



دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهر
فصلنامه‌ی علمی-پژوهشی فضای جغرافیایی

سال هفدهم، شماره‌ی ۵۹
پاییز ۱۳۹۶، صفحات ۲۰۳-۱۸۷

* بتول زینالی^۱
فیروزه کرمی^۲
شهریار خالدی^۳
صیاد اصغری^۴

اثر تراکم بافت بر سرعت جریان باد در محله الهیه شهر تهران

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۱۱/۱۵

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۰۴/۱۴

چکیده

باد در روی زمین عامل مهمی برای تبادل گرما، رطوبت و انتقال ذرات ذره‌بینی و غیرذره‌بینی از نقطه‌ای به نقطه دیگر است؛ بنابراین نقشی حائز اهمیت در کاهش آلاینده‌های وارد شده به فضاها شهرها دارد. عناصر کالبدی بافت‌های شهری، از جمله جهت‌گیری خیابان‌ها و پراکنش بناهای بلندمرتبه نیز نقشی مهم در الگودهی ثانویه به جریان باد دارند. با توجه به این‌که محله الهیه یکی از متراکم‌ترین بافت‌های شهری در شمال شهر تهران است برای اثبات هر چه بیش‌تر نقش این بافت در تشدید آلودگی‌های جوی، ویژگی‌های باد در این منطقه مورد ارزیابی قرار گرفت. در همین راستا از داده‌های ساعتی جهت و سرعت وزش باد ایستگاه هواشناسی تهران شمال (اقدسیه) طی دوره (۱۹۸۸-۲۰۰۹) بهره گرفته شد. تغییرات سرعت باد در بافت محله الهیه با توجه به ویژگی‌های متفاوت بافت در اطراف ایستگاه سینوپتیک اقدسیه، در ارتفاع ۱۰ متر و ارتفاع ۲ متر محاسبه گردید. سرعت باد آستانه برای حذف اثر

E-mail: zeynali.b@uma.ac.ir

* ۱- گروه اقلیم‌شناسی دانشگاه محقق اردبیلی (نویسنده مسئول).

۲- دانشجوی دکتری دانشگاه محقق اردبیلی.

۳- گروه اقلیم‌شناسی دانشگاه شهید بهشتی.

۴- گروه ژئومورفولوژی دانشگاه محقق اردبیلی.

جزیره گرمایی محاسبه شد، پس از آن به بررسی جهات غالب باد و فراوانی آن‌ها پرداخته شد. بر همین اساس بافت محله با استفاده از بخش Arc Scene نرم‌افزار ArcGIS شبیه‌سازی شد. همچنین تأثیراتی که قرارگیری بناهای بلندمرتبه بر الگوی جریان باد دارند با استفاده از قانون رینولد برای ساختمان‌های نمونه مورد بررسی قرار گرفت. نتایج حاکی از کاهش چشمگیر سرعت باد در بافت منطقه الهیه نسبت به بافت ایستگاه هواشناسی (اقدسیه) ناشی از بلندمرتبه سازی در این منطقه می‌باشد. فراوانی سالانه و فصلی سرعت باد نشان داد که در بیشتر از ۶۰ درصد مواقع، منطقه از لحاظ وزش باد آرام بوده و جهات باد غالب نیز عموماً شمال‌غربی-جنوب‌شرقی و جنوبی-شمالی بوده است. شبیه‌سازی بافت محله نیز نشان داد که حجیم‌ترین بناها درست در همین مسیرها و بر مسیر بادهای غالب ساخته شده‌اند که به علت ممانعت از جریان باد باعث تشدید آلودگی و ایجاد جزایر گرمایی در منطقه می‌گردد. مقدار باد آستانه در سه دوره آماری نشان داد که سرعت باد آستانه کم‌تر از آن است که بتواند منجر به تهویه مناسب در منطقه گردد. محاسبات معادله رینولد در چند نمونه ساختمانی در منطقه نیز نشان داد عدد رینولد بیش از ۲۰۰۰۰۰ بوده که نشانه دهنده ظاهر شدن گردبادهای تصادفی در منطقه دنباله استوانه است.

کلید واژه‌ها: باد، محله الهیه، تراکم ساختمانی، بنای بلندمرتبه، قانون رینولد.

مقدمه

از نقطه نظر تأثیر متقابل طراحی شهری و تغییرات اقلیم شهری، بیشترین پتانسیل‌ها به شرایط وزش باد در شهر برمی‌گردد، سرعت باد شهری در سطح خیابان با عناصر طراحی شهری نظیر جهت‌گیری خیابان، ارتفاع و تراکم ساختمان‌ها، پراکنش ساختمان‌های مرتفع و ... دچار تغییرات قابل توجه می‌شود (رنجبر و همکاران، ۱۳۸۹: ۱۸). ارتفاع متوسط که به چگونگی نظم و قرارگیری ساختمان‌ها بستگی دارد بر سرعت باد اثر ویژه‌ای می‌گذارد. در یک گستره وسیع‌تر ملاحظات جزییات طراحی ساختار کالبدی شهر نظیر اندازه و شکل ساختمان‌ها بر الگوی باد اثر می‌گذارد. گرادیان سرعت باد در بالای مناطق متراکم شهری به حداکثر ارتفاع خود می‌رسد تا آن جا که درصد تغییرات بر فراز ساختمان‌های مرتفع موجود در بافت شهر به صد درصد می‌رسد. این در حالی است که در شهرهای بزرگ با ترافیک سنگین، ساختمان‌های بلند، بافت فشرده جریان هوا و وزش باد یکی از مهم‌ترین، حیاتی‌ترین و طبیعی‌ترین علل کاهش آلودگی هوا و پراکنده ساختن دود و غبار ناشی از عوامل آلاینده به شمار می‌آید و هر چیزی که مانع جریان هوا باشد، می‌تواند خود عاملی برای آلودگی هوا محسوب شود (نصراللهی و بقایی‌پور، ۱۳۹۳: ۱).

وجود ساختمان‌ها و سازه‌های بلند از حرکت هوای شهر جلوگیری می‌کند، وزش باد در شهرها کم‌تر از مناطق غیرشهری است (احمدی و همکاران، ۱۳۹۲: ۴). عرض کم معابر در بافت‌های متراکم، حجم ترافیک را به‌ویژه در مناطق پرتردد افزایش داده و با کاهش سرعت حمل‌ونقل میزان بالاتری از آلاینده‌ها به جو شهر وارد می‌شود؛ بنابراین بلندمرتبه‌سازی در مسیر جریان باد، به‌ویژه جریان‌هایی که نقشی مهم و مؤثر در تهویه بافت از آلودگی‌های ایجاد

شده در محیط شهری دارند، همراه با اثرات نامطلوب محیطی، از جمله تشدید آلودگی هوا خواهد بود؛ زیرا که؛ آسایش و سلامتی در شهر به ترتیب وابسته به آسایش حرارتی و بادهای محیطی به‌ویژه در سطح پیاده‌رو و میزان پراکندگی آلودگی می‌باشد (مونن، ۲۰۱۲: ۱۹۷). علاوه بر موارد گفته شده تراکم همراه با بلند مرتبه سازی اثرات ثانویه دیگری را بر مسیر باد تحمیل کرده و با چرخش باد پیرامون ساختمان، جریان باد را به اطراف منحرف ساخته و جهت جریان را تغییر می‌دهد. ناپایداری توسعه شهری و صنعتی کشور در سنوات گذشته یکی از میراث‌های ناخوشایندی است که در ابعاد و گستره وسیعی محیط‌زیست شهری کشور به‌ویژه شهرهای بزرگ را متأثر نموده است. در شهرهای بزرگ تعداد روزهای همراه با گردوغبار و آلودگی ۲/۵ برابر بیش‌تر از تعداد همین روزها در اطراف شهر است (یاوری و سلیقه، ۱۳۹۰: ۹۰). در این میان تهران به‌عنوان بزرگ‌ترین کلان‌شهر ایران سهم ویژه‌ای از این آلودگی‌ها را به خود اختصاص داده است. تا آنجا که این شهر در زمره آلوده‌ترین مراکز جمعیتی جهان از منظر آلودگی‌های جوی قرار گرفته است. با توجه به این مهم و نظر به موقعیت جغرافیایی شهر تهران که به‌صورت محصور در حصار کوهستانی قرار گرفته است، انجام پژوهش در راستای بهینه‌سازی جهت‌یابی فضاهای شهری که امکان تهویه طبیعی را فراهم نماید ضروری به نظر می‌رسد. تاکنون پژوهش‌های بسیاری در زمینه اهمیت نقش باد در تهویه و همچنین تغییر الگوی وزش آن در بافت شهری به انجام رسیده است. مان (۱۹۷۰) اشاره می‌کند که بادها به‌صورت اتفاقی در شهر توزیع نشده بلکه بر اساس چگونگی نظم دهی بلوک‌های ساختمانی و کریدورهای خیابانی در شهر ایجاد می‌شود. لندسبرگ (۱۹۸۱) با ذکر دلایل متعدد در این زمینه ناهموازی ایجاد شده توسط ساختمان‌ها در مسیر باد را مهم‌ترین اصل می‌داند (رنجبر و همکاران، ۱۳۸۹: ۱۹).

دمیرسی (۲۰۰۰) با استفاده از تجزیه و تحلیل‌های آماری به مطالعه گردش باد و آلودگی هوا در شهر ترابوزان ترکیه پرداخته و به این نتیجه رسیده است که بین غلظت آلودگی هوا و سرعت باد در شهر ترابوزان رابطه مستقیمی وجود دارد.

گاو و همکاران (۲۰۱۲) اثرات تراکم بافت بر روی باد در نواحی شهری را با استفاده از تجزیه و تحلیل آماری مورد مطالعه قرار دادند در این تحقیق ارتباط بین اشکال مختلف معماری و ویژگی‌های باد شامل ویژگی‌های همچون شکل کوچه‌ها و خیابان‌ها، عرض معابر، فضاهای باز، فضاهای بسته، سرعت باد و جهت باد در شش منطقه نمونه بررسی شد. نتایج تحلیل عاملی نشان داد که الگوی معماری و ویژگی‌های هواشناسی عوامل کلیدی هستند که تلفیق این عوامل با یکدیگر باعث شناسایی عوامل فرعی دیگر در ویژگی‌های باد در مناطق شهری می‌گردد.

راجاگوپالان و همکاران (۲۰۱۴) با هدف بررسی هندسه متفاوت نواحی شهری بر روی جریان باد با مطالعه شهر مائور در مالزی به این نتیجه رسیدند که توسعه بی‌نظم (هرج مرج) مناطق شهری باعث کاهش تهویه نواحی شهری شده است. همچنین بررسی تغییرات مختلف هندسه شهری نشان داد که پیکربندی هندسه موثرترین عامل در توزیع باد و سرعت باد نواحی مختلف شهری می‌باشد.

رازجویان (۱۳۷۹) در پژوهش خود تحت عنوان معماری همساز با باد بخشی را به نحوه‌ی استقرار بناهای بلندمرتبه در برابر باد اختصاص داده است. در این مطالعه، نتایج بررسی‌های مربوط به تونل باد نشان می‌دهد که نحوه استقرار ساختمان‌ها نسبت به یکدیگر و راستای باد، عامل مهمی است که می‌تواند مبنای گونه‌بندی قرار گیرد.

بتلی ای و همکاران (۱۳۸۲) در بخشی از کتاب محیط‌های پاسخده با عنوان خرد اقلیم، شیوه‌ای برای تحلیل تأثیر متقابل شهر و اقلیم ارائه داده‌اند. در این راستا، بر دو عنصر اقلیمی تابش و باد تأکید شده است. در زمینه تأثیر باد و به منظور دست یافتن به بالاترین حد ممکن ارتقای محیطی، استفاده از تجربه تونل باد پیشنهاد شده است.

رنجبر سعادت‌آبادی و آزادی (۱۳۸۴) در رابطه با تأثیرات شهرنشینی بر وضعیت پارامترهای اقلیمی، تغییرات میدان دما و باد را با مقایسه دو ایستگاه مهرآباد به‌عنوان ایستگاه معرف مناطق شهری و ایستگاه ورامین به‌عنوان ایستگاه خارج از محدود تأثیرات شهرنشینی مورد بررسی قرار دادند. نتایج ایشان بیانگر افزایش روند میانگین دمای کمینه در ایستگاه مهرآباد بوده است. همچنین ارزیابی مؤلفه باد در تحقیقات ایشان نشان داده که سرعت بادهای وزیده شده در ایستگاه مهرآباد با توجه به سرعت باد آستانه چنان نبوده است که تأثیر مهمی در حذف آثار جزیره حرارتی ایجاد شده داشته باشد.

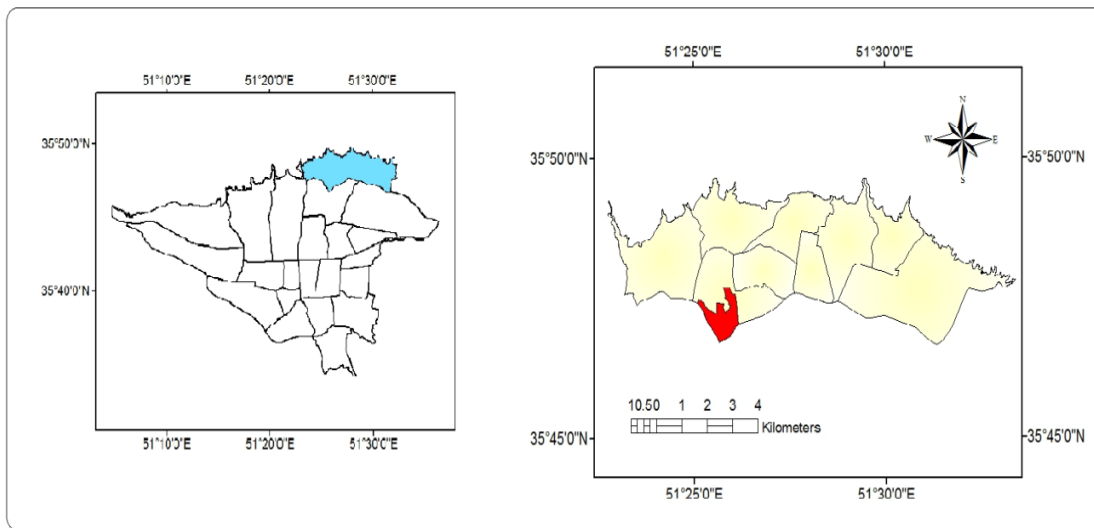
رنجبر و همکاران (۱۳۸۹) در مورد طراحی اقلیمی متناسب با جریان باد در بافت قدیم شهر بوشهر تحقیقی را انجام داده و اشاره کردند که سلسله مراتب طراحی اقلیمی در یک منطقه نقش زیادی در شرایط آسایش محیطی دارد. جهت‌گیری خیابان، ارتفاع و تراکم ساختمان‌ها، پراکنش ساختمان‌های مرتفع از جمله عناصر طراحی شهری است که به الگوی جریان باد در فضاهای شهری اثر می‌گذارند.

شمسی‌پور و همکاران (۱۳۹۱)، در تحقیقی با عنوان شبیه‌سازی الگوی پراکنش آلودگی هوای کلان‌شهر تهران در شرایط وزش باد با استفاده از شاخص ترمودینامیکی ترکیبی اولری-لاگرانژی موجود در مدل میان مقیاس آلودگی هوا، الگوی پراکنش آلاینده‌ها در جو مجاور سطح زمین در شرایط هوای ناپایدار و وزش باد را مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج حاصل از شبیه‌سازی بیانگر آن است که شرایط وزش باد، افزایش میزان انرژی جنبشی تلاطم ناشی از افزایش سرعت باد و شرایط ناپایدار جوی، به انتقال دهی افقی آلاینده‌ها و ایجاد حرکات قائم فزایش سبب تعدیل آلودگی می‌شود.

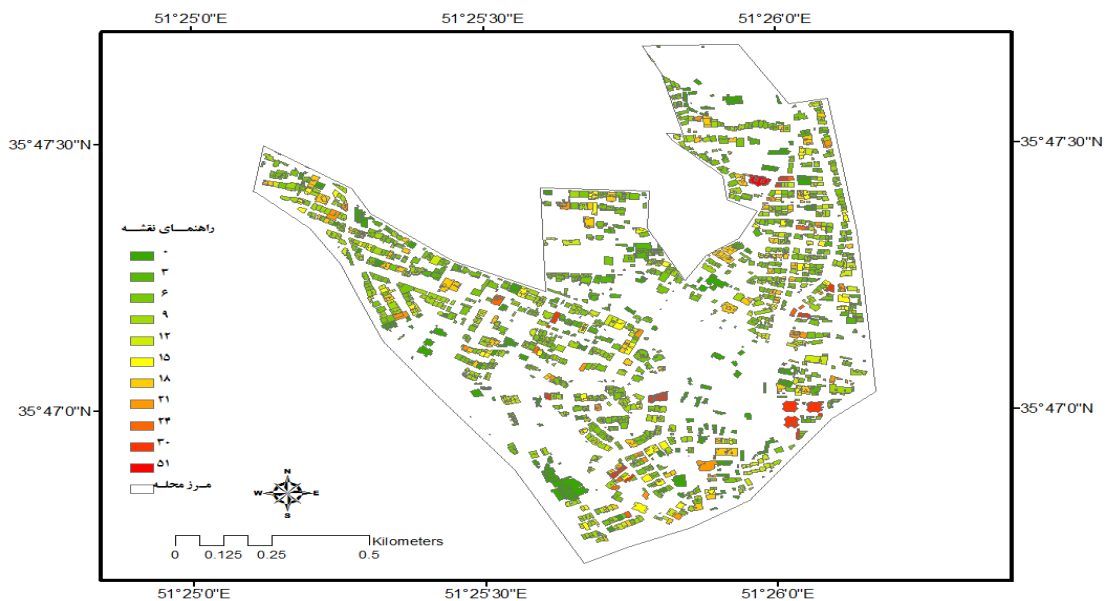
در پی اجرای سیاست‌های انبوه‌سازی و بلندمرتبه‌سازی در راستای استقرار جمعیت رو به فزونی شهر تهران، بسیاری از بافت‌های ارگانیک متصل شده به کلان‌شهر تهران عرصه ساخت‌وساز انبوه‌سازان شد. از جمله این موارد محله الهیه است که در نتیجه ساخت‌وسازهای وسیع به‌ویژه ساخت بناهای بلندمرتبه به متراکم‌ترین و بلندمرتبه‌ترین نقطه شهری تهران بدل گشته است؛ بنابراین، با توجه به این‌که این میزان از تراکم بافت به‌عنوان عاملی نامطلوب به‌ویژه در راستای افزایش ماندگاری آلاینده‌ها در جو عمل می‌کند، این پژوهش در پی آن است تا به بررسی وضع جریان باد در این منطقه و همچنین تغییراتی که بناهای بلندمرتبه در شرایط وزش باد ایجاد می‌نمایند، بپردازد.

منطقه مورد مطالعه

محله الهیه که در پیشینه نه چندان دور خود بخشی از املاک غره الدوله همسر امین الدوله بوده است در ناحیه ۷ منطقه یک شهرداری تهران با گسترش در عرض جغرافیایی ۳۵ درجه و ۴۶ دقیقه و ۴۴ ثانیه و ۳۵ درجه و ۴۷ دقیقه و ۴۱ ثانیه شمالی و طول ۵۱ درجه و ۲۵ دقیقه و ۱۶ ثانیه و ۵۱ درجه و ۲۶ دقیقه و ۶ ثانیه شرقی و ارتفاع ۱۵۴۸ متر از سطح دریا در جنوب این منطقه و در همسایگی محلات تجریش و پل رومی از شمال، قیطریه در شرق، زرگنده از جنوب و کاووسیه از غرب واقع شده است. (شکل ۱) موقعیت جغرافیایی محله الهیه را نشان می‌دهد.



شکل ۱: موقعیت محله الهیه در شهر تهران و منطقه یک



شکل ۲: نقشه تعداد طبقات محله الهیه

طی چند دهه گذشته بر اثر فعالیت انبوه‌سازان، مهم‌ترین ویژگی ساختار بافت کالبدی محله الهیه، تراکم بافت حاصل از بلندمرتبه‌سازی در این محله بوده است. (شکل ۲) نقشه تراکم بافت محله می‌باشد که بر اساس تعداد طبقات واحدهای ساختمانی منطقه تهیه شده است.

مواد و روش‌ها

به‌طور کلی روش‌شناسی محققان برای مطالعه اثر جریان باد در محیط‌های شهری به سه گروه طبقه‌بندی می‌شود: مدل‌های ریاضی، مدل‌های محیطی (استفاده از مدل‌های آزمایشگاهی جهت بررسی اثر جریان بر روساخت‌های مختلف با کاربری‌های مختلف با اندازه‌های مختلف) و ابزارهای شبیه‌سازی یا معادلات دینامیک سیالات (هی و سونگ، ۱۹۹۹: ۲۹۵-۳۰۹؛ لی و همکاران، ۲۰۰۶: ۱۴۹-۱۵۵؛ لیتل و همکاران، ۱۹۹۷: ۷۴۵-۷۵۵؛ مالکولم و همکاران، ۲۰۰۷: ۲۷۱-۲۸۷؛ مرتنس، ۲۰۰۶؛ آبهولا و همکاران، ۲۰۱۱: ۲۳-۳۹؛ راجاگوپلان و همکاران، ۲۰۱۴: ۱۵۹-۱۷۰). در این تحقیق نیز با توجه به عدم وجود شرایط لازم برای انجام مطالعات آزمایشگاهی از ترکیب روش‌های ریاضی و مدل‌های محیطی برای بررسی اثرات جریان باد استفاده شده است.

به‌منظور مطالعه شرایط وزش باد در منطقه مورد مطالعه، آمار مربوط به وزش باد ساعتی (به‌صورت ثبت داده‌های سه ساعته جهت و شدت باد) طی دوره ۲۲ ساله (۱۹۸۸-۲۰۰۹) از ایستگاه همدید اقدسیه (تهران شمال) از سازمان هواشناسی کشور دریافت گردید. به دلیل تفاوت میان بافت منطقه‌ای که ایستگاه هواشناسی اقدسیه در آن واقع شده و بافت منطقه مورد مطالعه برای دستیابی به شرایط وزش باد در بافت بلندمرتبه‌سازی شده محله، سرعت باد در ارتفاع ۱۰ متر که برابر با ارتفاع بادی است که در ایستگاه ثبت شده و ارتفاع دو متر به‌عنوان ارتفاعی که سرعت تلاطم باد در آن به حداکثر می‌رسد، مورد ارزیابی قرار گرفت. این مقادیر با استفاده از روابط زیر برآورد شده است.

$$\frac{\bar{V}_1}{V_2} = \frac{\left(\frac{Z}{Z_{G1}}\right)^{\alpha_1}}{\left(\frac{Z}{Z_{G2}}\right)^{\alpha_2}} \quad \text{رابطه (۱)}$$

رابطه (۱) برای محاسبه سرعت باد در ارتفاع ۱۰ متر و عابر پیاده در بافت مورد مطالعه به کار برده شده است. در این رابطه: \bar{V}_1 = سرعت اولیه باد در ایستگاه هواشناسی برحسب متر بر ثانیه، \bar{V}_2 = سرعت باد در بافت مورد نظر بر حسب متر بر ثانیه، Z = ارتفاع مورد نظر که سرعت در آن اندازه‌گیری شده است (۱۰ متر و ۲ متر)، Z_{G1} = ارتفاع گرادیان باد در ایستگاه هواشناسی، Z_{G2} = ارتفاع گرادیان باد در بافت مورد مطالعه، α_1 و α_2 اعدادی هستند که مقدار آن‌ها بستگی به همواری سطح زمین دارد و از (جدول ۱) قابل استخراج می‌باشند (رازجویان، ۱۳۷۹).

جدول ۱- مقدار α و ارتفاع گرادیان در بافت‌های متفاوت (مأخذ: رازجویان، ۱۳۷۹)

مقدار α	ارتفاع گرادیان	مشخصات بستر	بستر زمین
۰/۱۱	۲۵۰ متر	دریای آزاد، بیابان، پهنه یخ	گونه اول
۰/۱۵	۳۰۰ متر	روستای باز، درختان پراکنده، خارستان، بوته‌های کوتاه	گونه دوم
۰/۲۵	۴۰۰ متر	محیط‌های حومه‌ای، شهرهای کوچک، محدوده کاملاً درختکاری شده،	گونه سوم
۰/۳۶	۵۰۰ متر	ساختمان‌های بلند متعدد در مراکز شهری، محدوده‌های صنعتی توسعه یافته	گونه چهارم

توفندگی و تلاطم هوا یعنی سرعت و جهت ناگهانی آن از خصوصیات جست باد است (لشکری و همکاران، ۱۳۹۰: ۲۱۱)؛ بنابراین برای تعیین سرعت جست در ده متر و ارتفاع عابر پیاده بافت، از رابطه زیر استفاده گردیده.

$$\frac{V_{10}}{V_z} = \left(\frac{Z_{10}}{Z_G} \right)^\alpha \quad \text{رابطه (۲)}$$

در رابطه (۲) V_{10} = سرعت باد در ارتفاع ۱۰ متر در ایستگاه بر حسب متر بر ثانیه، \bar{V}_z = سرعت ارتفاع گرادیان ایستگاه بر حسب متر بر ثانیه، Z_{10} = ارتفاع اولیه باد، Z_G = ارتفاع گرادیان باد در بافت ایستگاه و α نیز همچنان که گفته شد از (جدول ۱) استخراج شده است. بعد از محاسبه این مقدار، سرعت جست در ارتفاع ۱۰ متر ایستگاه با استفاده از رابطه (۳) محاسبه شد.

$$\hat{V}_G = 1.35 \hat{V}_z \quad \text{رابطه (۳)}$$

از رابطه (۴) نیز برای محاسبه جست در ارتفاع عابر پیاده ایستگاه استفاده شده است.

$$\frac{\hat{V}_z}{\hat{V}_G} = \left(\frac{Z}{Z_G} \right)^\beta \quad \text{رابطه (۴)}$$

مقدار β (قوه جست) نیز از (جدول ۲) قابل محاسبه است (رازجویان، ۱۳۷۹).

جدول ۲- مقدار β در بافت‌های مختلف (مأخذ: رازجویان، ۱۳۷۹)

مقدار β	مشخصات بستر	بستر زمین
۰/۰۷	دریای آزاد، بیابان، پهنه یخ	گونه اول
۰/۰۹	روستای باز، درختان پراکنده، خارستان، بوته‌های کوتاه	گونه دوم
۰/۱۴	محیط‌های حومه‌ای، شهرهای کوچک، محدوده کاملاً درختکاری شده،	گونه سوم
۰/۲۰	ساختمان‌های بلند متعدد در مراکز شهری، محدوده‌های صنعتی توسعه یافته	گونه چهارم

برای متناسب‌سازی سرعت جست در بافت مورد مطالعه در ارتفاع ۱۰ متر و ارتفاع عابر پیاده نیز از رابطه (۵) بهره گرفته شد.

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{\left(\frac{z}{z_{G1}}\right)^{\beta_1}}{\left(\frac{z}{z_{C2}}\right)^{\beta_2}} \quad \text{رابطه (۵)}$$

اجزای این رابطه نیز به مانند روابط پیشین می‌باشد (رازجویان، ۱۳۷۹).

برای آگاهی یافتن از جهت وزش باد در منطقه مورد مطالعه نیز با استفاده از داده‌های باد ساعتی مأخوذ از ایستگاه هواشناسی اقدسیه، جهت باد در طی دوره مطالعه (۱۹۸۹-۲۰۰۹) با استفاده از نرم‌افزار ترسیم گلباد (WRplot view) مورد بررسی قرار گرفت. علاوه بر این جدول فراوانی جهت باد برای ۲۲ سال نیز تهیه گردید.

برای بررسی تطابق تراکم بافت در مسیر باد غالب منطقه با استفاده از نرم‌افزار ArcGIS (بخش ArcScen) سطوح ساختمانی منطقه مورد مطالعه شبیه‌سازی شد.

با توجه به این مسأله که باد نقش بسیار مهم و مؤثری در حذف اثر گرمای تولید شده توسط عناصر شهری (جزیره گرمایی) دارد، باد آستانه نیز جهت حذف جزیره گرمایی در مناطق شمالی تهران با استفاده از رابطه (۶) محاسبه شده است.

$$u_c = 3.4 \log p - 11.6 \quad \text{رابطه (۶)}$$

در این رابطه: u_c = باد آستانه بر حسب متر بر ثانیه، p = تعداد جمعیت می باشد (رنجبر سعادت‌آبادی، ۱۳۸۴: ۶۱). وجود بناهای بلندمرتبه بر مسیر جریان باد تغییراتی در جهت باد ایجاد می‌کند که بر شکل جریان در اطراف بنا تأثیر می‌گذارد؛ که خود در ماندگاری آلاینده‌ها در اطراف ساختمان‌ها مؤثر واقع می‌شود؛ بنابراین در این راستا برای نشان دادن این تغییرات از قانون رینولد بهره گرفته شد؛ که می‌توان آن را با استفاده از رابطه (۷) محاسبه کرد:

$$\text{Re} = \frac{\rho V^2 L^2}{\mu V L} = \frac{\rho V L}{\mu} \quad \text{رابطه (۷)}$$

در این رابطه Re = عدد رینولد، p = تراکم هوا بر حسب کیلوگرم بر متر مکعب، v = سرعت باد بر حسب متر بر ثانیه و L = طول گشودگی جبهه مقابل باد به متر و μ = چسبندگی سیال به کیلوگرم در ثانیه است. با توجه به ویژگی باد و تقریب قابل قبول در محاسبات معماری می‌توان این فرمول را به صورت زیر بازنویسی کرد:

$$\text{Re} = 0.5 * L * V * 10^4 \quad \text{رابطه (۸)}$$

در این رابطه $V =$ سرعت باد به کیلومتر بر ساعت، $L =$ عرض جبهه رو به باد به متر است (رازجویان، ۱۳۷۹: ۶۶).

یافته‌ها و بحث

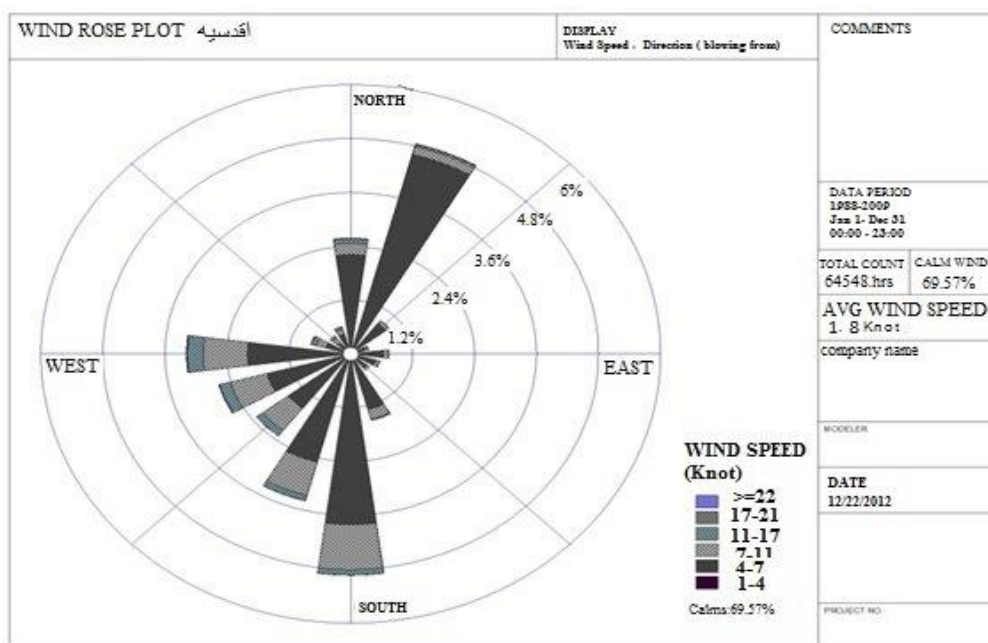
بر اساس داده‌های وزش باد ساعتی طی دوره مورد مطالعه (۱۹۸۸-۲۰۰۹) و همچنین رابطه‌های اشاره شده در بخش قبل، سرعت باد و جست باد در ارتفاع ده متر و دو متر بافت منطقه و ایستگاه بر حسب متر بر ثانیه محاسبه شد (جدول ۳).

جدول ۳- سرعت باد و جست باد در ارتفاع ۱۰ متر و عابر پیاده بافت منطقه مورد مطالعه و ایستگاه هواشناسی بر حسب متر بر ثانیه

ماه سرعت	ژانویه	فوریه	مار س	آوریل	می	ژوئن	جولای	آگوست	سپتامبر	اکتبر	نوامبر	دسامبر	سالانه
سرعت در ارتفاع ۱۰ متر ایستگاه	۰/۵۱	۰/۸۶	۱/۱	۱/۳۱	۱/۳۵	۱/۱۷	۰/۹۱۴	۰/۹۱	۰/۹۸	۰/۹۱۶	۰/۶۲	۰/۴۶	۰/۹۱
سرعت در ارتفاع ۱۰ متر بافت	۰/۳۱۶	۰/۵۳	۰/۶۷۱	۰/۸۰۸	۰/۸۳۱	۰/۷۲	۰/۵۶۲	۰/۵۶	۰/۶۰۴	۰/۵۶۳	۰/۳۸۵	۰/۲۸۳	۰/۵۶
سرعت جست در ارتفاع ۱۰ متر ایستگاه	۲/۶۶	۴/۴۷۵	۵/۶۶	۶/۸۱	۷/۰۱۴	۶/۰۸	۴/۷۴	۴/۷۳	۵/۰۹	۴/۷۵	۳/۲۵	۲/۳۸	۴/۷۲۵
سرعت جست در ارتفاع ۱۰ متر بافت	۱/۷۷۹	۲/۹۸	۳/۷۷۶	۴/۵۴۵	۴/۶۷۶	۴/۰۵۳	۳/۱۶۳	۳/۱۵۳	۳/۳۹۹	۳/۱۷	۲/۱۶۶	۱/۵۹۲	۳/۱۵
سرعت در ارتفاع ۲ متر ایستگاه	۰/۳۳۹	۰/۵۶۸	۰/۷۲	۰/۸۶۶	۰/۸۹۱	۰/۷۷۲	۰/۶۰۳	۰/۶۰۱	۰/۶۴۸	۰/۶۰۴	۰/۴۱۳	۰/۳۰۳	۰/۶
سرعت در ارتفاع ۲ متر بافت	۰/۱۸۲	۰/۳۰۶	۰/۳۸۷	۰/۴۶۶	۰/۴۸	۰/۴۱۶	۰/۳۲۴	۰/۳۲۳	۰/۳۴۸	۰/۳۲۵	۰/۲۲۲	۰/۱۶۳	۰/۳۲۳
سرعت جست در ارتفاع ۲ متر ایستگاه	۱/۲۵۴	۲/۱۰۳	۲/۶۶۲	۳/۲۰۴	۳/۲۹۶	۲/۸۵۷	۲/۲۳	۲/۲۲۳	۲/۳۹۶	۲/۲۳۵	۱/۵۲۷	۱/۱۲۲	۲/۲۲
سرعت جست در ارتفاع ۲ متر بافت	۰/۸۸	۱/۴۷۷	۱/۸۶۹	۲/۲۴۹	۲/۳۱۴	۲	۱/۵۶۶	۱/۵۶	۱/۶۸۲	۱/۵۶۹	۱/۰۷۲	۰/۷۸۸	۱/۵۵۹

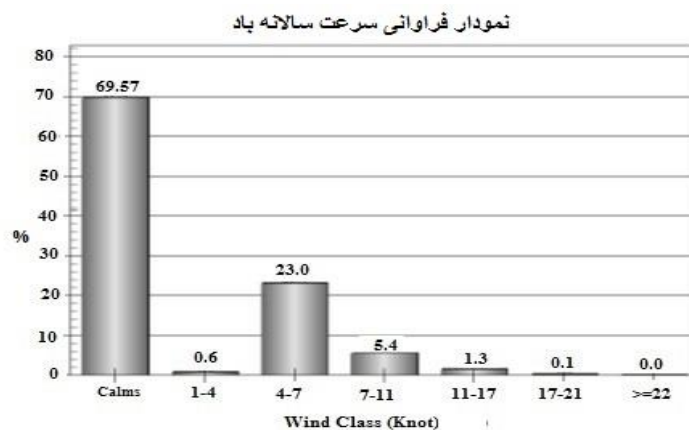
همان‌گونه که از نتایج ثبت شده در (جدول ۳) برمی‌آید، سرعت باد و جست باد در بافت بلندمرتبه محله مورد مطالعه به علت برخورد با موانع بزرگ‌تر نسبت به بافت ایستگاه هواشناسی کاهش چشمگیری پیدا کرده است. پایین‌ترین سرعت باد و جست باد در ارتفاع ۱۰ و ۲ متر بافت ایستگاه و محله مورد مطالعه در ماه‌های سرد سال و بیشترین آن در ماه‌های گرم سال مشاهده می‌گردد که به علت بافت بلندمرتبه منطقه مورد مطالعه و پایین‌تر بودن سرعت باد در آن نسبت به بافت ایستگاه می‌تواند دلیلی بر تشدید ایجاد جزایر گرمایی و آلودگی بیش‌تر منطقه مورد مطالعه در فصول سرد سال باشد. همچنین بررسی‌های انجام شده در راستای تعیین جهت باد غالب در منطقه مورد مطالعه حاکی از آن است که بادهای با جهت شمال‌شرق-جنوب‌غرب و همچنین بادهای جنوبی-شمالی در اکثر ایام

سال و در طول دوره مورد مطالعه (۱۹۸۸-۲۰۰۹) باد غالب منطقه بوده‌اند. شایان ذکر است که در ۶۹ درصد مواقع بادهای حاکم بر منطقه آرام بوده و بعد از آن بادهای با سرعت ۴-۷ نات دارای بیش‌ترین فراوانی بوده‌اند (شکل ۳).



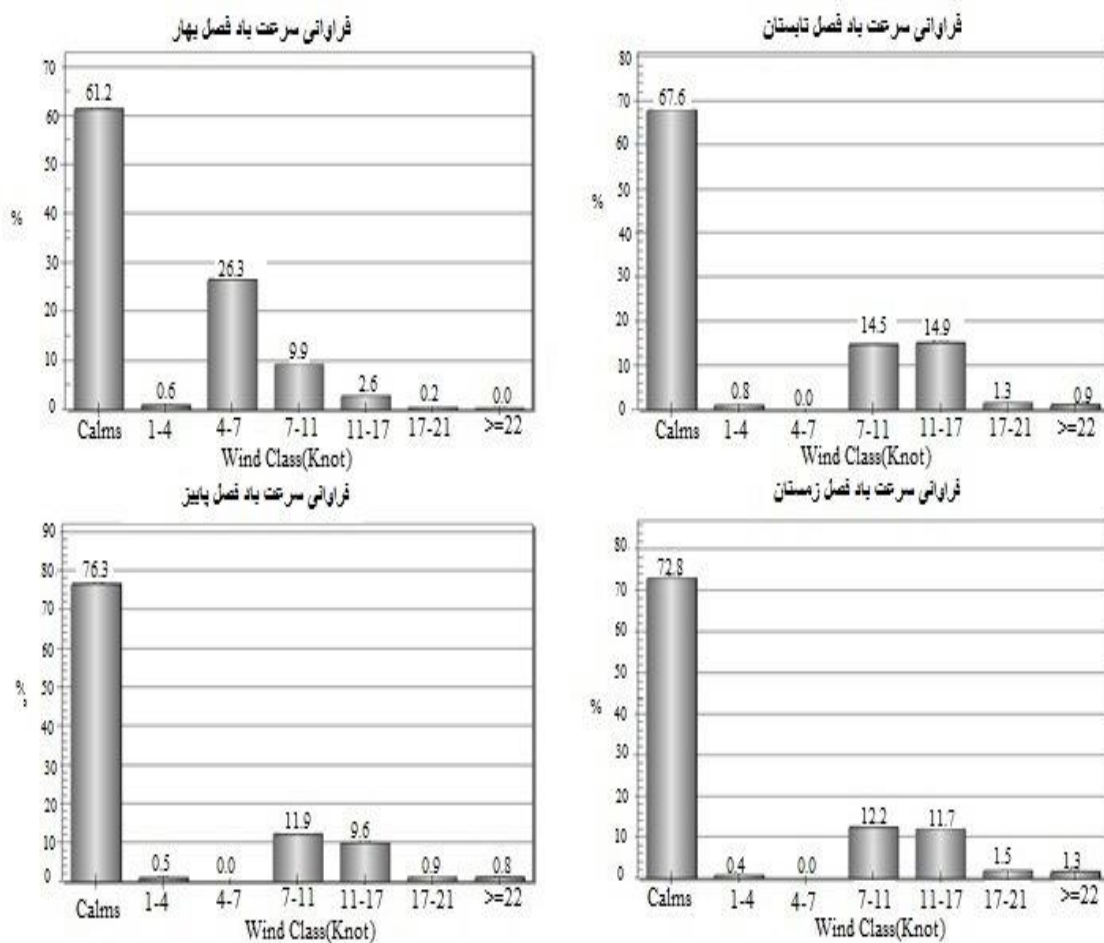
شکل ۳: گلباد سالانه منطقه مورد مطالعه طی دوره آماری ۱۹۸۸-۲۰۰۹

بررسی نمودار فراوانی سرعت باد در مقیاس سالانه برای دوره مورد مطالعه، نیز نمایانگر آن است که ۶۹/۶ درصد مواقع شرایط جوی از نظر وزش باد آرام بوده است. بر اساس دیده‌بانی‌های سه ساعته سرعت وزش در این مواقع صفر بوده است. در ۲۳ درصد مواقع نیز وزش باد با سرعت ۴-۷ نات غالب است. ۵/۴ درصد مواقع نیز باد سرعتی معادل ۷-۱۱ نات داشته است. ۱/۳ درصد سرعت ۱۱-۱۷ و کم‌تر از یک درصد نیز سرعت ۱۷-۲۱ مشاهده شده است (شکل ۴).



شکل ۴: نمودار فراوانی سرعت باد در مقیاس سالانه منطقه مورد مطالعه طی دوره آماری ۱۹۸۸-۲۰۰۹

همچنین (شکل ۵) نمودار فراوانی سرعت باد فصول مختلف سال را نشان می‌دهد. در تمامی فصول سال، بیش‌ترین فراوانی مربوط به وزش آرام باد می‌باشد و در مرحله بعد، سرعت ۷-۴ نات در فصل بهار دارای بیش‌ترین فراوانی وقوع (۲۶/۳ درصد) بوده است. فصل تابستان با اختلاف اندکی، سرعت ۷-۱۱ نات (۱۴/۹ درصد) بیش‌ترین فراوانی را داشته است. در فصول پاییز و زمستان سرعت ۷-۱۱ نات (به ترتیب ۱۱/۹ و ۱۲/۲ درصد) دارای بیش‌ترین فراوانی می‌باشد. با توجه به این نمودار فصل بهار و تابستان منطقه از لحاظ وزش باد ناآرام‌تر از سایر فصول بوده است.



شکل ۵: نمودار فراوانی سرعت باد در فصول مختلف سال طی دوره آماری ۱۹۸۸-۲۰۰۹

(جدول ۴) جهات باد در محله الهیه برای بازه‌های زمانی سه ساعته و طی دوره آماری (۱۹۸۸-۲۰۰۹) برای ماه‌های مختلف سال نشان می‌دهد. همان‌طور که ملاحظه می‌گردد جهات غالب همان شمال‌شرق-جنوب‌غرب و جنوبی-شمالی برآورد شده است. تنها در ماه‌های آوریل، می و ژوئن جهات جنوب‌غرب به شمال‌شرق نیز مشاهده شده است. (جدول ۵) نیز فراوانی جهات غالب باد را در زمان‌های سه ساعته دیده‌بانی نشان می‌دهد.

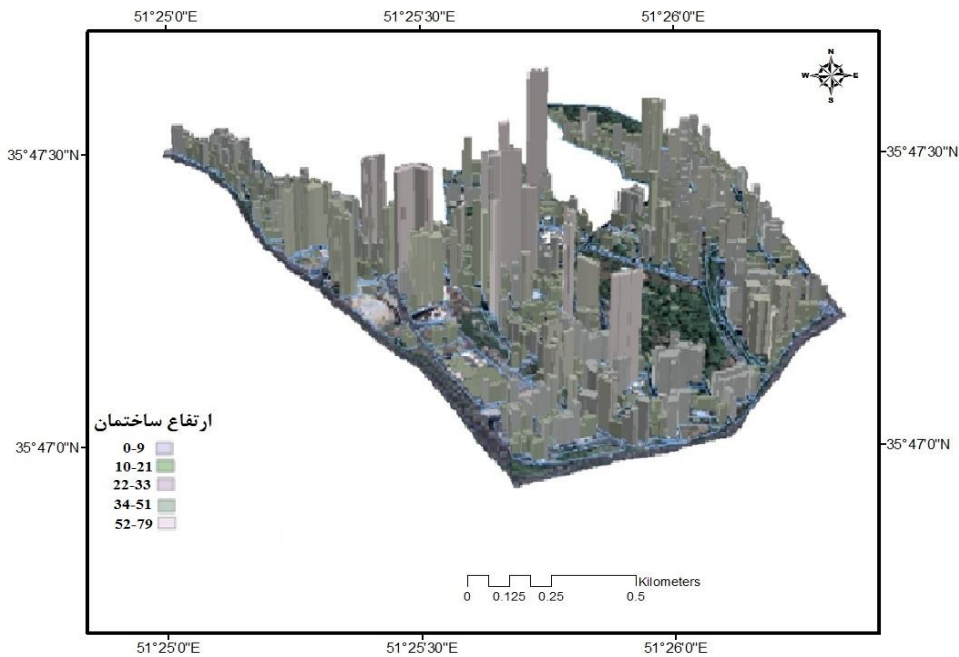
جدول ۴- جهت سه ساعته باد غالب در محله الهیه طی دوره آماری (۱۹۸۸-۲۰۰۹)

ماهها ساعات	ژانویه	فوریه	مارس	آوریل	می	ژوئن	جولای	آگوست	سپتامبر	اکتبر	نوامبر	دسامبر
۰	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE
۳	NE	NE	NE	N	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE
۶	NE	NE	NE	S	S	S	S	NE	NE	NE	S	NE
۹	NE	S	S	W	SW	S	S	NE	SW	S	S	N
۱۲	S	S	S	S	S	S	SW	S	S	S	S	S
۱۵	S	S	S	SW	S	SW	S	S	S	S	S	S
۱۸	NE	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	NE
۲۱	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE

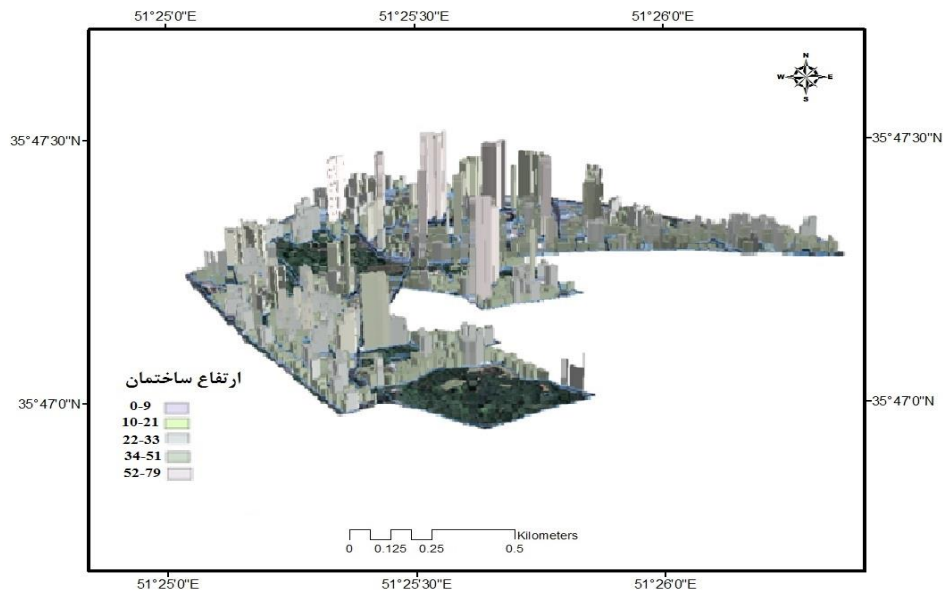
جدول ۵- فراوانی جهات غالب باد را در زمان‌های سه ساعته دیده‌بانی در محله الهیه

ساعت	جهت غالب	فراوانی
۰	۳۴۸/۷۵-۵۶/۲۵	۳۹۵
۳	۳۴۸/۷۵-۳۳/۵۷	۱۸۰
۶	۳۴۸/۷۵-۳۳/۵۷، ۱۶۸/۷۵-۲۸۱/۲۵	۱۶۷
۹	۱۴۶/۲۵-۲۸۱/۲۵	۲۷۱
۱۲	۱۴۶/۲۵-۲۸۱/۲۵	۵۰۸
۱۵	۱۴۶/۲۵-۲۸۱/۲۵	۸۲۳
۱۸	۱۴۶/۲۵-۲۸۱/۲۵، ۳۴۸/۲۵-۵۶/۲۵	۱۱۰۱/۳۲۳
۲۱	۳۴۸/۷۵-۵۶/۲۵، ۱۴۶/۲۵-۳۴۸/۷۵	۷۱۴/۱۲۳۷

همچنان که از ارقام (جدول ۵) برمی‌آید، فراوانی وزش در جهات مختلفی از شمال‌شرق تا جنوب و جنوب‌غرب متغیر است؛ بنابراین پس از روشن شدن جهت غالب باد در منطقه مورد مطالعه و همچنین محاسبه کاهش سرعت باد بر اثر اصطکاک به وجود آمده بین سطوح ساختمانی و جریان، بافت محله شبیه‌سازی شد و در مسیر وزش بادهای غالب گردش داده شد (شکل‌های ۶ و ۷).



شکل ۶: دید از جنوب به محله الهیه



شکل ۷: دید از شمال شرق به محله الهیه

همچنان که از (اشکال ۶ و ۷) برمی آید ساخت و سازهای انبوه و بلندمرتبه در مسیر جریان باد چنان قرار گرفته اند که تهویه بافت را با مشکل مواجه ساخته است. آنچه در این میان به عنوان عاملی تعدیل کننده جلب توجه می نماید، وجود دو لکه ی سبز گسترده در این منطقه است. این پوشش که مربوط به باغات سفارت روسیه و ترکیه و باغات بازمانده از گسترش بافت است اگرچه دارای وسعت قابل توجهی بوده و حتی الامکان می تواند فضای اطراف خود را

چه از نظر کوران باد ایجاد شده در اطراف ساختمان‌های بلند و چه از منظر جذب آلودگی تا حدودی تعدیل نماید لیکن نباید از این نکته غافل بود که ساخت‌وساز و تراکم در شمال تهران منحصر به محله الهیه نبوده و این باغات در حصار محلات همجوار محصورند.

مقدار باد آستانه با توجه به جمعیت منطقه در سه دوره (۱۳۶۵، ۱۳۷۵، ۱۳۸۵) که در تفضیلی منطقه یک موجود بوده برابر با مقادیر ۱۳۶۵: ۶/۵، ۱۳۷۵: ۶/۹، ۱۳۸۵: ۷/۳ متر بر ثانیه بر آورد شده است. چنانچه ملاحظه می‌شود سرعت باد آستانه کم‌تر از آن است که بتواند منجر به تهویه مناسب گردد.

چنانچه پیش‌تر اشاره شد، علاوه بر آن‌که بلوک‌های ساختمانی به‌عنوان موانعی در برابر وزش باد محسوب شده و از سرعت جریان‌ات می‌کاهند، واحدهای بلندمرتبه نیز در مسیر باد تغییراتی را اعمال کرده و تا فاصله‌ای معین که وابسته به ارتفاع و نوع قرارگیری ساختمان در برابر جریان است جهت باد را دستخوش تغییر می‌کنند. (جدول ۶)، مقادیر محاسبه شده عدد رینولد را براساس میانگین سرعت سالانه باد طی دوره مطالعاتی و برای چند ساختمان که به‌عنوان نمونه و به شکل تصادفی انتخاب شده بودند نشان می‌دهد.

جدول ۶- مقدار عدد رینولد برای چند ساختمان نمونه

عدد رینولد	عرض ساختمان	سرعت باد (برحسب کیلومتر در ساعت)
۱۷۶۸۲۲/۴۸	۲۶/۵۳	۱/۳۳۳
۳۶۶۱۷۵/۱	۵۴/۹۴	۱/۳۳۳
۲۱۵۴۷۹/۴۵	۳۲/۳۳	۱/۳۳۳
۳۰۹۹۲۲/۵	۴۶/۵	۱/۳۳۳

به ازای اعداد بسیار بزرگ رینولد (در حدود $200000 \leq \text{عدد رینولد} \leq 50000$)، جریان در مکانی جلوتر از گردبادهای متناوبی در پشت استوانه تشکیل می‌شوند. دنباله‌ای از جریان‌های چرخشی در پشت استوانه تشکیل می‌شود که در مسیر اصلی با سرعتی به مراتب کندتر از سرعت جریان اصلی به حرکت در می‌آید، از بدنه استوانه جدا می‌شود و اثرات جریان سه‌بعدی نیز ظاهر می‌شود؛ ضمناً تغییری کیفی در نوع جریان منطقه دنباله مشاهده می‌شود، یعنی جریان هوا در منطقه دنباله متلاطم می‌شود. برای عدد رینولد به ازای $200000 \geq$ دنباله استوانه به میزان چشمگیری باریک شده و گردبادهای چرخشی به‌صورت تصادفی در منطقه دنباله استوانه ظاهر می‌شود (رازجویان، ۱۳۷۹: ۶۹ و ۷۶)؛ بنابراین چنانچه از جدول مشاهده می‌شود در ساختمان‌های نمونه حالات فوق صادق بوده و ملاحظه می‌شود که در جبهه جلو ساختمان گردبادهای متلاطم حاصل شده است؛ و در ساختمان‌هایی که جبهه طویل آن‌ها رو به باد است این حالت شدت بیش‌تری داشته است.

نتیجه گیری

همان طوری که نتایج محققان دیگر از جمله راجاگوپالان و همکاران (۲۰۱۴)، آسفور (۲۰۱۰)، سرتسر (۲۰۰۹) و کویاتا (۲۰۰۸) نشان داده است ارتفاع ساختمان‌ها، نحوه قرارگیری آن‌ها، جهت، تراکم ساختمان‌ها در منطقه، جهت و عرض خیابان‌ها و کوچه‌ها، باعث تغییر در ویژگی‌های باد موجود در یک منطقه از نظر جهت، سرعت، ویژگی تهویه سازی و ... می‌شوند. اصول معماری همساز با باد در سطح دنیا در حال حاضر باعث استفاده از انرژی بادی به‌عنوان یک جایگزین مناسب و پاک برای سوخت‌های فسیلی شده است که نمونه آن در طراحی مرکز تجارت جهانی بحرین (کیلا و اسمیت، ۲۰۰۸: ۱۵۰-۱۴۴) به‌وضوح دیده می‌شود طراحی این ساختمان طوری بوده که نه تنها تغییری در الگوی باد منطقه ایجاد نمی‌کند بلکه با ایجاد توربین‌های بادی از انرژی باد در ساختمان مزبور استفاده می‌شود. در حالی که عدم رعایت اصول طراحی همساز با باد نه تنها باعث اتلاف انرژی و عدم استفاده از انرژی بسیار سودمند باد می‌گردد بلکه باعث ایجاد محیطی نامناسب به لحاظ ویژگی‌های بادی منطقه می‌گردد. نتایج مطالعه حاضر نشان داد که سرعت باد و جست باد در بافت بلندمرتبه محله مورد مطالعه به‌علت برخورد با موانع بزرگ‌تر نسبت به بافت ایستگاه هواشناسی کاهش چشم‌گیری پیدا کرده است. پایین‌ترین سرعت باد و جست باد در ارتفاع ۱۰ و ۲ متر بافت ایستگاه و محله مورد مطالعه در ماه‌های سرد سال و بیش‌ترین آن در ماه‌های گرم سال مشاهده می‌گردد که به علت بافت بلندمرتبه منطقه مورد مطالعه و پایین‌تر بودن سرعت باد در آن نسبت به بافت ایستگاه می‌تواند دلیلی بر تشدید ایجاد جزایر گرمایی و آلودگی بیش‌تر منطقه مورد مطالعه در فصول سرد سال باشد. شبیه‌سازی ساختمان‌های منطقه مورد مطالعه حاکی از قرارگیری آن‌ها در برابر باد غالب منطقه بوده که مزید بر علت شده و مانع تهویه آلودگی در بافت می‌گردد. طبق نتایج سرعت باد آستانه نیز کم‌تر از آن است که بتواند منجر به تهویه مناسب گردد. علاوه بر آن که بلوک‌های ساختمانی به‌عنوان موانعی در برابر وزش باد محسوب شده و از سرعت جریان‌ات می‌کاهند، واحدهای بلندمرتبه نیز در مسیر باد تغییراتی را اعمال کرده و تا فاصله‌ای معین که وابسته به ارتفاع و نوع قرارگیری ساختمان در برابر جریان است جهت باد را دستخوش تغییر می‌کنند. مقدار عدد رینولد در چند ساختمان نمونه برای حالات فوق صادق بوده و ملاحظه می‌شود که در جبهه جلو ساختمان گردبادهای متلاطم حاصل شده است و در ساختمان‌هایی که جبهه طویل آن‌ها رو به باد است این حالت شدت بیش‌تری داشته است.

منابع

- احمدی، م؛ صمدی، ن؛ خادم، ش؛ درگاهی، ع (۱۳۹۲)، «بررسی اهمیت فضای سبز در کنترل و کاهش آلودگی هوای شهری»، سومین کنفرانس بین‌المللی برنامه‌ریزی و مدیریت محیط‌زیست، پنجم آذر ماه ۱۳۹۲، دانشگاه تهران.
- بنتلی، ای. ین؛ ال‌کک، آ؛ مورین، پ؛ گلین، س؛ اسمیت، گ (۱۳۸۲)، «*محیط‌های پاسخده*»، (ترجمه مجتبی بهزادفر)، تهران، انتشارات دانشگاه علم و صنعت ایران.
- رازجویان، م (۱۳۷۹)، «*آسایش در پناه باد*»، تهران، انتشارات دانشگاه شهید بهشتی.
- رنجبر سعادت‌آبادی، ع؛ آزادی، م (۱۳۸۴)، «بررسی تغییرات میدان‌های دما و باد در کلان‌شهر تهران ناشی از توسعه شهری»، *فصلنامه تحقیقات جغرافیایی*، شماره ۷۶، صص ۲۶-۱۴.
- رنجبر، ا؛ پورجعفر، م. ر؛ خاليجی، ک (۱۳۸۹)، «خلاقیت‌های طراحی اقلیمی متناسب با جریان باد در بافت قدیم شهر بوشهر»، *باغ نظر*، شماره ۷ (۱۳)، صص ۳۴-۱۷.
- شمسی‌پور، ع. ا؛ نجیب‌زاده، ف؛ حسین‌پور، ز (۱۳۹۱)، «شبیه‌سازی الگوی پراکنش آلودگی‌های هوای کلان‌شهر تهران در شرایط وزش باد»، *جغرافیا و مخاطرات محیطی*، شماره ۴، صص ۳۶-۱۹.
- لشکری، ح؛ موزرمی، س؛ لطفی، ک (۱۳۹۰)، «آسایش در خارج و داخل بنا بر اساس شاخص پن واردن و ماهانی، نمونه موردی شهر اهواز»، *فصلنامه جغرافیای انسانی*، شماره ۲، صص ۲۲۰-۲۰۷.
- نصراللهی، ن؛ بقایی پور، گ (۱۳۹۳)، «تأثیر انواع پوشش گیاهی بر روی غلظت آلودگی هوا در تنگه‌های شهری»، *کنفرانس ملی معماری و منظر شهری پایدار*، ۱۲ اردیبهشت ۱۳۹۴، مهرآز شهر، کرمان، صص ۱۰-۱.
- یآوری، ح؛ سلیقه، م (۱۳۹۰)، «سطوح وارونگی در آلودگی‌های شهر تهران»، *نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی*، شماره ۲۰، صص ۱۰۵-۸۹.

- Asfour, O. S., (2010), "Prediction of wind environment in different grouping patterns of housing blocks", *Energy Build*, 42 (11): 2061-2069.
- Abohela, I., (2009), "The integration of wind turbines in architectural design", *Third Ain Shams University International Conference on Environmental Engineering*, 14-16 April, Cairo, Egypt: pp 1-10.
- Demirci, E., Cuhadaroglu, B., (2000), "Statistical analysis of wind circulation and air pollution in urban Trabzon", *Energy and Buildings*, 31 (1): 49-53.
- Gao, Y., Yao, R., Li, B., Turkbeyler, E., Luo, Q., Short, A., (2012), "Field studies on the environments", *Renewable Energy*, 46: 148-154
- He, J., Song, C. S., (1999), "Evaluation of pedestrian winds in urban area by numerical approach", *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 81 (1-3): 295-309.
- Kubota, T., Miura, M., Tominaga, Y., Mochida, A., (2008), "Wind tunnel tests on the relationship between building density and pedestrian-level wind velocity: development of guidelines for realizing acceptable wind environment in residential neighborhoods", *Build, Environ*, 43 (10): 1699-1708.

- Killa, S., Smith, R. F., (2008), "Harnessing energy in tall buildings: bahrain world trade center and beyond", World Congress- Council on Tall Buildings and Urban Habitat, 3- 5 March, Dubai, pp144-150.
- Lei, L., Fei, H., Xue-Ling, C., Jin-Hua, J., Xiao-Guang, M., (2006), "Numerical simulation of the flow within and over an intersection model with Reynolds-averaged Navier & ndash; Stokes method", *Chinese Physics*, 15 (1): 149-155.
- Leitl, B. M., Kastner-Klein, P., Rau, M., Meroney, R. N., (1997), "Concentration and flow distributions in the vicinity of U-shaped buildings: Wind-tunnel and computational data", *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 67 (68): 745-755.
- Malcolm, A. H., John, D. W., Simon, J. W., (2007), "Estimating the potential yield of small building-mounted wind turbines", *Wind Energy*, 10 (3): 271-287.
- Mertens, S., (2006), "Wind energy in the built environment: concentrator effects of buildings", *Wind Engineering*, 30 (5): 1-170.
- Moonen, P. D., (2012), "Urban physics: Effect of the micro-climate on comfort, health and energy demand", *Frontiers of Architectural Research*, 1 (3): 197-228.
- Rajagopalan, P., Chuan Lim, K., Jamei, E., (2014), "Urban heat island and wind flow characteristics of a tropical city", *Solar Energy*, 107: 159-170.
- Serteser, N., Ok, V., (2009), "The effects of building parameters on wind velocity and air-flow type in the urban settlements", The Seventh International Conference On Urban Climate, Yokohama, Japan, 29 Jun- 3 Jul 2009.