

طراحی اقلیمی و تعیین جهت‌گیری بهینه ساختمان‌ها و خیابان‌ها در رابطه با تابش

در شهر مشهد

علی بهزادیان‌مهر (دانشجوی دکتری آب‌وهواشناسی، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران، نویسنده مسئول)

behzadianmehr@yahoo.com

بهلول علیجانی (استاد آب‌وهواشناسی، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران)

bralijani@gmail.com

محمد رحیم رهنما (استاد جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران)

rahnama@um.ac.ir

صص ۲۱۶ - ۱۹۷

چکیده

اهداف: هدف از انجام این پژوهش، تعیین بهترین جهت آرایش فضایی ساختمان‌ها و خیابان‌ها با توجه به انرژی دریافتی و ایجاد شرایط آسایش، به‌عنوان اصلی برای تصمیم‌گیری در فرایند توسعه پایدار شهری است.

روش: پس از تعیین وضعیت آسایش اقلیمی توسط شاخص‌های حرارتی PET و PM، و بعد از تفکیک سال به دوره‌های سرد و گرم، برای تعیین میزان انرژی دریافتی جهت‌های مختلف ساختمان‌ها از انرژی دریافتی، از روش روابط کسینوسی استفاده شد.

یافته‌ها/ نتایج: شهر مشهد، در بیش از ۵۵ درصد از موارد ایام سال در محدوده تنش سرد قرار می‌گیرد. ماه سپتامبر حداکثر انرژی معادل ۱۳۳۲۰ BTU را در طول سال دریافت می‌کند. جهت جنوب‌شرقی بهترین جهت برای نمای اصلی ساختمان‌ها و جهت شمال‌شرقی - جنوب‌غربی بهترین گزینه برای کشیدگی خیابان‌ها و معابر است.

نتیجه‌گیری: با توجه به غلبه تنش سرمایی و دوری جستن از گرمای دوره گرم و با انگیزه کاهش اتکا به وسایل مکانیکی و تأمین شرایط آسایش، جهت‌گیری ساختمان‌ها و کشیدگی خیابان‌ها و معابر در طراحی‌های جدید و بازسازی بافت‌های فرسوده، بایستی بر نتایج حاصل از این پژوهش منطبق باشد.

کلیدواژه‌ها: طراحی اقلیمی، تابش، شهر مشهد، جهت‌گیری ساختمان‌ها، کشیدگی خیابان‌ها.

۱. مقدمه

امروزه سهم جمعیتی که در نواحی شهری زندگی می‌کنند، در حال افزایش است و در این اوضاع، مسائلی همچون افزایش کیفیت زندگی شهروندان (آلکوفوریدو، آندرید، لویز و وسکون سلاس^۱، ۲۰۰۹، ص. ۵۶)، توجه به محدود بودن ذخایر سوخت‌های فسیلی برای تأمین انرژی و آلودگی‌های زیست‌محیطی ناشی از سوزاندن آن‌ها (شفیعی، فیاض و حیدری، ۱۳۹۲، ص. ۴۷)، ایده مسکن پایدار به‌عنوان جدیدترین ایده شهری مبتنی بر تکیه سکونتگاه‌ها بر طراحی منطبق با طبیعت مطرح شده است (میلز^۲، ۲۰۰۶، ص. ۶۹). چنین رویکردی مستلزم تبیین شرایط اقلیمی محل برای برخورداری از وضعیتی است تا شهر بتواند در سایه سازگاری با آن در حیطه کارکردی خویش فعالیت کند. هدف از انجام این پژوهش، تعیین بهترین جهت آرایش فضایی ساختمان‌ها و خیابان‌ها با توجه به انرژی دریافتی محل به‌عنوان اصلی برای تصمیم‌گیری در فرایند توسعه پایدار شهری، از طریق محاسبه محدوده‌های اقلیمی - آسایشی و روش روابط کسینوسی است. مشهد، دومین کلان‌شهر ایران پس از تهران و مرکز استان خراسان رضوی است. این شهر با جمعیت بیش از ۳ میلیون نفر (مرکز آمار ایران، ۱۳۹۵)، هر ساله پذیرای میلیون‌ها زائر داخلی و خارجی است و به‌عنوان پایتخت فرهنگی جهان اسلام در سال ۲۰۱۷، از جایگاه بین‌المللی ویژه‌ای برخوردار است؛ براین اساس، بررسی بهترین شرایط کالبدی طراحی شهری منطبق با وضعیت آب‌وهوایی این شهر، ضروری به‌نظر می‌رسد.

۲. پیشینه تحقیق

پیشینه ملاحظات اقلیمی و دخالت آن در برنامه‌ریزی‌های شهری از سابقه قابل‌توجهی برخوردار است. قدیمی‌ترین اسناد درباره تعامل شهر و اقلیم را می‌توان در آثار ویترو^۳، معمار رومی در اروپا و فلسفه فن‌فنگ‌شویی در چین مشاهده کرد. در قرن نوزدهم، شهر مکانی

1. Alcoforado, Andrade, Lopes, & Vasconcelos
2. Mills
3. Vitruve

برای برنامه‌ریزی و ملاحظات بهداشتی قرار گرفت. غبار، گرما، آلودگی و فقدان نور خورشید، تفکر درباره فیزیولوژی نواحی پرتراکم جمعیت، خانه‌سازی، طراحی خیابان‌ها، پارک‌ها و فضای سبز را به جریان انداخت. تا پایان قرن نوزدهم میلادی، فعالیت‌های محققان آلمانی منجر به بهبود شرایط آسایش در شهرها تا اندازه‌ای کم شد. تلاش‌های این گروه منجر به ظهور میکروکلیماتولوژی و شکل‌گیری اصطلاحات جدیدی همانند آب‌وهوای محلی، آب‌وهوای خاص، آب‌وهوای خرد و آب‌وهوای شهری شد (یانکوویچ و هبرت^۱، ۲۰۰۹، ص. ۹). پس از دهه ۱۹۳۰ و به‌ویژه پس از جنگ جهانی دوم، شهرنشینی با رشد شگفت‌انگیزی همراه بوده است که این موضوع منجر به این شد تا محققان اروپایی و آمریکای شمالی آثاری را ارائه کنند و مطالعاتی را انجام دهند (اسکورو، ۱۳۷۷، ص. ۵۷). با این وجود، نقطه اوج توسعه روش‌ها و فنون ارزیابی آسایش حرارتی به‌کاررفته برای طراحی و برنامه‌ریزی شهری را می‌توان به اک^۲ (۱۹۸۱-۱۹۸۲) نسبت داد (آسیس و فروتا^۳، ۱۹۹۹، ص. ۴۱۳۶). سابقه درهم‌تنیدگی مطالعات سکونتگاهی و شرایط محیطی از جمله آب‌وهوا، در کشور ما نیز از جایگاه ویژه‌ای برخوردار بوده است. نظری اجمالی بر معماری ایران در عهد باستان این ویژگی را آشکار می‌سازد که معماری ایرانی بر سه اصل استحکام، آسایش و انبساط پایه‌گذاری شده است (شاطریان، ۱۳۹۲، ص. ۲۷). متأسفانه، از یک سو با ورود سبک معماری جدید به ایران و تغییر سبک ساخت‌وساز و از سوی دیگر، رعایت نکردن اصول صحیح همسازی با اقلیم، عدم آسایش حرارتی در داخل بناها، افزایش مصرف سوخت‌های فسیلی اجتناب‌ناپذیر شد؛ بنابراین، امروزه، انطباق با شرایط محیط طبیعی و در نظر گرفتن شرایط اقلیمی و آسایشی می‌تواند به تعبیری، شاخصی برای درک ارزش معماری (محمدی، ۱۳۸۵، ص. ۱۴۱) تلقی شود. در دو دهه اخیر، محققان و پژوهشگران مختلف کشور ما فعالیت‌های متعددی را با هدف پررنگ کردن نقش اقلیم در ساخت‌وسازها و معماری شهری انجام داده‌اند که در یک تقسیم‌بندی کلی، کارهای آنان را می‌توان در این شاخه‌ها خلاصه کرد: برخی میزان انطباق بناها را با شرایط اقلیمی مطالعه کرده‌اند (طاوسی، عطایی و کاظمی، ۱۳۸۷؛ طاهباز، جلیلیان و موسوی، ۱۳۹۱)؛ برخی نیز با مطالعه شرایط اقلیمی و با در نظر گرفتن شرایط اقلیم-

1. Jankovic & Hebbert
2. Oke
3. Assis & Frota

آسایش، توصیه‌هایی را برای ساخت و سازها مطرح کرده‌اند (علیجانی، ۱۳۷۳؛ ملک‌حسینی و درگاهی، ۱۳۸۹؛ شیخ‌بیگللو و محمدی، ۱۳۸۹)؛ عده‌ای به‌طور ویژه با استفاده از مدل‌های تجربی و با استفاده از رایانه، اقدام به تحلیل انطباق و یا سازگاری فضای شهری و معابر با وضعیت اقلیمی محل کرده‌اند و توصیه‌هایی را در این زمینه ارائه کرده‌اند (لشگری و پورخادم‌نمین، ۱۳۸۴؛ لشگری، موزرمی و لطفی، ۱۳۹۰؛ منشی‌زاده، حسینی و اجاق، ۱۳۹۲) و بعضی نیز با توجه به اقلیم مناطق و غلبه گرما و سرما در طول سال، بهترین انطباق جهت‌گیری ساختمان‌ها را با میزان دریافت انرژی تابشی تعیین کردند (فرج‌زاده و عباسی، ۱۳۹۱؛ اکبری، هادوی، زمانی و علیپور، ۱۳۹۵).

۳. روش‌شناسی تحقیق

۳.۱. روش تحقیق

برای انجام این پژوهش، ابتدا به تعیین وضعیت زیست‌اقلیمی شهر مشهد با استفاده از دو شاخص حرارتی پت^۱ و پی.ام.وی^۲ (که همزمان نوع عملکرد انسان و پاسخ‌های فیزیولوژیک او را در نظر می‌گیرند) (ماتزاراکیس و آملانگ^۳، ۲۰۰۷، ص. ۱۴۳)، به‌صورت توصیفی و تحلیلی پرداخته شد. سپس، بعد از تفکیک سال به دوره‌های سرد و گرم، برای تعیین میزان انرژی دریافتی جهت‌های مختلف ساختمان‌ها از انرژی دریافتی، از روش روابط کسینوسی استفاده شد. مواد مورد استفاده در این پژوهش شامل عناصر مورد سنجش دما، رطوبت نسبی، میزان ابری بودن آسمان، سرعت باد در یک دوره ۳۰ ساله (۱۹۷۹-۲۰۰۸) در ایستگاه هواشناسی مشهد بوده است.

در این مطالعه، برای محاسبه شاخص‌های حرارتی با توجه به جایگاه مؤلفه‌های اقلیمی درجه دما، سرعت باد، رطوبت نسبی و میزان ابری بودن آسمان، داده‌های به‌دست‌آمده از سنجش عناصر ذکر شده به تفکیک در قالب اوقات هشت‌گانه (۰، ۳، ۶، ۹، ۱۲، ۱۵، ۱۸، ۲۱) در هر شبانه‌روز و در طول یک ماه استخراج شد و سپس، هر کدام از عناصر در طول ماه مورد نظر میانگین‌گیری شد. پس از آن، همین عملیات برای هر ماه در طول ۳۰ سال تکرار شد و متوسط

1. Physiological Equivalent Temperature (PET)
2. Predicted Mean Vote (PMV)
3. Matzarakis & Amelung

ماهانه هرکدام از عناصر به تفکیک ماه و ساعت به دست آمد. بدین صورت، داده‌های مورد نیاز برای ورود به نرم‌افزار ریمن^۱ که برای محاسبه شاخص‌ها در نظر گرفته شده بود؛ مهیا شد. نتیجه این کار استخراج شرایط آسایشی برای هرکدام از ماه‌ها و در ساعات مورد نظر بود که از طریق آن، ماتریسی با ۹۶ یافته برای کل سال به دست آمد که ارزش عددی هرکدام از یافته‌ها توزیع شرایط آسایش را در طول هر ماه و ساعت مورد نظر نشان می‌داد. با توجه به اینکه هدف در پژوهش حاضر، کسب پاسخ مطلوب متناسب با اهداف تحقیق و کاربرد آن برای مقاصد شهری بود، آستانه‌های حرارتی شاخص‌های ذکر شده به سه دوره گرم، آسایش و سرد تقسیم شد (جدول ۱). معیار تقسیم‌بندی در این روش، علاوه بر اختصاص دادن آستانه‌های عددی به این طبقات، تأمین آسایش افراد در شرایط گرم و سرد با کمترین کاربرد تجهیزات گرمایشی، سرمایشی و البسه بوده است.

جدول ۱- طبقه‌بندی کلی آستانه‌های کیفی و کمی شاخص‌های حرارتی PET و PMV

مأخذ: ذوالفقاری، ۱۳۸۹، ص. ۱۲۱ (با کمی تغییر)

شاخص‌ها	تنش سرد	بدون تنش (آسایش)	تنش گرم
PET	<۱۸	۱۸ - ۲۳	>۲۳
PMV	<-۰/۵	(-۰/۵) - (۰/۵)	>۰/۵

برای سهولت بررسی و درک شرایط غالب آسایشی، جدول توزیع فراوانی آستانه‌های شاخص‌ها نیز برای ایستگاه شهر مشهد تشکیل شد و پس از محاسبه فراوانی‌های مطلق، درصد فراوانی مطلق و فراوانی تجمعی، درصد فراوانی تجمعی محاسبه شد.

محاسبه شاخص‌های حرارتی، وضعیت کلی آسایشی و شرایط تنش دمایی غالب را مشخص می‌کند؛ اما، برای تعیین میزان انرژی دریافتی در هرکدام از جهات جغرافیایی توسط سطوح قائم کاربردی ندارد. برای محاسبه مقدار انرژی تابیده شده خورشید روی سطوح قائم روش‌های متعددی وجود دارد (فرج‌زاده و عباسی، ۱۳۹۱) که در این پژوهش از روش محاسباتی استیفنسون^۲ (کسمایی، ۱۳۸۲، ص. ۲۸؛ محمدی و لشگری، ۱۳۹۳، ص. ۷۲) به شرح زیر استفاده شد:

1. RayMan
2. D.G.Stephenson

$$I_s = I_N \cos$$

در رابطه بالا:

$$I_s = \text{شدت تابش روی سطح (BTU/h/ft}^2\text{)}$$

$$I_N = \text{شدت تابش روی سطح عمود بر پرتوی خورشید (BTU/h/ft}^2\text{)}$$

$$\theta = \text{زاویه میان شعاع خورشید و خط عمود بر سطح (زاویه برخورد)}$$

در این رابطه:

$$I_N = A / \exp B / \sin$$

$$I_N = \text{حرارت حاصل از تابش مستقیم و عمودی آفتاب بر حسب BTU/h/ft}^2$$

A و B = به ترتیب ضریب خاموشی اتمسفری و ضریب فرمول کدري انگسترم است که از

جدول ثابت استخراج می‌شود (فرج‌زاده و عباسی، ۱۳۹۱؛ محمدی و لشگری، ۱۳۹۳، ص.

۷۶).

= زاویه تابش (ارتفاع تابش)

همچنین، θ زاویه تلاقی میان پرتوی خورشید و خط عمود بر یک سطح عمودی (زاویه

برخورد) است که به وسیله معادله کسینوس کروی معین می‌شود (فرج‌زاده و عباسی، ۱۳۹۱،

ص. ۴۷):

$$\cos(\theta) = \cos(\) (\cos - \cos)$$

در این رابطه:

= زاویه تابش (ارتفاع خورشید)

= زاویه جهت تابش

= زاویه جهت دیوار که در مسیر عقربه‌های ساعت از طرف شمال و بر حسب درجه

اندازه‌گیری می‌شود.

برای عملیاتی کردن فرمول‌های ارائه‌شده، جداولی برای محاسبه میزان انرژی دریافتی

هر کدام از ماه‌ها و در ۲۴ جهت جغرافیایی روی یک دیوار قائم طراحی شدند و ارقام

به دست آمده بر مبنای BTU/h/ft^2 در هر ماه جداگانه ثبت گردیدند (جداول ۲ و ۳). با توجه

به اینکه این محاسبات شرایطی را در نظر می‌گیرند که هوا کاملاً آفتابی است، از این نظر اعداد

۱. BTU مخفف British Thermal Unite است. یک BTU برابر با 10^{-3} کالری انرژی است (طاوسی، ۱۳۹۰، ص.

ثبت شده جنبه نظری دارند؛ بنابراین، برای تبدیل اعداد به دست آمده به صورت واقعی، ضرب آن‌ها در ضریب ساعتی محل (درصد ساعات آفتابی) الزامی است. برای به دست آوردن ضریب ساعات آفتابی، ابتدا مقدار ساعات آفتابی هر ماه از آمار هواشناسی ایستگاه مشهد در هریک از ماه‌ها استخراج شد. سپس، مجموع ساعات آفتابی ذکر شده به طول روزهای آن ماه تقسیم شد و سپس، متوسط طول روز در آن ماه محاسبه شد و متوسط ساعات آفتابی بر طول روز آن ماه تقسیم گردید و به این ترتیب، ضریب ساعت آفتابی به دست آمد (جدول ۴).

پس از محاسبه ضرایب ساعتی ماهانه، ارقام انرژی دریافتی نظری در ضریب ساعتی ماهانه ضرب شد که نتیجه کار محاسبه میزان انرژی دریافتی به شکل واقعی بود. پس از تعیین انرژی دریافتی به شکل نظری و واقعی، با توجه به غلبه اقلیم سرد و ضرورت تعیین بهترین جهت برای کسب انرژی در دوره سرما و حداقل دریافت گرما در مواقع گرم، جدول انرژی دریافتی واقعی به دو دوره گرم و سرد تقسیم شد. برای انجام این کار، دمای ۲۱ درجه به عنوان مرز تفکیک دوره سرد از گرم تعیین شد. سپس، با توجه به نمودار محاسبه دمای مؤثر برای استخراج مواقع گرم و سرد سال، جدول تقویم نیاز آب و هوایی تنظیم شد.

جدول ۲- محاسبه مقدار ضرایب تابش ($\cos \phi - \phi$) در ماه ژانویه^۱

مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۶

Q	۱۱۷/۶	۱۲۶/۸	۱۳۷/۵	۱۵۰	۱۶۴/۴	۱۸۰	۱۶۴/۴	۱۵۰	۱۳۷/۵	۱۲۶/۸
β	۲/۷	۷/۶	۱۶/۵	۲۳/۷	۲۸/۴	۳۰	۲۸/۴	۲۳/۷	۱۶/۵	۷/۶
$\cos \beta$	۰/۹۹۸	۰/۹۹۱	۰/۹۵۸	۰/۹۱۵	۰/۸۷۹	۰/۸۶۶	۰/۸۷۹	۰/۹۱۵	۰/۹۵۸	۰/۹۹۱
ساعت	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴	۱۵	۱۶
۰										
۱۵										
۳۰	۰/۰۴									
۴۵	۰/۲۹۸	۰/۱۴۱								
۶۰	۰/۵۳۴	۰/۳۹	۰/۲							
۱۸۰	۰/۴۶۲	۰/۵۹۳	۰/۷۰۶	۰/۷۹۲	۰/۸۴۶	۰/۸۶۶	۰/۸۴۶	۰/۷۹۲	۰/۷۰۶	۰/۵۹۳

۱. برای رعایت فضای نگارشی مقاله، جدول‌های ۲، ۳ و ۶ به صورت خلاصه طرح شده‌اند.

به این صورت امکان تشکیل جدول دوره‌های سرد و گرم فراهم شد. برای سهولت درک فراوانی مقادیر تابش براساس جدول‌های ذکر شده، نمودار مقادیر تابش آفتاب بر جهات مختلف ساختمان در مواقع مختلف سال ترسیم شد و به این ترتیب، توزیع و مقادیر تابشی در جهات بیست و چهارگانه شهر مشهد به دست آمد.

برای اولویت‌بندی سمت اصلی نمای ساختمان‌ها و کشیدگی خیابان‌ها از طریق طراحی جدولی، میزان تفاضل میان دوره‌های سرد و گرم محاسبه شد و بیشترین فاصله میان دو دوره به عنوان اولویت اول انتخاب شد. به عبارت دیگر، از جهات بیست و چهارگانه فقط یکی از آن‌ها

جدول ۳- محاسبه مقادیر شدت تابش در ماه ژانویه ($IN=A/\exp B/\sin \beta$) بر حسب $BTU/H/FT^2$

مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۶

β	۲/۷	۷/۶	۱۶/۵	۲۳/۷	۲۸/۴	۳۰	۲۸/۴	۲۳/۷	۱۶/۵	۷/۶
$\sin \beta$	۰/۰۴۷	۰/۱۳۲	۰/۲۸۴	۰/۴۰۲	۰/۴۷۵	۰/۵	۰/۴۷۵	۰/۴۰۲	۰/۲۸۴	۰/۱۳۲
exp	۲۰/۵	۲/۹	۱/۶۴	۱/۴۲	۱/۳۵	۱/۳۳	۱/۳۵	۱/۴۲	۱/۶۴	۲/۹
IN	۱۹	۱۳۴/۵	۲۳۷/۸	۲۷۴/۶	۲۸۸/۹	۲۹۳/۲	۲۸۸/۹	۲۷۴/۶	۲۳۷/۸	۱۳۴/۵
ساعت	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴	۱۵	۱۶
۰										
۱۵										
۳۰	۰/۷۶									
۴۵	۵/۶	۱۸/۹								
۶۰	۱۰/۱	۵۲/۴	۴۷/۵							
۷۵	۱۳/۹	۸۲/۳	۱۰۵/۱	۶۴/۸	۲/۶					
۱۳۵	۱۸	۱۳۱/۸	۲۶/۶	۲۴۲/۵	۲۲۱	۱۷۹/۴	۱۲۴/۵	۶۴/۸	۹/۷	
۱۸۰	۸/۸	۷۹/۷	۱۶۷/۸	۲۱۷/۴	۲۴۴/۴	۲۵۴	۲۴۴/۴	۲۱۷/۴	۱۶۷/۸	۷۹/۷

جدول ۴ - ضریب‌های ساعت آفتابی ماهانه

مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۶

ژانویه	فوریه	مارس	آوریل	می	جون	جولای	آگوست	سپتامبر	اکتبر	نوامبر	دسامبر
۰/۴۵	۰/۴۷	۰/۴۶	۰/۵۶	۰/۶۴	۰/۷۹	۰/۸۲	۰/۸	۰/۸۱	۰/۶۹	۰/۵۶	۰/۴۶

بیشترین تفاوت میان انرژی دریافتی دوره سرد و گرم را داشت که به معنای حداکثر دریافت انرژی در زمستان و حداقل دریافت انرژی در تابستان محسوب می‌شد. به‌همین ترتیب، دومین و سومین مقادیر بعدی با تفاضل کمتر نسبت به مورد اول، به‌عنوان اولویت‌های دوم و سوم تعیین شدند. در نهایت، با توجه به خروجی‌های به‌دست‌آمده از این جدول، نمودار جهت‌های مطلوب ساختمان و کشیدگی خیابان‌ها و معابر ترسیم شد و در پایان، پس از مطالعه وضعیت موجود نقشه شهری و طبقه‌بندی جهت بلوک‌ها و کشیدگی خیابان‌ها، پنج پلی‌گون A, B, C, D, E به‌عنوان وضعیت غالب در مناطق مختلف شهری انتخاب شدند و با توجه به نزدیکی پلی‌گون A به وضعیت مطلوب، این گزینه به‌عنوان الگوی سازگار با نتایج مطالعه معرفی شد.

۲.۳. منطقه مورد مطالعه

کلان‌شهر مشهد با مختصات ۳۶ درجه و ۱۶ دقیقه عرض شمالی و ۵۹ درجه و ۳۸ دقیقه طول شرقی^۱، در شمال شرق ایران و در زیر حوضه کشف رود در جنوب غرب حوضه آبریز قره‌قوم (ولایتی و توسلی، ۱۳۷۰، ص. ۴۹) استقرار یافته است. این شهر با ارتفاع ۹۹۹/۲ متر در میان دشتی به همین نام و در حدفاصل دو رشته‌کوه هزارمسجد و کپه‌داغ از شمال شرق و بینالود و آلاداغ از جنوب غرب قرار دارد. شهر مشهد روی اقلیم‌نمای آمبرژه در منطقه خشک سرد قرار می‌گیرد (علیزاده، ۱۳۸۷، ص. ۲۷۵) و زمستان با ۱۴۵ روز طولانی‌ترین فصل سال است (علی‌جانی، ۱۳۷۷، ص. ۲۶). در پی افزایش جمعیت در دهه‌های اخیر، تخریب و نوسازی، تغییر کاربری و اشغال بسیاری از زمین‌ها، شهر مشهد شاهد شکل‌گیری بافت جدیدی در اطراف بافت مرکزی خود و الگوی شطرنجی بوده است. بررسی معماری، میزان تراکم ساخت‌وسازها، سطح زیراشغال، مشخصات فنی ساختمان‌ها و غیره در بافت جدید نشان‌دهنده عدم بهره‌مندی از استانداردهای منطبق بر محیط طبیعی و اقلیمی در ساخت‌وسازها است. تبعات چنین روندی، تحمیل شرایط دمایی محیط‌های باز بر محیط‌های داخلی و نیاز به تعدیل‌شدن بخشی به شرایط دمایی در فضاها تحت کنترل، از طریق استفاده از وسایل و تجهیزات فعال گرمایشی و برودتی در فصول مختلف است که این خود باعث افزایش میزان

۱. مختصات ایستگاه هواشناسی مشهد لحاظ شده است.

مصرف انرژی برق و سوخت‌های فسیلی و تحمیل هزینه‌های روزافزون بر مصرف‌کنندگان شهری شده است.

۴. مبانی نظری تحقیق

طراحی اقلیمی را می‌توان یکی از شاخه‌های اقلیم‌شناسی کاربردی قلمداد کرد که با استفاده از آن می‌توان عناصر اقلیمی هر مکانی را از طریق ایجاد تغییراتی در محیط فیزیکی، در راستای تأمین شرایط آسایش به کار گرفت. ایجاد شرایط آسایش، برقراری تعادل حرارتی میان بدن و محیط اطراف است که از جمله نیازهای اولیه برای تأمین سلامتی محسوب می‌شود (کسمایی، ۱۳۸۲، ص. ۱۳) و ایجاد سازگاری با وضعیت آب‌وهوایی محل از راه‌های دستیابی به این هدف به‌شمار می‌آید. برای انطباق با شرایط اقلیمی و اتخاذ هر نوع تصمیمی، شناخت منطقه آسایش ضروری است. محققان مختلف مدل‌های متعددی را در رابطه با تعیین منطقه آسایش پیشنهاد کرده‌اند که عنصر تابش آفتاب از عناصر مهمی است که همزمان می‌تواند تحت شرایطی، باعث گستردگی منطقه آسایش (کسمایی، ۱۳۸۲، ص. ۱۷) یا ایجاد محدودیت در آن شود. افزون‌براین، مدیریت کسب انرژی خورشیدی و استفاده از شیوه‌های غیرفعال (طاهباز و همکاران، ۱۳۹۲، ص. ۶۱) در راستای توسعه پایدار نیز نیازمند درک شرایط تابشی هر مکان محسوب می‌شود؛ بنابراین، کنترل میزان دریافت انرژی تابشی را می‌توان از اهداف برنامه‌ریزی محیطی برای بهره‌برداری بهینه از امکانات محیطی در نظر گرفت (طاوسی و همکاران، ۱۳۹۰، ص. ۵). یکی از راه‌های دستیابی به این هدف، طراحی ساختمان و انطباق آن با شرایط آب‌وهوایی است (علیجانی، ۱۳۷۳، ص. ۴۸) که انجام برخی از آن‌ها گاهی سبب جهت‌گیری معابر، بلوک‌های ساختمانی و شریان‌های ارتباطی می‌شود و علاوه بر احیای شرایط راحتی در محیط‌های بسته، مدت حضور افراد در فضاهای بیرون را نیز تحت تأثیر خویش قرار می‌دهد؛ بنابراین، راهبردهای فراوانی در این ارتباط طرح شده است که غالب آن‌ها معماری بناها، نوع مصالح ساختمانی و پراکندگی فضای سبز را در دستور کار خود قرار داده‌اند. مطالعه معماری بومی نقاط مختلف کشور راهنمای مناسبی برای بهره‌گیری از آن‌ها در طراحی مسکن و معابر در ارتباط با تابش به حساب می‌آید؛ اما، محاسبه دقیق میزان تابش و کیفیت دریافت آن به تفکیک دوره‌های گرم و سرد سال (منطبق با اقلیم اکثر نقاط ایران) شیوه‌ای است که با

به‌کارگیری آن در طراحی فضاهای فیزیکی به‌خصوص نواحی شهری می‌توان علاوه بر تأمین نیازهای آسایشی، باعث صرفه‌جویی در هزینه‌ها شد و عمل به آن را گام بلندی در راستای تحقق توسعه پایدار قلمداد کرد.

۵. یافته‌های تحقیق

بر اساس خروجی محاسبات و طبقه‌بندی شاخص حرارتی پی.ای.تی، تمام طبقات تنشی به‌جز تنش گرمایی بسیار زیاد، در طول سال در شهر مشهد مشاهده می‌شود. تنش سرمایی بسیار زیاد در ۱۹/۸ درصد از موارد بیشترین تداوم را در ماه‌های دسامبر تا فوریه در برمی‌گیرد. تنها در ماه‌های آوریل، می، سپتامبر و اکتبر است که شرایط آسایش به شکل پراکنده در ساعات صبحگاهی، میانه روز و بعدازظهر مشاهده می‌شود. تنش گرمایی اندک تا زیاد نیز به تدریج در ماه می و در میانه روز آغاز می‌شود و در جولای، با برخورداری از تنش گرمایی زیاد به‌خصوص در ساعات ۹ تا ۱۵ به اوج خود می‌رسد. در بررسی چگونگی شاخص حرارتی پی ام وی، وضعیت درصد تداوم تنش سرمایی و گرمایی و شرایط آسایش، بسیار به وضعیت شرایط حرارتی در شاخص پی.ای.تی شبیه است؛ اما، توزیع زمانی و نیز شرایط دمایی در طول سال در شاخص پی.ام.وی، بیانگر تداوم بیشتر شرایط تنش سرمایی بسیار زیاد تا زیاد نسبت به نتایج به‌دست‌آمده از شاخص پی.ای.تی است؛ به‌گونه‌ای که در مقابل ۱۹/۸ درصد از موارد تنش سرمایی بسیار زیاد به‌دست‌آمده در شاخص پی.ای.تی، تداوم زمانی این تنش در شاخص پی.ام.وی به ۲۶ درصد می‌رسد (جدول ۵):

جدول ۵- توزیع فراوانی آستانه‌های شاخص‌های PET و PMV در شهر مشهد

مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۶

نوع تنش	فراوانی مطلق (fi)		درصد فراوانی (p%)		فراوانی تجمعی (Fc)		درصد فراوانی تجمعی (Fc%)	
	PET	PMV	PET	PMV	PET	PMV	PET	PMV
تنش سرمایی بسیار زیاد	۱۹	۲۵	۱۹/۸	۲۶	۱۹	۲۵	۱۹/۸	۲۶
تنش سرمایی	۱۵	۱۲	۱۵/۶	۱۲/۵	۳۴	۳۷	۳۵/۴	۳۸/۵
تنش سرمایی ملایم	۸	۱۱	۸/۳۳	۱۱/۵	۴۲	۴۸	۴۳/۷	۵۰
تنش سرمایی اندک	۱۲	۷	۱۲/۵	۷/۳	۵۴	۵۵	۵۶/۲	۵۷/۳
بدون تنش (آسایش)	۱۲	۱۲	۱۲/۵	۱۲/۵	۶۶	۶۷	۶۸/۷	۶۹/۸

ادامه جدول ۵

نوع تنش	فراوانی مطلق (fi)		درصد فراوانی (p%)		فراوانی تجمعی (Fc)		درصد فراوانی تجمعی (Fc%)	
	PET	PMV	PET	PMV	PET	PMV	PET	PMV
تنش گرمایی اندک	۱۶	۱۴	۱۶/۶	۱۴/۶	۸۲	۸۱	۸۵/۴	۸۴/۳
تنش گرمایی ملایم	۱۲	۱۱	۱۲/۵	۱۱/۵	۹۴	۹۲	۹۷/۹	۹۵/۸
تنش گرمایی زیاد	۲	۴	۲	۴/۱	۹۶	۹۶	۱۰۰	۱۰۰
تنش گرمایی بسیار زیاد	۰	۰	۰	۰				

مقادیر انرژی دریافتی به تفکیک جهت‌های بیست و چهارگانه حکایت از آن دارد که انرژی دریافت شده در جهات غربی و شرقی با یکدیگر متقارن هستند. تفاوتی که وجود دارد این است که جهت جنوب بیشترین مقدار انرژی دریافتی را ندارد؛ در حالی که جهت‌های $\pm 150^\circ$ درجه با مجموع 15320 BTU ، بیشترین مقدار را در طول سال کسب می‌کند. جهت شمال نیز با مقدار 198 BTU کمترین میزان انرژی را در کل سال به خود اختصاص داده است؛ به این دلیل که جهت یادشده فقط در ماه‌های می تا سپتامبر؛ یعنی، زمانی که موقعیت خورشید از افق به بالاترین مقدار خود می‌رسد، امکان دریافت تابش را پیدا می‌کند. توزیع زمانی انرژی سالانه نیز نشان می‌دهد که ماه سپتامبر با دریافت 13320 BTU بیشترین مقدار انرژی را در طول سال دریافت می‌کند که حاکی از انحراف زمانی میزان انرژی دریافتی با حداکثر ارتفاع تابش در جولای است (جدول ۶):

جدول ۶- مجموع انرژی دریافتی واقعی سطوح قائم در دوره‌های سرد و گرم با احتساب ضریب ساعات

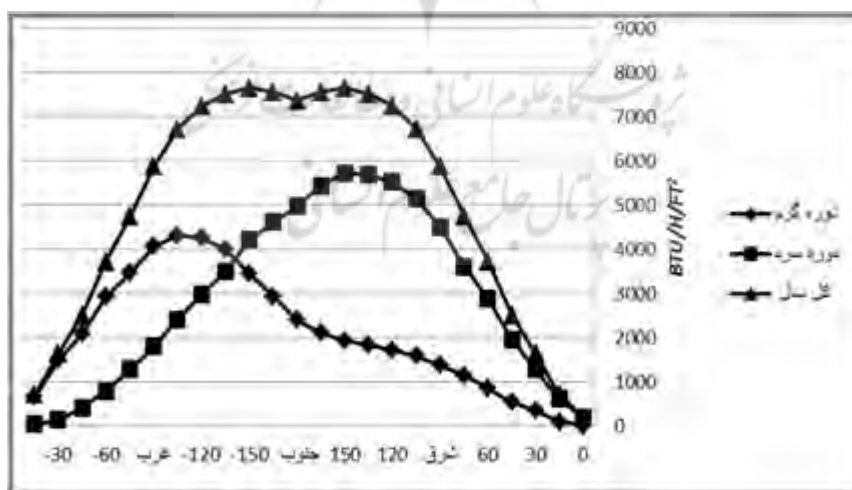
آفتابی به BTU/H/FT^2

مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۶

سمت	۰	۱۵	۳۰	۴۵	۹۰	جمع
۰						۶۶۷۵/۹
۱۵						۹۸۹۴/۵
۳۰	۰/۳۴	۱۴/۴۷	۲۵	۲۴/۱	۱۵۹/۳	۸۲۷۲/۴
۴۵	۱۱/۰۲	۷۵/۵	۷۷	۱۲۱/۵	۲۷۱/۴	۸۵۶۱/۶
۹۰	۲۱۲/۴	۳۹۸/۲	۳۳۸/۴	۳۹۷/۵	۵۴۲/۸	۹۸۸۱
جمع	۶۶۷۵/۹	۹۸۹۴/۵	۸۲۷۲/۴	۸۵۶۱/۶	۹۸۸۱	۱۱۶۸۸/۸
						۱۲۰۳۸/۲
						۱۱۹۳۰
						۱۳۳۲۰
						۹۶۷۳/۲
						۱۰۰۸۵/۲
						۷۳۷۵/۲

با توجه به اینکه حجم انرژی دریافتی به دلیل نبود یکنواختی در دریافت انرژی در طول سال، نمی‌تواند معیار تعیین‌کننده‌ای در جهت‌گیری ساختمان‌ها و خیابان‌ها تلقی شود، از این رو، توزیع دریافت انرژی در طول سال ملاک واقعی برای تصمیم‌گیری خواهد بود؛ بر این اساس، با توجه به تفکیک ایام سال به دوره‌های گرم و سرد، نگرش عمیق‌تری به چگونگی دریافت انرژی حاصل می‌شود. مطالعه توزیع انرژی در دوره‌های سرد و گرم نشان می‌دهد که طول دوره سرد در مقایسه با دوره گرم، بخش بیشتر ایام سال را به خود اختصاص می‌دهد. این نگرش با یافته‌های حاصل از محاسبه شاخص‌های حرارتی که بیش از ۵۰ درصد از سال را تنش سرمایی به خود اختصاص داده است و نیز با مطالعه اسماعیلی و منتظری (۱۳۹۲) همخوانی دارد. در این دوره، به استثنای بخش‌هایی از طول روز در ماه‌های می تا سپتامبر، تمام ماه‌های سال در محدوده دوره سرد قرار می‌گیرند.

از آنجایی که در اینجا هدف از طراحی اقلیمی افزایش میزان انطباق ساختمان‌ها و جهت خیابان‌ها با شرایط حاکم تابشی است، میزان کسب انرژی با توجه به دوره‌های گرم و سرما اهمیت می‌یابد؛ بر این اساس، بیشترین و کمترین میزان انرژی در دوره گرم، به ترتیب به جهت‌های ۱۰۵- و شمال و بیشترین و کمترین میزان انرژی دریافتی در دوره سرد، به جهت‌های ۱۵۰+ و ۱۵- متعلق است (شکل ۱):



شکل ۱- میزان انرژی دریافتی روی نمای اصلی ساختمان‌ها در مواقع مختلف سال برحسب

$BTU/H/FT^2$

مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۶

یافته‌های حاصل از محاسبه شرایط اقلیمی و آسایشی نشان‌دهنده آن است که بهترین جهت برای استقرار ساختمان‌ها باید جهتی باشد که بتواند حداقل تابش آفتاب را در مواقع گرم و حداکثر تابش آن را در مواقع سرد دریافت کند. همان‌طور که در جدول (۷) مشاهده می‌شود، از میان مجموع جهات بیست و چهارگانه، جهت $+150^\circ$ درجه بیشترین انرژی را دریافت می‌کند و طبیعی است که باید به‌عنوان گزینه انتخابی برای تعیین سمت استقرار نمای اصلی ساختمان‌ها و در نهایت، به‌عنوان معیاری برای تصمیم‌گیری در ارتباط با کشیدگی خیابان‌ها و معابر پذیرفته شود؛ اما، این‌گزینه با روش تفاضل‌گیری حاصل از محاسبه اختلاف انرژی میان دوره‌های گرم و سرد در جهت ذکر شده و به استناد معیار کسب بیشترین انرژی در دوره سرد و حداقل در دوره گرم انطباق ندارد. بنابراین، سمت جنوب شرق با کسب انرژی $5687/6$ BTU در دوره سرد و حداقل انرژی $1824/6$ BTU در دوره گرم و با احتساب تفاضل به میزان 3863 BTU، در مقایسه با جهت‌های 120° درجه ($3810/9$) و 150° درجه ($3787/2$) از میان جهت‌های ذکر شده به‌عنوان

جدول ۷- اولویت‌بندی جهت‌گیری نمای اصلی ساختمان‌های یک‌طرفه (مقدار انرژی بر حسب

$(BTU/H/FT^2)$

مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۶

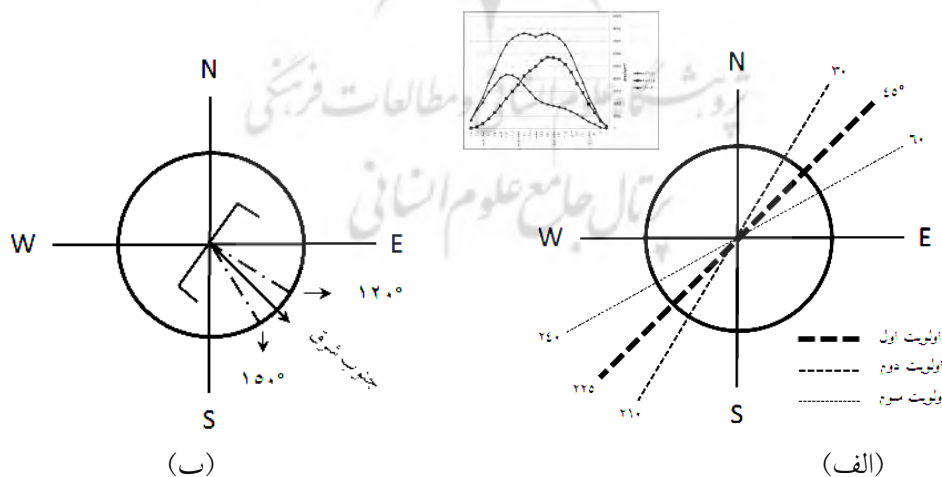
اولویت	اختلاف دوره سرد و گرم		مواقع سرد		مواقع گرم		کل سال		سمت
	سرد	گرم	مقدار	درصد	مقدار	درصد	مقدار	درصد	
پانزدهم	۱۷۷	۰	۱۸۷/۴	۹۴/۷۵	۱۰/۴	۵/۲۵	۱۹۷/۸	۰/۱۶	شمال
چهاردهم	۵۱۳/۲	۰	۶۰۹/۵	۸۶/۳۶	۹۶/۳	۱۳/۶۴	۷۰۵/۸	۰/۵۹	۱۵
دوازدهم	۹۳۴/۴۴	۰	۱۲۸۵/۸۴	۷۸/۵۴	۳۵۱/۴	۲۱/۴۶	۱۶۳۷/۲۴	۱/۳۷	۳۰
یازدهم	۱۴۱۲/۴	۰	۱۹۶۰/۳	۷۸/۱۶	۵۴۷/۹	۲۱/۸۴	۲۵۰۸/۲	۲/۱	شمال شرق
نهم	۲۰۲۳/۲	۰	۲۸۷۱/۹	۷۷/۱۹	۸۴۸/۷	۲۲/۸۱	۳۷۲۰/۶	۳/۱۱	۶۰
هشتم	۲۴۵۰/۸	۰	۳۵۹۹/۸	۷۵/۸۱	۱۱۴۹	۲۴/۱۹	۴۷۴۸/۸	۳/۹۷	۷۵
ششم	۳۱۴۰/۵	۰	۴۵۱۲/۹	۷۶/۶۸	۱۳۷۲/۴	۲۳/۳۲	۵۸۸۵/۳	۴/۹۲	شرق
چهارم	۳۵۵۵	۰	۵۱۴۳/۷	۷۶/۴	۱۵۸۸/۷	۲۳/۶	۶۷۳۲/۴	۵/۶۳	۱۰۵
دوم	۳۸۱۰/۹	۰	۵۵۲۸/۴	۷۶/۳	۱۷۱۷/۵	۲۳/۷	۷۲۴۵/۹	۶/۰۶	۱۲۰

۱. برای رعایت اختصار، از نمایش سایر اولویت‌ها صرف‌نظر شد.

ادامه جدول ۷

سمت	کل سال		مواقع گرم		مواقع سرد		اختلاف دوره سرد و گرم		اولویت
	مقدار	درصد	مقدار	درصد	مقدار	درصد	گرم	سرد	
جنوب شرق	۷۵۱۲/۲	۶/۲۹	۱۸۲۴/۶	۲۴/۲۸	۵۶۸۷/۶	۷۵/۷۲	۰	۳۸۶۳	اول
۱۵۰	۷۶۵۹/۲	۶/۴۱	۱۹۳۶	۲۵/۲۷	۵۷۲۳/۲	۷۴/۷۳	۰	۳۷۸۷/۲	سوم
۱۶۵	۷۵۵۶/۴	۶/۳۲	۲۱۱۳/۴	۲۷/۹۶	۵۴۴۳	۷۲/۰۴	۰	۳۳۲۹/۶	پنجم
جنوب	۷۳۷۳/۴	۶/۱۷	۲۴۰۲/۵	۳۲/۵۸	۴۹۷۰/۹	۶۷/۴۲	۰	۲۵۶۸/۴	هفتم

گزینه مطلوب انتخاب می شود؛ زیرا، با وجود دریافت انرژی کمتر در دوره سرد نسبت به جهت ۱۵۰+ در دوره گرم، انرژی کمتری را نسبت به همان جهت در دوره گرم دریافت می کند (شکل ۲- الف)؛ بنابراین، بهترین جهت کشیدگی ساختمان ها، جهت شمال شرقی و جنوب غربی است (شکل ۲- ب) و منطبق با این ضابطه، اولویت های بعدی را می توان به ترتیب برای جهت های ۱۲۰+ و ۱۵۰+ در نظر گرفت. در بهترین وضعیت، کشیدگی مطلوب خیابان ها و معابر باید دارای جهت زاویه آزیموت ۲۲۵-۴۵ (شمال شرقی - جنوب غربی)، ۲۱۰-۳۰ برای اولویت دوم و ۲۴۰-۶۰ درجه برای اولویت سوم باشد. همان گونه که ملاحظه می شود، کشیدگی خیابان ها تابعی از جهت استقرار ساختمان ها است



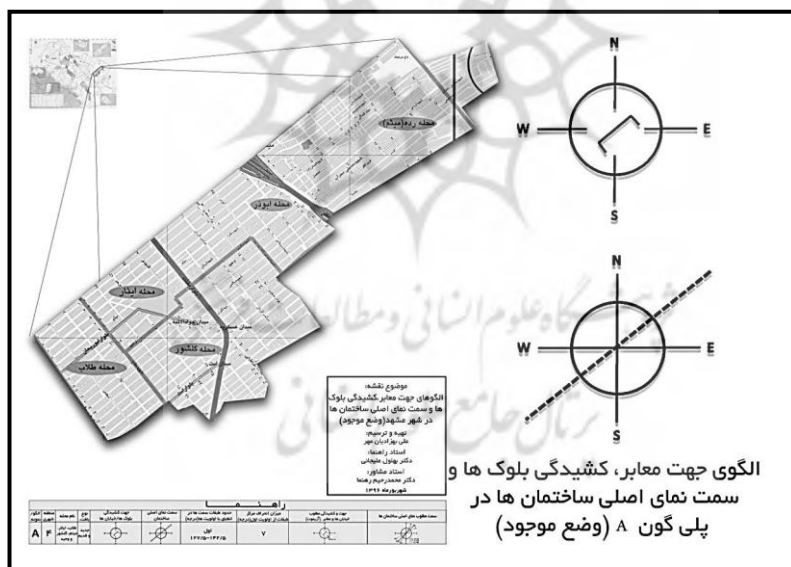
شکل ۲- جهت های مطلوب نمای اصلی ساختمان (الف) و اولویت بندی مطلوب کشیدگی خیابان ها و

معابر (ب) با توجه به ضرورت های اقلیم تابشی در شهر مشهد

مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۶

و به این دلیل است که اولویت اول برای جهت کشیدگی خیابان‌ها در انطباق با جهت استقرار نمای اصلی ساختمان‌ها، سمت شمال شرقی-جنوب غربی است و به همین شکل، اولوی‌های بعدی نیز هم‌جهت با اولویت‌های دوم و سوم جهت استقرار ساختمان‌ها در نظر گرفته شده است. همان‌طور که در جدول (۷) مشاهده می‌شود، جهت‌های ۱۲۰ و ۱۵۰ درجه مبنای پذیرش اولویت‌های دوم و سوم قرار گرفتند.

در انطباق با نتایج به دست آمده و مقایسه آن با وضع موجود نقشه شهری، شکل (۳) را می‌توان به عنوان نمونه‌ای از الگوی شناسایی شده مورد پذیرش در نظر گرفت. بررسی این نقشه نشان می‌دهد که وضعیت سمت استقرار بلوک‌ها و ساختمان‌ها با الگوی سمت مطلوب (جنوب شرق) حدود ۷ درجه اختلاف را نشان می‌دهد (۱۴۲ درجه)؛ اما، با توجه به معیار تعریف شده مبنی بر پذیرش اولویت اول تا سوم به عنوان اولویت‌های مورد پذیرش، شکل (۳) را می‌توان معرف وضعیت مطلوب قلمداد کرد.



شکل ۳- الگوی مطلوب نقشه شهری سازگار با نتایج پژوهش

مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۶

جهت مطلوب استنتاج شده در این پژوهش با چند یافته نظیر الگوی رعایت شده معماری بومی مناطق سرد ایران مبنی بر انتخاب جهت‌های جنوب شرق تا جنوب غرب و جهت جنوب

شرق ساختمان‌ها در مناطق سرد ایالات متحده (کسمایی، ۱۳۸۲، صص. ۹۶، ۱۲۷) و نیز جهت ۱۳۵ درجه (جنوب شرق) شهر زنجان (اکبری و همکاران، ۱۳۹۵) کاملاً همخوانی دارد. تعیین اولویت‌های انتخابی با ایده تعادل بخشی دما بین قبل از ظهر و بعد از ظهر نیز منطبق است.

۶. نتیجه‌گیری و پیشنهادها

در پژوهش حاضر، برای کسب نتایج بهتر، ابتدا با استفاده از شاخص‌های حرارتی پی‌ام وی و پی‌ای تی شرایط اقلیم-آسایش شهر مشهد محاسبه شد که براساس آن، شرایط ذکر شده در سه حیطه تنش گرم، آسایش و تنش سرد طبقه‌بندی شد. با توجه به تأثیرگذاری فراوانی هر کدام از حیطه‌ها بر روند پژوهش، جدول توزیع فراوانی هر کدام از محدوده‌های آسایشی محاسبه شد. براساس جدول توزیع فراوانی محدوده‌های آسایشی، مشخص شد که بیش از ۵۵ درصد از موارد در طول سال، شهر مشهد در محدوده تنش سرد قرار می‌گیرد؛ بنابراین، استفاده از وسایل مکانیکی و غیرفعال برای تبدیل شرایط به مرز آسایش باید در دستور کار قرار گیرند؛ براین اساس، تعیین بهترین سمت استقرار ساختمان‌ها و به تبع آن، بهترین کشیدگی معابر با هدف کسب بیشترین انرژی در دوره سرد و حداقل انرژی در دوره گرم هدف نهایی قرار گرفت. بدین منظور، از طریق روش قانون کسینوس، پس از محاسبه میزان ساعات نظری و واقعی تابش و دخالت محاسبه دمای مؤثر، کل سال به دو دوره گرم و سرد تقسیم شد. افزون‌براین، برای گزینش بهترین جهت استقرار ساختمان‌ها و کشیدگی خیابان‌ها منطبق با شرایط حاکم تابشی-دمایی، بالاترین اختلاف میزان انرژی در دو دوره سرد و گرم با یکدیگر و در جهت‌های بیست و چهارگانه، ملاک تصمیم‌گیری در نظر گرفته شد؛ براین اساس، مناسب‌ترین جهت برای استقرار نمای اصلی ساختمان‌ها، جنوب شرق تعیین شد و مطلوب‌ترین کشیدگی خیابان‌ها و معابر نیز در انطباق با جهت بهینه ساختمان‌ها، زاویه آزیموت ۲۲۵-۴۵ (شمال شرقی- جنوب غربی) انتخاب شد. مطالعه وضع موجود و ارزیابی نقشه شهری مشهد و میزان انطباق آرایش فضایی ساختمان‌ها، بلوک‌ها و معابر با نتایج به دست آمده از این پژوهش، به استثنای اندکی، گویای فاصله بافت شهری با الگوهای مطلوب اقلیم تابشی است؛ بنابراین، توصیه می‌شود که در نوسازی و توسعه بافت‌های فرسوده و طراحی بافت جدید، ملاحظات اقلیمی نظیر بهره‌مندی از پژوهش حاضر در دستور کار قرار

گیرد و مقررات و ضوابط ضروری در این بخش پیش‌بینی شود. برای بخش‌های طراحی شده که با نتایج این پژوهش همخوانی ندارند، با توجه به نوع اقلیم حاکم و مشخصات معماری بومی می‌توان برخی از راهبردها را در نظر گرفت؛ نظیر استفاده از درختان خزان‌دار برای فضای بیرون با هدف انتقال تابش خورشید در دوره سرد و جلوگیری از نفوذ آن در دوره گرم و نیز انتخاب مصالح ساختمانی متناسب با شرایط حاد دمای هوای بیرون و دمای مطلوب داخلی و با مقاومت بالای حرارتی. مزیت به‌کارگیری این راهکارها اتکای کمتر به استفاده از سامانه‌های مکانیکی در تأمین راحتی در فضاهای بسته و نیز امکان اجرایی نمودن از طریق اعمال ضوابط معمول در بخش ساختمان است. انجام این راهبردها می‌تواند علاوه بر تأمین شرایط آسایشی فضاهای بسته، مدت ماندگاری مردم در فضاهای باز را افزایش دهد و باعث بهبود شرایط پایداری فعالیت‌های شهری شود.

کتابنامه

۱. اسکورو، ژ. (۱۳۷۷). *آب‌وهوا و شهر: محیط‌زیست شهری* (ش. خالدی، مترجم). تهران: انتشارات طبیعت.
۲. اسماعیلی، ر.، و منتظری، م. (۱۳۹۲). تعیین محدوده‌های بیوکلیماتیک شهر مشهد بر مبنای داده‌های ساعتی. *نشریه جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی*، ۱(۲۴)، ۲۳۰-۲۱۵.
۳. اکبری، ح.، هادوی، ف.، زمانی، م.، و علیپور، ی. (۱۳۹۵). تعیین جهت‌های مناسب استقرار ساختمان به منظور دریافت بهینه تابش خورشیدی در شهر زنجان. *نشریه آمایش محیط*، ۳۳(۹)، ۱۷۳-۱۵۵.
۴. شاطریان، ر. (۱۳۹۲). *اقلیم و معماری*. تهران: انتشارات سیمای دانش.
۵. شفیع، م.، فیاض، ر.، و حیدری، ش. (۱۳۹۲). فرم مناسب ساختمان بلند برای دریافت انرژی تابشی. *نشریه انرژی ایران*، ۴(۱۶)، ۶۰-۴۷.
۶. شیخ بیگلو، ر.، و محمدی، ج. (۱۳۸۹). تحلیل عناصر اقلیمی باد و بارش با تأکید بر طراحی شهری (مطالعه موردی: شهر اصفهان). *نشریه جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی*، ۳(۲۱)، ۸۲-۶۱.
۷. طاهباز، م.، جلیلیان، ش.، و موسوی، ف. (۱۳۹۱). آموزه‌هایی از معماری اقلیمی گذرهای کاشان: تحقیق میدانی در بافت تاریخی شهر. *نشریه مطالعات معماری ایران*، ۱(۱)، ۸۳-۵۹.
۸. طاوسی، ت.، عطایی، ه.، و کاظمی، آ. (۱۳۸۷). *اقلیم و معماری مدارس نوساز شهر اصفهان*. *نشریه جغرافیا و توسعه*، ۱۱(۶)، ۹۷-۱۱۴.

۹. علیجانی، ب. (۱۳۷۳). نگرشی نو در کاربرد آب‌وهواشناسی در مدیریت منابع و توسعه کشور: نقش آب و هوا در طراحی مسکن. *نشریه تحقیقات جغرافیایی*، ۳۵، ۶۱-۴۵.
۱۰. علیجانی، ب. (۱۳۷۷). تعیین فصول طبیعی ایران. *نشریه پژوهش‌های جغرافیایی*، ۳۴، ۳۳-۲۱.
۱۱. علیزاده، ا. (۱۳۸۷). *اصول هیدرولوژی کاربردی*. مشهد: انتشارات دانشگاه امام رضا (ع).
۱۲. فرج‌زاده، م.، و عباسی، م. (۱۳۹۱). بهینه‌سازی جهت ساختمان‌های شهر قیر در رابطه با تابش آفتاب. *فصلنامه جغرافیایی سرزمین*، ۳۵ (۹)، ۵۹-۴۳.
۱۳. کسمایی، م. (۱۳۸۲). *اقلیم و معماری*. اصفهان: انتشارات خاک.
۱۴. لشکری، ح.، و پورخادم نمین، ز. (۱۳۸۴). بهینه‌سازی جهت‌گیری فضاهای آزاد در شهر اردبیل براساس شرایط اقلیمی. *نشریه تحقیقات جغرافیایی*، ۱۷، ۳۶-۱۹.
۱۵. لشکری، ح.، موزرمی، س.، و لطفی، ک. (۱۳۹۰). آسایش در خارج و داخل بنا بر اساس شاخص پن واردن و ماهانی، نمونه موردی: شهر اهواز. *نشریه پژوهشی جغرافیای انسانی*، ۲ (۳)، ۲۲۰-۲۰۷.
۱۶. محمدی، ح. (۱۳۸۵). *آب‌وهواشناسی کاربردی*. تهران: انتشارات دانشگاه تهران.
۱۷. محمدی، ز.، و لشکری، ح. (۱۳۹۳). *آب‌وهواشناسی کاربردی (معماری-تورسیم)*. تهران: انتشارات جهاد دانشگاهی واحد شهید بهشتی.
۱۸. مرکز آمار ایران. (۱۳۹۵). نتایج سرشماری عمومی نفوس و مسکن. بازیابی شده از: <https://www.amar.org.ir>
۱۹. ملک‌حسینی، ع.، و درگاهی، م. م. (۱۳۸۹). تحلیل ویژگی‌ها و اصول معماری همساز با اقلیم سرد (مطالعه موردی: شهر همدان). *فصلنامه جغرافیایی چشم‌انداز زاگرس*، ۴ (۲)، ۳۵-۲۳.
۲۰. منشی‌زاده، ر.، حسینی، س. ا.، و اجاق، ع. (۱۳۹۲). آسایش حرارتی و تأثیر ارتفاع ساختمان‌ها بر خرداقلیم فضاهای شهری، نمونه موردی: خیابان شهرداری تهران (حداصل میدان تجریش تا میدان قدس). *فصلنامه آمایش محیط*، ۲۰ (۶)، ۱۲۶-۱۰۹.
۲۱. ولایتی، س.، و توسلی، س. (۱۳۷۰). *منابع و مسائل آب استان خراسان*. مشهد: انتشارات آستان قدس رضوی.
22. Alcoforado, M., Andrade, H., Lopes, A., & Vasconcelos, J. (2009). Application of climatic guidelines to urban planning: The example of Lisbon (Portugal). *Journal of Landscape and Planning*, 90, 56-65.
23. Assis, E., & Frota, A. H. (1999). Urban bioclimatic design strategies for a tropical city. *Journal of Atmospheric Environment*, 33, 4135-4142.
24. Jankovic, V., & Hebbert, M. (2009, April). *Hidden climate change: Urban meteorology and the scales of real weather*. Paper presented at the RGS-IBG

- Annual Conference on Progress in Diverse Types of Automata Systems in Social Simulation, Manchester University, Manchester, UK.
25. Matzarakis, A., & Amelung, B. (2007). Climate, thermal comfort and tourism climate change and tourism: Assessment and coping strategies. In B. Amelung, K. Blazejczyk, & A. Matzarakis (Eds.), *Climate change and tourism: Assessment and coping strategies* (pp. 140-154). Freiburg-Warsaw-Maastricht: Own Publishing.
26. Mills, G. (2006). Progress toward sustainable settlements: A role for urban climatology. *Theoretical and Applied Climatology*, 84, 69-76.

