



## Greenery as a Mitigation Strategy for Pedestrian Level Wind Condition in Urban Areas; Case Study: Imam Street in Tabriz

### ARTICLE INFO

#### Article Type

Analytic Study

#### Authors

Parinaz Badamchizadeh<sup>1</sup>

Paria Saadatjoo<sup>2\*</sup>

Majid Ahmadlouydarab<sup>3</sup>

Mahyar Kazemian<sup>4</sup>

#### How to cite this article

Badamchizadeh P, Saadatjoo P, Ahmadlouydarab M, Kazemian M. Greenery as a Mitigation Strategy for Pedestrian Level Wind Condition in Urban Areas; Case Study: Imam Street in Tabriz, 2023 Jan 1;12(4):96-115  
<https://doi.org/10.1.2322499.1.1401.12.4.4.0>

1. MSc, Department of Architecture, Faculty of Civil Engineering, University of Tabriz, Tabriz, Iran.

2. PhD, Faculty of Civil Engineering, University of Tabriz, Tabriz, Iran,

3. PhD, Faculty of Chemical and Petroleum Engineering, University of Tabriz, Tabriz, Iran.

4. MSc, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Kharazmi University, Tehran, Iran

#### \*Correspondence

Address: PhD, Faculty of Civil Engineering, University of Tabriz, Tabriz, Iran.

#### Email:

paria.saadatjoo@tabrizu.ac.ir

#### Phone:

#### Article History

Received: 2022/08/23

Accepted: 2022/12/01

ePublished: 2023/01/01

### ABSTRACT

**Aims:** The purpose of this study is to investigate the role of vegetation in reducing nuisance wind speed on the Imam Street sidewalk. Imam Street is one of the main arteries in Tabriz, and the nuisance wind speed on its sidewalks disturbs the climate comfort for pedestrians, especially during the cold season.

**Materials & Methods:** A descriptive-analytical method is used in this study, and numerical simulations are performed using Dlubal RWIND 2.02 to evaluate the wind flow for the current condition and the proposed alternatives. In this context, the effect of vegetation height, spacing, and arrangement (with tree bench) as independent variables on wind speed at pedestrian height as a dependent variable was investigated. Spearman's correlation method has been used to investigate the relationship between variables.

**Findings:** The studies have shown that trees with a height of 4 meters, distributed at a distance of 5 meters according to pattern 1, can reduce the flow velocity on the pedestrian level by 52%.

**Conclusion:** The results show that the implementation of vegetation in appropriate spacing and pattern can significantly reduce wind speed. Placing tree benches on the sidewalk changes the airflow toward the street and reduces wind speed at the pedestrian level.

**Keywords:** Sustainability, wind flow, urban design, sidewalk, wind comfort, tree bench.

### CITATION LINKS

- [1] T. Heath, T. Oc, and S. Tiesdell, Public Places ... [2] D. of T. I. R. of Iran, Urban Highways and Streets Design Guide, section 10, ... [3] J.P. Holman, Heat Transfer. Mc Graw Hill, 2010.... [4] P. Saadatjoo and E. Saligheh, "The Role of Buildings Distribution Pattern on Outdoor Airflow and,...[5] P. Saadatjoo, "Investigating the Effect of Building Facade Recess on Urban Wind Flow Performance ... [6] M. Haghshenas, M. Hadianpour, A. Matzarakis, M. Mahdavejad, and M. Ansari, "Improving the suitability of selected ... [7] P. Saadatjoo, M. Mahdavejad, G. Zhang, and K. Vali, "Influence of ... [8] L. Rose, E. Horison, and Lavanya Jothi Venkatachalam, "...[9] P. Saadatjoo, M. Mahdavejad, and G. Zhang, "A study on terraced apartments [10] P. Saadatjoo, M. Mahdavejad, and A. Zarkesh, "Porosity Rendering in ... [11] Saadatjoo, "Investigating the effect of building geometry [12] E. Willemsen and J. A. Wisse, "Design for wind comfort in The Netherlands...[13] M. T. R. Hariri, S. N. Khosravi, and P. Saadatjoo, "The Impact of High-rise Building Form on Climatic Comfort at the Pedestrian Level.... [14] P. Saadatjoo, "Investigation on the effect of building ... [15] Jahanshah Pakzad, Design Guides for Urban Spaces in Iran ... [16] A. Zangiabady and Nazanin Tabrizi, ... [17] A. Ricci, M. Guasco, F. Caboni, M. Orlanno, A. Giachetta, and M. P. Repetto, "Impact of surrounding ... [18] S. Zheng et al., "Predicting the influence of subtropical trees ... [19] A. O. Mahgoub and S. Ghani, "Numerical and experimental investigation of utilizing ... [20] R. Mortezaie, Approaches in urban furniture design ... [21] M. Hadianpour, M. Mahdavejad, M. Bemanian, and F. Nasrollahi,...[22] M. Hadianpour, M. Mahdavejad, M. Bemanian, ...[23] C. Y. Kuo, R. J. Wang, Y. P. Lin, and C. M. Lai, "Urban design with the ... [24] Q. M. Zahid Iqbal and A. L. S. Chan, "Pedestrian level wind environment ... [25] T. van Druenen, T. van Hooff, H. ...[26] H. V. K. W.J.Beranek, "On avoiding wind nuisance around buildings," 1979.... [27] X. Zhang et al., "Evaluation of pedestrian wind comfort near 'lift-up' buildings ... [28] B. Blocken, S. Roels, and J. Carmeliet, "Modification of pedestrian wind comfort ...[29] S. Aguinaga, M. D. D. E. Virel, and J. Guilhot, "Design of the Citadel ...[30] Naqsh Mohit Consulting Engineers, "Tabriz City Development and. ... [31] Y. Tominaga et al., "AIJ guidelines for practical applications of ...[32] K. Javanroodi, M. Mahdavejad, and V. M. Nik ...[33] Climate and Average Weather Year Round in ... [34] W. M. and B. J. V. R.M. Aynsley, Architectural aerodynamics ...[35] A. I. of J. AIJ, "AIJ Benchmarks for Validation of CFD ...[36] N. ISYUMOV and A. G. DAVENPORT, "THE GROUND LEVEL WIND....[37] A. Court, "Wind Roses," Weather, 1963...

## مقدمه

ترویج اصول پیاده‌مداری در شهرسازی منجر به ارتقا اهمیت پیاده‌راه‌های شهری به عنوان جایگاه حضور و فعالیت عابرین پیاده شده‌است. پیاده‌روی، ساده‌ترین شیوه جابه‌جایی در فضاهای شهر می‌باشد که به صورت مستقل و بدون وابستگی به هیچ‌گونه ابزاری انجام می‌شود [۱]. ویژگی‌های اصلی شبکه معابر قابل پیاده‌روی، دسترسی، ایمنی و امنیت، پیوستگی، کوتاه بودن مسیر، جذابیت بصری و آسایش اقلیمی است [۲]، که در این میان، برخورداری از آسایش اقلیمی مهم‌ترین فاکتور تعیین‌کننده برای حضورپذیری و فعالیت عابرین پیاده در فضاهای باز شهری می‌باشد. آسایش اقلیمی در فضای خارجی تحت تأثیر عواملی از قبیل دما، رطوبت، باد و پوشش گیاهی است که از میان این عوامل، دما، رطوبت و باد به عنوان عوامل محیطی متأثر از تابش و جریان هوا می‌باشند [۳].

سرعت جریان باد، یکی از مهم‌ترین فاکتورهای اقلیمی مؤثر بر آسایش در فضاهای باز شهری می‌باشد که متأثر از پارامترهای طراحی متعدد در مقیاس شهری و معماری است [۴-۶]. عواملی از قبیل احداث ساختمان‌های بلندمرتبه و همچنین عدم توجه به جریان باد غالب شهری در طراحی معابر شریانی می‌تواند منجر به افزایش سرعت باد شهری، ایجاد اختلال در عملکردها و عدم تمایل به حضور در فضاهای باز شهری گردد. علیرغم اهمیت بسیار بالای آسایش اقلیمی در فضاهای باز شهری، طراحان و معماران به این مقوله توجه چندانی نداشته و در طراحی‌های خود به تأمین آسایش فضاهای داخلی بسنده می‌کنند [۷-۱۰]. سرعت باد شهری تحت تأثیر شاخصه‌های مرتبط با بلوک‌های ساختمانی، شبکه دسترسی و عناصر موجود در سطح معابر قرار دارد [۱۱] از این رو تغییر مشخصه‌های فیزیکی بناهای پیرامونی، جهت‌گیری و عرض معابر، و عناصر موجود در پیاده‌راه‌ها می‌تواند الگوی جریان باد شهری را به شدت تحت تأثیر قرار دهد [۱۲-۱۴].

پوشش‌های گیاهی و مبلمان شهری در کنار ایفای نقش عملکردی خود، می‌توانند با انحراف مسیر جریان و انسداد

## ارزیابی عملکرد پوشش گیاهی در برقراری آسایش باد شهری؛ نمونه موردی: پیاده‌راه خیابان امام تبریز

پریناز بادامچی زاده<sup>۱</sup>، پریا سعادت جو<sup>۲\*</sup>، مجید احمدلوی داراب<sup>۳</sup>، مهیار کاظمیان<sup>۴</sup>

- ۱- کارشناسی ارشد طراحی شهری، گروه معماری، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران.
- ۲- دکتری معماری، گروه معماری، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران. (نویسنده مسئول).
- ۳- دکتری مهندسی شیمی، دانشکده مهندسی شیمی و نفت، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران.
- ۴- دانشجوی دکتری عمران-سازه، گروه عمران، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران

### چکیده

**اهداف:** هدف از انجام این پژوهش، بررسی نقش پوشش گیاهی در تعدیل جریان باد آزاردهنده پیاده‌راه خیابان امام می‌باشد. خیابان امام یکی از شریان‌های اصلی شهر تبریز است که سرعت آزاردهنده باد در پیاده‌روهای آن منجر به سلب آسایش عابرین پیاده بخصوص در فصول سرد سال شده‌است.

**ابزار و روش‌ها:** در این تحقیق از روش توصیفی-تحلیلی و شبیه‌سازی عددی با استفاده از نرم‌افزار Dlubal RWIND 2.02 در جهت شبیه‌سازی جریان باد برای وضع موجود و حالات مختلف پیشنهادی استفاده گردید. در این راستا، تأثیر ارتفاع، فاصله، و چیدمان پوشش گیاهی (به همراه نیمکت درختی) به عنوان متغیرهای مستقل پژوهش، بر روی سرعت جریان باد در تراز عابر پیاده به عنوان متغیر وابسته پژوهش مورد بررسی قرار گرفته و از روش همبستگی اسپیرمن برای بررسی ارتباط میان متغیرها استفاده شده‌است.

**یافته‌ها:** بررسی‌ها نشان داد کاشت درختانی با ارتفاع ۴ متر در فواصل ۵ متری از یکدیگر که با الگوی تراکم ۱ توزیع شده‌اند قادر است تا با کاهش ۵۲ درصدی سرعت جریان در تراز عابر پیاده، به برقراری آسایش در معابر خیابان امام کمک کند.

**نتیجه‌گیری:** نتایج نشان داد که استفاده از پوشش گیاهی متناسب با اقلیم، در فواصل و طبق الگوی درست می‌تواند سرعت باد را به صورت قابل ملاحظه‌ای کاهش دهد. نیمکت‌های درختی پیرامونی، جریان هوا را به سمت خیابان هدایت کرده و باعث تعدیل سرعت باد در سطح عابر پیاده می‌گردد.

**کلمات کلیدی:** پایداری، جریان باد، طراحی شهری، پیاده‌راه، آسایش باد، نیمکت درختی.

آن، به تعدیل جریان در تراز عابر پیاده کمک کنند. مبلمان شهری با توجه به تقسیمات عملکردی به چهار دسته اصلی مبلمان خیابانی، پارکی، ترافیکی و سازه‌های اطلاع‌رسانی و تبلیغاتی تقسیم‌بندی می‌شوند [۱۵] از جمله ملاحظات طراحی مبلمان شهری با توجه به تقسیم‌بندی طراحی، ساخت و نصب، ملاحظات اقلیمی و بومی می‌باشد [۱۶]. مطالعات جدید حاکی از آن است که حضور مبلمان شهری از جمله بیلبردها، درختان، فلاورباکس‌های طولی و... می‌تواند سرعت باد در سطح عابر پیاده را به نسبت زیادی تعدیل کرده و آسایش را برای عابرین فراهم کند [۱۷، ۱۸]. وجود مبلمان در پیاده‌راه‌ها، جهت‌گیری مناسب نسبت به جهت باد غالب شهری و هندسه مناسب مبلمان، باد را به سمت سواره‌رو هدایت کرده و موجب کاهش سرعت باد در پیاده‌راه می‌شود [۱۹]. استفاده از مبلمان شهری مستلزم اعمال تمهیدات و در نظر گرفتن ملاحظات مربوط به هر اقلیم می‌باشد. در مناطقی با بادهای شدید محلی، مبلمان شهری باید طوری استقرار یابند که کمترین فشار منفی باد متوجه استفاده‌کنندگان گردد. این در حالیست که در اقلیم‌های گرم، مبلمان باید طوری مکان‌یابی شود که در معرض وزش نسیم‌های خنک طبیعی قرار گیرد. در این راستا، درختان می‌توانند سایه لازم را تأمین کرده و تا حدودی جریان هوا را کنترل کنند [۲۰]. با توجه به وجود ساختمان‌های بلندمرتبه و همسویی خیابان امام با راستای باد غالب شهر تبریز، پیاده‌راه‌های این جریان با سرعت بسیار بالای باد بخصوص در فصول سرد سال مواجه است. این مسئله باعث ایجاد مشکلات عدیده برای عابرین و سلب آسایش آن‌ها گردیده است. مقاله پیشرو تأثیر پوشش گیاهی و مبلمان شهری بر روی کاهش سرعت باد و تعدیل جریان آزاردهنده در پیاده‌روهای خیابان امام تبریز را مورد بررسی قرار می‌دهد.

### پیشینه پژوهش

سرعت و الگوی جریان در معابر شهری تحت تأثیر ساختار فیزیکی بلوک‌های ساختمانی پیرامونی، شبکه دسترسی و

عناصر موجود در سطح معابر قرار دارد. تاکنون مطالعات متعددی به بررسی عوامل تأثیرگذار بر سرعت و آسایش باد شهری پرداخته‌اند که از این میان، تعداد بسیار محدودی بر روی تأثیر مبلمان شهری بر الگوی جریان و سرعت باد شهری متمرکز شده‌اند [۲۱، ۲۲]. بررسی مطالعات پیشین در دو حوزه اصلی بلوک‌های پیرامونی و عناصر موجود در معابر شهری با تأکید بر تأثیر مبلمان شهری انجام گرفت. طی سال‌های گذشته تحقیقاتی در خصوص جریان باد اطراف ساختمان‌های بلندمرتبه انجام و نتایج قابل‌توجهی در رابطه با نسبت ارتفاع، شکل و جهت‌گیری ساختمان‌ها بر سرعت و تلاطم جریان باد مشاهده شد. طبق تحقیقات صورت گرفته، سرعت باد در سطح معابر با افزایش ارتفاع ساختمان افزایش و با افزایش عرض خیابان کاهش می‌یابد [۲۳]. در مقاله‌ای با عنوان "ارزیابی رفتار باد در تراز عابر پیاده در اطراف گروهی از ساختمان‌های بلند"، اثر شکل ساختمان و جهت‌گیری آن بر الگوی جریان معابر موردبررسی گرفت. در این مقاله اثر ترکیبی چند متغیر هندسی از جمله گوشه‌های ورودی ابنیه پیرامونی، زاویه برخورد باد، زاویه گذرگاه و جداسازی ساختمان بر جریان باد در سطح عابر پیاده ارزیابی شد. نتایج نشان داد که گردش باد در گوشه‌های ورودی گذرگاه در تراز عابر پیاده، به طور قابل‌توجهی تحت تأثیر جهت‌گیری و جداسازی ساختمان قرار دارد [۲۴]. در پژوهش انجام‌گرفته توسط وان دروئن و همکاران در سال ۲۰۱۹، تأثیر هندسه ساختمان‌ها بر کاهش سرعت باد در سطح ارتفاعی عابرین در پیاده‌راه‌ها ارزیابی شد. در این مقاله ارتباط سرعت باد در سطح پیاده‌راه (Pedestrian Level Wind) PLW و متغیرهایی در طبقات همکف ساختمان‌ها مورد سنجش قرار گرفت. نتایج این مقاله نشان‌دهنده تأثیر قابل‌ملاحظه جداره‌های نفوذپذیر در طبقه همکف ساختمان‌های پیرامونی بر سرعت باد در سطح معابر می‌باشد [۲۵]. در پژوهشی با عنوان "شبیه‌سازی CFD جریان باد و فشار متوسط برای ساختمان‌های دارای بالکن: مقایسه RANS و LES"

سرعت، شدت باد و همچنین فشار وارده بر بنا در ساختمان‌های دارای بالکن بررسی شد. نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که جزئیات هندسی نما می‌تواند به میزان قابل توجهی در الگوهای جریان هوا و فشار هوا تأثیر بگذارد. این رفتار در مورد بناهای دارای بالکن که وجود آن منجر به جدا شدن و گردش مجدد چندگانه باد می‌شود محسوس‌تر است. در نقاط نزدیک به سطح نما تغییرات زیادی در توزیع فشار سطح ایجاد می‌شود که منجر به افزایش مزاحمت باد می‌گردد [۱۸]. ارتفاع ساختمان از جمله شاخصه‌های مهم بررسی شده در مقالات مرتبط با سرعت باد شهری می‌باشد. بررسی رابطه بین ارتفاع ساختمان و آسایش شهروندان ثابت کرد که تشدید سرعت باد در اطراف ساختمان‌هایی با ارتفاع بیش از ۵۰ متر، آسایش عابرین را به طور قابل ملاحظه‌ای سلب می‌کند [۲۶]. مطالعات ویلسمن و همکارش در سال ۲۰۰۷ نشان داد که برای ساختمان‌هایی با ارتفاع بیش از ۳۰ متر، انجام شبیه‌سازی‌های جریان باد و یا آزمایش تونل باد، به علت تشدید سرعت باد شهری، بسیار ضروری است [۱۲]. ژنگ و همکاران در سال ۲۰۱۷ با انجام تست‌های تونل باد به این نتیجه رسیدند که بالابردن تراز همکف ساختمان‌های بلندمرتبه و شکل هندسی متفاوت هسته مرکزی ساختمان در تراز همکف، سرعت باد در سطح عابرپیاده را تحت تأثیر قرار می‌دهد [۲۷]. در پژوهش انجام‌شده توسط نجف‌خسروی و همکاران ثابت شد که ایجاد تغییرات ساختاری در فرم هندسی بنا و فرم مقطع ساختمان، الگوی جریان باد معابر شهری در تراز عابر پیاده تغییر می‌یابد. در این راستا ایجاد تغییرات شکلی، اعم از شکست بدنه، خالی کردن، عقب‌نشستگی و .. در ترازهای تحتانی و به ویژه طبقه همکف ساختمان تأثیرات مثبتی بر ارتقای جریان باد شهری خواهد داشت [۱۳].

بلوکن و همکاران در سال ۲۰۰۴ به بررسی تأثیر درب‌های اتوماتیک فضای مابین بلوک‌های ساختمانی بر تعدیل جریان باد پرداخته‌اند. سنسورهای تعبیه‌شده در این درب‌ها با تشخیص سرعت‌های باد بالاتر از حد آسایش و صدور فرمان بسته شدن درب‌ها، به تقلیل سرعت جریان در معابر

و تأمین شرایط آسایش کمک می‌کنند [۲۸]. در سال ۲۰۱۷، آگونیگا و همکاران به بررسی تأثیر پیش‌آمدگی‌ها و المان‌های متخلخل و همچنین ردیف درختان بر روی سرعت باد شهری پرداختند. نتایج این پژوهش نشان داد که استفاده از پوشش گیاهی یکی از کارآمدترین راه‌ها برای تأمین آسایش باد عابران پیاده هنگام طراحی یک منطقه شهری است [۲۹]. ژنگ و همکاران با انجام آزمایش تونل باد، الگوی جریان در اطراف درختان استوایی شهری را بررسی و رابطه بین سرعت باد و ضریب پسا را تعیین نمودند. نتایج این پژوهش حاکی از وجود رابطه معکوس میان سرعت باد با ضریب پسا می‌باشد؛ همچنین برای ۴ نوع درخت واقعی ارزیابی شده در تونل باد، نتایج نشان‌دهنده ضریب پسا بین ۰.۵۲۳ تا ۰.۹۳۲ می‌باشد [۱۸]. در پژوهش انجام شده در سال ۲۰۲۱، رفتار بادشکن‌هایی نظیر فنس‌ها، بادشکن‌هایی از جنس گیاهان و همچنین عملکرد نماهای متخلخل با میزان تخلخل ۰.۲۵ تا ۰.۶ مورد بررسی قرار گرفت. در این پژوهش، نتایج نشان داد که نماهای متخلخل تأثیر بسیاری در هدایت جریان باد دارند، البته به تنهایی نمی‌توانند سرعت باد را کاهش دهند و پیشنهاد می‌شود با هندسه‌های دیگر و همچنین با پوشش گیاهی ترکیب شوند [۱۹].

در پژوهش‌های پیشین، به تشدید سرعت باد شهری توسط عواملی از جمله هندسه و ارتفاع ساختمان‌ها پرداخته شده‌است ولی روش‌های مؤثر بر کاهش سرعت باد تشدید شده در فضاهای شهری بررسی نشده‌است. همچنین تأثیر مبلمان شهری به همراه حضور درختان در ابعاد، تراکم و فاصله‌های معین در فضاهای باز شهری از جمله پیاده‌روهای شهری بررسی نشده‌است، در حالی که افزودن درخت و مبلمان شهری در فضاهای پیاده‌رو شهری می‌تواند سرعت باد آزاردهنده در اقلیم‌های سرد و کوهستانی در حد قابل توجهی کاهش دهد.

### مواد و روش‌ها

نوع این مطالعه توصیفی و تحلیلی است و بر اساس ماهیت پژوهش از تحلیل کمی و متغیرهای قابل سنجش استفاده

شده است. با توجه به ماهیت چندبخشی موضوع مورد پژوهش، ابتدا مطالعات کتابخانه‌ای مرتبط با مباحث کلی و پایه‌ای جریان باد و همچنین مباحث مرتبط با آسایش عابرین پیاده در فضاهای شهری انجام گرفت. در این پژوهش، برای انتخاب نمونه موردی، از روش میدانی استفاده شد و عواملی از جمله سرعت باد، جهت باد و شدت آزاردهندگی آن در مناطق و فضاهای باز شهر تبریز توسط دستگاه بادسنج مورد ارزیابی و سنجش قرار گرفت (برای سنجش سرعت باد در این پژوهش، از باد سنج و فلومتر DT-8894 استفاده شده است) و نهایتاً پیاده‌راه خیابان امام در حد فاصل آبرسان تا فلکه دانشگاه، به عنوان فضای شهری که بیشترین میزان تردد و سرعت باد آزاردهنده را داشت، به عنوان محدوده هدف انتخاب گردید. در ادامه فرآیند تحقیق، اسناد فرادست شهر تبریز مورد مطالعه قرار گرفت و داده‌های آماری هواشناسی سالانه از طریق سازمان‌های مربوطه جمع‌آوری شد. سرعت باد بدست آمده برای شهر تبریز در طی ده سال گذشته (۱۴۰۰-۱۳۹۰)، بر مبنای بافت مورد مطالعه و ارتفاع مورد نظر متناسب‌سازی گردید. در این پژوهش، ارتفاع، فاصله و نحوه توزیع درختان به همراه نیمکت درختی، متغیرهای مستقل و سرعت جریان باد در سطح عابر پیاده، متغیر وابسته می‌باشد.

برای تحلیل جریان باد در فضای شهری نرم‌افزارهای مختلفی از جمله سیم اسکیل (SimScale)، انوی‌مت (Envimet)، انسیس فلوئنت (Ansys Fluent)، انسیس ایرپک (Ansys Airpak) و ... وجود دارد. با توجه به اهمیت جداره‌ها، مصالح و همچنین جزییات مورد ارزیابی در طراحی محدوده انتخابی و با در نظر داشتن دقت پایین شبیه‌سازی جریان در نرم‌افزار انوی‌مت و محدودیت‌های نرم‌افزارهای فلوئنت، ایرپک و سیم اسکیل در شبیه‌سازی باد شهری، در این پژوهش، جهت انجام تحلیل‌ها و شبیه‌سازی جریان باد از نرم‌افزار Dlubal RWIND Simulation استفاده شده است. این نرم‌افزار قابلیت پردازش و

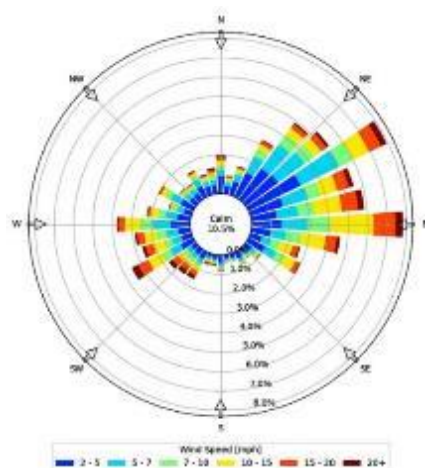
محاسبه عددی پیچیده‌ترین هندسه‌ها را دارد. در این نرم‌افزار، تخمین تعداد شبکه‌بندی محدوده محاسباتی با توجه به ابعاد مدل تعریف‌شده، توسط خود نرم‌افزار انجام می‌شود و امکان انتخاب ابعاد شبکه و تعداد مش‌بندی را قبل از انجام محاسبات عددی به کاربر می‌دهد. این نرم‌افزار قابلیت شبیه‌سازی جریان باد برای فضاهای شهری در مقیاس واقعی را دارا می‌باشد، از این نرم‌افزار برای شبیه‌سازی‌های جریان باد شهرهای بزرگ از جمله لندن و نیویورک استفاده شده است.

نهایتاً برای تحلیل همبستگی داده‌های خروجی نرم‌افزار شبیه‌سازی و بررسی روابط معناداری یا تصادفی بودن بین متغیرها، با توجه به ناپارامتریک بودن داده‌ها از همبستگی اسپیرمن استفاده شده است.

#### محدوده مورد مطالعه

شهر تبریز با وسعتی حدود ۲۵۰۵۶ هکتار در عرض شمالی ۳۸°۰۱' تا ۳۸°۰۸' و طول شرقی ۴۶°۰۵' تا ۴۶°۰۲۲' واقع شده است. متوسط ارتفاع شهر حدود ۱۴۶۰ متر از سطح دریاهای آزاد برآورد گردیده است [۳۰].

گلابد سالانه شهر تبریز نشانگر آنست که حدود ۶.۲۸ درصد بادهای وزیده‌شده سرعتی حدود ۱ تا ۳ متر بر ثانیه و ۵۴.۷۲ درصد نیز میانگین سرعتی برابر با ۳ تا ۵ متر بر ثانیه دارند که هر دو گروه از بادهای فوق جریان‌های نسیم ضعیفی را به وجود می‌آورند. ۲۳.۶۲ درصد از بادهای میانگین سرعتی برابر با ۵ تا ۷ متر بر ثانیه دارند که سری بادهای نسبتاً قوی را شامل می‌شود. در حدود ۲.۹۹ درصد از بادهای میانگین سرعت آن‌ها بیش از ۷ متر بر ثانیه می‌باشد. در طول سال، جهت باد شرقی با ۲۷.۶۳ درصد از کل فراوانی جهت غالب را شامل می‌شود. باد شمال شرقی با ۲.۱۹ درصد مسیر نایب غالب و باد جنوبی با ۲.۵۸ درصد حداقل میزان وزش باد را دارا بوده است [۳۰]. (شکل ۱)



شکل ۱. گلباد شهر تبریز بر اساس آمارهای هواشناسی [۳۷].

می‌باشد. همچنین سرعت باد در فصول سرد سال بسیار بیشتر از فصول گرم می‌باشد. متوسط ارتفاع ساختمان‌های مجاور پیاده‌راه در حدود ۷ طبقه می‌باشد که بلندترین ساختمان در ضلع شمال غربی فلکه دانشگاه ساخته شده است و ۲۵ طبقه ارتفاع دارد. می‌توان گفت برج ۲۵ طبقه بلور، علت اصلی عدم آسایش در این پیاده‌راه می‌باشد. پس از آن ساختمان هتل گسترش با ۱۴ طبقه و سایر ساختمان‌های ۱۱ و ۱۰ طبقه در محدوده باعث افزایش سرعت جریان در این محدوده می‌گردند. همچنین از طرفین خیابان در حدود ۱۰۰ متر برای شناخت محدوده انتخاب شده است. (شکل ۲)

پیاده‌رو خیابان امام، از جمله پر رفت‌وآمدترین پیاده‌روهای شهر تبریز به حساب می‌آید که در حد فاصل دو فلکه مهم و بزرگ دانشگاه و آبرسان قرار دارد. روزانه تعداد زیادی عابر پیاده، علی‌الخصوص دانشجویان دانشگاه تبریز در این محدوده رفت‌وآمد می‌کنند. نتایج مصاحبه‌های انجام شده با عابرین پیاده در این محدوده حاکی از آنست که در نقاطی از آن، سرعت بسیار بالای باد منجر به سلب آسایش عابرین گردیده است. با توجه به سرد بودن هوا در ۶ ماه آخر سال در محدوده مورد مطالعه، آزاردهندگی باد برای فصل‌های سرد سال بسیار بیشتر و محسوس‌تر از فصل‌های گرم سال



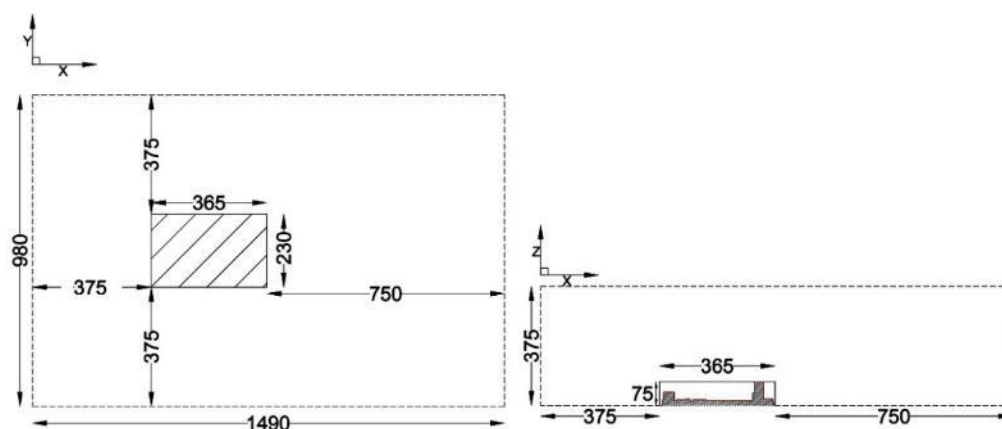
شکل ۲. الف) تصویر هوایی محدوده مورد مطالعه. ب) دید از سمت فلکه دانشگاه (برج ۲۵ طبقه بلور در سمت راست تصویر قابل مشاهده می‌باشد)، ج) دید از سمت فلکه آبرسان.

## شبیه‌سازی:

### شرایط مرزی و روش حل:

در این پژوهش به منظور تعیین دامنه محاسباتی از معیار (Architectural Institute of Japan) AIJ استفاده

شده‌است [۳۱]. ابعاد تونل باد با توجه به ارتفاع بلندترین ساختمان ( $H=75\text{ m}$ ) در محدوده هدف انتخاب شده‌است. بدین منظور ابعاد دامنه از طرفین و همچنین جبهه رو به باد به اندازه  $5H$  و از سمت جبهه پشت به باد  $10H$  لحاظ گردیده‌است. (شکل ۳)



(شکل ۳)

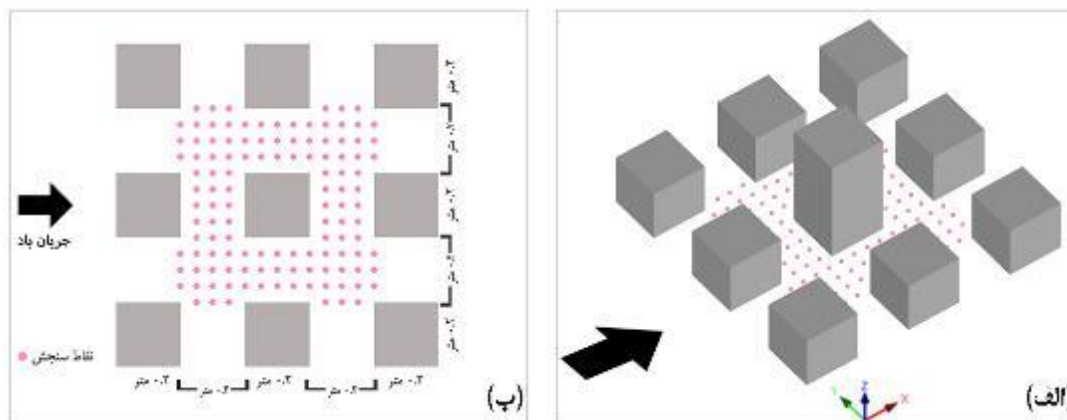
متناسب‌سازی سرعت باد برای ارتفاع و بافت متناسب با محدوده مورد مطالعه استفاده شده‌است [۳۴]. سرعت مبنای باد در شبیه‌سازی‌ها  $3.96$  متر بر ثانیه برای ارتفاع  $1.75$  متری (ارتفاع عابر پیاده) در نظر گرفته شده‌است، که این سرعت از معادل‌سازی سرعت ارزیابی شده توسط دستگاه‌های سازمان هواشناسی، نسبت به بافت و ارتفاع، محاسبه شده‌است.

### اعتبارسنجی نرم‌افزار:

صحت‌سنجی نرم‌افزار ۲.۰۲ Dlubal RWIND Simulation با استفاده از داده‌های تجربی آزمایش تونل باد ژاپن انجام شده‌است [۳۵]. این تونل باد، از ۹ بلوک تشکیل شده‌است که ۸ بلوک مکعبی شکل با ابعاد  $0.2 \times 0.2 \times 0.2$ ، و یک بلوک مکعب مستطیل با ابعاد  $0.4 \times 0.2 \times 0.2$  با فاصله  $0.2$  متر از هم قرار گرفته‌اند، ۱۲۰ نقطه سنجش در ارتفاع  $0.2$  متری در میان بلوک‌ها قرار گرفته‌است. (شکل ۴)

انتخاب مدل توربولانسی مناسب با مراجعه به مطالعات مشابه پیشین و مطالعات تطبیقی انجام شده به منظور مقایسه دقت انواع مدل‌ها در مقیاس شهری انجام گرفت. بررسی‌ها نشان داد بیشتر شبیه‌سازی‌های جریان باد در مقیاس شهری از مدل توربولانسی  $k-\omega$  به دلیل بالاترین میزان انطباق با نتایج تست‌های تونل باد، بهره می‌گیرند [۳۲]. شرایط دامنه مرزی برای دیواره‌ها و سقف Symmetry، کف Smooth Velocity Inlet، صفحه ورود جریان Surface ( $V=0$ )، پروفیل باد و برای خروجی Zero-pressure در نظر گرفته شده‌است.

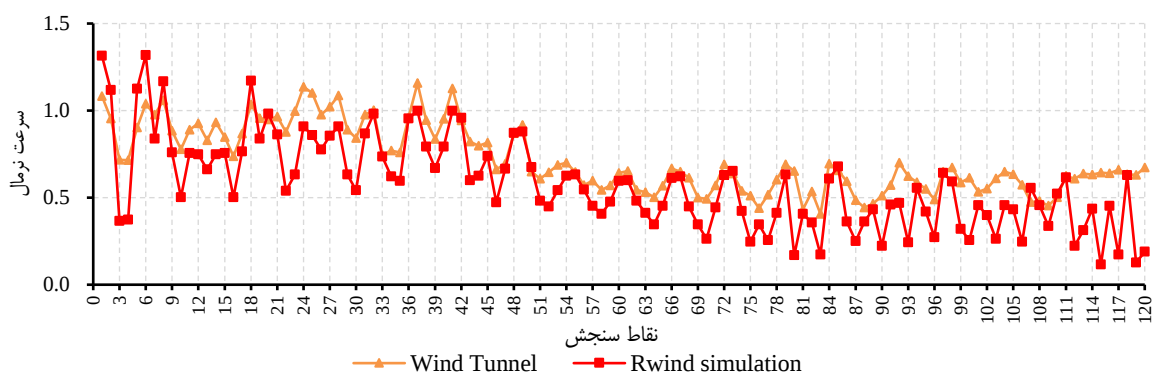
بر اساس اطلاعات هواشناسی شهر تبریز، میانگین سرعت باد در طول ۶ ماه سرد سال برای ارتفاع  $10$  متری در بازه  $10$  ساله ( $1390-1400$ ) برابر با  $3.69$  متر بر ثانیه و حداکثر سرعت  $15.7$  متر بر ثانیه با جهت غالب شرق و شمال شرق می‌باشد [۳۳]. برای به دست آوردن پروفیل جریان باد و نمودار لگاریتمی سرعت در محدوده دامنه محاسباتی از روابط



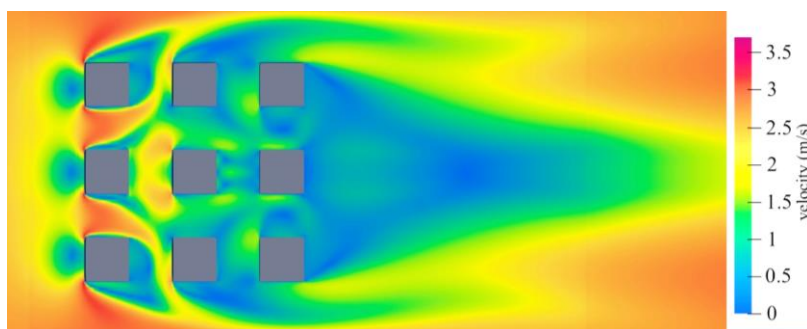
شکل ۴. الف) پرسپکتیو مدل شبیه‌سازی شده تونل باد AIJ و نقاط سنجش، ب) پلان مدل شبیه‌سازی شده تونل باد AIJ و موقعیت نقاط سنجش.

با توجه به این مقادیر، میزان خطای نرم‌افزار بسیار کم بوده و نتایج قابل قبول می‌باشد. الگوی جریان باد و سرعت هوا در مدل شبیه‌سازی شده RWIND در تراز ۰.۰۲ متری از کف به صورت کانتور گرافیکی در (شکل ۶) نمایش داده شده است.

مقایسه نتایج سرعت جریان تجربی تونل باد و نرم‌افزار RWIND SIMULATION در (شکل ۵) نشان داده شده است. محاسبات RSME (انحراف مطلق) برای نقاط سنجش تعریف شده در مدل برای نتایج تجربی تونل باد و نرم‌افزار نشان می‌دهد که برای ۳ حالت شبکه‌بندی (درشت، متوسط و ریز)، این مقدار به ترتیب برابر ۰.۲۳، ۰.۲۲ و ۰.۲۰ می‌باشد.



شکل ۵. مقایسه نتایج نرم‌افزار RWIND Simulation و نتایج تجربی تونل باد

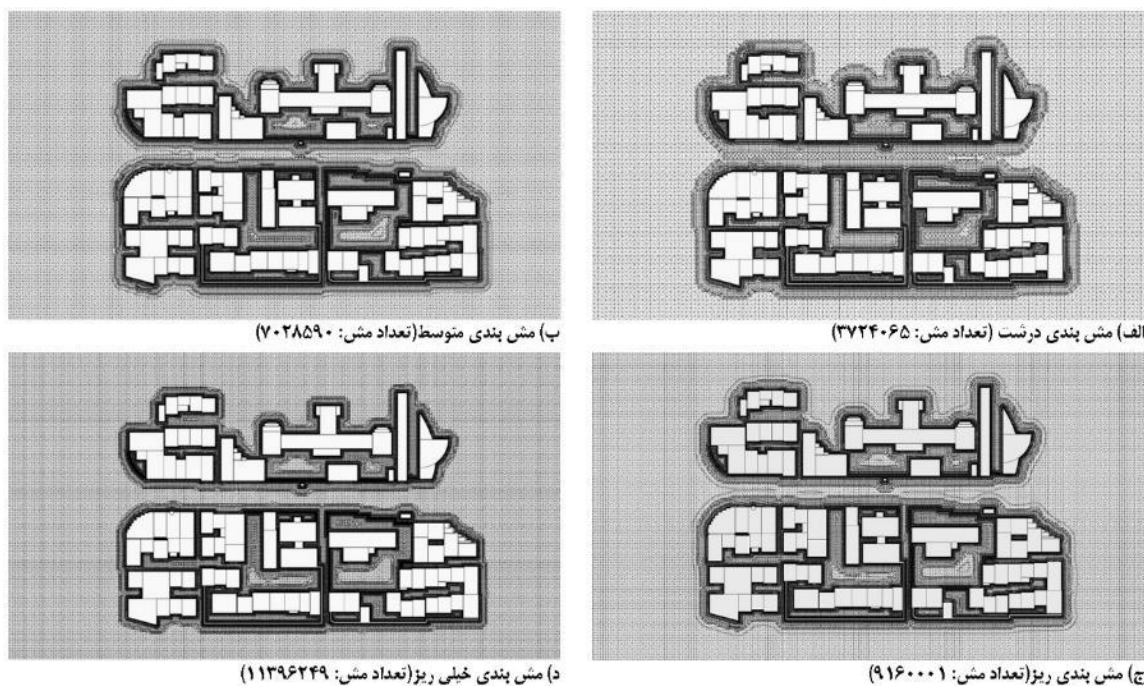


شکل ۶. شبیه‌سازی تونل باد AIJ و کانتورهای سرعت در تراز ۰.۰۲ متری.

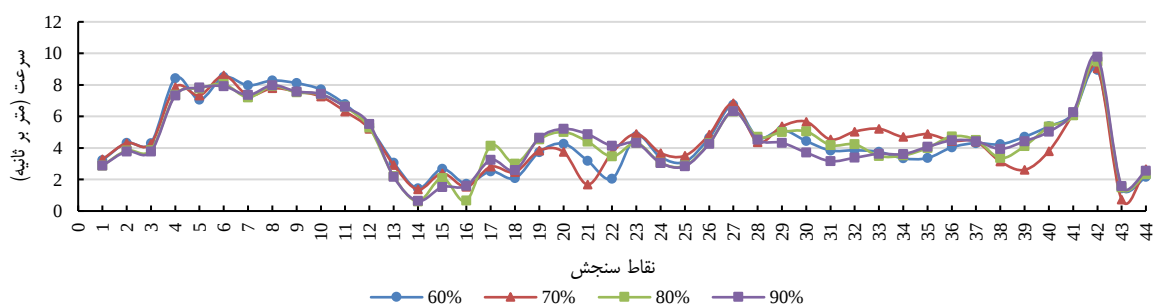
## استقلال حل از شبکه:

ایجاد و نتایج حاصل از شبیه‌سازی با یکدیگر مقایسه گردید (شکل ۷). بررسی‌ها نشان داد شبکه مش در دامنه محاسباتی بر مبنای بررسی‌های استقلال حل از شبکه به تعداد ۹۱۶۰۰۰۱ مش ساختاریافته است. (شکل ۸)

به‌منظور بررسی استقلال حل از شبکه، ۴ حالت مختلف شبکه‌بندی با دقت‌های متفاوت ۶۰-۷۰-۸۰-۹۰ درصد و تعداد مش‌های به ترتیب ۷۰۲۸۵۹۰، ۹۱۶۰۰۰۱، ۱۱۳۹۶۲۴۹، ۳۷۲۴۰۶۵ توسط نرم‌افزار Dlubal RWIND Simulation ۲.۰۲



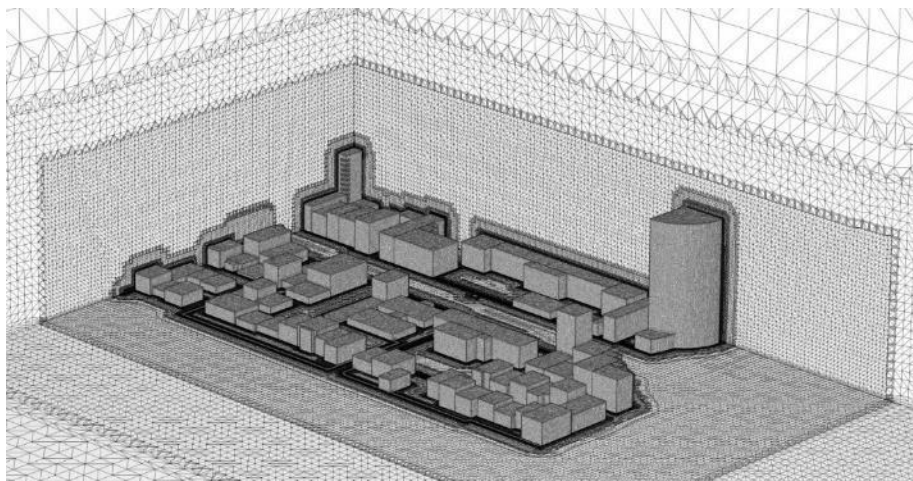
شکل ۷. حالت‌های مختلف مش‌بندی دامنه محاسباتی به‌منظور بررسی استقلال حل از شبکه.



شکل ۸. مقایسه نتایج حاصل از شبیه‌سازی با ۴ نوع مش بندی متفاوت (بسیار ریز تا درشت).

انتخاب گردید و مبنای شبیه‌سازی‌ها قرار گرفت. (شکل ۹) محدوده هدف با این دقت و تعداد مش را نمایش می‌دهد.

پس از بررسی دقت‌های مختلف مش‌بندی، شبکه‌بندی با دقت ۸۰٪ و تعداد مش ۹۱۶۰۰۰۱ به عنوان بهترین گزینه



شکل ۹. شبکه‌بندی ساختاریافته در دامنه محاسباتی بر مبنای بررسی استقلال حل از شبکه به تعداد ۹۱۶۰۰۰۱ شبکه.

### معیارهای آسایش باد

تند، قدم زدن، نشستن برای مدت زمان کوتاه و طولانی) تعریف می‌کند. مقیاس بوفورت بر مبنای سرعت باد در ارتفاع ده متری از سطح زمین تعریف شده‌است که این مقادیر برای تراز عابر پیاده (ارتفاع ۱.۷۵ متر) معادل‌سازی شده‌است (جدول ۱) [۳۶]. با توجه به معیار داوینپورت، برای فعالیت پیاده‌روی سریع، سرعت باد بیش از ۷.۲ متر بر ثانیه آزاردهنده می‌باشد و آسایش عابرین پیاده را سلب می‌کند.

استاندارد ایسمو و داوینپورت سرعت‌های مختلف باد از منظر آسایشی را بر اساس نوع فعالیت افراد در فضاهای باز شهری به چهار دسته مطلوب، قابل تحمل، ناخوشایند و خطرناک تقسیم‌بندی می‌کند. این استاندارد که مبتنی بر مقیاس بوفورت است، شاخصه‌های ارزیابی سرعت باد را بر اساس ۴ نوع فعالیت متداول افراد در فضای باز (پیاده‌روی

جدول ۱. معیار داوینپورت، سرعت باد بر حسب متر بر ثانیه در ارتفاع ۱.۷۵ متری. [۳۶]

| سطح احساس |           |           |          | مکان‌ها                      | فعالیت           |
|-----------|-----------|-----------|----------|------------------------------|------------------|
| خطرناک    | ناخوشایند | قابل تحمل | خوب      |                              |                  |
| ۱۱.۵)~(   | ۱۱.۵-۹.۳) | ۹.۳-۷.۲)  | ۵.۳-۷.۲) | پیاده‌رو- پیاده‌راه          | پیاده‌روی سریع   |
| ۱۱.۵)~(   | ۹.۳-۷.۲)  | ۷.۲-۵.۳)  | ۳.۷-۵.۳) | پارک، ورودی‌ها               | قدم زدن          |
| ۱۱.۵)~(   | ۵.۳-۷.۲)  | ۵.۳-۳.۷)  | ۳.۷-۲.۲) | پلازا - پارک‌ها              | نشستن کوتاه مدت  |
| ۱۱.۵)~(   | ۳.۷-۵.۳)  | ۲.۲-۳.۷)  | ~۲.۲     | فضای بیرونی رستوران، تراس‌ها | نشستن طولانی مدت |

### مدل‌های شبیه‌سازی:

یکسان تعریف شده‌است، اما ابعاد درخت، فاصله قرارگیری و الگوی چیدمان درخت‌ها در حالت‌های مختلف متغیر می‌باشد.

مدل‌های مبلمان شهری شبیه‌سازی شده در این پژوهش، ترکیبی از درخت و نیمکت‌های درختی در نظر گرفته شده‌است. ابعاد نیمکت‌های درختی برای مدل‌های مختلف،

جدول ۲. ابعاد و مشخصات مدل مبلمان شبیه سازی شده در پژوهش.

| مدل                                   | متغیر  | ارتفاع<br>(متر) | طول - عرض<br>(متر-متر) | فاصله<br>(متر) | نما | پلان |
|---------------------------------------|--------|-----------------|------------------------|----------------|-----|------|
| T.H2                                  | ارتفاع | ۲               | ۱×۱                    | ۳              |     |      |
| T.H3                                  |        | ۳               | ۲×۲                    | ۳              |     |      |
| T.H4                                  |        | ۴               | ۳×۳                    | ۳              |     |      |
| T.D3                                  | فاصله  | ۴               | ۳×۳                    | ۳              |     |      |
| T.D4                                  |        | ۴               | ۳×۳                    | ۴              |     |      |
| T.D5                                  |        | ۴               | ۳×۳                    | ۵              |     |      |
| T.A1                                  | چیدمان | ۴               |                        | ۵              |     |      |
| T.A2                                  |        | ۴               | ۱۳.۶×۳                 | ۵              |     |      |
| T.A3                                  |        | ۴               | ۱۷.۲×۳                 | ۵              |     |      |
| مدل سه بعدی مبلمان شهری شبیه سازی شده |        |                 |                        |                |     |      |
|                                       |        |                 |                        |                |     |      |

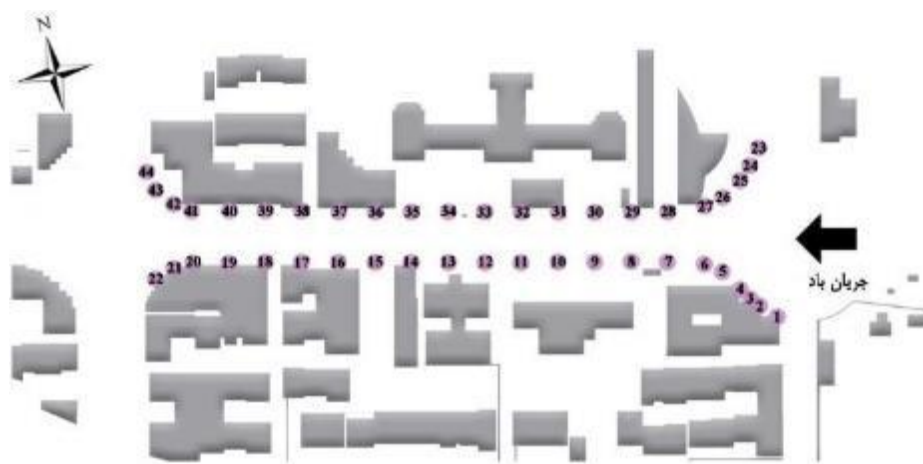
### نقاط سنجش سرعت

نقاط سنجش مورد مطالعه در سایت انتخابی، در محدوده پیاده راه خیابان امام طرفین خیابان در فاصله ۲ متری از نمای

ساختمان ها در نظر گرفته شده است. محدوده مؤثر پیاده راه با توجه به استانداردهای راه و شهرسازی ایران برای پیاده راه های پرتراکم ۳.۵ متر در نظر گرفته شده است [۲].

خیابان امام لحاظ شده‌است و ارتفاع نقاط سنجش با توجه به معیارهای آسایش اقلیمی ارائه شده توسط ایسمو و داوینپورت ۱.۷۵ متری تعیین شده‌است (شکل ۱۰).

همچنین فاصله ۳۰ سانتی متری از لبه ساختمان طبق استانداردها در نظر گرفته شده‌است. محدوده‌ای مشخص به طول خیابان امام حدفاصل دو فلکه آبرسان و دانشگاه و عرض ۱.۲ متر برای مبلمان پیاده‌راه در نظر گرفته شده‌است. مجموعاً ۴۴ نقطه سنجش در پیاده‌رو شمالی و جنوبی



شکل ۱۰. نقاط سنجش محدوده مطالعاتی در صفحه مختصات (XY) و در ارتفاع ۱.۷۵ متری از سطح کف.

هر مرحله به صورت تغییر مقیاس بوده‌است. بدین معنا که تغییر ارتفاع درخت همراه با تغییر ابعاد تمامی قسمت‌ها از جمله تاج درخت بوده‌است (جدول ۲). کانتورهای سرعت و نمودار مقایسه‌ای سرعت در نقاط سنجش به ترتیب شکل ۱۱ و نمودار ۴ آمده‌است. بررسی‌ها نشان داد با تغییر ابعاد و ارتفاع درخت (۲ متر، ۳ متر و ۴ متر)، میانگین سرعت باد در نقاط سنجش به ترتیب ۳۹٪، ۴۳٪، ۵۲٪ کاهش یافته است. سرعت باد در نقاطی از سایت که در حالت وضع موجود، خارج از محدوده آسایش بودند، (۱۸٪ از کل نقاط سنجش سرعت) به طور متوسط ۴۴٪ کاهش یافته‌است و هیچ یک از نقاط سنجش سرعت در خارج از محدوده آسایش قرار ندارند. با افزایش ارتفاع و ابعاد مبلمان شبیه‌سازی شده، میانگین سرعت باد برای حالت‌های (TH2, TH3, TH4) به ترتیب ۲.۹۴ متر بر ثانیه، ۲.۷۱ متر بر ثانیه و ۲.۳۲ متر بر ثانیه بدست آمده‌است.

طبق نمودار ۱، کاهش سرعت باد در سطح عابر پیاده برای ۴۱٪ از نقاط سنجش (بخش میانی پیاده‌راه)، بیش از ۵۰٪ می‌باشد و سرعت باد در محدوده اطراف برج بلور، (نقاط

## یافته‌ها:

محدوده مطالعاتی با ابعاد طول ۳۶۵ متر، عرض ۲۳۰ متر و ارتفاع ۷۵ متر در نرم‌افزار Dlubal RWIND Simulation شبیه‌سازی شد. کانتور سرعت در ارتفاع ۱.۷۵ متری (متناسب با استاندارد آسایش داوینپورت) در شکل ۱۱ و نمودار مقایسه‌ای سرعت جریان باد در نقاط سنجش در نمودار ۴ مشخص می‌باشد. نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد که در حالت وضع موجود پیاده‌راه خیابان امام تبریز، ۱۸٪ از نقاط سنجش سرعت در سطح عابر پیاده (ارتفاع ۱.۷۵ متری کف پیاده‌راه) خارج از محدوده آسایش اقلیمی قرار گرفته‌اند. طبق نتایج میانگین سرعت باد در سراسر پیاده‌راه، ۴.۸۵ متر بر ثانیه می‌باشد.

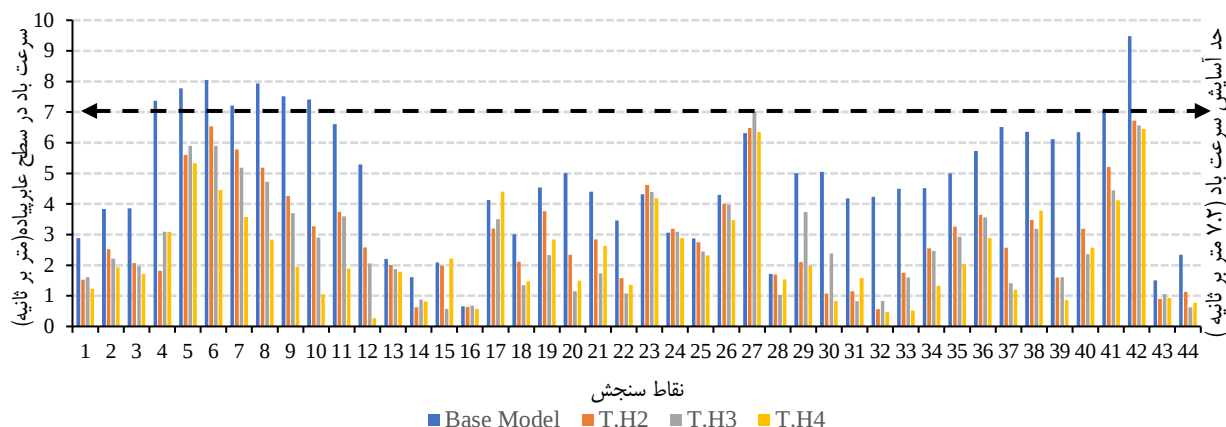
## بررسی تأثیر ابعاد درخت بر روی سرعت جریان باد در سطح عابر پیاده:

به منظور بررسی تأثیر ابعاد درخت بر روی سرعت جریان باد در سطح عابر پیاده، در گام اول سه اندازه مختلف درخت با ارتفاعات متفاوت همراه با نیمکت‌های پیرامونی مورد سنجش قرار گرفت. ارتفاعات مورد بررسی ۲، ۳ و ۴ متر می‌باشد. لازم به ذکر است که تغییر ارتفاع مدل درختان در

۵ تا ۸ و ۲۳ تا ۲۸) کاهش کمتری در مقایسه با سایر نقاط داشته است.

با توجه به توزیع ناپارامتریک متغیر سرعت، تحلیل همبستگی اسپیرمن با نرم افزار spss 23 نشان داد که ضریب همبستگی متغیر ارتفاع درخت و سرعت باد در سطح عابر

پایه  $\rho = -0.43$  می باشد که نشانگر رابطه عکس دو متغیر و شدت همبستگی متوسط میان آن ها می باشد. همچنین مقدار P value برابر با ۰.۰۰ حاکی از ارتباط معنادار میان این دو متغیر می باشد.



نمودار ۱. نمودار مقایسه ای سرعت باد در نقاط سنجش برای حالت های وضع موجود، T.H2، TH3، T.H4

### بررسی تأثیر فاصله درختان بر روی سرعت جریان باد در سطح عابر پیاده :

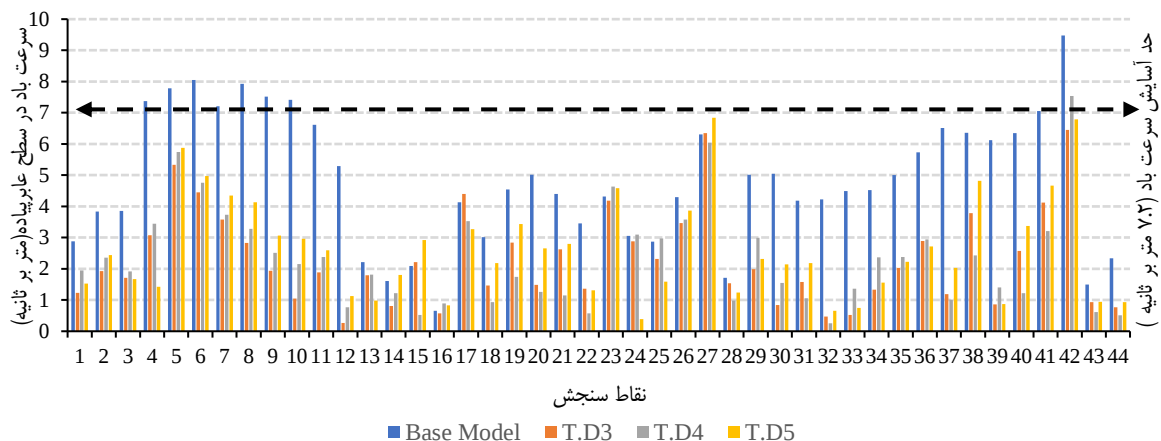
با توجه به نتایج مرحله اول شبیه سازی های جریان، در حالت ارتفاع ۴ متری درخت، نتایج بهتری در مقایسه با سایر ارتفاع های بررسی شده مشاهده شد. بنابراین در مرحله بررسی فاصله درختان، متغیر ارتفاع ۴ متری درختان ثابت و متغیر فاصله درختان در اندازه های ۳، ۴ و ۵ متر بررسی شد. کانتورهای سرعت و نمودار مقایسه ای سرعت در نقاط سنجش به ترتیب در شکل ۱۱ و نمودار ۴ آمده است.

نتایج شبیه سازی ها نشان می دهد که افزودن پوشش گیاهی در فاصله های ۳، ۴ و ۵ متری، سرعت باد در سطح عابر پیاده را به اندازه ۵۲٪، ۵۱٪ و ۴۵٪ کاهش می دهد. نمودار ۲ نشان می دهد که افزایش فاصله درختان منجر به افزایش سرعت باد در پیاده راه می گردد. بنابراین برای فضاهای شهری که شدت سرعت باد آزاردهنده بیشتر باشد، باید فاصله مبلمان کمتر در نظر گرفته شود.

شبیه سازی ها نشان داد افزودن پوشش گیاهی به همراه نیمکت های درختی در خیابان امام در فاصله های تعیین شده، باعث می شود سراسر مسیر پیاده راه در محدوده آسایش اقلیمی قرار گرفته و سرعت باد موجب سلب آسایش عابرین پیاده نگردد.

طبق نمودار ۲، کاهش سرعت باد در سطح عابر پیاده برای ۵۲٪ از نقاط سنجش (محدوده ابتدایی و میانی پیاده راه)، بیش از ۵۰٪ می باشد و سرعت باد در محدوده اطراف برج بلور، (نقاط ۵ تا ۸ و ۲۳ تا ۲۸) کاهش کمتری علی الخصوص در پیاده راه شمالی داشته است.

با توجه به توزیع ناپارامتریک متغیرهای مربوط به این مرحله، تحلیل همبستگی اسپیرمن مورد استفاده قرار گرفت. ضریب همبستگی میان متغیر فاصله درخت و سرعت باد در سطح عابر پیاده ۰.۸۶ حاصل شد که نشانگر رابطه مستقیم و بسیار قوی میان دو متغیر می باشد. همچنین مقدار P value برابر با ۰.۳۲ می باشد که حاکی از عدم معناداری این رابطه است.



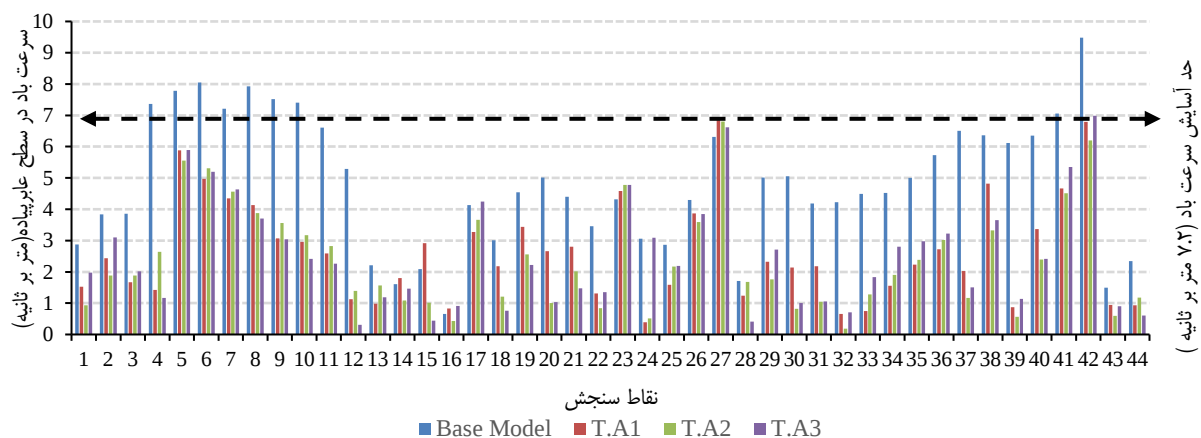
نمودار ۲. نمودار مقایسه‌ای سرعت باد در نقاط سنجش برای حالت‌های وضع موجود، T.D3، TD4، T.D5

### بررسی الگوی چیدمان درخت بر سرعت جریان باد در سطح عابر پیاده:

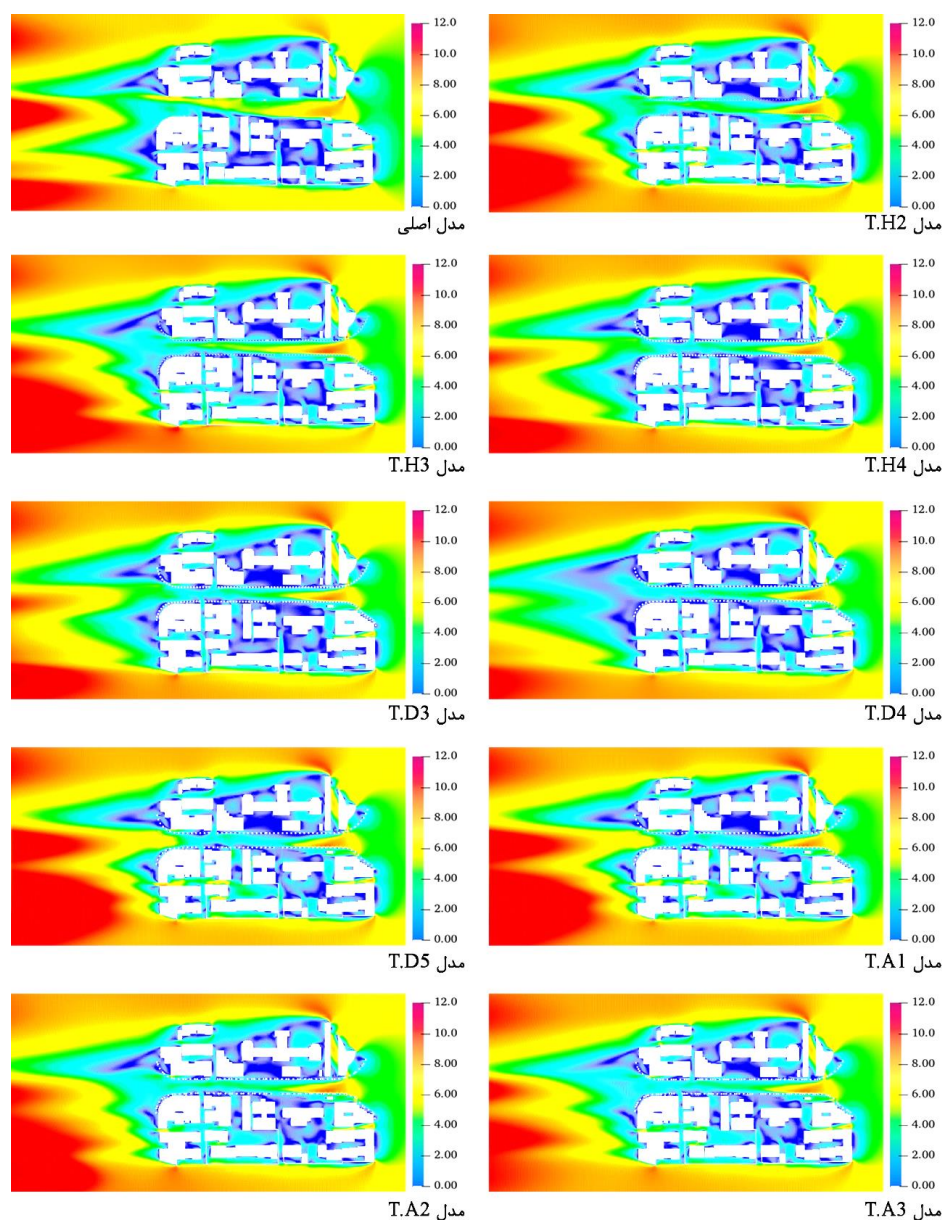
بررسی مدل‌های شبیه‌سازی شده حالت دوم پژوهش نشان داد که میزان تراکم درختان در فاصله ۵ متری، سرعت را در سطح عابر پیاده در حدود ۴۵٪ کاهش می‌دهد و در طول کل پیاده‌رو، نقطه ای خارج از محدوده آسایش وجود ندارد. بنابراین فاصله ۵ متری مبلمان شهری با در نظر گرفتن بعد بصری و دید و منظر گسترده‌تر نسبت به حالت متراکم چیدمان درختان، به عنوان فاصله ایده‌آل درختان در نظر گرفته شد. در مرحله بعد، بررسی الگوی چیدمان درختان که در جدول ۲ معرفی شده است، شبیه‌سازی شد. نتایج گویای

آن است که الگوی چیدمان درختان تأثیر مستقیمی بر روی کاهش متوسط سرعت باد ندارد. کاهش سرعت باد در مدل‌های T.A1، T.A2، T.A3 به ترتیب ۱۸، ۴۳ و ۳۹ درصد از نقاط سنجش واقع در محدوده مشاهده گردید که اکثر این نقاط در بخش ابتدایی محدوده واقع شده‌اند. بر این اساس، مدل T.A2، در مقایسه با بقیه مدل‌ها با کارایی بهتری ارزیابی می‌شود.

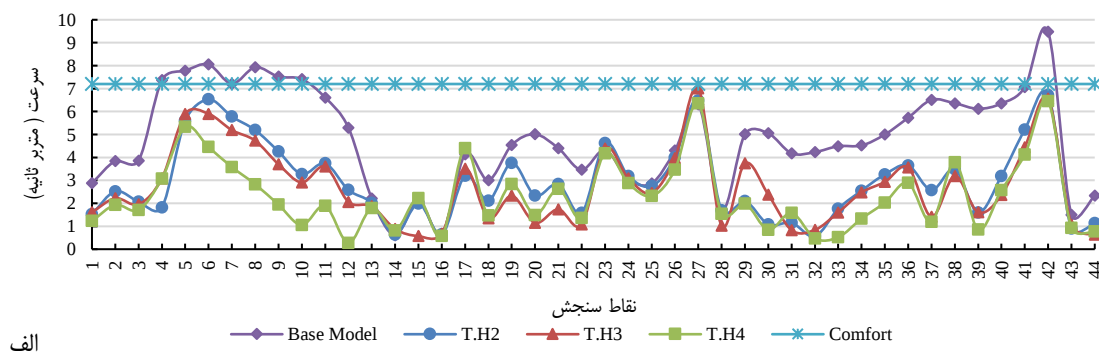
طبق نمودار ۳، کاهش سرعت باد در سطح عابر پیاده برای حالت مدل T.A2، ۴۷٪ از نقاط سنجش، بیش از ۵۰٪ می‌باشد و سرعت باد در محدوده اطراف برج بلور، (نقاط ۵ تا ۸ و ۲۳ تا ۲۸) کاهش محسوسی علی‌الخصوص در پیاده‌راه جنوبی مشاهده می‌شود.



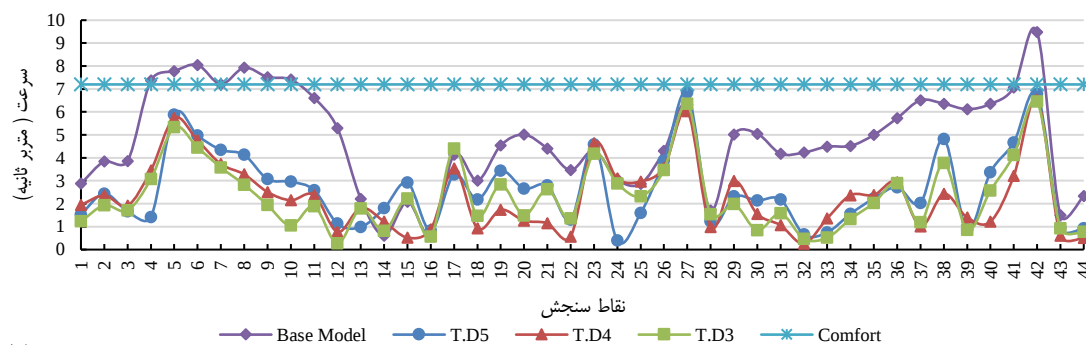
نمودار ۳. نمودار مقایسه‌ای سرعت باد در نقاط سنجش برای حالت‌های وضع موجود، T.A1، T.A2، T.A3



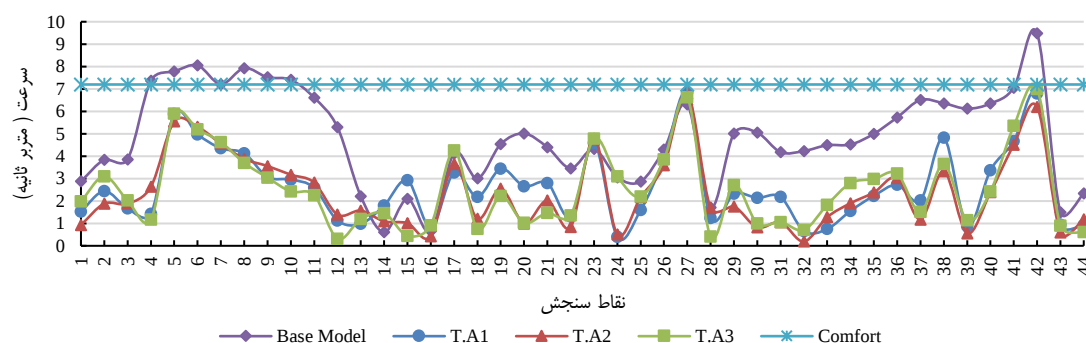
شکل ۱۱. کانتور سرعت مدل‌های شبیه‌سازی شده در صفحه XY و ارتفاع ۱.۷۵ متری از سطح پیاده‌راه.



الف



ب.



ج.

نمودار ۴. نمودارهای مقایسه سرعت جریان باد در سطح عابر پیاده: الف) نمودار سرعت در ارتفاع ۱.۷۵ متری نقاط سنجش برای مدل‌های شبیه‌سازی شده T.H2،

T.H3 و T.H4 (متغیر ارتفاع)، ب) نمودار سرعت در ارتفاع ۱.۷۵ متری نقاط سنجش برای مدل‌های شبیه‌سازی شده T.D3، T.D4 و T.D5 (متغیر فاصله)، ج)

نمودار سرعت در ارتفاع ۱.۷۵ متری نقاط سنجش برای مدل‌های شبیه‌سازی شده T.A1، T.A2 و T.A3 (متغیر الگوی چیدمان).

## بحث و نتیجه‌گیری

در پهنه اطراف ساختمان بلندمرتبه بلور (۲۵ طبقه)، سرعت جریان در تراز عابرین پیاده بر اساس داونپورت، خارج از حد آسایش می‌باشد. در این پژوهش ۹ حالت مدل مختلف پوشش گیاهی به همراه مبلمان شهری (ترکیبی از نیمکت درختی و درخت) شبیه‌سازی و میزان تأثیر هر کدام از حالت‌ها در کاهش سرعت جریان باد، بررسی شد.

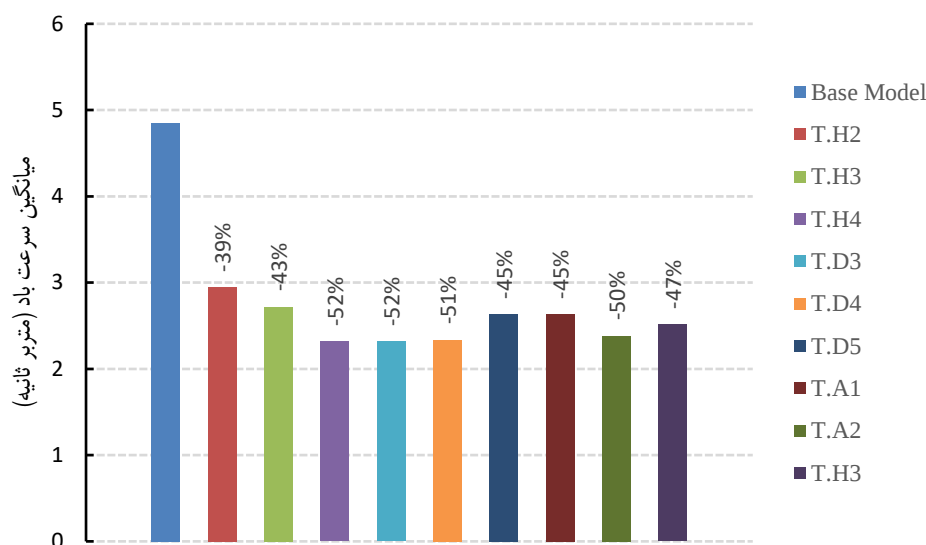
در مرحله اول، بررسی ارتفاعی درختان در حالت ۲، ۳ و ۴ متری (به ترتیب TH2، TH3 و TH4) نشان داد که قرارگیری مبلمان پیاده‌رو سرعت جریان باد سطح عابر پیاده را به ترتیب ۳۹٪، ۴۳.۷٪ و ۵۲٪ کاهش می‌دهد و ارتفاع درخت رابطه معکوسی با سرعت جریان باد دارد. همچنین تمام نقاط سنجش بررسی شده در شبیه‌سازی در محدوده حد آسایش قرار گرفته و هیچ نقطه‌ای خارج از محدوده آسایش برای عابرین پیاده وجود ندارد.

در شهرسازی دنیای امروز، با توجه به افزایش تعداد ساختمان‌های بلندمرتبه و تراکم ارتفاعی شهرها، یکی از اساسی‌ترین موضوعات در حوزه آسایش عابرین پیاده، تشدید سرعت جریان باد در محدوده اطراف ساختمان‌ها و برج‌های بلندمرتبه می‌باشد. زمانی که ساختمان‌های بلندمرتبه بدون توجه به استانداردهای مهندسی باد و آسایش اقلیمی افراد پیاده، در جوار پیاده‌راه‌های پرتردد شهری ساخته می‌شوند، اهمیت موضوع دوجندان می‌گردد. پیاده‌راه خیابان امام تبریز مصداق بارزی از شرایط مذکور می‌باشد که سرعت بسیار بالای باد منجر به سلب آسایش عابرین و بروز مشکلات متعدد برای شهروندان شده‌است. این پژوهش با انجام شبیه‌سازی‌های عددی، تأثیر متغیرهای متعدد مرتبط با پوشش گیاهی در تعدیل جریان و برقراری آسایش باد در محدوده مورد مطالعه را مورد بررسی قرار داد. بررسی‌ها

نشان داد:

در مرحله سوم، الگوی چیدمان درختان در سه حالت تعریف شده در جدول ۱، (به ترتیب T.A1، T.A2 و T.A3) نشان داد که سرعت باد در این سه مدل، به ترتیب ۴۵.۵، ۵۰.۶ و ۴۷.۹ درصد کاهش یافته است. همچنین در هر سه حالت تمامی نقاط سنجش تعریف شده در محدوده آسایش قرار گرفتند. (نمودار ۵)

در مرحله دوم، بررسی فاصله درختان در ۳ حالت ۳، ۴، ۵ متری (به ترتیب T.D3، T.D4 و T.D5) نشان داد که افزایش فاصله درختان، تأثیر منفی بر کاهش جریان در سطح پیاده راه دارد. بر اساس نتایج، کاهش سرعت باد برای مدل های T.D3، T.D4 و T.D5 به ترتیب ۵۲، ۵۱.۶ و ۴۵ درصد می باشد.



نمودار ۵. نمودار مقایسه‌ی میانگین سرعت باد در حالت بدون مبلمان و مدل های شبیه سازی شده و میزان کاهش متوسط سرعت جریان نسبت به وضع موجود.

ایرانی یا غیرایرانی در حال بررسی نبوده و تا تعیین تکلیف قطعی در این نشریه برای هیچ نشریه ایرانی یا غیرایرانی دیگری ارسال نخواهد شد.

**تعارض منافع:** موردی از سوی نویسندگان یافت نشد.

**سهام نویسندگان:** نویسنده اول، پژوهشگر و نگارنده اصلی مقاله، فعالیت در تدوین محتوا و مطالعات کتابخانه‌ای و نتایج حاصله با سهم ۵۰٪، نویسنده دوم، استاد راهنما، فعالیت در کنترل و مدیریت روند مطالعات با سهم ۲۵٪، نویسنده سوم، استاد مشاور، فعالیت در کنترل و مدیریت روند مطالعات با سهم ۱۵٪ و نویسنده چهارم همکاری در انجام شبیه سازی ها با سهم ۱۰٪.

**منابع مالی:** پژوهش حاضر از رساله کارشناسی ارشد نویسنده اول تحت عنوان "شبیه سازی جریان باد در طراحی پیاده راه های شهری خیابان امام تبریز با رویکرد ارتقاء

نتایج این پژوهش نشان داد که استفاده از پوشش گیاهی می تواند سرعت باد آزاردهنده را تا ۴۰-۵۰٪ کاهش داده و آسایش را در سطح عابر پیاده برای شهروندان فراهم کند. نتایج این پژوهش می تواند به عنوان راهکاری مؤثر در راستای تعدیل جریان و برقراری آسایش در پیاده راه خیابان امام راهنمای عمل طراحان شهری قرار گیرد.

**تشکر و قدردانی:** موردی توسط نویسندگان گزارش نشده است.

**تأییدیه اخلاقی:** ما نویسندگان مقاله "ارزیابی عملکرد پوشش گیاهی در برقراری آسایش باد شهری (نمونه موردی: پیاده راه خیابان امام تبریز)" با اعلام موافقت خود مبنی بر ارسال این مقاله به نشریه نقش جهان، مطالعات نظری و فناوری های نوین معماری و شهرسازی، تعهد می نمایم که این مقاله در زمان ارسال برای این نشریه در هیچ نشریه

آسایش اقلیمی (نمونه موردی: محدوده آبرسان تا فلکه دانشگاه) "استخراج شده‌است که با راهنمایی نویسنده دوم و مشاوره نویسنده سوم به انجام رسیده‌است.

no. March, p. 102894, 2021, doi: 10.1016/j.scs.2021.102894.

## منابع

8. L. Rose, E. Horrison, and Lavanya Jothi Venkatachalam, "Influence of Built Form on the Thermal Comfort of Outdoor Urban Spaces," 5th Int. Conf. Int. Forum Urban., no. Oke 1987, 2011.
9. P. Saadatjoo, M. Mahdavinejad, and G. Zhang, "A study on terraced apartments and their natural ventilation performance in hot and humid regions," Build. Simul., vol. 11, no. 2, pp. 359–372, 2018, doi: 10.1007/s12273-017-0407-7.
10. P. Saadatjoo, M. Mahdavinejad, and A. Zarkesh, "Porosity Rendering in High-Performance Architecture: Wind-Driven Natural Ventilation and Porosity Distribution Patterns," vol. 12, no. 26, pp. 73–87, 2019, doi: 10.22034/AAUD.2019.89057.
11. P. Saadatjoo, "Investigating the effect of building geometry on outdoor wind flow performance in residential complexes," J. Renew. New Energy, vol. 9, no. 2, pp. 69–79, 2022.
12. E. Willemsen and J. A. Wisse, "Design for wind comfort in The Netherlands: Procedures, criteria and open research issues," J. Wind Eng. Ind. Aerodyn., vol. 95, no. 9, pp. 1541–1550, 2007, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jweia.2007.02.006>.
13. M. T. R. Hariri, S. N. Khosravi, and P. Saadatjoo, "The Impact of High-rise Building Form on Climatic Comfort at the Pedestrian Level," J. Archit. Urban Plan., vol. 9, no. 17, pp. 61–77, 2016.
14. P. Saadatjoo, "Investigation on the effect of building geometry on outdoor wind flow performance in residential
1. T. Heath, T. Oc, and S. Tiesdell, Public Places - Urban Spaces. 2011.
2. D. of T. I. R. of Iran, Urban Highways and Streets Design Guide, section 10: Pedestrian Ways. 2020, p. 95.
3. J.P. Holman, Heat Transfer. Mc Graw Hill, 2010.
4. P. Saadatjoo and E. Saligheh, "The Role of Buildings Distribution Pattern on Outdoor Airflow and Received Daylight in Residential Complexes; Case study: Residential Complexes in Tehran," Naqshejahan-Basic Stud. New Technol. Archit. Plan., vol. 11, no. 3, pp. 67–92, Nov. 2021.
5. P. Saadatjoo, "Investigating the Effect of Building Facade Recess on Urban Wind Flow Performance," Arman. Archit. Urban Dev., vol. 14, no. 37, pp. 43–60, 2022.
6. M. Haghshenas, M. Hadianpour, A. Matzarakis, M. Mahdavinejad, and M. Ansari, "Improving the suitability of selected thermal indices for predicting outdoor thermal sensation in Tehran," Sustain. Cities Soc., vol. 74, p. 103205, 2021, doi: <https://doi.org/10.1016/j.scs.2021.103205>.
7. P. Saadatjoo, M. Mahdavinejad, G. Zhang, and K. Vali, "Influence of permeability ratio on wind-driven ventilation and cooling load of mid-rise buildings," Sustain. Cities Soc., vol. 70,

- leeward wind directions on outdoor thermal and wind sensation in Tehran,” *Build. Environ.*, vol. 150, pp. 164–180, 2019, doi: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2018.12.053>.
23. C. Y. Kuo, R. J. Wang, Y. P. Lin, and C. M. Lai, “Urban design with the wind: Pedestrian-level wind field in the street canyons downstream of parallel high-rise buildings,” *Energies*, vol. 13, no. 11, 2020, doi: 10.3390/en13112827.
24. Q. M. Zahid Iqbal and A. L. S. Chan, “Pedestrian level wind environment assessment around group of high-rise cross-shaped buildings: Effect of building shape, separation and orientation,” *Build. Environ.*, vol. 101, pp. 45–63, 2016, doi: 10.1016/j.buildenv.2016.02.015.
25. T. van Druenen, T. van Hooff, H. Montazeri, and B. Blocken, “CFD evaluation of building geometry modifications to reduce pedestrian-level wind speed,” *Build. Environ.*, vol. 163, p. 106293, 2019, doi: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2019.106293>.
26. H. V. K. W.J.Beranek, “On avoiding wind nuisance around buildings,” 1979.
27. X. Zhang et al., “Evaluation of pedestrian wind comfort near ‘lift-up’ buildings with different aspect ratios and central core modifications,” *Build. Environ.*, vol. 124, pp. 245–257, 2017, doi: 10.1016/j.buildenv.2017.08.012.
28. B. Blocken, S. Roels, and J. Carmeliet, “Modification of pedestrian wind comfort in the Silvertop Tower passages by an automatic control system,” *J. Wind Eng. Ind. Aerodyn.*, vol. 92, no. 10, pp. 849–873, 2004, doi: 10.1016/j.jweia.2004.04.004.
29. S. Aguinaga, M. D. D. E. Virel, and J. Guilhot, “Design of the Citadel of complexes,” *J. Renew. New Energy*, 2022.
15. Jahanshah Pakzad, *Design Guides for Urban Spaces in Iran*. Housing Ministry Publisher, 2005.
16. A. Zangiabady and Nazanin Tabrizi, *Design and Planning of Urban Furniture*. 2004.
17. A. Ricci, M. Guasco, F. Caboni, M. Orlanno, A. Giachetta, and M. P. Repetto, “Impact of surrounding environments and vegetation on wind comfort assessment of a new tower with vertical green park,” *Build. Environ.*, vol. 207, Jan. 2022, doi: 10.1016/j.buildenv.2021.108409.
18. S. Zheng et al., “Predicting the influence of subtropical trees on urban wind through wind tunnel tests and numerical simulations,” *Sustain. Cities Soc.*, vol. 57, 2020, doi: 10.1016/j.scs.2020.102116.
19. A. O. Mahgoub and S. Ghani, “Numerical and experimental investigation of utilizing the porous media model for windbreaks CFD simulation,” *Sustain. Cities Soc.*, vol. 65, p. 102648, 2021, doi: 10.1016/j.scs.2020.102648.
20. R. Mortezaie, *Approaches in urban furniture design*. Organization of the country’s municipalities, 2003.
21. M. Hadianpour, M. Mahdavinejad, M. Bemanian, and F. Nasrollahi, “Seasonal differences of subjective thermal sensation and neutral temperature in an outdoor shaded space in Tehran, Iran,” *Sustain. Cities Soc.*, vol. 39, pp. 751–764, 2018, doi: <https://doi.org/10.1016/j.scs.2018.03.003>.
22. M. Hadianpour, M. Mahdavinejad, M. Bemanian, M. Haghshenas, and M. Kordjamshidi, “Effects of windward and

Bonifacio Urban Area Through Experimental,” 2019.

30. Naqsh Mohit Consulting Engineers, “Tabriz City Development and Construction Plan,” Tehran, 2016.
31. Y. Tominaga et al., “AIJ guidelines for practical applications of CFD to pedestrian wind environment around buildings,” *J. Wind Eng. Ind. Aerodyn.*, vol. 96, no. 10–11, pp. 1749–1761, 2008, doi: 10.1016/j.jweia.2008.02.058.
32. K. Javanroodi, M. Mahdavinnejad, and V. M. Nik, “Impacts of urban morphology on reducing cooling load and increasing ventilation potential in hot-arid climate,” *Appl. Energy*, vol. 231, pp. 714–746, 2018, doi: 10.1016/j.apenergy.2018.09.116.
33. “Climate and Average Weather Year Round in Tabriz Iran,” 2022. <https://weatherspark.com/y/104056/Average-Weather-in-Tabriz-Iran-Year-Round>.
34. W. M. and B. J. V. R.M. Aynsley, *Architectural aerodynamics*. London, England: Applied Science Publishers Ltd, 1977.
35. A. I. of J. AIJ, “AIJ Benchmarks for Validation of CFD Simulations Applied to Pedestrian Wind Environment around Buildings,” *Archit. Inst. Japan*, 2016.
36. N. ISYUMOV and A. G. DAVENPORT, “THE GROUND LEVEL WIND ENVIRONMENT IN BUILT-UP AREAS,” no. (SEPTEMBER 8-12, 1975), 1975.
37. A. Court, “Wind Roses,” *Weather*, 1963. [https://mesonet.agron.iastate.edu/sites/windrose.phtml?station=OITT&network=IR\\_ASOS](https://mesonet.agron.iastate.edu/sites/windrose.phtml?station=OITT&network=IR_ASOS).