Archive of SID

سومین کنفرانس سالانه پژوهش های معماری، شهرسازی و مدیریت شهری
The third annual conference for research in architecture,urban planning and urban management

ارزیابی روش های تحلیل سازه تحت اثر بار باد در سازه های بلند

مهبد محمودی[1]*، هما شفیعی[2]، حمید مظاهری[3]

1- دانشجوی کارشناسی ارشد دانشگاه آزاد اسلامی واحد خمین، iaumahmoudi_civil@yahoo.com
2- دکتری خاک، هیات علمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد خمین
3- دکتری سازه، هیات علمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد خمین

چکیده

از نظر مهندسی سازه زمانی می توان سازه را بلند نامید که ارتفاع آن باعث شود که نیروهای جانبی ناشی از باد و زلزله، بر طراحی آن اثر قابل توجهی گذارند. در سازه های بلند تغییر مکان جانبی ساختمان چنان زیاد می شود که ملاحظات سختی نسبت به مقاومت مصالح سازه ای، کنترل کننده طرح می گردند .در حالت کلی ساختمان های بلند در معرض نیروهای وارده از باد دارای سه نوع حرکت در امتداد وزش باد، عمود بر امتداد وزش باد و حرکت پیچشی می باشند که معمولا بطور همزمان رخ می دهد .اما با توجه به ماهیت متغیر و غیرثابت باد، تحلیل ساختمانها در مقابل بار باد مشکل می باشد. در مطالعه حاضر به بررسی و معرفی انواع اثرات نیروی باد بر ساختمانهای بلند و تاثیر شکل ساختمانها بر کاهش این نیروها پرداخته می شود. امروزه با توجه به کمبود زمین در شهرهای بزرگ و افزایش روز افزون جمعیت، ساختمان های بلند جایگاه ویژه ای پیدا کرده اند. از نظر سازه ای، تعاریف متفاوتی برای ساختمانهای بلند وجود دارد. عده ای سازه ای را که پریود آن از0/7 ثانیه بیشتر باشد، سازه بلند می دانند. برخی هم نسبت ارتفاع به بعد سازه را ملاک این طبقه بندی دانسته اند. در ساختمان های بلند با افزایش ارتفاع نیروی جانبی به ویژه باد به سرعت افزایش می یابد، به بیانی دیگر در سازه های مهندسی، نیروهای باد یک فاکتور مهم در طراحی می باشند و با افزایش ارتفاع اهمیت بیشتری می یابند.

واژه‌های کلیدی: باد , تحلیل دینامیکی , اندرکنش باد و سازه , سازه های بلند

www.SID.ir

Archive of SID

مقدمه

در این مقاله ماهیت باد، چگونگی تشکیل آن و اثراتی که بر ساختمان می گذارد مورد بررسی قرار خواهد گرفت. اثر باد بر ساختمان های بلند، صنعتی مطابق مبحث ششم مقررات ملی ساختمان ایران مورد مطالعه قرار گرفت.

از علل تشکیل باد می توان موارد زیر را نام برد:

- اختلاف فشار ناشی از تفاوت دما در قسمتهای مختلف جو زمین، موجب جریان هوایی می شود که باد نامیده می شود.
- هوای با فشار کم در اثر سبکی به بالا صعود می کند و روی هوای با فشار زیاد و سنگین جریان می یابد، این جابجایی تولید باد می کند.
- باد عبارتی است برای حرکت هوا به صورت افقی.
- حرکت هوا در جهت عمودی یا نزدیک به آن جریان نامیده می شود.
- باد پدیده ای بسیار پیچیده است که تحلیل آن بصورت علمی و قطعی تا حد زیادی مشکل است.[8]

امروزه با توجه به کمبود زمین در شهرهای بزرگ و افزایش روز افزون جمعیت، ساختمان های بلند جایگاه ویژه ای پیدا کرده اند. از نظر سازه ای، تعاریف متفاوتی برای ساختمانهای بلند وجود دارد. عده ای سازه ای را که پریود آن از 0/7 ثانیه بیشتر باشد، سازه بلند می دانند. برخی هم نسبت ارتفاع به بعد سازه را ملاک این طبقه بندی دانسته اند. در ساختمان های بلند با افزایش ارتفاع نیروی جانبی به ویژه باد به سرعت افزایش می یابد، به بیانی دیگر در سازه های مهندسی، نیروهای باد یک فاکتور مهم در طراحی می باشند و با افزایش ارتفاع اهمیت بیشتری می یابند.[1]

امروزه استفاده از ساختمان های بلند با شکلهای خاص و با کاهش مساحت در طبقات بالا مورد توجه قرار گرفته است. نحوه ایجاد عقب نشینی در طبقات بالا به عوامل متعددی بستگی دارد که در کشورها و شهرهای مختلف ضوابط خاص خود را دارد. عقب نشینی در طبقات بالا باعث کاهش ناگهانی در سختی و جرم سازه و در نتیجه باعث ایجاد نامنظمی میشود .نامنظمی بر توزیع نیروها تأثیر دارد. برای تحلیل این سازه ها در مقابل بار باد، با استفاده از ضوابط آئین نامه، ممکن است نیروهای وارد بر اعضا دستکم در نظر گرفته شود. همچنین در اثر بارهای باد و ارتعاشات بیش ازحد، قابلیت استفاده و راحتی ساکنین در معرض خطر است. حتی اگر سازه به طور رضایت بخش تمام بارهای جانبی را تحمل کند، باید ضوابط و نیازهای قابلیت استفاده از حرکات جانبی تامین شود. Chiu در سال 1970، نیروهای استاتیکی معادل باد ممکن است برای اغلب سازه ها مناسب باشد ولی برای سازه های بلند که نسبت به نوسانات دینامیکی باد حساس هستند کافی نیست. Yoon S.W در سال 2003، اثر پریود طبیعی و نسبت میرایی سازه های فولادی را بر روی ارتعاش سازه بلند تحت اثر بار باد بررسی کرده است. Swami در سال 1987 بیان کرد که انرژی بار باد که بوسیله سازه جذب می شود از انرژی استهلاک یافته بوسیله میرایی سازه بیشتر است. در نتیجه دامنه ی نوسانات بتدریج افزایش می یابد و منجر به تخریب سازه می شود. او در تحقیقاتش نتیجه گرفت که هرچه ارتفاع سازه افزایش یابد فرکانس مد اصلی و همچنین ضریب تندباد سازه کاهش می یابد. به طور کلی فشار باد محاسبه شده بوسیله ضریب مؤثر تندباد تنها روش ایمن برای طراحی سازه نیست ولی نسبتاً واقعی تر است. Fujimoto در سال1975نتیجه گرفت که مودهای بالاتر در تعیین جابجایی ها اثری ندارند، ولی روی شتاب سازه حدود 10 درصد تاثیر دارند.[2]

بار باد

نوآوری ها در سیستم های سازه ای جدید اجازه داده سازه بارهای جانبی بیشتری را تحمل کند اما هنوز اثرات دینامیکی نیروهای باد قابل توجه بوده و مطالعات انجام شده از دیدگاه مهندسی باد، نشان داده است که اصلاحات ایرودینامیک بر روی فرم ساختمان های بلند و سطح مقطع آنها، در طراحی بسیار موثر است و می تواند اثرات باد را به میزان قابل توجهی کاهش دهد.

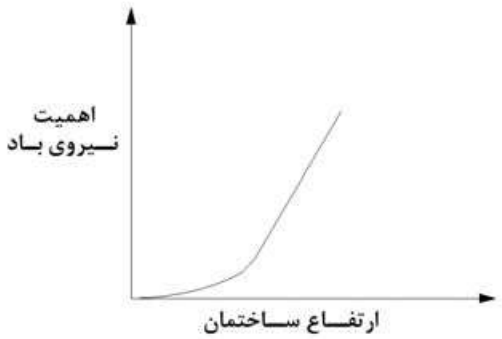
www.SID.ir

Archive of SID

بسیاری از ساختمان های بلند برجسته و زیبا از این روش بهره گرفته اند. در این مقاله خلاصه ای از روش های به کار رفته در ساختمان های بلند دنیا برای کاهش اثرات ناشی از نیروهای باد مورد بررسی قرار می‌گیرد.[1]

اثرات نیروی باد

ساختمان های بلند با افزایش ارتفاع نیروهای جانبی به ویژه باد به سرعت افزایش می یابد؛ درنتیجه کاهش نیروهای باد در ساختمان های بلند اهمیت بسیاری دارد .به بیانی دیگر در سازه های مهندسی، نیروهای باد یک فاکتور مهم در طراحی می باشند و با افزایش ارتفاع اهمیت بیشتری می یابند.



شکل1) رابطه بین اهمیت نیروی جانبی باد و ارتفاع ساختمان

هنگامی که ارتفاع افزایش می یابد نیروهای طبیعی به ویژه باد غالب می گردد .ساختمان های بلند و باریک باید برای مهارکردن تاثیرات دینامیکی گردبادها از طریق انطباق دادن سختی و دیگر ویژگی های دینامیکی سازه به گونه ای طراحی شوند که فرکانس گردبادها برابر با فرکانس طبیعی سازه نباشد؛ زیرا در غیر این صورت پدیده تشدید رخ خواهد داد .تغییر مکان های جانبی و شتاب طبقات بالایی ساختمان باید از نقطه نظر قابلیت سرویس دهی و راحتی ساکنین بررسی شوند. شتاب ماکزیمم در طبقات بالایی ساختمان که حاصل طوفان های مکرر است، باید محدود گردد تا حرکات احتمالی که توسط ساکنین احساس می شود، به حداقل برسد .از طرف دیگر، در طراحی ساختمان های مقاوم در برابر زلزله لازم است از فروپاشی بی درنگ ساختمان تحت زمین لرزه های شدید جلوگیری شود، به علاوه باید محدوده آسیب های غیر سازه ای در هنگام زمین لرزه های مکرر حداقل شود. ساختمان باید طوری طراحی شود که شکل پذیری کافی برای تحمل بارهای ثقلی تحت تغییرشکل های بزرگ غیر الاستیک در هنگام فعالیت لرزه ای شدید را داشته باشد .به علاوه سازه های بسیار بلند باید برای بار مرده و سایر بارها همانند بارهای جانبی باد و زلزله (هر یک که بزرگتر است) طراحی شود .برای یک ساختمان که در منطقه لرزه خیز واقع شده است، حتی زمانی که نیروهای باد حاکم در طراحی باشند، اتصالات سازه ای باید برای جذب انرژی زلزله طراحی شوند.[3]

عوامل تاثیرگذار بر روی نیروی باد

1) ارتفاع سازه (افزایش سرعت باد متناسب با افزایش ارتفاع)
2) پراکندگی عوارض زمینی در اطراف ساختمان (هر چه عوارض بیشتر سرعت باد کمتر)
3) توپوگرافی محیط
4) شکل سازه (نیروی باد وارده بر سازه با پلان دایره کمتر از پلان مستطیل می باشد)
5) سطح جانبی روبروی باد (هر چه وسیع تر نیروی باد بیشتر).

www.SID.ir

Archive of SID

تحریکات ایجاد شده در ساختمان های بلند بر اثر نیروی جانبی باد

یکی از پدیده های بحرانی که ساختمان های باریک را تحت تاثیر قرار می دهد، تحریکات یا هیجانات باد است که سبب نیروهای نوسانی قوی در جهت عرضی باد می شود. احتمالاً، این رفتار عمده ساختمان های بلند را از ساختمان های متوسط متمایزمی کند. حرکات ساختمان های بلند اساساً در سه حالت رخ می دهد: در امتداد نیروی باد، در جهت عرضی باد (عمود به امتداد باد) و در حالت پیچشی. برای یک ساختمان مستطیلی با یک وجه عمودی نزدیک به جریان اصلی باد، حرکات در امتداد و در جهت عرضی باد و همین طور در جهت پیچشی اندازه گیری می شود .در این رابطه حرکات طولی، عرضی و پدیده گردباد ناشی از این حرکات و اصلاحات ایرودینامیک برای مقابله با این حرکات مورد بررسی قرار گرفته است. به طور کلی بارگذاری باد در ساختمان ها در سه جهت عرضی، طولی و پیچشی انجام می شود. در جهت عرضی اثر باد بیشتر است و جهت طولی نیز برای ساختمان های بالاتر از 100 متر تاثیر گذار خواهد بود.[3]

حرکت در امتداد باد

در اثر جریان باد، ساختمان نیروی ایرودینامیکی شامل نیروهای کششی در امتداد باد را تحمل می کند حرکت در امتداد باد اساسا منجر به نوسانات فشاری در سطوح رو به باد و پشت به باد می شود.

حرکت در جهت عرضی باد

این حرکت در تقاطع نیروی باد است و منجر به حرکت در صفحه عمود بر نیروی باد می گردد. امروزه در طراحی ساختمان های مدرن بلند، پاسخ باد در جهت عرضی اغلب به پاسخ باد در امتداد نیروی باد غالب است. ساختمان های بلند در مقابل حرکات عرضی باد بسیار حساس اند و این حساسیت می تواند با افزایش سرعت باد بیشتر شود. ناپایداری تولید شده توسط نیروهای باد در ساختمان های بلند مدرن با لاغری اضافی، انعطاف پذیری و میرایی کم، باعث پاسخ باد عرضی قابل ملاحظه ای می شود .به علاوه در حالی که بیشینه تغییرمکان و بارگذاری جانبی باد معمولاً در امتداد نیروی باد مشاهده می گردد، بیشینه شتاب ساختمان تحت بارگذاری که باعث ناراحتی انسان می شود، در جهت عرضی باد است. همواره باید توجه داشت که در طراحی نیروهای باد، باد در جهت عرضی که عمود بر امتداد باد است بحرانی تر از باد در جهت طولی است.[4]

پدیده گردباد

زمانی که یک ساختمان در معرض جریان باد است، خطوط موازی با جریان باد به پهلو با طرفین عرضی ساختمان جابجا می‌شوند و نیروهای ایجاد شده در این طرفین را گردباد می نامند. در سرعت های پایین باد، گردبادهای ایجاد شده در یک لحظه یکسان برای هر دو وجه عرضی متقارن هستند، در نتیجه ساختمان در جهت عرضی باد نوسان نمی‌کند. درسرعت های بالای باد، گردبادها به صورت یک در میان از یک وجه به وجه دیگر منتقل می شوند.

همانطور که نیروی باد به ساختمان ضربه می زند و در پیرامون آن جریان دارد، اثرات متعددی ممکن است داشته باشد. فشار در سطوح رو به باد و مکش در سطوح پشت به باد، نیروی کششی خلق می

کنند (نیروی مقاوم حرکت). از طرفی جریان غیرمتقارن باد در پیرامون ساختمان می تواند نیروهای بالابرنده را ایجاد نماید. آشفتگی و تلاطم هوا در پیرامون گوشه ها و لبه های پشت به باد می‌تواند گردباد خلق کند. گردباد در واقع جریان هوا با سرعت زیاد است و جریانات رو به بالا و مکش در مجاورت ساختمان ایجاد می‌کند. گردبادهای دوره ای سبب شده ساختمان در جهت متقاطع با جهت وزش باد نوسان کند که باعث شتاب های غیرمنتظره در طبقات فوقانی ساختمان می شود. تعدادی از ساختمان‌های بلند که در نواحی با سرعت بالا قرار دارند، در بادهای قوی بیش از اندازه نوسان می کنند.

اقتصاد ساخت ساختمان های بلند به مقدار زیادی تحت تاثیر نیروهای باد است. همانطور که ارتفاع افزایش می یابد، برای خنثی کردن یا بی اثر کردن بارهای باد و حفظ حرکات ساختمان در محدوده مجاز می توان از سیستم های سازه ای قوی استفاده

www.SID.ir

Archive of SID

کرد. هم بارها و هم حرکات ساختمان اغلب در معرض مقاومت دینامیکی در دو جهت طولی و عرضی باد هستند. این اثرات به مقدار زیادی وابسته به شکل ساختمان است. بنابراین در تحقیقات اخیر اثر ایرودینامیکی شکل در طراحی ساختمان های بلند در نظر گرفته می شود. بار دیوارهای خارجی با افزایش ارتفاع افزایش می یابد؛ زیرا سرعت باد با ارتفاع افزایش می یابد.

در طراحی برای باد یک ساختمان نمی‌تواند مستقل از محیط پیرامونش باشد؛ زیرا پیکر بندی ساختمان‌های مجاورش و زمین طبیعی اثر قابل توجهی بر بارهای طراحی و در نتیجه نوسانات ساختمان دارد. نوسان جابجایی افقی در راس ساختمان است. نوسانات راس برج سبب شده باد نتواند به راحتی عبور کند و در نتیجه سبب شده مشکلات مربوط به حرکت باد در طبقات فوقانی ایجاد شود. معمولاً نیروهای باد به جزء گردبادها یا تند بادها باعث خرابی جدی در ساختمان نمی‌شوند در هر حال بررسی رفتار ساختمان های بلند مدرن در برابر باد ضروری است.[4]

طبیعت دینامیکی اندرکنش باد و سازه

برخلاف متوسط جریان باد که می تواند بصورت استاتیکی مورد بررسی قرار بگیرد، بار باد مرتبط با تند باد یا تلاطم، بسیار، سریع و حتی ناگهانی تغییر می کند و آثار بسیار شدیدتری از حالت اعمال تدریجی بار، ایجاد می نمایند روی این اصل بارهای باد باید همانطوری که در طبیعت بصورت دینامیکی هستند، بررسی شوند. شدت بار باد به سرعت تغییرات آن و نیز پاسخ ساختمان بستگی دارد. بنابراین فشارهای ناشی از تند باد وارد برساختمان، که ابتدا زیاد شده و سپس کاهش می یابند، چه بصورت دینامیکی بررسی شوند و چه بصورت استاتیکی، وابستگی بسیار زیادی به خصوصیات ساختمانی که به آن وارد می‌شوند، خواهند داشت. بعنوان مثال، عمل تندباد نه تنها به این موضوع بستگی دارد که چه مدت طول می کشد تا تند باد به اوج خود رسیده و دوباره کاهش یابد، بلکه به دوره تناوب ساختمانی که تحت اثر تندباد قرار دارد نیز وابسته است. در آئین نامه های مختلف، توصیه هایی برای روش های مختلف آنالیز استاتیکی و دینامیکی وجود دارد.

در روش های استاتیکی تعیین بار باد، موقعیت جغرافیایی ساختمان، آثار تندبادهای ناگهانی و درجه اهمیت ساختمان در مراحل پس از طوفان نیز در آنالیز دخالت داده می‌شود. برای ساختمان‌های بسیار بلند، لاغر و یا انعطاف پذیر پیشنهاد می‌شود که از تونل باد برای تخمین بارگذاری استفاده شود. تونل‌های باد با لایه مرزی تغییرات سرعت باد نسبت به ارتفاع و همچنین وزش های ناگهانی را با دقت بیشتری مشخص می‌کنند. آزمایش تونل باد بسیار تخصصی، پیچیده و پرهزینه است و از آن فقط می توان در پروژه های بسیار بزرگ استفاده نمود.

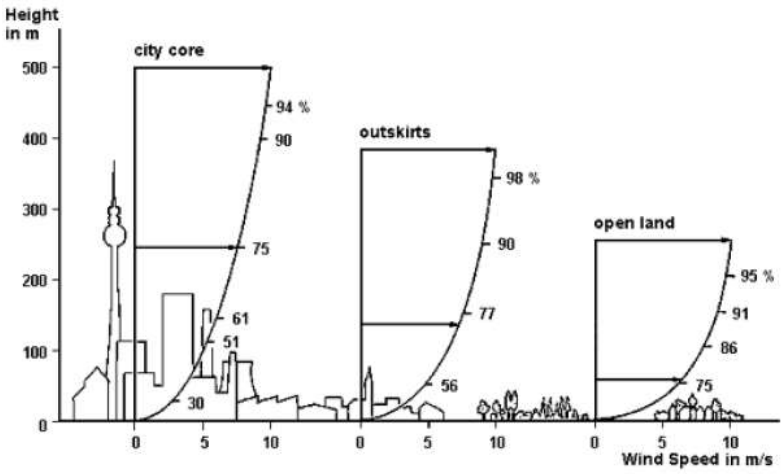
در ساختمان های بلند بعلت فراوانی طبقات و ثقیل بودن ساختمان بارهای طراحی ستونها و شالوده ها زیادگردیده و این امر باعث افزایش سطح مقطع ستون ها و شالوده ها و بادبندها می شود، گذشته از مسئله صرفه جویی در زمان ساخت، بیشتر به لحاظ صرفه اقتصادی، طراحان سعی در استفاده از مصالح با وزن کم و با مقاومت زیاد دارند که این امر به نوبه خود باعث افزایش انعطاف‌پذیری وکاهش میرایی سازه می شود. این عمل باعث می شود چنین سازه هایی درمقابل بارهای جانبی از جمله باد و زلزله، حساسیت فوق العاد های را از خود نشان دهند و برخلاف ساختمان های کوتاه که مسئله باد نسبت به زلزله مطرح نمی باشد در برخی از ساختمان‌های بلند طراحی در مقابل بارهای جانبی باد، همسنگ با بارهای جانبی زلزله می‌تواند مطرح باشد. پاسخ سازه ها در مقابل باد از دو قسمت تشکیل شده است :یکی مربوط به سرعت متوسط باد و دیگری مربوط به تلاطم آن که دارای خواص دینامیکی است. لذا آسانتر است که سرعت های باد، نیروها، تغییر مکان ها و غیره را برحسب کمیت متوسط ساعتی، همراه با متوسط حداکثرهای نوسانات آن در یک ساعت تعریف کرد. پس از جمع پاسخ های مربوط به این دو بخش، می توان متوسط بیشنه پاسخ ساعتی و یا پاسخ اوج را بدست آورد و از روی آن بار معادل استاتیکی را حاصل نمود. حرکت در جهت امتداد باد و در جهت عمود بر آن، ناشی از مکانیزم های مختلفی است. حرکت در امتداد وزش باد در اصل، ناشی از آثار ضربه ای تلاطم است و حرکت دیگر مربوط به آثار گردابی طرفین می باشد. پاسخ در جهت باد را می توان به طریق روش ضریب تند باد که در واقع همان روش داونپورت می باشد، بدست آورد.[5]

www.SID.ir

Archive of SID

تغییرات سرعت باد با ارتفاع

سرعت باد در نزدیکی سطح زمین (در تراز تقریباً صفر) به علت نیروی برشی ناشی از لزجت سیال (هوا) تقریبا برابر با صفر است. هرچه از سطح زمین بالاتر برویم، به دلیل کاهش نیروی برشی مقدار سرعت باد افزایش می یابد. ارتفاعی که در آن سرعت باد ثابت می گردد، ارتفاع گرادیان و سرعت در این ارتفاع سرعت گرادیان نامیده می شود. منحنی تغییرات سرعت باد با ارتفاع، تابع نوع و شدت جریانهای آشفته و آرام است. این جریان ها بستگی به ناهمواری سطح زمینی که باد در آن می وزد، وابسته است.[6]



شکل2) پروفیل سرعت باد در ارتفاع برای ناحیه داخل شهر، حومه شهر، بیرون شهر

تا ارتفاع گرادیان، سرعت باد تحت تاثیر ناهمواریهای زمین است، به این بخش از هوا لایه مرزی گفته می شود. منحنی سرعت باد در این لایه با رابطه توانی زیر تقریب زده می شود.

$$Vz=Vg\left(\frac{z}{Zg}\right)^{\alpha}$$

Vg سرعت گرادیان باد، Zg ضخامت لایه مرزی، α مقدار توان از حدود 0/15 برای مناطق باز تا 0/5 برای مناطق شهری متغیر است. در آیین نامه برای در نظر گرفتن اثرات باد، از سرعت مبنای باد در ارتفاع مشخص (10متر) از سطح زمین ودر منطقه ای مسطح و بدون مانع استفاده می شود. احتمال تجاوز مقدار سرعت باد در هر منطقه ای از سرعت مبنای باد در هر سال برای دوره بازگشت 50 سال کمتر از 2 درصد است.

ماهیت دینامیکی باد

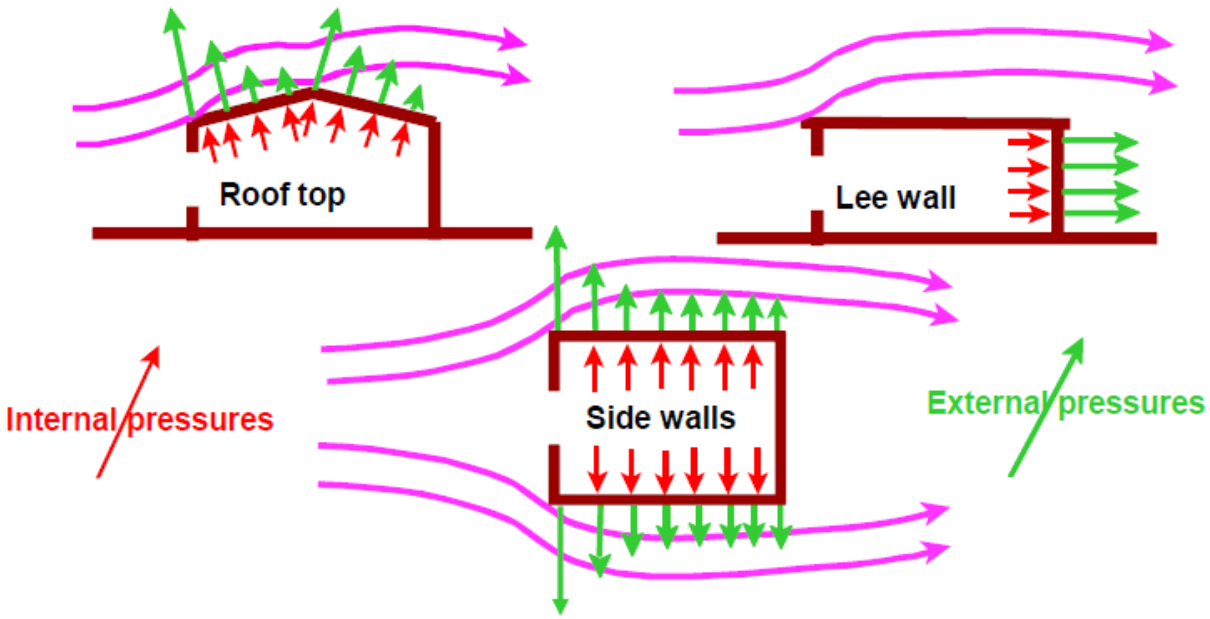
شدت بار باد به تغییرات سرعت و نیز پاسخ ساختمان بستگی دارد. برخلاف میانگین سرعت باد که آن را بصورت استاتیکی می توان در نظر گرفت، تغییرات سرعت باد و تغییر بار باد، بسیار سریع و ناگهانی بوده و ماهیت آنها بصورت دینامیکی است.

www.SID.ir

Archive of SID

عدم لحاظ مود پیچشی در طراحی

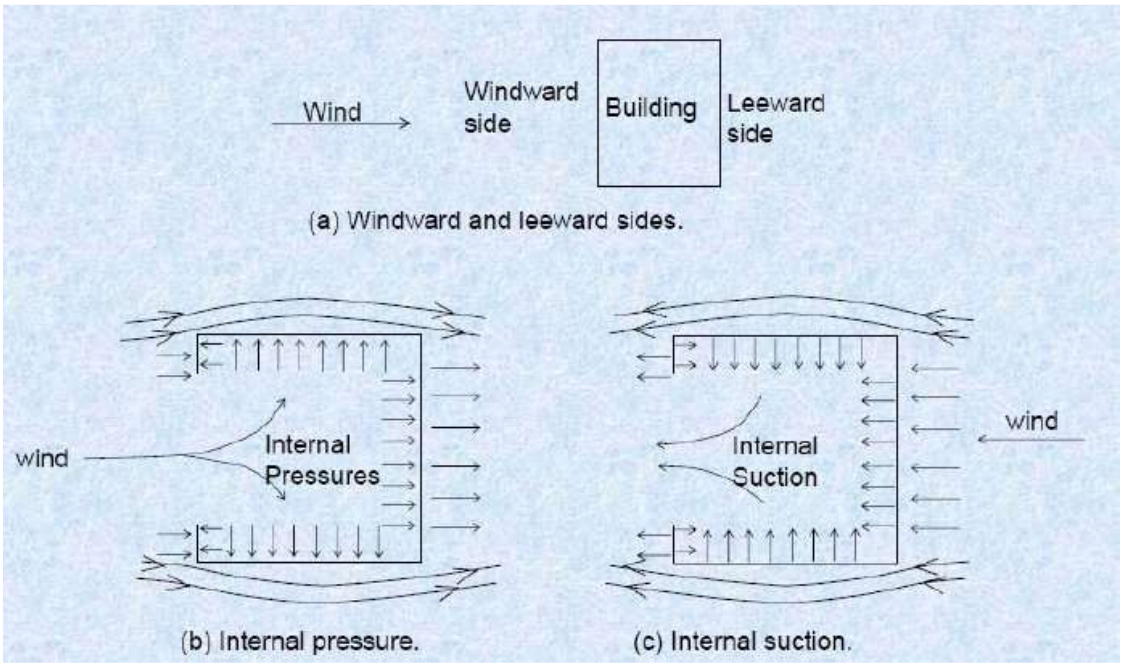
پدیده تشدید به علت نیروی باد



شکل3) فشار ناشی از باد بر ساختمان ها و سازه ها

www.SID.ir

Archive of SID



شکل3) فشار ناشی از باد بر ساختمان ها و سازه ها

فشار خارجی یا مکش تحت باد بر روی جزء یا سطح کل یک ساختمان باید با استفاده از رابطه زیر بدست می آید:

$$\rho = Iwq\ Ce\ Cg\ Cp$$

ρ= فشار خارجی که بصورت استاتیکی درجهت عمود برسطح چه در حالت فشار وارد برسطح یا مکش به سمت خارج از سطح ، عمل می کند.

Iw = ضریب اهمیت برای بار باد

q = فشار مبنای باد بخش

Ce =ضریب بادگیری طبق

Cg = ضریب اثر جهشی باد

Cp =ضریب فشار خارجی که برمساحت وجه مورد نظر میانگین گیری شده باشد.

www.SID.ir

Archive of SID

فشار داخلی یا مکش تحت باد از رابطه زیر بدست می آید:

ρi=Iwq Ce Cgi Cpi

pi= فشار خارجی که بصورت استاتیکی درجهت عمود برسطح، به شکل فشار وارد برسطح یا مکش به سمت خارج از سطح ، عمل می کند.

Iw = ضریب اهمیت برای بار باد

Ce = ضریب بادگیری

Cgi = ضریب اثر جهشی باد

Cpi = ضریب فشار داخلی

فشار مبنای باد

فشاری است که باد با سرعتی برابر با سرعت مبنای بر سطحی عمود بر جهت وزش باد اعمال شود.

$(KN/m^2)q = 0.0000613rv^2$

V→(KN/h)

فشار مبنای باد، براساس سرعت متوسط ساعتی باد که احتمال تجاوز از این مقدار در سال 2 درصد است و بطور متعارف با دوره بازگشت 50 ساله بیان می شود. از سرعت مبنای باد، میانگین عددی سرعت باد در دوره بازگشت 50 ساله با احتمال تجاوز 2 درصد در سال می باشد که در ارتفاع 10 متری از سطح زمین و روزانه 8 نوبت راس ساعت گرینویچ اندازه گیری می شود.

www.SID.ir

Archive of SID

جدول1) سرعت و فشار مبنای باد

	نام ایستگاه	سرعت مبنای باد(V) کیلومتر بر ساعت	فشار مبنا (q) دکا نیوتن بر مترمربع		نام ایستگاه	سرعت مبنای باد(V) کیلومتر بر ساعت	فشار مبنا (q) دکا نیوتن بر مترمربع
۱	آبادان	۹۰	۴۰٫۵	۳۰	دزفول	۱۱۰	۶۰٫۵
۲	آباده	۱۰۰	۵۰٫۰	۳۱	رامسر	۹۰	۴۰٫۵
۳	آبعلی	۱۱۰	۶۰٫۵	۳۱	رشت	۹۰	۴۰٫۵
۴	اراک	۹۰	۴۰٫۵	۳۳	زابل	۱۲۰	۷۲٫۰
۵	اردبیل	۱۳۰	۸۴٫۵	۳۲	زاهدان	۱۳۰	۸۴٫۵
۶	ارومیه	۹۰	۴۰٫۵	۳۵	زنجان	۸۰	۳۲٫۰
۷	آغاجاری	۱۱۰	۶۰٫۵	۳۶	سبزوار	۹۰	۴۰٫۵
۸	اصفهان	۱۱۰	۶۰٫۵	۳۷	سرخس	۱۱۰	۶۰٫۵
۹	امیدیه	۱۱۰	۶۰٫۵	۳۸	سقز	۱۰۰	۵۰٫۰
۱۰	اهواز	۱۱۰	۶۰٫۵	۳۹	سمنان	۸۰	۳۲٫۰
۱۱	ایرانشهر	۱۱۰	۶۰٫۵	۴۰	سنندج	۹۰	۴۰٫۵
۱۲	بابلسر	۱۰۰	۵۰٫۰	۴۱	شاهرود	۸۰	۳۲٫۰
۱۳	بجنورد	۱۳۰	۸۴٫۵	۴۲	شهرکرد	۸۰	۳۲٫۰
۱۴	بم	۱۱۰	۶۰٫۵	۴۳	شیراز	۸۰	۳۲٫۰
۱۵	بندرانزلی	۱۱۰	۶۰٫۵	۴۲	طبس	۹۰	۴۰٫۵
۱۶	بندرعباس	۱۰۰	۵۰٫۰	۴۵	فسا	۹۰	۴۰٫۵
۱۷	بندرلنگه	۹۰	۴۰٫۵	۴۶	فاتم‌شهر	۹۰	۴۰٫۵
۱۸	بوشهر	۱۰۰	۵۰٫۰	۴۷	قزوین	۱۰۰	۴۰٫۵
۱۹	بیرجند	۹۰	۴۰٫۵	۴۸	قم	۹۰	۴۰٫۵
۲۰	پارس‌آبادمغان	۱۰۰	۵۰٫۰	۴۹	کاشان	۱۰۰	۵۰٫۰
۲۱	تبریز	۱۱۰	۶۰٫۵	۵۰	کرمان	۱۳۰	۸۴٫۵
۲۲	تربت‌حیدریه	۸۰	۳۲٫۰	۵۱	کرمانشاه	۹۰	۴۰٫۵
۲۳	تهران	۱۰۰	۵۰٫۰	۵۲	گرگان	۸۰	۳۲٫۰
۲۴	جاسک	۱۰۰	۵۰٫۰	۵۳	مراغه	۱۱۰	۶۰٫۵
۲۵	جزیره‌سیری	۱۱۰	۶۰٫۵	۵۴	مشهد	۹۰	۴۰٫۵
۲۶	جزیره‌کیش	۱۰۰	۵۰٫۰	۵۵	منجیل	۱۳۰	۸۴٫۵
۲۷	چابهار	۹۰	۴۰٫۵	۵۶	نوشهر	۹۰	۴۰٫۵
۲۸	خرم‌آباد	۸۰	۳۲٫۰	۵۷	همدان	۱۰۰	۵۰٫۰
۲۹	خوی	۹۰	۴۰٫۵	۵۸	یزد	۱۱۰	۶۰٫۵

1- روش استاتیکی

مناسب برای: سازه های با ارتفاع کم و متوسط، نما و پوسته خارجی

2- روش دینامیکی

مناسب برای: ساختمانهای بلند و لاغر

ساختمانهایی با ارتفاع بیش از 120 متر و نسبت ارتفاع ساختمان به عرض بیش از5 متر (سازه های غیر ساختمانی مثل دودکش، مخازن، دکلها که زمان تناوب ارتعاشات طبیعی آنها بیش از یک ثانیه است.)

www.SID.ir

Archive of SID

ارتفاع مبنا :

1) در محاسبه فشار خارجی از هر دو روش استاتیکی و دینامیکی، ارتفاع مبنا برای محاسبه Ce به صورت زیر تعریف می شود:

(الف) برای ساختمان های کوتاه مرتبه ، h ارتفاع متوسط بام یا 6 متر، هرکدام که بزرگتر باشد. ارتفاع پیش آمدگی لبه بام اگر شیب بام کمتر از 7 درجه باشد، ممکن است جایگزین ارتفاع متوسط شود.

(ب) برای ساختمان های بلندتر

h برای وجه رو به باد ، ارتفاعی واقعی آن نقطه در بالای زمین است،

h برای وجه پشت به باد، نصف ارتفاع ساختمان،

h برای بام و دیوار جانبی ، ارتفاع ساختمان است.

(ج) برای هر المان سازه ای از ساختمان ، h ارتفاع المان در بالای زمین است.

2) در محاسبه فشار داخلی، ارتفاع h در رابطه مربوط به Ce به اندازه نصف ارتفاع ساختمان تعریف می شود. زمانی که یک بازشوی بزرگ وجود دارد h، باید ارتفاع بازشو از سطح زمین درنظر گرفته می شود.

روش استاتیکی

ضریب بادگیری Ce

تغییرات سرعت باد با ارتفاع، اثرات ناشی از تغییر در زمین اطراف و توپوگرافی رانشان می دهد .[4]

برای زمین با اطراف باز: (زمینی باز است که در آن ساختمانها، درختان و موانع دیگر بصورت پراکنده بوده و یا به دریا، دریاچه یا کنار سواحل باز اطلاق می شود.)

$$\mathbf{Ce= ()0/2\frac{h}{10}}$$

برای زمین با اطراف پر تراکم: زمین پرتراکم به زمین حومه شهری، شهری، جنگل پر تراکم که تا یک کیلومتر و یا 20برابر ارتفاع ساختمان (هرکدام که بیشتر شد) در بالا دست، امتداد پیدا کند اطلاق می شود.

$$\mathbf{Ce=0/7(\frac{h}{12})0/3}$$

مقادیر میانیابی بین دو گروه الف و ب را در مواردی که ناهمواری زمین در کمتر از یک کیلومتر و یا 20 برابر ارتفاع ساختمان ، هر کدام بیشتر باشد ، تغییر کند، می توان استفاده نمود.

www.SID.ir

Archive of SID

تغییرات در نوع زمین:

در صورتیکه ناهمواری های بالادست جریان در طولی کمتر ازیک کیلومتر(x<1 Km) امتداد یابد و ساختمان کوتاهتر از100 متر باشد.

ضریب Ce را باید از رابطه زیر محاسبه نمود.

$$Ce = Cer \left(0/816+0/184\log_{10}\frac{10}{xr-0/05} \right) \leq Ceo$$

برای x<0.05 Km

Ce=Ceo

که در آن xr طول زمین ناهموار در بالادست جریان بادCer برابر Ce برای زمین ناهمواروCeo برابر با Ce برای زمین باز است.

خیز سرعت در بالای تپه و بالا آمدگی زمین:

تپه ها و بالا آمدگی ها می توانند بطور قابل توجهی سرعت باد را در نزدیکی سطح زمین افزایش دهند. ساختمانهای واقع روی تپه یا پرتگاه با حداکثر شیب بزرگتر از1به10مخصوصا نزدیک قله، ممکن است در معرض سرعتهایی به مراتب بزرگتر از ساختمانهایی که روی سطح زمین هستند قرار گیرند.

خیز سرعت در بالای تپه و بالا آمدگی زمین:

ضریب بادگیری در ارتفاع z بالای تراز زمین اطراف، برابر است با مقدار زمین باز ضربدر ضریب

$$(\mathbf{1} + \Delta \boldsymbol{S}(\boldsymbol{z}))^{\mathbf{2}}$$

که$\Delta \boldsymbol{S}(\boldsymbol{z})$ ضریب خیز سرعت برای میانگین سرعت باد است.

در نزدیکی قله و در فاصله $|x| < k$ ضریب بادگیری بصورت زیر محاسبه می شود:

^2

$$Ce=Ce\left\{1 + \Delta Smax(1 - \frac{|x|}{KLh})e^{(\frac{az}{L})}\right\}$$

خیز سرعت در بالای تپه و بالا آمدگی زمین:

^2

$$Ce=Ce\left\{1 + \Delta Smax(1 - \frac{|x|}{KLh})e^{(\frac{az}{L})}\right\}$$

Ce= مقدار متناظر اصلاح شده برای استفاده در تپه و بالا آمدگی

www.SID.ir

Archive of SID

Ce = ضریب بادگیری در روی سطح زمین باز

$\Delta Smax$=ضریب خیز سرعت نسبی در راس قله ، نزدیک سطح

a=ضریب کاهش برای کم شدن سرعت با ارتفاع

خیز سرعت در بالای تپه و بالا آمدگی زمین:

جدول2) پارامترهای حداکثر خیز سرعت در بالای تپه ها و بالا آمدگی

شکل تپه یا بالا آمدگی	$\Delta Smax$	a	K	
			X<0	X>0
تپه های ممتدیادوبعدی(یا دره های با H منفی)	$2/2(\frac{Hh}{Lh})$	3	1/5	1/5
پرتگاه دوبعدی	$1/3(\frac{Hh}{Lh})$	2/5	1/5	4
تپه های سه بعدی متقارن محوری	$1/6(\frac{Hh}{Lh})$	4	1/5	1/5

خیز سرعت در بالای تپه و بالا آمدگی زمین:

برای$0/5 <(\frac{Hh}{Lh})$ فرض شود که$0/5=\frac{Hh}{Lh}$ و2 Hhجایگزین Lh در معادله شود.

علائم جدول بشرح ذیل می باشد :

Hh = ارتفاع تپه یا بالا آمدگی، یا اختلاف تراز بین قله و زمین اطراف تپه یا بالا آمدگی دربالا دست جریان

Lh = فاصله قله تا جایی که تراز زمین ، نصف Hh در بالادست جریان است.

روش تحلیل دینامیکی محاسبه بار باد در ساختمانهای خاص

در هنگام وزش باد و اثر آن بر سازه، سرعت باد ثابت نبوده و به صورت لحظهای تغییر میکند .این تغییرات در ترازهای مختلف سازه از سطح زمین و نیز در مناطق مختلف که به لحاظ تراکم ساختمانها یا انبوه درختان فرق داشته باشند، متفاوت است .تغییرات لحظهای سرعت باد، علاوه بر آنکه بار ناشی از باد بر سازهها را تغییر میدهد، موجب تحریک دینامیکی سازههای نرم و انعطاف پذیر می گردد .این عامل خود متقابلا بر بار ناشی از باد اثر میگذارد. ضریب اثر تغییر سرعت Ce که در متن آئین نامه ارائه شده است، در برگیرنده اثرات تغییر سرعت در ترازهای مختلف سازه، موقعیت منطقه به لحاظ تراکم موانع و نیز تغییرات لحظه ای سرعت نسبت به سرعت متوسط می باشد. ولی اثرات ناشی از نوسان سازه در جهت وزش باد و نیز بر اثر فشارهای متناوب ناشی از جریان های گردبادی لایه های هوا را در کناره های سازه ایجاد می شوند، در بر نمی گیرد. این اثرات در سازه های انعطاف پذیر، مانند ساختمان های بلند، ممکن است حائز اهمیت شوند و بار ناشی از باد را تحت تاثیر قرار دهند .ضریب اثر تغییر سرعت Ce در روش تحلیل دینامیکی محاسبه بار باد به به صورت رابطه زیر نوشته می شود.

www.SID.ir

Archive of SID

$Ce=C_L.Cg$

ضریب اثر مکان C_L در برگیرنده اثرات تغییرات سرعت در ارتفاع ساختمان و نیز اثر وجود موانع در این تغییرات است .ضریب اثر اوج باد، Cg بنا به تعریف، نسبت اثر بیشینه بارگذاری باد به اثر متوسط آن است .این ضریب با استفاده از رابطه زیر تعیین می شود:

$$C_g = 1 + g_p\left(\frac{\sigma}{\mu}\right)$$

در این رابطه μ متوسط اثر بارگذاری باد، σ انحراف معیار آن و g_p ضریب آماری اوج اثر بارگذاری باد است که با استفاده از پیوست مبحث ششم بارگذاری ایران بدست می آید .[1]

نتیجه گیری :

سازه های بلند که ارتفاع آنها نسبت به ابعادشان در پلان بزرگ است در برابر واژگونی و تغییرمکان جانبی حالت بحرانی تری دارند. اندازه گیری بار باد یکی از عوامل مهم برای طراحی سازه های بلندتر از 10 طبقه است .برای بررسی اثر باد بر سازه، روش های مختلفی(تئوری و تجربی) وجود دارد. در این مقاله روش های استاتیکی و دینامیکی که در مبحث ششم مقررات ملی ذکر شده و همچنین روش تحلیل تاریخچه زمانی بررسی شده است.

با توجه به تحقیقات انجام شده مدارک مستند فراوانی وجود دارد که نشان می دهد ارتفاع و شکل سازه، نوع خاک محیط و اندرکنش خاک و سازه، می تواند نیروی وارد به سازه های بلند را به میزان قابل توجهی افزایش دهد. در مطالعه ی حاضر ضمن بررسی و معرفی انواع اثرات نیروی باد بر ساختمانهای بلند به تاثیر شکل ساختمان ها بر کاهش این نیروها پرداخته شد و مشاهده گردید که نوع و شکل سازه می تواند تاثیر بسزایی در پاسخ و مقاومت آنها در برابر فشارهای ناشی از باد داشته باشد.

مراجع

[1] Peter A. Irwin., RWDI Consulting Engineers & Scientists; Wind Issues In the Design of Tall Buildings, Los Angeles Tall Building Structural Design Council, 2010.

[2] Taranath, Bungale S., Reinforced Concrete Design of Tall Bildings, CRC Press, 2010.

[3] Mark, Sarkisian., Dasui, Wang., Sam Lee., Neville, Mathias., Wind Engineering for Tall Buildings in the Gulf', CTBUH Journal, Issue I, PP: 28-33, 2011.

[4] S. K. Ghosh., Seismic and Wind Design of Concrete Buildings, International Building Code. ICC Publication, 2013.

[5] خیرالدین، ع. آرامش، س. سیستمهای مقاوم سازهای در ساختمانهای بلند، دانشگاه سمنان، 1392.

[6] عمادی، ا. بررسی تحلیل بار افزون در ساختمانهای نامتقارن در پلان و ارتفاع، دانشگاه تربیت مدرس، 1390.

[7] آیین‌نامه طراحی ساختمان‌ها در برابر زلزله (استاندارد 2800)، ویرایش سوم، مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، وزارت مسکن و شهرسازی، 1384.

[8] قناد، محمدعلی. اثر برهمکنش خاک و سازه بر طراحی ساختمان ها در برابر زلزله، شماره هشتم، مجله زمین لرزه، ۱۳۹۳.

www.SID.ir

Archive of SID

www.SID.ir