

بررسی تاثیر نحوه قرارگیری بلوک‌های ساختمانی بر جریان باد در سطح عابر پیاده

مهسا صمدپور شهرک^۱، مهرداد کریمی مشاور^{۱*}

۱. گروه معماری، دانشکده هنر و معماری، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران

تاریخ وصول مقاله: ۱۴۰۰/۷/۱

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۱/۰۳/۰۶

چکیده

ارزیابی آسایش انسان‌ها در فضای باز یکی از کلیدی‌ترین معیارها در طراحی و چینش ساختمان‌ها بحساب می‌آید. یکی از فاکتورهای موثر در ایجاد شرایط آسایش، جریان باد است. هدف از پژوهش حاضر، بررسی میزان تاثیر نحوه قرارگیری بلوک‌های شهری بر جریان باد، جهت ایجاد آسایش می‌باشد. دو شاخص کلیدی، نسبت ارتفاع ساختمان‌ها به فاصله‌شان (H/W) و نیز جهت‌گیری ساختمان‌ها به عنوان مهمترین عوامل تاثیرگذار بر جریان باد مورد بررسی قرار گرفت. در ارتباط با عامل نسبت ارتفاع ساختمان‌ها به فاصله آنها از همدیگر، نسبت‌های ۰٫۵، ۱٫۵ و ۲ انتخاب شدند و برای جهت‌گیری، جهت‌گیری‌های ۱۳۵° الی ۲۰۰° مورد بررسی قرار گرفتند. مجتمع گلپارک در شهر تبریز به عنوان نمونه مورد مطالعاتی انتخاب و اطلاعات سینوپتیک ۱۹ سال اخیر (۲۰۰۲-۲۰۲۱) شهر تبریز از سازمان هواشناسی کشور استخراج شد. با استفاده از شاخص پنوردن، ماه‌هایی از سال که شرایط نامساعدی را به لحاظ آسایشی در فضای باز دارند، شناسایی شد. براین اساس روز ۱۷ دیماه در سال ۱۳۹۹ به عنوان یکی از سردترین روز سال انتخاب و جهت شبیه‌سازی سناریوهای مختلف از نرم‌افزار انویمت مدل ۴٫۴٫۵ استفاده شد. نتایج تحقیق نشان می‌دهد، نسبت‌های H/W ۰٫۵ الی ۱ مناسب‌ترین نسبت، همچنین در رابطه با جهت‌گیری بلوک‌ها، جهت‌گیری‌های ۱۸۵° تا ۲۰۰° و جهت‌گیری ۱۳۵° مناسب می‌باشند.

کلید واژه‌ها: آسایش حرارتی در فضای باز، سرعت باد، جهت‌گیری بنا، نسبت H/W

سرآغاز

انجام داده‌اند. Karimimoshaver و همکاران (۲۰۲۰)، به بررسی موضوعات دیگری بغیر از جریان باد اطراف بلوک‌های ساختمانی پرداخته‌اند. تحقیقات متنوعی در زمینه تاثیر بنا و بلوک‌های شهری بر جریان باد، صورت گرفته است. Metje و همکاران (۲۰۰۸)، با بررسی شرایط آسایش عابران پیاده در پنج کشور مختلف، ارتباط قوی بین آسایش عابران و سرعت جریان هوا یافتند. در سرعت جریان هوای بیشتر از ۵ متربرثانیه، بیش از ۶۰ درصد پاسخ‌دهندگان از جریان هوا ناراضی هستند. Müller و همکاران (۲۰۱۴) در نشان دادن اثرات باد در آلمان به این نتیجه رسید که افزایش

افزایش جمعیت، تراکم شهری و به تبع آن افزایش دمای زمین ضرورت توجه به تاثیر طراحی بر آسایش حرارتی در فضای باز را روشن می‌سازد. از میان فاکتورهای مختلف آسایش محیطی در فضای بیرونی، جریان باد، به عنوان یکی از عناصر اقلیمی تاثیر فراوانی در کیفیت فضاهای شهری دارد. Lawson و Penwarden (۱۹۷۵) مرگ دو پیرزن به دلیل وجود باد ناگهانی و قوی اطراف ساختمان‌ها گزارش کرده است. Wise (۱۹۷۱) مطالعاتی در مورد مغازه‌هایی که به دلیل شرایط باد منطقه مورد استقبال مشتری قرار نگرفته اند،

Email: mkmoshaver@basu.ac.ir

DOI: 10.22059/JES.2022.331141.1008229

DOR: [20.1001.1.10258620.1401.48.1.2.5](https://doi.org/10.1001.1.10258620.1401.48.1.2.5)

* نویسنده مسئول:

جهت‌گیری شمال غربی، جنوب شرقی سرعت باد کمتری در منطقه ایجاد می‌کند.

همچنین در ایران مقالات متعددی در رابطه با باد اطراف ساختمان‌ها صورت گرفته است. Masnavi و همکاران (۲۰۱۲)، الگوهای مختلف همسایگی در سه نوع مختلف، شبکه‌بندی (محله هفت حوض)، پراکنده (محله عودلاجان) و مرکزی (محله شهرک غرب) در شهر تهران را شناسایی کرده است و به بررسی جریان باد و تهویه طبیعی محله‌ها، در جهت صرفه‌جویی انرژی در ساختمان‌ها پرداخته‌اند و تراکم و فشردگی همسایگی‌ها را از عوامل مهم در جریان باد معرفی کرده‌اند. Javanroodi و همکاران (۲۰۱۸)، تاثیر مورفولوژی شهری بر افزایش تهویه و در نتیجه کاهش مصرف انرژی در ماه‌های گرم سال در اقلیم گرم و خشک تهران پرداخته است و نشان می‌دهد فرم ساختمان‌ها در بهبود تهویه تا ۱۵٪ می‌تواند تاثیرگذار باشد. با اینحال در این پژوهش‌ها به فضای باز میان بلوک‌های شهری و ایجاد شرایط آسایشی در این محیط توجهی نشده است. Nasrollahi و همکاران (۲۰۱۷) نسبت ارتفاع بنا به فاصله و نیز جهت‌گیری را در اقلیم گرم و خشک در شهر شیراز، در یکی از محلات سنتی مورد بررسی قرار داده است. آنها به این نتیجه رسیده‌اند که بیشتر شدن این نسبت و نیز کشیدگی جنوبی در فصل زمستان موجب بهتر و منظم شدن جریان باد می‌شوند. Eyni و Taban (۲۰۱۹)، تاثیر دو عامل محصوریت و جهت گذر بر جریان باد را در اقلیم گرم و مرطوب دزفول در دو فصل تابستان و زمستان در محله سیاه‌پوشان و گذرشاهی مورد بررسی قرار داده است و بیان می‌کند افزایش محصوریت و ساخت ساختمان‌های منظم باعث تهویه بهتر می‌شود. Rozati و Ghanbaran (۲۰۱۴)، براساس شاخص‌های آسایش باد، میزان آسایش حاصل از وزش باد در فضای باز در ماه‌های مختلف سال را بدست آورده‌اند. این تحقیق که در اقلیم گرم و خشک اصفهان مورد بررسی قرار گرفته است، جریان باد در دیمه را عامل مختل شدن شرایط آسایش افراد می‌داند.

سرعت باد در فصل تابستان می‌تواند شاخص دمای معادل فیزیولوژیک را تا ۱۵ درجه سانتیگراد کاهش دهد. Kim و همکاران (۲۰۱۸)، با در نظر گرفتن فاکتور باد در محیط شهری، به بررسی شرایط آسایش عابرین در سنول با زمستان‌های سرد، پرداخته است. آنها از طریق پرسشنامه به این نتیجه رسیده‌اند افراد حتی زمانیکه شاخص خنک‌کنندگی باد ۲ پایین باشد؛ احساس ناراضایتی میکنند. یکی دیگر از عوامل تاثیرگذار بر شرایط محیطی فضای باز، جهت‌گیری ساختمان‌ها و خیابان‌ها می‌باشد. چراکه تغییر این عامل می‌تواند در دریافت انرژی خورشیدی و بازتاب آن بوسیله ساختمان‌ها و مبلمانهای شهری تاثیرگذار باشد (Hegazy and Qurnfulah, 2020). Achour-Younsi و Kharrat (۲۰۱۶) دو عامل نسبت H/W و نیز جهت‌گیری ساختمان‌ها را از مهم‌ترین عوامل موثر در بهبود شرایط آسایش محیط در یکی از منطقه‌های تونس با آب و هوای نیمه‌گرمسیری اطراف میدانند. Hegazy و Qurnfulah (۲۰۲۰) در اقلیم گرم و خشک جده عربستان، سرعت باد را در چهار جهت مختلف قرارگیری ساختمان‌ها در روزهای گرم و سرد سال بررسی کرده است و به این نتیجه رسیده است که هر چهار جهت به لحاظ سرعت باد در وضعیت مطلوبی قرار دارند. Shui و همکاران (۲۰۱۸)، در یکی از مناطق در چین با اقلیم سرد، به بررسی سرمای باد در هفت نوع چینش بلوک‌های ساختمانی در ارتفاع عابر پیاده پرداخته است و ارتفاع بناها را موثر در سطح آسایش افراد موثر می‌داند. Liu و همکاران (۲۰۱۹)، با بررسی چینشهای مختلف بلوک‌های ساختمانی (خطی، نیمه محصور، باز) در هاربین چین با اقلیم سرد، بلوک‌های نیمه محصور را نسبت به دو فرم دیگر موثر در کاهش سرعت باد می‌داند و به این نتیجه رسیده‌اند که فضا و محیط هرچقدر محصورتر می‌شود، سرعت باد کمتر می‌شود. Lin و همکاران (۲۰۱۹)، به تحلیل عوامل اقلیمی مختلف اطراف مناطق مسکونی سنتی در اقلیم سرد هاربین در چین، پرداخته است و بیان می‌کند

شرایط آسایشی در این محیط، امری ضروری است. از میان عوامل محیطی گوناگون، فاکتور باد به عنوان یکی از فاکتورهای مهم و تاثیرگذار در حضور افراد می باشد و این مسئله در روزهای سرد سال بخصوص فصل زمستان محسوس تر است. لذا در پژوهش حاضر شهر تبریز با اقلیم سرد به عنوان منطقه مطالعاتی و گونه خطی به عنوان نمونه غالب ساخت مجتمع های مسکونی، در این شهر انتخاب شد. دو عامل کالبدی نسبت ارتفاع بلوکها به فاصله آنها از همدگر و جهت گیری آنها به عنوان متغیرهای مستقل، با فرض اینکه تغییر هر کدام از این عاملها می تواند بر سرعت باد منطقه اثرگذار باشد، مورد بررسی قرار گرفت. جهت واکاوی عوامل محیطی در منطقه مورد مطالعه، اطلاعات هواشناسی ۱۹ سال اخیر (۲۰۰۲-۲۰۲۱) استخراج گردید. با توجه به اطلاعات هواشناسی، جهت، سرعت باد غالب مشخص شد و ماههایی از سال که نامساعدترین شرایط محیطی در آنها اتفاق افتاده است، با استفاده از نمودار پنواردن تعیین گردید. براین اساس، روز ۱۷ دیمه به عنوان یکی از سردترین روز سال که جهت باد در آن روز، با جهت باد غالب در منطقه مورد مطالعه همخوانی دارد، انتخاب شد و اطلاعات هوا در روز مشخص شده به نرم افزار انتقال داده شد. نسبت های ارتفاع به فاصله ساختمانها از نسبت ۰,۵ تا ۲ و جهت گیریها از جهت گیری ۱۳۵ درجه تا ۲۰۰ درجه در چهار نقطه سایت مورد بررسی قرار گرفت و میانگین اطلاعات سرعت از ساعت ۹ صبح تا ۸ شب در قالب نمودار و تصاویر استخراج شده از نرم افزار مورد بررسی و تجزیه و تحلیل قرار گرفت.

منطقه مورد مطالعه

مشخصات و ویژگی های جغرافیایی و اقلیمی منطقه مورد مطالعه

شهر تبریز (۳۸,۱۲° شمالی، ۴۶,۲۴° شرقی)، کلانشهری در منطقه آذربایجان ایران و مرکز استان آذربایجان شرقی است. براساس داده های آماری در سال ۱۳۹۵ جمعیتی

Karimimoshaver و همکاران (۲۰۲۱ و ۲۰۲۲) در دو تحقیق جداگانه به بررسی اثر نسبت ارتفاع به پهنای بلوک های شهری در جریان باد، آسایش حرارتی و همچنین جزایر حرارتی پرداختند که نتایج نشان دهنده نقش مهمی است که چگونگی قرارگیری بلوک های شهری و همچنین نسبت ارتفاعی بناها به فضاها باز اطراف دارند.

در نهایت می توان به این مطلب اشاره کرد که تحقیقات مختلف و متنوعی در رابطه با موضوع مورد پژوهش، صورت گرفته است. با اینحال اکثر این تحقیقات در مناطقی با اقلیم گرم و در فصل تابستان صورت گرفته اند و قابل تعمیم به سایر مناطق با اقلیم متفاوت نمی باشند. همچنین برخی دیگر از پژوهشها سرعت و جریان باد را در جهت بهبود مصرف انرژی در داخل ساختمانها بررسی کرده اند و در آنها به بهبود شرایط آسایشی در فضای باز توجهی نشده است. تعداد تحقیقات محدودی وجود دارد که به روزهای سرد سال و اقلیم سرد توجه داشته باشند که در این تحقیقات چپش های مختلف بلوکها با یکدیگر بررسی شده است. در حالیکه در این پژوهش فرم خطی به عنوان فرم غالب ساخته شده در مجتمع های مسکونی انتخاب و علل و عوامل کالبدی موثر بر شرایط محیطی مورد بررسی قرار گرفته است. این تحقیق نیز در راستای تحقیقات صورت گرفته در این زمینه و با نگاهی جامع تر به ارتباط میان نسبت ارتفاع بنا به فاصله آنها (H/W) و نیز بررسی جهت گیری ساختمانها با زوایای دقیق تر، در گونه ساختمان های خطی به بررسی آسایش حرارتی در فضای باز اطراف یکی از ساختمان های مسکونی در شهر تبریز می پردازد.

مواد و روش بررسی

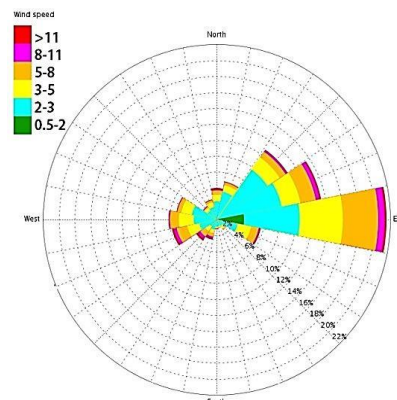
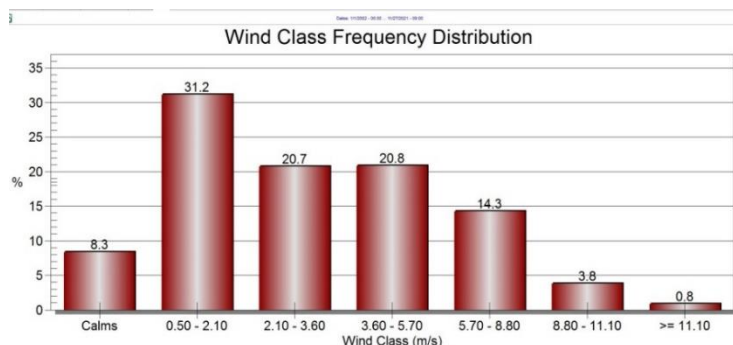
فضای باز میان بلوک های ساختمان در مجتمع های مسکونی، توان پذیرش نقشهای متنوعی از قبیل قدم زدن، دوچرخه سواری، نشستن و استراحت کردن، بحث و تبادلات اجتماعی را دارد و حضور افراد با بهبود شرایط محیطی بیشتر می شود. لذا توجه به فضای باز و ایجاد

برای سالهای ۲۰۰۲ تا ۲۰۲۱ بدست آمد. جدول ۱ اطلاعات وارد شده در نرم افزار را نشان می دهد. با توجه به این نمودار، ۳۱٪ مواقع باد، با سرعت ۰٫۵ تا ۲ متربرثانیه، ۲۰٫۷٪ مواقع، باد با سرعت ۲٫۱۰ تا ۳٫۶۰ و ۲۰٫۸٪ مواقع، باد با سرعت ۳٫۶۰ تا ۵٫۷۰ متربرثانیه در شهر تبریز وزیده است. در اکثر مواقع سرعت باد ۰٫۵ تا ۵٫۷۰ متربرثانیه بوده است. همچنین ۸٫۳٪ بادهای آرام و ۹۱٫۷٪ بادهای دارای سمت و سرعت می باشند و تنها ۰٫۸٪ باد سرعت بالای ۱۱ متربرثانیه دارد. همچنین شکل ۱ گلباد شهر تبریز در سالهای مذکور را نشان می دهد که بادهای محلی با شدت و ضعف از تمامی جهات به این شهر می وزند. از میان آنها بادهای سمت شرق جهت اصلی جریان هوای شهر را تشکیل می دهند و از بیشترین مقدار وزش سالیانه برخوردار هستند و در حدود ۲۱٪ از کل بادهای را شامل می شوند. در این جهت ۳٪ باد غالب، با سرعت ۰٫۵ تا ۱٫۵ متربرثانیه، در حدود ۸٪، باد غالب با سرعت ۲ تا ۳ متربرثانیه، ۵٪ باد با سرعت ۳٫۵ تا ۵ متربرثانیه، ۵٪ باد با سرعت ۵٫۵ تا ۸ متربرثانیه و ۱٪ باد غالب با سرعت بیشتر از ۸ متربرثانیه می وزد. باد نایب غالب شمال شرقی می باشد که ۱۳٪ مواقع باد از سمت مذکور وزیده است. در این جهت ۸٪ بادهای با سرعت ۲ تا ۳ متربرثانیه، ۳٪ بادهای با سرعت ۳٫۵ تا ۵ متر بر ثانیه، ۲٪ بادهای با سرعت ۵ تا ۸ متربرثانیه می وزند.

حدود ۱,۷۰۰,۰۰۰ داشته و آب و هوای آن استپی خشک با تابستانهای نسبتا گرم و زمستانهای سرد است. میانگین بارندگی آن بسیار اندک و در حدود ۳۳۰٫۱ میلیمتر در سال است. در این منطقه معدل دمای سالیانه ۱۱ الی ۱۴ و نوسان دمای سالیانه ۳۶ الی ۴۶ درجه سانتیگراد می باشد. در تابستان متوسط دما طی روز ۲۸ الی ۳۵ درجه سانتیگراد می باشد. در زمستان متوسط حداکثر دما طی روز ۵- الی ۱۱- درجه سانتیگراد است. زمستانها حدود ۴۰ درصد و تابستانها حدود ۸۰ درصد مواقع روز، هوا آفتابی می باشد. میانگین دمای تبریز در تیرماه (گرمترین ماه سال) ۲۵٫۴ درجه سانتیگراد و در دی ماه (سردترین ماه سال)، ۲٫۵- درجه سانتیگراد می باشد. رطوبت نسبی هوا در تابستان حداقل ۲۰ تا ۶۰ درصد و در زمستان، ۷۰ تا ۹۰ درصد می باشد (سازمان اطلاعات هواشناسی کشور).

جهت و سرعت باد منطقه مورد مطالعه

نرم افزار WRPLOT، برنامه ای است که توسط گروه نرم افزاری- هواشناسی Lakes Environmental طراحی شده است. از این نرم افزار برای تحلیل های باد استفاده می شود. در این تحقیق نیز برای بدست آوردن نحوه توزیع سرعت باد از این نرم افزار استفاده شد. لذا اطلاعات سینوپ سه ساعته شهر تبریز از سایت هواشناسی کشور استخراج شد و با استفاده از نرم افزار WRPLOT مدل ۸,۰,۲، شکل ۲



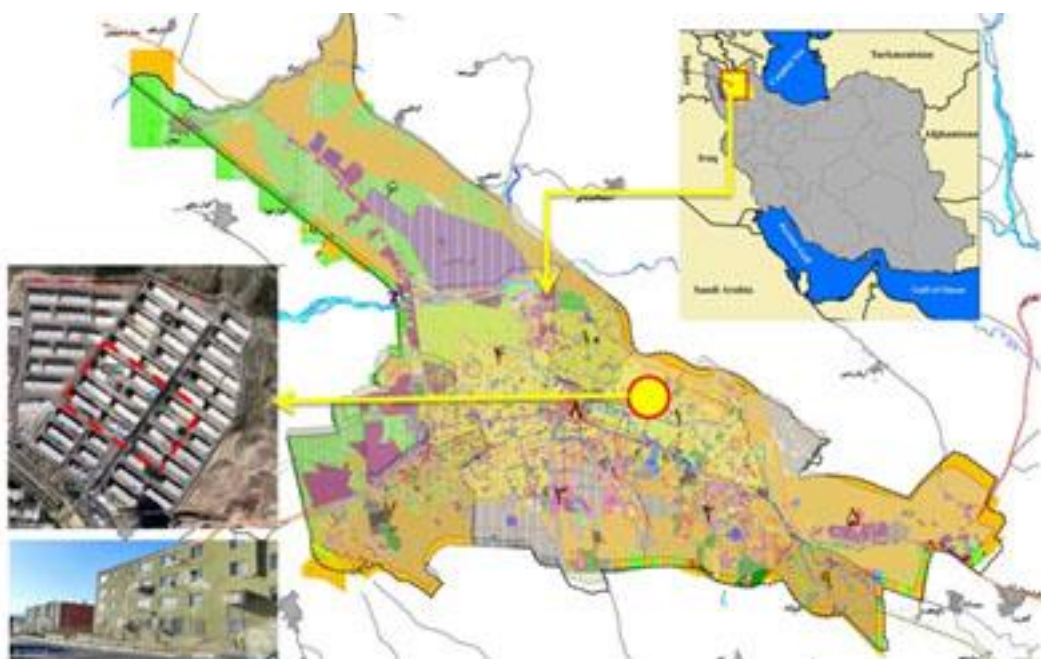
شکل ۱: گلباد ۱۹ ساله شهر تبریز (سالهای ۲۰۰۲-۲۰۲۱)، سازمان هواشناسی کشور (سمت راست)

شکل ۲: نمودار نحوه توزیع سرعت باد در سالهای ۲۰۰۲-۲۰۲۱ شهر تبریز، منبع نگارندگان (سمت چپ)

جدول ۱. اطلاعات و داده‌های وارد شده در نرم افزار WRPLOT

Data Fields (2002-2021)	Station ID	Lat	Lon	Station Elevation
اطلاعات ساعت، روز، سال، سرعت و جهت باد	۴۰۷۰۶	۳۸,۱۲N	۴۶,۲۴ E	۱۳۶۱

مجتمع‌های گلپارک واقع در منطقه یک و شرق تبریز با الگوی چیدمان خطی، محدوده انتخابی برای این تحقیق می‌باشد (شکل ۳). از دلایل انتخاب این مجتمع، قالب منظم خطی که الگوی اکثر ساخت بلوک‌های مسکونی در شهر تبریز می‌باشد، است. بلوک‌های مجتمع چهارطبقه و به فاصله حدود ۲۰ متر از همدیگر قرار گرفته‌اند. جنس مصالح کف آسفالت و جنس نمای آنها سیمان رنگی می‌باشد. همچنین بلوک‌ها کشیدگی شمالغربی-جنوبشرقی و شرقی-غربی دارند.



شکل ۳: معرفی محدوده مورد مطالعه، منابع: نقشه شهر تبریز: Farsicad.com، تصویر بنا: نگارندگان

روش شبیه‌سازی شاخص پناوردن

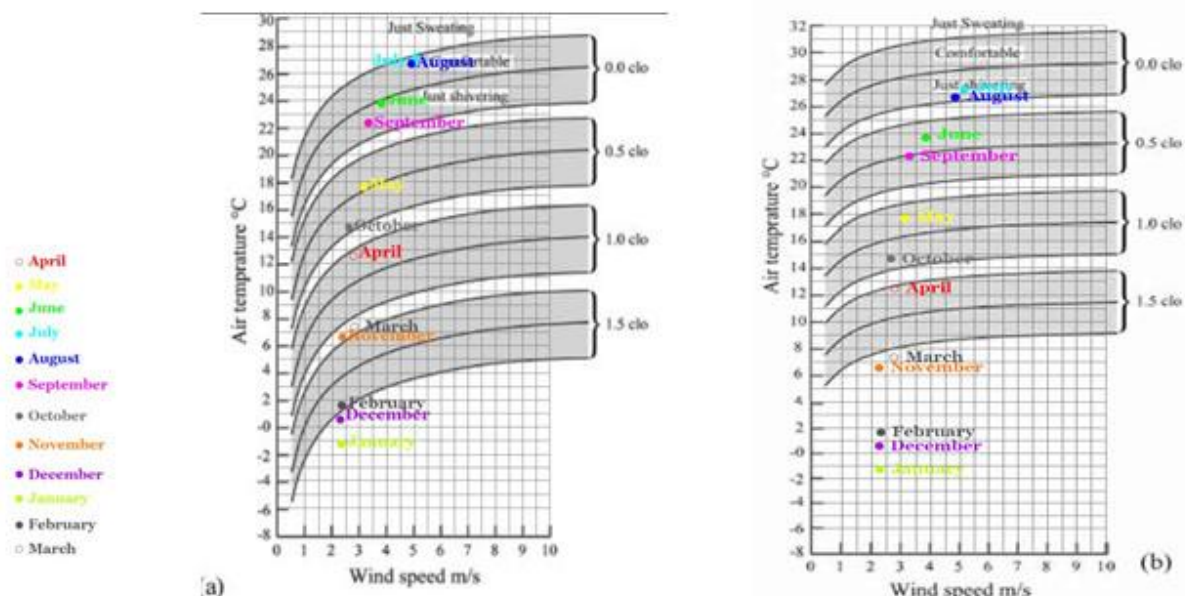
(Penwarden and Wise, 1975). در این نمودار، منحنی وسط در هر بخش نشان‌دهنده شرایطی هست که در آن فرد کاملاً احساس آسایش می‌کند. هرچه از این مرز دورتر می‌شود، شرایط آسایش کمتر می‌شود. لذا به دلیل اینکه در این شاخص اصلی‌ترین عوامل دخیل بر شرایط آسایش انسانی همچون عوامل فیزیولوژیکی، روان‌شناختی لحاظ شده است، در این تحقیق جهت استخراج وضعیت ماه‌های مختلف سال به لحاظ شرایط آسایشی، از این شاخص بهره گرفته شد. بدین منظور اطلاعات سینوپتیک ۱۹ سال اخیر

آسایش حرارتی شرایطی از ادارک است که در آن، محیط پیرامون از لحاظ حرارتی رضایت‌بخش باشد (Ashrae, 1997). کلمه شرایط ذهنی در تالیف اشری دلالت بر آمیختگی شرایط روحی و جسمی در احساسی تحت عنوان آسایش حرارتی است. استاندارد پناوردن، با در نظر گرفتن فاکتورهای مهم و موثر میکرواقليمی همچون دمای هوا، تابش خورشید و سرعت باد، و عوامل شخصی و انسانی مانند نوع لباس و فعالیتشان، آسایش حرارتی را در محیط در دو حالت سایه و آفتابی نشان می‌دهد

مناسب فصل، شرایط آسایشی برای اشخاص فراهم می‌شود. اما در ماه‌های مارچ، نوامبر، دسامبر، فوریه و ژانویه حتی با پوشیدن لباس زمستانی، شخص در آستانه لرزیدن قرار خواهد گرفت. لذا با مقایسه دو نمودار با همدیگر میتوان به این نتیجه رسید که در ماه ژانویه در هر دو حالت آفتابی و سایه شرایط محیطی بسیار نامساعد بوده، بطوری‌که حتی با در نظر گرفتن پوشش و لباس زمستانی (1.5 clo)، شرایط آسایشی بوجود نمی‌آید. علاوه بر ماه ژانویه، ماه‌های فوریه، دسامبر، نوامبر، مارس نیز در شرایط سایه وضعیت مطلوبی ندارد. در نتیجه میتوان به این نتیجه رسید که در اقلیم شهر تبریز، بیشترین فصلی که شرایط نامطلوب را دارند، فصل پاییز و زمستان، می‌باشند و ماه ژانویه بدترین شرایط آسایشی را دارد. در نتیجه در این تحقیق ۱۷ دی یکی از سردترین روز ماه ژانویه (دی و بهمن)، انتخاب و به بررسی تاثیر قرارگیری ساختمان‌ها بر جریان باد در فصل زمستان پرداخته شد.

۲۰۰۲-۲۰۲۱، در شهر تبریز از سازمان اطلاعات هواشناسی استخراج شد و برای هر ماه در دو حالت سایه و آفتابی، بر روی نمودار مشخص گردید.

همان‌گونه که در شکل ۴ قابل مشاهده است، در شرایط آفتابی، ماه‌های آگوست و جولای در وضعیت مساعدی نیستند، با اینحال در شرایط سایه، وضعیت محیطی مساعدتر شده است. ماه‌های ژوئن و سپتامبر در شرایط سایه و ماه‌های اکتبر و می در شرایط آفتابی و سایه با پوشیدن لباس سبک تابستانی (0.5 clo)، شرایط آسایش ایجاد می‌شود. همچنین در ماه آپریل با پوشیدن لباس مناسب پاییزی-بهاری (1.0 clo)، در محدوده آسایشی قرار خواهد گرفت. ماه‌های مارس، نوامبر با در نظر گرفتن پوشش مناسب فصل میتوانند در محدوده آسایش قرار بگیرند. ماه‌های فوریه، دسامبر و ژانویه پایتتر از محدوده آسایش میباشند. همچنین با تحلیل نمودار در شرایط سایه، میتوان به این نتیجه رسید که در ماه‌های جولای، آگوست، ژوئن، سپتامبر، می، اکتبر و آپریل با در نظر گرفتن پوشش



شکل ۴: نمودار وضعیت ماه‌های مختلف سال در شاخص بنواردن، سمت راست: سایه، سمت چپ: آفتابی، منبع: نگارندگان

آب‌وهوایی محدوده مورد مطالعه، تحلیل داده‌ها، بناها و سایر عوامل اطراف بصورت تک‌بنا و یا مجموعه‌ای از بناها را داشته باشد. نرم‌افزار انویمت، یکی از مناسب‌ترین

نرم‌افزار انتخابی

با توجه به هدف پژوهش، نرم‌افزار انتخابی بایستی قابلیت استفاده از داده‌های موقعیت دقیق جغرافیایی و

هوا p در معادله ناویه استوکس تراکم پذیر حذف شده و از تقریب بوسینسک ۴ استفاده می شود که سبب ایجاد یک منبع اضافه W معادله نیروی حرارتی حرکت عمودی می شود (رابطه ۲).

رابطه ۲

$$\partial u / \partial x + \partial v / \partial y + \partial w / \partial z = 0$$

این رابطه برای حفظ گام های زمانی در مدل نگهداشت جرم می باشد. شرایط انتقال و انتشار در حالت سه بعدی در جمع انیشتین نوشته شده است (ui= u,v,w i=1,2,3), Su, Sv, Sw کم شدن سرعت باد به علت نیروی کششی عناصر محیطی را تعریف می کند.

از محدودیت های نرم افزار میتوان به پروسه طولانی برای شبیه سازی این نرم افزار اشاره کرد. از طرفی مدل ساخته شده در این نرم افزار قابل ویرایش نیست. این مدل در مطالعات مربوط به محاسبه جزیره حرارتی و گرمایش شهری و همچنین آسایش حرارتی به خوبی پاسخگو می باشد و اطلاعات حاصل از آن توسط بسیاری از پژوهشگران مورد تایید و استفاده قرار گرفته است (Wang and Akbari, 2016; Taleghani and Berardi, 2018). بنابر دلایل نام برده شده در این تحقیق نیز از نرم افزار انویمت (مدل ۴,۴,۵) برای شبیه سازی شرایط محیطی اطراف استفاده شد. اطلاعات آب و هوا از سازمان هواشناسی کشور در روز مذکور استخراج شد و این اطلاعات وارد نرم افزار شد. همچنین برای انتخاب روز شبیه سازی در نرم افزار روزی که باد از سمت باد غالب وزیده است، انتخاب شد (جدول ۲).

نتایج

برای مقایسه سرعت باد چهار رسپتور در قسمت های مختلف سایت در نرم افزار انتخاب شد (شکل ۵). این رسپتورها بطریقی مکانیابی شدند که در سایت پراکنده باشند و بتوانند وضعیت کلی سایت را بیان کنند. لذا یک رسپتور در مرکز سایت، دیگری در بین دو ساختمان و دو رسپتور دیگر در بین چهار ساختمان جایگذاری شدند. از

نرم افزارها در میان نرم افزارهای اقلیمی موجود در این زمینه است. این نرم افزار برای شبیه سازی شرایط محیطی اطراف استفاده می شود و نرم افزاری است که جهت شبیه سازی سه بعدی و سنجش شرایط خرد اقلیم شهری و تحلیل فضاهای باز اطراف ساختمان ها، مورد استفاده قرار میگیرد و دارای قابلیتها و نتایج اعتبارسنجی متعدد است و کاملترین مدل در محاسبه آسایش حرارتی انسان بشمار میرود و همچنین به دلیل همبستگی بالای مقادیر حاصل از اندازه گیری میدانی با نتایج حاصل از شبیه سازی در محیط نرم افزاری، دارای روایی و پایایی بوده از دیگر امتیازات آن، توانایی آن در شبیه سازی فعل و انفعالات اصلی جو بر اساس قوانین فیزیکی نظیر قوانین دینامیک سیالات و ترمودینامیک که بر خرد اقلیم تاثیر میگذارد و توانایی شبیه سازی مجموعه ای از عوامل خرد اقلیمی در بازه زمانی ۲۴ ساعت و پیش بینی فرایندی همچون جریان باد، پرتو خورشید، دما و رطوبت، نشان دادن انواع پوششهای گیاهی، جنس زمین، نما و ... است. خروجی این نرم افزار اکثر پارامترهای مورد نیاز برای آسایش حرارتی همچون دمای هوا، متوسط دمای تابشی، سرعت باد و ... را تامین می کند (Taleghani et al., 2015).

این نرم افزار از روابط زیر تبعیت کرده و برای شبیه سازی جریان باد مفهوم اساسی در مورد آشفتگی جریان سه بعدی غیرهیدرواستاتیک تراکم ناپذیر با معادله ناویه استوکس ۳ بررسی شده است (رابطه ۱).

رابطه ۱

$$\begin{aligned} \partial u / \partial t + u i (\partial u / \partial x i) &= - \partial p' / \partial x + K m (\partial^2 u / \partial x^2 i) + f (v - v g) - S u \\ \partial v / \partial t + u i (\partial v / \partial x i) &= - \partial p' / \partial y + K m (\partial^2 v / \partial x^2 i) + f (u - u g) - S v \\ \partial w / \partial t + u i (\partial w / \partial x i) &= - \partial p' / \partial z + K m (\partial^2 w / \partial x^2 i) + g (\Theta (z) / - \Theta_{ref}(z)) - S w \end{aligned}$$

در رابطه ۱، f (= 104 sec⁻¹)، پارامتر کوریولیس است، p' بیانگر آشفتگی فشار محلی، Θ پتانسیل دمای در سطح Z است. دمای مرجع Θ_{ref} باید در شرایط هواشناسی در مدل یک بعدی موازی با مدل اصلی تهیه شود. چگالی

ساعات ۹am الی ۲pm استخراج شد و چهار سناریو نسبت ارتفاع به فاصله ۰٫۵، ۱٫۰، ۱٫۵، ۲٫۰، در فاصله ۲۰ متری و ارتفاعهای ۱۰، ۲۰، ۳۰ و ۴۰ متری، مورد بررسی و مطالعه قرار گرفت.

آنجا که از ساعت ۹ صبح الی ۸ بعدازظهر میزان حضور افراد در فضای باز در زمستان بیشترین است، به بررسی ساعات مذکور در سه ارتفاع ۰٫۵، ۱٫۵ و ۲٫۵ متری از سطح زمین، پرداخته و سرعت باد برای هرکدام از رسیپتورها در

جدول ۲: اطلاعات و داده‌های وارد شده در نرم افزار انویمت

اطلاعات وارد شده در نرم‌افزار انویمت		
موقعیت جغرافیایی		۴۶٫۳۴ °E، ۳۸٫۱۳°N
نام منطقه		Tabriz, East Azerbaijan Province, Iran
تاریخ		۲۰۲۱، ۰۱، ۰۶
اندازه مدل		۴۰، z-Grids=۵۰، y-Grids=۵۰ x-Grids=
اندازه هر سلول به متر		۵، dz=۴، dy=۴ dx=
زمان شبیه سازی		۹ صبح تا ۸ بعد از ظهر، به مدت ۱۱ ساعت
دمای هوا	دمای بیشینه	۰٫۶°C
	دمای کمینه	-۹°C
سرعت باد		۲٫۹ متر بر ثانیه
جهت باد		۷۰ درجه (سمت شمال شرقی)
رطوبت نسبی		٪۵۸
جنس کف: آسفالت		Albedo: 0.4, Thermal capacity: 2.08 [J m ⁻³ K ⁻¹] × 10 ⁶ , Thermal Conductivity: 1.63 [W m ⁻¹ K ⁻¹]
جنس نما: سیمانی		Thickness: 15cm, U-value: 2.54 (W/ m ² K)

۰٫۵، ۱٫۵، ۲ متری از سطح زمین را نشان می‌دهند، مشابه هم بوده و از ساعت ۹ صبح الی ۱۱ صبح روند نزولی داشته و از ساعت ۱۱ صبح تا ۸ شب روند صعودی پیدا کرده است. با اینحال با افزایش ارتفاع از سطح زمین سرعت باد نیز افزایش می‌یابد. همچنین در ساعات مذکور همانند سایر ساعات مورد مطالعه با افزایش نسبت H/W، سرعت باد افزایش می‌یابد. کمترین میانگین سرعت باد در ساعت ۱۱ صبح در ارتفاع ۰٫۵ متری از سطح زمین در نسبت H/W=0.5 (۱٫۵۳ متر بر ثانیه) و بیشترین میانگین در ساعت ۸ شب در ارتفاع ۲ متری از سطح زمین در نسبت H/W=2 (۲٫۲۵ متر بر ثانیه) قابل مشاهده است. میانگین سرعت باد در نسبت‌های H/W=0.5 و H/W=1، نزدیک بهم بوده و زمانیکه این نسبت به H/W=1.5 و H/W=2 تغییر می‌کند، بیشتر می‌شود. شکل ۸، نحوه توزیع سرعت باد در ساعت ۸ عصر، زمانی که سرعت باد بیشترین مقدار است در ارتفاع ۱٫۵ متری از سطح زمین را نشان می‌دهد که

در رابطه با انتخاب زوایای مرتبط با جهت‌گیری بنا، Kasmaei (۲۰۰۳)، بهترین و استانداردترین جهت ساختمان در اقلیم‌های مختلف در ایران را مورد بررسی قرار داده است و مناسب‌ترین جهت قرارگیری ساختمان‌ها را ۱۳۵ درجه الی ۲۰۰ درجه ساعتگرد از شمال (جهت شمال شرقی-جنوب غربی، شمال غربی- جنوب شرقی) برای اقلیم تبریز می‌داند. لذا زوایای نواحی ۱۳۵ درجه الی ۲۰۰ درجه ساعتگرد از شمال، در هشت زاویه مختلف، با اختلاف زوایای ده درجه نسبت بهم انتخاب شد و مورد بررسی قرار گرفت (شکل ۵).

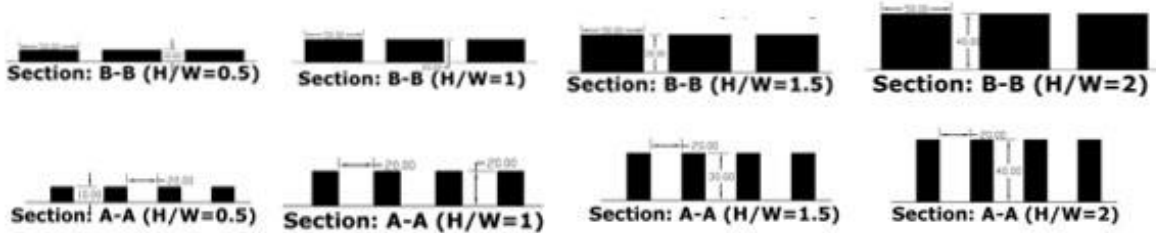
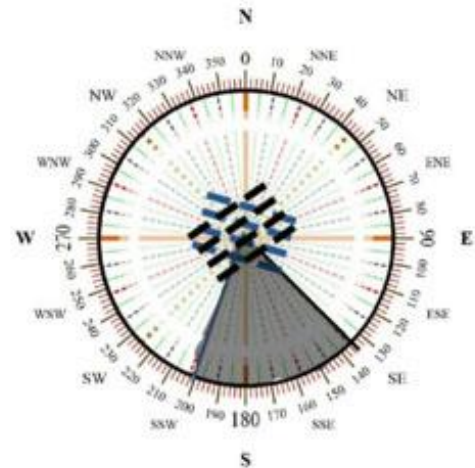
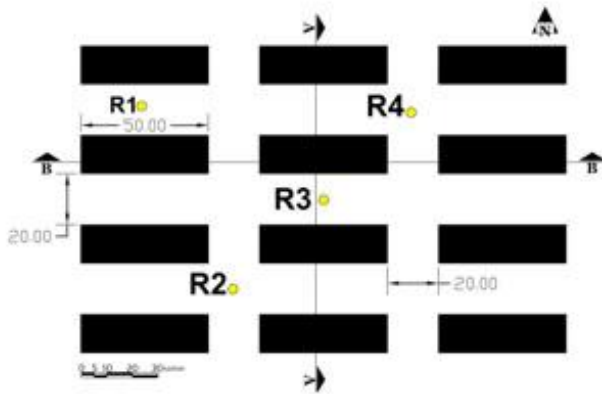
سرعت باد

مقایسه میان نسبت H/W و سرعت باد

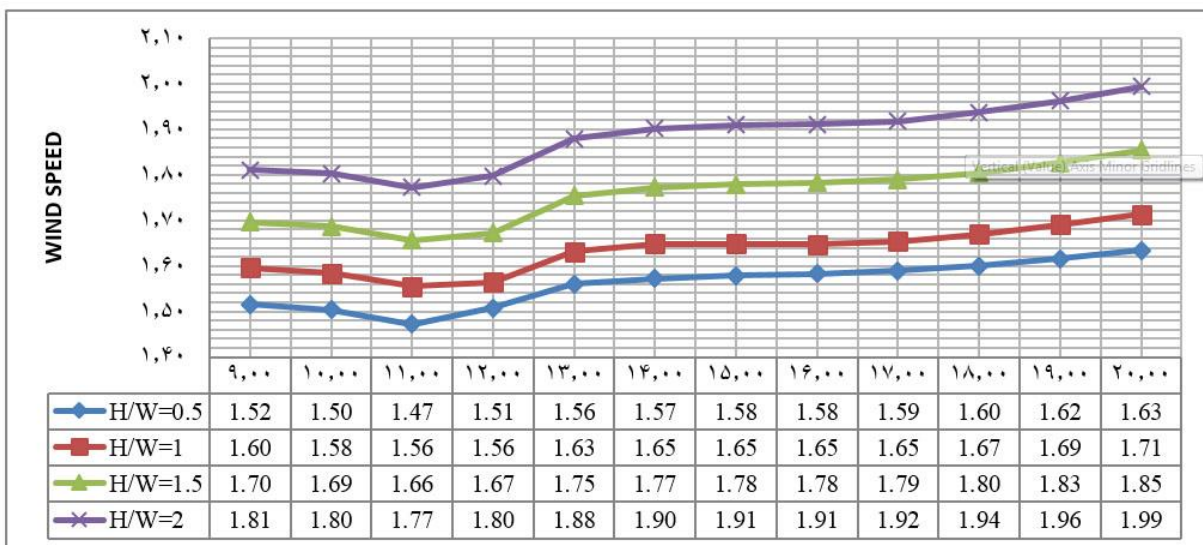
شکل‌های ۶ و ۷ نشان می‌دهند، با افزایش نسبت H/W، در تمامی ساعات روز سرعت باد افزایش می‌یابد. دو نمودار استخراج شده که میانگین سرعت باد در ارتفاع‌های

دارند. سرعت باد در سمت شرقی منطقه بیشترین مقدار می باشد و در سمت غربی و میانه های سایت شرایط بهتری دارند.

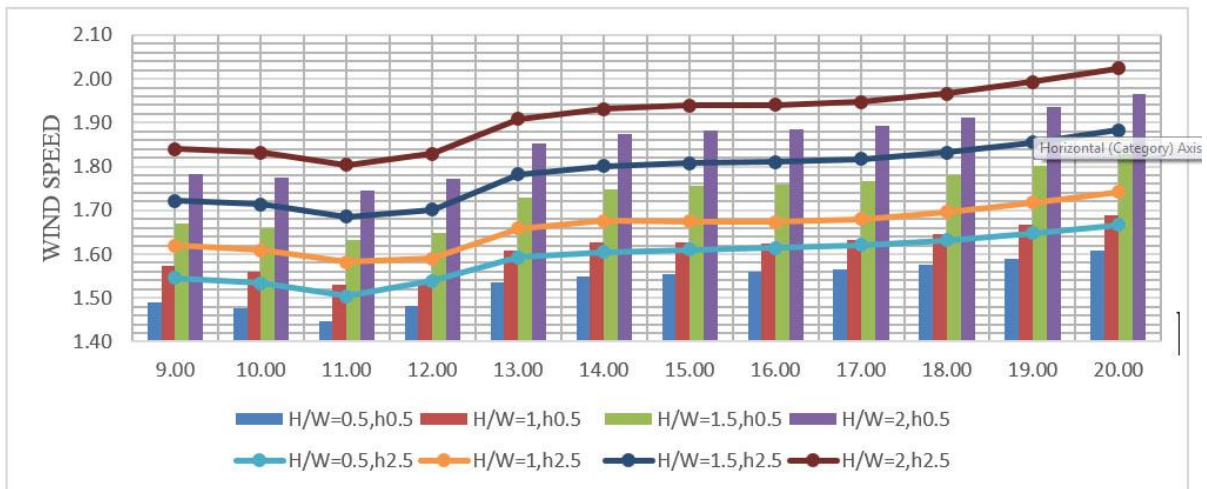
با افزایش نسبت H/W، سرعت باد بیشینه نیز افزایش میابد. با اینحال نسبت های ۰,۵ و ۱ در میانه های سایت شرایط مشابهی دارند و در هر دو نسبت سرعت باد در میان بلوک ها شرایط بهتری را در مقایسه با دو نسبت دیگر



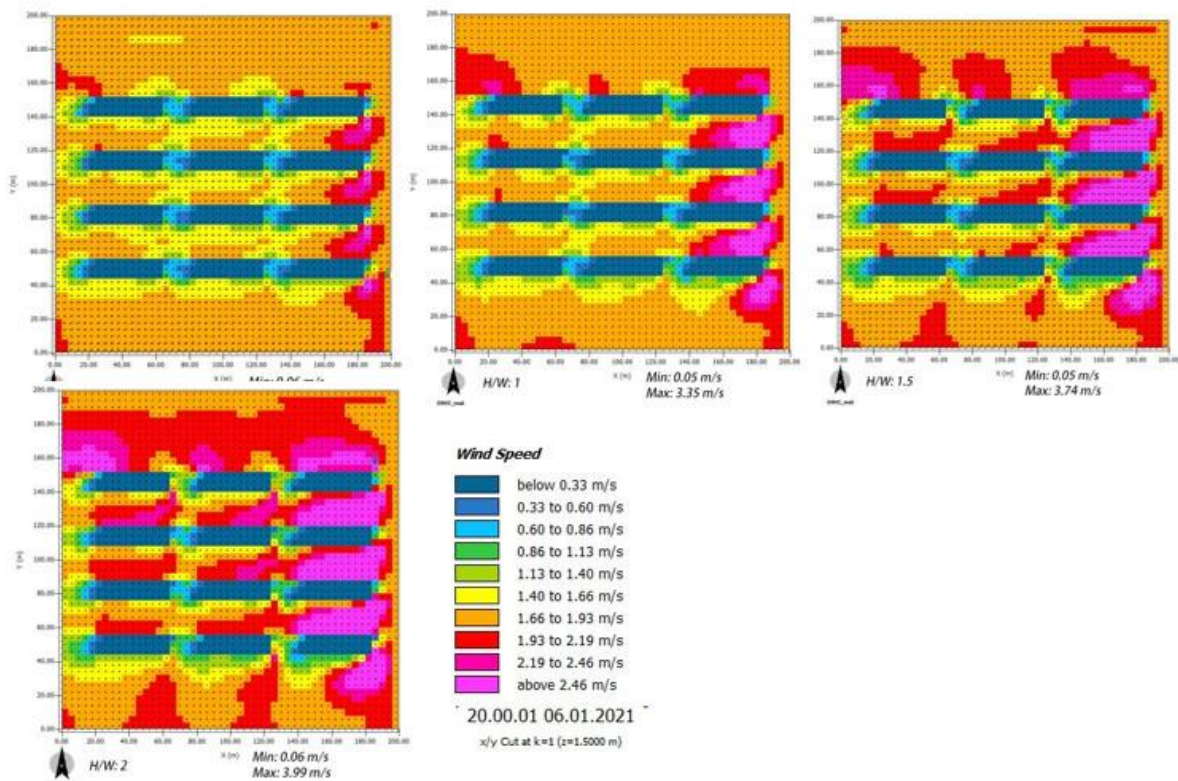
شکل ۵: مکان و جایگذاری نقاط انتخابی در سایت، مشخصات و جهت گیری مختلف در نظر گرفته شده، منبع: نگارندگان



شکل ۶: نمودار میانگین سرعت باد در چهار رسیپتور مذکور در ارتفاع ۱,۵ متری از سطح زمین، منبع: نگارندگان



شکل ۷: نمودار میانگین سرعت باد در چهار رسیپتور مذکور در ارتفاع ۰,۵ و ۲,۵ متری از سطح زمین، منبع: نگارندگان



شکل ۸: نحوه توزیع سرعت باد در نسبت‌های مختلف H/W، در ساعت ۸ عصر در ارتفاع ۱,۵ متری از سطح زمین، منبع: نگارندگان

با بیشتر شدن سرعت باد شرایط محیطی بیرونی به دلیل سرمای هوا بدتر می‌شود و شرایط آسایش مختل می‌گردد. لذا نسبت‌های $H/W=0.5,1$ مناسب طراحی در این اقلیم می‌باشند و افزایش این نسبت می‌تواند شرایط آسایش در فضای باز را مختل کند. این پژوهش با پژوهش‌هایی که در اقلیم‌های مختلف این نسبت را در فصل زمستان بررسی

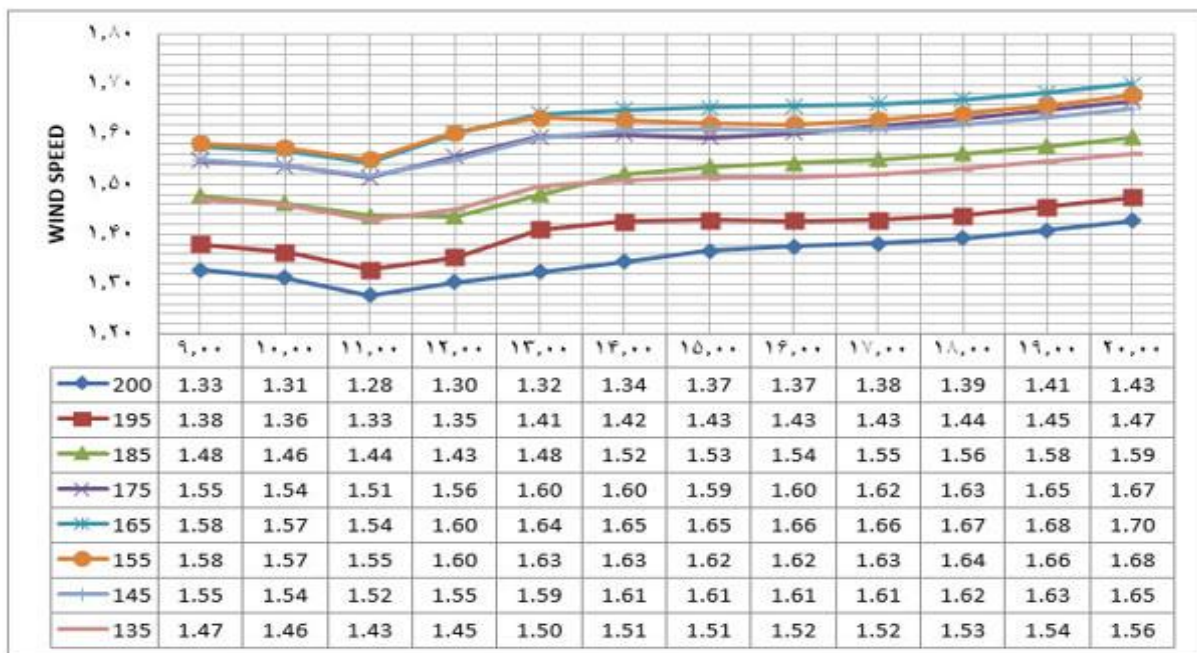
نتایج تحقیق نشان می‌دهد، در فصل زمستان با افزایش نسبت ارتفاع ساختمان‌ها به فاصله میان آنها، در تمامی ساعات، سرعت وزش باد نیز افزایش می‌یابد. بطوریکه، میانگین سرعت باد در ارتفاع‌های محاسبه شده از سطح زمین، در نسبت ارتفاع به فاصله ساختمان‌ها ۰,۵ به همان نسبت در ۲ در حدود ۰,۵ متر بر ثانیه کمتر می‌باشد. در نتیجه

می‌رسند، سرعت باد روند نزولی پیدا می‌کند. به عنوان مثال در ساعت چهار بعد از ظهر و در ارتفاع ۱,۵ متری از سطح زمین در جهت گیری ۲۰۰° سرعت باد برابر با ۱,۳۷ متربرثانیه می‌باشد و رفته رفته با تغییر پادساعتگرد بلوکها سرعت باد روند افزایشی پیدا می‌کند و در زاویه ۱۶۵° به سرعت ۱,۶۶ متربرثانیه می‌رسد و دوباره با چرخش بلوکها سرعت باد کاهش میابد و در زاویه ۱۳۵° به عدد ۱,۵۲ متربرثانیه میرسد. زوایای ۱۷۵° و ۱۴۵° در هر سه ارتفاع بررسی شده از سطح زمین، شرایط تقریباً مشابهی دارند، بطوری‌که در اکثر ساعات سرعت باد یکسان بوده و در ساعت ۳ و ۸ بعد از ظهر بیشترین اختلاف میان این دو زاویه مشاهده می‌شود و این مقدار اختلاف برابر با ۰,۰۲ متربرثانیه می‌باشد. همچنین جهت‌گیری‌های ۱۵۵° و ۱۶۵° در ساعات اولیه روز (۹ صبح الی ۱ بعد از ظهر)، جهت‌گیری‌های ۱۸۵° و ۱۳۵° وضعیت مشابهی را به لحاظ تغییر سرعت باد در محیط ایجاد می‌کنند. در هر سه ارتفاع بررسی شده از سطح زمین و در تمامی جهت‌گیری‌های بلوک‌های ساختمانی، سرعت باد تا ساعت ۱۱ صبح روند

کرده‌اند مانند پژوهش صورت گرفته در اقلیم گرم و خشک موروکو (Johansson et al., 2006)، معتدل ایتالیا (Martinelli and Matzarakis, 2017) اتفاق نظر دارد. با اینحال پژوهش‌های متعددی وجود دارد که این نسبت را در اقلیم‌های متفاوت بررسی کرده‌اند و از آنجا که در این پژوهشها در پی یافتن راه حلی در فصول گرم بوده‌اند، افزایش عامل H/W را مناسب منطقه می‌دانند. پژوهش‌های همچون اقلیم گرم و مرطوب (عینی و تابان ۱۳۹۸، Jamei Nasrollahi et and Rajagopalan, 2017)، گرم و خشک (Nasrollahi et al., 2017)، و ... که افزایش نسبت H/W مناسب برای شرایط محیطی در فضای باز می‌دانند.

تاثیر زوایای مختلف بر میانگین سرعت باد

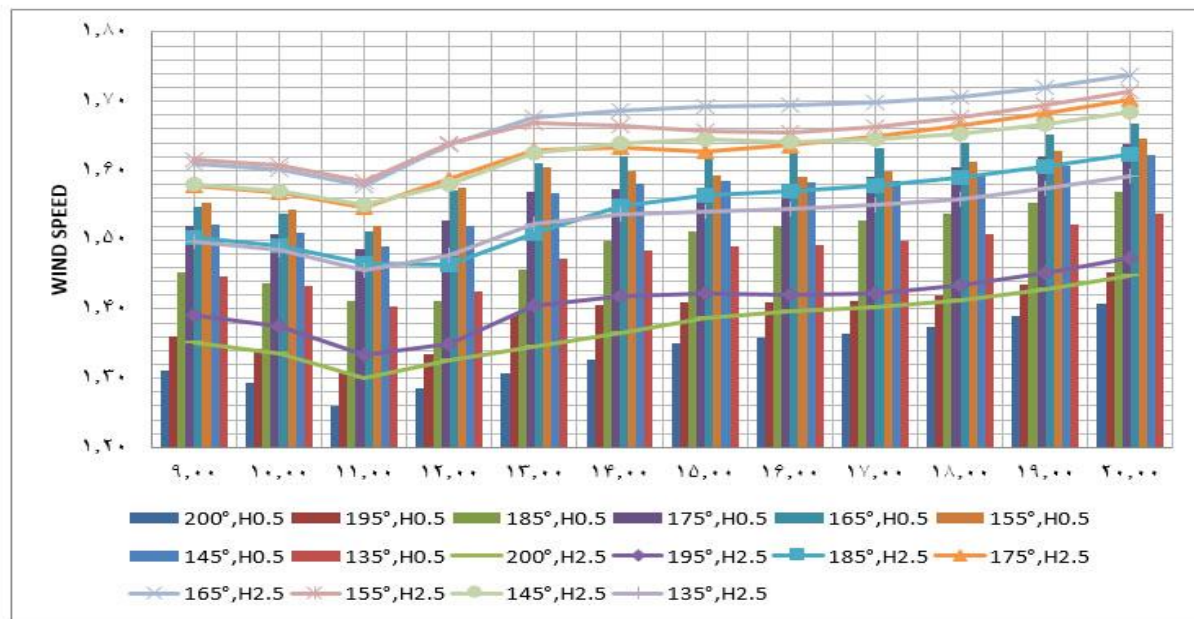
شکل‌های ۹ و ۱۰ نشان می‌دهند، کمترین میانگین سرعت باد در زاویه ۲۰۰° و ۱۹۵° بوقوع پیوسته است. همچنین زوایای ۱۳۵° و ۱۸۵° نیز نسبت به سایر زوایا، سرعت باد کمتری دارند. در حالت کلی، با چرخش پادساعتگرد بلوک‌های ساختمانی از زاویه ۲۰۰° به سایر زوایا سرعت باد افزایش میابد و زمانیکه بلوک‌ها به زاویه ۱۶۵°



شکل ۹: نمودار میانگین سرعت باد در چهار رسیپتور مذکور در زوایای ۱۳۵ درجه الی ۲۰۰ درجه از ساعت ۹ صبح الی ۸ بعد از ظهر در ارتفاع ۱,۵ متری از سطح زمین، منبع: نگارندگان

مشابهی را دارند و شرایط مطلوبی را در سایت ایجاد کرده‌اند. سرعت باد در جهت‌گیری 165° نسبت سایر جهت‌گیری‌ها بیشترین می‌باشد. در تمامی جهت‌گیری‌ها، سرعت باد در سمت شرقی بیشترین مقدار است و در میانه‌های سایت و سمت غربی سرعت باد کاهش یافته است (شکل ۱۱).

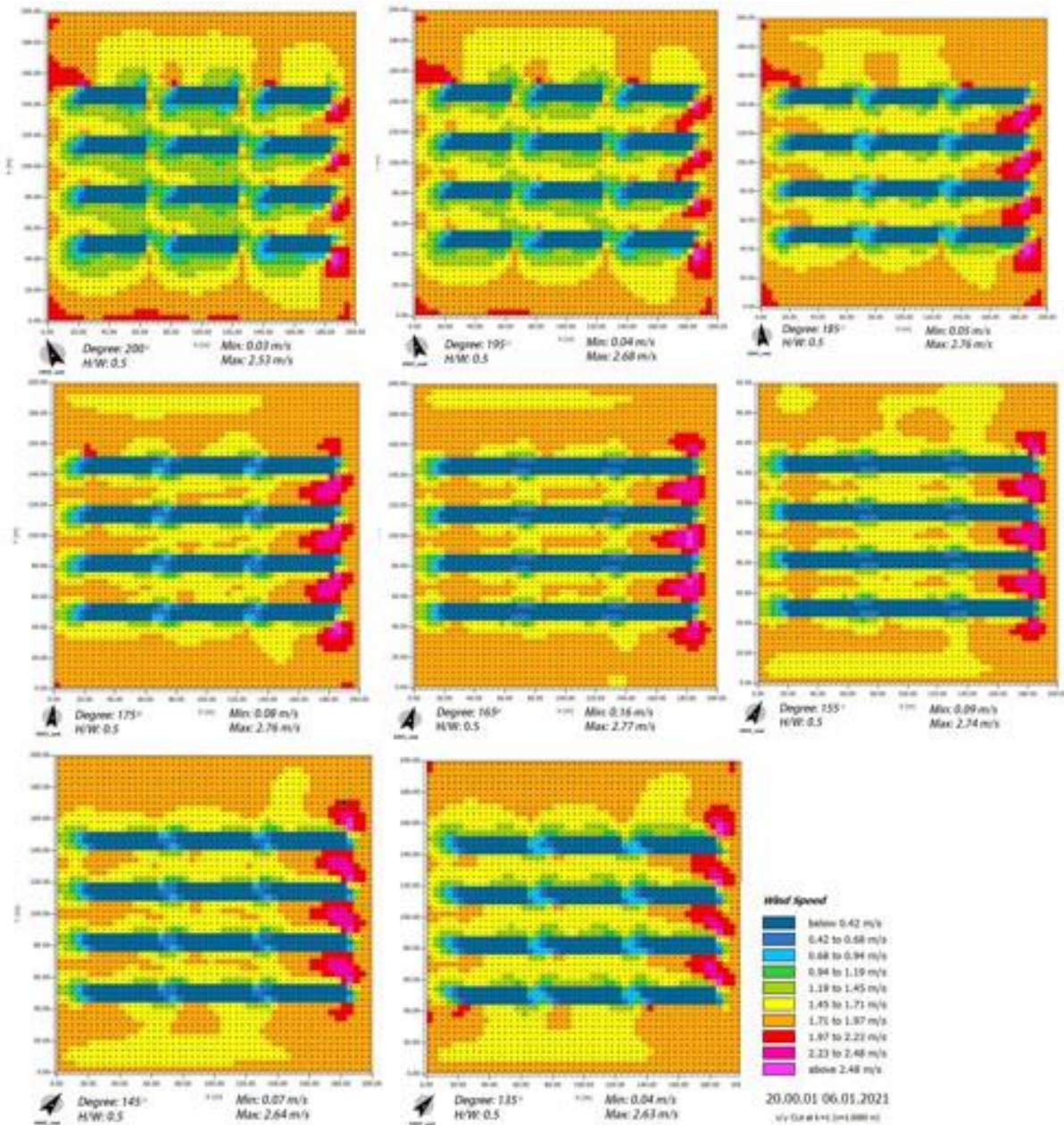
نزولی داشته و دوباره روند صعودی پیدا می‌کند و در ساعت ۸ شب به بیشترین مقدار میرسد. تصاویر استخراج شده از نرم‌افزار در ساعت ۸ شب و در ارتفاع ۱٫۵ متری از سطح زمین نیز نشان می‌دهد، زوایای 200° و 195° شرایط مشابهی در سایت ایجاد کرده و در میانه‌های سایت سرعت باد کمتری دارند. همچنین زوایای 185° و 135° شرایط



شکل ۱۰: نمودار میانگین سرعت باد در چهار رسیپتور مذکور در زوایای 135° الی 200° درجه از ساعت ۹ صبح الی ۸ بعد از ظهر در ارتفاع ۰٫۵ و ۲٫۵ متری از سطح زمین، منبع: نگارندگان

گرفته است (Achour- Younsi and Kharrat, 2016, Martins et al., 2012, Nasrollahi et al., 2017, Taleghani et al., 2015, Hegazy and Qurnfulah, 2020). پژوهش‌های صورت گرفته در اقلیم نیمه‌گرمسیری آب و هوای مدیترانه تونس در تابستان (Achour-Younsi and Kharrat, 2016)، نیمه خشک گرمسیری برزیل (Martins et al., 2012)، آب و هوای معتدل هلند در تابستان (Taleghani et al., 2015)، آب و هوای بسیار سرد چین (Liu et al., 2019) و ... جهت شمالی- جنوبی (N-S) را مناسب‌ترین جهت‌گیری میدانند. Hegazy و Qurnfulah (۲۰۲۰) چهار جهت 10° ، 160° ، 70° درجه ساعتگرد از شمال را در صورت میدانی در اقلیم گرم و خشک عربستان مقایسه کرده و 160° درجه ساعتگرد از شمال را مناسب‌ترین گزینه می‌دانند. همچنین پژوهش‌های صورت گرفته در آب

تحقیقات متعددی در این زمینه صورت گرفته است، Jin, Oke و همکاران به این نتیجه رسیده‌اند که در الگوی خطی زاویه جهت باد و آکس بلوک‌ها با سرعت باد رابطه عکس دارند. بطوری‌که هرچه قدر زاویه میان جهت وزش باد و آکس بلوک‌ها بیشتر می‌شود، سرعت باد کاهش می‌یابد (Oke, 1988, Jin et al, 2017). در این تحقیق نیز با توجه به اینکه جهت باد از سمت شمال شرق می‌وزد بهترین زوایا، زوایایی می‌باشند که آکس بلوک‌ها با جهت وزش باد کمترین زاویه را دارند. در رابطه با جهت‌گیری بنا، چهار جهت اصلی شرقی- غربی (E-W)، شمالی- جنوبی (N-S)، شمال شرقی- جنوب غربی (NE-SW)، شمال غربی- جنوب شرقی (NW-SE) و یا زوایا و جهت‌گیری‌های مختلف مورد بررسی قرار



شکل ۱۱: نحوه توزیع سرعت باد در زوایای مختلف، در ساعت ۸ عصر در ارتفاع ۱,۵ متری از سطح زمین، منبع: نگارندگان

مساعدی را در سایت ایجاد کرده و زوایای 145° ، 155° ، 165° و 175° میانگین سرعت باد بیشتری دارند و سبب بوجود آمدن شرایط نامطلوب در محیط می شوند.

بحث و نتیجه گیری

تحقیق حاضر در پی ارزیابی سرعت باد به عنوان یکی از مهمترین عوامل تاثیرگذار بر شرایط آسایش حرارتی در اطراف بلوکهای مسکونی در گونه خطی می باشد. با فرض

و هوای سرد چین (Lin et al., 2019) جهت شمال غربی - جنوب شرقی (NW-SE) مناسب می دانند. Nasrollahi و همکاران (۲۰۱۷) جهت جنوبی در اقلیم گرم و خشک شیراز را مناسب طراحی در فصلهای تابستان و زمستان می دانند. در تحقیق حاضر، که به بررسی هشت زاویه با اختلاف زوایای 10° درجه، در جهت گیری های مذکور پرداخته شده است، نشان می دهد، زوایای 200° ، 195° ، 145° ، 135° میانگین سرعت باد کمتری داشته لذا شرایط

دانست. همچنین در رابطه با جهت‌گیری بلوک‌ها نشان می‌دهد، میانگین سرعت باد در جهت‌گیری‌های 135° ، 200° ، 195° و 185° به نسبت سایر جهت‌گیری‌ها کمتر بوده و در جهت‌گیری 165° بیشترین مقدار می‌باشد. لذا جهت‌گیری‌های 200° تا 185° و جهت‌گیری 135° مناسب‌ترین جهت‌گیری برای طراحی بلوک‌ها در منطقه مورد مطالعه می‌باشند. در این تحقیق به بررسی کالبد کلی بنا در دو عامل ارتفاع و فاصله ساختمان‌ها و جهت‌گیری آنها در گونه خطی پرداخته شد. از جمله محدودیت‌های تحقیق می‌توان به این مطلب اشاره کرد که صرفاً شرایط آسایش در محیط بیرونی و محیط پیرامونی ساختمان‌ها مورد بررسی قرار گرفته است. لذا در تحقیقات بعدی می‌توان به بررسی آسایش میان ساختمان‌ها و نحوه قرارگیری آنها در جهت مصرف کمتر انرژی در داخل ساختمان‌ها پرداخته شود.

یادداشتها

- 1 Height to Width
- 2 WCET (Wind Chill Equivalent Temperature)
- 3 Navier–Stokes
- 4 Boussinesq–Approximation

اینکه ارتفاع، فاصله و جهت‌گیری بلوک‌ها از جمله مهمترین عواملی هستند که میتوانند سرعت باد را تحت تاثیر قرار دهند. در این تحقیق اقلیم خشک با تابستان‌های نسبتاً گرم و زمستان‌های سرد، به عنوان منطقه مورد پژوهش انتخاب شد تا بتوان به پاسخی بهینه برای این اقلیم دست یافت. با استفاده از شاخص پنواردن، و مقایسه دما و سرعت باد، ماه‌هایی از سال که بدترین شرایط آسایشی را دارند، شناسایی شد. فصل زمستان و دی ماه، به عنوان فصل و ماهی که نیاز به بررسی دقیق‌تر در جهت بهبود شرایط محیطی می‌باشد، انتخاب شد. با بررسی میزان تغییراتی که در میانگین سرعت باد، در ارتفاعهای 0.5 ، 1.5 ، 2.5 متری از سطح زمین، در تغییر نسبت H/W ایجاد می‌شود، می‌توان به این نتیجه رسید که در فصل زمستان، با افزایش نسبت H/W، در اکثر ساعات روز میانگین سرعت باد، روند صعودی دارند. روند صعودی شاخص بررسی شده در تغییر نسبتها سیر یکسانی نداشته و با تغییر نسبت از 0.5 به 1 کمترین مقدار می‌باشد. لذا میتوان نسبت‌های ارتفاع به فاصله بلوک‌ها در نسبت‌های 0.5 تا 1 را مناسب‌ترین نسبت

فهرست منابع

- Achour-Younsi, S., & Kharrat, F. (2016). Outdoor thermal comfort: impact of the geometry of an urban street canyon in a Mediterranean subtropical climate—case study Tunis, Tunisia. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 216, 689-700.
- Ashrae, A.H.-F., 1997. American Society of Heating, Refrigerating and Air- Conditioning Engineers. Inc. Atlanta.
- Eyni, A., & Taban, M. (2019). Evaluation of the effect of physical structure on the wind flow pattern in urban environments (case study: Siyah-Poshan and Gozare Shahi neighborhoods in Ghaleh district of Dezful). *Environmental Sciences*, 17(2), 155-172.
- Hegazy, I. R., & Qurnfulah, E. M. (2020). Thermal comfort of urban spaces using simulation tools exploring street orientation influence of on the outdoor thermal comfort: a case study of Jeddah, Saudi Arabia. *International Journal of Low-Carbon Technologies*, 15(4), 594-606.
- Jamei, E., & Rajagopalan, P. (2017). Urban development and pedestrian thermal comfort in Melbourne. *Solar Energy*, 144, 681-698.
- Javanroodi, K., Mahdavinejad, M., & Nik, V. M. (2018). Impacts of urban morphology on reducing cooling load and increasing ventilation potential in hot-arid climate. *Applied energy*, 231, 714-746.
- Jin, H., Liu, Z., Jin, Y., Kang, J., & Liu, J. (2017). The effects of residential area building layout on outdoor wind environment at the pedestrian level in severe cold regions of China. *Sustainability*, 9(12), 2310.

- Johansson, E. (2006). Influence of urban geometry on outdoor thermal comfort in a hot dry climate: A study in Fez, Morocco. *Building and environment*, 41(10), 1326-1338.
- Karimimoshaver, M., Hajivaliei, H., Shokri, M., Khalesro, S., Aram, F., & Shamshirband, S. (2020). A model for locating tall buildings through a visual analysis approach. *Applied Sciences*, 10(17), 6072.
- Karimimoshaver, M., & Shahrak, M. (2022). The effect of height and orientation of buildings on thermal comfort. *Sustainable Cities And Society*, 79, 103720. doi: 10.1016/j.scs.2022.103720
- Karimimoshaver, M., Khalvandi, R., & Khalvandi, M. (2021). The effect of urban morphology on heat accumulation in urban street canyons and mitigation approach. *Sustainable Cities And Society*, 73, 103127. doi: 10.1016/j.scs.2021.103127
- Kasmaei, M. (2003), *Climate and architecture*, Khak
- Kim, H., Lee, K., & Kim, T. (2018). Investigation of pedestrian comfort with wind chill during winter. *Sustainability*, 10(1), 274.
- Lawson, T. V., & Penwarden, A. D. (1975). The effects of wind on people in the vicinity of buildings. 4th Int. In *Conf. Wind Effects on Buildings and Structures, Heathrow*.
- Lin, Y., Jin, Y., & Jin, H. (2019). Field study on the microclimate of public spaces in traditional residential areas in a severe cold region of China. *International journal of environmental research and public health*, 16(16), 2986.
- Liu, Z., Jin, Y., & Jin, H. (2019). The effects of different space forms in residential areas on outdoor thermal comfort in severe cold regions of China. *International journal of environmental research and public health*, 16(20), 3960.
- Martinelli, L., & Matzarakis, A. (2017). Influence of height/width proportions on the thermal comfort of courtyard typology for Italian climate zones. *Sustainable Cities and Society*, 29, 97-106.
- Martins, T. A. T. H. I. A. N. E., Adolphe, L., & Krause, C. L. Á. U. D. I. A. (2012, November). Microclimate effects of urban geometry on outdoor thermal comfort in the Brazilian tropical semi-arid climate. In *Conference opportunities, limits e needs towards and environmentally responsible architecture*.
- Masnavi, M. R., Laghai, H. A., & Ghobadi, N. (2012). Eco design and the optimization of passive cooling ventilation for energy saving in the buildings: a framework for prediction of wind environment and natural ventilation in different neighborhood patterns. In *Design for innovative value towards a sustainable society* (pp. 177-182). Springer, Dordrecht.
- Metje, N., Sterling, M., & Baker, C. J. (2008). Pedestrian comfort using clothing values and body temperatures. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 96(4), 412-435.
- Müller, N., Kuttler, W., & Barlag, A. B. (2014). Counteracting urban climate change: adaptation measures and their effect on thermal comfort. *Theoretical and applied climatology*, 115(1), 243-257.
- Nasrollahi, N., Hatami, M., Khastar, S. R., & Taleghani, M. (2017). Numerical evaluation of thermal comfort in traditional courtyards to develop new microclimate design in a hot and dry climate. *Sustainable Cities and Society*, 35, 449-467.
- Oke, T. R. (1988). Street design and urban canopy layer climate. *Energy and buildings*, 11(1-3), 103-113.
- Penwarden, A. D., & Wise, A. F. E. (1975). *Wind environment around buildings*. HM Stationery Office.
- Rozati, S. H., & Ghanbaran, A. (2014). Comfort Evaluation in Urban Open Spaces Based on Wind Comfort Criteria, Case Study: Isfahan. *Environmental Sciences*, 12(4).

- Shui, T., Liu, J., Yuan, Q., Qu, Y., Jin, H., Cao, J., & Chen, X. (2018). Assessment of pedestrian-level wind conditions in severe cold regions of China. *Building and environment*, 135, 53-67.
- Taleghani, M., & Berardi, U. (2018). The effect of pavement characteristics on pedestrians' thermal comfort in Toronto. *Urban climate*, 24, 449-459.
- Taleghani, M., Kleerekoper, L., Tenpierik, M., & Van Den Dobbelsteen, A. (2015). Outdoor thermal comfort within five different urban forms in the Netherlands. *Building and environment*, 83, 65-78.
- Wang, Y., & Akbari, H. (2016). The effects of street tree planting on Urban Heat Island mitigation in Montreal. *Sustainable Cities and Society*, 27, 122-128.
- Wise, A. F. E. (1971). Effects due to groups of buildings. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series A, Mathematical and Physical Sciences*, 269(1199), 469-485.