

تأثیر مؤلفه‌های فرم کالبدی شهری بر آسایش حرارتی فضاهای باز شهری (مطالعه موردی: اراضی پشت سیلو شهر یزد)*

مرجان منتظری**, لعلا جهانشاهلو***, حمید مجیدی****

تاریخ دریافت مقاله: ۹۶/۱۰/۱۰

تاریخ پذیرش مقاله: ۹۷/۱/۲۰

چکیده

با مطرح شدن نظریه‌های شهر پایدار، شهر اکولوژیکی، بوم شهر، شهر هوشمند و شهر سبز در دهه‌های اخیر، توجه ویژه به طراحی سازگار با طبیعت، پایداری اکولوژیکی و مسائل اقلیمی مد نظر طراحان و برنامه‌ریزان شهری قرار گرفته است؛ تحقیق حاضر با هدف تبیین معیارهای کالبدی موثر بر آسایش حرارتی فضاهای باز شهری و خرد اقلیم تدوین گردیده و بر آن است تا با استفاده از روش توصیفی-تحلیلی، به استخراج مؤلفه‌های فرم شهری تاثیرگذار بر آسایش حرارتی فضاهای باز شهری در سلسله مراتبی از بنا تا بافت، پپردازد. این تحقیق در بخشی از اراضی ۱۷.۵ هکتاری سیلو شهر یزد انجام گرفته است. در مرحله اول با روش شبیه‌سازی با استفاده از نرم افزار انوی مت میزان دمای متوسط تابشی در نقاط منتخب سایت محاسبه گردیده و سپس آسایش حرارتی بر اساس شاخص PMV برای گروه مشخص در گرمترين روز سال ۲۰۱۵ برآورد شده است. در قسمت دوم با مقایسه آسایش حرارتی و عوامل فیزیکی محیط شامل ارتفاع، محصوریت، پوشش گیاهی و ... معیارهای فرم کالبدی موثر در تحقق آسایش حرارتی شناسایی گردیده اند. نتایج نشان می‌دهد ابعاد فضایی، کالبدی و محیطی عناصر تشکیل دهنده فرم شهری چون محصوریت (نسبت ارتفاع به عرض H/W)، ضریب دید به آسمان و الگوی شبکه معابر، مصالح (جنس، رنگ) بام، بدن و کف، پوشش گیاهی (گونه و تراکم آن)، کاربری و ... از جمله عوامل موثر بر آسایش حرارتی فضاهای باز شهری هستند که توجه به آنها در فرایند برنامه‌ریزی و طراحی شهری، می‌تواند سبب خلق فضاهایی شود که آسایش حرارتی را برای کاربران فراهم کند.

واژگان کلیدی

فرم شهری، آسایش حرارتی بیرونی، فضاهای باز شهری.

* این مقاله برگرفته از رساله دکتری شهرسازی نویسنده اول با عنوان "فرم شهری همساز با اقلیم، نمونه موردی: شهر یزد" می‌باشد که به راهنمایی سرکار خانم دکتر جهانشاهلو و مشاوره جناب آقای دکتر ماجدی در دانشکده هنر و معماری دانشگاه علوم و تحقیقات تهران در دست تهیه است.

** دانشجوی دکتری شهرسازی، دانشکده هنر و معماری، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران

*** استادیار، دانشکده هنر و معماری، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران (نویسنده مسئول)

**** دانشیار، دانشکده هنر و معماری، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران

مقدمه

تاکنون مطالعات بسیاری در راستای مصرف اقتصادی و مقررین به صرفه انرژی در بخش ساختمان و راهکارهای تأمین آسایش حرارتی درونی (تأمین نور، دما، تهویه و آب مناسب) با تأکید بر فرم و نحوه طراحی آنها صورت گرفته است، اما در این میان به طراحی در مقیاس واحد همسایگی و بلوک شهری و کاهش مصرف انرژی در مقیاس شهری کمتر توجه شده است. لذا شکاف بزرگی میان دو مقیاس طراحی خرد و کلان، یعنی طراحی معماری و طراحی شهری وجود دارد. از این رو ضروری به نظر می‌رسد که به بررسی و تحلیل تأثیر ویژگی‌های کالبدی فرم شهری بر میزان مصرف انرژی آنها در مقیاسی فراتر از تک بنا و ایجاد آسایش حرارتی در مقیاس بافت‌های شهری پرداخته شود. به بیان دیگر علاوه بر آنکه لازم است هر یک از ساختمان‌ها به گونه‌ای طراحی شوند که حداقل میزان اتفاف انرژی را داشته باشند و حداقل آسایش حرارتی را برای ساکنان خود فراهم کنند، بایستی در مقیاسی فراتر از بنا (فضاهای و شهری) نحوه ترکیب معابر شهری و فضاهای باز با ساختمان‌ها در راستای بهینه سازی مصرف انرژی باشد، به طوری که بتوان با ایجاد تغییراتی در کالبد و چیدمان فضایی به گونه‌ای موثر، آسایش حرارتی را در بافت‌های شهری بهبود بخشدید. از سوی دیگر اهمیت حضور انسان و رفتارهای وی در فضاهای شهری در دوران معاصر، که به واسطه آن بسیاری از صاحب نظران، عصر حاضر را «نوبت پرداختن به فضای شهری و آنچه در آن می‌گذرد» می‌دانند (بحربینی و خسروی، ۱۳۹۴) به نقل از Soja، لزوم پرداختن به ایجاد محیط مطلوب برای عابران پیاده از طریق تأمین آسایش حرارتی برای آنان را دوچندان می‌کند. تحقیقات گسترده‌ای که پیرامون موضوع آسایش حرارتی در دهه‌های اخیر انجام شده است، نیز موید اهمیت پرداختن به این موضوع می‌باشد که در بخش‌های بعدی مقاله به آنها اشاره می‌شود. با توجه به وجود رابطه متقابل و تنگاتنگ بین ساختمان‌ها و محیط خارجی آنها، عواملی چون ساخت و بافت شهری، شکل، ارتفاع و اندازه بنایها، جهت خیابان‌ها و ساختمان‌ها و سطح فضاهای باز، اقلیم خرد شهری که منظور همان وضعیت آب و هوایی اطراف ساختمان‌ها است را تحت تأثیر قرار می‌دهند. به عبارتی، هر عنصر انسان ساخت شهری در بالا و اطراف خود اقلیم مصنوعی خاصی پدید می‌آورد که همواره با آن در ارتباط متقابل قرار می‌گیرد. در مقاله حاضر سعی بر آن است تا ابتدا مفاهیمی چون فرم شهری و عناصر و اجزای تشکیل دهنده آن، آسایش حرارتی فضاهای باز شهری مورد بررسی قرار گیرد و سپس با مروری بر پژوهش‌های انجام شده داخلی و خارجی، به استخراج متغیرهای فرم شهری موثر بر آسایش حرارتی در مقیاس‌های مختلف شهری پردازد و در ادامه با مطالعه متمرکز بر بخشی از اراضی ۱۷.۵ هکتاری پشت سیلو شهر بزد به شناسایی عوامل تأثیرگذار بر آسایش حرارتی فضای باز شهری پرداخته می‌شود. امید است نتایج این بررسی بتواند به عنوان راهگشاشی در برنامه‌ریزی‌های کاهش مصرف انرژی و تأمین آسایش حرارتی از طریق مداخله در کالبد و فرم شهری مورد استفاده طراحان و برنامه‌ریزان شهری قرار گیرد و از این طریق بتوان گامی در جهت دست یابی به یک شهرسازی همساز با اقلیم و پایدار برداشت.

بیان مساله

فرم شهر از جمله مهمترین عواملی است که طراحی شهری می‌تواند با مداخله در ابعاد گوناگون فضایی، کالبدی و محیطی آن، بر میزان واپستگی به سوخت‌های فسیلی، صرفه‌جویی در مصرف انرژی و ایجاد محیط‌های مطلوب برای حضور انسان در شهر اثرگذار باشد. شرایط سخت اقلیمی در شهرها از عوامل محدود کننده حضور انسان در فضای شهری و رفتارهای وی می‌باشد. لذا طراحی شهری سعی بر آن دارد تا نزدیک خرد اقلیم‌ها به منطقه آسایش، فضاهای شهری را برای حضور انسان و وقوع دامنه گستردگی از رفتارهای شهری (اعم از فعالیت‌های ضروری، اختیاری و اجتماعی) در طیف وسیعی از زمان‌ها مناسب‌سازی کند. لذا در راستای تحقق این هدف، بایستی الزامات آب و هوایی اقلیم‌های مختلف و اصول کالبدی-فضایی همساز با آن را شناخت و از طریق آن، خرده اقلیم‌های فضاهای شهری را به منطقه‌ای آسایش انسان نزدیک کرد. همان طور که در الگوهای فرمی-فضایی شهرهای تاریخی ایران در راستای تعییل شرایط سخت اقلیمی از ابزارهای کالبدی-فضایی همچون تراکم ساختمانی، محصوریت، سطح اشغال، میزان عقب نشینی در همکف و طبقات، جنس مصالح و میزان سبزینگی فضا استفاده شده است (بحربینی و خسروی، ۱۳۹۴: ۴۶۵).

در نظر گرفتن جزئیات بسیاری در طراحی شهری می‌تواند دمای شهر، وضعیت باد و دریافت انرژی تابشی خورشید را برای ساختمان‌ها و فضاهای شهری اصلاح کند و بهبود بخشد. در واقع شاخص‌های مورفولوژی شهری در مقیاس‌های مختلف، نظیر شکل، ارتفاع و ابعاد ساختمان‌ها، مصالح مورد استفاده و رنگ آنها، تراکم ساختمانی و سطح اشغال، قطعه‌بندی، اندازه و شکل بلوک، جهت خیابان‌ها و ساختمان‌ها، سطح فضاهای باز و جنس و رنگ مصالح کف آنها و ... عواملی هستند که علاوه بر تاثیر در میزان تقاضای انرژی در

بافت‌های شهری، بر اقلیم خرد شهری که منظور همان وضعیت آب و هوای اطراف ساختمان‌ها است تأثیر می‌گذارند. لذا این مقاله به طرح این سوال می‌پردازد که فاکتورهای قابل کنترل فرم شهری در حوزه طراحی شهری و تاثیرگذار بر آسایش حرارتی بیرونی در مقیاس بنا تا بافت شهری چه می‌باشد؟ نظر به این سوال، مقاله بر آن است تا با نیل به هدف شناخت و تبیین عوامل تاثیرگذار بر ایجاد آسایش حرارتی در فضاهای باز شهری به واسطه تعیین محدوده‌ای به عنوان نمونه موردی پژوهش، پاسخی برای سوال خود پیدا کند.

روش شناسی تحقیق

در مقاله حاضر با استفاده از روش توصیفی-تحلیلی، و مروری بر پژوهش‌های انجام شده در داخل و خارج کشور و تجربیات مشابه، ابتدا به استخراج مؤلفه‌های فرم شهری تاثیرگذار بر آسایش حرارتی فضاهای باز شهری در سلسله مراتبی از بافت تا بنا، پرداخته می‌شود و به منظور جستجوی این عوامل در نمونه موردی این پژوهش که بخشی از اراضی ۱۷.۵ هکتاری پشت سیلو شهر یزد انتخاب شده، از نرم افزار انوی مت بهره گرفته می‌شود. به طوری که در ابتدا پلان محدوده وارد نرم افزار انوی مت می‌شود و هر یک از بلوك‌های مسکونی با ارتفاع مشخص در محدوده شبیه‌سازی می‌شود و مصالح جداره‌ها و کف و وضعیت پوشش گیاهی تعیین می‌گردد؛ در مرحله بعد اطلاعات اقلیمی و جغرافیایی مانند موقعیت جغرافیایی، سرعت و جهت وزش باد و ... وارد می‌شوند. سپس آسایش حرارتی بر اساس شاخص PMV برای گروه مشخص در گمرترين روز سال ۲۰۱۵ در پنج نقطه منتخب در سایت محاسبه شده و در نهایت با مقایسه آسایش حرارتی و عوامل فیزیکی محیط شامل ارتفاع، محصوریت، پوشش گیاهی و ... معیارهای فرم کالبدی موثر در تحقق آسایش حرارتی شناسایی گردیده اند.

پایه‌های نظری و چارچوب مفاهیم تحقیق

فرم، فرم شهری: تعاریف و مؤلفه‌های آن

بررسی نظریات مختلف در زمینه فرم شهر نشان می‌دهد، رویکردهای مختلفی برای بررسی آن می‌تواند مورد توجه قرار گیرد. برای نمونه برخی اندیشمندان رویکرد تاریخی را مورد توجه قرار می‌دهند (جیمز موریس)، برخی بر جنبه‌های اجتماعی-فرهنگی تاکید دارند (مامفورد) و بعضی دیگر به رویکرد زیبایی‌شناسانه توجه کرده و عده‌ای در زمینه فرم شهر، تنها بررسی بافت کالبدی و عملکردی شهری که معرف فضایی پدیده‌ها هستند را مورد توجه قرار می‌دهند (دانشپور و دیگران، ۱۳۹۲: ۷۴). در اهمیت این مفهوم همین بس که بسیاری از نظریه‌پردازان طراحی شهر را با طراحی فرم شهر یکسان دانسته‌اند (Cuthbert, 2005). لذا می‌توان چنین ادعا کرد که فرم شهر، از مهمترین ابعاد شهرسازان، خصوصاً طراحان شهری می‌باشد. با توجه به محدودیت حجم مقاله، به توضیح مختصر تعاریف فرم و فرم شهری از دیدگاه محققان مختلف در قالب جدول ۱ پرداخته شده است. فرم مشخصه‌ای سه بعدی است، بدین معنا که نه تنها در سطح، بلکه در حجم نیز مبتلور است. هر کدام از این عناصر شهری که به مترله یک سلول شهری می‌باشند، به تنها‌ی فرم و پیزه خود را دارند. ترکیب مجموعه‌ای از آنها نیز به پدید آمدن یک فرم شهری منجر می‌شود (بورجعفر و دیگران، ۱۳۹۳: ۹۰ به نقل از ۱۳۷۲: ۴۲۴-۴۲۳). فرم شهر به صورت معمول با تعدادی مشخصات کالبدی و غیرکالبدی شامل: ابعاد، شکل، مقیاس، تراکم، حمیدی، نوع ساختمان، بلوك شهری و پخشایش فضای سبز تعریف می‌شود (Dempsey et al, 2010). کرمنا به نقل از کائزن (۱۹۶۰: ۱۱۸؛ ۱۳۸۸: ۱۳۷۲) عناصر کلیدی موثر بر ریخت‌شناسی را بدین شکل برمی‌شمارد: کاربری اراضی، ساختار ساختمان‌ها، الگوهای قطعات تفکیکی، شبکه ارتباطی (کرمونا و دیگران، ۱۳۹۳: ۴۲۴-۴۲۳). همان طور که از تعاریف فوق استبطاط می‌شود در تعریف فرم شهر، ارتباط تنگاتنگ فرم شهر و عملکرد و فعالیت‌های مختلف شهر وجود دارد. به عبارت دیگر توزیع فضایی عناصر فعالیت‌های شهری در فرم شهری تاثیرگذار است.

مقیاس مورد بررسی فرم شهر، از ساختمان مجزا، خیابان، بلوك‌های شهری، محله تا شهر است. برای فرم شهر، عناصر متفاوتی را تعریف نموده‌اند. دمپسی این عناصر را پنج دسته می‌داند: تراکم، حمل و نقل، کاربری زمین، نوع ساختمان‌ها و استخوان‌بندی فضایی (Dempsey et al, 2010) ۱- ابنيه ۲- قطعه ۳- بلوك ۴- جداره‌ها ۵- خیابان‌ها ۶- الگوی شبکه معابر معرفی می‌کند.

لزلى مارتن نظریه پرداز نظم کالبد شهری در کتاب فضای شهر و ساختار^۱ عناصر کلیدی فرم شهر را در سه گروه طبقه‌بندی می‌کند: ۱- ساختمان‌ها و نظام استقرار ۲- قطعه و نظام قطعه‌بندی ۳- شبکه خیابان‌ها. در یک نگرش دیگر عناصر به شکل دیگری طبقه‌بندی شده‌اند: ۱- ماده ۲- سازه ۳- فضاهای اتاق ۴- ساختمان‌ها ۵- قطعات ۶- خیابان‌ها و بلوك‌ها ۷- بافت شهری. طبقه‌بندی پایه عناصر فرم شهر مبتنی بر مطالعات کائزن است که طی آن عناصر فرم کالبدی به چهار گروه پایه طبقه‌بندی شده‌اند: ۱- عملکرد و فعالیت ۲- ساختار ابنيه ۳- الگوی تفکیک قطعات ۴- الگوی شبکه خیابانی (ذکارت، ۱۳۹۲: ۷۲-۷۳). در یک جمع‌بندی کلی از

دیدگاه‌ها و نظرات مختلف در خصوص عناصر فرم شهر، آنچه که در این پژوهش جهت تبیین مولفه‌های فرم شهری موثر بر آسایش حرارتی مورد بررسی قرار می‌گیرد، در چهار گروه ۱- بنا و قطعه ۲- خیابان و میدان ۳- بلوک شهری ۴- بافت شهری طبقه‌بندی می‌شوند.

جدول ۱: دیدگاه نظریه‌پردازان مختلف در خصوص فرم و فرم شهری

حقیق / محققان	تعریف
آرنهایم (۱۹۷۴)	فرم، شکل قابل رویت محتواست.
چینگ (۱۹۷۹)	از شکل، اندازه، رنگ، بافت، موقعیت، جهت و ثبات بصری به عنوان هفت ویژگی اصلی فرم نام می‌برد.
ترانسیک (۱۹۸۶)	فرم شهر در دیدگاهی انتزاعی می‌تواند از طریق تحلیل دو بعدی نقش و زمینه به وسیله فضاهای باز و بسته در ک شود.
کوآن (۲۰۰۵)	فرم را به معنای جانمایی (ساختار و دانه‌بندی)، تراکم، مقیاس (ارتفاع و جرم‌گذاری)، ظاهر (مصالح و جزئیات) و منظر توسعه تعريف کرده و تعريف فرم را یکی از دغدغه‌های ذهنی حرفة معماری در موضوع زیبایی شناسی می‌داند.
کروک (۲۰۰۷)	در تعریف لغت‌نامه فرم آمده است که طریقی که در آن یک چیز زیست می‌کند، عمل می‌کند و خود را آشکار می‌نماید.
باطنی (۱۳۸۴)	فرم واژه انگلیسی است که دارای بار معنای گسترده‌ای است. فرم صورت ظاهری، شکل، نما، قالب، نوع و گونه معنا شده است.
جرج بنز (۱۹۷۰)	فرم شهر واقعیتی ایستا است که در هر وضعیتی حالتی پویا برای تغییرات بعدی دارد. فرم و عملکرد در ارتباطی تنگ با یکدیگرند. اما رابطه این دو هیچ‌گاه مستقیم نبوده و دارای واسطه‌ای به نام انسان است.
چارین (۲۰۰۶)	فرم شهر نتیجه گرد هم آمدن مفاهیم و عناصر متعددی از ساختار شهر، همچومن الگوی خیابان، اندازه و شکل بلوک، طراحی خیابان، شکل‌بندی قطعه، پارک‌ها، فضاهای عمومی و غیره.
حمیدی (۱۳۷۲)	فرم شهر از کلیه عناصر و اجزای کالبدی و قابل رویت شهر شکل می‌پذیرد و مشکل از عناصر طبیعی و مصنوع می‌باشد. فرم شهر ماهیتی ترکیبی و سه بعدی دارد. کوچکترین اجزا و عناصر مصنوع این ترکیب، ساختمان‌ها، شبکه راهها، فضای باز و تاسیسات شهری می‌باشند. عناصر عمدۀ محیط طبیعی، مثل ناهمواری‌های زمین، جریان‌های آبی و پوشش گیاهی در چگونگی و فرم ترکیب عناصر کالبدی دخالت دارند.
کوین لینچ (۱۳۸۱)	کلیه مظاہر کالبدی و رویت پذیر شهر، فرم شهر می‌باشد. فرم شهر بر اساس عملکردهای درونی شهر شکل می‌گیرد و میزان پراکندگی افراد و روابط بر آن تأثیر دارد. فرم شهر عبارت است از نظم فضایی اشخاصی که مشغول کارند، نتیجه جریان فضایی افراد، کالاه‌ها و اطلاعات و خصوصیات فیزیکی که فضای را متناسب با آن فعالیت‌ها تغییر می‌دهند.
حبيب (۱۳۸۵)	فرم شهر علاوه بر عناصر کالبدی، شامل فعالیت‌ها، جریانات و سیستم‌های حرکتی شهر و حوزه اتفاقات بالقوه شهر با تمام مظاہر مادی و غیرمادی آن است. پس فرم شهر حاصل تعامل میان نیروهای عوامل سازنده آن است. این عوامل عبارتند از عوامل مصنوع، عوامل طبیعی (اقلیم، پوشش گیاهی، آب، مکان، دید و منظر، جنس، نوع، شکل زمین) و عوامل انسانی (اجتماعی، تاریخی، قومی، مذهبی، سیاسی، اقتصادی، فرهنگی، جنبه‌های روانی و عملکردی).
پاکزاد (۱۳۸۵)	فرم شهر شامل کلیه عناصر محیطی است که انسان به طور بالقوه می‌تواند در ارتباط با آن قرار گیرد. بنابراین کلیه اطلاعات واقعی در محیط شهر، فرم شهر نماید می‌شود. عناصر تشکیل دهنده فرم شهر می‌تواند مادی یا غیرمادی باشند. به همین خاطر کلیه جنبه‌های عملکردی، اقتصادی، اجتماعی، ارتباطی، فرهنگی، جنبه‌های روانی و عملکردی.
ثقة‌الاسلامی (۱۳۹۰)	فرم شهر در حقیقت ظرفی است که امکان می‌دهد فعالیت‌های شهری در آن به وقوع بیرونند. اهمیت فرم شهر به خاطر عملکردهایی است که می‌تواند برای ساکنین یک شهر انجام دهد و در تحقق اهداف یک شهر نقش داشته باشد. به طور نمونه فرم می‌تواند در پایداری شهر، راندمان و کارآیی شهر، ایجاد حس جهت‌یابی در شهر، ایجاد حس ایمنی و موارد دیگر نقش داشته باشد.
دانشپور و همکاران (۱۳۹۲)	فرم شهر حاصل تعامل کلیه نیروهای شکل دهنده کالبدی شهر و شامل کلیه عناصری محیطی است که انسان به طور بالقوه می‌تواند در ارتباط با آنها قرار گیرد. بدین ترتیب فرم شهر با عملکردهای شهر در ارتباطی دوسری و تنگاتنگ قرار دارد و خصلت ایستا بودن همراه با خصلت پویایی را تؤمن دارد.

آسایش حرارتی

رویکرد دیالکتیک معتقد است انسان همزمان از محیط تاثیر می‌پذیرد و در آن تاثیر می‌گذارد و در انسان شناسی به رویکرد ارگانیزمی^۳ معروف است (Reeve et al, 2003). در این رویکرد، یکی از جنبه‌هایی که انسان تلاش زیادی در راستای تعدل آن داشته، شرایط بد اقلیمی بوده است. به سادگی می‌توان ادعا کرد که در عمدۀ مداخلات انسان در طبیعت و به عبارت دیگر در عمدۀ آثار معماری و شهرسازی تاریخ جهان، ایجاد آسایش اقلیمی به سهولت یافت می‌شود (Rapoport, 1990). در دهه‌های اخیر موضوع آسایش حرارتی توجه بسیاری از محققان را به خود جلب کرده است و این شاید به دلیل بحث فرآینر تغییر اقلیم است. رشد قابل توجه

پژوهش‌های انجام شده در رابطه با موضوع "آسایش حرارتی" در چند دهه اخیر طبق نتایج ارائه شده در شکل ۱، موید اهمیت و لزوم پرداختن به این موضوع می‌باشد. این نتایج برگرفته از پژوهشی است که توسط فورجی آرینی و همکاران^۳ تحت عنوان "مروری بر آسایش حرارتی انسان در محیط ساخته شده" در تاریخ ۲۰۱۴/۱۱/۲۵ انجام شده است. در این پژوهش مفهوم "آسایش حرارتی" در چهار پایگاه داده الکترونیکی معتبر و مشهور جهانی تحت عنوان ساینس دایرکت^۴، وب آف ساینس^۵، گوگل اسکولار^۶، اسکوبوس^۷ جستجو شده است و نتایج آن در جدول ۲ آمده است (Forgiarini Rupp & et al, 2015: 180).

آسایش حرارتی توسط آشرا^۸ به این صورت تعریف شده است: شرایطی که فرد در آن از گرمای محیط احساس رضایت می‌کند و با ارزیابی ذهنی برسی می‌شود (Forgiarini Rupp & et al, 2015: 179). دمای آسایش در افراد مختلف بر حسب سن، جنس، رنگ، سلامت و سایر مشخصات فیزیکی تفاوت می‌کند. در استانداردهای مربوطه تنظیم شرایط محیطی، آسایش گرمایی به شرایطی گفته می‌شود که ۸۰٪ مردم از دمای محیط رضایت داشته باشند و نیاز به گرمتر و سردر شدن آن احساس نکنند (طاهاز، ۱۳۹۰: ۳۲). به طور کلی آسایش حرارتی و ارزیابی کیفیت محیطی فضای سرپوشیده تنها به پارامترهای فیزیکی بستگی ندارد؛ بلکه پارامترهای فیزیولوژیکی و روانی بدن انسان نیز به طور پویا در آن تأثیر دارد (Forgiarini Rupp & et al, 2015: 179). در تعریفی دیگر آمده است منظور از آسایش، شرایط گرمایی است که در آن یک فرد از پیاده روی در طول یک پیاده روی یا از نشستن بر روی یک نیمکت در فضای بیرونی از نظر جسمی و روحی احساس راحتی کند. شش متغیر، آسایش حرارتی بیرونی را تحت تأثیر قرار می‌دهند: تابش خورشیدی که گرما را برای سیستم تنظیم حرارتی انسان فراهم می‌کند، باد، رطوبت و درجه حرارت محیط، سطح فعالیت‌های انسان و لباس‌های آنها (Bosselmann & et al, 1995: 226).

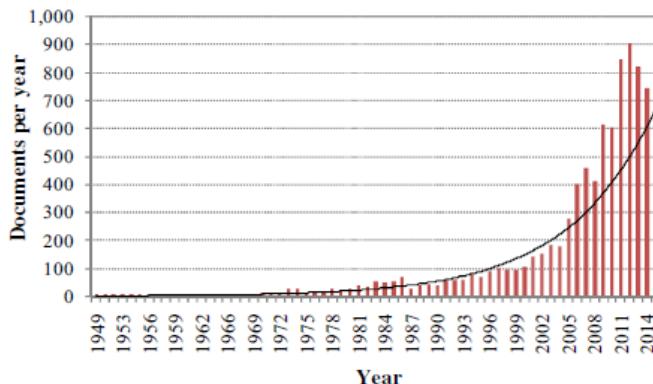
آسایش حرارتی با توجه به نوع محیط به سه دسته تقسیم می‌شود: آسایش حرارتی در فضای باز (بیرونی)، آسایش حرارتی در فضای نیمه باز، آسایش حرارتی در فضای سرپوشیده (داخلی) (Forgiarini Rupp & et al, 2015: 181). آسایش حرارتی در محیط بیرونی به ترمو-فیزیولوژی^۹، فیزیولوژی و تعادل گرمایی بدن انسان وابسته است (Taleghani et al, 2015: 65). آسایش حرارتی در فضای خارجی علاوه بر شرایط اقلیمی، متأثر از محیط ساخته شده اطراف، پوشش سطح زمین، تبخیر و تعرق گیاهان و سایه ایجاد شده توسط عوامل طبیعی و دستساز است (محمدی و دیگران، ۱۳۸۹: ۶۰). بنابراین آسایش حرارتی را می‌توان به سادگی احساس رضایت از محیط تعریف کرد. سطوح فعالیت، پوشак و میکرواقلیم‌ها (درجه حرارت هوا، رطوبت هوا، باد) از عوامل اصلی تاثیرگذار در آسایش حرارتی هستند.

در دهه‌های گذشته مدل‌های متعددی جهت برآورد تعادل انرژی بدن انسان در محیط‌های مختلف به منظور ارزیابی آسایش حرارتی تعریف شده است. این مدل‌ها در برگیرنده مولفه‌های هواشناسی و بازتاب محیط اطراف هستند (Fanger, 1972; Gagge & Fobelets, 1986). فانگر (Fanger, 1972) اولین و متداول ترین الگو جهت اندازه‌گیری آسایش اقلیمی، تحت عنوان متوسط نظرسنجی پیش‌بینی شده^{۱۰} و درصد نارضایتی پیش‌بینی شده^{۱۱} را وضع کرد. اکثر مدل‌ها علاوه بر مولفه‌های هواشناسی شامل دمای متوسط تابشی نیز می‌باشند که در تابستان و در محیط‌های شهری، نقش مهمی در تعادل گرمایی بدن انسان دارد. این دما اثر انرژی تابشی از محیط روی مبادله‌ی تابشی میان یک شخص و محیط احاطه کننده را نشان می‌دهد (حیدری نژاد و دلفانی، ۱۳۸۸: ۳۳). که در این پژوهش شاخص تابشی متوسط نظرسنجی پیش‌بینی شده و میانگین دمای تابشی مدنظر قرار گرفته است.

جدول ۲: نتایج جستجوی موضوع "آسایش حرارتی" در پایگاه داده‌های علمی مختلف

پارامتر/پایگاه داده	Google Scholar	Web of Science	Scopus	Science Direct
تعداد نتایج	۵۹۸۰۰	۵۹۷۹	۸۳۰۲	۲۲۸۵
زمینه جستجو	تمامی زمینه‌ها (غیر انتخابی)	عنوان، چکیده و کلمات کلیدی	عنوان، چکیده و کلمات کلیدی	عنوان، چکیده و کلمات کلیدی
نوع مرتب سازی	ارتباط (غیر انتخابی)	تعداد استادها	تعداد استادها	ارتباط
معیار رده بندی	بیشترین رخداد موارد جستجو	بیشترین تعداد استاد	بیشترین تعداد استاد	ناشر، نویسنده، تعداد استاد، استاد آخر

(Forgiarini Rupp & et al, 2015: 180)



شکل ۱: تعداد مقالات منتشر شده با موضوع "آسایش حرارتی" در سال های ۱۹۴۹-۲۰۱۴
ماخذ: (Forgiarini Rupp & et al, 2015: 180)

مروری بر متون و استخراج مولفه های فرم کالبدی شهری موثر بر آسایش حرارتی فضاهای باز شهری

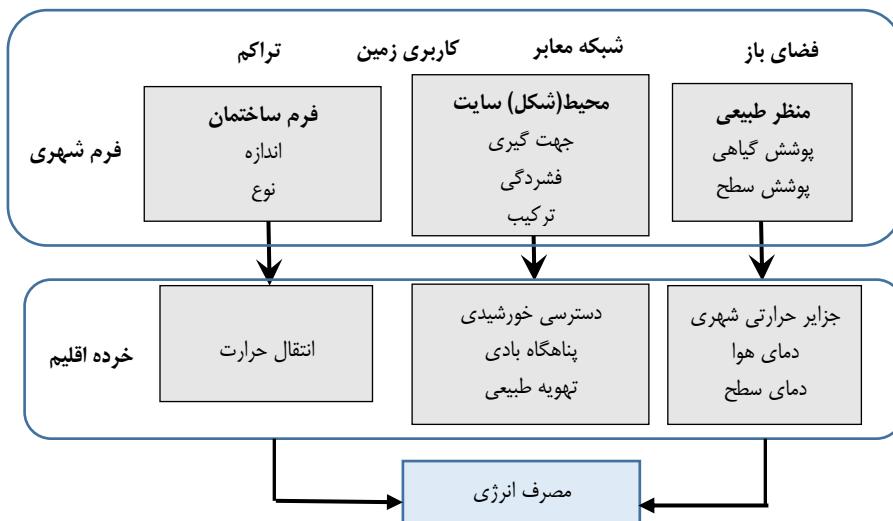
رابطه متقابل و تنگاتنگی بین ساختمندان و هر عنصر انسان ساخت شهری دیگر و محیط پیرامون آنها وجود دارد. در واقع هر عنصر مصنوع، وضعیت آب و هوای اطراف خود را تغییر می دهد. هندسه و مقطع شهر، اندازه و ابعاد شهر، تراکم و فشردگی شهر در مقیاس های وسیع تر و شکل، ارتفاع و اندازه بنایا، جهت گیری خیابان ها و ساختمندانها و سطح فضاهای باز، پوشش سطح زمین در مقیاس های خردتر همگی عواملی هستند که بر اقلیم خرد شهری تاثیرگذارند. اکثر مطالعات موجود در ایران معطوف به آسایش حرارتی در فضای درون ساختمنان و به منظور کاهش مصرف انرژی بوده است؛ مطالعات محدودی به آسایش حرارتی در فضای باز پرداخته اند. اما در دهه های اخیر مشاهده می شود که توجه بیشتری به مطالعات تاثیر فرم شهری بر روی خرد اقلیم فضای باز شده است. اولگی^{۱۴} (Olgay, 1963) و اوک^{۱۵} (Okyay, 1987) اولین پژوهشگرانی بودند که پیرامون رابطه بین معماران و طراحان شهر از دیدگاه کلیماتولوژیک با تأکید بر اثر متقابل بین طراحی شهری و خرد اقلیم تحقیق کردند. گیونی^{۱۶} (Givoni, 1998) تاثیرات تیپولوژی شهری را در اقلیم های مختلف مورد بررسی قرار می دهد. استیمز و همکاران^{۱۷} (Steemers, 1997) شش نمونه فرم کلی شهری را برای لندن ارائه کردند و تابش خورشید، دسترسی به نور خورشید و محیط ساخته شده را مقایسه کردند. پژوهش آنها توسط راتی و همکاران^{۱۸} برای شهر مراکش^{۱۹} ادامه داده شد (Ratti, 2003) و این نتیجه حاصل گردید که خانه های بزرگ از نظر زیست محیطی در اقلیم سرد مناسب هستند، و تحت شرایط هندسی مشخص مانند کنستانتره خورشیدی عمل می کنند و در مقابل بادهای سرد مانند سرپناه عمل می کنند. بوریبا و اویی^{۲۰} تاثیر شاخص ارتفاع به عرض (H/W) و عامل دید به آسمان (SVF) یک گروه ساختمانی را در اقلیم فضای باز و دمای سطح در شهر ال اود^{۲۱} در الجزایر بررسی کردند. آنها به این نتیجه رسیدند که از طریق کنترل فاکتور (SVF) و معماری خیابان می توان از دمای بالا در دالان های شهری^{۲۲} جلوگیری کرد و این عوامل تاثیر بیشتری در مقیاس محلی نسبت به مقیاس شهری دارند. یک پژوهش جامع در مورد فضاهای باز شهری در مختصات جغرافیایی ۳۴-۲۶ درجه شمالی توسط یزیرو و همکاران^{۲۳} (Yezioro, 2006) با استفاده از برنامه Shading انجام شده و به این نتیجه رسیدند که به منظور خنک سازی، بهترین جهت گیری، حیاط های مستطیلی شمالی-جنوبی (وجه بزرگتر در جهت شرقی- غربی) است و چنین اذعان نمودند که جهت شمالی-جنوبی (NS) در مدت زمان خیلی کوتاه، نور خورشید مستقیم را در مرکز حیاط دارد و این یافته ها در اقلیم های مشابه که تابش خورشید کمتری دارند، قابل تعیین است. آنها همچنین آسایش حرارتی تابستان را بررسی کرده و نشان دادند که با وجودی که تفاوت دمای هوا بین سطوح سایه و غیر سایه تنها ۵-۱۰ کلوین بود، اما دمای میانگین تابش بیشتر از ۳۰ درجه کلوین متفاوت بود (Ali-Toudert, 2012). علی تودرت و مایر (Berkovic & Yezioro, 2006) مدل خرد اقلیم انوی^{۲۴} را برای شبیه سازی آسایش حرارتی بیرونی در اقلیم گرم و خشک الجزیره استفاده کرده و تاثیر جهت گیری های مختلف دالان های شهری را مورد بررسی قرار داده و به این نتیجه رسیدند که زمانی که نسبت ارتفاع ساختمنان یا خیابان به عرض آن (H/W) افزایش می یابد، دمای هوا به آرامی کاهش می یابد و شاخص PET ارتفاع می یابد. جانسون

(Johansson, 2006) ارزیابی‌های را در فز و موروکو^{۲۵} انجام داد و به این نتیجه رسید که طراحی شهری فشرده با دلانهای شهری عمیق برای تابستان مناسب است، در صورتی که در زمستان دلانهای پهن‌تر برای گرمایش خوبشیدی غیرفعال، مناسب‌تر است. بوربیا و بوچربیا (Boucheriba & Bourbia, 2010) دمای سطح و هوای بیرونی را در هفت سایت مختلف با نسبت‌های متفاوت ارتفاع به عرض بین ۱ تا ۴.۸ و ضریب دید به آسمان بین ۰.۰۷۶ و ۰.۵۸۰ در کنستانتین الجزیره ارزیابی کردند. آنها مشاهده کردند که نسبت ارتفاع به عرض بزرگتر، دمای هوای سطح پایین‌تری دارد. در مناطق با آب و هوای گرم عامل دید به آسمان بیشتر (SVF)، دمای هوای بیرونی بالاتری نیز دارد. همچنانی نقش پوشش گیاهی و طراحی خرده اقلیم مناسب در اقلیم گرم و خشک به طور گسترده توسعه اول و همکاران (Erell, 2012) و طالقانی و همکاران (Taleghani et al, 2012, 2014) بررسی شده است. در ادامه با همکاران (بررسی پژوهش‌هایی که اخیراً پیرامون رابطه میان متغیرهای فرم شهری و خرده اقلیم، آسایش حرارتی و انرژی انجام شده است، به استخراج مولفه‌های فرم کالبدی موثر بر آسایش حرارتی در قالب جدول ۳، پرداخته شده است.

جدول ۳: خلاصه مطالعات انجام شده در زمینه رابطه میان مولفه‌های فرم شهری، خرده اقلیم، آسایش حرارتی و مصرف انرژی

نام محقق / محققان	متغیرهای مستقل مورد مطالعه	متغیرهای وابسته مورد مطالعه
Bosselmann & et al(1995)	ابعاد خیابانها و مکان ساختمانها	تابش، باد و آسایش حرارتی
Toudert & et al(2006)	جهت‌گیری، نسبت دلانهای شهری، ارتفاع به عرض خیابان‌ها (h/w)	آسایش حرارتی بیرونی
Bourbia & et al(2010)	عامل نمای آسمان (SVF)، جهت‌گیری (معرفی شده توسط محور طولی آن)	آب و هوای خیابان (دمای خیابان)
Dalman & Salleh(2011)	جهت خیابان، نسبت H/W	آسایش حرارتی (دمای آسایش)
Krüger & et al(2011)	هنده شهری: آکس‌های خیابان‌ها، ارتفاع ساختمانها و ویژگی‌هایشان	آسایش حرارتی بیرونی کیفیت هوای (پراکندگی آلاینده)
Noori Kakon & Mishima (2012)	فرم خیابان: شکل و ارتفاع، فرم ساختمانها	آسایش حرارتی بیرونی
Yang & et al(2013)	فرم شهری و تراکم	پتانسیل تهویه بیرونی
Paramita , Hiroatsu Fukuda (2013)	ارتفاع به عرض (H/W)، جهت‌گیری	MRT (میانگین دمای تابشی) Ta (دمای هوای)
Middel & et al(2014)	نوع محوطه سازی، چیدمان ساختمان‌ها	داد، جریان باد
Elnabawi(2014)	فرم شهری	آسایش حرارتی
Sanaieian & et a (2014)	فرم و موقعیت بلوک‌های شهری	عملکرد گرمایی، تابش خورشیدی و تهویه
Zabeti Targhia, Steven Van Dessel(2015)	ارتفاع به عرض (H/W)، ضریب دید به آسمان (SVF)، جهت‌گیری	UHI جزیره گرمایی شهری (شاخص ^{۲۶} PET)
Taleghani & et al(2015)	فرم‌های حیاط دار	آسایش حرارتی بیرونی در فضاهای شهری، مدت زمان تابش مستقیم، متوسط دمای اشعه تابشی
Yingli Xuan & et al(2016)	فرم‌های متفاوت شهری: نسبت میان فاصله ساختمان به ارتفاع ساختمان ۰.۲۴ و ۰.۳۶ و ۰.۴۸ و ۰.۷۱ و ۰.۹۵ و ۱.۱۹ و ۱.۴۳	سرعت باد، سطح تابش
بهزاد فر و همکاران (۱۳۸۹)	ضریب دید به آسمان (SVF)	آسایش حرارتی فضای باز شهری (میانگین دمای تابشی)
رضازاده و همکاران (۱۳۸۹)	الگوی توده‌گذاری بلوک‌های مسکونی	آسایش حرارتی
محمدی و دیگران (۱۳۸۹)	ضریب دید به آسمان، میزان سایه، فاصله تا ساختمان	آسایش حرارتی فضای باز (PET)

نام محقق / محققان	متغیرهای مستقل مورد مطالعه	متغیرهای مستقل های مسکونی، ویزگی های کالبدی ساختمان: فرم پلان ساختمان (ابعاد قطعه)، جهت گیری، ارتفاع، تراکم ساختمانی	صرف انرژی شهر
ریعیان و همکاران (۱۳۹۰)	فرم و تراکم بلوک های مسکونی، ویزگی های کالبدی ساختمان: فرم پلان ساختمان (ابعاد قطعه)، جهت گیری، ارتفاع، تراکم ساختمانی	بافت شهری: فرم چیدمان ساختمان ها، جزئیات بنا، جهت گیری، فرم پلان ساختمان، ارتفاع، ویزگی های فیزیکی و کینی شیکه معابر، اندازه و تراکم، دسترسی، الگوی کاربری ها، محصوریت، اتصال و پیوند	علی اکبری (۱۳۹۱)
منشی زاده و همکاران (۱۳۹۲)	آسایش حرارتی	ارتفاع ساختمانها	خردادلیم و انرژی
حاجی پور و همکاران (۱۳۹۳)	تعداد طبقات، کیفیت بنا، عمر بنا، نمای ساختمان، سازه، جهت گیری میزان صرف انرژی عملکردی در بخش ساختمان، تعداد زوایای آفتاب گیر، مساحت مسکونی	کاربری، نحوه توده گذاری ساختمانی، جهت گیری توده ها، نوع پوشش	شمسي پور و ديگران (۱۳۹۳)
	دماي تابشي، دماي پتانسيل، دماي موثر	سطحي معابر، پوشش گياهي، شبکه آبگذر سطحي	



شکل ۲: تاثیر متغیرهای فرم شهری بر خرده اقلیم و انرژی صرفی

با مروری بر پژوهش های انجام شده داخلی و خارجی، متغیرهای فرم شهری موثر بر آسایش حرارتی در مقیاس های مختلف ساختمان مجزا، خیابان، بلوک های شهری و محله (بافت شهری) در قالب جداول ۴ الی ۷ تنظیم شده اند.

جدول ۴: متغیرهای فرم شهری (مقیاس بنا و قطعه) موثر بر آسایش حرارتی بیرونی

شاخص	توضیح شاخص
میانگین مساحت قطعه	نشان دهنده میانگین ابعاد و اندازه قطعه است و میزان سطح تابش و سایه اندازی را تحت تاثیر قرار می دهد.
میانگین بر قطعات	نشان دهنده میانگین میزان سطح دسترسی افراد، نور و تهویه در قطعه است.
میانگین عرض به طول قطعه	نشان دهنده میانگین شکلی قطعات در بلوک در طیف مربع، مستطیل های کشیده و اشکال چند ضلعی هست.
تراکم ساختمانی (تعداد طبقات)	نشان دهنده میانگین ارتفاع ساختمان ها و سایه اندازی آنها است.
تراکم ساختمانی بر ايجاد جزایر حرارتی در شهر تاثيرگذار است.	نشان دهنده موقعیت نسبت به زاویه تابش خورشید است.
جهت گیری ساختمان ها	نشان دهنده میزان سطح تابش و سایه اندازی است.
مقرر یا محدود بودن نماها	نشان دهنده میزان جذب انرژی خورشیدی و سرمایش و گرمایش مورد نیاز برای تعدیل حرارتی درون ساختمان است.
نوع، رنگ و جنس مصالح	نشان دهنده میزان جذب انرژی خورشیدی و سرمایش و گرمایش مورد نیاز برای تعدیل حرارتی درون ساختمان است.
الگوی ساخت	نشان دهنده نحوه ترکیب و چیدمان فضای ساخته شده و فضای خالی در درون یک قطعه است (حياط مرکزی، يك جبهه، گونه U شکل، گونه L شکل، ساختمان مرکزی) که میزان سطح تابش و سایه اندازی را تحت تاثیر قرار می دهد.
پرو خالی	نشان دهنده درصد فضای باز به فضای خالی و سطح دسترسی به نور و نحوه حرکت باد و تهویه طبیعی است.

جدول ۵: متغیرهای فرم شهری (مقیاس خیابان) موثر بر آسایش حرارتی بیرونی

شاخص	توضیح شاخص
عرض مسیرهای پیاده	نشان دهنده میزان سطح تابش و سایه اندازی است.
عرض و طول مسیرها	نشان دهنده میزان سطح تابش و سایه اندازی، جریان باد و کوران باد است.
محصوریت معابر (تناسبات)	نشان دهنده میزان سطح تابش و سایه اندازی، جریان باد است.
عرض و ارتفاع	نسبت ارتفاع به عرض معابر شدت جزیره‌های حرارتی را تحت تأثیر قرار می‌دهد.
نظم هندسی شبکه معابر	نشان دهنده نظم هندسی شبکه معابر در کنار یکدیگر می‌باشد که می‌تواند به صورت ارگانیک، الگوی شطرنجی، شعاعی، حلقوی و ... باشد و بر جهت و سرعت باد، میزان سطح تابش و سایه اندازی تاثیرگذار است.
جنس و رنگ مصالح کف	نشان دهنده میزان جذب و انعکاس انرژی خورشیدی برخورده کننده به سطح می‌باشد.
جهت گیری معابر	نشان دهنده موقعیت نسبت به زاویه تابش خورشید، کوران باد و تهویه است.
نوع و تراکم پوشش گیاهی	نشان دهنده تهویه طبیعی هوا است و شدت جزیره حرارتی به میزان پوشش گیاهی وابسته است.

جدول ۶: متغیرهای فرم شهری (مقیاس بلوک) موثر بر آسایش حرارتی بیرونی

شاخص	توضیح شاخص
مساحت بلوک	نشان دهنده میانگین ابعاد و اندازه بلوک می‌باشد و میزان سطح تابش و سایه اندازی را تحت تأثیر قرار می‌دهد.
سطح اشغال	نشان دهنده سطوح اشغال شده در یک بلوک و درصد فضای باز و خالی می‌باشد که بر نحوه حرکت باد و تهویه طبیعی تاثیرگذار است.
تراکم ساختمنانی	بیانگر نسبت زیرینا به سطح کل بلوک و در صورت ارتباط با سطح اشغال، نشان دهنده حدودی طبقات می‌باشد.
تعداد طبقات در بلوک	نشان دهنده میانگین تعداد طبقات در یک بلوک و ارتفاع بلوکها و میزان سایه اندازی آنها است.
میانگین عرض به طول بلوک	نشان دهنده میانگین شکلی بلوک در طیف مریع، مستطیلهای کشیده و اشکال چند ضلعی هست.
جهت گیری بلوک	نشان دهنده میزان سطح تابش و سایه اندازی و آسایش حرارتی اطراف بلوک است.
فاصله مابین بلوک‌ها	نشان دهنده چدمان و نحوه ترکیب توده و فضا در کنار یکدیگر و فشرده‌گی آنها و میزان تهویه طبیعی، بهره مندی از انرژی خورشید است.
شاخص فضای باز سایه‌انداز	بیانگر شدت فشار واردہ بر فضاهای باز درون بلوک از سوی ساکنان تمام طبقات واقع در بلوک، تهویه طبیعی و سطوح سایه‌انداز است.
مصالح (جنس، رنگ) بدنه و کف بلوک‌های شهری	نشان دهنده میزان گرمایش سطوح (میزان جذب و بازتابش نور خورشید) است.
قابلیت نفوذپذیری	تعداد معابر برای رسیدن از معبر اصلی به بلوک مورد نظر قابلیت دسترسی به آن را نشان می‌دهد، و بر جهت و سرعت باد، میزان سطح تابش و سایه اندازی تاثیرگذار است.
عرض معابر متهی به بلوک نشان دهنده نفوذپذیری بلوک می‌باشد که در این مورد شاخص محصوریت و ضربی دید به آسمان مطرح می‌شود.	

جدول ۷: متغیرهای فرم شهری (مقیاس بافت) موثر بر آسایش حرارتی بیرونی

شاخص	توضیح شاخص
مساحت توده و فضا	نسبت میان فضاهای پر و خالی نشان دهنده میزان سایه اندازی، امکان تهویه طبیعی و جریان باد می‌باشد.
نحوه ترکیب توده و فضا	نشان دهنده فشرده‌گی و پراکندگی بافت و وضعیت هوا در بین توده و فضا می‌باشد.
مساحت فضاهای باز	نشان دهنده وضعیت باد در فضاهای باز از نظر ایجاد شرایط آسایش یا مراحت برای افراد است.
نوع کاربری	نشان دهنده متابع تولیدکننده گازهای آلوده و ایجاد جزایر حرارتی در شهر است.
مساحت فضای سبز	نشان دهنده تهویه طبیعی هوا است و شدت جزیره حرارتی نیز به میزان پوشش گیاهی وابسته است.
نظم هندسی شبکه معابر	نشان دهنده نظم هندسی شبکه معابر در کنار یکدیگر می‌باشد که می‌تواند به صورت ارگانیک، الگوی شطرنجی، شعاعی، حلقوی و ... باشد و بر جهت و سرعت باد، میزان سطح تابش و سایه اندازی تاثیرگذار است.

از آنجا که قطعات، خیابان‌ها، فضاهای ساخته شده و فضاهای باز و کاربری اراضی، عناصر تشکیل دهنده بافت هستند که دارای رابطه با یکدیگرند و یک سیستم را تشکیل می‌دهند، لذا می‌توان گفت کلیه مؤلفه‌ها و شاخص‌های فرم کالبدی از مقیاس بنا تا بلوک شهری در مقیاس بافت نیز می‌تواند مطرح گردد.

مطالعه موردي: اراضي ۱۷.۵ هكتاري پشت سيلو شهر يزد

اين تحقيق با زمينه شهر يزد و تمرکز در اراضي ۱۷/۵ هكتاري پشت سيلو-يزد انجام شده است که اين اراضي در جنوب شهر يزد واقع شده است. اين اراضي به دليل اينكه از توسعه هاي جدي شهر يزد و از بافت هاي طراحي شده و داراي طرح آماده سازی می باشد، انتخاب گردیده و با توجه به تنوع فضائي اين محدوده، شبیه سازی بر روی يخشی از آن انجام شده است. جهت تبيين مولفه هاي فرم كالبدی موثر بر آسایش حرارتی فضاهاي باز شهری، آسایش حرارتی در ۵ نقطه متفاوت در اين محدوده مورد بررسی قرار گرفت. اين نقاط به نحوی انتخاب شدند که بر اساس ضریب دید به آسمان، جنس کفپوش، فاصله و موقعیت نقاط تا ساختمان، جبهه قرارگیری و فاصله تا درختان و ... محدوده هاي مختلف سایت را مطابق شکل ع پوشش دهن. مشخصات ۵ نقطه منتخب سایت به تفکيك در جدول ۹ ذکر گردیده است. در ادامه ابتدا به معرفی معیارهای فرم كالبدی مؤثر در آسایش حرارتی در مقیاس مطالعه پرداخته و در مرحله بعد با استفاده از نرم افزار آنوي مت به شبیه سازی و تحلیل عوامل اقلیمی در اطراف بلوک های واحد های همسایگی در نمونه موردي پرداخته می شود. نتایج این تحلیل سبب ایجاد نگرشی کلی در ذهن طراحان شهری درباره موضوع عوامل تأثیرگذار بر خرداقیم و آسایش حرارتی محیط تحت تأثیر مولفه های فرم كالبدی منجر خواهد شد.



شکل ۳: نقشه سایت مورد مطالعه



شکل ۴: نقاط منتخب سایت

نقطه A با ۷۸ درصد دید به آسمان، در حیاط مرکزی یک مجتمع آموزشی قرار دارد. مصالح کف محدوده موزاییک می باشد. این نقطه از محصوریت پایینی برخوردار است و در سایه درختان مجاور قرار می گیرد. نقطه B یک زمین بایر با دید به آسمان ۹۵٪ است که در مجاورت کاربری درمانی واقع شده و مصالح کف آن خاک است و قسمتی از آن در ساعتی از

روز در سایه درختان بر زمین قرار دارد. نقطه C در قسمت پیاده‌رو یک خیابان شرقی-غربی قرار دارد که مصالح کف خیابان آسفالت و پیاده‌روها با موزاییک فرش شده است و دارای مخصوصیت $\frac{3}{2}$ و ضریب دید به آسمان $0/68$ می‌باشد. این نقطه از خیابان فاقد پوشش گیاهی می‌باشد. نقطه D در خیابان شمالی - جنوبی محدوده قرار دارد و به دلیل قرارگیری در مجاورت ساختمانهای سه طبقه، از مخصوصیت بالاتری برخوردار است و دید به آسمان آن کاهش یافته و حدود $0/34$ می‌باشد و دارای پوشش گیاهی و مصالح کف آسفالت می‌باشد. نقطه E در کف باغچه خاکی سایت قرار دارد که نقش فضای باز مرکزی و فضای سبز محدوده را دارد، ولی هنوز فضای سبز دیده شده در طرح این محدوده، در این قسمت اجرا نشده است و بیشترین دید به آسمان ($0/97$) متعلق به این نقطه است.

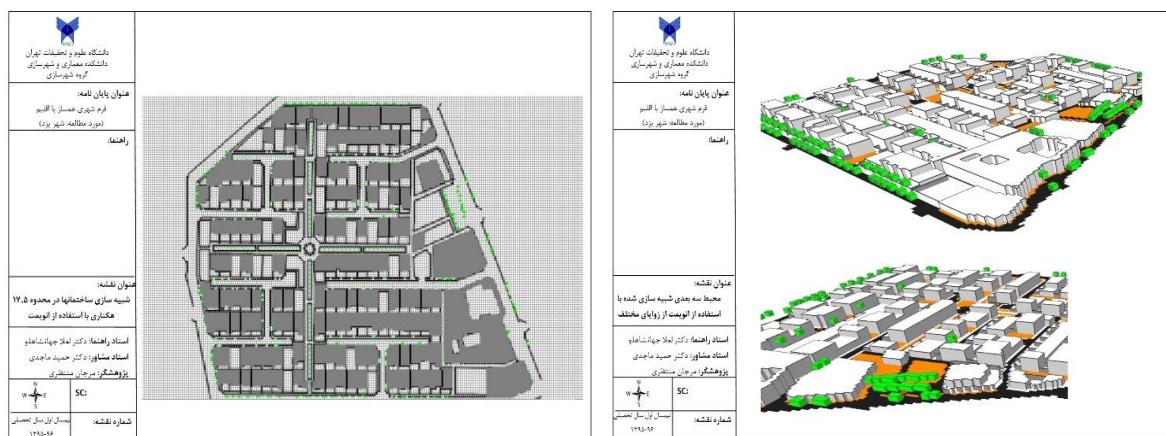
جدول ۸: مشخصات (ویژگی‌های فرم کالبدی) نقاط منتخب سایت

نقاط منتخب	مشخصات	کاربری	محصولیت H/W	ضریب دید به آسمان SVF	مصالح	جهت‌گیری	پوشش گیاهی
A	حياط مرکزی	آموزشی	۰/۱	۰/۷۸	موزاییک	شمال غربی - جنوب شرقی	دارد
B	زمین	بایر	ندارد	۰/۹۵	خاک	شمال شرقی - جنوب غربی	ندارد
C	حيابان شرقی - غربی	معبر	۰/۳	۰/۶۸	آسفالت	شرقی - غربی	ندارد
D	حيابان شمالی - جنوبی	معبر	۰/۶	۰/۳۴	آسفالت	شمالي - جنوبي	دارد
E	فضای باز مرکزی	میدان محلی	ندارد	۰/۹۷	خاک	-	ندارد

شبیه‌سازی

به منظور ارزیابی شرایط محیطی در فضای باز و محاسبه آسایش حرارتی، از نرم افزار انوی مت ۴ استفاده شده است. شبیه‌سازی با کمک این نرم افزار نیاز به وارد کردن مجموعه‌ای از پارامترهای هواشناسی دارد. مقادیر این پارامترها که در فایل پیکربندی^۱ این نرم افزار تنظیم می‌شوند، در جدول ۹ آمده است. لازم به ذکر است این شبیه‌سازی برای گرمترين روز سال یعنی ۱۲۶ فوریه ۲۰۱۵ مورخ ۵ تیرماه ۱۳۹۴ و به مدت ۶ ساعت (۱۲ الی ۱۸ عصر) انجام شده است. بدین منظور از جدیدترین آمار آب و هوایی ایستگاه سینوپتیک شهر یزد استفاده گردیده است که این اطلاعات از اداره آب و هواشناسی یزد مطابق جدول ۹ برداشت شده است. بدینهی است تدقیق نتایج، ملزم برداشت میدانی اطلاعات هواشناسی است.

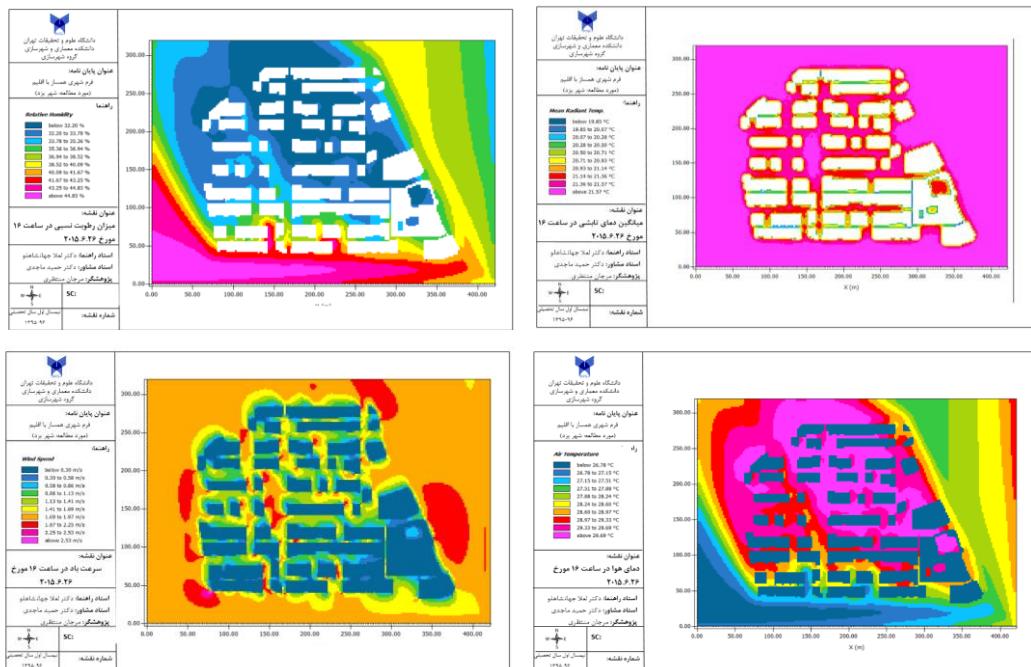
جهت شروع فرایند شبیه‌سازی، ابتدا محدوده مورد مطالعه به طور کامل در نرم افزار شبیه‌سازی شده است (شکل ۵). بدین ترتیب که داده‌های مربوط به شمای کالبدی محدوده در فایل ورودی محدوده تنظیم می‌شوند؛ در این قسمت اطلاعات مربوط به ارتفاع ساختمان‌ها، عرض خیابان، نوع، مکان و ارتفاع درختان و پوشش گیاهی و نوع خاک، وارد شده و به داده‌های هواشناسی در فایل پیکربندی متصل می‌شوند.



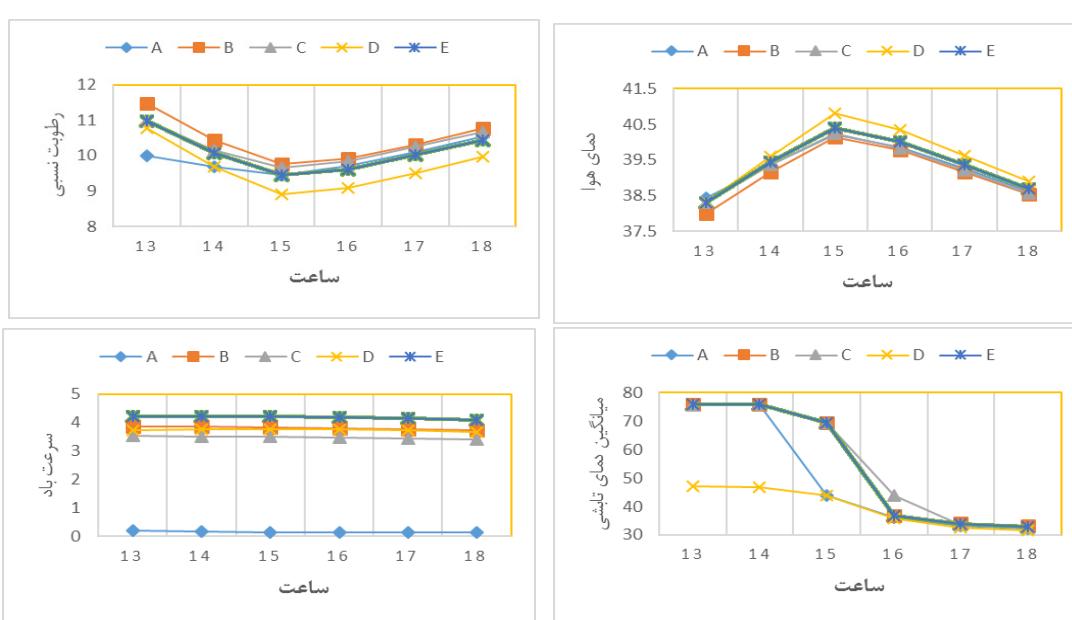
شکل ۵: شبیه‌سازی بخشی از محدوده ۱۷.۵ هکتاری در نرم افزار انوی مت

جدول ۹: پارامترهای هواشناسی مربوط به گرم‌ترین روز سال - ۵ تیرماه ۱۳۹۴ وارد شده در فایل پیکربندی

پارامتر هواشناسی	مقدار کمی
Wind speed measured in 10 m height (m/s)	۲.۹
Wind direction (deg)	۱۵۰
Roughness length at measurement site	۰.۰۱
Initial temperature of atmosphere (k)	۳۰.۸۹۸ k = ۳۵.۸۳ °C
Specific humidity at model top (2500m)	۷
Relative humidity in 2m (%)	۱۴



شکل ۶: نتایج شبیه‌سازی مقادیر دمای هوا، سرعت باد، میانگین دمای تابشی و رطوبت نسبی در ساعت ۱۶ روز ۵ تیرماه ۱۳۹۴



شکل ۷: نتایج شبیه سازی دمای هوا، رطوبت نسبی، دمای تابشی و سرعت باد در نقاط پنجگانه سایت در ساعت ۱۳-۱۸ روز ۵ تیرماه ۱۳۹۴

جدول ۱۰: نتایج شبیه سازی درجه حرارت، سرعت باد، رطوبت نسبی و میانگین دمای تابشی نقاط منتخب مربوط به ساعت ۱۶ در روز ۵ ام تیرماه ۱۳۹۴

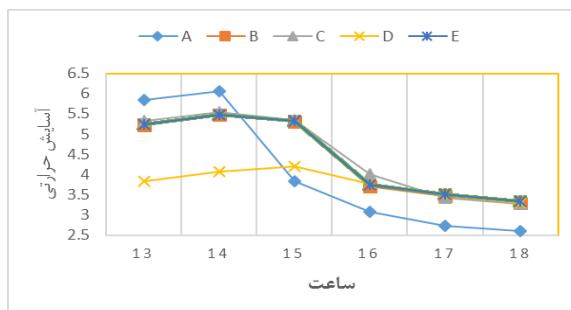
نقاط منتخب	مشخصات	درجه حرارت (C)	سرعت باد (m/s)	رطوبت باد (%)	میانگین دمای تابشی
A	حیاط مرکزی	۳۹.۸۶	۰.۱۴	۹.۷۱	۳۶.۱۹
B	زمین باز	۳۹.۷۷	۳.۷۹	۹.۹۲	۳۶.۸۹
C	خیابان شرقی - غربی	۳۹.۸۳	۳.۴۷	۹.۸۵	۴۳.۷۸
D	خیابان شمالی - جنوبی	۴۰.۳۵	۳.۷۵	۹.۰۸	۳۵.۹۲
E	فضای باز مرکزی	۴۰	۴.۱۸	۹.۶۱	۳۶.۷۱

ماخذ: اداره آب و هواشناسی یزد، ۱۳۹۵

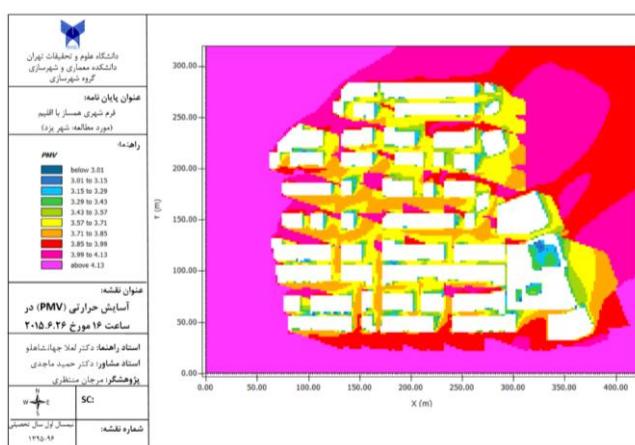
یافته‌های تحقیق

نتایج شبیه سازی شرایط آب و هوایی در محیط کالبدی مورد نظر شامل متوسط دمای تابشی، سرعت باد، جهت باد، دمای سطح، شاخص آسایش، رطوبت نسبی هوا در قالب شکل عو ۷ به نمایش گذاشته شده است. به سبب اینکه معمولاً بیشینه دمای روزانه تیر در ساعت ۱۶ رخ می‌دهد، نتایج شبیه سازی در این ساعت بیان شده و از طرفی چون میانگین قد انسان بین حالت ایستاده و نشسته ۱.۴۰ متر است، سنجش شبیه سازی در این ارتفاع انجام شده است.

نمودار سرعت باد نشان می‌دهد که سرعت باد در اطراف تمامی نقاط منتخب سایت به غیر از نقطه A که مربوط به حیاط مرکزی یک واحد اموزشی می‌باشد، تقریباً مقدار یکسانی را به خود اختصاص داده و این نشان دهنده این نکته است که مؤلفه‌های فرم کالبدی در مقیاس خرد، چندان بر سرعت باد تأثیرگذار نبوده‌اند. لازم به ذکر است محسوبه آسایش حرارتی علاوه بر مؤلفه‌های هواشناسی و موقعیت مکانی تابع سن، جنسیت و میزان پوشش و سطح فعالیت کاربران نیز است. جمعیت موردنظر این تحقیق طبق پیش فرض نرم افزار انوی مت، افراد مذکور ۳۵ ساله با فعالیت راه رفتن آهسته و میزان متابولیسم (W/m^2) ۱۶۴ است. ضریب رسانایی لباس افراد ۰.۹ در نظر گرفته شده است. نمودارهای تصویر ۷، نشان دهنده تأثیر ویژگی‌های کالبدی فرم شهری بر ایجاد آسایش حرارتی می‌باشد.



شکل ۸: آسایش حرارتی نقاط منتخب سایت در ساعت مختلف روز ۵ ام تیرماه ۱۳۹۴



شکل ۹: شرایط آسایش محیطی در ساعت ۱۶ عصر روز ۵ ام تیرماه ۱۳۹۴ بر اساس تحلیل با نرم افزار انوی مت

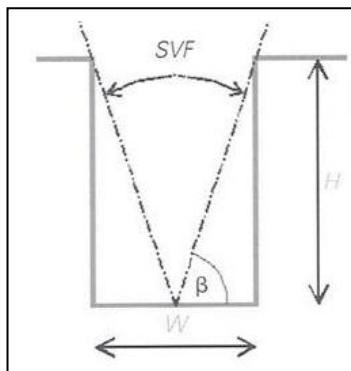
جدول ۱۱: شاخص آسایش حرارتی نقاط منتخب مربوط به ساعت ۱۶ در روز ۵ تیرماه ۱۳۹۴

E	D	C	B	A	نقاط منتخب
۳.۷۵	۳.۷۷	۳.۹۹	۳.۷۰	۳.۰۷	آسایش حرارتی PMV

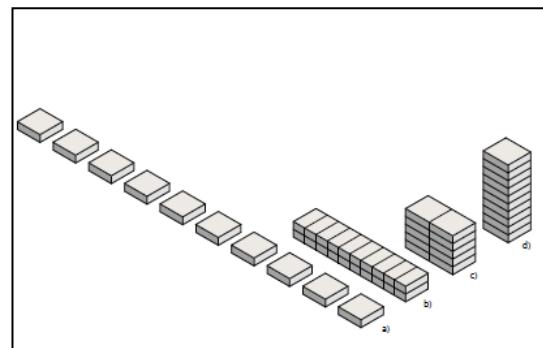
نتایج ارائه شده در جدول ۱۱ نشان می‌دهد در نقاط مختلف سایت که هر یک دارای ویژگی‌های کالبدی متفاوت می‌باشند، شرایط آسایش حرارتی نیز متفاوت بوده است که در ادامه به بررسی متغیرهای تاثیرگذار فرم کالبدی شهر بر خردۀ اقلیم و آسایش حرارتی فضاهای باز شهری و تبیین نحوه اثرگذاری و رابطه میان متغیرهای کالبدی و اقلیمی محاسبه شده، پرداخته می‌شود:

• مخصوصیت (نسبت ارتفاع به عرض یا نسبت سیما):

نتایج نشان می‌دهد میزان مخصوصیت (نسبت H/W) معابر بر وضعیت اقلیمی و میزان حرارت اطراف ساختمانها و معابر تاثیرگذار است. اهمیت این نسبت در تعیین میزان تابشی است که به سطح کف در فضای شهری می‌رسد و باعث تغییر دما در این سطوح می‌گردد و همچنین این عامل بر نحوه وزش باد و تهویه اثرگذار است. در شهرهای واقع در اقلیم گرم و خشک چون شهر یزد، مخصوصیت معابر یکی از پارامترهای تاثیرگذار در ایجاد آسایش حرارتی در بافت‌های شهری است؛ از آنجا که مخصوصیت بالاتر موجب سایه‌اندازی بیشتر در معابر می‌شود، لذا از جمله تمهداتی که در بافت‌های قدیمی جهت مناسب‌سازی فضاهای شهری به منظور حضور عابران پیاده اتخاذ گردیده، همین راهکار می‌باشد. مخصوصیت تحت تاثیر دو مولفه ارتفاع و عرض معابر می‌باشد و ارتفاع معتبر خود تابع ارتفاع ساختمان‌های هم‌جاوار است.



شکل ۱۰: نسبت H/W و SVF از جمله پارامترهای موثر بر آسایش حرارتی فضای شهری



شکل ۱۱: چینش فضایی و ارتفاع و تراکم بلوکها از جمله پارامترهای موثر بر آسایش حرارتی فضای شهری

• نمایانی آسمان یا ضریب دید به آسمان (SVF)

فاکتور نمایانی به آسمان، فاکتور دیگری است که به همراه فاکتورهایی نظیر نسبت سیما (H/W)، جهت‌گیری خیابان‌ها، آلدو و ضریب انعکاس سطح با تاثیر بر میزان گرما و جزایر گرمایی در سطح خیابان‌های شهری تاثیرگذار است. این فاکتور که طبق قرارداد در بازه‌ای بین صفر تا یک قرار می‌گیرد، از طریق محاسبات آنالیزی و یا شیوه‌هایی از عکسبرداری با دوربین‌های خاص محاسبه می‌شود. این فاکتور هنگامی که یک باش، بدین معناست که از سطح زمین، آسمان به طور کامل دیده می‌شود و مقدار صفر آن، به معنی پوشیده شدن کل آسمان با موانع و ساختمان‌ها است. هر چه قدر که مقدار این فاکتور بیشتر باشد، خیابان شهری سریع‌تر خنک می‌شود و هر چه کمتر باشد، خیابان در طول روز بیشتر گرم می‌ماند و در طول شب گرمای بیشتری آزاد می‌کند. استفاده از سباباط با ضریب دید به آسمان صفر، در بافت‌های قدیمی شهر یزد، تمهد دیگری جهت تعدیل شرایط طاقت‌فرسای آب و هوایی اقلیم گرم و خشک است.

• جهت‌گیری خیابان‌ها

دمای روزانه در خیابان‌های شهری با جهت قرارگیری آن نسبت به خورشید ارتباط دارد، زیرا مدت زمان سایه یا مدت زمان دریافت تشعشع خورشیدی، تعیین‌کننده میزان دمای موجود است. جهت‌گیری خیابان با توجه به جهت وزش باد نیز، پتانسیل‌های تهویه شهری را تقویت می‌کند. در واقع تعیین جهت در فضای شهری با توجه به شرایط اقلیم محلی، می‌تواند در کنترل و کاهش آلودگی گرمایی، حرکت گرد و غبارها و ... تاثیرگذار باشد. از آنجایی که کالبد شیکه‌های دسترسی از چینش قطعات (توده‌ها) در بلوک‌ها شکل

می‌گیرد، به تبعیت شکل قطعات، بلوک‌ها تشکیل می‌شود و به تبعیت شکل بلوک‌ها، پیکربندی خیابان‌ها انجام می‌گیرد. لذا این مولفه با مولفه‌های جهت‌گیری بلوک و الگوی قرارگیری آنها در کنار یکدیگر در ارتباط می‌باشد و جهت‌گیری معابر تحت تأثیر همان جهت‌گیری قطعات و بلوک‌ها می‌باشد. نحوه تأثیرگذاری این شاخص به این صورت است که با تغییر جهت‌گیری، نفوذ حرارت و باد به معابر تحت تأثیر قرار می‌گیرد.

• مصالح (جنس، رنگ) بدن و کف بلوک‌های شهری

فاکتوری که می‌تواند بر میزان دمای سطوح تأثیرگذار باشد، نوع مصالح سطوح مختلف است، زیرا مصالح مختلف به دلیل دارابودن ویژگی‌های متفاوتی از قبیل ظرفیت حرارتی، ضریب انتقال حرارت، آلدو و ضریب انعکاس و... می‌توانند در میزان گرمایش سطوح مختلف مداخله کرده و جریانات گرمایی متفاوتی ایجاد کنند و به طور کلی بر روی آسایش حرارتی محیط پیروزی تأثیرگذار باشند. به عنوان مثال استفاده از گل، کاهگل و مشتقات آن به دلیل ظرفیت حرارتی بالا و یا آجر به دلیل رنگ روشن آن با توجه به شرایط اقلیمی شهر یزد، در تعديل دمای محیط کارایی خوبی دارند. معمولاً مصالح با رنگ‌های تیره چون آسفالت تیره خیابان‌ها، سبب جذب بیشتر نور خورشید و مصالح روشن سبب انعکاس بیشتر نور می‌شوند. جنس و رنگ مصالح بایستی به نحوی باشد که حداقل جذب آفتاب در فصول گرم سال را فراهم کند و از افزایش دمای متوسط تابشی ناشی از بازتابش مصالح چلوگیری نماید.

• پوشش گیاهی

وجود پوشش گیاهی در فضاهای باز شهری و در سطح معابر بر روی رطوبت موجود در محیط و تعديل هوا تأثیرگذار است و سبب تغییر دمای سطح خواهد شد. آرایش، نوع و چیدمان فضایی درختان (به صورت پیوسته، پراکنده و یا فاقد پوشش گیاهی، نوار سبز یا پوشش سبز لکه‌ای) به عنوان فاکتوری تأثیرگذار بر کیفیت و آسایش گرمایی محیط می‌باشد.

نتیجه‌گیری

تحقیق حاضر با مطالعه متمرکز بر بخشی از اراضی ۱۷.۵ هکتاری پشت سیلو یزد، عوامل تأثیرگذار بر آسایش حرارتی را مورد ارزیابی قرار داده است. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد توجه به شاخص‌های مورفولوژی شهری نظیر: ارتفاع ساختمان، نوع ساختمان، سطح اشغال، قطعه‌بندی، اندازه بلوک، شکل بلوک، تراکم و غیره از جمله عوامل تأثیرگذار بر شرایط آب و هوایی بیرون ساختمان، میزان تقاضای انرژی در بافت‌های شهری، کیفیت هوا، شکل‌گیری جزایر حرارتی و آسایش حرارتی است. بدیهی است رویکرد طراحی اکولوژیکی با ایجاد اصلاحات در مورفولوژی و ساختار شهری می‌تواند در شرایط آب و هوایی خرد (میکرواقلیم) موثر بوده و علاوه بر افزایش انرژی کارایی در بافت‌های شهری، سبب افزایش حضور کاربران فضا از طریق تامین آسایش حرارتی مورد نیاز آنها شود. به عبارتی دیگر، شهرسازی همساز با اقلیم می‌تواند با برداشت پارامترهای اقلیمی به عنوان ساختار هدایت کننده، به هدایت فرم منجر شود و فرم شهری وقتی که تحت تأثیر پارامترهای باد، تابش و... قرار می‌گیرد، به صورت خود سازمان دهنده می‌تواند شکل یابد و بافت شهری ایجاد شده تحت این فرم، آسایش اقلیمی را برای استفاده کنندگان خود فراهم می‌آورد.

مروی بر تحقیقات متعدد در این پژوهش نشان می‌دهد که ساختار و فرم شهری، نقشی تعیین کننده‌ای در راستای کاهش و افزایش معضلات زیست محیطی، نظیر گرمایش زمین و تغییرات اقلیمی دارد. در واقع فرم شهر از جمله مهمترین عواملی است که طراحی شهری با مداخله در ابعاد گوناگون آن می‌تواند بر میزان اتلاف انرژی و واپستگی به سوخت‌های فسیلی اثرگذار باشد. در واقع با اعمال تغییراتی در ابعاد فضایی، کالبدی و محیطی فرم شهر و از طریق دستکاری ویژگی‌های هندسی بلوک‌های شهری چون ارتفاع، ابعاد و اندازه، جهت‌گیری، فرم چینش بلوک‌ها، مصالح (جنس، رنگ) بدن و کف بلوک‌های شهری، محصوریت (نسبت ارتفاع به عرض یا نسبت سیما)، نمایانی آسمان یا ضریب دید به آسمان (SVF)، الگو (Sاختمار) شبکه معابر و پوشش گیاهی (نوع و تراکم آن) در جهت همسازی و هماهنگی با متغیرهای اقلیمی، در فرایند برنامه‌ریزی و طراحی شهری، می‌توان سبب خلق فضایی شد که آسایش حرارتی را برای تمام فصل‌ها فراهم کند. بدیهی است فضای شهری که بر پایه اصول داشن طراحی اقلیمی طراحی گردد، محیط مطلوبی از نظر آسایش حرارتی برای کاربران خود فراهم می‌کند. با تمهیدات طراحی شهری از قبیل رعایت تناسبات کالبدی در هر اقلیمی، توده‌گذاری و جهت‌گیری صحیح توده‌ها و چیدمان فضایی مناسب به منظور بهره‌مندی هم زمان از انرژی تابشی و جریان‌های باد غالب، استفاده از پوشش گیاهی بومی، استفاده از مصالح مناسب در بام، کف و جداره‌ها، به کارگیری شبکه آبگذر سطحی و... در طراحی فضاهای شهری باعث می‌شود بتوان به گونه‌ای موثر، آسایش حرارتی را در بافت‌های شهری بهبود بخشدید و انرژی کارایی در بافت‌های شهری را فراهم نمود.

پی‌نوشت

- 1- L. Martin, "The Grid as Generator".
- 2- Organismic
- 3- در جامعه‌شناسی شهری این رویکرد را نخستین بار لفور مطرح می‌کند. در تضاد با این رویکرد، رویکرد مکانیکی (Mechanistic) بر این باور است که محیط در انسان تاثیر می‌گذارد و انسان صرفاً واکنش نشان می‌دهد.
- 4- Ricardo Forgiarini Rupp & Et Al
- 5- Science Direct
- 6- Web Of Science
- 7- Google Scholar
- 8- Scopus
- 9- Ashrae
- 10- Outdoor, Semi-Outdoor Or Indoor Thermal Comfortable
- 11- Thermo-Physiology
- 12- Predicted Mean Vote (PMV)
- 13- Predicted Mean Vote (PPD)
- 14- Olgay
- 15- Oke
- 16- Givoni
- 17- Steemers Et Al
- 18- Ratti Et Al
- 19- Marrakech
- 20- Bourbia And Awbi
- 21- El-Oued
- 22- Bourbia And Awbi
- 23- Urban Canyon
- 24- Yezioro Et Al
- 25- ENVI-MET
- 26- Fez, Morocco
- 27- Physiologically Equivalent Temperature (PET) Index
- 28- Configuration Wizard

مراجع

- باطنی، محمدرضا (۱۳۸۴)، فرهنگ معاصر انگلیسی به فارسی، انتشارات فرهنگ معاصر، تهران
- بحرینی، سیدحسین، خسروی، حسین (۱۳۹۴)، بررسی تطبیقی تاثیر ویژگی‌های خردۀ اقلیم در الگوی رفتارهای شهری نمونه موردی: فضای شهری یزد (اقلیم گرم و خشک) و فومن (اقلیم معتدل و مرطوب)، محیط‌شناسی، دوره ۴۱، شماره ۲، ۴۶۵-۴۸۲
- بهزادفر، مصطفی و علیرضا منعم (۱۳۸۹)، تاثیر ضربی دید به آسمان در آسایش حرارتی کاربران فضای باز شهری بررسی بوستان‌های منتخب شهر تهران، آرمانشهر، شماره ۵، ۲۳-۳۴
- پاکزاد، جهانشاه (۱۳۸۵)، مبانی نظری و فرایند طراحی شهری، وزارت مسکن و شهرسازی، انتشارات شهری، تهران
- پورجعفر، محمدرضا، علی‌اکبر تقوايی، پرويز آزاد فلاح، علیرضا صادقی (۱۳۹۳)، بازخوانی ابعاد زیبایی شناسی محیطی فرم شهر؛ مورد پژوهی: استخوان بنده اصلی شهر تاریخی اصفهان، مدیریت شهری، شماره ۳۵، ۸۷-۱۰۲
- ثقه‌الاسلامی، عمیدالاسلام (۱۳۹۰)، عناصر لازم برای تدوین نظریه فرم شهر در فرهنگ سنتی-اسلامی، نشریه پیام مهندس، سال یازدهم، شماره ۵۴، ۱۰۰-۹۶
- حاجی‌پور، خلیل و نرجس فروزان (۱۳۹۳)، بررسی تاثیر فرم شهر بر میزان مصرف انرژی عملکردی در بخش مسکونی، نمونه موردی: شهر شیراز، نشریه هنرهای زیبا، دوره ۱۹، شماره ۴، ۲۶-۱۷
- حبیب، فرج (۱۳۸۵)، کندوکاوی در معنای شکل شهر، مجله هنرهای زیبا، شماره ۲۵، ۱۵-۵
- حمیدی، مليحه (۱۳۷۲)، نقش فرم، الگو و اندازه شهر در کاهش آسیب پذیری از زلزله، هشتمین سمینار بین‌المللی پیش‌بینی برای زلزله تهران، دانشگاه تهران و بنیاد مسکن انقلاب اسلامی

- حیدری نژاد، قاسم، دلفانی، شهرام، زنگنه، محمدامین و حیدری نژاد، محمد (۱۳۸۸)، آسایش حرارتی، تهران، مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن
- دانشپور، سید عبدالهادی، راضیه رضازاده و فرزان سجودی و مریم محمدی (۱۳۹۲)، بررسی کارکرد و معنای فرم شهر مدرن از منظر نشانه‌شناسی لایه‌ای، نامه معماری و شهرسازی، دو فصلنامه دانشگاه هنر، شماره ۱۱، ۷۱-۸۷، ۶۵-۹۰
- ذکاوت، کامران (۱۳۹۲)، جایگاه سازمان کالبدی در طراحی شهری، نشریه صفحه، شماره ۶۰، دانشگاه شهید بهشتی تهران، ۷۱-۸۷، ۶۵-۹۰
- رضازاده، راضیه و عماد آقاجان بیگلو (۱۳۸۹)، الگوی پیشنهادی برای توده‌گذاری در قطعات مسکونی رویی بررسی تطبیقی دو الگوی توده‌گذاری در بلوک‌های مسکونی با معیار آسایش حرارتی، نامه معماری و شهرسازی، دو فصلنامه دانشگاه هنر، شماره ۷، ۱۶۵-۱۸۴
- رفیعیان، مجتبی، آرمان فتح جلالی و هاشم داداش پور (۱۳۹۰)، بررسی و امکان سنجی تاثیر فرم و تراکم بلوکهای مسکونی بر مصرف انرژی شهر، نمونه موردی: شهر جدید هشتگرد، نشریه آرمان شهر، شماره ۶۰، ۱۰۷-۱۱۶
- شمسی پور، علی اکبر، داریوش یاراحمدی، فرزاد سلمانیان (۱۳۹۴)، کاربرد اصول داش طراحی اقلیمی در طراحی فضاهای شهری با تأکید بر آسایش حرارتی - تحقق طراحی و نتایج از پروژه سهیل، پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، دوره ۴۷، شماره ۱، ۱۴۳-۱۵۹
- علی اکبری، حجت (۱۳۹۱)، تحلیل ریخت‌شناسی بافت شهری با رویکرد انرژی کارایی نمونه موردی: شهر یزد، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه هنر اصفهان، دانشکده معماری و شهرسازی
- لینچ، کوین (۱۳۸۱)؛ تئوری شکل شهر، ترجمه سیدحسین بحرینی، انتشارات دانشگاه تهران، تهران.
- محمودی، سیدامیرسعید، سیده ندا قاضی زاده، علیرضا مناعم (۱۳۸۹) تاثیر طراحی در آسایش حرارتی فضای باز مجتمع‌های مسکونی، نمونه مورد مطالعه: فاز سه مجتمع مسکونی اکباتان، نشریه هنرهای زیبا، معماری و شهرسازی، شماره ۴۲
- منشی زاده، رحمت الله، سیدابراهیم حسینی و عقیل اجاق و سیده حمیده شعبانی (۱۳۹۲)، آسایش حرارتی و تاثیر ارتفاع ساختمان‌ها بر خرداقیم فضاهای شهری نمونه موردی: خیابان شهرداری تهران (حدفاصل میدان تجریش تا قدس)، فصل نامه آمایش محیط، شماره ۱۰۹-۱۲۶، ۲۰

- Ali-Toudert F, Mayer H. (2006) Numerical study on the effects of aspect ratio and orientation of an urban street canyon on outdoor thermal comfort in hot and dry climate. *Build Environ*;41:94-108
- Berkovic S, Yezioro A, Bitan A. (2012) Study of thermal comfort in courtyards in a hot arid climate. *Sol Energy*;86:1173-86
- Bosselmann, P. Arens, E. Dunker, K. Wright ,R (1995): *Urban Form and Climate: Case Study*, Toronto, Journal of the American Planning Association, 61:2, 226-239
- Bourbia F, Boucheriba F. (2010) Impact of street design on urban microclimate for semi arid climate (Constantine). *Renew Energy*;35:343-7
- Cowan, Robert (2005), the dictionary of urbanism, streetwise press, London,
- Crook, Kenneth F. (2007) *Britannica Concise Encyclopaedia*, Encyclopaedia Britannica Corp(Available at: www.britannica.com)
- Cuthbert, Alexander (2005) *Urban Design and Spatial Political Economy: Review of Critique of the 50 Years*.
- Dalman, M. Salleh, E (2011), *Microclimate and Thermal Comfort of Urban Forms and Canyons in Traditional and Modern Residential Fabrics in Bandar Abbas, Iran*, Modern Applied Science, Vol. 5, No. 2;
- Dempsey, N., et al., (2010), Elements of urban form, in Dimensions of the sustainable city. Springer. p. 21-51
- Elnabawi, M H., Hamza, N, Dudek, S (2014), Numerical modelling evaluation for the microclimate of an outdoor urban form in Cairo, Egypt ,Housing and Building National Research Center ,HBRC Journal
- Erell E, Pearlmutter D, Williamson TJ. (2012) *Urban microclimate: designing the spaces between buildings*. Earthscan
- Fanger, Po. (1972), *Thermal Comfort : Analysis and applications in environmental engineering* New York, McGraw Hill

- Forgiarini Rupp, R. Vásquez, N G. Lamberts R (2015) A review of human thermal comfort in the built environment, *Energy and Buildings*, 105, 178-205
- Gagge, Ap, Fobelets, Ap & Berglund, Pe (1986), A standard predictive index of human response to the thermal environment. *ASHRAE Transactions*.
- Givoni B. (1998). Climate considerations in building and urban design. Wiley
- Jabareen, osef Rafeq (2006) Sustainable Urban Forms Their Typologies, Models, and Concepts, *Journal of Planning Education and Research* 26:38-52
- Jabareen, Y. R, (2006) Sustainable Urban Forms: Their Typologies, Models, and Concepts, *Journal of Planning Education and Research*, Vol. 26, No. 1.
- Johansson E. (2006) Influence of urban geometry on outdoor thermal comfort in a hot dry climate: a study in Fez, Morocco. *Build Environ*;41:1326-38
- Krüger E.L., Minella F.O., Rasina F. (2011), Impact of urban geometry on outdoor thermal comfort and air quality from field measurements in Curitiba, Brazil, *Building and Environment*, 46, 621-634
- Middel, A. HB, K. Anthony J. Brazel, Chris A. Martin, Subhrajit Guhathakurta (2014), Impact of urban form and design on mid-afternoon microclimate in Phoenix Local Climate Zones, *Landscape and Urban Planning*, 122, 16-28
- Noori Kakon, A, Mishima, N (2012), The Effects of Building Form on Microclimate and Outdoor Thermal Comfort in a Tropical City, *Journal of Civil Engineering and Architecture*, Nov. 2012, Volume 6, No. 11 (Serial No. 60), pp. 1492–1503
- Oke TR. (1987). Boundary layer climates. New York: Routledge
- Olgyay V. (1963).Design with Climate. Princeton NJ: Princeton University Press
- Paramita ,B, Fukuda. H, (2013) Study on the affect of aspect building form and layout case study: Honjo Nishi Danchi, Yahatanishi, Kitakyushu – Fukuoka, *Procedia Environmental Sciences* 17 , 767 – 774
- Rapoport, A. (1990). History and Precedent in Environmental Design, Cambridge: MIT Press
- Ratti C, Raydan D, Steemers K. (2003). Building form and environmental performance: archetypes, analysis and an arid climate. *Energy Build*;35:49-59.
- Reeve, J.,Deci, E.L. and Ryan, R.M. (2003). Self-determination theory: A dialectical framework, Greenwich, Information Age Press.
- Sanaieian. H, Tenpierik. M, Linden. K, Mehdizadeh Seraj. F, Mofidi Shemrani. S M (2014), Review of the impact of urban block form on thermal performance, solar access and ventilation, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 38, 551-560
- Soja, E.W (2010), Seeking Spatial Justice, Minneapolis: University of Minnesota Press
- Steemers K, Baker N, Crowther D, Dubiel J, Nikolopoulou MH, Ratti C. (1997).City texture and microclimate. *Urban Des Stud*;3:25-50.
- Taleghani M, Sailor DJ, Tenpierik M, van den Dobbelenstein A. (2014) Thermal assessment of heat mitigation strategies: the case of Portland State University, Oregon, USA. *Build Environ*;73:138-50
- Taleghani M, Tenpierik M, Dobbelsteen A. (2012) Environmental impact of courtyards e a review and comparison of residential courtyard buildings in different climates. *Green Build*;7:113-36
- Taleghani. M, Kleerekoper. L, Tenpierik. M, Dobbelsteen A (2015), Outdoor thermal comfort within five different urban forms in the Netherlands, *Building and Environment*, 83, 65-78
- Trancik, roger (1986), finding lost space: theories of urban design, cornell university ,new york
- Xuan. Y, Yang. G, Akashi Mochida. Q, (2016) Outdoor thermal environment for different urban forms under summer conditions. *BUILD SIMUL*, 9: 281–296
- Yang, F. Qian, F. S.Y. Lau ,S (2013) Urban form and density as indicators for summertime outdoor ventilation potential: A case study on high-rise housing in Shanghai, *Building and Environment*, 70, 122-137
- Yezioro A, Capeluto IG, Shaviv E. (2006). Design guidelines for appropriate insulation of urban squares. *Renew Energy*;31:1011-23.