیه‌گاه قرار داده شود و سپس بطور همزمان از دو طرف بطور یک در میان بارگذاری دهانه‌ها ادامه یابد.



شکل ۵-۱ خطوط تاثیر لنگر خمشی رسم شده برای وسط دهانه میانی و محل تکیه‌گاه A ناشی از حرکت بار زنده یکنواخت بر روی تیر AD





شکل ۵-۲ خط تاثیر نیروی برشی ایجاد شده در تکیه‌گاه C ناشی از حرکت بار زنده یکنواخت بر روی تیر AD

همواره لنگر منفی ماکزیمم در محل اتصال تیرها به تکیه‌گاه‌ها صورت می‌پذیرد، مانند استدل‌های فوق جهت محاسبه بیشترین لنگر منفی ناشی از تحرک بار زنده بر روی دهانه‌ها، کافی است خط تاثیر لنگر خمشی در محل تکیه‌گاه مورد نظر رسم شود. پس از بررسی خط تاثیر نتیجه این می‌شود که مشابه محاسبه بیشترین برش ایجاد شده در محل یک تکیه‌گاه، کافی است دو دهانه مجاور آن تکیه‌گاه بارگذاری شده و دهانه‌های دیگر از دو طرف به صورت یک در میان بارگذاری شوند.

این همه صغری کبری گفتیم تا برسیم به بحث نامناسب‌ترین وضع بارگذاری بار زنده در تیرها و قاب‌های نامعین، بدون هیچ توضیحی به متن آیین‌نامه در این خصوص توجه نمایید.

بند ۶-۵-۳: در تیرهای یکسره و در قاب‌های نامعین در مواردی که بار زنده بیشتر از ۴ کیلونیوتن بر متر مربع و یا بیشتر از یک و نیم برابر بار مرده باشد، موقعیت قرارگیری بار زنده در دهانه‌های مختلف باید طوری در نظر گرفته شود که بیشترین اثر مورد نظر را در عضو سازه‌ای ایجاد نماید. برای این منظور کافی است علاوه بر قرار دادن بار زنده در تمام دهانه‌ها، حالت‌های بارگذاری زیر نیز در نظر گرفته شود.

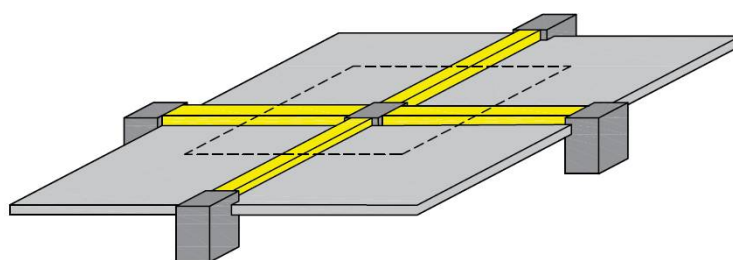
۱- قرار دادن بار زنده در دو دهانه مجاور هم؛

۲- قرار دادن بار زنده در دهانه‌های یک در میان؛



۵-۱-۳-۲ سطح بارگیر ستون‌ها

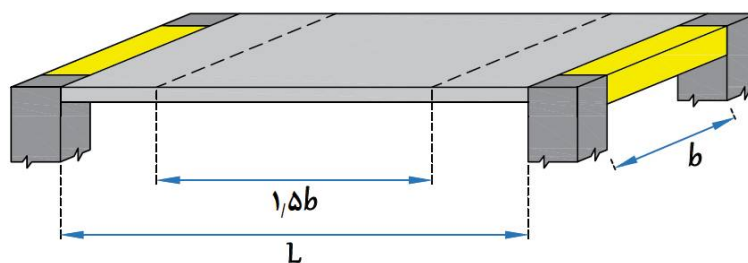
به طور کلی میزان بار محوری وارد بر ستون از تحلیل تیرهای متصل بر آن محاسبه می‌شود. در مواردی تیرها کاملاً عمود بر ستون بوده و بار گسترده وارد بر آن‌ها نسبت به مرکز تیر متقارن باشند، سطح بارگیر ستون محدود به خطوطی خواهد بود که از مراکز تیرها رسم می‌شود. (شکل ۷-۵)



شکل ۷-۵ سطح بارگیر ستون متصل به دالی که تحت بار گسترده بکنواخت قرار دارد.

۵-۱-۳-۳ سطح بارگیر دال‌های یکطرفه^۱

بند ۵-۵-۵-۶: سطح بارگیر A_T برای دال‌های یکطرفه برابر حاصل ضرب دهانه دال در عرضی برابر با $1/5$ برابر دهانه دال (در جهت عمود بر آن) می‌باشد. شکل ۸-۵

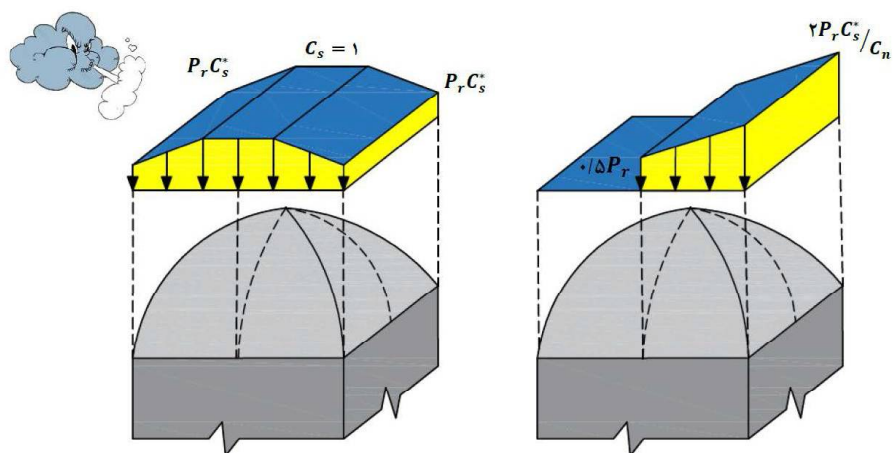


شکل ۸-۵ سطح بارگیر دال یکطرفه

^۱ درخصوص سهم بارگیر نوارهای مختلف دال‌های دوطرفه به کتاب طراحی سازه‌های بتن آرمه موسسه ACE مراجعه نمایید.



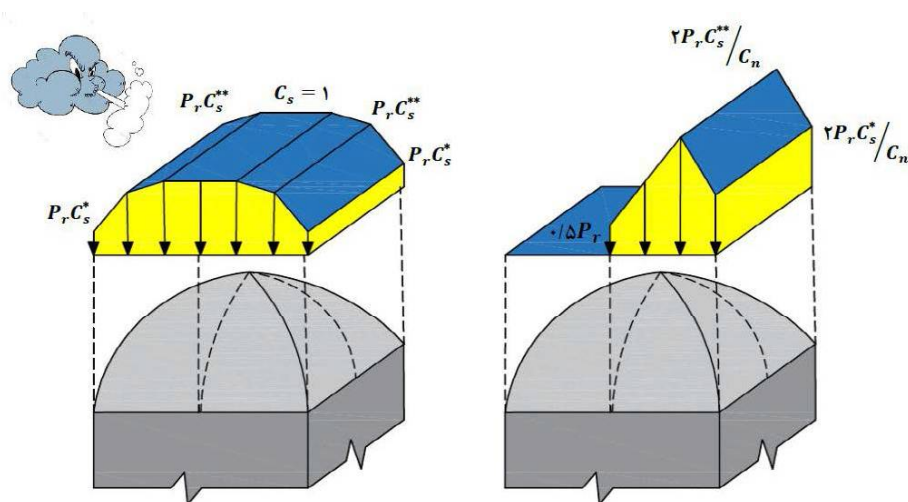
شیب مماس بر آن نقطه برابر با ۳۰ درجه است افزایش یافته و سپس تا مقدار صفر در محلی از بام با شیب مماس ۷۰ درجه کاهش می‌یابد. (شکل ۸-۶ ب)
 C_s^{**} : براساس زاویه شیب ۳۰ درجه محاسبه می‌شود.



بار برف متوازن

بار برف نامتوازن

شکل ۸-۶ الف زاویه شیب پای بام کمتر از ۳۰ درجه

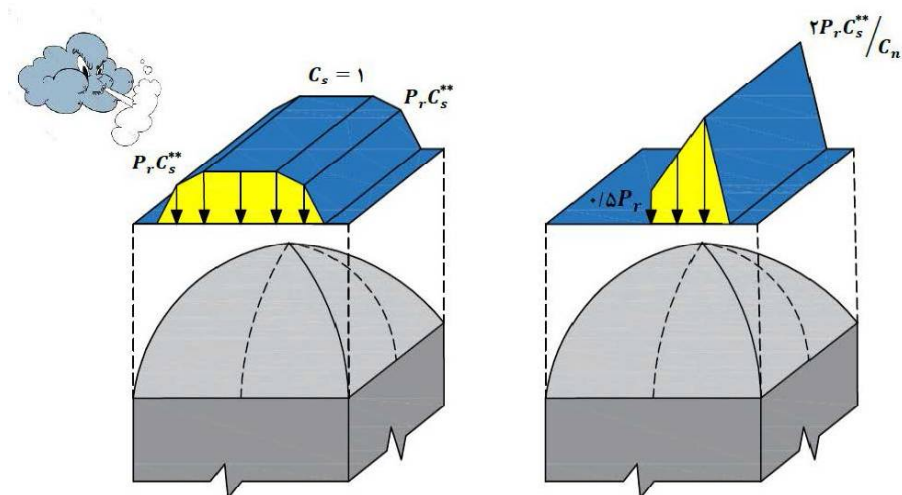


بار برف متوازن

بار برف نامتوازن

شکل ۸-۶ ب زاویه شیب پای بام بین ۳۰ تا ۷۰ درجه





بار برف متوازن

بار برف نامتوازن

شکل ۶-۸ پ زاویه شیب پای بام بیشتر از ۷۰ درجه

یادداشت شکل ۶-۸: مقدار P_r با $C_s = 1$ محاسبه می‌شود. ضمناً C_s^* و C_s^{**} با استفاده از ضوابط ضریب شیب به ترتیب براساس زاویه شیب پای بام و زاویه شیب ۳۰ درجه منظور می‌گردد.

فانوس ۴



اگر در کمتر از یک متری پای بام، زمین و یا بام دیگری قرار داشته باشد برای دو حالت ب و پ، مقدار شدت بار برف برای ناحیه با زاویه شیب بیشتر از ۳۰ درجه کاهش داده نشده و برابر مقدار محاسبه شده در زاویه شیب ۳۰ درجه تا لبه بام در نظر گرفته خواهد شد.



با توجه به اینکه ارتفاع ساختمان بیش از ۲۰ متر است ساختمان بلند مرتبه محسوب شده و برای وجه پشت به باد ارتفاع مبنا برابر با نصف ارتفاع ساختمان یعنی ۲۰ متر می‌باشد.

$$C_e = \max \left\{ \left(\frac{20}{10} \right)^{-0.8}, 0.9 \right\} = 1/14 \quad \text{ناحیه باز}$$

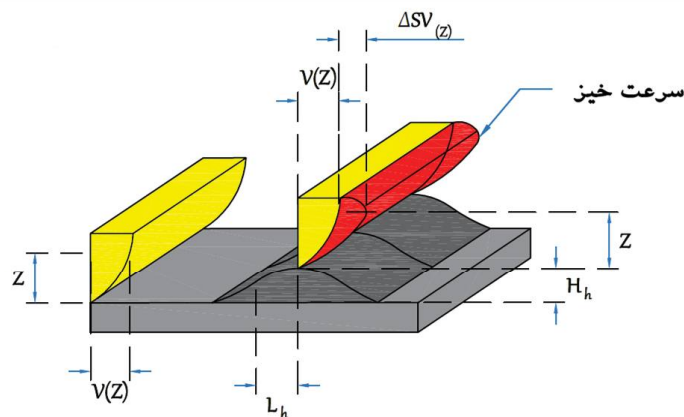
$$C_e = \max \left\{ 0.9 \left(\frac{20}{12} \right)^{-0.8}, 0.9 \right\} = 0.81 \quad \text{ناحیه پرتراکم}$$

$$\frac{C_e - 1/14}{300 - 50} = \frac{C_e - 0.81}{300 - 1000} \Rightarrow C_e = 1/0.5 \quad \text{ناحیه بینابین}$$

گزینه ج صحیح است.

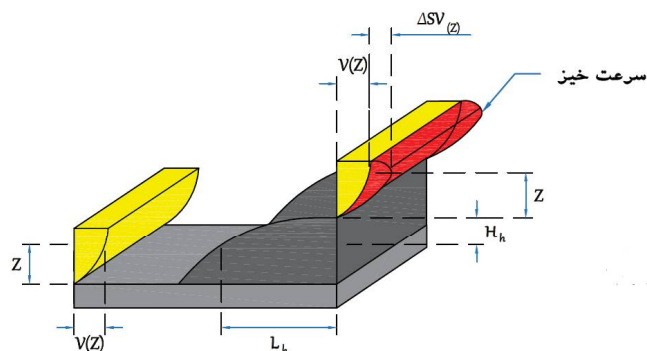
۷-۵-۳ ضریب پستی و بلندی زمین C_t

چنانچه ساختمان یا سازه در بالای تپه، پرتگاه یا سینه‌کش منفردی با شیب متوسط ($\frac{H_h}{L_h}$) بیشتر از ۱۰ درصد قرار گرفته باشد، در نواحی پایینی ساختمان یا سازه سرعت باد افزایش می‌یابد. (شکل ۷-۲) این افزایش در نواحی نزدیک به راس تپه یا پرتگاه زیاده‌تر از دیگر نواحی است. در شرایط معمولی، $C_t = 1$ خواهد بود.



شکل ۷-۲ الف تپه دو بعدی یا سه بعدی





شکل ۲-۷ ب پرتگاه یا سینه کش

مقدار ضریب پستی و بلندی C_t مطابق رابطه ۶ بدست می‌آید.

$$C_t = \left(1 + \frac{\Delta S}{V}\right) (1 + \Delta S)$$

رابطه ۶

$$\Delta S = \Delta S_{max} \left(1 - \frac{|x|}{KL_h}\right) e^{-\alpha z/L_h}$$

ΔS_{max} : ضریب افزایش سرعت نسبی در راس قله (مطابق جدول ۲-۷)

$|x|$: فاصله محل ساختمان تا قله تپه یا خط‌الراس پرتگاه (m)

L_h : فاصله قله تا میانه نصف ارتفاع تپه در سمت رو به باد (m)

H_h : ارتفاع خط‌الراس یا قله نسبت به زمین مسطح احاطه کننده تپه (m)

α : ضریب تاثیر کاهش سرعت در ارتفاع (مطابق جدول ۲-۷)

z : ارتفاع نقطه مورد نظر از تراز سطح برآمدگی (m)

K : مطابق جدول ۲-۷ تعیین می‌شود.

فانوس ۳



حداکثر مقدار $\frac{H_h}{L_h}$ برابر ۰/۵ بوده و جهت باد همواره در جهت حداکثر شیب فرض

می‌شود.

نتیجه اینکه:

$$L_h \leq 2H_h$$

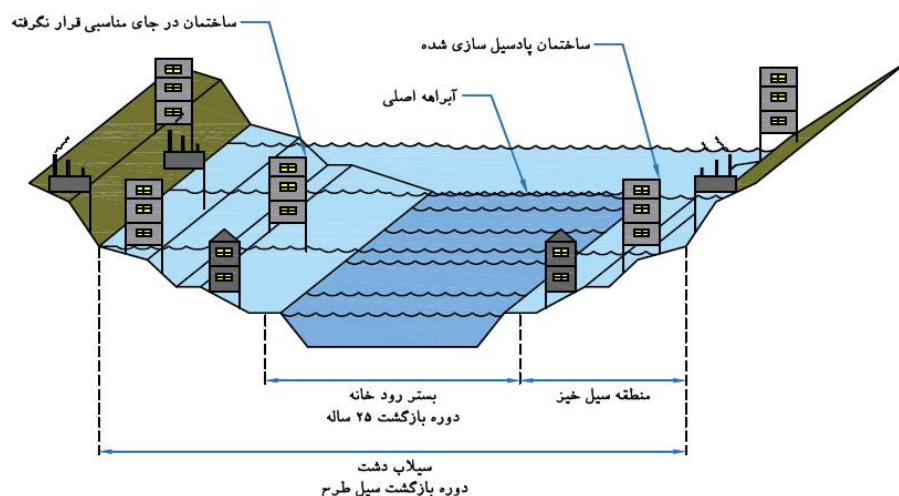


سیل طرح: بزرگترین سیلاب از بین دو سیل: (۱) سیل پایه (۲) سیل متناظر با منطقه تعیین شده به عنوان منطقه سیل خیز که از مراجع ذیصلاح استعلام می‌گردد. ارتفاع این سیلاب که شامل ارتفاع موج ناشی از آن است، ارتفاع سیل طرح نامیده می‌شود.

سیلابدشت: بخشی از پهنه یک رودخانه شامل بستر اصلی که زمانی که دبی سیل طرح از ظرفیت عبور رودخانه تجاوز کند، غرقاب می‌گردد. شکل ۱-۱۰

منطقه سیل خیز: نواحی ذیل که محدوده آن‌ها باید از مراجع ذیصلاح استعلام گردد. به عنوان منطقه سیل خیز تعریف می‌شوند:

الف- بخشی از محدوده اطراف بستر رودخانه‌ها و مسیل‌ها که به علت بارندگی در بالا دست و وقوع سیل طرح به زیر آب می‌رود. شکل ۱-۱۰



شکل ۱-۱۰ نمایی از وضعیت آبراهه اصلی، بستر، منطقه سیل خیز و سیلابدشت رودخانه

ب- سواحل مجاور آب‌های آزاد، خطوط ساحلی دریاچه‌های بزرگ که جزر و مدها، طوفان‌های ساحلی، گردبادها، نوسان‌های امواج یا سونامی‌ها می‌توانند منشاء بروز سیل باشند. در این مناطق باید ارتفاع آب ساکن سیل، بیشتر از ۶۰۰ میلی‌متر و ارتفاع موج شکننده، برابر یا بزرگتر از ۴۵۰ میلی‌متر در سیل طرح به صورت توانمند اختیار شود.

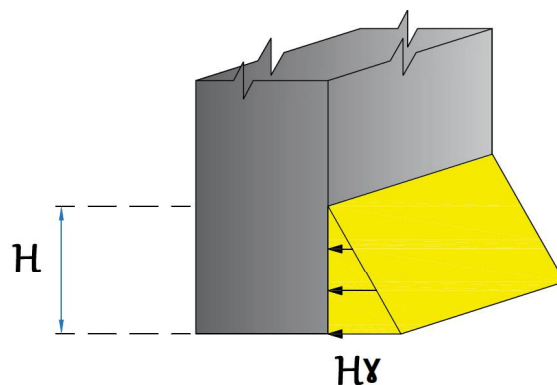


نقشه منطقه‌ی سیل خیز: نقشه‌ای که محدوده تحت تاثیر بروز جریان سیلاب طرح را مشخص می‌کند. به مطالعاتی که منتج به تهیه نقشه منطقه سیل خیز می‌شود، مطالعه منطقه‌ی سیل خیز می‌گویند.

۱۰-۱ محاسبه بار سیل طرح

در بخش قبلی تعریف سیل طرح را مشاهده نمودید. بار ناشی از سیل طرح برای وجهی از ساختمان که در سمت جهت جریان قرار دارد، در صورتی که سرعت جریان از ۳ متر بر ثانیه تجاوز نکند، طبق گام‌های زیر محاسبه می‌شود. در غیر این صورت با استفاده از مدل‌های هیدرو دینامیکی قابل محاسبه است.

گام اول: رسم توزیع بار هیدرواستاتیک، با فرض سکون بودن آب در مجاورت سازه:



شکل ۱۰-۲ الف: بار هیدرواستاتیک، با فرض سکون بودن آب در مجاورت سازه

$$P_u = \frac{\gamma H \times H}{2}$$

گام دوم: اضافه کردن ارتفاع هیدرواستاتیکی معادل فشار هیدرو دینامیکی d_h به توزیع گام اول

