آیرودینامیک معماری و مجتمع‌های ساختمانی

دکتر محمود رازجویان

امروزه مطالعهٔ سرعت جریان هوا در مرحلهٔ طراحی برای مناطق شهری به جهت نیل به آسایش گرمایی، راحتی رفتاری، و پرهیز از آلوده‌گی‌های هوا ضرورت پیدا کرده است. حتی در بعضی ممالک، رفتار و سرعت باد در مناطق در دست طراحی و تغییرات آن‌ها نسبت به وضعیت قبل از ساخت و ساز در همان مناطق اجباری است.

برای تعیین رفتار و سرعت باد در بافت‌های مصنوع، نیاز به تئوری تبیینی معتبر وجود دارد. متأسفانه در حال حاضر این تئوری در دست نیست. در مقابل، امروزه بخش عمده‌ای از تحقیقات انجام شده در تونل باد ناظر بر همین مسئله است. با اتکا به این یافته‌ها، تهیهٔ رهنمودهای کاربردی جهت معماری و طراحی شهری میسر می‌گردد.

در مقاله حاضر، ضمن پیمایش تحلیلی از مطالعات موجود، معیارهای طراحی، برای یک نمونه از بافت‌های متداول شهرسازی امروزی ارایه شده است. امیداست در شماره‌های بعدی صفه مجال بحث در بارهٔ نمونه‌های دیگر فراهم آید. تا از این طریق مجموعهٔ جامع و کاملی در اختیار معماران و طراحان شهری قرارگیرد.

لطفاً در این قسمت چیزی ننویسید

صفه
نشریه علمی پژوهشی معماری و شهرسازی
برگ درخواست اشتراک

نام‌خانوادگی: نام:
میزان تحصیلات: نشانی کامل:
تلفن: شغل:
شماره و تاریخ رسید بانکی و نام بانک و شعبه مربوطه: نمابر(فاکس):

تاریخ:
امضا:

پیشگفتار :

علم آیرودینامیک معماری به رفتار و سرعت باد در محیط معماری می‌پردازد. از زمانی که احداث ساختمان‌های مرتفع و زندگی مدرن، یکدستی بافت‌های قدیمی را دگرگون کرده و جریان هوای محیط اطراف خود را منقلب ساخته‌اند، این علم طرف توجه مخصوص قرارگرفته است.

از آنجا که سیر روند اقتصادی جامعه تغییر و تحولات فاحش در بافت‌های موجود را به تبع خواهد داشت، لذا توجه به اصول آیرودینامیک معماری جهت کنترل باد، چه از جهت بهره‌برداری از مراحمت‌ها و چه از لحاظ پرهیز ر احمت‌های آن ضرورت پیدا می‌کند. به همین مناسبت مقالهٔ زیر به مطالعهٔ رفتار و سرعت باد در یک گونهٔ غالب از مجتمع‌های ساختمانی می‌پردازد.

مجتمع ساختمانی از دیدگاه آیرودینامیک معماری :

برای تعریف مجتمع ساختمانی، اشاره‌ای بسیار اجمالی به نکته‌ای از آیرودینامیک ساختمان‌های منفرد ضرورت دارد. بدین معنی که در اثر رفتار باد، در اطراف یک ساختمان منفرد، مناطق فشار و مکش در جوار آن ایجاد خواهد شد. تصویر شماره یک، این مناطق را نشان می‌دهد. منطقهٔ الف منطقهٔ رو باد (فشار مثبت) منطقهٔ ب منطقهٔ گوشواره (فشار منفی یا مکش) و منطقهٔ ج منطقهٔ دنباله (مکش) نامیده می‌شود. اگر چند دستگاه ساختمان در مجاورت یکدیگر به گونه‌ای واقع شوند که، به دلیل همجواری در مناطق آیرودینامیکی آنها تغییراتی حاصل گردد، از لحاظ آیرودینامیک معماری، تشکیل مجتمع ساختمانی داده‌اند. چند نمونه از این تغییرات برای روشن شدن مطلب در زیر آمده است :

۱) اگر چند دستگاه ساختمان در پشت سر یکدیگر واقع شوند، احتمال آن می‌رود که منطقهٔ فشار جبههٔ رو به باد ساختمان‌های دومی وسومی حذف و در عوض منطقه دنباله آنهابه یکدیگر متصل‌گردد.

۲)اگر دو دستگاه ساختمان به گونه‌ای درکنار هم واقع شوند که منطقه فشار مثبت (رو به باد)یکی بامنطقه فشار منفی (پشت به باد)دیگری تماس حاصل کند،جریان عرضی ازمنطقه فشارقوی تر(مثبت)به سوی منطقه فشار ضعیف تر (منفی)برقرارخواهد شد.آشنایی بارفتارباد درمجتمع های ساختمانی ازجهت طراحی همسازبااقلیم ضروری است .چون در عمل ،کمتر می توان ساختمان‌های مجردی طراحی کرد که مناطق آیرودینامیکی آن متاثر از مستحدثات موجود نباشد ویامنطقه آیرودینامیکی ساختمان‌های اطراف خود را تحت تاثیر قرار ندهد.

انواع مجتمع های ساختمانی :

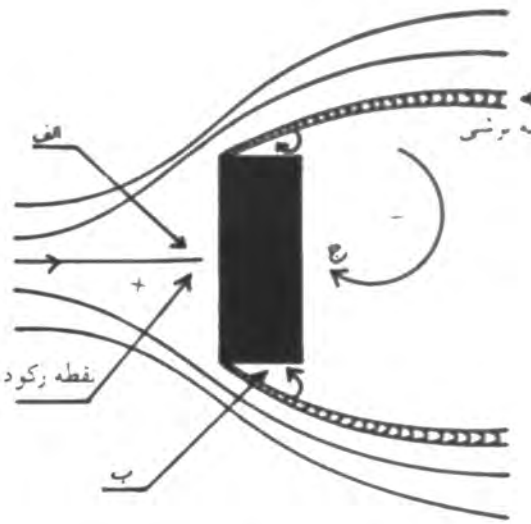
باتوجه به این واقعیت که معمولاً معماران به دلیل اعتقاد به خلاقیت وعلاقمندی به نوآوری همواره درصددخلق آثاربدیع هستند،می‌توان پذیرفت که مجتمع‌های ساختمانی نسبته متعدد و متنوع بوده وتئوری تبیینی معتبر و محکمی برای تعریف رفتار باد در محیط آنها مورد نیاز است.

متاسفانه تئوری واحدی که رفتار باد رادر کلیه مجتمع‌های ساختمانی تعریف کند در دست نیست ولی، در مقابل اطلاعات قابل ملاحظه‌ای از بررسی‌های انجام شده در تونل باد در اختیار علاقمندان قرار دارد. این مطالعات از لحاظ محتوی به دو دسته بزرگ قابل تقسیم هستند.

۱) یک دسته از مطالعات، به تحقیقات پایه توجه داشته و تغییرات سرعت باد و عوامل موثر دراین تغییرات را در نمونه‌های مجتمع ساختمانی که می‌توانند به عنوان الگو درطراحی محیط موثر واقع شوند مورد مطالعه قرار می‌دهند.

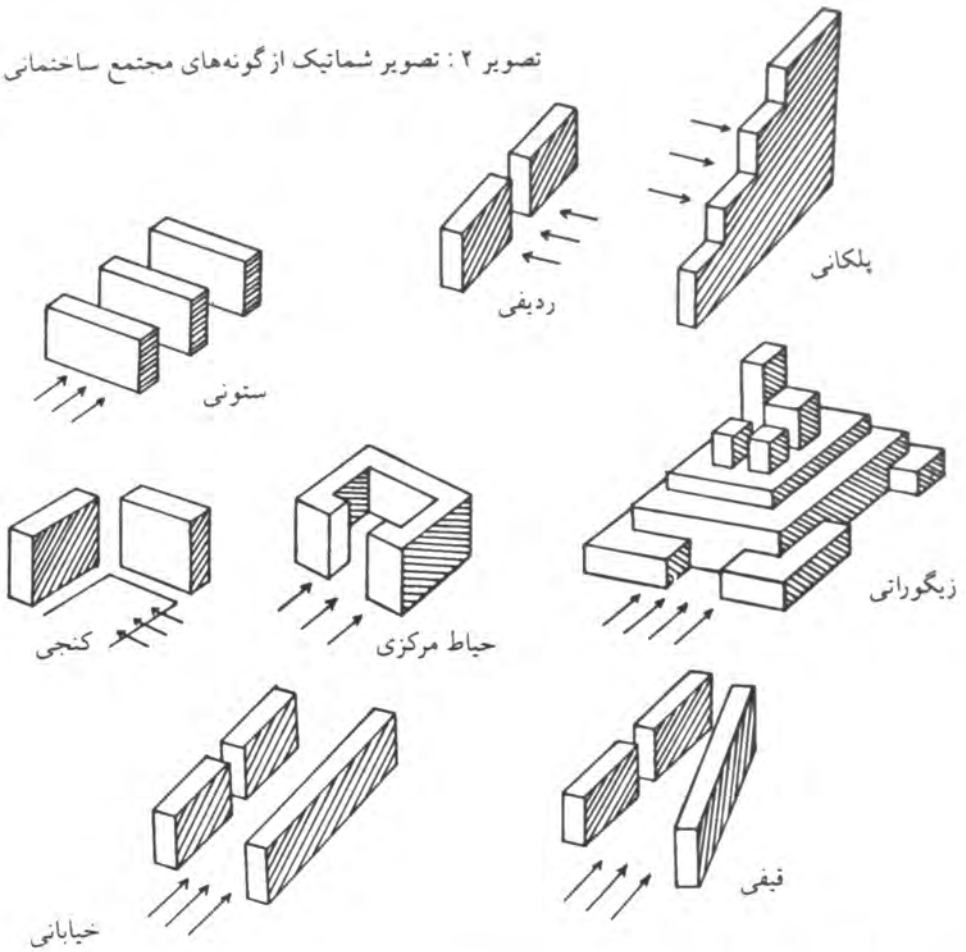
۲) دستهٔ دیگر، به بررسی نمونه‌های معماری مسئله‌داری پرداخته‌اند که طبق قانون و یا ضرورت‌های عملی تجزیه و تحلیل رفتار باد در فضاهای آزاد آنها ضرورت پیدا کرده است.(۱)

با استفاده از یافته‌های این دو دسته، می‌توان به تجزیه و تحلیل وضعیت اقلیمی طرح‌های مقدماتی معماری پرداخت. شایان ذکر است که به دلیل کثرت مطالعات اولاً ارائه تمامی آنها مقدور نیست، ثانیا نیاز به دسته‌بندی محتوائی مطالب وجود دارد. به همین

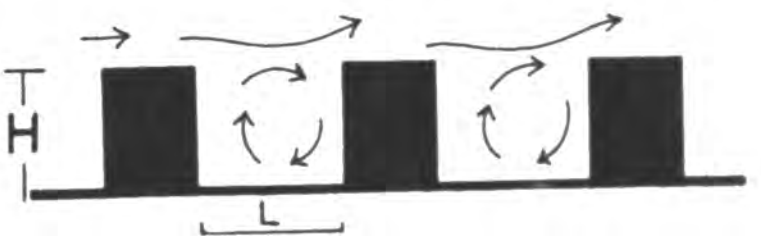


تصویر ۱ : مناطق آیرودینامیکی اطراف ساختمان منفرد

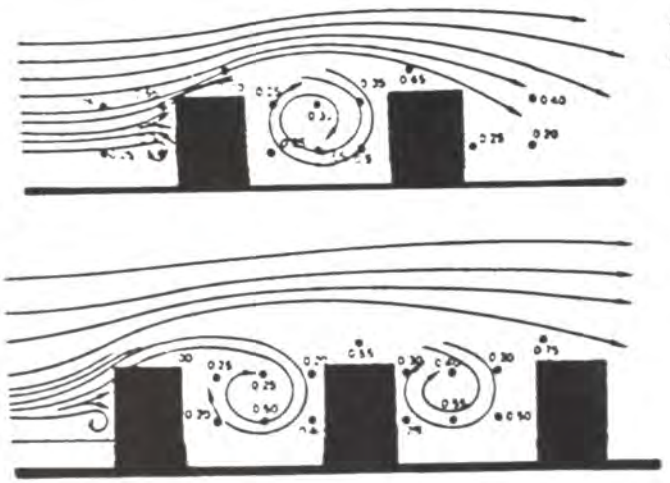
تصویر ۲ : تصویر شماتیک از گونه‌های مجتمع ساختمانی



تصویر ۳ جریان هوا در گونه ستونی (H ≥ L)



تصویر ۴ : جهت و سرعت جریان هوا در گونه ستونی - ساختمان‌های کوتاه



دلیل، گزیده‌ای از این مطالعات، متناسب با رفتار باد در چند گونه متداول، مرتب و ارائه خواهد شد. منظور از این گونه‌بندی، یک کاسه کردن ساختمان‌هایی است که از لحاظ ویژگی‌های آیرودینامیکی با یکدیگر وجه تشابه دارند. بررسی‌های انجام شده در تونل باد نشان می‌دهد که نحوه استقرار ساختمان‌ها نسبت به یکدیگر و جهت وزش باد یکی از عمده‌ترین خصوصیات آیرودینامیکی مجتمع‌های ساختمانی را تشکیل و رفتار باد در مناطق آیرودینامیکی اطراف ساختمان‌ها را تحت تاثیر قرار می‌دهد. بدین لحاظ، اگر انواع مجتمع‌های ساختمانی برحسب این ویژگی مورد مطالعه قرار گیرد گونه‌های زیر قابل شناسایی خواهند بود:

۱) ستونی، ۲) ردیفی، ۳) کُنجی، ۴) حیاط مرکزی، ۵) خیابانی، ۶) قیفی، ۷) پلکانی، ۸) زیگوراتی،.... تصویر شماره ۲ شمایی از این گونه‌ها را ارائه می‌دهد.

عامل ارتفاع یکی دیگر از ویژگی‌های عمده آیرودینامیکی ساختمان‌ها را تشکیل می‌دهد. به طوری که مجتمع‌های ساختمانی را می‌توان برحسب ارتفاع ساختمان‌های تشکیل دهنده آن به دو دسته زیر تقسیم کرد:

۱) مجتمع ساختمان‌های هم ارتفاع، ۲) مجتمع ساختمان‌های مختلف الارتفاع.

مجتمع ساختمان‌های هم ارتفاع، به گروه ساختمان‌هایی گفته می‌شود که ارتفاع آنها از لحاظ ظاهر با یکدیگر اختلاف فاحش نداشته و از دیدگاه آیرودینامیکی نیز نقطه رکود جریان یکدیگر را به گونه‌ای به پوشانند تا از حمله باد دور قرار گیرند. نقطه رکود، نقطه‌ای در نمای روبه باد ساختمان است که از آنجا لایه‌های موازی هوای جاری (باد) مسیرهای مختلف را درپیش می‌گیرند. از جمله، لایه‌های هوای زیر نقطه رکود به طرف پایین و زمین و لایه‌های بالای این نقطه به طرف بالا و پشت‌بام ساختمان منحرف می‌شوند.

از آنجا که نقطه رکود جریان، در محلی نزدیک به هفتاد تا هشتاد درصد ارتفاع ساختمان قرار دارد، لذا در صورتی که اختلاف ارتفاع دو ساختمان ناچیز و یا در حدود بیست درصد ارتفاع ساختمان بلندتر باشد، از لحاظ آیرودینامیکی هم‌ارتفاع قلمداد می‌شوند.

در مقابل، مجتمع ساختمان‌های مختلف الارتفاع به مجموعه ساختمان‌هایی گفته می‌شود که از لحاظ ظاهر یک یا چند دستگاه ساختمان بلندتر و شاخص‌تر از ساختمان‌های مجاور به نظر برسند. از دیدگاه آیرودینامیک معماری نیز اگر حدوداً پنجاه درصد ارتفاع یک ساختمان بیرون از ارتفاع ساختمان‌های مجاور قرار داشته باشد، مجتمع ساختمانی مختلف الارتفاع تشکیل خواهد شد.

اکنون پس از معرفی عوامل ملحوظ در تنظیم اطلاعات در دسترس، ذیلا در بارهٔ یکی از گونه‌های آیرودینامیکی فوق الذکر (تصویر شماره دو) و دسته‌های کوچکتر داخل آنها بحث خواهد شد.

گونهٔ ستونی:

گونهٔ ستونی یا صفی، به نمونه‌ای اطلاق می‌شود که در آن، ساختمان‌ها پشت سر یکدیگر مستقر شده باشند.

مطالعات تجربی و آزمایشگاهی (تونل باد) نشان می‌دهد که نظم هندسی و یک دستی ساختمان‌ها، چه در ارتفاع و چه در پلان مجموعه، در وضعیت باد جاری در مناطق آیرودینامیکی این گونه تأثیر می‌گذارند. شواهد کافی در دست است که تأثیر ساختمان‌های ردیف شدهٔ منظم، متفاوت از ساختمان‌های پس و پیش است. همچنین، رفتار باد در مجموعهٔ ساختمان‌های مختلف الارتفاع، متفاوت از نمونه‌های هم ارتفاع است. لذا، با توجه به اهمیت هم ارتفاعی ساختمان‌ها از یک سو و هم ردیفی آنها از دیگر سو، دسته‌های متفاوتی در این گونه مطابق جدول شماره یک قابل تشخیص هست که توضیح مختصری در مورد هر یک از آنها در زیر خواهد آمد.

A۱	A۳
A۲	A۴

جدول ۱ـ دسته‌های ساختمانی در گونهٔ ستونی

گروه A۱:

گروه A۱ ناظر بر آرایش ستونی مجموعهٔ ساختمان‌هایی است که در همهٔ ابعاد خود، از جمله ارتفاع، طول، عرض با یکدیگر برابر باشند. به زبان عامیانه، در این آرایش ساختمان‌ها شبیه هم و راست یکدیگر قرار می‌گیرند (به زبان بنایی باد یکدیگر). در داخل این گروه، حالت‌های زیر قابل تشخیص است:

الف) فاصلهٔ بین ساختمان‌ها (L) کوچکتر از ارتفاع آنها (H) و حداکثر برابر آنهاست: $H \geqslant L$ (تصویر شماره سه). در این نمونه جریان باد از روی بام‌ها جهیده و به فضای میان ساختمان‌ها داخل نمی‌شود و فقط هوای محبوس میان ساختمان‌ها را به چرخش وامی‌دارد. تصویر شماره چهار جهت چرخش و سرعت هوا را نشان می‌دهد. همان‌گونه که در تصویر آمده است، در اکثر موارد، سرعت چرخش در میان دو دستگاه ساختمان بیش از سرعت چرخش در میان سه دستگاه ساختمان است. ضمناً سرعت مورد نظر در نمونهٔ سه دستگاه ساختمان در حیاط عقبی بیش از حیاط جلویی است (Sachs 1972).

شایان ذکر است که کند شدن سرعت باد در فضای میان ساختمان‌ها نسبت به باد آزاد منطقه (۲)، در انسان احساس پناه ایجاد می‌کند. به همین لحاظ، این آرایش از جهت قابلیت پناه دادن اهمیت دارد.

ب) فاصلهٔ بین ساختمان‌ها از چهار برابر ارتفاع آنها بیشتر و حداقل برابر آن باشد: $L \geqslant 4H$

قابلیت پناه در این وضعیت از دست خواهد رفت. ضمناً در صورتی که شرط اخیر در مجتمع ساختمانی بلند (۳۵ تا ۱۰۰ متر) صدق کند سرعت جریان باد در منطقهٔ دنبالهٔ ساختمان عقبی در طولی معادل یک تا سه برابر ارتفاع و در عرضی معادل به علاوه و منهای یک عرض آن ساختمان، بسیار زیاد و گاهی غیر قابل تحمل می‌شود.

گروه A۲:

این گروه شامل ساختمان‌های هم ارتفاعی است که کاملاً پشت سر یکدیگر واقع نشده و موقعیت آنها در پلان نسبت به هم لغزیده باشد به طوری که شکلی

پلکانی احداث شود (تصویر شماره پنج). در چنین موقعیتی اگر شرایط دستگاه زیر نیز صادق باشد:

$$O = \frac{L}{10}$$
$$L \leq 2/5\ O$$
$$O < H$$

دسالهٔ ساختمان‌های مجتمع یکی خواهد شد. در این دستگاه (O) مقدار جلو زدگی (ℓ) طول ساختمان‌های مجتمع (L) فاصلهٔ میان ساختمان‌ها و (H) ارتفاع آنهاست.

در صورتی که $O > \frac{\ell}{10}$ باشد، منطقهٔ فشار مثبت یک ساختمان (عقبی) معمولا با منطقهٔ فشار منفی ساختمان دیگر (جلویی) مرتبط و جریان عرضی از منطقهٔ فشار قویتر به سوی منطقهٔ فشار ضعیفتر برقرار می‌شود. سرعت جریان، در وضعیتی که فاصلهٔ بین ساختمان‌ها کمتر از ارتفاع آنهاباشد، از باد آزاد منطقه پیشی گرفته و بسته به ارتفاع ساختمان‌ها، مقدار آن تغییر می‌کند. برای مثال، نسبت سرعت معادل ثابت (۳) برای جریان عرضی در میان ساختمان‌های پنج طبقه (حدود پانزده متر) به سرعت معادل ثابت باد آزاد منطقه در حدود ۱/۲، و بین ساختمان‌های بلندتر از ده تا پانزده طبقه به ۱/۳ تا ۱/۶ و بین برج‌های بلند سی طبقهٔ نزدیک به هم (فاصله میان ساختمان‌ها برابر ربع عرض برج) به ۱/۸ سیر خواهد رسید. (Gandemer 1977).

تجربه نشان داده است که در صورت لزوم، برای جلوگیری از ازدیاد سرعت جریان باد در این آرایش می‌توان از یک یا ترکیبی از راه حل‌های زیر بهره جست:

۱) از مقدار جلو زدگی ساختمان عقبی کاست؛
۲) به فاصلهٔ میان ساختمان‌ها افزود؛
۳) رایده‌هایی مطابق تصویر شماره شش، به نمای ساختمان عقبی اضافه کرد.

گروه A۳:

این گروه، شامل ساختمان‌های کوتاه و بلند با آرایشی منطقه در پلان است (تصویر شماره هفت). بررسی تغییرات سرعت باد در مناطق آیرودینامیکی این نوع آرایش، از مباحث قدیمی آیرودینامیک ساختمانی بوده و هنوز هم به عنوان مطلبی مهم در غالب کتاب‌های پایهٔ متأخر وجود دارد.

مطالعات در دسترس نشان می‌دهد که برای احداث مجتمع ساختمانی از نوع گروه A۳ ارتفاع ساختمان بلند عقبی (همان تصویر) باید از دو برابر ساختمان کوتاه جلویی کمتر نباشد تا نقطه رکود جریان ساختمان بلند کاملاً در معرض حمله باد قرار گیرد. ضمناً ارتفاع ساختمان بلند نباید از هشت برابر ساختمان کوتاه جلویی نیز تجاوز کند.

علاوه بر ارتفاع ساختمان‌ها، فاصلهٔ میان آنها نیز در سرعت باد جاری در مناطق آیرودینامیکی ساختمان بلند نقش کلیدی دارد. ولی نحوهٔ تغییرات سرعت باد همیشه یکسان نیست. از جمله، تغییرات سرعت باد، در شرایطی که فاصلهٔ بین ساختمان‌ها کمتر از نصف ارتفاع ساختمان بلند است، با شرایطی که فاصلهٔ بین ساختمان‌ها برابر ارتفاع ساختمان بلند و یا بیش از آن است، متفاوت خواهد بود.

بالاخره، تغییرات محسوس در طول ساختمان‌های این گروه، تغییرات سرعت باد در میان ساختمان‌ها را نیز به دنبال خواهد داشت.

نتیجه این که با توجه به عوامل مؤثر در تغییرات سرعت باد که ذکر آنها در بالا رفت، میتوان مطالعه در باب این آرایش را بر حسب فاصلهٔ میان ساختمان‌ها به چهار حالت عمده تقسیم کرد. در هر حالت، طول ساختمان‌ها را (به عنوان عامل مستقل تحقیقاتی) تغییر داد و تغییرات سرعت باد را در اطراف ساختمان بلند (به عنوان عامل وابستهٔ تحقیقاتی) مطالعه و مقدار آنرا نسبت به سرعت جریان باد در ارتفاع بام ساختمان بلند محاسبه کرد (Simiv 1977).

حالت اوّل:

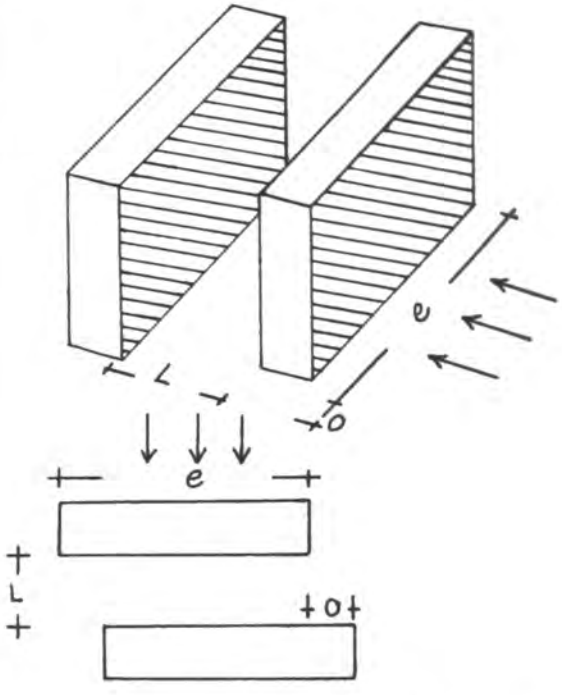
این حالت، به شرط آنکه فاصلهٔ بین ساختمان‌ها (L) برابر با ربع ارتفاع ساختمان بلند (H) باشدناظر بر تغییرات سرعت جریان باد در جلوی ساختمان بلند (VA همان تصویر) است.

برای مطالعه سرعت باد، بررسی لازم از ساختمان‌های لاغر شروع شده و با اضافه کردن به طول ساختمان‌ها در نما سرعت باد در ارتفاع عابر پیاده نسبت به سرعت باد در ارتفاع بام ساختمان بلند سنجیده می‌شود. در این صورت، با چاق‌تر شدن نمای ساختمان‌ها (از جهت طول) به سرعت VA نیز اضافه خواهد شد. در طول عملیات بالاکه نسبت $\frac{W}{H}$ به عنوان متغیر و نسبت $\frac{VA}{VH}$ به عنوان تابع در نظر گرفته می‌شود، ملاحظه خواهد شدکه ابتدا تابع $\frac{VA}{VH}$ سیر صعودی داشته و این رابطه تا وضعیتی که نمای ساختمان بلند عقبی نزدیک به مستطیل، دو بر یک ایستاده شود برقرار خواهد ماند. در وضعیت اخیر، سرعت VA به حداکثر خود رسیده و معادل ۰/۵ سرعت باد در ارتفاع بام ساختمان بلند خواهد شد. از این مرحله به بعد، با ازدیاد $\frac{W}{H}$ تابع $\frac{VA}{VH}$ سیر نزولی خواهد داشت تا جایی که اگر ساختمان بزرگ به مربع کامل نزدیک شود نسبت VA به VH معادل ۰/۴ خواهد شد (تصویر شماره هشت).

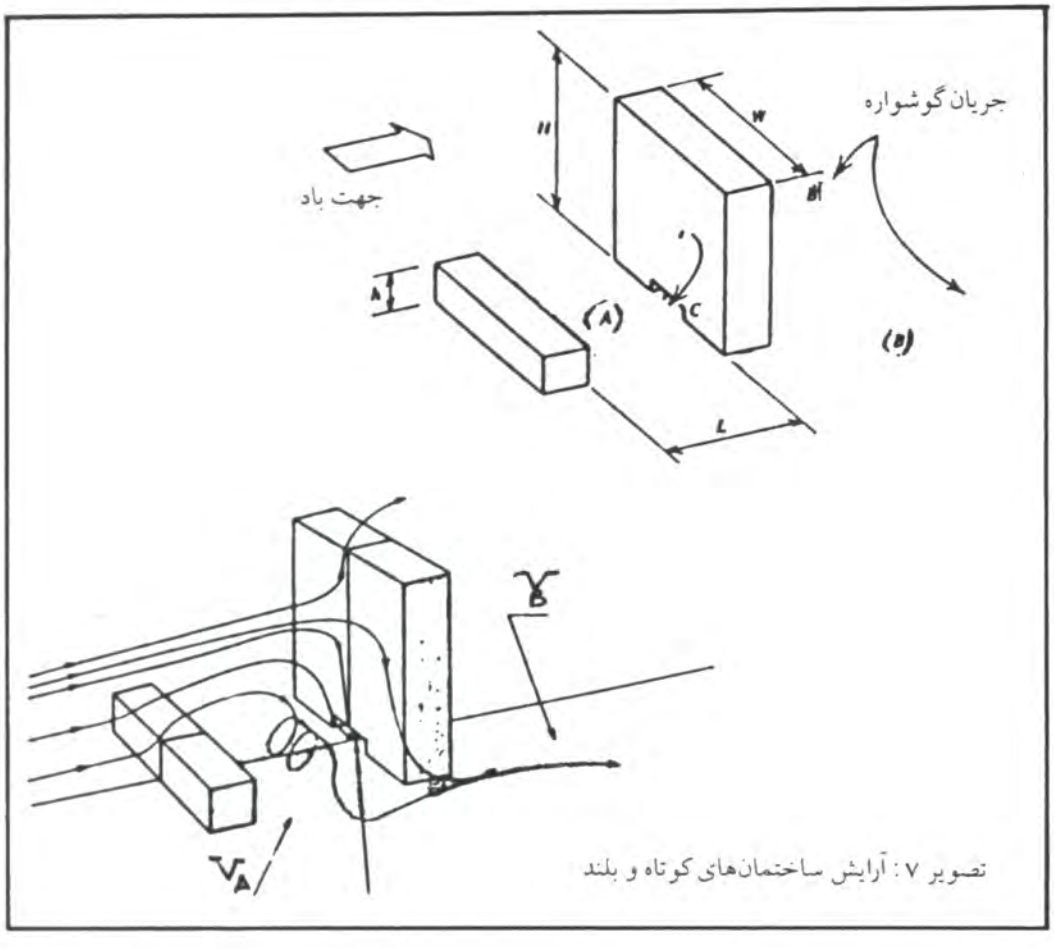
حالت دّوم:

این حالت ناظر بر تغییرات سرعت VA در شرایطی است که فاصلهٔ میان ساختمان‌ها برابر نصف ارتفاع ساختمان بلند باشد، $\frac{L}{H} = ۰/۵$.

این بار نیز مطالعه از ساختمان لاغر شروع می‌شود. در وضعیتی که تناسب ساختمان بلند نزدیک به مستطیل دو بر یک ایستاده است، سرعت به ۰/۴ سرعت باد در روی بام ساختمان بلند، VA، خواهد رسید (کمتر از حالت اوّل). هنگامی که تناسبات آن به مستطیل $\frac{۲}{۳}$ ایستاده نزدیک می‌شود سرعت VA به حداکثر خود نزدیک شده ۰/۶ (بیش از حالت اول)، از این مرحله به بعد با مربع شدن ساختمان بلند مقدار کسر $\frac{VA}{VH}$ کاهش یافته ولی هم چنان بیش از حالت اوّل خواهد بود. بالاخره، در حالتی که نمای ساختمان بلند مستطیل دو بر یک خوابیدهٔ کامل می‌شود سرعت VA دوباره به ۰/۴ سرعت VH خواهد رسید. تصویر شماره نه مقدار کسر $\frac{VA}{VH}$ را در شرایط فوق الذکر نشان می‌دهد.

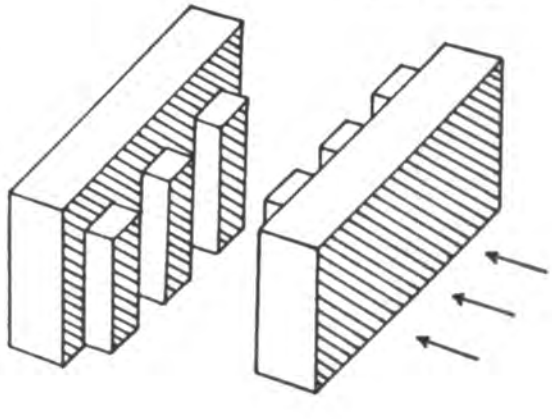


تصویر ۵ : گونهٔ ستونی، آرایش پلکانی

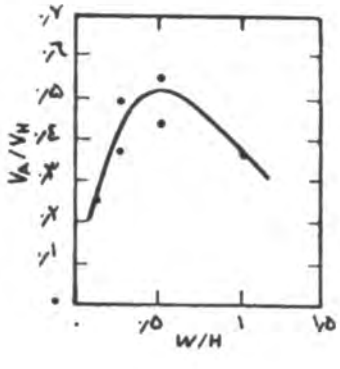


تصویر ۷ : آرایش ساختمان‌های کوتاه و بلند

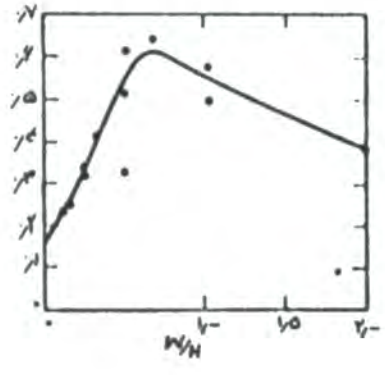
تصویر ۶ : کاهش سرعت جریان با ایجاد زایده در نمای ساختمان



تصویر ۸ : تغییرات سرعت باد در آرایش $\frac{L}{H} = ۰/۲۵$



تصویر ۹ : تغییرات سرعت باد در آرایش $\frac{L}{H} = ۰/۵$



حالت سوّم :

این حالت ناظر بر تغییرات سرعت VA در شرایطی است که فاصلهٔ بین ساختمان‌ها برابر ارتفاع ساختمان بلند باشد، $\frac{L}{H} = ۱$

اگر مطالعه همچنان از ساختمان لاغر شروع و به طول ساختمان‌ها اضافه شود، ملاحظه خواهد شد که در وضعیتی که نمای ساختمان بلند نزدیک به مستطیل دو بر یک ایستاده است، مقدار سرعت VA نسبت به حالت دوّم (فوق الذکر) کمتر بوده است. هنگامی که نما به تناسب مربع نزدیک می‌شود، تقریبا مساوی حالت دوّم می‌گردد $\frac{VA}{VH} = ۰/۵$. سپس در وضعیتی که نمای ساختمان بلند به مستطیل $\frac{۳}{۲}$ خوابیده تبدیل می‌شود، مقدار VA نیز به حداکثر خود خواهد رسید و در حدود ۰/۶ سرعت باد روی بام ساختمان بلند خواهد شد. از این پس تا زمانی که نمای ساختمان بلند به مستطیل دو بر یک خوابیده تبدیل می‌شود تفاوت محسوس در مقدار VA حاصل نخواهد شد. مقدار عددی کسر $\frac{VA}{VH}$ در شرایط فوق الذکر در تصویر شماره ده آمده است.

حالت چهارم :

این حالت، ناظر بر تغییرات سرعت VA در شرایطی است که فاصلهٔ میان ساختمان‌ها دو برابر ساختمان بلند است؛ $\frac{L}{H} = ۲$.

مطالعه، مانند سابق پی گرفته می‌شود. در وضعیتی که تناسب نمای ساختمان بلند، نزدیک به مستطیل یک بر دو ایستاده باشد، نسبت سرعت VA به VH کمتر از سه حالت بالا بوده و همچنان تا زمانی که تناسب ساختمان بلند به مربع نزدیک می‌شود نسبت به حالت‌های فوق کمتر خواهد ماند.

در وضعیتی که نمای ساختمان بلند به مستطیل $\frac{۳}{۲}$ خوابیده تبدیل می‌شود نسبت VA به VH فقط از حالت دوّم و سوم کمتر بوده و از آن پس تا زمانی که به مستطیل دو بر یک خوابیده می‌گردد نسبت VA به VH کمتر از حالت سوّم و بیشتر از حالت دوّم خواهد شد. تصویر شماره یازده، مقدار کسر $\frac{VA}{VH}$ را در شرایط فوق الذکر نشان می‌دهد.

جمعبندی حالت‌های چهارگانه :

از مقایسه حالت‌های بالا (تصاویر شماره هشت، نه، ده، یازده) چنین نتیجه می‌شود: تا زمانی که ارتفاع ساختمان بلند از دو برابر ساختمان کوتاه بیشتر و از هشت برابر آن کمتر است، ماکزیمم VA (جریان جلوی ساختمان بلند) در وضعیتی اتفاق می‌افتد که نسبت فاصلهٔ بین دو ساختمان به ارتفاع ساختمان مرتفع از نیم بیشتر و از یک کمتر باشد.

ضمناً تا زمانی که فاصلهٔ دو ساختمان کوچکتر از ارتفاع ساختمان بلند است ($\frac{L}{H} < ۱$) ماکزیمم سرعت باد در شرایطی اتفاق می‌افتد که تناسب ساختمان مرتفع عقبی، نزدیک به مربع می‌شود. در صورتی که فاصلهٔ بین دو ساختمان از ارتفاع ساختمان بلند بیشتر شود ($\frac{L}{H} > ۱$) ماکزیمم سرعت باد هنگامی اتفاق می‌افتد که تناسب ساختمان مرتفع عقبی نزدیک به مستطیل خوابیدهٔ دو بر یک باشد.

شایان توجه است که در مطالعات بالا، سرعت جریان باد در جبههٔ رو به باد ساختمان بلند، به صورت نسبتی از سرعت جریان باد در ارتفاع بام ساختمان مرتفع داده شده است. به همین دلیل به آسانی قابل لمس نیست. برای رفع این اشکال، می‌توان سرعت باد در ارتفاع بام را نسبت به سرعت باد در ارتفاع ایستگاه‌های هواشناسی سنجید. جدول شماره دو نسبت سرعت باد بالای بام را به سرعت باد در ارتفاع ده متری (ارتفاع دیده‌بانی در ایستگاه‌های هواشناسی) برای بافت حاشیهٔ شهر نشان می‌دهد. برای سایر بافت‌های شهری باید مقدار آن را با استفاده از فرمول (قانون قوه) (۴) محاسبه کرد.

سرعت باد در منطقهٔ گوشواره ساختمان مرتفع، در آرایش گروه A۳ :

در صورتی که دو ساختمان کوتاه و بلند از لحاظ آیرودینامیک ساختمانی ایجاد مجتمع کنند، سرعت باد در کنار ساختمان بلند (VB، تصویر شماره پنج)، در ارتفاع عابر پیاده، در عرضی معادل عرض ساختمان بلند و طولی معادل ارتفاع آن ، (از نبش پیشین ساختمان) دستخوش تغییرات و از سرعت باد در کنار ساختمان‌های منفرد مشابه متفاوت خواهد شد.

بررسی‌های انجام شده نشان می‌دهد که نسبت ارتفاع ساختمان‌های مجتمع، عامل مهمی در تغییرات سرعت باد در گوشوارهٔ ساختمان بلند بوده و با آن هم بستگی غیر خطی دارد. تصویر شماره دوازده این هم بستگی را با رعایت شرایط زیر نشان می‌دهد :

۱) $\frac{W}{H} < ۰/۵$ نمای ساختمان بلند از مستطیل دو بر یک ایستاده لاغرتر باشد.

۲) $۰/۵ < \frac{L}{H} < \infty$ فاصلهٔ بین دو ساختمان بیش از نصف ارتفاع ساختمان بلند و کمتر از بینهایت باشد.

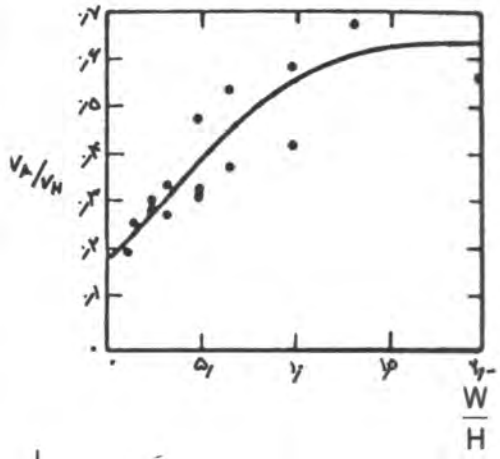
به طور کلی مقدار $\frac{VB}{VH}$ برای نمونهٔ نماهای متداول بالغ بر ۰/۹۵ محاسبه شده است.

علاوه بر مطالعهٔ بالا، احتمال رابطهٔ متغیرهای عمدهٔ دیگر، از جمله ارتفاع ساختمان بلند، ارتفاع ساختمان کوتاه، طول ساختمان بلند و فاصلهٔ میان ساختمان‌ها و تغییرات سرعت مورد بررسی قرارگرفته است. ذکر جزئیات این مطالعات از حوصلهٔ این مطالعه خارج است. فقط یادآوری نتایج حاصله به صورت فهرست وار مفید واقع خواهد شد :

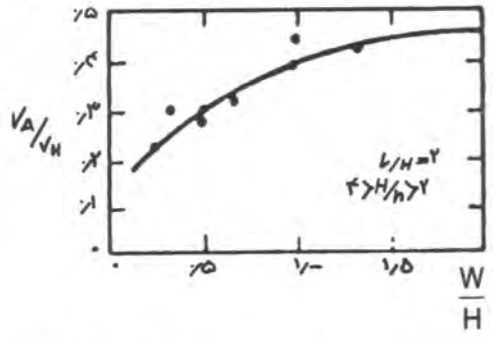
۱) بین تغییرات طول و ارتفاع ساختمان بلند با تغییرات VB هم بستگی غیر خطی وجود دارد. یعنی تغییرات سرعت باد در گوشواره ساختمان تابع طول و ارتفاع ساختمان بلند و غالبا صعودی می‌باشد لذا با اضافه شدن طول و ارتفاع ساختمان بلند به سرعت باد در منطقهٔ گوشوارهٔ پهلوی ساختمان بلند اضافه خواهد شد (تصویر شماره سیزده).

۲) هم بستگی VB با ارتفاع ساختمان کوتاه نسبته پیچیده است. یعنی، تا زمانی که ارتفاع ساختمان کوتاه‌برابر ربع ساختمان بلند ویاکمتر است $\frac{h}{H} \leq ۴$ سرعت جریان باد در کنار ساختمان بلند، مستقل از تغییرات ارتفاع ساختمان کوتاه است. با مرتفع شدن ساختمان کوتاه و تا زمانی که $\frac{h}{H} = \frac{۳}{۴}$ است، هم بستگی سرعت باد VB با ارتفاع ساختمان کوتاه h معکوس شده و از آن پس تا لحظه‌ای که دو ساختمان هم ارتفاع شوند، مستقیم خواهد شد. یعنی با مرتفع

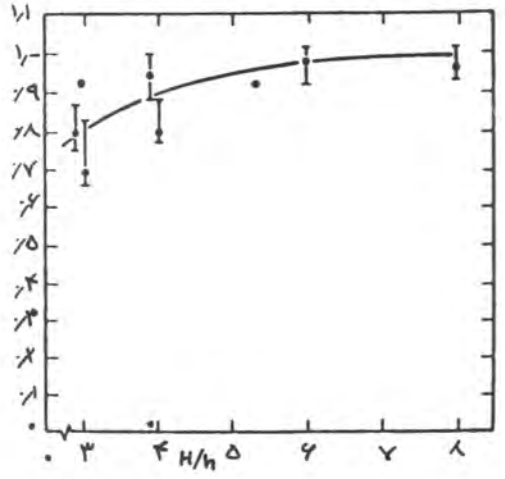
تصویر ۱۰ : تغییرات سرعت باد در آرایش $\frac{L}{H} = 1$



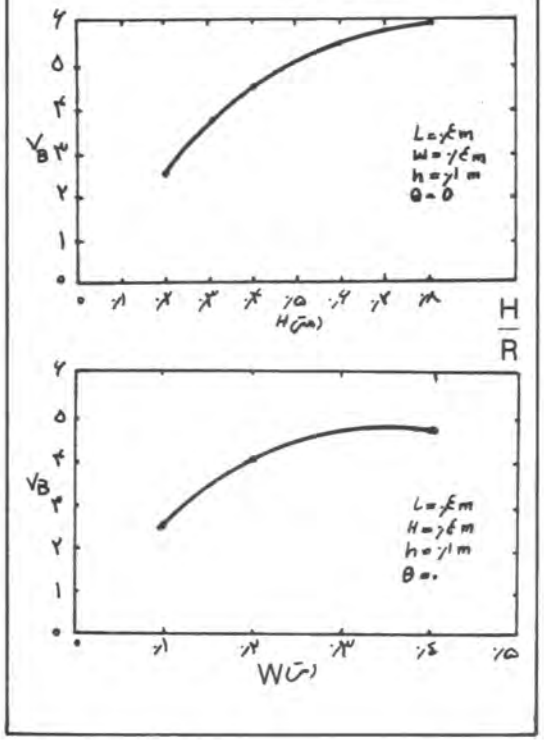
تصویر ۱۱ : تغییرات سرعت باد در آرایش $\frac{L}{H} = ۲$



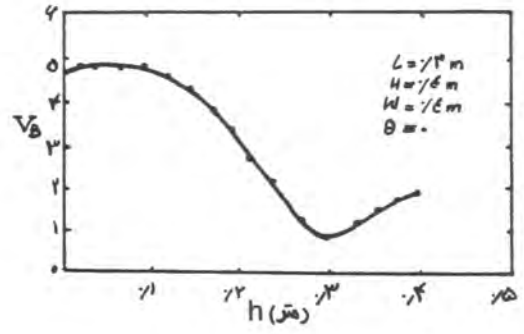
تصویر ۱۲ : تغییرات سرعت باد در گوشوارهٔ گونه ستونی آرایش ساختمان‌های بلند و کوتاه



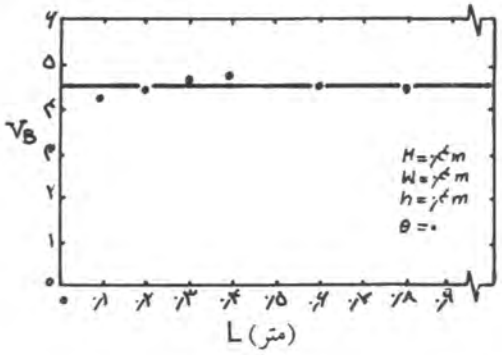
تصویر ۱۳ : تغییرات سرعت جریان گوشواره نسبت به تغییرات طول و ارتفاع ساختمان بلند



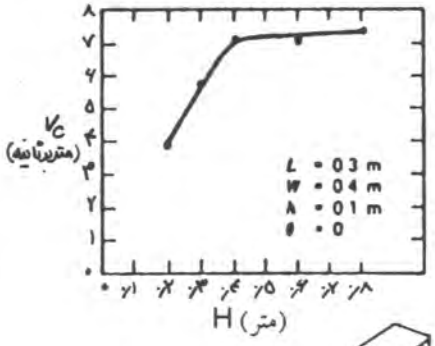
تصویر ۱۴ : تغییرات سرعت جریان گوشواره نسبت به تغییرات ارتفاع ساختمان کوتاه

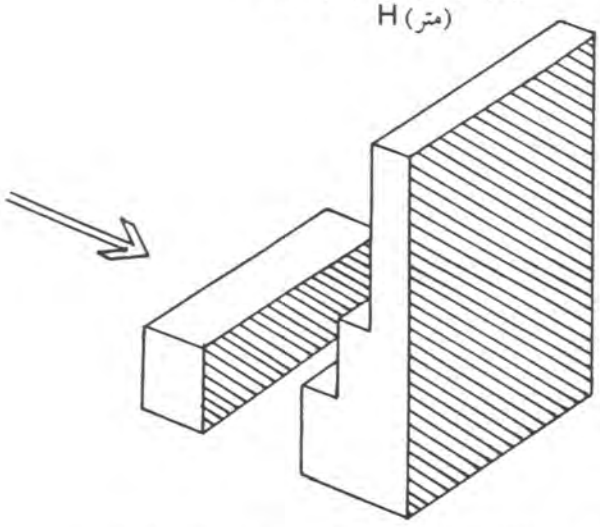


تصویر ۱۵ : تغییرات سرعت جریان گوشواره نسبت به تغییرات فاصله ساختمان‌ها



تصویر ۱۶ : تغییرات سرعت جریان زیرگذر، گونهٔ ستونی، آرایش ساختمان‌های کوتاه و بلند





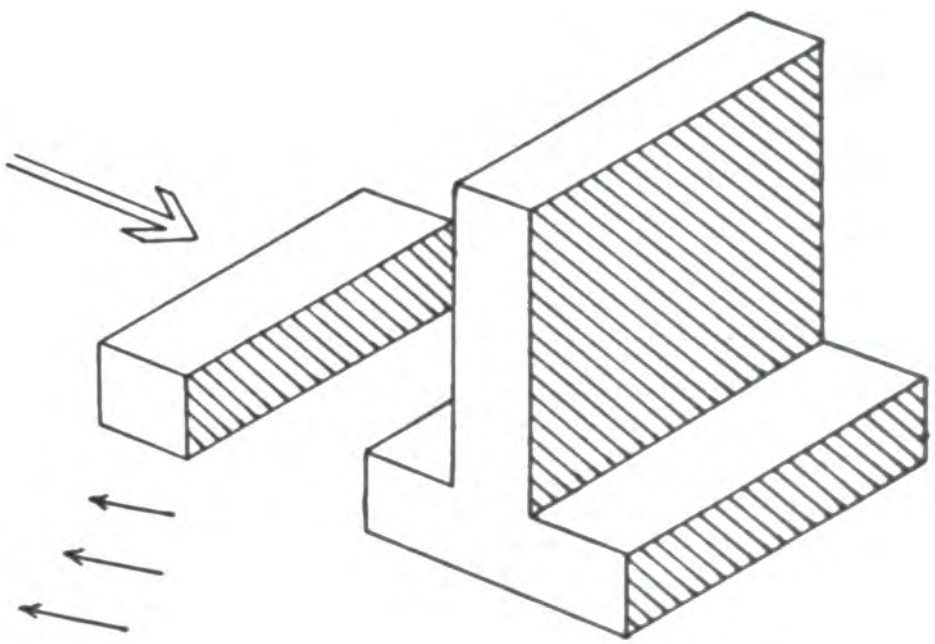
تصویر ۱۷ : کاهش سرعت باد در جلوی ساختمان بلند با روش پلکانی کردن آن

ارتفاع ساختمان مرتفع به متر	۲۰	۳۰	۴۰	۵۰	۶۰	۷۰	۸۰	۹۰	۱۰۰
سرعت باد در بام ساختمان‌مرتفع نسبت به‌باد در ارتفاع ۱۰ متر	۰/۷۳	۰/۸۲	۰/۸۹	۰/۹۴	۰/۹۹	۱/۰۴	۱/۰۸	۱/۱۱	۱/۱۴

جدول ۲ ـــ نسبت سرعت باد در ارتفاع بام ساختمان بلند به باد دیده‌بانی شده در ارتفاع ده متر

تصویر ۱۹ کاهش سرعت باد در ارتفاع عابر پیاده با روش جدائ سکو

تصویر ۱۹ : کاهش سرعت باد در ارتفاع عابر پیاده با روش بازکردن دهانه وسیع در ساختمان بلند



شدن ساختمان کوتاه به سرعت VB نیز افزوده می‌گردد (تصویر شماره چهارده).
۳) فاصلهٔ بین ساختمان‌ها L و VB مستقل از یکدیگر هستند. (تصویر شماره پانزده).
۴) در شرایط مشابه، سرعت باد در منطقهٔ کنار ساختمان بلند (گوشواره) به مراتب بیشتر از جریان هوای جلوی ساختمان است. آزمایش‌های انجام شده نشان می‌دهد که برای مجتمع‌های ساختمانی معمول، نسبت سرعت باد در کنار ساختمان بلند به سرعت باد در بام ساختمان بلند در حدود ۰/۹۵ خواهد شد. به عبارت دیگر، در صورت یکسان بودن سایر شرایط سرعت باد در منطقهٔ گوشوارهٔ ساختمان مرتفع در حدود دو برابر سرعت باد جلوی همان ساختمان است.

سرعت‌باد در گذر یا پیلوتی زیرساختمان :

اگر در شرایطی، منطقه فشار (جبههٔ رو به باد) ساختمان با منطقهٔ فشار منفی (جبههٔ پشت به باد) آن توسط گذر یا پیلوتی زیر ساختمان ارتباط برقرار شود، جریان هوا از منطقهٔ فشار قوی‌تر به سرعت به طرف منطقهٔ فشار ضعیف‌تر برقرار شده و در مواردی نیز باعث ناراحتی می‌شود. اثر این پدیده در مجتمع‌های مسکونی کوتاه و بلند شدیدتر است.

مطالعات آیرودینامیکی در بارهٔ رابطهٔ ارتفاع ساختمان مرتفع و تغییرات Vc (تصویر شماره پنج)، نشان می‌دهند که به شرط آن که طول ساختمان بلند برابر نصف ارتفاع آن یا بیشتر باشد و فاصلهٔ بین دو ساختمان نیز از ارتفاع ساختمان بلند کمتر نباشد، دو وضعیت قابل تشخیص است :

وضعیت اوّل : تا زمانی که ارتفاع ساختمان بلند از پنج برابر ساختمان کوتاه تجاوز نکرده باشد هم بستگی دو کسر $\frac{H}{h}$ و $\frac{Vc}{VH}$ مستقیم است. یعنی با اضافه شدن به تفاوت ارتفاع دو ساختمان، به سرعت گذر جریان زیرساختمان نیز اضافه خواهد شد و مقدار آن از ۱/۲ برابر سرعت باد در ارتفاع بام ساختمان‌بلند تجاوز خواهد کرد.

وضعیت دوّم : با گذشتن از حد بالا تا لحظه‌ای که ارتفاع ساختمان بلند نزدیک به هشت برابر ساختمان کوتاه شود هم بستگی دو کسر بالا معکوس خواهد شد. یعنی با افزایش اختلاف ارتفاع از سرعت باد در گذر زیر ساختمان کاسته می‌گردد. ولی همواره از ۱/۱ برابر سرعت باد در ارتفاع بام ساختمان بلند بیشتر خواهد بود

علاوه بر بررسی‌های بالا، احتمال رابطهٔ میان متغیرهای دیگر از قبیل ارتفاع ساختمان بلند، طول ساختمان بلند، فاصلهٔ بین ساختمان‌ها، ارتفاع ساختمان کوتاه (به عنوان عامل مستقل تحقیقاتی) مورد مطالعه قرار گرفته است که نتایج عمدهٔ آن اجمالاً در زیر آمده است :

۱) میان طول ساختمان بلند و Vc همواره هم بستگی مستقیم وجود دارد.
۲) هم بستگی بین ارتفاع ساختمان بلند و Vc نسبته پیچیده است. یعنی تا زمانی که ارتفاع ساختمان بلند کمتر از طول آن است هم بستگی مستقیم وجود دارد. بدین معنی که با اضافه شدن ساختمان به سرعت Vc نیز اضافه خواهد شد. در شرایطی که ارتفاع و طول ساختمان بلند تقریباً برابر هم و نمای ساختمان نزدیک به مربع هست این هم بستگی ضعیف شده تا حدی که مستقل از یکدیگر به نظر می‌رسند.(تصویر شانزده).
۳) فاصلهٔ بین ساختمان‌ها و Vc همواره مستقل از یکدیگرند.
۴) دو متغیر h، ارتفاع ساختمان کوتاه، و Vc در شرایطی که رابطهٔ $\frac{H}{h} \geq \frac{۸}{۵}$ صادق است مستقل از یکدیگر بوده و در وضعیتی که رابطهٔ $\frac{H}{h} \geq \frac{۸}{۷}$ و بالاخره $\frac{H}{h} \geq \frac{۸}{۵}$ برقرار باشد هم بستگی معکوس داشته و بالاخره اگر اختلاف ارتفاع ساختمان کوتاه و بلند ناچیز باشد، مستقل از یکدیگر هستند.
۵) تحت شرایط مساوی سرعت Vc در دهانهٔ گذر با کلوناد زیر ساختمان از سرعت باد در سایر مناطق آیرودینامیکی اطراف ساختمان بیشتر است چرا که نسبت آن به سرعت باد در ارتفاع بام ساختمان بلند در مجتمع‌های مسکونی معمول به ۱/۲ نیز می‌رسد. و این بدان معنی است که سرعت باد جاری در دهانهٔ گذر به ۲/۵ برابر سرعت باد جاری در جلوی ساختمان بلند خواهد شد.

شایان ذکر است که شکل دهانه گذر در سرعت باد این منطقه تأثیر دارد به طوری که دهانهٔ گذر به شکل دهانهٔ شیپور ساخته شود از سرعت Vc به میزان ۰/۲۵ کاسته خواهد شد.

گروه A۴ :

متأسفانه در بارهٔ گروه A۴ (مجتمع ساختمان‌های بلند و کوتاه، پس و پیش) تا لحظه نگارش این مطالب گزارش تحقیقاتی در دست نبوده است. لذا ارایه بحث توصیفی در مورد رفتار باد هم چنین تغییرات سرعت آن در مناطق آیرودینامیکی این گروه میسر نیست، و هر نوع اظهار نظر فاقد ارزش تحقیقاتی خواهد بود.

بدیهی است که ارایه نظریه معتبر در موزد رفتار باد در این گونه مجتمع‌های ساختمانی به دلیل متغیرهای متعدد و مؤثر در مسأله کار ساده‌ای نیست و دسترسی به آن نیاز به تحقیقات مفصل دارد. ولی از سوی دیگر می‌توان امیدوار بود که به دلیل استفاده روز افزون تونل باد در مطالعات آیرودینامیک ساختمانی، دانش آزمایشگاهی ناظر بر این گروه هرچه زودتر تحصیل و تکمیل گردد.

اطلاعات پایه که کمبود آنها در حال حاضر تولید اشکال کرده است و دسترسی بدآن باید در اولویت قرار گیرد عبارتست از :

۱) اطلاعات ناظر بر هندسهٔ استقرار ساختمان‌ها در پلان و اختلاف آنها در ارتفاع و مطالعهٔ شرط لازم و کافی برای تشکیل مجتمع ساختمانی گروه A۴ (از لحاظ پس و پیش بودن ساختمان‌ها در پلان و بلند و کوتاه بودن آنها در نما) ؛
۲) اطلاعات ناظر بر شکل و وسعت مناطق آیرودینامیک اطراف ساختمان‌ها؛
۳) اطلاعات مربوط به متغیرهای عمده چون ارتفاع، طول، فاصله .... ساختمان‌ها و تغییرات سرعت باد در مناطق آیرودینامیکی اطراف ساختمان‌ها.

جمعبندی و نتیجه‌گیری از مبحث گونهٔ ستونی :

در این مبحث، آرایش ستونی تعریف و از اهمیت نظم در ارتفاع و پلان مجتمع ستونی صحبت و براساس آنها گونهٔ ستونی به چهارگروه کوچکتر تقسیم شد و رفتار باد و سرعت آن در هریک از گروه‌های معین مورد مطالعه قرارگرفت. نتیجه این‌که :

۱) گروه هم ارتفاع هم ردیف از لحاظ پناه‌دادن انسان در مقابل باد اهمیت دارد.

۲) گروه هم ارتفاع پس و پیش در شرایطی قابلیت پناه دادن را حفظ می‌کند و در شرایطی از دست می‌دهد.

گروه بلند و کوتاه هم ردیف از لحاظ تغییرات سرعت باد در مناطق آیرودینامیکی بحث مفصلتری طلب کرد و سرعت باد جاری در جلو، پهلو و زیر ساختمان مرتفع این آرایش به صورت مجزا مورد بررسی قرار گرفت.

مطالعات موجود بیانگر آن است سرعت باد جاری در جلوی ساختمان در حدود نصف، در منطقهٔ گوشواره تقریباً ۰/۹۵ و در گذر زیر ساختمان در حدود ۱/۲ برابر سرعت باد در ارتفاع بام ساختمان مرتفع است. بدین ترتیب، مقدار ازدیاد سرعت باد در گذر و کلوناد زیر ساختمان بیشترین و در جلوی ساختمان مرتفع، کمترین است.

در بارهٔ گروه بلند و کوتاه، پس و پیش مطالعات موثق در دست نیست.

باید توجه داشت که برای اندازه‌گیری سرعت باد جاری در مناطق آیرودینامیکی اطراف ساختمان‌های مجتمع، سرعت باد جاری در ارتفاع ساختمان مرتفع ملاک محاسبه قرارگرفته، نسبت آنها اندازه‌گیری شده است. لذا در صورتی که سرعت باد جاری در مناطق جلو، گوشواره و گذر زیر ساختمان‌های مرتفع با سرعت باد آزاد منطقه در ارتفاع عابر پیاده سنجیده شود ملاحظه خواهد شد که ازدیاد سرعت باد در داخل مجتمع بیش از مقادیر مذکور بوده و در مواردی باعث آزار انسان می‌شود.

برای کاهش سرعت باد و یا پرهیز از مزاحمت آن، در شرایط معینی می‌توان از یک یا چند راه حل زیر استفاده کرد. این راه حل‌ها که به دو دستهٔ عمومی (راه حل‌های مناسب کلیه گونه‌ها) و راه حلهای اختصاصی (مختص گروه A۳) تقسیم شده‌اند به قرار زیر هستند :

راه‌حل‌های عمومی :

۱) ساختمان‌های بزرگ را عمود بر جریان بادهای سریع منطقه طراحی نکرد؛

۲) از درخت و درختچه به عنوان بادشکن استفاده کرد؛

۳) در صورتی که سرعت باد جاری در گوشوارهٔ ساختمان تولید اشکال میکند با گرد کردن گوشه‌های رو به باد ساختمان سرعت جریان باد راتقلیل داد.

راه‌حل‌های اختصاصی :

۱) از ارتفاع ساختمان مرتفع کاست و آن را زیر بیست و پنج متر نگاه داشت؛

۲) مقطع ساختمان بلند را پلکانی طراحی کرد؛ (تصویر شماره هفده)؛

۳) طبقات زیرین ساختمان را پهن‌تر طراحی کرد به طوری که گویی ساختمان در روی سکویی وسیع احداث خواهد شد (تصویرشماره هجده). ارتفاع سکو باید برابر یا از ساختمان‌های اطراف اندکی بلندتر باشد تا جریان باد در بالای سکو اتفاق افتاده و برای عابر پیاده ایجاد مزاحمت نکند (Lawson, 1980).

۴) در ارتفاع بالاتر از بام ساختمان‌های مجاور، دهانهٔ وسیعی در نمای ساختمان مرتفع خالی نگاه داشت تا از هدایت باد به سطح زمین جلوگیری به عمل آید (تصویر شماره نوزده)؛

۵) از ارتباط مستقیم بین دو منطقهٔ فشار مثبت (جبههٔ رو به باد) و فشار منفی (جبههٔ پشت به باد) ساختمان مرتفع از طریق کلوناد و یا پیلوتی، گذر، راهرو و امثال آنها در صورت مزاحمت جلوگیری به عمل آورد؛

۶) در صورتی که هال ورودی ساختمان یا این دو منطقه در ارتباط مستقیم است دربهای ورود و خروج ساختمان را با سر درب‌های نسبته عمیق مسقف کرد، (Wiren,1977).

منابع :

1) Aynsley,R.M, Melbourne,W & Vicker,P.J;
Architectural Aerodynamics, Applied Science Publishers Ltd, London, 1977

2) Gandemer, J;
Wind Environment Around Buildings : Aerodynamic Concepts in, Proceedings of the Fourth International Conference on Wind Effects on Buildings & Structures, Cambridge University,press, 1977

3) Ishizaki, & Chiu A.N.L.; Wind Effects on Structures, Proceedings of the Second U.S.A-Japan research seminar on Wind Effects on Structures, the University press of Hawaii, Honolulu, 1976

4) International Conference, Wind Effects on Buildings & Structures, Tokyo, 1971

5) International research seminar, Wind Effects on Buildings & Structures, Ottawa, Canada University.of Toronto Press, 1968

6) Journal of Wind Engineering & Industrial Aerodynamics, 41.42 (1992)
7) Lawson, T.A;
Wind Effeets on Buildings, Applied Science Publishers Ltd, London, 1980
8) Melarago, M;
Wind in Architectural & Environmental Design, Van Nostrand Reinhold Company, New York, 1982
9) Proceedings of a Symposium on Wind Effects on Buildings & Structures, Loughbrogh University. of Technology, England, 1968
10) Proceedings of the conference held at the National Physical Laboratory, Wind Effects on Buildings & Structures Teddington, Middlesex, London, 1962
11) Simiv; Emil,
Wind Effects on Structures,... , 1977
12) Sachs, Peter;
Wind Forces in Engineering, Pergamon Press Limited, Headington Hillhall, Oxford,1972

معماری، هرگاه که مطالعه عکس العمل انسان نسبت به سرعت باد مطرح است ،باید به جای سرعت متوسط، ازمفهوم سرعت معادل ثابت باد که سرعت تغییرات باد در زمان را درنظر می گیرد واز فرمول زیر قابل محاسبه است، استفاده کرد:

[(شدت تلاطم)k+۱]×سرعت متوسط=سرعت معادل ثابت

شدت تلاطم، نسبت بین انحراف استاندارد و سرعت متوسط را نشان می دهد و مقدار k ضریب عددی است که بر سر مقدارآن اختلاف نظر وجود دارد و از صفرتاچهار پیشنهاد شده است (Laiwson 1980).

۴- برای محاسبهٔ تغییرات سرعت باد از سطح زمین تا ارتفاع گرادیان روش‌های متفاوتی وجود دارد. رایج‌ترین آنها استفاده از فرمول «قانون قوه» است :

$$\frac{VZ}{VZG} = \left(\frac{Z}{ZG}\right)^{\alpha}$$

در این فرمول Vz سرعت متوسط باد در ارتفاع معین یعنی Z، VZG سرعت متوسط باد در ارتفاع گرادیان یعنی ZG و ∝ قوهٔ عددی و تابع ناهمواری زمین است. مقدار ∝ برای پهنه‌های باز و وسیع ۰/۱۱، برای پهنه‌های وسیع با پوشش گیاهی پراکنده ۰/۱۵، برای مناطق حومه‌ای شهرهای کوچک و مناطق کاملا درختی ۰/۲۵ و برای مناطق پوشیده از ساختمان‌های مرتفع متعدد مراکز شهری و مناطق صنعتی توسعه یافته ۰/۳۶ در نظر گرفته می‌شود.

برای اطلاعات بیشتر رجوع شود به «سرعت باد در بافت‌های شهری» منصورهٔ طاهباز، صفهٔ شماره ۳و۴، زمستان ۱۳۷۰.

حاشیه :

۱- در بسیاری از شهرهای آمریکای شمالی، مطالعهٔ تحلیلی ازوضعیت وسرعت باد درپروژه‌های مربوط به مراکزشهری اجباری است .

۲- باد آزاد یک محدوده بادی است که قبل ازساخت وسازواحداث مانع، در منطقه وجود داشته باشد

۳- به اعتقاد بسیاری از صاحبظران آیرودینامیک