

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۸۹/۰۹/۲۲

تاریخ پذیرش نهایی: ۱۳۹۰/۰۳/۱۲

راضیه رضازاده<sup>۱</sup>، عماد آقاجان بیگلو<sup>۲</sup>

## الگوی پیشنهادی برای توده‌گذاری در قطعات مسکونی ردیفی بررسی تطبیقی دو الگوی توده‌گذاری در بلوک‌های مسکونی با معیار آسایش حرارتی<sup>۳</sup>

### چکیده

در نیم قرن اخیر، به‌ویژه در شهرهای بزرگ و کلان‌شهرهای کشور، بر اثر تغییر شکل سازمان فضایی خانه به انواع مسکن‌های چندخانواری متراکم، الگویی در توده‌گذاری بنا درون قطعه رواج یافته است؛ بدین ترتیب که توده ساختمانی در شمال و حیاط در جنوب قطعه ساخته می‌شود. به سبب گسترده‌گی و فراگیر شدن این الگو در کشور، می‌توان از آن به‌عنوان بخشی از سنت جدید شهرسازی در کشور یاد کرد. این در حالی است که بر اثر افزایش تراکم و نسبت سطوح ساختمانی، بخشی از توان خودپالایی محیط شهری از آن سلب شده و ساختمان‌سازی در اقلیم‌های مختلف با شرایط ناسازگار با اقلیم رواج یافته است. اکنون که بسیاری از شهرها در جست‌وجوی راه‌حلهایی برای فشردگی و تراکم هر چه بیشتر هستند، نقصان‌های الگوهای پیشین برجسته‌تر شده است و نیاز به یافتن راه‌حلهایی برای اصلاح وضع موجود، مردم فزاینده‌تر و بیشتر احساس می‌شود. در تحقیق حاضر، الگویی برای توده‌گذاری قطعات مسکونی پیشنهاد شده است که برحسب معیار آسایش حرارتی، مناسب‌تر از الگوی موجود است و در انطباق با شرایط موجود می‌تواند تحقق‌پذیر باشد. در این مقاله، نشان داده می‌شود که با تغییر الگوی توده‌گذاری در یک بلوک مسکونی، احساس آسایش حرارتی نیز دچار تغییراتی گسترده می‌گردد. همچنین، متغیرهایی چون دمای متوسط تابشی، دمای هوا، رطوبت نسبی و سرعت و جهت باد در فضای بین توده‌ها - که مستقیم یا غیرمستقیم در ایجاد احساس آسایش حرارتی مؤثرند - مورد بررسی قرار گرفته‌اند. برای سنجش این متغیرها، از مدل ENVI-met و نرم‌افزارهای Leonardo و Xtract برای خروجی گرفتن از ENVI-met به صورت داده‌های گرافیکی و عددی استفاده شده است.

**کلیدواژه‌ها:** آسایش حرارتی، توده‌گذاری، جریان هوا، دمای هوا، مدل ENVI-met، دمای متوسط تابشی.

<sup>۱</sup> دانشیار گروه شهرسازی، دانشگاه علم و صنعت ایران، شهر تهران، استان تهران (نویسنده مسئول)  
E-mail: rezazadeh@iust.ac.ir

<sup>۲</sup> کارشناس ارشد طراحی شهری، دانشگاه علم و صنعت ایران، شهر تهران، استان تهران  
E-mail: emadaghajan@gmail.com

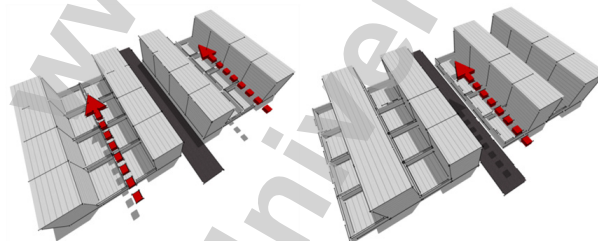
<sup>۳</sup> این مقاله برگرفته از پایان‌نامه کارشناسی ارشد طراحی شهری عماد آقاجان بیگلو با عنوان «یک رویکرد کمی به طراحی شهری: بررسی تطبیقی الگوهای توده‌گذاری در بلوک‌های مسکونی»، به راهنمایی دکتر راضیه رضازاده در دانشگاه علم و صنعت ایران است.

## مقدمه و چارچوب نظری

در سال‌های اخیر، با مطرح شدن مباحث مربوط به گرمایش زمین و تغییرات اقلیمی ناشی از آن، آسایش حرارتی در زیست‌بوم از حالت مسئله و معضل، به نگرانی‌ای فراگیر تبدیل شده است. حال، چنانچه به محیط شهری به مثابه اکوسیستم نگریسته شود، برداشتن هر گامی به سوی پایداری زیست‌بوم، - ولو خردمقیاس - دامنه تأثیری گسترده در سرتاسر سیستم طبیعی محله، شهر، منطقه و حتی کره زمین خواهد داشت. توده‌های ساختمانی از اجزای جدایی‌ناپذیر اکوسیستم شهری و - به طریق اولی - مؤلفه‌ای تأثیرگذار بر خرداقلیم و آسایش حرارتی به شمار می‌آیند. بنابراین، نحوه آرایش توده‌ها - یا اصطلاحاً توده‌گذاری - می‌تواند سهم عمده‌ای در تنظیم شرایط محیط داشته باشد. این تحقیق بر مبنای مقایسه دو الگوی توده‌گذاری است که یکی از آنها نمایان‌گر وضعیت موجود است، و دیگری الگویی است پیشنهادی. بررسی تطبیقی این دو الگو بر اساس داده‌های کمی، که از مدل‌های ریاضی به‌دست آمده‌اند، نقاط قوت و ضعف هر یک را بهتر و بیشتر آشکار خواهد ساخت.

## معرفی الگوهای مورد بررسی

منظور از الگوی موجود، وضعیت رایج توده‌گذاری در بلوک‌های مسکونی واقع در بافت شطرنجی منظم است. شبکه‌های شطرنجی منظم عموماً در دو نوع راستا گسترش می‌یابند: یکی راستای شرقی - غربی یا شمالی - جنوبی است؛ و دیگری راستای شمال‌غربی - جنوب شرقی یا شمال‌شرقی - جنوب‌غربی. در این تحقیق، نوع نخست و بلوک‌هایی که در راستای شرقی - غربی امتداد دارند، در نظر است. در بسیاری از مناطق مسکونی تهران - مانند نارمک، گیشا، امیرآباد، جنت‌آباد و برخی دیگر - می‌توان این الگو را مشاهده کرد. همان‌گونه که در شکل ۱ مشخص است، در الگوی موجود، در قطعات جنوب معبر محل استقرار توده متصل به معبر است؛ ولی در قطعات شمالی، حیات حدفاصل معبر و توده ساختمانی است.



شکل ۱. شمالی کلی از الگوی موجود (سمت راست)، و الگوی پیشنهادی (سمت چپ)

منبع: نگارندگان

در طرح‌ریزی الگوی پیشنهادی کوشش شده است تا بدون دخل و تصرف در حدود و ثغور مرزهای مالکیتی، و با حداقل تغییر شکل کالبدی، الگویی ارائه شود که با اوضاع و شرایط موجود و حتی با ضوابط پهنه‌بندی طرح‌های فرادست، سازگاری داشته باشد. الگوی پیشنهادی به‌صورت کلی با جابه‌جا کردن توده در قطعات شمالی و اتصال آن به خیابان به‌دست می‌آید. همان‌گونه که شکل ۱ نشان می‌دهد، در الگوی پیشنهادی حیات‌ها در قطعات پشت به پشت به یکدیگر متصل شده‌اند و در واقع توده‌های ساختمانی فضای خیابان را تعریف می‌کنند. مشخصات مشابه و متفاوتی که برای هر یک از الگوها در شبیه‌سازی در نظر گرفته شده، مطابق جدول‌های ۱ و ۲ است.

جدول ۱. مواردی که در شبیه‌سازی هر دو الگوی یکسان در نظر گرفته شده‌اند

عرض بنا (متر)	ارتفاع بنا (متر)	تعداد طبقات	طبقه همکف	عرض معبر (متر)	مساحت قطعات (مترمربع)	تعداد قطعات در هر ردیف
۸	۱۴/۲۰	۵	پیلوت	۱۶	۲۰۰	۱۲

منبع: نگارندگان

جدول ۲. موارد مغایرت الگوها در شبیه‌سازی

مغایرت	الگوی موجود	الگوی پیشنهادی
تراکم ساختمانی	۲۴۰ درصد	۲۰۰ درصد
عمق بنا در طبقات روی همکف	۱۵ متر	۱۲/۵ متر
ارتفاع دیوار جداکننده حیاط	۲/۲۰ متر	۱/۵ متر
نسبت سطح پوشش گیاهی	۶۸/۷۵ درصد	۱۰۰ درصد

منبع: نگارندگان

## تعاریف و مفاهیم اولیه

آسایش حرارتی بر اساس تعاریف آن بهتر شناخته می‌شود:

- آسایش حرارتی عبارت است از احساس رضایت فرد از محیطی مشخص. آسایش گرمایی نزد افراد گوناگون متفاوت است و بنابراین حالتی شخصی دارد، و غیر از وجوه فیزیولوژیکی، جنبه‌های روان‌شناختی را نیز در بر می‌گیرد. محدودیت‌های آسایش گرمایی همگام با درجه سازگاری با محیط روانی - اجتماعی و اقلیم تغییر می‌کنند. به منظور احساس راحتی می‌بایست دمای درونی بدن در گستره محدود  $37^{\circ} - 36.5^{\circ}$  نگه‌داشته شود. فرایندهای سوخت‌وساز بدن موجب گرما می‌شوند و بدن باید برای حفظ دمای پایدار درونی، این گرما را از دست بدهد (کسمایی، ۱۳۸۷، ۱۴).
- آسایش حرارتی انسان به موقعیتی اطلاق می‌شود که انسان از نظر ذهنی و فکری در شرایط آسایش حرارتی قرار دارد. بسیاری از محققان فن را عقیده بر این است که خنثی بودن حرارتی تعبیر دقیق‌تری از آسایش حرارتی است، چرا که در چنین محیطی بدن انسان نه احساس سرما می‌کند و نه احساس گرما، و نه احساس ناراحتی موضعی ناشی از تابش نامتقارن، کوران هوا، کف سرد اتاق، لباس ناهمگون و جز اینها. حفظ آسایش حرارتی، از تعادل دما میان بدن و محیط اطراف ناشی می‌گردد (Watson & Labs, 2006, 25).
- با توجه به سابقه علمی طولانی‌تر معماری در مقایسه با طراحی شهری، بسیاری از پژوهش‌ها در این زمینه، روش‌ها و معیارهای سنجش آسایش حرارتی در فضاهای داخلی را به فضاهای باز بیرونی تعمیم داده‌اند؛ و بدین ترتیب صرفاً شاخص‌های دمای هوا، رطوبت جریان هوا را در نظر گرفته‌اند (Swaid & Hoffman, 1990, Coronel & Alvarez, 2001, Grund-).

اگرچه این روش‌ها هنوز مورد استفاده قرار می‌گیرند، اما رویکرد آنها عموماً نادرست است و تنها در شرایطی صدق می‌کند که دمای هوا تقریباً برابر با دمای متوسط تابشی<sup>۲</sup> باشد؛ یعنی اشعه تابشی وجود نداشته باشد و جریان هوا نیز بسیار ضعیف باشد (شرایط معمول فضاهای داخلی). این درحالی است که فضاهای باز واقعی چنین خصوصیتی ندارند. در روش‌های جدید زیست‌هواسنجی<sup>۳</sup> بر اهمیت برجسته اشعه تابشی بر تعادل گرمایی بدن انسان تأکید شده است. بر طبق این تحقیقات، «دمای متوسط تابشی می‌تواند تا ۳۰ درجه کلون بالاتر از دمای هوا در محیط‌های باز باشد و حتی در سایه نیز تفاوت آنها با توجه به پراکنش و بازتابش اشعه تا ۵ درجه کلون خواهد رسید» (Toudert, 2005, 80).

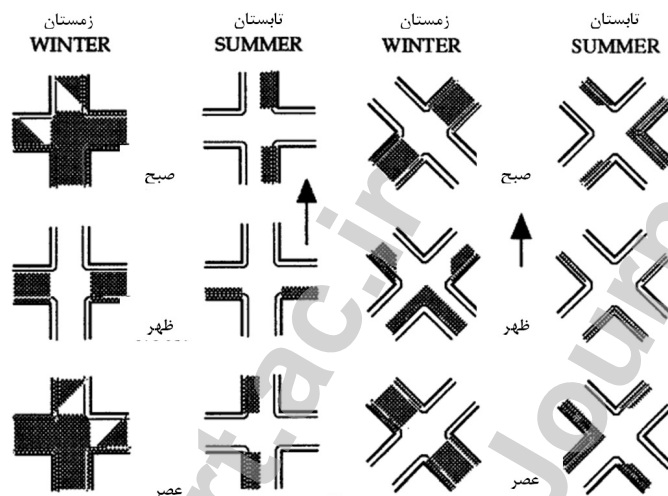
از این رو برای دستیابی به تعریفی گویا و موجز برای آسایش حرارتی، می‌توان چنین نتیجه گرفت که: ترکیب مطلوبی از دمای هوا، مقدار رطوبت نسبی، جریان هوا و دمای متوسط تابشی، محدوده مشخصی را به دست می‌دهد که بیشتر افراد در آن محدوده احساس آسایش می‌کنند. بنابراین صرف‌نظر از شرایط فرد به لحاظ وضعیت حرکتی (ایستاده، قدم‌زنان یا نشسته)، نوع پوشش، سن، جنس، میزان چربی زیر پوست و جز اینها، آنچه که شرایط محیط را به لحاظ آسایش حرارتی تبیین می‌کند، عموماً از برهم‌کنش چهار مؤلفه باد، دمای هوا، رطوبت و دمای متوسط تابشی ناشی می‌شود.

### ملاحظات اقلیمی در بافت شهری

تأثیرات عامل اقلیم در شکل‌گیری بافت‌های شهری و روستایی، در مطالعات چندی به اثبات رسیده است؛ به‌ویژه در نواحی‌ای با آب و هوای سخت و نامطبوع نظیر اقلیم گرم و خشک که بخش عمده فلات ایران را دربر می‌گیرد. مشکلات عمده‌ای که مردم نواحی گرم و خشک را به چاره‌جویی واداشته، از این دست بوده‌اند: «آفتاب سوزان و گرمای زیاد... نوسان حرارتی روزانه به‌ویژه در فصل تابستان، تابستان‌های خیلی گرم و زمستان‌های سرد، هوای خشک در نتیجه کم بودن بارندگی و کم‌آبی، و وجود طوفان‌های پر گرد و خاک» (توسلی، ۱۳۸۱، ۷۷). معماری ایران در مقام پاسخگویی به این مشکلات، در طول سده‌ها راه‌حل‌های متنوع و بوم‌محور فراوانی را ابداع یا اقتباس کرده است - مانند بادگیر، حیاط مرکزی، گودال باغچه و گنبد دوپوش و جز اینها- و به کمک‌شان به هم‌ساز کردن محیط سکونت با اقلیم پرداخته است. برای عناصر معماری، نحوه ترکیب توده‌های ساختمانی نیز در کاهش تنش‌های گرمایی تأثیری جدی داشته است. ترکیب فشرده و بسته و متراکم توده‌ها در بافت کهن شهرهای حاشیه کویر، نقش عمده‌ای در کم کردن تماس محدود آسایش (حدوداً ارتفاع یک متری از سطح زمین) با گرمای تابشی و ایجاد سایه ایفا می‌کرده است. به علاوه جهت‌گیری توده‌ها در قبال اشعه آفتاب به گونه‌ای بوده که کمترین تماس را با تابش از سمت غرب (یا کمترین سطح نمایان رو به آفتاب) باعث می‌شده است (توسلی، ۱۳۸۱، ۷۷).

راستای خیابان از دیگر شناسه‌های بافت شهری است که نقشی تعیین‌کننده در شرایط آسایش دارد. مطلوب‌ترین راستای خیابان از این منظر، راستای شمال‌غربی - جنوب‌شرقی و یا شمال‌شرقی - جنوب‌غربی است. این در حالی است که خیابان‌های دارای راستای شرقی- غربی ذاتاً برای ایجاد

محیطی هم‌ساز با اقلیم ناتوان‌اند؛ چرا که در این الگو، نحوه استقرار بلوک نسبت به تابش خورشید به گونه‌ای است که در زمستان، بیشترین سایه را بر فضاهای باز می‌افکند و در تابستان نیز بیشترین پرتو خورشیدی را به آنها می‌تاباند (Knowles, 1980, 214). به عبارت دیگر، این الگو نوعاً زمستان‌های تاریک و سرد و تابستان‌های آفتابی و گرم را در سطح خیابان سبب می‌شود (شکل ۲). الگوهای این تحقیق نیز بر اساس راستای شرقی- غربی شبیه‌سازی شده‌اند تا تفاوت‌ها را بهتر نشان دهند.



شکل ۲. الگوهای سایه‌اندازی با توجه به راستای خیابان: خیابان‌های شرقی غربی در زمستان تاریک و سرد هستند و در تابستان آفتابی و گرم

منبع: Knowles, 1980

### ملاحظات اقلیمی در حیاط‌های مسکونی

در الگوهای این تحقیق، جز خیابان، گونه دیگر فضای باز که در معرض تغییرات خرداقلیمی ناشی از توده‌گذاری قرار می‌گیرد، فضای باز خصوصی یا همان حیاط است. شرایط آسایش در حیاط به اندازه شرایط آسایش در خیابان اهمیت دارد و هر دو به یک میزان در شرایط دمای فضاهای بسته داخلی دارای نقش تعیین‌کننده‌اند. در حالی که معبر عمومی نوعاً به‌صورت قدم زدن یا دوچرخه‌سواری مورد استفاده قرار می‌گیرد؛ اما حیاط‌ها توان پذیرش نقش‌های متنوع‌تری را دارند و به سبب اینکه از ۵ طرف بسته هستند، دوام شرایط آسایش یا عدم آسایش در آنها بیشتر از معبر است.

پوشش سطوح نقش مؤثری در نحوه توزیع گرما در فضای حیاط دارد. حیاط‌ها به واسطه امکانی که برای کاشت توده‌ها و سطوح پوشیده از گیاه به‌وجود می‌آورند، می‌توانند در تأمین رطوبت نسبی و کاهش دمای هوا، به‌ویژه در نواحی گرم و خشک، تأثیری عمده داشته باشند. تفاوت دمای سطوح بین آسفالت و چمن می‌تواند تا ۴ درجه سلسیوس باشد. همین امر برای دمای هوا در محدوده یک متری بالای سطح زمین نیز صدق می‌کند و تفاوتی جدی (در حدود ۱/۶ درجه سلسیوس) خواهد داشت (Watson & Labs, 2006, 122). بنابراین، هر قدر که قابلیت افزایش سطوح سبز و نفوذپذیر در حیاط افزایش یابد، دستیابی به شرایط آسایش ساده‌تر خواهد بود. با توجه به اینکه در الگوی پیشنهادی، رامپ و مسیر عبور خودرو از داخل حیاط حذف می‌شود، امکان افزایش تراکم پوشش گیاهی در حیاط بیشتر از الگوی موجود است.

## مطالعات و بررسی‌ها

### مدل‌سازی کمی خرداقلیم شهری

عموماً مدل‌های اقلیمی شهری بر اساس مقیاس جغرافیایی دسته‌بندی می‌شوند؛ یعنی طیفی از مقیاس‌ها را - از چندین کیلومتر تا چند سانتیمتر - دربر می‌گیرند. بیشتر مدل‌هایی که برای اقلیم شهری تدوین شده‌اند، مثل گراس<sup>۱</sup> و میسن<sup>۲</sup> برای مقیاس‌های بزرگ به‌کار می‌روند، و به همین خاطر برای مقاصد برنامه‌ریزی شهری (مقیاس حدوداً ۱:۵۰۰۰) مناسب‌ترند تا مقیاس طراحی شهری (مقیاس حدوداً ۱:۵۰۰). مدل‌های خرداقلیم شهری بر اساس زمینه کالبدی و دقت دمایی و فضایی‌شان تفاوت دارند. در مقیاس خرد، مدل‌های سه‌بعدی جریان باد بیشترین بهره‌وری را دارند (Eichorn, 1989, Johnsson & Hunter, 1995)؛ اما چون دربرگیرنده تمام فرایندهای هیدرولوژیکی و دمایی و انرژی هستند، بسیار وقت‌گیرند. این مدل‌ها اغلب با پیش‌فرض گرفتن چند پارامتر و ایجاد محدودیت‌هایی برای اعمال برخی از پارامترهای دیگر، ساده‌سازی می‌شوند تا صرف زمان را کاهش دهند و مسائل پیچیده را آسان‌تر حل کنند. مدل‌های دیگری نیز وجود دارند که نوعاً طرح‌های جریان‌های گردابی را به‌کار می‌برند (Mills, 1993, Arnfield, 2000). مدل‌های دره‌های شهری<sup>۳</sup> جریان‌های انرژی را بر اساس شکل مقطع عرضی خیابان با بناهای هم‌شکل و هم‌ارتفاع، سطوح خشک، بدون پوشش گیاهی و بدون گرمای ذخیره شده در بافت مصالح ساختمانی پیش‌بینی می‌کنند (Herbert, Johnson, Arnfield, 1998). این مدل‌ها بیشتر دوبرعده‌اند تا سه‌بعدی. با این حال، در مدل‌هایی که مدل‌سازی سه‌بعدی جریان هوا و مدل‌سازی دوبرعده‌ی جریان حرارت با هم ترکیب می‌شوند، سرعت و دقت بیشتری دارند (Herbert et al., 1998). دیگر مدل‌ها تجربی‌ترند و بر اساس اطلاعات اندازه‌گیری شده و معادلات ریاضی مربوط به آنها تنظیم شده‌اند که آنها را برای مقاصد خاصی، بر حسب موقعیت مکانی متمایز می‌کند (Nunez & Oke, 1980). مدل‌هایی که بر اساس نرم‌افزار CAD کار می‌کنند، به دنبال این‌اند که صحنه سه‌بعدی شهری را شبیه‌سازی کنند. بدین ترتیب این مدل‌ها اختصاصاً به وسیله طراحان شهری به‌کار می‌روند (Teller & Azar, 2001, Asawa, 2004, Hoyano & Nakaohkubo, 2004) و یا وابستگی بین فضای درونی و بیرونی را بر حسب دسترسی به نور خورشید بررسی می‌کنند، که از آن جمله است مدل SOLENE (Groleau & Miguet, 1998, 46). در نهایت، یکی از مهم‌ترین جنبه‌های انتخاب هر مدل، خروجی‌های آن است. مدل‌های اقلیمی ممکن است طیفی از خروجی‌ها را، از پیش‌بینی تنها یک متغیر مانند دمای هوا (Swaid & Hoffman, 1990) گرفته، تا توصیف تفصیلی انواع مؤلفه‌های خرداقلیم همچون مدل ENVI-met، را شامل شوند<sup>۴</sup> (Arnfield, 2003, 50-68).

### مختصری درباره ساختار مدل ENVI-met

تمرکز این تحقیق بر محاسبه عوامل مؤثر بر آسایش حرارتی است - یعنی دمای هوا، جریان باد، رطوبت نسبی و دمای متوسط تابشی. به همین خاطر از میان مدل‌های موجود شبیه‌سازی خرداقلیم شهری، مدل ENVI-met که توانایی شبیه‌سازی مقادیر این شاخص‌ها را دارد، انتخاب و به‌کار گرفته شده است. امتیاز اصلی این مدل آن است که فعل و انفعالات اصلی جو را که بر اساس قوانین فیزیکی - مانند قوانین دینامیک سیالات و ترمودینامیک بر خرداقلیم تأثیرگذارند - شبیه‌سازی می‌کند (Bruse, 2009, 13). مدل ENVI-met امتیازات دیگری نیز دارد که انتخاب آن را به عنوان یکی از تکنیک‌های این پژوهش توجیه می‌کند:

۱. این مدل مجموعه عوامل خرداقلیمی را در درون چرخه‌ای روزانه (۲۴ ساعته) شبیه‌سازی،

و کلیه فرایندها را (شامل جریان باد، پرتو خورشیدی، دما و رطوبت) پیش‌بینی می‌کند. ۲. در این مدل می‌توان عناصر تشکیل‌دهنده محیط شهری را، که نوعاً ممکن است ساختار پیچیده‌ای داشته باشند، در نظر گرفت؛ که از این دست‌اند ساختمان‌ها با شکل‌ها و ارتفاع‌های گوناگون، یا برخی از جزئیات معماری مانند بالکن‌ها و فرم‌های هندسی نامنظم. پوشش گیاهی نه تنها به عنوان توده‌های متخلخل در برابر جریان باد و اشعه آفتاب بلکه با احتساب فرایندهای تبخیر و فتوسنتز نیز به‌کار برده می‌شود. جنس خاک نیز در این مدل در نظر گرفته شده است.

۳. دقت فضایی بالا (حدود ۰/۵ متر) و دقت زمانی بالا (حدود ۱۰ ثانیه) باعث شده است که درک تغییرات خرداقلیمی، به‌ویژه آنچه که به آسایش حرارتی در طول روز و شب مربوط می‌شود، آسان گردد.

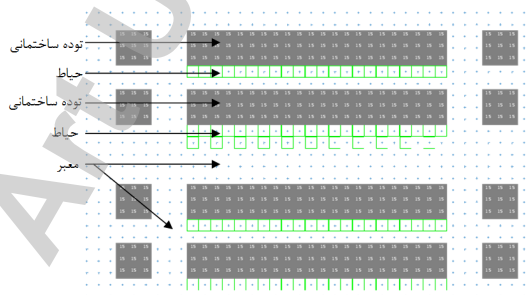
۴. حجم خروجی‌های این مدل در مقایسه با حجم داده‌های ورودی بسیار زیاد است. به عبارت دیگر، این مدل به ورودی‌های محدود نیاز دارد، اما خروجی‌های فراوانی را تولید می‌کند.

۵. یکی از مهم‌ترین متغیرهای مربوط به آسایش حرارتی در فضای باز - یعنی دمای متوسط تابشی - در این مدل اندازه‌گیری شدنی است.

البته در کنار این مزایا، لازم است به کاستی‌ها و معایب این مدل نیز اشاره کرد. از جمله می‌بایست حجم زیاد پردازش اطلاعات در این مدل را ذکر کرد که نه تنها وقت‌گیر است بلکه هرچه سطح جزئیات سه‌بعدی مدل از حد معمول بالاتر رود، پردازش اطلاعات مربوط به آن فقط از عهده ابررایانه‌ها برخواهد آمد.<sup>۸</sup>

### شبیه‌سازی در محیط ENVI-met

هر یک از الگوها در محیط سه‌بعدی ENVI-met شبیه‌سازی شدند. برای افزایش دقت محاسبات، قسمت‌هایی از اطراف بلوک نیز شبیه‌سازی شدند تا به‌ویژه یافته‌های مرتبط با جریان باد، صحت نسبتاً مطلوبی داشته باشند. شکل ۳ نمونه شبیه‌سازی شده الگوی موجود را نشان می‌دهد. برای نمای ساختمان‌ها آجر در نظر گرفته شده است و برای پوشش کف خیابان‌ها آسفالت، و برای حیاط‌ها از خاک و بتن - به تناسب نوع الگو - منظور شده است. به علاوه، ۳ گیرنده مجازی نیز برای دریافت اطلاعات تفصیلی‌تر در مورد شرایط حرارتی، به تفکیک در معبر، حیاط شمالی و حیاط جنوبی هر یک از الگوها کار گذاشته شده است.



شکل ۳: شبیه‌سازی الگوی موجود: قسمت‌های تیره، توده‌ها را نشان می‌دهند و مربع‌های سبز، پوشش گیاهی را نشان می‌دهند.

منبع: نگارندگان

## تنظیم شرایط مدل

داده‌های مقدماتی که برای فرایند مدل به آنها نیاز است در این مرحله وارد می‌شوند. این داده‌ها برحسب موقعیت جغرافیایی (در اینجا تهران)، شامل طول و عرض جغرافیایی، شرایط دمایی هوا، سرعت و راستای وزش باد، رطوبت ویژه و رطوبت نسبی در ارتفاع ۲ متری‌اند. با توجه به اینکه متغیرهای مؤثر بر آسایش حرارتی در طول سال و در سیکل یا چرخه روزانه تغییر می‌کنند، بدین خاطر در این تحقیق دو مقطع تقویمی - شامل زمستان (دی ماه) و تابستان (تیر ماه) - و همچنین دو مقطع زمانی - شامل صبح (۹:۰۰) و عصر (۱۷:۰۰) برای تابستان و (۱۵:۰۰) برای زمستان - مبنای شبیه‌سازی خرداقلیمی قرار گرفته‌اند. داده‌های ورودی که از ایستگاه هواسنجی مهرآباد تهران به دست آمده‌اند، مطابق با آخرین گزارش‌های سازمان هواشناسی کل کشورند که شرایط جوی سال ۲۰۰۵ میلادی در آنها ثبت شده است. این داده‌ها در جدول ۳ نشان داده شده‌اند.

جدول ۳. داده‌های هواسنجی سال ۱۳۸۶

متغیرها	تیرماه	دی‌ماه
دمای حداکثر (C°)	۳۶/۲	۷/۵
دمای حداقل (C°)	۲۳/۳	-۰/۷
متوسط دمای روزانه (C°)	۲۲/۵	۴/۶
رطوبت نسبی (درصد)	۲۷	۶۰
راستای وزش باد (درجه)	۱۳۵	۲۷۰
سرعت وزش باد (m/s)	۵/۷	۴/۴
راستای وزش عمودی (درجه)	۱۸۱	۲۴۴
سرعت وزش عمومی (m/s)	۱/۶	۲/۱
موقعیت جغرافیایی	Longitude: +51/25	Latitude: +35.42
منطقه ساعتی جهانی	GMT+3:39	

منبع: گزارش سالیانه سازمان هواشناسی کل کشور، ایستگاه مهرآباد

## یافته‌های پژوهش

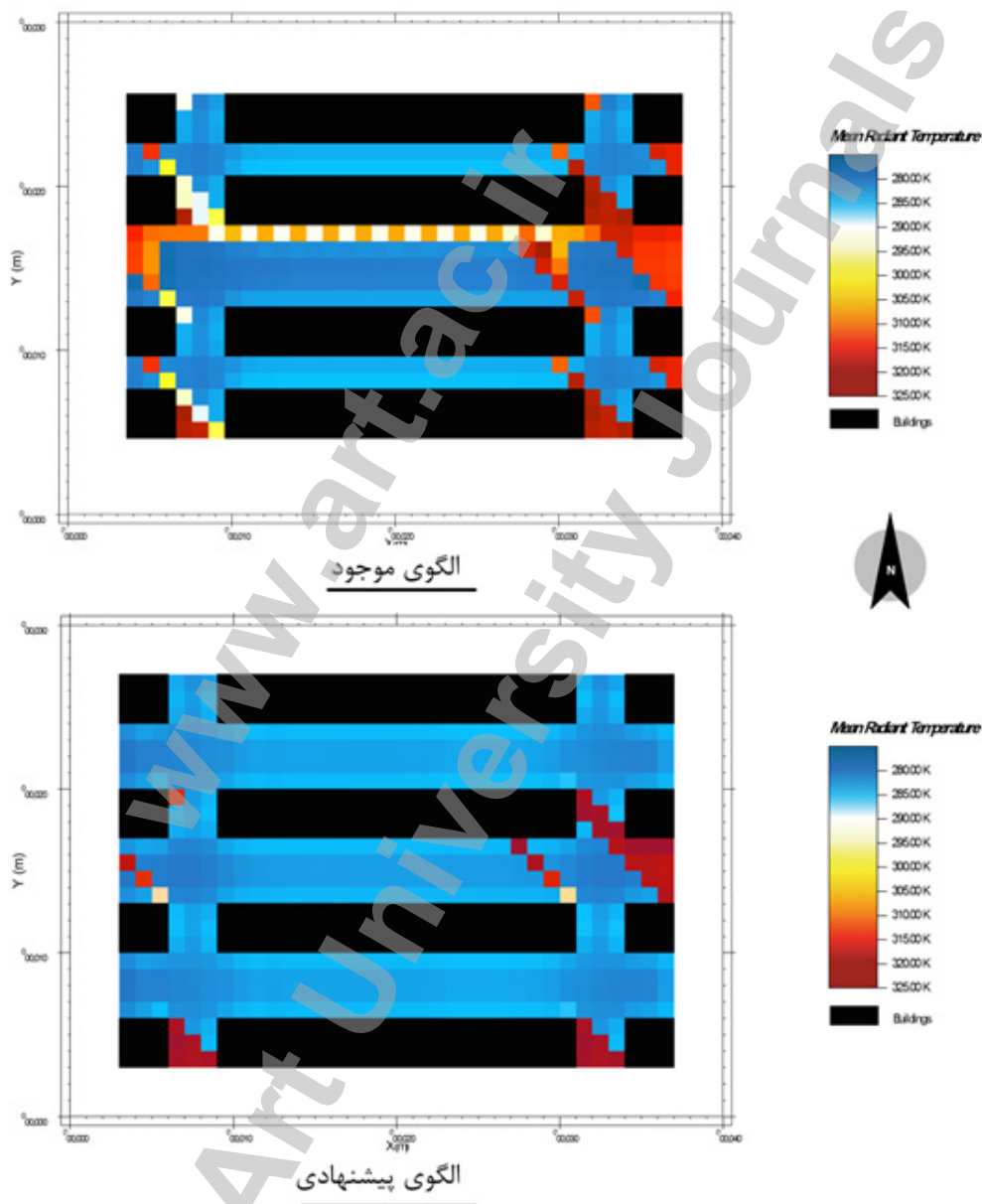
پس از اجرای مدل‌سازی، خروجی‌های مدل اقلیمی در قالب ارقام به کمک نرم‌افزار Xtract و در قالب نمایش گرافیکی به کمک نرم‌افزار Leonardo تهیه شدند که به تفکیک چهار مؤلفه مؤثر در ادامه آمده‌اند.

### دمای متوسط تابشی (برحسب کلوین)

توده‌های ساختمانی مهم‌ترین نقش را در تغییرات دمای تابشی دارند. بنابراین تغییرات دمای تابشی در طول روز بیشتر از دیگر متغیرهاست. در این تحقیق دمای متوسط تابشی برای دو مقطع زمانی صبح (ساعت ۹:۰۰) و عصر (ساعت ۱۵:۰۰) در زمستان، و صبح (ساعت ۹:۰۰) و عصر (ساعت ۱۷:۰۰) در تابستان، اندازه‌گیری شده است. مقایسه نقشه‌ها با یکدیگر نشان می‌دهد

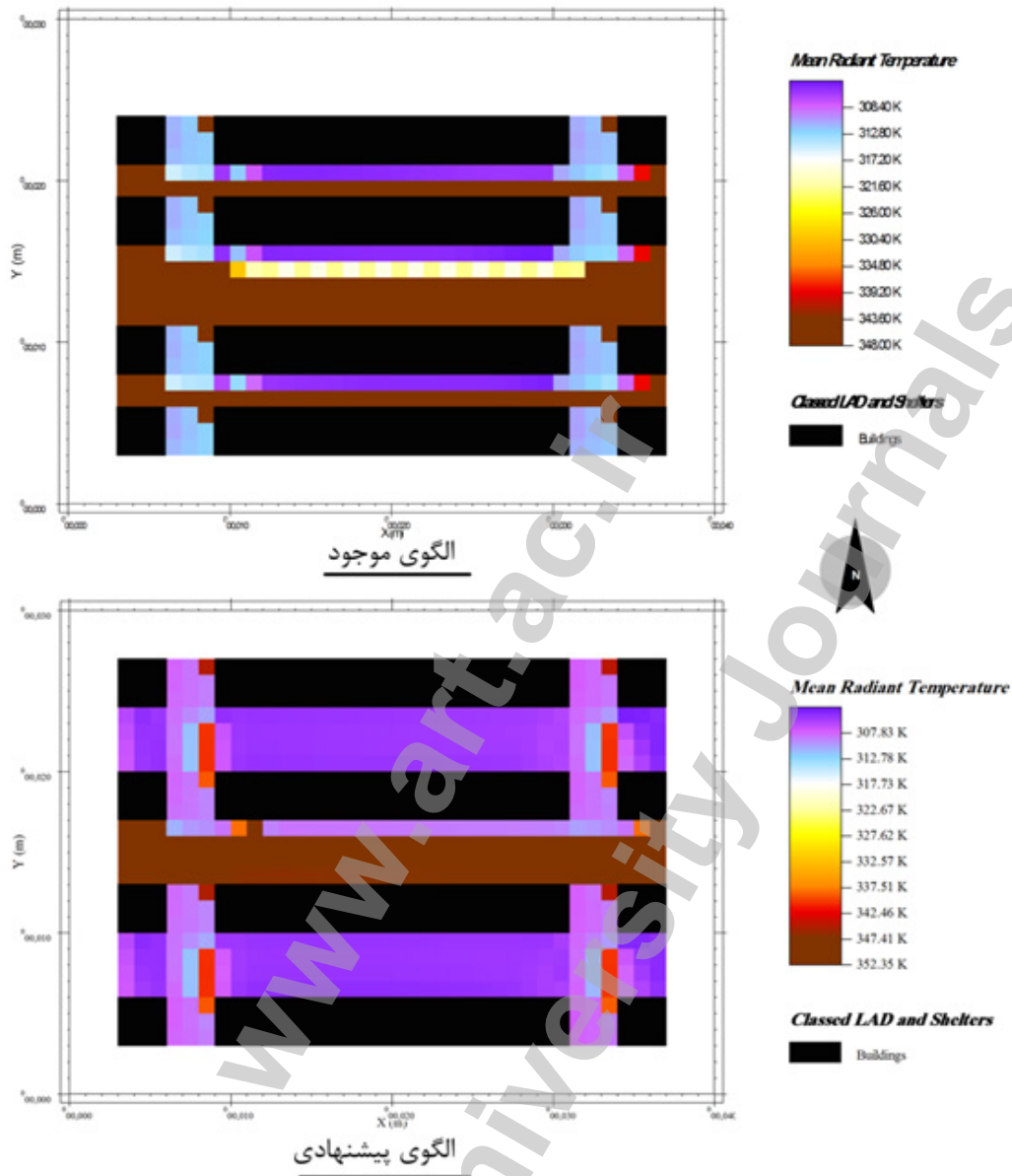


که تفاوتی عمده بین دمای متوسط تابشی الگوی موجود و پیشنهادی - چه در حیاطها و چه در خیابان - وجود دارد. دمای متوسط تابشی در حیاطهای شمالی الگوی موجود با نزدیک شدن به ظهر و عصر افزایش می‌یابد؛ اما حیاطهای جنوبی به دلیل عدم دسترسی به اشعه تابشی، تغییر چندان محسوسی نمی‌کنند. در الگوی پیشنهادی دمای تابشی توزیع نسبتاً متعادلی در معبر و حیاطها وجود دارد (شکل‌های ۴ و ۵).



شکل ۴. نحوه توزیع دمای متوسط تابشی در روز یکم دی ماه ساعت ۹ صبح

منبع: نگارندگان



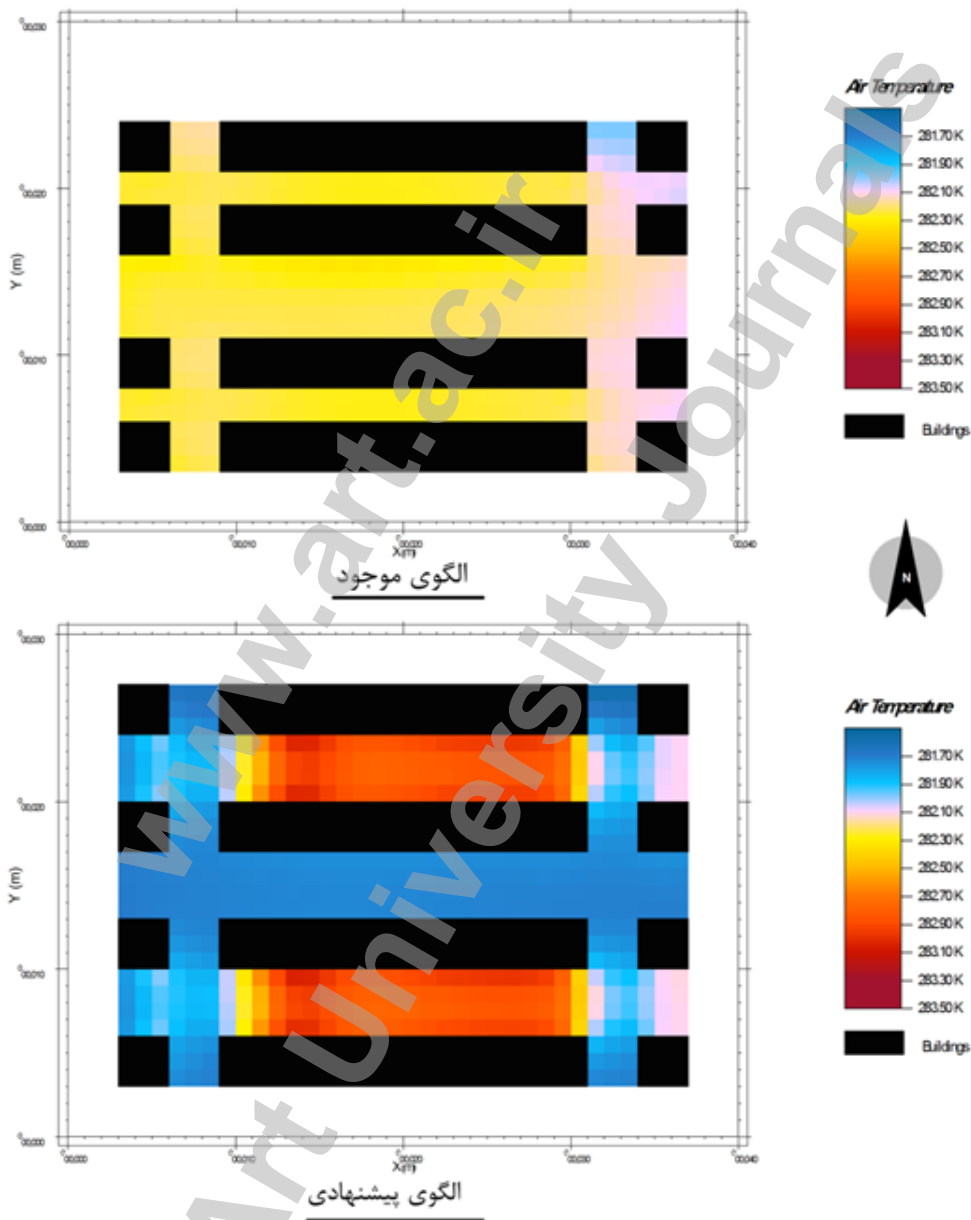
شکل ۵. نحوه توزیع دمای متوسط تابشی در روز یکم تیر ماه ساعت ۵ بعد از ظهر

منبع: نگارندگان

## دمای هوا

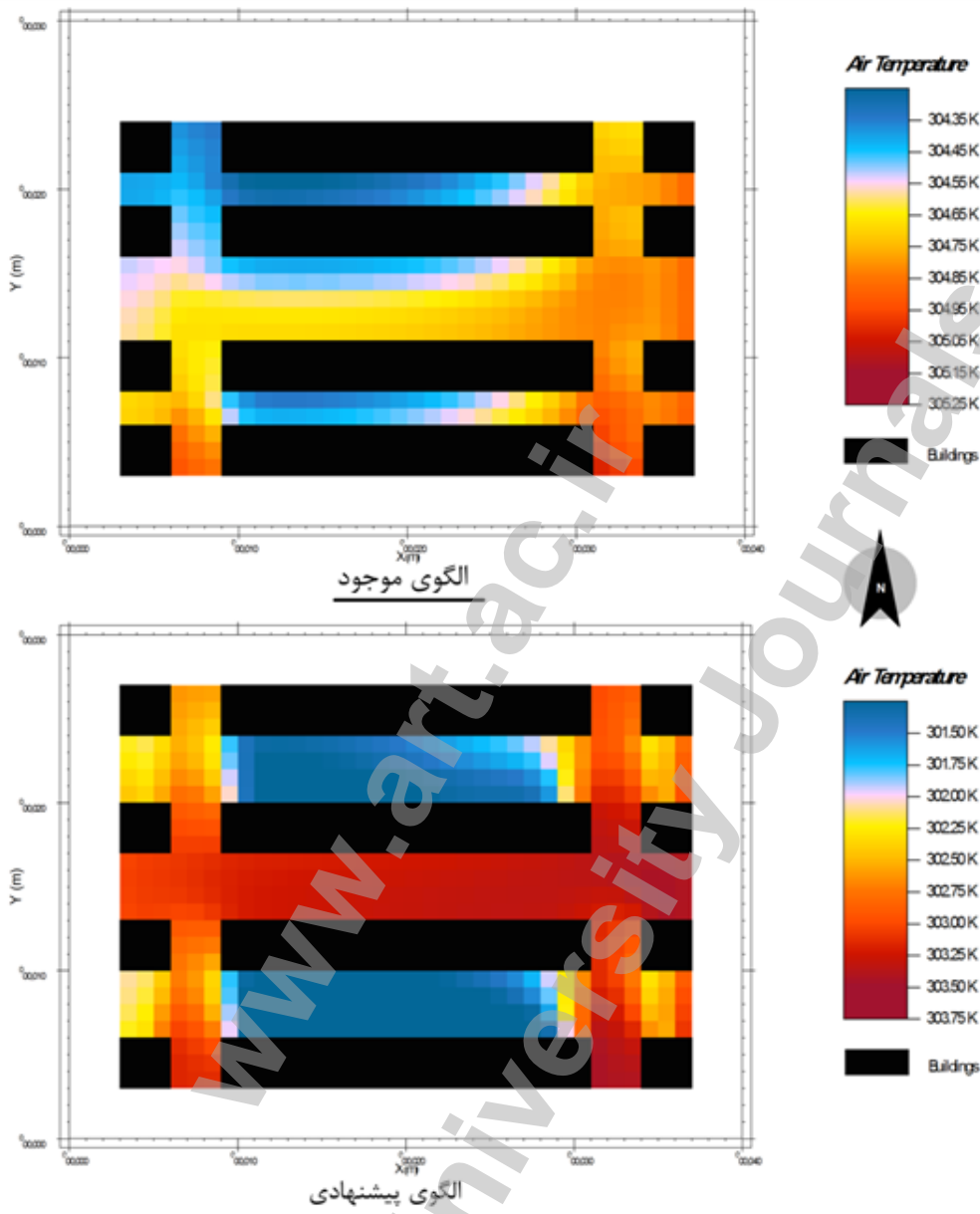
تغییرات دمای هوا چندان تحت تأثیر توده‌ها نیستند؛ ولی با این حال فرایندهای تبخیر و تغییرات دمای تابشی نیز نقشی مؤثر بر دمای هوا دارند. بنابراین، همان‌گونه که نقشه‌ها نیز تأیید می‌کنند، در الگوی موجود توزیع دمای هوا در زمستان نسبتاً یکنواخت است. اما در الگوی پیشنهادی، حیاط‌ها در زمستان آشکارا دمای گرم‌تری دارند، چون رطوبت هوا مانع از تبادلات عمده گرمایی بین دمای هوای داخل ساختمان و هوای خارج می‌شود و اهمیت محصوریت مناسب حیاط، در دوام شرایط آسایش نمایان می‌گردد. این به‌گونه‌ای است که اختلاف دمای دو الگو به بیش از یک

درجهٔ کلوین می‌رسد و این خود از عمده‌ترین مزیت‌های الگوی پیشنهادی است. این اختلاف در فصل تابستان برجسته‌تر است. حیاط‌های الگوی پیشنهادی بیش از ۳ درجهٔ کلوین، از حیاط‌های موجود خنک‌ترند. این تفاوت در معابر نیز اگرچه کمتر است ولی به هر حال جای تأمل دارد. معابر الگوی پیشنهادی حدود ۱/۵ درجهٔ کلوین خنک‌تر از معابر موجود هستند و این به مدد سایه‌افکنی مناسب‌تر حاصل شده است (شکل‌های ۶ و ۷).



شکل ۶. نحوهٔ توزیع دمای هوا در روز یکم دی ماه

منبع: نگارندگان

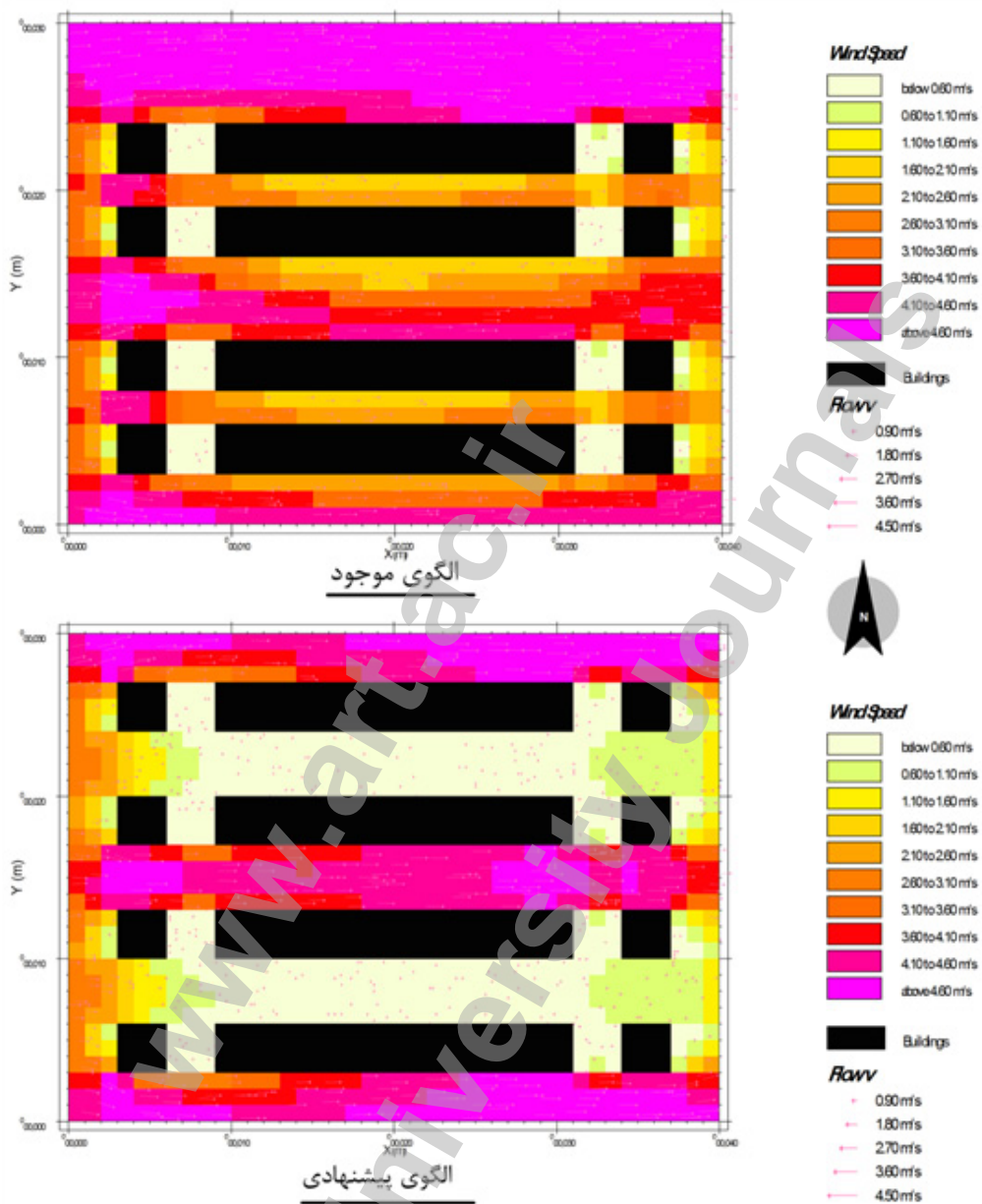


شکل ۷. نحوه توزیع دمای هوا در روز یکم تیر ماه

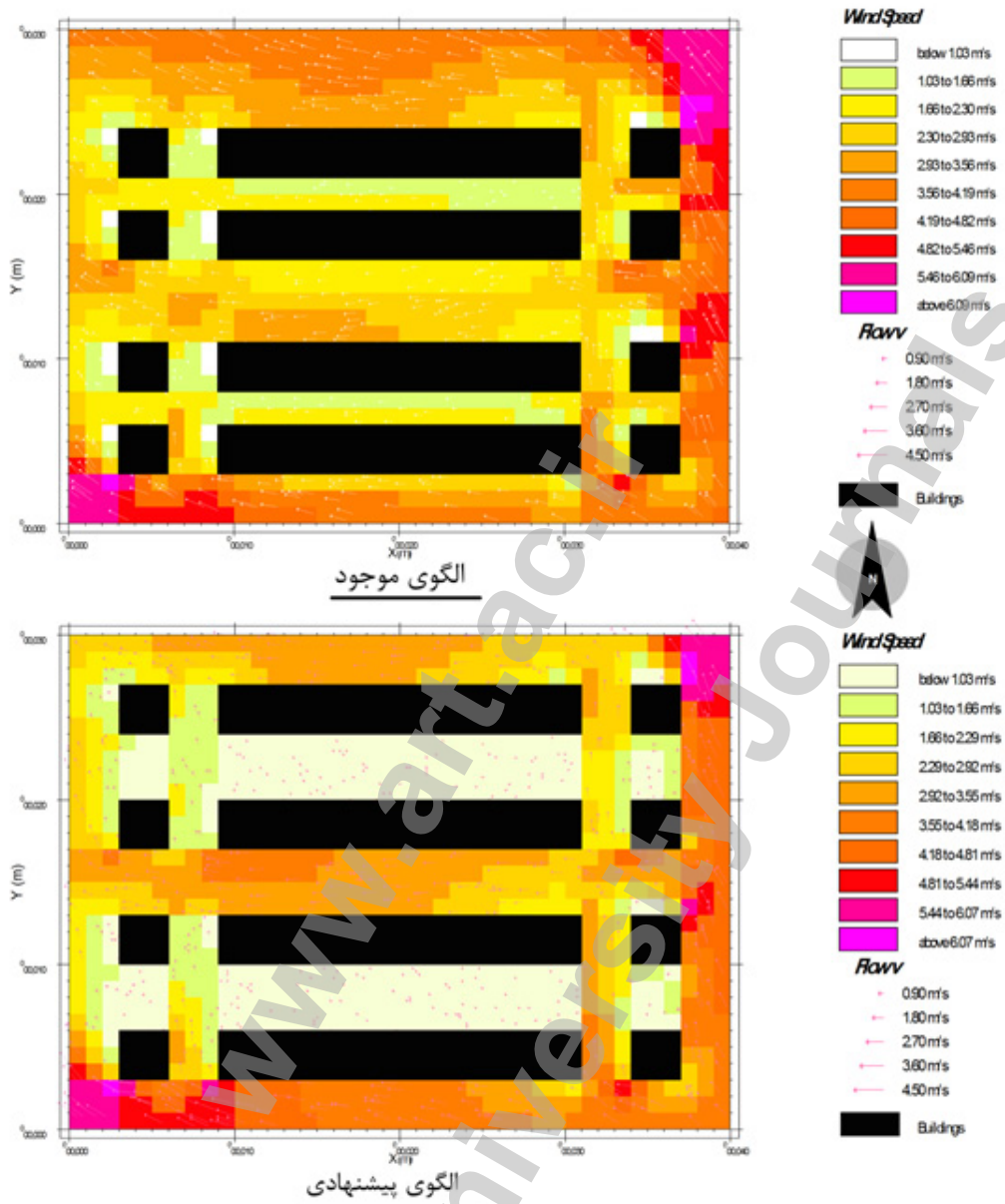
منبع: نگارندگان

### جریان هوا (شامل جهت و سرعت باد)

با توجه به ارتفاع نسبتاً کم ساختمان‌ها، جهت جریان هوا در میان سنبجه‌های مورد بررسی کمترین تأثیرات را از توده‌گذاری و تغییرات روزانه می‌پذیرد. اما سرعت باد، با توجه به آرایش توده‌ها و تراکم پوشش‌های گیاهی در حیاط‌ها متغیر است. در نقشه‌ها، جهت جریان باد با فلش نشان داده شده است؛ و طول فلش‌ها نیز بیانگر سرعت باد است. اما تغییرات سرعت باد را با بررسی تغییرات رنگ‌ها بهتر می‌توان درک کرد (شکل‌های ۸ و ۹).



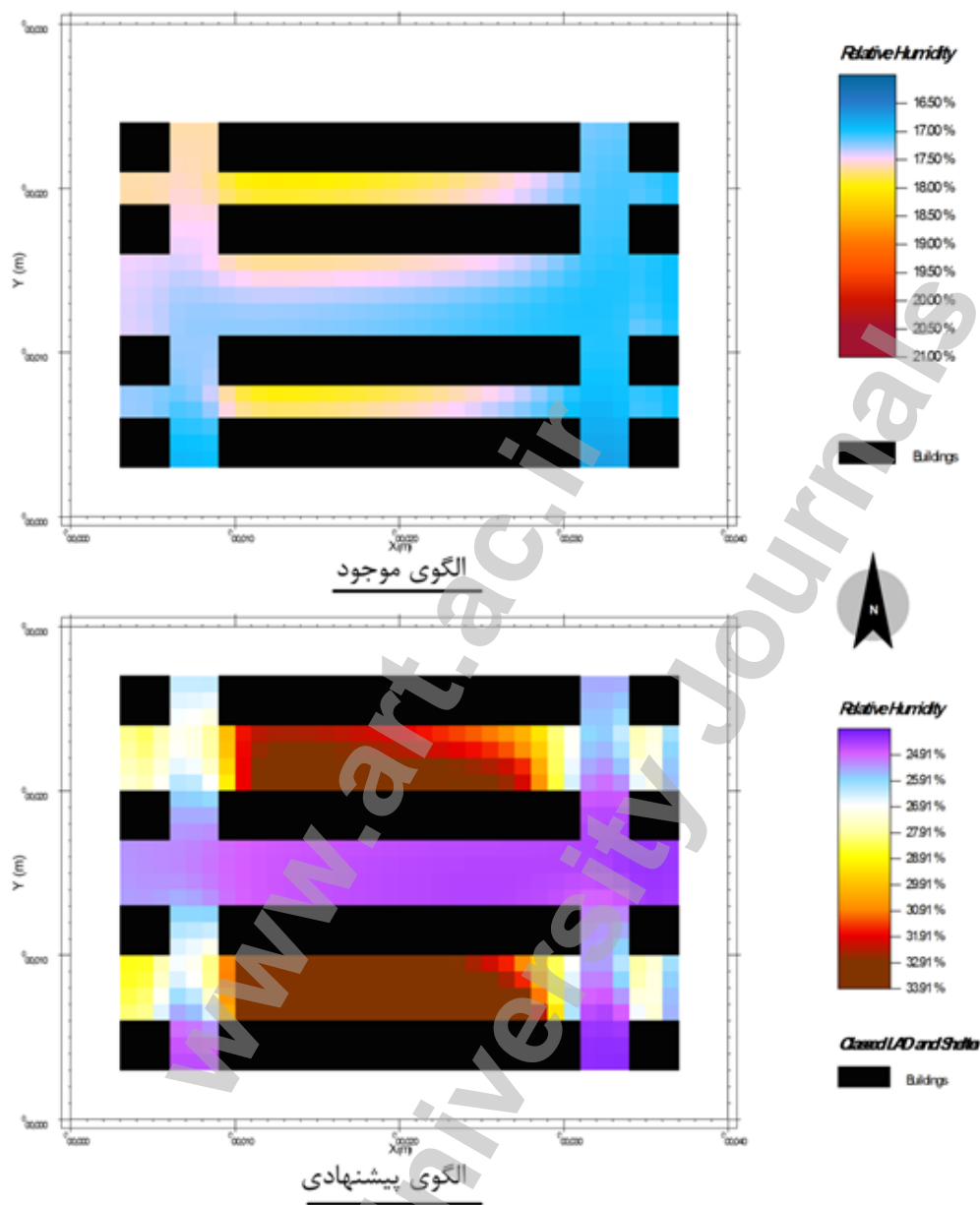
شکل ۸. نحوه توزیع سرعت و جهت جریان باد در روز یکم دی ماه  
منبع: نگارندگان



شکل ۹. نحوه توزیع سرعت و جهت جریان باد در روز یکم تیر ماه  
منبع: نگارندگان

### رطوبت نسبی

تأثیر رطوبت هوا بر آسایش حرارتی، به ویژه در اقلیم گرم و خشک و در فصل تابستان، بس جدی است. از این رو، بررسی این سنجه فقط در مورد فصل تابستان انجام گرفته است. در مورد الگوهای این تحقیق، به ویژه در حیاطها، مشخصاً می‌توان تفاوتی برجسته را مشاهده کرد، به گونه‌ای که اختلاف رطوبت نسبی بین الگوی پیشنهادی و موجود به حدود ۲۰ درصد می‌رسد که ناشی از تراکم بیشتر پوشش گیاهی در الگوی پیشنهادی است (شکل ۱۰). اختلاف رطوبت نسبی، در اختلاف درجه حرارت محیط نیز نمایان می‌گردد و نمود می‌یابد.



شکل ۱۰. نحوه توزیع رطوبت نسبی در روز یکم تیر ماه

منبع: نگارندگان

### تحلیل یکپارچه یافته‌ها

برای تحلیل دقیق‌تر و یکپارچه مؤلفه‌ها و مقایسه شرایط حیاط‌ها و خیابان در هر الگو، اطلاعات دریافتی از گیرنده‌های مجازی مطابق جدول ۴ تا ۷ بررسی شده‌اند.

جدول ۴. الگوی موجود: شاخص‌های اندازه‌گیری شده برای دی ماه

زمان	گیرنده	سرعت باد	دمای هوا	دمای متوسط تابشی
		m/s	K	K
۹:۰۰	خیابان	۴/۱۶	۲۸۲/۲۳	۲۸۲/۹۲
	حیاط شمالی	۱/۶۲	۲۸۲/۳۳	۲۸۶/۱۹
	حیاط جنوبی	۳/۳۳	۲۸۲/۲۵	۲۸۰/۳۷
۱۵:۰۰	خیابان	—	۲۸۳/۴۰	۲۸۴/۳۳
	حیاط شمالی	—	۲۸۳/۵۹	۳۱۴/۵۳
	حیاط جنوبی	—	۲۸۳/۴۴	۲۸۱/۸۴

منبع: نگارندگان

جدول ۵. الگوی پیشنهادی: شاخص‌های اندازه‌گیری شده برای دی ماه

زمان	گیرنده	سرعت باد	دمای هوا	دمای متوسط تابشی
		m/s	K	K
۹:۰۰	خیابان	۴/۲۵	۲۸۱/۷۴	۲۸۲/۶۰
	حیاط شمالی	۰/۱۲	۲۸۲/۸۶	۲۸۴/۴۴
	حیاط جنوبی	۰/۱۲	۲۸۲/۷۱	۲۸۲/۸۷
۱۵:۰۰	خیابان	—	۲۸۳/۶۰	۲۸۴/۰۳
	حیاط شمالی	—	۲۸۳/۶۰	۲۸۵/۵۶
	حیاط جنوبی	—	۲۸۳/۶۰	۲۸۴/۰۳

منبع: نگارندگان

جدول ۶. الگوی موجود: شاخص‌های اندازه‌گیری شده برای تیر ماه

زمان	گیرنده	سرعت باد	رطوبت نسبی	دمای هوا	دمای متوسط تابشی
		m/s	(درصد)	K	K
۹:۰۰	خیابان	۲/۸۷	۳۶/۸۱	۳۰۴/۶۹	۳۴۷/۳۵
	حیاط شمالی	۱/۹۷	۲۷/۲۵	۳۰۴/۵۳	۳۱۷/۹۳
	حیاط جنوبی	۱/۸۴	۲۷/۵۹	۳۰۴/۳۷	۳۵۲/۷۱
۱۷:۰۰	خیابان	—	۱۷/۲۴	۳۱۱/۷۴	۳۵۱/۱۹
	حیاط شمالی	—	۱۷/۴۶	۳۱۱/۶۱	۳۲۲/۱۱
	حیاط جنوبی	—	۱۷/۷۸	۳۱۱/۳۶	۳۴۴/۹۰

منبع: نگارندگان



جدول ۷. الگوی پیشنهادی: شاخص‌های انداز‌گیری شده برای تیر ماه

زمان	گیرنده	سرعت باد m/s	رطوبت نسبی (درصد)	دمای هوا K	دمای متوسط تابشی K
۹:۰۰	خیابان	۳/۲۷	۳۱/۸۸	۳۰۳/۳۰	۳۴۵/۲۶
	حیاط شمالی	۰/۲۱	۴۳/۳۸	۳۰۱/۱۸	۳۰۲/۴۵
	حیاط جنوبی	۰/۳۱	۴۴/۹۲	۳۰۰/۹۸	۳۰۲/۱۵
۱۷:۰۰	خیابان	—	۲۴/۶۳	۳۰۸/۶۹	۳۴۷/۸۰
	حیاط شمالی	—	۳۳/۸۳	۳۰۶/۱۰	۳۰۵/۰۴
	حیاط جنوبی	—	۳۴/۹۸	۳۰۵/۹۱	۳۰۵/۱۷

منبع: نگارندگان

برای تعیین رابطه‌ی الگوها با یکدیگر ابتدا می‌بایست هر کدام از آنها برحسب ارتباط با وضعیت آسایش حرارتی سنجیده شود. بدین منظور محدوده‌ی آسایش براساس اطلاعات موجود به صورت جدول ۸ تعریف شده است.

جدول ۸. محدوده‌ی آسایش حرارت

سرعت باد m/s	رطوبت نسبی (%)	دمای هوا K	دمای متوسط تابشی K
۳/۳-۱/۶	۵۰-۳۰	۳۰۲/۵-۲۹۱/۹	۳۰۲/۵-۲۹۱/۹

منبع: کسمایی، ۱۳۸۷، ۳۹ و Neufert, 2001, 32

چنانچه متغیرهای محاسبه‌شده با محدوده‌ی آسایش تطابق داشته باشند، عدد صفر در جدول‌ها در نظر گرفته می‌شود؛ و در صورت عدم تطابق، اختلاف عددی متغیر مورد نظر با محدوده‌ی آسایش محاسبه می‌گردد و با عنوان انحراف معیار در جداول درج می‌شود. سپس میانگین انحراف معیار برای هر سنج به تفکیک تابستان و زمستان محاسبه می‌شود. لازم به ذکر است که انحراف معیار سرعت باد در زمستان فقط در صورتی محاسبه می‌شود که بیشتر از محدوده‌ی آسایش باشد؛ زیرا در زمستان سرعت کم باد هیچ تأثیری در ایجاد احساس آسایش ندارد.

جدول ۹. محاسبه‌ی انحراف معیار الگوی موجود در زمستان

انحراف معیار	میانگین دمای تابشی K	انحراف معیار	میانگین دمای هوا K	انحراف معیار	سرعت باد m/s
۸/۲۳	۲۸۳/۶۷	۹/۰۹	۲۸۲/۸۱	۰/۸۶	۴/۱۶
۰	۳۰۰/۳۶	۹/۲۴	۲۸۲/۹۶	۰	۱/۶۲
۱۰/۶۸	۲۸۱/۲۲	۹/۱۶	۲۸۲/۸۸	۰	۳/۳۳
۶/۳۰	—	۹/۱۶	—	۰/۲۹	—

منبع: نگارندگان

جدول ۱۰. محاسبه انحراف معیار الگوی پیشنهادی در زمستان

انحراف معیار	میانگین دمای تابشی K	انحراف معیار	میانگین دمای هوا K	انحراف معیار	سرعت باد m/s
۸/۷۶	۲۸۲/۳۱	۹/۲۳	۲۸۲/۶۷	۰/۹۵	۴/۲۵
۶/۹۰	۲۸۵/۰۰	۸/۶۸	۲۸۳/۲۳	۰	۰/۱۲
۸/۹۰	۲۸۲/۴۵	۸/۳۸	۲۸۳/۵۲	۰	۰/۱۲
۸/۱۹	-	۸/۷۶	-	۰/۳۲	-

منبع: نگارندگان

جدول ۱۱. محاسبه انحراف معیار الگوی موجود در تابستان

انحراف معیار	دمای متوسط تابشی K	انحراف معیار	دمای هوا K	انحراف معیار	رطوبت نسبی (درصد)	انحراف معیار	سرعت باد m/s
۴۶/۷۷	۳۴۹/۲۷	۵/۷۱	۳۰۸/۲۱	۷/۹۸	۲۲/۰۲	۲/۸۷	۰
۱۷/۲۵	۳۲۰/۰۲	۵/۵۷	۳۰۸/۰۷	۷/۶۵	۲۲/۳۵	۱/۹۷	۰
۴۶/۳۰	۳۴۸/۸۰	۵/۳۶	۳۰۷/۸۶	۷/۳۲	۲۲/۶۸	۱/۸۴	۰
۳۶/۷۷	-	۵/۵۵	-	۷/۶۵	-	-	-

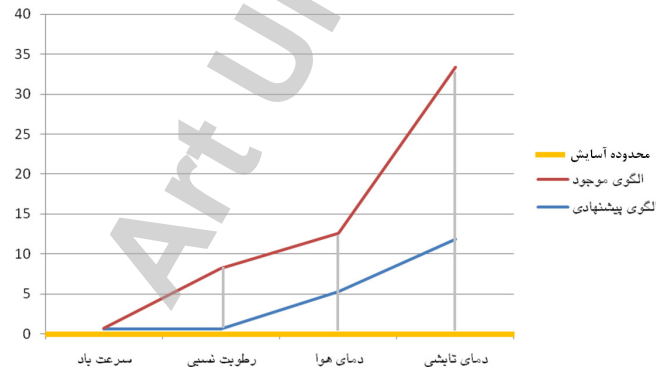
منبع: نگارندگان

جدول ۱۲. محاسبه انحراف معیار الگوی پیشنهادی در تابستان

انحراف معیار	دمای متوسط تابشی K	انحراف معیار	دمای هوا K	انحراف معیار	رطوبت نسبی (درصد)	انحراف معیار	سرعت باد m/s
۴۴/۰۳	۳۴۶/۵۳	۳/۴۹	۳۰۵/۹۹	۱/۷۵	۲۸/۲۵	۳/۲۷	۰
۱/۲۴	۳۰۳/۷۴	۱/۱۴	۳۰۳/۶۴	۰	۳۸/۶۰	۰/۲۱	۱/۳۹
۱/۱۶	۳۰۳/۶۶	۰/۹۴	۳۰۳/۴۴	۰	۳۹/۹۵	۰/۳۱	۱/۳۹
۱۵/۴۸	-	۱/۸۶	-	۰/۵۸	-	۰/۹۲	-

منبع: نگارندگان

براساس این یافته‌ها می‌توان دریافت که در مجموع، هر یک از الگوها به طور میانگین تا چه حد با محدوده آسایش انطباق دارد.



شکل ۱۱. نمودار میزان انحراف الگوها از محدوده آسایش

منبع: نگارندگان

## نتیجه‌گیری

یافته‌های این تحقیق حاکی از آن‌اند که در معیار آسایش حرارتی، تفاوت عمده‌ای میان دو الگو به چشم می‌خورد؛ به‌گونه‌ای که الگوی پیشنهادی برقرار شده، طبق رابطه کمی، حدود چهار برابر مطلوب‌تر از الگوی موجود است. این یافته‌ها نشان می‌دهند که صرفاً جابه‌جایی توده‌ها بدون تغییر در ماهیت و ابعاد کلی آنها، تا چه میزان می‌تواند شرایط آسایش در فضای باز را ارتقا دهد و به کاهش تبدلات گرمایی بین فضای داخل و خارج بینجامد و به تبع آن، کاهش اتلاق انرژی است تحقق یابد. اگر چه الگوی پیشنهادی از لحاظ متغیر سرعت باد، وضعیتی مطلوب‌تر از الگوی موجود ندارد، اما این متغیر به میزان زیادی به جزئیات خیابان و به‌ویژه توده‌های گیاهی و درختان وابسته است و با توجه به اینکه در تحقیق حاضر از اعمال این جزئیات چشم‌پوشی شده است می‌توان اختلاف مورد نظر را نیز نادیده انگاشت.

## پی‌نوشت‌ها

1. Cooling Effect
2. Mean Radiant Temperature
3. Human-Biometerology
4. Gross
5. Masson
6. Urban Canyons

۷. برای آشنایی بیشتر با انواع مدل‌های اقلیمی شهری، ن.ک.

Arnfield J. 2003: Two decades of urban climate research. Int. J. Climatol. Pages: 50-68

۸. در این تحقیق، نسخه ۳/۱ نرم‌افزار ENVI-met (عرضه‌شده در سال ۲۰۰۹)، به کار رفته است. این نرم‌افزار به‌رغم کارایی و کاربرد وسیع آن در حوزه علوم محیط مصنوع و، به‌ویژه طراحی شهری، کمتر شناخته شده و از این رو کمتر هم مورد استفاده قرار گرفته است.

9. Receptor

## فهرست منابع

- توسلی، محمود (۱۳۸۲) طراحی شهر و بنا در اقلیم گرم و خشک ایران، انتشارات پیام، تهران.
- کسمائی، مرتضی (۱۳۸۷) اقلیم و معماری، انتشارات خاک، تهران.
- Arnfield J. (2003) *Two Decades of Urban Climate Research*, Int. J. Climatol, Pages: 50-68.
- Arnfield J. (2000) *A Simple Model of Urban Canyon Energy Budget and its Validation*, Phys, Georg.
- Asawa T., Hoyano A., Nakaohkubo K. (2004) *Thermal Design Tool for Outdoor Space based on Numerical Simulation System Using 3D-CAD*, Proc. 21th Int. Conf. on.
- Bruse, M. (2009) *ENVI-met website*. Retrieved from <http://www.envi-met.com>.
- Coronel J.F., Alvarez S. (2001) *Experimental Work and Analysis of Confined Urban Spaces*, Solar Energy.
- Eichorn J. (1989) *Entwicklung und Anwendung eines dreidimensionalen mikroskaligen Stadtklima-Modells*. Dissertation. Univ. Mainz.
- Groleau D., Miguet F. (1998) *Solène et la simulation des éclairagements directs et diffus des projets architecturaux et urbains*, IBPSA France '98. Sophia Antipolis

- Grundström K., Johansson E., Mraisi M., Ouahrani, D. (2003) *Climat et Urbanisme – La Relation Entre Confort Thermique et al. forme du cadre bâti, Report 8*. Housing Development and Management. Lund University.
- Herbert J.M., Johnson G.T., Arnfield J. (1998) *Modelling the Thermal Climate in City Canyons*, Envir. Model. Software.
- Johnsson G.T., Hunter L.J. (1995) *A Numerical Study of Dispersion of Passive Scalars in City Canyons*, Boundary–Layer Meteorol.
- Knowles, R.L. (1980) *The Solar Envelope*, In D. Watson, A. Plattus, & R. Shibley, *Time saver standards for urban design* (PP. 42–49 and 70), McGraw-hill.
- Mills G. (1993) *Simulation of the Energy Budget of an Urban Canyon I, Model structure and sensitivity test*. Atmos. Envir. 27B.
- Neufert, E. (2001) *Architectural Data*, Azade Publication, Tehran.
- Nunez M., Oke, T.R. (1980) *The Energy Balance of an Urban Canyon*, J. Appl. Meteorol.
- Shashua-Bar L., Hoffman M.E. (2000) *Vegetation as a Climatic Component in the Design of an Urban Street*, Energy and Buildings, 31: 221-235.
- Swaid H., Hoffman M.E. (1990) *Prediction of Urban Air Temperature Variations Using the Analytical CTTC Model*, Energy and Buildings 14: 313-324.
- Teller J., Azar S. (2001) *TOWNSCOPE II - A Computer System to Support Solar Access Decision-making*, Solar Energy 70: 187-200.
- Toudert, F.A. (2005) *Dependence of Outdoor Thermal Comfort on Street Design in Hot and Dry Climate*, Berichte des Meteorologischen Institutes der Universität Freiburg. Freiburg.
- Watson, D., & Labs, K. (2006) *Bioclimatic Design at the Site Planning Scale*, In D. Watson, & A. Plattus, *Time saver for urban design* (PP. 4.8-1). New york: McGraw-Hill.
- <http://www.weather.ir>