تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۴/۰۸/۱۱
تاریخ پذیرش نهایی: ۱۳۹۴/۱۱/۲۰

محمدتقی رضایی حریری[۱]، شیوا نجف‌خسروی[۲]، پریا سعادت‌جو[۳]

بررسی تأثیر مقطع ساختمان‌های بلندمرتبه بر رفتار باد در پیرامون بنا[۴]

چکیده

تحقیق حاضر با نگرش به عامل باد به‌عنوان یکی از عوامل آسایش اقلیمی، تأثیر تغییر فرم مقطع طولی ساختمان بر الگوی جریان باد در اطراف تک‌بنای بلندمرتبه (بالای ۱۵ متر و به‌عبارتی بیش از پنج طبقه) را مورد تحلیل قرار می‌دهد. در این پژوهش، جمع‌آوری اطلاعات به روش مطالعه منابع کتابخانه‌ای و روش تحقیق، راهبرد شبه تجربی در ترکیب با شبیه‌سازی رایانه‌ای است. نتیجه‌گیری‌ها با استفاده از استدلال منطقی صورت گرفته است. گزینه‌های فرمی با مقاطع طولی متفاوت در محیط نرم‌افزار Gmabit 2.2 مدل‌سازی شد و شبیه‌سازی جریان باد با استفاده از نرم‌افزار Fluent 14 صورت گرفت و نتایج به‌صورت تصاویر شبیه‌سازی و نمودارها ارائه گردید. تحلیل‌های صورت گرفته نشان داد که الگوی جریان باد در اطراف ساختمانی با فرم مقطع زیگوراتی به کاهش حداکثری بادهای آزاردهنده در اطراف ساختمان می‌انجامد. در این میان جزئیات شکست و ترازهای تغییر فرم مقطع، بر چگونگی رفتار باد پیرامون بنا تأثیرگذار است. نتیجه این بررسی‌ها به‌عنوان الگوی کمک طراحی راهنمای عمل معماران در دستیابی به فرم‌هایی بهینه از نظر تأمین آسایش اقلیمی در اطراف بنا خواهد بود.

کلیدواژه‌ها: آسایش اقلیمی، مقطع، باد، فرم، عابران پیاده.

[۱] دانشیار گروه معماری پردیس هنرهای زیبا، دانشگاه تهران، استان تهران، شهر تهران
E-mail: mtrezaee@yahoo.com
[۲] کارشناس ارشد انرژی معماری، دانشگاه تهران، استان تهران، شهر تهران (نویسنده مسئول مکاتبات)
E-mail: shiva.khosravi@alumni.ut.ac.ir
[۳] دانشجوی دکتری معماری، دانشگاه تربیت مدرس، استان تهران، شهر تهران
E-mail: Paria.saadatjoo@modares.ac.ir

[۴] این مقاله برگرفته از پایان‌نامه کارشناسی ارشد شیوا نجف‌خسروی با عنوان «تنظیم شرایط میکروکلایماتیکی در اقلیم سرد» به راهنمایی دکتر محمدتقی رضایی حریری در پردیس بین‌المللی کیش دانشگاه تهران است.

مقدمه

نیاز به آسایش اقلیمی مختص فضاهای داخلی نیست. افراد بخش قابل توجهی از اوقات خود را در محیط خارج سپری می‌کنند و در آن شرایط هم نیاز به آسایش دارند؛ از این رو توجه به معیارهای کیفی در طراحی این فضاها اهمیت زیادی دارد. مباحث مربوط به آسایش اقلیمی از دهه ۷۰ میلادی با پژوهش‌های پ. اُ. فنگر به‌صورت جدی‌تری دنبال شد، اما اغلب این پژوهش‌ها در فضاهای داخلی ساختمان انجام شد. «معماران در طراحی‌های خود بیشتر به تأمین شرایط آسایشی داخل بنا اکتفا می‌کنند و فراهم نمودن شرایط مساعد در محیط بیرون به‌ویژه در کشورهای در حال توسعه اغلب نادیده گرفته می‌شود» (Rose et al., 2011, 1).

یکی از عوامل مؤثر بر شرایط آسایش انسان باد است. ساخت‌وسازهای متعدد در سال‌های گذشته و دستبرد بشر در طبیعت تأثیر بسزایی بر روی خرداقلیم و به‌ویژه رفتار باد ایجاد کرده است. «این شرایط در مجاورت ساختمان‌های بلند بسیار محسوس‌تر است؛ به‌طوری‌که افزایش سرعت باد در پای ساختمان‌های بلندمرتبه باعث سلب آسایش عابران پیاده شده و در بسیاری از مواقع خطرساز خواهد بود» (Blocken & Carmelient, 2008, 1). از این رو در طراحی یک تک‌بنا توجه به شرایط پیرامونی ساختمان و تأثیر آن بر روی خرداقلیم به اندازه تأمین شرایط مطلوب داخلی مهم و حائز اهمیت است. این مقوله بسیار مهم یعنی تأثیر فیزیک و فرم ساختمان بر رفتار باد در پیرامون بنا تاکنون بسیار کم‌اهمیت پنداشته شده است.

این پژوهش با تأکید بر ضرورت ایجاد آسایش اقلیمی برای عابران پیاده در محیط خارجی، به بررسی تأثیر فرم معماری بر شرایط پیرامونی و رفتار باد در اطراف ساختمان می‌پردازد و از میان شاخصه‌های متعدد فرمی، منحصراً بر روی فرم مقطع طولی ساختمان متمرکز می‌شود. در این زمینه پس از بررسی مفاهیم مرتبط با آسایش اقلیمی و فیزیک باد و مروری بر پژوهش‌های انجام شده در این زمینه، نتایج کمّی حاصل از شبیه‌سازی‌های عددی ارائه می‌گردد. در نهایت تحلیل داده‌های حاصله به منظور تبیین راهکارهایی معمارانه در راستای بهبود شرایط آسایشی پیرامون ساختمان‌های بلندمرتبه، صورت می‌گیرد.

مبانی نظری پژوهش

آسایش اقلیمی در فضای باز

افراد بخش قابل ملاحظه‌ای از ساعات روز را در فضای باز و محیط بیرون سپری می‌کنند. از این رو تأمین شرایط بهینه در محیط‌های خارج از ساختمان به اندازه فضاهای داخلی ساختمان حائز اهمیت است. آسایش اقلیمی انسان در محیط‌های خارج تحت تأثیر پارامترهای متعددی از قبیل دمای هوا، میزان رطوبت، کیفیت هوا و ... قرار می‌گیرد؛ در این میان یکی از مهم‌ترین پارامترهای تأثیرگذار بر این زمینه عامل باد است که در سال‌های اخیر بسیار مورد مطالعه قرار گرفته است (Stathopoulos, 2006, 769). با توجه به سابقه علمی طولانی‌تر معماری در مقایسه با طراحی شهری، بسیاری از پژوهش‌ها، روش‌ها و معیارهای سنجش آسایش حرارتی در فضاهای داخلی را به فضاهای باز بیرونی تعمیم داده‌اند و بدین ترتیب صرفاً شاخص‌های دمای هوا، رطوبت و جریان هوا را در نظر گرفته‌اند (Arens & Williams, 1977). اگرچه این روش‌ها هنوز مورد استفاده قرار می‌گیرند، اما رویکرد آن‌ها عموماً نادرست است و تنها در شرایطی صدق می‌کند که دمای هوا تقریباً با دمای متوسط تابشی برابر باشد[1]؛ این در حالی است که فضاهای باز واقعی چنین خصوصیاتی ندارند. در روش‌های جدید زیست‌هواسنجی بر اهمیت برجسته اشعه تابشی بر تعادل گرمایی بدن انسان تأکید شده است. بر طبق این تحقیقات، «دمای متوسط تابشی

می‌تواند تا ۳۰ درجه کلوین بالاتر از دمای هوا در محیط‌های باز باشد و حتی در سایه نیز تفاوت آنها با توجه به پراکنش و بازتابش اشعه تا ۵ درجه کلوین خواهد رسید» (Toudert, 2005).
با وجود تأثیر زیاد خرداقلیم‌ها در شرایط آسایش فضاهای داخلی، تعداد مطالعات انجام شده در زمینه آسایش حرارتی در فضای باز به مراتب کمتر از فضاهای داخلی است. می‌توان گفت به دلیل پیچیدگی‌ها و بر حسب تنوع فضایی و زمانی ناپایدار و طیف وسیع فعالیت‌هایی که افراد در فضاهای باز درگیر آن هستند، عوامل زیادی در محاسبه آسایش اقلیمی در فضای باز دخیل است. به دلیل گستردگی موضوع، این پژوهش با انتخاب یکی از پارامترهای دخیل یعنی عامل باد، به بررسی ارتباط میان شاخصه‌های کالبدی یک تک‌بنای بلندمرتبه و رفتار باد در حوزه پیرامونی آن می‌پردازد و بر این اساس با بررسی رفتار باد و مقایسه آن با استانداردها و دامنه‌های آسایش، میزان مطلوبیت شرایط را برای عابران پیاده در اطراف یک ساختمان می‌سنجد.

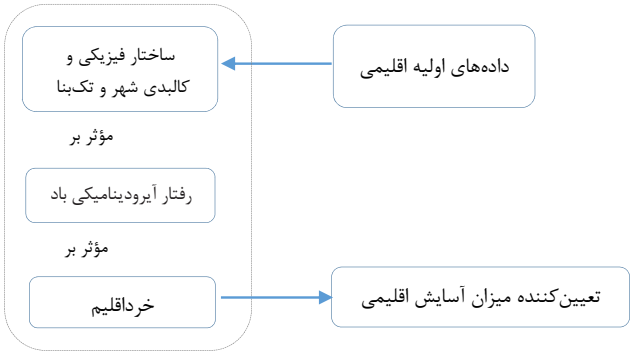
پارامترهای معمارانه تأثیرگذار بر رفتار آیرودینامیکی باد

عوامل مصنوع و دست‌ساز بشر رفتار آیرودینامیکی باد را تحت تأثیر قرار می‌دهد. به منظور بررسی عوامل مؤثر بر رفتار باد تاکنون پژوهش‌های متعددی انجام شده و تقسیم‌بندی‌های متفاوتی در این زمینه صورت گرفته است. برای هر نوع استفاده از بادهای مطلوب و یا جلوگیری از بادهای نامطلوب در محیط‌های باز، ضروری است ابتدا شرایط فیزیکی و دینامیکی جریان در اطراف ساختمان‌ها مشخص شود (بهادری‌نژاد و یعقوبی، ۱۳۸۵، ۲۷۹). آینسلی[۲] (۲۰۰۷) عوامل مؤثر بر رفتار باد را به سه دسته عوامل مرتبط با سایت و منظر، فرم ساختمان و طرح پوسته بنا، پلان داخلی و طرح فضاهای درونی تقسیم کرده است. در پژوهش دیگری توسط اوسمان[۳] (۲۰۱۱)، عوامل مؤثر، به سه مقیاس ریز و میانه و کلان دسته‌بندی شده‌اند. در این دسته‌بندی عوامل مرتبط با معماری تک‌بنا و اجزای ساختمان در دسته خرد، پارامترهای مرتبط با ساختار واحد همسایگی در دسته میانه و عوامل مرتبط با بافت شهری و ساختار طبیعی سایت در مقیاس کلان جای گرفته است. بر اساس این تقسیم‌بندی، ساختار پوسته ساختمان، جهت‌گیری بنا، تناسبات ساختمان[۴] و فرم آن از عوامل معمارانه مؤثر بر رفتار باد در اطراف تک‌بنا هستند (Osman, 2011, 67).

بررسی مطلوبیت اقلیمی محیط خارجی بر مبنای رفتار آیرودینامیکی باد

ویژگی‌های باد اعم از سرعت، شتاب، تواتر وزش و ... از جمله پارامترهای مؤثر بر آسایش اقلیمی در یک فضای شهری هستند. رفتار آیرودینامیکی باد در تراز پیاده اطراف ساختمان حاصل تعامل ویژگی‌های اولیه باد (سرعت وزش، شتاب، تواتر و ...) و ساختار کالبدی خود ساختمان‌ها (شکل، اندازه، ارتفاع و ...) است (Jackson, 1978, 252).
برای بررسی رفتار آیرودینامیکی باد در یک موقعیت مشخص و همچنین آسایش یا عدم آسایش حاصل از این رفتار به اطلاعات اولیه هواشناسی، اطلاعات آیرودینامیکی به همراه معیار آسایش نیاز داریم (Blocken & Carmelient, 2004, 114). در گام اول به‌دست آوردن اطلاعات هواشناسی به‌عنوان داده‌های اولیه‌ای که در پایگاه‌های هواشناسی[۵] گردآوری می‌شوند، ضروری است. به‌دلیل تفاوت شرایط حاکم بر پایگاه‌های هواشناسی و محیط‌های شهری، نیاز به بررسی خرداقلیم داریم تا بتوانیم بر اساس آن، آسایش یا عدم آسایش افراد حاضر در محیط‌های باز شهری را مشخص کنیم. پس از تبیین خرداقلیم و رفتار باد متأثر از ساختار کالبدی یک حوزه خاص، در گام بعدی به تبیین مطلوبیت یا عدم مطلوبیت

حیطه مورد نظر بر مبنای مقایسه شرایط خرداقلیمی با استانداردها و آستانه‌های آسایشی خواهیم پرداخت. به‌طور کلی می‌توان گفت که ساختار کالبدی معماری رفتار آیرودینامیکی باد را تغییر می‌دهد. این رفتار خرداقلیم خاص آن منطقه را تحت تأثیر قرار می‌دهد و در تعیین میزان آسایش اقلیمی هر منطقه مؤثر است. این مراحل سه گانه در شکل ۱ نشان داده شده است.



شکل ۱. روند بررسی میزان مطلوبیت اقلیمی محیط خارجی بر مبنای رفتار مکانیکی باد
منبع: نگارندگان

جمع‌آوری داده‌های اولیه اقلیمی

داده‌های اولیه اقلیمی از طریق اسناد، منابع کتابخانه‌ای و بررسی‌های میدانی به‌دست می‌آید. اسناد مکتوب بر اساس گزارش‌های اداره هواشناسی تنظیم می‌گردند. داده‌های اولیه معمولاً در پایگاه‌هایی گردآوری می‌شوند که در خارج از شهر و در محیط باز قرار دارند و مسلماً با شرایط داخل شهری متفاوت خواهند بود. استفاده از اطلاعات هواشناسی (که در محیط باز و در ارتفاع ده متری زمین کسب می‌شود) هنگامی برای مکانی دیگر معتبر است که اولاً بافت زمین مکان مذکور از لحاظ ناهمواری ناشی از پوشش گیاهی و ساخت‌وساز معماری مشابه بافت ایستگاه هواشناسی باشد و ثانیاً ارتفاع آن مکان نزدیک به ده متری زمین باشد. در غیر این‌صورت، سرعت باد با اطلاعات موجود تفاوت خواهد داشت و اگر متناسب‌سازی نشود از اعتبار اطلاعات کاسته می‌شود (رازجویان، ۱۳۸۶، ۱۱). در این پژوهش، متناسب‌سازی داده‌ها در دو مرحله صورت گرفت:

گام اول متناسب‌سازی سرعت برای ارتفاع : $\frac{\overline{V}_z}{\overline{V}_G}=\left[\frac{Z}{Z_G}\right]^{\alpha}$ (رابطه ۱)

در این رابطه $\overline{V_z}$ سرعت هوا در سایت طراحی بر حسب متر بر ثانیه و $\overline{V_G}$ سرعت گرادیان هوا بر حسب متر بر ثانیه و z ارتفاع مورد مطالعه بر حسب متر و Z_G ارتفاع گرادیان بر حسب متر و α توان عددی مربوط به بافت طراحی است. اطلاعات هواشناسی شهر جدید سهند در طول ده سال نشان می‌دهد که میانگین سرعت هوا ۲۴/۵۱ نات[۶] معادل ۱۲/۶۱ متر بر ثانیه و حداکثر سرعت ۲۸/۲۲ نات معادل ۱۴/۵۲ متر بر ثانیه است (اداره هواشناسی استان آذربایجان شرقی). برای به‌دست آوردن سرعت باد در ارتفاع دو متری عابر پیاده در بافت ایستگاه هواشناسی داریم:

مشخصات ایستگاه هواشناسی شبیه مشخصات بافت گونه دوم است، ارتفاع گرادیان ۳۰۰ متر و α=0/15

با توجه به رابطه فوق داریم: $\frac{\overline{Vz}}{12.61}=\left[\frac{2}{10}\right]^{0.15}$ (رابطه ۲)

گام دوم متناسب‌سازی برای بافت مورد نظر: $\frac{\overline{Vz}}{\overline{V_{z_2}}}=\frac{\left[\frac{z}{zG_1}\right]^{\alpha_1}}{\left[\frac{z}{zG_2}\right]^{\alpha_2}}$ (رابطه ۳)

در این رابطه V_Z سرعت متوسط باد در ارتفاع مورد نظر (در بافت معلوم که ممکن است ایستگاه هواشناسی باشد) برحسب متر در ثانیه و V_Z سرعت متوسط باد در همان ارتفاع (بافت مورد مطالعه)،Z ارتفاع مورد نظر(در بافت معلوم) برحسب متر و Z_{G1} ارتفاع گرادیان (در بافت مورد مطالعه) بر حسب متر، α_1 و α_2 توان‌های عددی مربوط به بافت معلوم و بافت مورد مطالعه است. در این مرحله، داده به‌دست آمده از مرحله پیشین، بر اساس رابطه مذکور برای بافت سایت شهرک سهند متناسب‌سازی گردید و مقدار ۵/۵۸ متر بر ثانیه حاصل گردید.

بررسی خرداقلیم بر مبنای شرایط آیرودینامیکی

خرداقلیم یک منطقه مشخص که میزان مطلوبیت اقلیمی آن مکان را مشخص می‌کند بر مبنای پارامترهایی از قبیل دمای هوا، میزان رطوبت، رفتار باد و .. قابل سنجش است. این پارامترها توسط دسته‌ای از عوامل طبیعی و مصنوع تحت تأثیر قرار می‌گیرند. معماری و شهرسازی به‌عنوان زیرمجموعه‌ای از عوامل مصنوع نقش تعیین‌کننده‌ای در تغییر خرداقلیم و شرایط حاکم بر محیط ایفا می‌کند. این عوامل از منظر مقیاس به سه دسته کلان، میانه و خرد قابل تقسیم هستند.

این پژوهش با تمرکز بر روی مقوله آسایش محیطی، به بررسی ارتباط میان رفتار باد و آسایش در فضای باز می‌پردازد. فرم طبیعی سایت، ساختار بافت‌های شهری و شبکه‌بندی خیابان‌ها از پارامترهای تأثیرگذار بر رفتار باد در مقیاس کلان و نحوه همجواری ساختمان‌ها، چیدمان بلوک‌ها و موقعیت آن‌ها نسبت به یکدیگر از عوامل مؤثر در مقیاس میانه هستند. فرم تک‌بنا، تناسبات شکلی، اجزای سازنده بنا و .. نیز از پارامترهای موجود در مقیاس خرد هستند که با تأثیر خود بر رفتار باد، شرایط پیرامونی ساختمان‌ها را تحت تأثیر قرار می‌دهند. به همین منظور، پژوهش حاضر با انتخاب فرم مقطع ساختمان به‌عنوان متغیر مستقل و سرعت باد به‌عنوان متغیر وابسته، با ایجاد گزینه‌های فرمی به بررسی تأثیر فرم مقطع بر رفتار آیرودینامیک باد در پیرامون بنا می‌پردازد.

شناسایی میزان مطلوبیت اقلیمی بر مبنای مقایسه با شرایط استاندارد

تأثیر باد از دو جنبه مکانیکی و حرارتی قابل بررسی است. بررسی اثر حرارتی باد به دلیل کثرت و تنوع پارامترهای دخیل از قبیل سرعت وزش، یکنواختی وزش، میزان رطوبت هوا، متابولیسم بدن، نوع پوشش بدن، رطوبت لباس‌ها و .. کار نسبتاً پیچیده‌ای است (Blocken & Carmelient, 2004, 111).

برای ارزیابی نیروی مکانیکی حاصل از باد بر بدن انسان و در نتیجه آسایش و ایمنی عابر پیاده، معیارهای گوناگونی در رشته مهندسی باد مشخص شده است. تفاوت‌های قابل توجهی میان اعداد مختلف به‌عنوان آستانه‌هایی که برای شرایط بادی غیرقابل قبول و قابل تحمل توسط کشورها و مؤسسات گوناگون تهیه شده است، وجود دارد. «یکی از استانداردهای تدوین شده در این زمینه استاندارد NEN هلند در سال ۲۰۰۶ است که بر مبنای استانداردهای Verkaik (2006) ، Willemsen and Wisse (2002, 2007) و تنظیم شده است» (Blocken & Carmelient, 2008, 52). در تعیین تأثیر فیزیکی باد، پارامترهای زیادی از قبیل متوسط سرعت، یکنواختی یا عدم یکنواختی و ... دخیل‌اند. حتی اگر این اعداد تنها با توجه به تک پارامتر سرعت باد در نظر گرفته شده باشند، این تفاوت‌ها دامنه‌ای از سرعت میانگین باد و احتمال بالا رفتن از حد مجاز (تواتر رخداد) تا سنجش شدت (به‌صورت عملی یا کامپیوتری) را شامل می‌شوند (Penwarden & Lawson, 1975, 606).

در زمینه آسایش حرارتی در فضاهای باز تحقیقاتی انجام شده است، اما این پژوهش صرفاً به مقوله اثر مکانیکی باد و آسایش[۷] یا عدم آسایش حاصل از آن برای عابران پیاده خواهد پرداخت. جدول زیر بر اساس تک پارامتر سرعت باد تنظیم شده است.

جدول ۱. نام باد، تأثیرات فیزیکی باد و تعیین آستانه مطلوبیت بر مبنای سرعت وزش باد

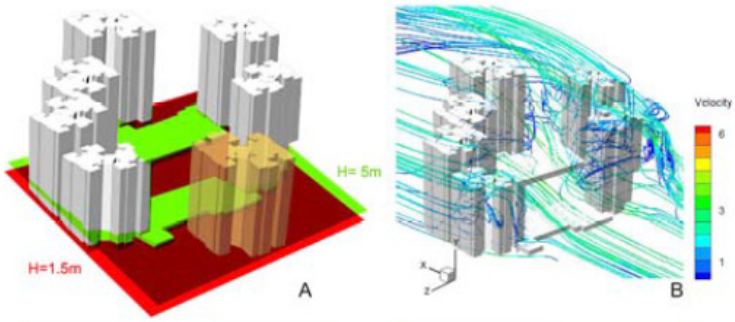
عدد بیوفورت	نام باد	خصوصیات باد	متوسط سرعت *(m/s)* در ارتفاع ۱/۷۵ متری
۰	آرام	بلند شدن مستقیم دود به هوا	۰
۱	حرکت آرام هوا	انحراف دود در جهت وزش باد	۰/۸
۲	نسیم خفیف	احساس باد بر روی سر و صورت	۲/۴
۳	نسیم ملایم	حرکت شاخه و برگ‌های کوچک درختان	۴/۳
۴	باد خفیف	بلند شدن گرد و خاک و حرکت شاخه‌های بزرگ درختان	۶/۷
۵	باد ملایم	درختان کوچک خم می‌شوند. طرز راه رفتن اندکی مختل می‌شود.	۹/۳
۶	باد تند	تکان شاخه‌های بزرگ درختان، دشواری نگه داشتن چتر روی سر	۱۲/۳
۷	باد شدید متوسط	تکان درختان بزرگ و دشواری حرکت در خلاف مسیر باد	۱۵/۵
۸	باد شدید	کنده شدن شاخه‌های کوچک درختان و از بین رفتن امکان راه رفتن	۱۸/۹
۹	باد بسیار شدید	کنده شدن دودکش‌ها و نمای سنگی و وارد شدن خسارت به ساختمان‌های کوچک	۲۲/۶
۱۰	توفان	به‌ندرت بر روی خشکی تشکیل می‌شود، ریشه درختان را می‌کند	۲۶/۴
۱۱	توفان شدید	خسارت در مقیاس وسیع	۳۰/۵
۱۲	هاریکن	خسارت در مقیاس قاره‌ای	-
آستانه عدم آسایش		سرعت باد ۵ متر بر ثانیه	
نامطلوب		سرعت باد ۱۰ متر برثانیه	
خطرناک		سرعت باد ۲۰ متر بر ثانیه	

منبع: رازجویان، 1386، 86 و Pendwarden and Lawson, 1975, 606

پیشینه موضوع

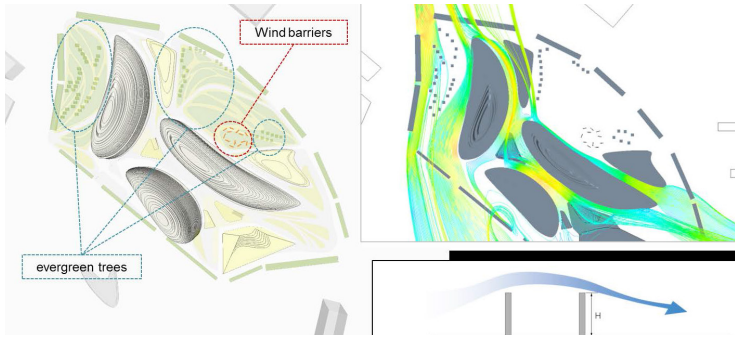
درخصوص بررسی ارتباط میان معماری ساختمان‌های بلند و تأثیرات چشمگیر آن بر روی شرایط اقلیمی و به‌ویژه رفتار باد در اطراف ساختمان تاکنون پژوهش‌های متعددی صورت گرفته است. در سال ۲۰۰۸ گروهی از محققان ژاپنی بر روی ابزارها و تکنیک‌های مدل‌سازی رفتار باد در اطراف یک بنا و شرایط پیاده‌روهای اطراف آن متمرکز شده‌اند و با بررسی نتایج تونل باد، سنجش‌های میدانی و مدل‌سازی‌های CFD، میزان صحت خروجی‌های نرم‌افزاری را سنجش کرده‌اند (Tominaga et al. 2008). از بین پژوهش‌های صورت گرفته در سال ۲۰۱۳ یک مورد (Yang et al., 2013, 843–848) به بررسی ارتباط متقابل ساختار هندسی ساختمان و رفتار باد در منطقه دانهای[۸] تایوان پرداخته است تا رفتار باد و میزان تهویه طبیعی در یک منطقه از شهر را بررسی کند. در این پژوهش، بهبود شرایط تهویه در مناطق شهری با حذف بلوک‌های بلندمرتبه محقق شده است.

تغییر در شاخصه‌های عناصر منظر می‌تواند به‌واسطه تعدیل جریان و سرعت باد به تأمین آسایش اقلیمی در فضاهای باز شهری کمک کند. پژوهش انجام شده در سال (Kim et al., 2013, 1–8) نشان داده است که تغییر ویژگی‌های برخی از عنصرها و پوشش‌های گیاهی (بدون تغییر ویژگی‌های فیزیکی بناها) می‌تواند تا حد نسبتاً خوبی به کاهش سرعت بادهای مزاحم و تأمین آسایش اقلیمی عابران پیاده در پیرامون ساختمان‌های بلندمرتبه کمک کند.



شکل ۲. تغییر شرایط اقلیمی پیرامونی ساختمان‌های بلند از طریق تغییر ساختار مجموعه و افزایش یا کاهش تعداد بلوک‌ها

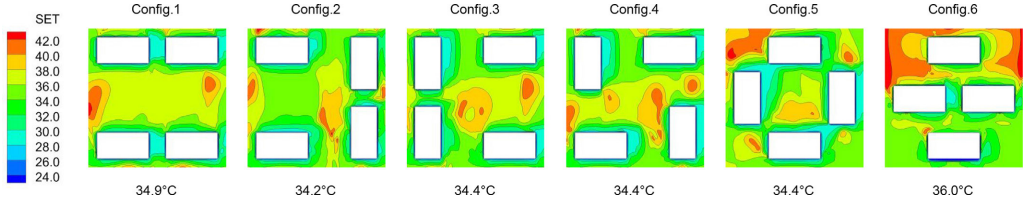
منبع: Yang et al., 2013, 847



شکل ۳. بهبود شرایط اقلیمی و رفتار باد به طریق تغییر عناصر منظر

منبع: Kim et al., 2013, 6

هونگ (Hong & Lin, 2015, 18) به بررسی تأثیر تغییر الگوی قرارگیری ساختمان‌ها در کنار یکدیگر (جانمایی) و نحوه چیدمان درخت‌ها در پیرامون آن‌ها بر آسایش اقلیمی عابران پیاده پرداخته است. در این پژوهش ۴ بلوک محاط در میان درختان در ۶ حالت متفاوت نسبت به یکدیگر قرار گرفته‌اند و شرایط پیرامونی آن‌ها از حیث رفتار باد مورد ارزیابی قرار گرفته است.



شکل ۴. تغییر شرایط آسایش اقلیمی پیرامونی ساختمان‌های بلند از طریق تغییر ساختار مجموعه و موقعیت ساختمان‌ها نسبت به یکدیگر

منبع: Hong & Lin, 2015, 18

آهوجا (Ahuja & Dalui, 2006, 147–154)، به بررسی تأثیرات متقابل ایجاد گشودگی و پیلوتی در طبقه همکف ساختمان، وجود سکو در تراز همکف، بیرون‌زدگی و تورفتگی‌های فضای ورودی و ایجاد گوشه‌های پخ در تراز همکف و رفتار باد و آسایش عابران پیاده در اطراف ساختمان می‌پردازد و راهکارهای مناسب در جهت تعدیل شرایط پیرامونی و تأمین آسایش اقلیمی عابران را معرفی می‌کند.

در یکی از پژوهش‌های اخیر صورت گرفته آسایش اقلیمی از منظر رفتار باد در یکی از میدان‌های بازسازی شده ایرلند بررسی شده است. پس از جمع‌آوری داده‌های اقلیمی مربوط به شهر دوبلین با مدل‌سازی مورفولوژی تأثیرگذار بر رفتار باد در محیط نرم‌افزار Envimet، شرایط آسایش اقلیمی در میدان گرند کانال شهر بررسی و نقاط خارج از محدوده آسایش معرفی شده است. در نهایت راهکارهای معمارانه پیشنهادی جهت بهبود شرایط موجود پیشنهاد و ارائه گردیده است (Szucs, 2013, 50-66).

بیان مسئله و فرآیند تحقیق

بیان مسئله

شتاب باد در ارتفاعات نزدیک به سطح زمین تقریباً نزدیک به صفر است و با افزایش ارتفاع بر سرعت و شتاب آن افزوده می‌شود. اما دستبرد در طبیعت و احداث ساختمان‌های بلندمرتبه و مجاورت آن‌ها با ساختمان‌های کوتاه این روال را تغییر داده و با افزایش سرعت و شتاب در تراز پیاده‌رو، زمینه ناراحتی عابران پیاده را فراهم آورده است (Ahuja & Dalui, 2006, 148).

شهرک سهند به‌عنوان یکی از شهرک‌های انبوه‌سازی در ۲۰ کیلومتری جنوب غربی تبریز واقع شده است. احداث ساختمان‌های بلندمرتبه متعدد و به تبع آن افزایش سرعت باد در پای این بناها، سلب آسایش عابران پیاده، اختلال در تردد و عدم امکان بهره‌وری کافی از فضاهای باز را به‌دنبال دارد. همین موضوع به مشکلی اساسی در این شهرک تبدیل شده است که اعمال تمهیداتی خاص در مراحل اولیه طراحی را می‌طلبد.

توجه به ارتباط متقابل میان فرم تک‌بنا و شرایط اقلیمی پیرامونی در تراز عابران پیاده یکی از مهم‌ترین مقولاتی است که باید در کنار عملکرد معماری و پایداری سازه‌ای مدنظر قرار گیرد. هرچند تاکنون پژوهش‌های گسترده‌ای در این زمینه صورت گرفته است، اما تحقیقی که رابطه میان فرم مقطع طولی و آسایش اقلیمی اطراف بنا را بررسی کند وجود ندارد. در این مقاله، تغییر شکل مقطع (شکست در ترازهای ارتفاعی مختلف) به‌عنوان یکی از متغیرهای شکلی تک‌بنا مورد بررسی و تحلیل قرار می‌گیرد و در ادامه سرعت باد پیرامون ساختمان‌های بلندمرتبه (در تراز پیاده‌رو) با مقاطع طولی متفاوت شناسایی می‌شود و بهینه‌ترین حالت از نظر آسایش اقلیمی بر اساس استانداردهای بیوفورت معرفی می‌گردد.

سؤالات تحقیق

۱. نحوه تأثیر فرم مقطع طولی یک ساختمان بلندمرتبه بر سرعت باد در تراز پیاده‌روی پیرامون آن چگونه است؟
۲. از جهت تأمین آسایش اقلیمی و سرعت مناسب برای عابران پیاده، کدام‌یک از فرم‌های مقاطع طولی ساختمان بلندمرتبه واقع در شهرک سهند رفتار بهتری از خود نشان می‌دهند؟

روش تحقیق

این مقاله به بررسی ارتباط متقابل فرم مقطع طولی ساختمان و آسایش اقلیمی عابران پیاده در اطراف ساختمان از نظر سرعت وزش باد می‌پردازد. هدف این مطالعه تحلیل عملکرد چند نوع مقطع طولی ساختمان بلندمرتبه، تأثیر آن بر رفتار باد در پیرامون بنا و معرفی بهترین گزینه از نظر انطباق با استانداردهای سرعت وزش باد در محیط خارج و آسایش اقلیمی عابران پیاده است.

روش جمع‌آوری اطلاعات نظری روش مطالعه منابع کتابخانه‌ای است. روش بررسی رفتار آیرودینامیکی

تک‌بنا و محاسبه سرعت باد در پیرامون بنا به‌صورت شبیه‌سازی نرم‌افزاری بوده و نتیجه‌گیری با استفاده از استدلال منطقی صورت می‌گیرد. روش‌های ارزیابی رفتار باد در سه دسته روش‌های تحقیق‌های آزمایشگاهی (استفاده از تونل باد یا کانال هیدرولیک)، برداشت مستقیم در اراضی و مدل‌سازی رایانه‌ای قابل دسته‌بندی است. «برای بررسی آسایش اقلیمی بر مبنای رفتار باد عموماً از دو روش تونل باد یا شبیه‌سازی‌های عددی استفاده می‌شود» (Blocken & Carmelient, 2008, 51). در این پژوهش از روش شبیه‌سازی رایانه‌ای به کمک نرم‌افزارهای گروه CFD[۹] استفاده شده است.

به این منظور ابتدا چهار نوع ساختمان بلندمرتبه با مقاطع طولی متفاوت به‌صورت شبکه‌های قابل حل در محیط نرم‌افزار گمبیت ۲/۲ مدل‌سازی شدند. سپس با انتقال این مدل‌ها به محیط نرم‌افزار Fluent14، رفتار باد در قالب پارامترهای فشار و سرعت باد در ترازهای مختلف بررسی گردید. داده‌های کمّی حاصل به زبان گرافیکی و به شکل نمودارها و تصاویر متعدد ارائه شد. شناسایی فرم بهینه مقطع طولی ساختمان از نظر سرعت باد پیرامون تک‌بنا، بر مبنای بررسی تطبیقی داده‌های حاصل با استانداردهای آسایش اقلیمی در محیط باز که از طریق مطالعات کتابخانه‌ای جمع‌آوری شده بود، صورت گرفت.

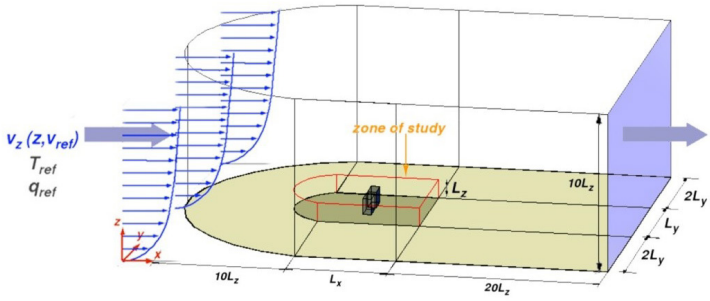
مدل‌سازی ها و خروجی‌های عددی

مدل‌سازی‌های رایانه‌ای

تحلیل‌های صورت گرفته در این پژوهش به‌منظور بررسی ارتباط فرم مقطع و رفتار باد در پیرامون یک تک‌بنای بلندمرتبه ۱۰ طبقه است. در این خصوص با مدل‌سازی سه نوع مقطع متفاوت، رابطه میان تغییر فرم مقطع (ترازهای ایجاد شکست) و رفتار باد در تراز طبقات و پیرامون بنا شناسایی می‌شود. گزینه‌های مورد بررسی به‌صورت بناهای ۱۰ مرتبه بدون شکست با فاصله ۱۲ متر و ۳ فرم دیگر دارای شکست در ترازهای ارتفاعی متفاوت و با فاصله ثابت ۱۲ متر است. مدل اول به شکل مکعب مستطیل ساده و بدون شکست است. شکست‌های ایجاد شده گزینه دوم در طبقات ۸-۵، در گزینه سوم در طبقات ۸-۴ و در مدل چهارم در طبقات ۷-۳ است[۱۰].

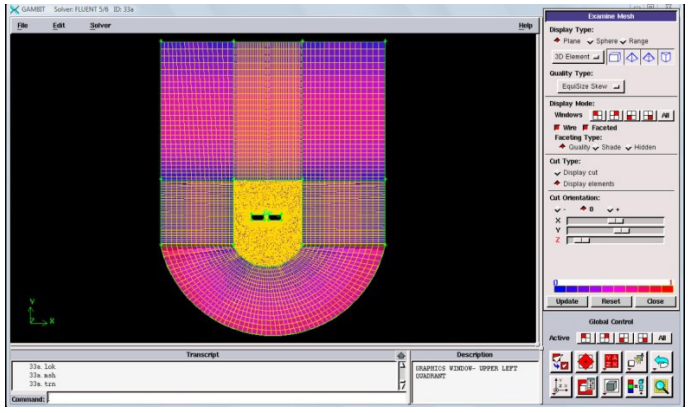
مدل‌سازی‌ها و ارزیابی‌های کمّی در چهار گام اصلی به شرح زیر انجام شد؛ در گام اول به شناسایی حوزه مؤثر باد بر اساس استاندارد AIJ پرداختیم و برای مدل‌سازی از راهنمای AIJ استفاده کردیم. طبق این راهنما تعیین اندازه دقیق منطقه‌ای که تحت تأثیر باد ناشی از مانع قرار می‌گیرد بسیار مهم است. زیرا طول کم این منطقه باعث ایجاد جریان برگشتی و خطا در محاسبات می‌شود. در راهنمای AIJ حداقل ارتفاع منطقه تا نقطه‌ای است که سرعت باد ثابت شود و معمولاً ۵ برابر ارتفاع مانع در نظر گرفته شده است و منطقه پشت به باد یا بادپناه، حداقل ۱۰ برابر ارتفاع ساختمان به شرط عدم ایجاد جریان برگشتی فرض شده است. در این تحقیق با توجه به حجم ساختمان، حداقل ارتفاع منطقه ۱۰ برابر ارتفاع مانع و طول منطقه پشت به باد ساختمان ۲۰ برابر ارتفاع مانع در نظر گرفته شده است. سرعت هوای ورودی با توجه به رفتار لگاریتمی باد به‌صورت پروفیل سرعت تعریف می‌شود. «هدف از این مرحله دستیابی به یک مدل مناسب برای فیزیک پدیده مورد نظر است که منتهی به معادلات حاکم (بقا، جرم، مومنتوم و انرژی) می‌شود» (اصفهانیان، ۱۳۸۹، ۱۳).

گام دوم، مدل‌سازی تک‌بنا در محیط نرم‌افزار گمبیت ۲/۲ است. مدل‌های تعریف شده در این محیط به‌صورت احجام شبکه‌بندی شده است. «هدف از این مرحله گسسته‌سازی میدان حل به یک مجموعه محدود از حجم کنترل‌ها (مش‌ها) و تولید شبکه محاسباتی در میدان حل است» (اصفهانیان، ۱۳۸۹، ۱۳).



شکل ۵. گام اول، تعریف حوزه تحت تأثیر باد بر اساس استاندارد AIJ

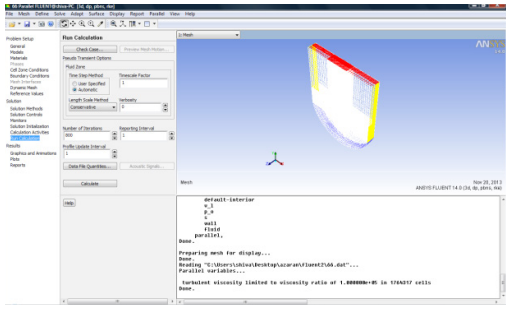
منبع: نگارندگان

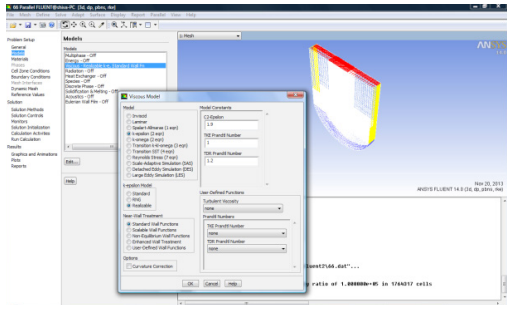


شکل ۶. مدلسازی در نرم‌افزار گمبیت ۲/۲

منبع: نگارندگان

در قدم بعدی فایل مش[۱۲] را که از برنامه گمبیت خروجی گرفتیم، وارد برنامه فلوئنت می‌کنیم و سپس تنظیمات مربوط به شرایط مرزی شامل جهت وزش باد، تعریف پروفیل باد، ضریب اصطکاک بستر بنا و ... را انجام می‌دهیم. مدل حل برنامه فلوئنت، مدل Kε خواهد بود.





شکل ۷ و ۸. انتخاب مدل Kε جهت حل

منبع: نگارندگان

مرحله چهارم، حل عددی معادلات جبری به کمک پیاده‌سازی و اجرای مدل عددی بر روی رایانه برای به‌دست آوردن حل نهایی است (اصفهانیان، ۱۳۸۹، ۱۳). خروجی‌های این مرحله به‌صورت داده‌های عددی و کانتورهای گرافیکی است.

خروجی‌های عددی و گرافیکی

برای تعیین اثر تغییر مقطع بر رفتار باد، از میان نقاط نامطلوب متعدد پیرامونی از منظر سرعت وزش باد، سه نقطه به‌طور اتفاقی انتخاب گردید. سپس با تغییر فرم مقطع، تغییرات صورت گرفته در سرعت باد در این نقاط اندازه‌گیری شد و بر اساس آن تأثیرات تغییر فرم مقطع بر رفتار باد در پیرامون بنا مشخص گردید. مختصات نقاط انتخاب شده در جدول زیر ارائه شده است. آزمون‌های انجام شده به‌صورت ماتریس ۴×۳ است که متغیرهای افقی نماینده سه نقطه مذکور و متغیرهای عمودی نماینده ۴ نوع فرم مقطع هستند.

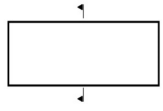
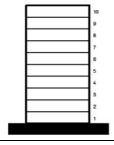
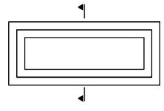
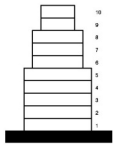
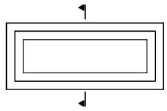
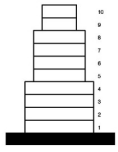
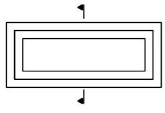
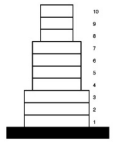
جدول ۲. مختصات نقاط مورد آزمون پیرامون بنا

نام نقطه / محور	X	Y	Z
A	2	8.5	2
B	5	0.5	2
C	53	0.5	2

منبع: نگارندگان

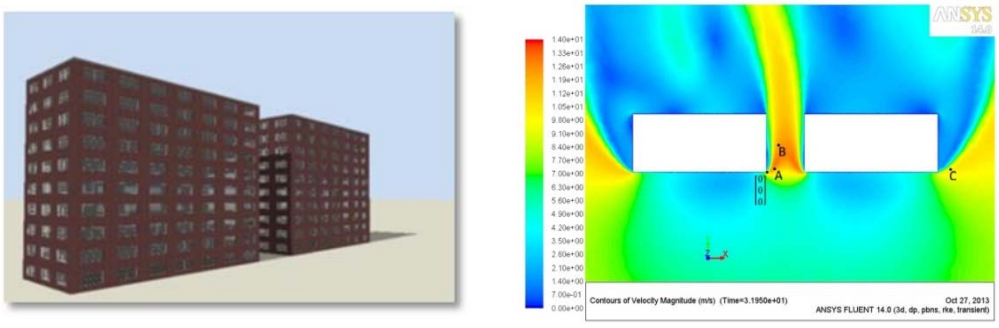
آزمون‌ها بر روی چهار ساختمان با مقاطع طولی متفاوت انجام شده است. پلان ساختمان به شکل مستطیلی با ابعاد ۳۸×۱۶ در نظر گرفته شده است. مدل اول به شکل مکعب مستطیل ساده است. مدل‌های دوم، سوم و چهارم دارای شکست در طبقات با عقب نشستگی ۲ متر هستند. شکست‌های اعمال شده در طبقات ۵ و ۸ مدل دوم، طبقات ۴ و ۸ مدل سوم و ۳ و ۷ در مدل چهارم هستند. ارتفاع تمام شده هر طبقه ۳ متر لحاظ شده است (جدول ۳).

جدول ۳. پلان، پرسپکتیو و فرم مقاطع طولی مدل‌های چهارگانه

مدل	پرسپکتیو	پلان	فرم مقطع	تقسیم‌بندی طبقات در سه حوزه
۱				۱۰
۲				۲ ۳ ۵
۳				۲ ۴ ۴
۴				۳ ۴ ۳

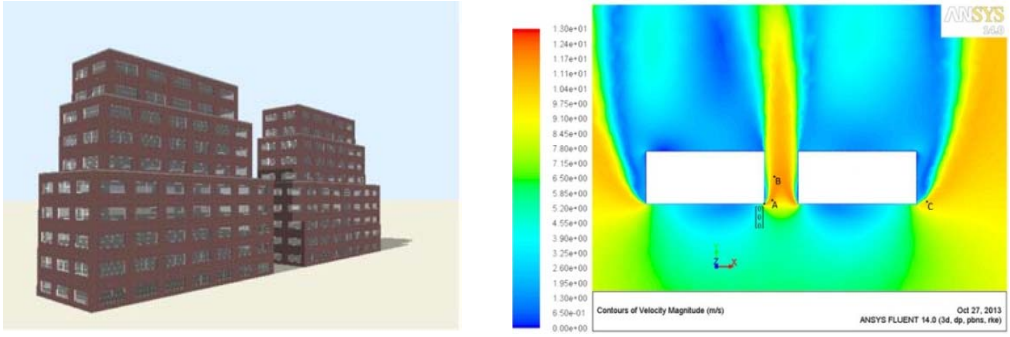
منبع: نگارندگان

پس از مدل‌سازی و شبکه‌بندی احجام در محیط نرم‌افزار گمبیت، به بررسی سرعت باد در نقاط A، B و C در اطراف چهار مدل مذکور پرداختیم. نتایج این بررسی‌ها به شکل کانتورهای گرافیکی زیر ارائه شده است.



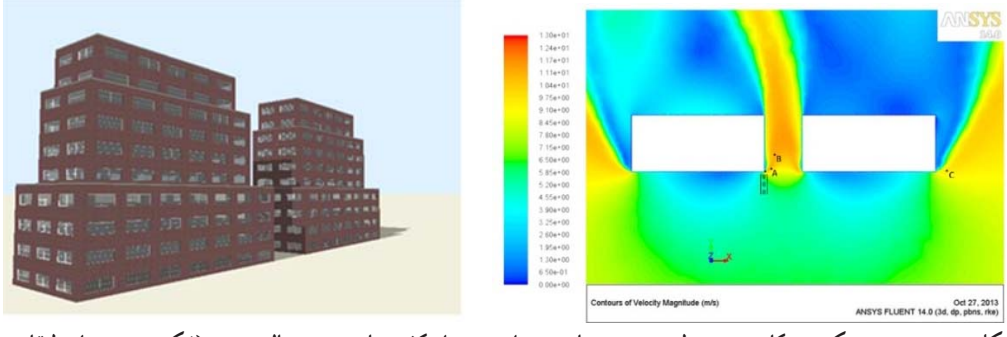
شکل ۹ و ۱۰. پرسپکتیو و کانتور مربوط به سرعت باد در تراز ۲ متر از کف پیاده‌رو در حالت اول با مقطع مستطیلی شکل. براساس تحلیل‌ها چنین فرم و ساختاری باعث تشدید اثر گوشه می‌شود.

منبع: نگارندگان



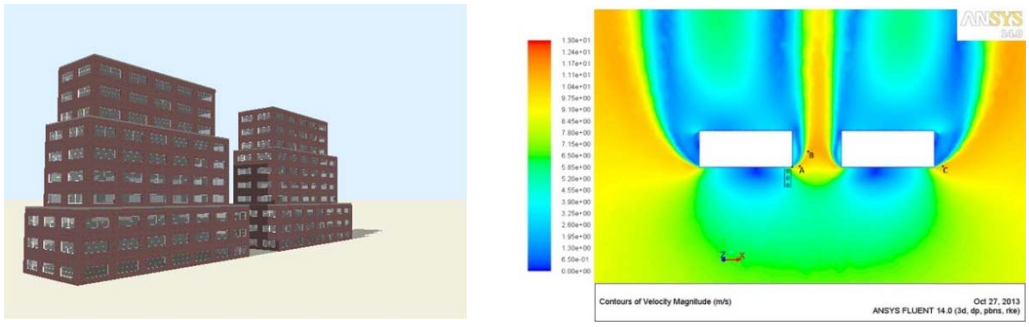
شکل ۱۱ و ۱۲. پرسپکتیو و کانتور مربوط به سرعت باد در تراز ۲ متر از کف پیاده‌رو در حالت دوم (شکست در تراز طبقات ۵ و ۸). بر اساس تحلیل‌ها، ایجاد شکست در مقطع ضمن تعدیل اثر گوشه باعث بهبود شرایط اقلیمی توسط کاهش سرعت باد آزاردهنده در نقاط انتخابی شده است.

منبع: نگارندگان



شکل ۱۳ و ۱۴. پرسپکتیو و کانتور مربوط به سرعت باد در تراز ۲ متر از کف پیاده‌رو در حالت سوم (شکست در تراز طبقات ۸و ۴). کانتورهای گرافیکی بیانگر بهبود شرایط اقلیمی از منظر سرعت وزش باد نسبت به حالات قبلی است.

منبع: نگارندگان



شکل ۱۵ و ۱۶. پرسپکتیو و کانتور مربوط به سرعت باد در تراز ۲ متر از کف پیاده‌رو در حالت سوم (شکست در تراز طبقات ۸و ۳). تحلیل‌ها بیانگر کاهش اثر گوشه و بهبود وضعیت نسبت به دو حالت پیشین هستند.

منبع: نگارندگان

بحث و تحلیل داده‌ها

نتایج به‌دست آمده از تحلیل‌ها و نمودارهای سرعت باد در سه نقطه پیرامون ساختمان‌هایی با مقاطع طولی متفاوت نشان داد که تغییر شکل مقطع تأثیر بسزایی بر رفتار و سرعت باد در پیرامون و تراز عابران پیاده خواهد داشت که این اثر با افزایش فاصله از ساختمان به‌تدریج کاهش می‌یابد.

برای تسهیل تحلیل‌ها و تبیین دقیق‌تر نتایج، ساختمان از نظر ارتفاعی به سه حوزه مجزا تقسیم شد. در حالت اول حوزه تحتانی شامل ۵ طبقه، حوزه میانی ۳ طبقه و حوزه فوقانی شامل ۲ طبقه خواهد بود. در مدل دوم با تثبیت تعداد طبقات فوقانی و تغییر در طبقات دو حوزه تحتانی و میانی به بررسی تأثیر آن متغیر پرداختیم. بررسی‌ها نشان داد که کاهش تعداد طبقات حوزه اول (تحتانی) تأثیر مثبتی بر روی رفتار باد در پیرامون بنا دارد و با کاهش سرعت باد در سه نقطه مورد آزمایش، شرایط اقلیمی تا حدودی مساعدتر می‌گردد. با کاهش سه متری ارتفاع حوزه اول و افزودن آن به تراز دوم، با کاهش سرعت تقریبی ۰/۴ متری در فاصله ۲ متری پیرامون بنا مواجه خواهیم بود که این اثر به‌تدریج با افزایش فاصله از بنا کاهش می‌یابد. در این حالت حوزه رفتاری باد از نظر میزان مطلوبیت در نقطه A تغییر می‌کند اما در نقاط B و C ثابت باقی می‌ماند.

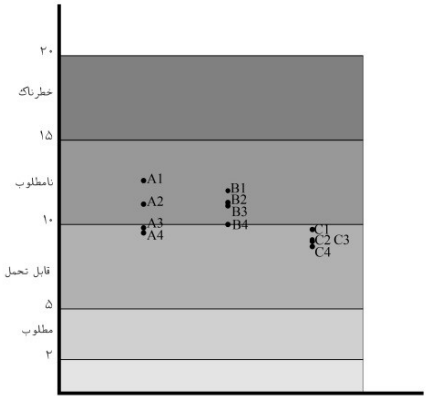
در آزمایش‌های مرحله بعدی با حفظ تعداد طبقات حوزه میانی (مدل‌های سوم و چهارم) به تغییر ارتفاع دو حوزه تحتانی و فوقانی پرداختیم. به‌طوری‌که مدل چهارم با کاهش تعداد طبقات حوزه اول و افزایش تعداد طبقات حوزه سوم همراه بوده است. این تغییر صورت گرفته، متوسط سرعت باد در فاصله ۵ متری از بنا را به‌طور قابل ملاحظه‌ای کاهش داد. اما کاهش سرعت در فاصله ۲ متری ساختمان (A) و فاصله ۵۳ متری از آن (C) تقریباً برابر و به اندازه ۰/۳-۰/۲ متر بر ثانیه است. در این حالت حوزه رفتاری باد از نظر میزان مطلوبیت در نقطه B تغییر می‌کند اما در نقاط A و C ثابت باقی می‌ماند.

برای شناسایی حالات بهینه، به مقایسه رفتار باد پیرامونی با حالت اولیه (مکعب ساده) پرداختیم. بررسی‌ها نشان داد که تغییر سرعت باد در حالت ۴ با کاهش چشمگیر سرعت باد نسبت به حالت اولیه (مکعب ساده)، الگویی بهینه از منظر ایجاد آسایش اقلیمی برای عابران پیاده به‌شمار می‌آید.

جدول ۴. سرعت باد و نوع آن در سه نقطه شاخص پیرامونی ساختمان‌هایی با مقاطع طولی متفاوت

نام نقطه	سرعت باد (m/s)	نام باد بر اساس استاندارد بیوفورت
A1	۱۲/۶	باد تند
B1	۱۲	باد تند
C1	۹/۷	باد ملایم
A2	۱۱/۲	باد تند
B2	۱۱/۳	باد تند
C2	۹/۱	باد ملایم
A3	۹/۸	باد ملایم
B3	۱۱/۱	باد تند
C3	۹	باد ملایم
A4	۹/۵	باد ملایم
B4	۱۰	باد ملایم
C4	۸/۷	باد ملایم

منبع: نگارندگان



شکل ۱۷. نقش تغییر فرم مقطع در رفتار باد و تغییر حوزه آسایشی پیرامون بنا بر اساس سرعت وزش باد

منبع: نگارندگان

نتیجه‌گیری

آسایش اقلیمی افراد در محیط‌های خارج از بنا به اندازه فضاهای داخلی حائز اهمیت است. یکی از عوامل مؤثر در ایجاد محیط دارای شرایط مطلوب از نظر آسایش اقلیمی عامل باد است. الگوی جریان باد در اطراف یک ساختمان تحت تأثیر پارامترهای متعددی قرار دارد که هندسه و ساختار کالبدی بنا یکی از مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار در این زمینه است؛ این در حالی است که در کاربردهای مدل‌سازی جریان بر روی ساختمان بیشتر توجه به آسایش افراد داخل ساختمان معطوف است و تأثیر باد در بیرون ساختمان بسیار کم مورد توجه قرار گرفته است.

این مقاله به بررسی عامل تغییر فرم (منحصراً تغییر مقطع طولی) به‌عنوان یکی از پارامترهای تأثیرگذار بر رفتار باد در پیرامون بنا پرداخت. بررسی‌های و تحلیل‌های کمّی حاصل نشان داد که تغییر فرم مقطع به شکل ایجاد شکست در ترازهای ارتفاعی می‌تواند به‌عنوان عاملی تأثیرگذار نقش بسزایی در ارتقای آسایش عابران در پیرامون بنا به‌طریق کاهش سرعت باد آزاردهنده داشته باشد. مطالعات صورت گرفته نشان داد که تغییر ترازهای ایجاد شکست نیز در افزایش یا کاهش اثر تغییر رفتار باد نقش مهمی ایفا می‌کنند. نتیجه بررسی‌ها حاکی از آن است که اثر زیگوراتی با افزایش شعاع پیرامونی بنا به‌تدریج کاهش می‌یابد و پس از فاصله معینی تقریباً از بین می‌رود. نتیجه این بررسی‌ها به ایجاد نگرشی کلی در ذهن معمار درباره موضوع و عوامل تأثیرگذار بر شکل‌دهی محیط تحت تأثیر باد کمک می‌کند و به‌عنوان الگوی کمک طراحی راهنمای عمل معماران در دستیابی به فرم‌هایی بهینه از نظر تأمین آسایش اقلیمی در اطراف بنا خواهد بود.

پی‌نوشت‌ها

۱. شرایطی که در آن اشعه تابشی وجود نداشته باشد و جریان هوا نیز بسیار ضعیف باشد (شرایط معمول فضاهای داخلی).

2. Aynsley

3. Osman

۴. رازجویان در بررسی تأثیر فیزیک بنا بر رفتار آیرودینامیکی، تناسبات ساختمان را در قالب طول مانع و کشیدگی آن رو به باد و نسبت ارتفاع به طول مانع رو به باد بررسی کرده است (رازجویان، ۱۳۸۶).

۵. بادسنج ایستگاه‌های هواشناسی در ارتفاع ده متری سطح زمین و در محوطه‌های آزاد و دور از عوامل تأثیرگذار بر حرکت و سرعت باد نصب می‌شوند (رازجویان، ۱۳۸۶، ۳).

۶. هر نات معادل یک مایل دریایی یا ۱/۸۵ کیلومتر در ساعت است.

7. Wind Comfort

8. Danhai

9. Computational Fluid Dynamics

۱۰. ارتفاع تمام شده هر طبقه ۳ متر لحاظ شده است.

11. Architectural Institute of Japan

12. Mesh

فهرست منابع

- آرشیو اداره هواشناسی استان آذربایجان شرقی، تبریز ۱۳۸۳-۱۳۷۳.
- اصفهانیان، وحید (۱۳۸۹) *دینامیک سیالات محاسباتی*، انتشارات دانشگاه تهران (در دست چاپ) تهران.
- بهادری نژاد، مهدی و یعقوبی، محمود (۱۳۸۵) *تهویه و سرمایش طبیعی در ساختمان‌های سنتی ایران*، چاپ اول، مرکز نشر دانشگاهی، تهران.
- رازجویان، محمود (۱۳۸۶) *آسایش در پناه باد*، انتشارات دانشگاه شهید بهشتی، تهران.
- سازمان مدیریت و برنامه ریزی کشور (۱۳۸۵) *نشریه ۱۱۲: دستورالعمل اجرایی محافظت ساختمان‌ها در برابر آتش سوزی*، تهران.
- شورای عالی شهرسازی و معماری ایران (۱۳۸۶) *سند اصلی مصوب طرح جامع شهر تهران*، تهران.

- Ahuja, A. & Dalui, S. (2006) "Gupta V, Unpleasent Pedestrian Wind Conditions Around Building", *Asian Journal of Civil Engineering (Building and Housing),* 7, 147 – 154.
- Arens, E. & Williams, P. (1977) "The effect of energy consumption in buildings", *Journal of energy and Building,* 1, 77 – 84.
- Aynsle, R. (2007) "Natural Ventilation in Passive Design", *Environment Design Guide,* Royal Australian Institute of Architects, Australia.
- Blocken, B. & Carmelient, J. (2004) "Pedestrian Wind Environment around Buildings: Literature Review and Practical Examples", *Journal of Thermal Environment and Buildings,* 28, 107 – 159.
- Blocken, B. & Carmelient, J. (2008) "Pedestrian wind conditions at outdoor platforms in a high – rise apartment building: generic sub – configuration validation", *wind comfort assessment and uncertainty issues, Wind and Structures,* 11(1), 51 – 70.
- Hong, B. & Lin, B. (2015) "Numerical studies of the outdoor wind environment and thermal comfort at pedestrian level in housing blocks with different building layout patterns and trees arrangement", Renewable Energy Journal, 73, 18 – 27.
- Jackson, P. (1978) "The Evaluation of Windy Environments", *Journal of Building and Environment,* 13, 251 – 260.
- Kim, H.; Kim, T. & Leigh, S. (2013) "Assessment of pedestrian wind environment of high – rise complex using CFD simulation", *Sustainable procurement in urban regeneration and renovation Northern Europe and North – West Russia,* 1 – 8.

- NEN. (2006a) *Wind comfort and wind danger in the built environment,* NEN 8100 (in Dutch) Dutch Standard.
- NEN. (2006b) *Application of mean hourly wind speed statistics for the Netherlands,* NPR 6097:2006 (in Dutch).Dutch Practice Guideline.
- Osman, M.A. (2011) "Evaluating and Enhancing for Natural Ventilation in Walk–up Public Housing Blocks in the Egyptian Desert Climatic Design Region", Doctoral Thesis, University of Dundee College of Art, Science & Engineering.
- Penwarden, A. & Lawson, T. (1975) "The Effects of Wind on People in the Vicinity of Buildings", In: *Proceedings 4th International Conference on Wind Effects on Buildings and Structures,* Cambridge University Press, Heathrow, 605–622.
- Rose, L.; Horrison, E. & Venkatachalam, L. (2011) "Influence of Built Form on the Thermal Comfort of Outdoor Urban Spaces", *the 5th International Conference of the International Forum on Urbanism* (IFoU), Singapore.
- Stathopoulos, T. (2006) "Pedestrian level winds and outdoor human comfort", Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 94, 769–780.
- Szucs, A. (2013) "Wind comfort in a public urban space—Case study within Dublin Docklands", Frontiers of Architectural Research, 2, 50–66.
- Toudert, F. (2005) "Dependence of outdoor thermal comfort in street design in hot and dry climate", Thesis, Berichte des meteorologischen institutes der universitat Freiburg. Freiburg.
- Tominaga, Y.; Mochida, A. & Yoshie, R. (2008) "Kataoka H. et al., AIJ guidelines for practical applications of CFD to pedestrian wind environment around buildings", Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 96, 1750–1761.
- Verkaik, J.W. (2006) "On wind and roughness over land". PhD thesis, Wageningen Universiteit, Wageningen, The Netherlands.
- Willemsen, E. & Wisse, J.A. (2002) "Accuracy of assessment of wind speed in the built environment", *J.Wind Eng. Ind. Aerodyn.,* 90, 1183–1190.
- Willemsen, E. & Wisse, J.A. (2007) "Design for wind comfort in The Netherlands: Procedures, criteria and open research issues", *J. Wind Eng. Ind. Aerodyn.,* in press.
- Yang, A.; Wen, C.; Wu, Y.; Juan, Y.; Su, Y. (2013), "Wind Field Analysis for a High–rise Residential Building Layout in Danhai, Taiwan, *Proceedings of the World Congress on Engineering*, London, 843–848.

Received: 02 November, 2015
Accepted: 09 February, 2016

The Impact of High–rise Building Form on Climatic Comfort at the Pedestrian Level

Mohammad Taghi Rezaiee Hariri, Associate Professor, School of Architecture, College of Fine Arts, University of Teh–ran, Tehran, Iran

Shiva Najaf Khosravi, MA in Energy and Architecture, School of Architecture, Kish International Campus, Kish, Iran

Paria Saadatjoo, PhD candidate of Architecture, School of Architecture, College of Art, University of Tarbiat Modares, Tehran, Iran

Abstract

Wind is one of the climatic factors which can be affected by the urban development. Wind speed, wind direction, air pollution, rain, radiation and daylight are all examples of physical aspects that constitute the outdoor climate, and that are changed by the presence of the buildings. The change of these quantities depends on the shape, size, and orientation of the building and on the interaction of the building with the surrounding buildings and other obstacles such as trees etc. In particular near high–rise buildings, high wind velocities are often produced at pedestrian level that can be experienced as uncomfortable or even dangerous situations. The wind speed at pedestrian level results from the complex wind flow pattern around a building. Studies of pedestrian wind environment consequently involve the study of building's aerodynamics in general. Pedestrian comfort in sidewalks, entrances, plazas, and terraces is often an important design parameter that needs to be considered by the building owner and architect. Assessment of the acceptability of the pedestrian–wind environment is desirable during the project design phase so that modifications can be made, if necessary, to improve areas found to be excessively windy. Therefore, the design of a building should not only focus on the building envelope and on providing suitable indoor environment, but should also include the impact of the design on the outdoor environment. The outdoor environment of a building, in particular in terms of wind, has received relatively little attention in the building physics community. Most investigations were based on wind tunnel experiments and the building configuration being most extensively studied is two square–plan building models placed in different relative positions. Earlier studies used rigid models where mean wind pressures and wind forces were measured. Dynamic behaviors are important for tall buildings so that in later studies, wind–induced dynamic response and loading of buildings were investigated. The aim of the present paper is twofold: it is an attempt (1) to stimulate the interest of the building physics community for the problem of wind nuisance around buildings, (2) to indicate the need for further research efforts. The present paper addresses building physicists and focuses on the outdoor wind environment for pedestrians. For this aim, first the typical wind flow pattern around buildings and the related wind environment at pedestrian level are discussed. Second, CFD (Computational Fluid Dynamics) simulations of building aerodynamics have been performed. A numerical model based on the compressible flow equations has been used to simulate the pedestrian wind fields around the programmed tall buildings in Sahand neighborhood located in Eastern Azarbaijan, Iran. Since numerical model can provide the detailed flow field data, it has a great advantage compared with the wind tunnel experiment in evaluating the wind impacts on pedestrian and other environmental issues accurately. By modeling parallel buildings with a passage in between in four different shapes and comparing the results with Beaufort scale, we could improve the wind situation at pedestrian level.

Keywords: Thermal comfort, section, wind, form, pedestrian.