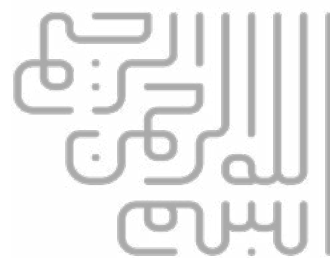


راهکارهای معماری و شهرسازی برای تهویه و خنک‌سازی شهرها (با تأکید بر شهرهای گرم و مرطوب و گرم و خشک ایران)



تاریخ انتشار: ۱۴۰۵/۶/۱۵
Publish Date : 2026/9/6



عنوان: راهکارهای معماری و شهرسازی برای تهویه و خنک‌سازی شهرها (با تأکید بر شهرهای گرم و مرطوب و گرم و خشک ایران)
تهیه و تدوین (Author): محمد مهدی مولائی (هیئت علمی دانشگاه بوعلی سینا)
واژه‌های کلیدی: خنک‌سازی شهرها، تهویه طبیعی، گرمایش شهری
ناشر: مرکز پژوهش‌های مجلس شورای اسلامی

DOI: <https://doi.org/10.22034/mrc.report.21829>

Permanent Link: https://report.mrc.ir/article_11862.html

Publisher : Islamic Parliament Research Center of Iran

عنوان: راهکارهای معماری و شهرسازی برای تهویه و خنک‌سازی شهرها (با تأکید بر

شهرهای گرم و مرطوب و خشک ایران)

نوع گزارش: طرح/لایحه ☐، نظارتی ☒، راهبردی ☐، پیش‌نویس قانونی ☐

نام دفتر: مطالعات زیربنایی (گروه برنامه‌ریزی شهری و منطقه‌ای)

مدیر مطالعه: علی فرنام

اظهار نظرکنندگان: هومن غلام‌پور ارباستان (گروه محیط زیست و منابع طبیعی دفتر مطالعات

زیربنایی)، ایمان رضائی (سرپرست گروه نفت و گاز دفتر مطالعات انرژی، صنعت و معدن)

ناظران علمی: میثم پیله‌فروش، سیدمحسن علوی‌منش، حبیب‌اله ظفریان

همکار: فرید اکبری

گرافیک و صفحه‌آرایی: حمیده سادات وفایی

تاریخ شروع مطالعه: ۱۴۰۴/۰۶/۰۱



فهرست مطالب

۷	چکیده.....
۸	خلاصه مدیریتی.....
۱۰	۱. مقدمه.....
۱۱	۱-۱. جزیره حرارتی شهری.....
۱۲	۱-۲. پیامدهای گرمایش شهری بر سلامت و انرژی.....
۱۳	۱-۳. ضرورت اقدام اقلیمی در ایران.....
۱۴	۱-۴. تمرکز بر اقلیم‌های گرم و مرطوب و گرم و خشک ایران.....
۱۵	۲. پیشینه و مبانی نظری.....
۱۵	۲-۱. تجارب سنتی ایران در کنترل گرما.....
۱۶	۲-۲. دسته‌بندی راهبردهای کاهش گرما در معماری و شهرسازی.....
۱۷	۳. راهکارهای طراحی معماری برای کاهش گرمای شهری.....
۱۷	۳-۱. طراحی همساز با اقلیم و جهت‌گیری بنا.....
۱۷	۳-۲. سایه‌اندازی در معماری (ایوان‌ها، سایبان‌ها، مشبک‌ها).....
۱۹	۳-۳. بام‌های سرد و بام‌های سبز.....
۱۹	۳-۴. تهویه طبیعی و استفاده از بادهای غالب.....
۲۰	۳-۵. استفاده از مصالح خنک و عایق‌های حرارتی.....
۲۱	۴. راهکارهای برنامه‌ریزی و طراحی شهری.....
۲۱	۴-۱. فرم و ساختار اقلیمی بافت شهر.....
۲۳	۴-۲. جهت‌گیری شبکه معابر برای تهویه.....
۲۴	۴-۳. نقش فضاهای باز و میداين در تهویه.....
۲۵	۴-۴. چیدمان کاربری زمین و تراکم.....
۲۵	۴-۵. ایجاد سایه در سطح شهر با درخت‌کاری و سازه‌های شهری.....
۲۷	۴-۶. رنگ خودروهای شهری.....
۲۷	۵. فضای سبز و راهکارهای مبتنی بر طبیعت.....
۲۷	۵-۱. درخت‌کاری شهری و کمربند سبز اطراف شهر.....
۲۸	۵-۲. پارک‌ها و فضاهای سبز عمومی.....
۲۹	۵-۳. بام سبز و دیوار سبز.....
۳۰	۵-۴. فضای سبز معابر و پارک‌های کوچک.....
۳۱	۵-۵. نقش تبخیر و تعرق در کاهش دمای شهری.....
۳۲	۶. مصالح و فناوری‌های نوین برای سطوح خنک شهری.....
۳۲	۶-۱. کف‌پوش‌ها و آسفالت‌های بازتابنده.....
۳۳	۶-۲. رنگ‌های سرد برای بام و نما.....
۳۴	۶-۳. مصالح تغییر فاز دهنده و عایق‌های نوین.....
۳۵	۶-۴. فناوری‌های هوشمند (حسگرها، مه‌پاش‌ها، شبکه‌های اقلیمی).....
۳۶	۶-۵. استفاده از شبیه‌سازی‌های اقلیمی و چاپ سه‌بعدی.....
۳۷	۷. مدیریت باد و تهویه شهری.....
۳۷	۷-۱. شناسایی و حفظ دالان‌های باد در شهر.....
۳۷	۷-۲. طراحی چیدمان شهری برای تقویت جریان هوا.....

۳-۷. استفاده از عناصر هدایت‌کننده باد در معماری.....	۳۸
۸. سیاست‌ها و مقررات برای شهرهای خنک تر.....	۳۹
۸-۱. اصلاح و ارتقای مقررات ملی ساختمان.....	۳۹
۸-۲. تلفیق اقلیم در طرح‌های جامع و تفصیلی شهری.....	۴۰
۸-۳. برنامه‌های اقدام گرمایی.....	۴۱
۸-۴. سیاست‌های تشویقی و مالی برای کاهش گرما.....	۴۱
۹. نمونه‌های بین‌المللی و تجارب معاصر.....	۴۲
۹-۱. شهرهای گرم و خشک: فینیکس، دبی، سیدنی و ملبورن.....	۴۲
۹-۲. شهرهای گرم و مرطوب: سنگاپور، میامی، بمبئی.....	۴۳
۱۰. راهبردهای پیشنهادی برای شهرهای ایران.....	۴۴
۱۰-۱. راهکارهای ویژه برای شهرهای ساحلی گرم و مرطوب.....	۴۴
۱۰-۲. راهکارهای ویژه برای شهرهای گرم و خشک.....	۴۶
۱۰-۳. اقدامات سطح سیاستگذاری کلان.....	۴۷
۱۰-۴. اقدامات سطح مدیریت شهری.....	۵۰
۱۰-۵. نقشه راه اجرایی سه مرحله‌ای (کوتاه، میان مدت و بلندمدت).....	۵۱
۱۱. جمع‌بندی.....	۵۲
منابع و مآخذ.....	۵۴

فهرست شکل‌ها

شکل ۱. نمودار روند شکل‌گیری جزایر حرارتی و افزایش میزان گرمای سطوح شهری.....	۱۲
شکل ۲. نمونه‌ای از بادگیرهای سنتی در یزد. بادگیرها هوارا به داخل فضاها می‌کشد و با خنک کردن آب و هوا، نقش مؤثری در تعدیل دما دارند.....	۱۶
شکل ۳. کاربرد مشربیه در ساختمان‌های مدرن امروزی برای ایجاد سایه و جلوگیری از تابش مستقیم به داخل بنا.....	۱۸
شکل ۴. بام در یکی از ساختمان‌های تهران - کاهش جذب حرارت توسط بام.....	۲۰
شکل ۵. عایق‌بندی مناسب بام‌ها از نفوذ گرمای خورشید به داخل ساختمان جلوگیری می‌کند که به کاهش نیاز به سیستم‌های خنک‌کننده مانند کولر و تهویه منجر می‌شود.....	۲۱
شکل ۶. بافت متراکم شهر یزد همراه با فضاها و سایه‌دار فراوان مناسب برای اقلیم گرم و خشک.....	۲۲
شکل ۷. جهت‌گیری پیشنهادی معابر شهر چینگ چون چین برای تهویه شهری.....	۲۳
شکل ۸. درخت‌کاری کنار پیاده‌رو برای ایجاد سایه در فضای شهری.....	۲۶
شکل ۹. کمربند سبز در محدوده حریم تهران.....	۲۹
شکل ۱۰. پارک‌های کوچک شهری جهت تعدیل دمای گرم تابستان.....	۳۱



راهکارهای معماری و شهرسازی برای تهویه و خنک‌سازی شهرها (با تأکید بر شهرهای گرم و مرطوب و گرم و خشک ایران)

چکیده



گرمایش جهانی، زیست‌پذیری سکونتگاه‌ها، به‌ویژه مناطق گرمسیری را به مخاطره انداخته است. بنا به اعلام سازمان هواشناسی در نیم قرن گذشته به طور متوسط ۲ درجه دمای هوای کشور افزایش یافته است. برخی شهرهای کشور بار کوردهای دمایی بالای ۵۰ درجه در زمره گرم‌ترین شهرهای جهان قرار گرفته و شهرهای ساحلی جنوب کشور در سطح بالای شاخص حرارتی^۱ قرار دارند. پدیده گرمایش شهری و افزایش دمای هوا، به‌ویژه در اقلیم‌های گرم و خشک و گرم و مرطوب، به یکی از چالش‌های اصلی زیست‌پذیری شهری بدل شده است. این پژوهش با هدف بررسی تجارب جهانی و ملی در راستای ارائه راهبردهای کاربردی برای سیاست‌گذاری، برنامه‌ریزی و طراحی اقلیمی شهرها انجام شده است. روش پژوهش، ترکیبی از مرور نظام‌مند منابع، تحلیل تطبیقی تجارب کشورهای موفق و بررسی ظرفیت‌های بومی معماری ایرانی مانند بادگیر، ساباط، حیاط مرکزی و مصالح طبیعی بوده است. یافته‌ها نشان می‌دهد که راهبردهای مؤثر شامل استفاده از مصالح با ضریب بازتابش بالا، گسترش سطوح سبز، طراحی معابر همسو با باد غالب، به‌کارگیری بام و دیوار سبز و ارتقای تهویه طبیعی در مقیاس محله‌ای و شهری است. از سوی دیگر، ارزیابی مقررات ملی ساختمان (مبحث ۱۹) نشان می‌دهد که تمرکز آن بر گرمایش زمستانی، پاسخ‌گوی نیازهای اقلیم گرم تابستانی نیست. لذا پیشنهاد می‌شود اصلاح مقررات، تدوین سند ملی مقابله با گرمایش شهری و اجرای برنامه‌های اقدام گرمایی محلی در شهرهای پریسک صورت گیرد. پژوهش در نهایت نقشه‌راهی سهم‌رله‌ای (کوتاه‌مدت، میان‌مدت و بلندمدت) برای گذار به شهرهای تاب‌آور در برابر گرما ارائه می‌دهد که مبتنی بر هم‌افزایی دانش بومی، فناوری نو و سیاست‌گذاری بین‌بخشی است.

1. Heat Index



بیان / شرح مسئله

روند گرمایش جهانی، زیست‌پذیری سکونتگاه‌ها و به‌طور خاص مناطق گرمسیری را تحت‌الشعاع قرار داده است. ظرفیت و توان تحمل گرمایی در جوامع نیز متفاوت است و به‌طور مصداقی در سال ۲۰۲۶، ۲۰ هزار مرگ منتسب به گرما در اروپا برآورد شده است، در کشورمان بنا به اعلام سازمان هواشناسی در نیم‌قرن گذشته به‌طور متوسط ۲ درجه دمای هوای کشور افزایش یافته است. همچنین برخی شهرهای کشور با رکوردهای دمایی بالای ۵۰ درجه در زمره گرم‌ترین شهرهای جهان قرار می‌گیرند و شهرهای ساحلی جنوب کشور نیز با تلفیق درجه دما و میزان رطوبت، در سطح بالای شاخص حرارتی قرار دارند. پدیده گرمایش شهری و افزایش دمای هوا در شهرهای ایران، به‌ویژه در اقلیم‌های گرم و خشک و گرم و مرطوب، به یکی از چالش‌های اصلی زیست‌پذیری شهری بدل شده است. این پژوهش با هدف بررسی تجارب جهانی و ملی در زمینه تهویه و خنک‌سازی شهری و ارائه راهبردهای کاربردی برای سیاستگذاری، برنامه‌ریزی و طراحی اقلیمی شهرها انجام شده است. روش پژوهش، ترکیبی از مرور نظام‌مند منابع بین‌المللی، تحلیل تطبیقی تجارب کشورهای موفق و بررسی ظرفیت‌های بومی معماری ایرانی مانند بادگیر، ساباط (راهروهای مسقف بین کوچه‌ها)، حیاط مرکزی و مصالح طبیعی بوده است. یافته‌ها نشان می‌دهد که راهبردهای مؤثر شامل استفاده از مصالح با ضریب بازتابش بالا، گسترش سطوح سبز، طراحی معابر هم‌سو با باد غالب، به‌کارگیری بام و دیوار سبز، و ارتقای تهویه طبیعی در مقیاس محله‌ای و شهری است. از سوی دیگر، ارزیابی مقررات ملی ساختمان (مبحث ۱۹) نشان می‌دهد که تمرکز فعلی آن بر گرمایش زمستانی، پاسخ‌گوی نیازهای اقلیم گرم تابستانی نیست. در نتیجه، پیشنهاد می‌شود اصلاحاتی در مقررات، تدوین سند ملی مقابله با گرمایش شهری، و اجرای برنامه‌های اقدام گرمایی محلی در شهرهای پرریسک صورت گیرد. این پژوهش در نهایت نقشه‌راهی سه‌مرحله‌ای (کوتاه‌مدت، میان‌مدت و بلندمدت) برای گذار به شهرهای تاب‌آور در برابر گرما ارائه می‌دهد که مبتنی بر هم‌افزایی دانش بومی، فناوری نو و سیاستگذاری بین‌بخشی است.

چالش گرمایش شهری در ایران، به‌ویژه در مناطق گرم و خشک و گرم و مرطوب، نیازمند توجه فوری و گسترده است. تغییرات اقلیمی جهانی همراه با رشد بی‌رویه شهرنشینی و تراکم ساخت‌وساز در نواحی شهری باعث شده است تا دمای شهرها به‌طور محسوس افزایش یابد. متأسفانه، رویکردهای فعلی طراحی شهری و ساختمان‌سازی که عمدتاً بر اهداف صرفه‌جویی در مصرف سوخت در زمستان تمرکز دارند، در مقابله با گرمای تابستان کارآمد نیستند. به‌ویژه کاهش سرانه فضای سبز شهری و استفاده گسترده از مصالح جاذب حرارت مانند آسفالت سیاه و بتن تیره در بافت‌های شهری، نیاز به بازنگری در سیاستگذاری‌ها داشته و اجرای راهبردهای جدید برای کنترل دمای شهری را دوچندان کرده است.

نقطه‌نظرات / یافته‌های کلیدی

■ **مقررات ملی ساختمان (مبحث ۱۹):** مبحث ۱۹ در حال حاضر عمدتاً بر بهینه‌سازی مصرف انرژی برای گرمایش در زمستان متمرکز است و ضوابط کافی برای کاهش دمای تابستانی ساختمان‌ها ندارد. به همین دلیل، بهره‌گیری از راهکارهای اقلیمی در ساختمان‌سازی با چالش مواجه است. این خلأ باعث شده ساختمان‌های نوساز در اقلیم‌های گرم برای تأمین آسایش حرارتی همچنان به تهویه مطبوع و مصرف بالای برق وابسته باشند و اصول طراحی اقلیمی کمتر رعایت شود.

■ **پوشش گیاهی، مصالح و طراحی اقلیمی:** کاهش فضای سبز شهری و استفاده از مصالح جذب‌کننده حرارت، موجب افزایش محسوس دمای شهرها شده است. در مقابل، توسعه پوشش گیاهی گسترده و به‌کارگیری مصالح با ضریب بازتابش بالا (مانند بام سبز و دیوار سبز) همراه با طراحی متناسب با اقلیم منطقه (جهت‌گیری مناسب ساختمان‌ها، چینش سایه‌بان‌ها و بهره‌گیری از بادهای غالب) می‌تواند دمای محیط

شهری را به‌طور قابل توجهی کاهش دهد.

■ **وضعیت اقلیمی و پراکندگی جمعیت:** بخش وسیعی از کشور در اقلیم‌های گرم و کم‌بارش قرار دارد و جمعیت زیادی در این نواحی ساکن‌اند. افزایش دمای هوا در این نواحی نیاز به خنک‌سازی و مصرف انرژی را تشدید می‌کند و می‌تواند سلامت عمومی و پایداری شبکه برق را تحت فشار قرار دهد. به‌عنوان نمونه، موج گرمای شدید تابستان ۱۴۰۴ که دمای هوا را در بخش‌هایی از جنوب غرب ایران به بالای ۵۰ درجه سانتی‌گراد رساند، موجب اختلال گسترده در شبکه برق و آب و حتی تعطیلی مدارس و کسب و کارها در آن مناطق شد.

■ **بلندمرتبه‌سازی و جریان باد:** ساخت و سازهای بلند و متراکم در شهرها می‌تواند جریان طبیعی باد را مسدود کرده و باعث انباشت حرارت در بافت‌های شهری شود. تحلیل‌های مکانی نشان می‌دهد که تجمع سازه‌های بلند بدون در نظر گرفتن تهویه طبیعی با افزایش دمای موضعی ارتباط دارد. پژوهش‌ها نشان می‌دهد نحوه استقرار، فاصله‌گذاری و جهت‌گیری ساختمان‌های بلند تأثیر چشمگیری بر کاهش شدت جزیره حرارتی دارد؛ بنابراین فقدان ضوابط شهرسازی برای ایجاد کریدورهای تهویه و تعیین فاصله بهینه بین برج‌ها، به شکل‌گیری مناطق کم‌باد و انباشت گرما در بافت شهری انجامیده است.

پیشنهاد راهکارهای تقنینی، سیاستی یا نظارتی

■ **اسناد راهبردی ملی:** تدوین اسناد سیاستی کلان برای مدیریت اقلیم شهری و مقابله با گرمایش شهرها ضروری به‌نظر می‌رسد. در همین راستا، طبق بند «ت» ماده (۲۲) **قانون برنامه پنج‌ساله هفتم پیشرفت جمهوری اسلامی ایران**، سازمان حفاظت محیط‌زیست مکلف است با همکاری وزارتخانه‌های نفت، نیرو، صنعت، راه و شهرسازی، بهداشت و سایر نهادهای مرتبط «برنامه مدیریت تغییرات اقلیمی کشور» را طی سال اول برنامه تهیه کند و اقدامات قانونی لازم را انجام دهد. پیشنهاد می‌شود مسئله جزایر حرارتی شهری و سازگاری شهرها با موج‌های گرما به‌طور ویژه در این برنامه ملی مورد توجه قرار گیرد.

■ **بازنگری مقررات و آیین‌نامه‌ها:** اصلاح مقررات موجود در جهت کاهش آثار گرمای شهری یک گام کلیدی در کشور است. وزارت راه و شهرسازی به‌عنوان مرجع تدوین مقررات ملی ساختمان، باید مبحث ۱۹ ساختمان را با افزودن الزامات کنترل گرمایش تابستانی ساختمان‌ها سریع‌تر بازنگری نماید. در این بازنگری می‌توان الزاماتی نظیر به کارگیری مصالح با ضریب بازتابش بالا در پوسته خارجی ساختمان (برای کاهش جذب تابش خورشید)، عایق‌کاری مؤثر حرارتی در ساختمان‌های واقع در اقلیم‌های گرم، و طراحی سایه‌بان‌های مناسب برای پنجره‌ها را در متن مقررات وارد نمود تا سازه‌های جدید در برابر گرمای تابستان عملکرد بهتری داشته باشند.

■ **مشوق‌ها و اعتبارات اقلیمی:** ارائه مشوق‌های مالی و اعتباری به پروژه‌ها و اقداماتی که به کاهش دمای شهری منجر می‌شوند (از قبیل پرداخت تسهیلات بانکی یا یارانه برای اجرای بام‌های سبز، کاربرد مصالح مناسب و توسعه حمل‌ونقل برقی) ضروری است. به‌طور مشخص، حمایت مالی از نصب بام‌های سبز، نماهای بازتاب‌دهنده نور، بهسازی عایق حرارتی ساختمان‌ها، توسعه سیستم‌های سرمایش کارآمد و گسترش فضای سبز محلی از جمله مشوق‌های مؤثر محسوب می‌شوند. این مشوق‌ها باید با همکاری دستگاه‌هایی مانند وزارت نیرو (با توجه به منفعت کاهش بار پیک برق)، سازمان حفاظت محیط‌زیست و شهرداری‌ها طراحی و اجرا شود؛ برای نمونه، شهرداری مشهد در گذشته به‌ازای هر متر مربع اجرای باغ‌بام مبلغی را به‌عنوان کمک‌هزینه پرداخت می‌کرده است که می‌تواند الگویی برای سایر شهرها باشد.

■ **ظرفیت‌سازی نهادی:** پیشنهاد می‌شود شهرداری‌های کلان‌شهرها یک واحد تخصصی «اقلیم شهری» (مثلاً در سطح اداره کل یا معاونت) با مأموریت کاهش اثر جزایر حرارتی و هماهنگی امور مرتبط ایجاد کنند و وزارت کشور این مهم را به‌عنوان بخشی از ساختار سازمانی مصوب شهرداری‌ها ابلاغ نماید. بدیهی است راه‌اندازی تشکیلات جدید باید با هماهنگی سازمان امور اداری و استخدامی کشور انجام شود؛ اما می‌توان حتی الامکان از ظرفیت‌های موجود بهره برد. برای مثال، وظایف مدیریت اقلیم شهری را می‌توان در قالب یکی از معاونت‌های فعلی شهرداری (نظیر معاونت خدمات شهری یا محیط‌زیست) تعریف نمود تا نیاز به نیروی انسانی جدید به حداقل برسد. علاوه بر شهرداری‌ها، در سازمان‌های ملی مرتبط (مانند سازمان حفاظت محیط‌زیست و وزارت راه و شهرسازی) نیز تعیین پست‌های سازمانی تخصصی یا واحدهای کوچک برای



رسیدگی به موضوع اقلیم شهری سودمند است.

■ **پایش و ارزیابی مستمر:** ایجاد یک نظام پایش مداوم دمای شهری و انتشار منظم نتایج آن، ابزار مهمی برای سیاستگذاری اقلیمی محسوب می‌شود؛ چنان‌که سازمان جهانی هواشناسی نیز رخدادهای گرمای و تأثیرات آن را در کشورهای ثبت و گزارش می‌کند. در سطح ملی، سازمان هواشناسی کشور می‌تواند با همکاری شهرداری‌ها و سازمان حفاظت محیط زیست یک شبکه پایش تشکیل دهد و از طریق نصب حسگرهای دما در نقاط مختلف شهر و بهره‌گیری از تصاویر ماهواره‌ای، تغییرات دمای سطح زمین و دمای هوای شهری را رصد کند.

۱. مقدمه



شهرهای جهان امروزه به‌طور فزاینده‌ای با بحران گرمایش و افزایش دمای محیط شهری مواجه‌اند. بررسی‌ها نشان می‌دهد که نرخ گرم شدن شهرها به‌طور متوسط حدود دوبرابر سریع‌تر از میانگین جهانی است. براساس سناریوهای انتشار بالای گازهای گلخانه‌ای، پیش‌بینی می‌شود تا سال ۲۱۰۰ میلادی دمای بسیاری از شهرهای دنیا تا حدود ۴ درجه سانتی‌گراد افزایش یابد [۱]. این میزان افزایش دما پیامدهای مخربی برای جوامع و زیرساخت‌های شهری خواهد داشت؛ به‌طوری‌که گرمای افراطی هم‌اکنون نیز یکی از مهلک‌ترین مخاطرات آب‌وهوایی به‌شمار می‌آید. طبق گزارش لَنسِت در سال ۲۰۲۱، تنها در سال ۲۰۱۹ حدود ۳۵۶ هزار نفر در جهان بر اثر مخاطرات ناشی از گرمای شدید جان خود را از دست داده‌اند [۲]. این رقم بیانگر سهم بالای موج‌های گرما در مرگ‌ومیرهای مرتبط با اقلیم است و اهمیت توجه به مشکل گرمایش شهری را آشکار می‌سازد.

افزون بر تلفات جانی، تبعات گسترده‌تری نیز در راه است. براساس برآورد سازمان‌های بین‌المللی، تا سال ۲۰۵۰ میلادی حدود ۱٫۶ میلیارد نفر از ساکنان شهرها در معرض گرمای بی‌سابقه قرار خواهند گرفت که می‌تواند آثار فلج‌کننده‌ای بر سلامت و اقتصاد شهری داشته باشد [۳]. روی آوردن صرف به وسایل سرمایشی مکانیکی نیز راه‌حل پایدار این بحران نیست؛ سیستم‌های تهویه مطبوع و پنکه‌های برقی هم‌اکنون نزدیک به ۲۰ درصد از کل برق مصرفی در ساختمان‌های جهان را به خود اختصاص می‌دهند [۴]. رشد فزاینده تقاضا برای سرمایش در بسیاری از کشورها ضمن وارد کردن فشار بر شبکه‌های برق، خود به افزایش انتشار گازهای گلخانه‌ای دامن می‌زند [۵]. بنابراین گذار به رویکردهای پایدارتر و کم‌کربن برای خنک‌سازی و تهویه طبیعی شهرها یک ضرورت فوری به‌شمار می‌رود. بسیاری از راهکارهای مقابله با بحران گرمایش را می‌توان در مقیاس شهری اجرایی کرد. به همین جهت نهادهای بین‌المللی مانند برنامه اسکان بشر ملل^۱ متحد و برنامه محیط زیست ملل متحد^۲ با راه‌اندازی ابتکاراتی نظیر ائتلاف جهانی خنک‌سازی و انتشار اسنادی همچون دستورالعمل خنک‌سازی پایدار شهری در سال‌های اخیر، دولت‌ها و شهرها را به اتخاذ سیاست‌های بهینه برای کاهش اثر جزایر حرارتی و تأمین سرمایش مورد نیاز بدون تشدید گرمایش جهانی ترغیب کرده‌اند [۶]. در ایران نیز روند فزاینده گرمایش و چالش‌های ناشی از آن محسوس است و ضرورت اقدام در این زمینه، به‌ویژه در اقلیم‌های بسیار گرم کشور، بیش‌ازپیش احساس می‌شود.

در چنین شرایطی، گذار از پاسخ‌های مقطعی به سیاستگذاری مبتنی بر شواهد و طراحی همساز با اقلیم ضرورتی انکارناپذیر است. تمرکز این پژوهش بر دو حوزه مکمل است: نخست، سیاست‌های کلان شهری و منطقه‌ای برای کاهش ریسک گرمایی (از اصلاح مقررات تا برنامه‌های اقدام گرما) و دوم، راهکارهای طراحی معماری و شهرسازی برای کاهش دما و بهبود آسایش حرارتی در

1. UN-Habitat

2. UNEP

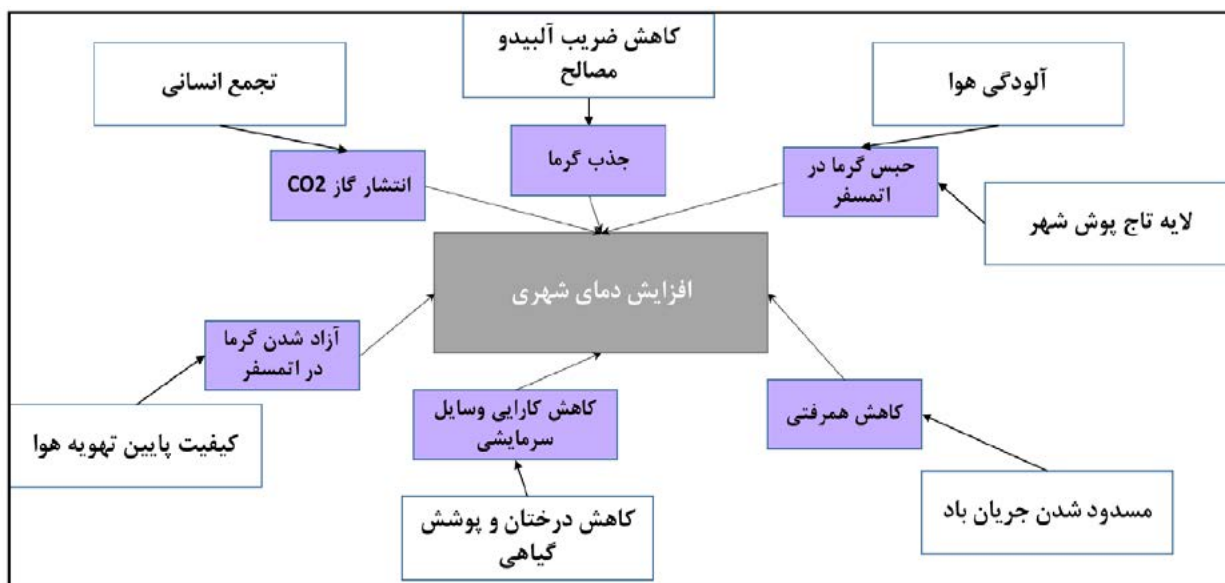
اقلیم‌های گرم و خشک (نظیر یزد، کرمان، شیراز) و گرم و مرطوب (نظیر اهواز و شهرهای ساحلی خلیج فارس)، رویکرد این پژوهش بر هم‌افزایی راهکارهای طبیعت پایه (گسترش شبکه سبز/آبی، بام/دیوار سبز، سایه‌اندازی درختان، استفاده از فناوری‌ها و مصالح خنک، بام‌ها و سطوح بازتابنده، رنگ‌های سرد، مواد تغییر فاز دهنده) و همچنین سامان‌دهی فرمی/بادخیزی شهر برای حفاظت و تقویت دالان‌های باد تأکید دارد.

از سوی دیگر، گفتمان کارایی انرژی در مقیاس ساختمان و محله، با استانداردهایی چون ساختمان‌های صفر انرژی و نظام‌های ارزیابی پایداری مانند لید، طیف قابل اتکایی از معیارهای طراحی و عملکرد را برای اقلیم‌های گرم فراهم کرده است؛ معیارهایی که با بهره‌گیری از تهویه طبیعی، جرم حرارتی و سایه‌اندازی هوشمند، بار سرمایش را کاهش و پایداری شبکه انرژی را تقویت می‌کنند. این پژوهش، علاوه بر اتکا بر تجربه جهانی، از میراث ارزشمند معماری بومی ایران همانند بادگیر، حیاط مرکزی، ساباط و الگوهای درون‌گرا به عنوان دانش بومی پایدار بهره می‌گیرد و آن را با ابزارهای معاصر تلفیق می‌کند. همچنین، تجربیات موفق معاصر کشورها تحلیل می‌شود تا پیشنهادهایی قابل اجرا، کم‌هزینه، سریع‌الاثرب و نیز بلندمدت برای سطوح مختلف شهری/محله‌ای ارائه شود. نقشه‌راه پیشنهادی، در نهایت، به دنبال ارتقای تاب‌آوری حرارتی شهرهای ایران، کاهش نابرابری‌های اقلیمی و صیانت از سلامت عمومی در مواجهه با آینده‌ای گرم‌تر است؛ آینده‌ای که فقط با ترکیب خرد بومی و علم روز می‌توان آن را زیست‌پذیر نگاه داشت.

۱-۱. جزیره حرارتی شهری

یکی از مفاهیم کلیدی در درک علمی گرمایش شهرها، پدیده «جزیره حرارتی شهری» است. جزیره حرارتی شهری به اختلاف دمای قابل ملاحظه بین مناطق شهری و نواحی پیرامونی (روستایی یا طبیعی) گفته می‌شود که در اثر ویژگی‌های خاص محیط شهری ایجاد می‌شود [۷]. به بیان دیگر، دمای هوای نقاط متراکم شهری (بخش‌های مرکزی شهرها) معمولاً بالاتر از دمای هوای مناطق حاشیه‌ای در همان زمان است و این تفاوت به‌ویژه در ساعات شب نمایان‌تر می‌شود. عوامل متعددی در شکل‌گیری جزیره حرارتی نقش دارند که مهم‌ترین آنها به ماهیت ساختاری شهرها بازمی‌گردد: نزدیکی ساختمان‌های بلند و خیابان‌های باریک موجب کاهش تهویه طبیعی و حبس هوا در بافت شهری می‌شود؛ سطوح گسترده آسفالت، بتن و سایر مصالح ساختمانی تیره‌رنگ، در طول روز انرژی خورشید را جذب می‌کنند و تا ساعت‌ها آن را به صورت گرما پس می‌دهند؛ فعالیت‌های انسانی در شهر (از موتور وسایل نقلیه گرفته تا سیستم‌های سرمایشی و صنعتی) حرارت و آلاینده تولید می‌کند و نیز کمبود پوشش گیاهی و فضاهای سبز در بسیاری از مناطق شهری باعث می‌شود سایه و خنکای تبخیری کافی برای تعدیل هوا وجود نداشته باشد [۸]. مجموع این عوامل باعث می‌شود مراکز شهرها در روز گرم‌تر و در شب دیرتر خنک شوند و به این ترتیب یک جزیره گرمایی محلی شکل گیرد.

شکل ۱. نمودار روند شکل‌گیری جزایر حرارتی و افزایش میزان گرمای سطوح شهری [۹]



با اینکه شهرنشینی در مقیاس جهانی تأثیر چندانی بر میانگین دمای کره زمین نداشته است، همین پدیده جزیره حرارتی موجب تشدید اثر گرمایش جهانی در شهرها شده است [۱۰]. شواهد اقلیمی نشان می‌دهد روند افزایش دما در ایستگاه‌های شهری معمولاً بیشتر از نواحی پیرامونی است و بخشی از اختلاف روند گرمایش بین شهر و روستا را می‌توان به توسعه شهری نسبت داد. به‌ویژه دمای کمینه شبانه در مناطق شهری بیشتر تحت تأثیر جزیره حرارتی قرار می‌گیرد و نسبت به محیط برون‌شهری کندتر کاهش می‌یابد [۱۰]. این بدین معناست که شب‌های شهر به اندازه کافی خنک نمی‌شوند و حرارت ذخیره شده در سازه‌ها باعث بالا ماندن دمای هوا تا ساعات اولیه صبح می‌شود. پیامد جزیره حرارتی شهری آن است که ساکنان شهرها به‌ویژه در موج‌های گرما، دمای بیشتری را نسبت به مناطق روستایی تجربه می‌کنند و این اضافه دما می‌تواند آثار نامطلوب بر سلامت و آسایش شهروندان داشته باشد.

۲-۱. پیامدهای گرمایش شهری بر سلامت و انرژی

گرمایش بیش از حد محیط شهری و وقوع مکرر موج‌های گرما پیامدهای جدی بر سلامت انسان‌ها بر جای می‌گذارد. قرارگیری طولانی‌مدت در معرض دمای بالا می‌تواند به استرس حرارتی منجر شود و کارکردهای طبیعی بدن را مختل کند. گرمای شدید علاوه بر ایجاد گرم‌زدگی مستقیم، می‌تواند بیماری‌های زمینه‌ای را تشدید نماید؛ برای مثال مبتلایان به بیماری‌های قلبی-عروقی، دیابت، بیماری‌های ریوی و حتی اختلالات روانی در هوای بسیار گرم دچار وخامت بیشتری می‌شوند [۱۱]. به‌طور کلی، گرم‌زاترین مخاطره جوی برای انسان‌ها همین موج‌های گرمای طولانی است که بیشترین آمار مرگ‌ومیر ناشی از حوادث آب‌وهوایی را به خود اختصاص می‌دهد. جمعیت‌های آسیب‌پذیر مانند سالمندان و کودکان در برابر گرما بیشترین خطر را متحمل می‌شوند. آمارهای جهانی نشان می‌دهد میزان مرگ‌ومیر افراد بالای ۶۵ سال بر اثر گرما طی دو دهه اخیر حدود ۸۵ درصد افزایش داشته است. بین سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۹ هر ساله به‌طور متوسط حدود ۴۹۰ هزار نفر در جهان به دلیل گرمای بیش از حد جان خود را از دست داده‌اند که نزدیک به نیمی از این موارد در قاره آسیا بوده است [۱۲]. حتی در اروپا با اقلیم معتدل‌تر، موج گرمای تابستان ۲۰۲۲ موجب حدود ۶۱ هزار مرگ‌ومیر اضافی شد که نشانگر دامنه آثار گرماست. علاوه بر مرگ‌ومیر، گرما می‌تواند باعث افزایش مراجعه به بیمارستان‌ها

(به دلیل تشدید بیماری‌های مزمن یا گرم‌زدگی)، کاهش توان کاری و بهره‌وری نیروی کار و حتی بروز ناآرامی‌های رفتاری و مشکلات روانی شود [۱۳]. شایان ذکر است تمام این آثار منفی گرما قابل پیشگیری و کاهش‌اند، به شرط آنکه اقدامات مداخله‌ای در حوزه بهداشت عمومی و سایر بخش‌ها به موقع اجرا گردد. تدوین طرح‌های عملیاتی مقابله با گرما (نظیر برنامه‌های اقدام سلامت در گرما)^۱ در سطح شهرها یکی از راهکارهای مؤثر برای کاهش تلفات و آسیب‌پذیری ناشی از موج‌های گرم‌است که سازمان بهداشت جهانی نیز بر آن تأکید دارد [۱۳، ۱۴].

یکی از نمونه‌های بارز مخاطرات گرما در سال‌های اخیر، در تابستان ۱۴۰۳ در ایران به ثبت رسید. طی موج گرمای بی‌سابقه‌ای در مناطق ساحلی خلیج فارس، ترکیب دمای هوا و رطوبت بسیار زیاد باعث شد شاخص گرما^۲ به رکورد کم سابقه ۸۲ درجه سانتی‌گراد برسد [۱۵]. این مقدار اگر تأیید شود، از بالاترین شاخص‌های گرمای ثبت شده در جهان خواهد بود و شرایط طاقت‌فرسای حاکم بر برخی نقاط جنوبی ایران را نشان می‌دهد. در آن روز نقطه شبنم هوا به حدود ۳۶ درجه سلسیوس رسید که نشان‌دهنده اشباع رطوبت و فشار بی‌سابقه بر سیستم‌های طبیعی تبخیر و تعریق بدن انسان بود. بدیهی است که در چنین شرایطی سازوکار خنک‌سازی بدن از طریق عرق کردن عملاً از کار می‌افتد و خطر بروز گرم‌زدگی و آسیب‌های جبران‌ناپذیر یا مرگ‌ومیر بسیار بالا می‌رود. رخداد این وضعیت حاد در ایران نشان می‌دهد که حتی پیش از فرارسیدن تغییرات اقلیمی آینده، هم‌اکنون نیز برخی مناطق شهری کشور در بعضی روزهای سال به آستانه غیرقابل تحمل بودن برای انسان نزدیک می‌شوند [۱۵].

افزایش شدت گرما در شهرها، علاوه بر تهدیدات سلامت، یک چالش اساسی برای بخش انرژی و تأسیسات شهری محسوب می‌شود. در روزهای بسیار گرم، استفاده از سیستم‌های سرمایشی برقی مانند کولرهای گازی به شکل چشمگیری افزایش می‌یابد و اوج مصرف برق شبکه را بالا می‌برد. برای مثال در ایران طی تابستان سال ۱۴۰۴ (۲۰۲۵ میلادی)، به دنبال موج گرمای زودرس و شدید، که دمای هوا ۳ تا ۶ درجه بیش از میانگین بلندمدت بود، پیک تقاضای مصرف برق کشور به رکورد تاریخی بیش از ۸۵ هزار مگاوات رسید [۱۶]. این رقم بی‌سابقه، که ناشی از استفاده گسترده از وسایل سرمایشی در سراسر کشور بود، فشار بی‌مانندی بر شبکه برق وارد ساخت و مشکلاتی در تأمین پایدار انرژی به وجود آورد. در مقیاس منطقه‌ای نیز زیرساخت‌ها از تبعات گرما در امان نیستند؛ سازمان جهانی هواشناسی گزارش کرد در تابستان سال ۱۴۰۴ در بخش‌هایی از جنوب غربی ایران و شرق عراق، دمای هوا ۵۰ درجه سانتی‌گراد فراتر رفت و این امر به اختلال گسترده در تأمین برق و آب، تعطیلی مراکز آموزشی و وقفه در فعالیت‌های عادی اقتصادی انجامید [۱۷]. به این ترتیب، گرمایش شهری می‌تواند مستقیماً بر امنیت انرژی شهرها تأثیر منفی بگذارد و حتی موجب خاموشی‌ها و تعطیلی کسب و کارها در اوج مصرف تابستان شود. از جنبه زیست‌محیطی نیز افزایش بهره‌گیری از دستگاه‌های سرمایشی به معنای مصرف بیشتر سوخت‌های فسیلی در نیروگاه‌ها (در کشورهایی نظیر ایران با برق عمدتاً حرارتی) و در نتیجه انتشار بیشتر گازهای گلخانه‌ای است. این مسئله نوعی دور باطل ایجاد می‌کند؛ به این صورت که هرچه هوا گرم‌تر می‌شود مصرف انرژی برای سرمایش بیشتر شده، مصرف انرژی فسیلی به نوبه خود گرمایش جهانی را تشدید می‌کند.

۳-۱. ضرورت اقدام اقلیمی در ایران

ایران به عنوان کشوری وسیع در منطقه خشک و نیمه خشک جهان، به شدت در معرض آثار تغییرات اقلیمی و گرمایش جهانی قرار دارد. روندهای اخیر نشان می‌دهد که منطقه خاورمیانه و شرق مدیترانه تقریباً دوبرابر سریع‌تر از متوسط جهانی در حال گرم شدن است [۱۵]. این بدان معناست که آهنگ افزایش دما در ایران فراتر از روند جهانی است و شهرهای ایران با سرعت بیشتری گرم‌تر می‌شوند. پیامد چنین روندی، افزایش فراوانی و شدت موج‌های گرما در دهه‌های پیش‌رو است که می‌تواند تاب‌آوری جوامع را به چالش بکشد. مطالعات اقلیمی پیش‌بینی می‌کنند حتی در صورت تحقق سناریوهای انتشار متوسط، بخش‌هایی از خاورمیانه تا اواخر قرن بیست و یکم با افزایش دمای ۴ تا

1. Heat-Health Action Plans (HHAPs)

2. Heat Index



۵ درجه سانتی گراد نسبت به میانگین اواخر قرن بیستم مواجه شوند. برای ایران نیز سناریوهای بدبینانه نشان می‌دهند ترکیب دمای بسیار بالا و رطوبت در مناطق جنوبی می‌تواند در آینده شرایطی ایجاد کند که زندگی بدون تجهیزات مکانیکی خنک‌کننده دشوار یا حتی غیرممکن گردد. گزارش‌ها حاکی است که با تداوم روند کنونی، برخی نقاط کشور در فصل تابستان ممکن است به آستانه غیرقابل سکونت شدن نزدیک شوند و پدیده‌هایی نظیر کوچ اقلیمی اجباری دور از انتظار نخواهد بود. تمام این شواهد علمی زنگ خطری برای برنامه‌ریزان کشور است تا مسئله گرمایش و تغییر اقلیم را در کانون توجه قرار دهند [۱۵].

براین اساس، اقدام اقلیمی در ایران ضرورتی راهبردی و اجتناب‌ناپذیر است. منظور از اقدام اقلیمی، مجموعه تدابیری است که برای کاهش سرعت تغییرات اقلیمی (از طریق کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای) و انطباق با پیامدهای آن (از طریق افزایش تاب‌آوری زیرساخت‌ها و جوامع) اتخاذ می‌شود. از بُعد کاهش انتشار، حرکت به سوی انرژی‌های پاک و کاهش اتکا به سوخت‌های فسیلی - که سهم بالایی در اقتصاد ایران دارند - در درازمدت اهمیت حیاتی دارد. هم‌زمان، از بعد سازگاری، اصلاح الگوی طراحی شهری و معماری برای انطباق با اقلیم گرم‌تر ضروری است. به بیان دیگر، شهرهای ایران باید طوری طراحی و مدیریت شوند که در برابر گرمای شدید تاب‌آور باشند و آسایش حرارتی ساکنان با مصرف انرژی کمتری تأمین شود. جامعه جهانی نیز بر فوریت این اقدامات تأکید دارد؛ برای نمونه در پی موج گرمای کم‌سابقه سال ۲۰۲۴ در منطقه، کارشناسان سازمان ملل بر لزوم کاستن از مصرف سوخت‌های فسیلی و تسریع اقدامات اقلیمی مهر تأیید مجدد زدند [۱۵]. ایران برای حفاظت از سلامت شهروندان خود و نیز تأمین پایدار انرژی و توسعه اقتصادی در آینده، ناگزیر است ملاحظات اقلیمی را در صدر اولویت‌های خود قرار دهد. تدوین سیاست‌های شهری سازگار با اقلیم، سرمایه‌گذاری در زیرساخت‌های سبز (مانند توسعه فضای سبز شهری و بهبود تهویه طبیعی شهر)، ایجاد سامانه‌های هشدار سریع موج گرما و اجرای طرح‌های عملیاتی مقابله با گرما در سطح شهرها از جمله اقداماتی است که باید با سرعت و جدیت پیگیری شود. بدیهی است بهره‌گیری از تجربه‌ها و توصیه‌های نهادهای بین‌المللی (مانند برنامه اسکان بشر ملل متحد، سازمان بهداشت جهانی، هیئت بین‌دولتی تغییر اقلیم و غیره) و همچنین ظرفیت‌های علمی و مهندسی داخلی، مسیر برنامه‌ریزی اقلیمی کشور را هموارتر خواهد ساخت.

۴-۱. تمرکز بر اقلیم‌های گرم و مرطوب و گرم‌وخشک ایران

ایران از نظر جغرافیایی کشوری پهناور با تنوع اقلیمی قابل توجه است. براساس تقسیم‌بندی اقلیمی کوپن، که توسط پژوهشگران داخلی با اندکی تغییر اعمال شده، اقلیم ایران را می‌توان به چهار دسته کلی تفکیک کرد: اقلیم معتدل و مرطوب (سواحل شمالی دریای خزر)، اقلیم گرم و مرطوب (سواحل جنوبی کشور)، اقلیم گرم و خشک (فلات مرکزی ایران) و اقلیم سرد (مناطق کوهستانی مرتفع). تمرکز این گزارش بر دو اقلیم بسیار گرم ایران یعنی اقلیم گرم و مرطوب و اقلیم گرم‌وخشک است که به ترتیب نواحی ساحلی جنوب و بخش وسیعی از فلات مرکزی کشور را دربرمی‌گیرند. اقلیم گرم و مرطوب عمدتاً یک نوار باریک در حاشیه شمالی خلیج فارس و دریای عمان - از استان خوزستان در جنوب غرب تا استان سیستان و بلوچستان در جنوب شرق - را شامل می‌شود. این ناحیه به داشتن آب‌وهوای بسیار گرم و شرجی شهرت دارد؛ تابستان‌هایی فوق‌العاده گرم با رطوبت بسیار بالا و زمستان‌هایی نسبتاً معتدل از ویژگی‌های این اقلیم است. به‌عنوان نمونه، در شهرهای ساحلی این مناطق (مانند بندرعباس، آبادان، اهواز و جاسک) دمای هوا در تابستان معمولاً به حدود ۳۵ تا ۴۰ درجه سانتی‌گراد همراه با رطوبت نسبی ۷۰ درصد می‌رسد. وجود رطوبت زیاد باعث می‌شود اختلاف دمای بین روز و شب بسیار کم باشد و هوا حتی در شب‌ها نیز حالت شرجی خود را حفظ می‌کند. در مقابل، اقلیم گرم‌وخشک بخش عمده فلات مرکزی و جنوب داخلی ایران (شامل شهرهایی نظیر یزد، کرمان، اصفهان،

1. Heat-Health Action Plans
2. UN-Habitat
3. WHO
4. IPCC

۵. طبقه‌بندی کوپن معروف‌ترین تقسیم‌بندی نواحی آب‌وهوایی بر مبنای ۳ معیار بارش، دما و پوشش گیاهی است.

شیراز و...) را در بر می‌گیرد. این نواحی دارای بارش سالیانه بسیار اندک، رطوبت هوای ناچیز و آسمانی صاف هستند. نوسان دمای شبانه‌روز در اقلیم گرم و خشک بسیار زیاد است؛ به‌طوری‌که روزهای تابستان به‌شدت داغ و خشک، ولی شب‌ها نسبتاً خنک می‌شوند. نبود رطوبت در هوا و پوشش گیاهی اندک سبب می‌شود گرمای خورشید به‌سرعت سطح زمین و بناها را داغ کند و این گرما به راحتی به محیط انتقال یابد و هوا را بسیار گرم نماید. به این ترتیب شرایط محیطی در روزهای تابستان برای ساکنان شهرهای اقلیم گرم و خشک بسیار طاقت‌فرسا است، هر چند شب‌های خشک این اقلیم فرصت کاهش دمای نسبی را فراهم می‌آورد [۱۸].

دلیل تمرکز این گزارش بر اقلیم‌های گرم و مرطوب و گرم و خشک آن است که شدیدترین معضل گرمایش شهری و بیشترین نیاز به مداخله معماری و شهرسازی برای سرمایش در این دو اقلیم مشاهده می‌شود. شهرهای واقع در این مناطق هر ساله در معرض تجربه دماهای بی‌سابقه و موج‌های گرمای طولانی قرار دارند و تغییر اقلیم می‌تواند این وضعیت را تشدید کند. از سوی دیگر، این اقلیم‌ها واجد ارزشمندترین تجربیات بومی در زمینه طراحی سازگار با گرما هستند. برای مثال در شهرهای اقلیم گرم و خشک (نواحی کویری مرکزی)، معماری سنتی با بهره‌گیری از ابتکاراتی نظیر بادگیرهای مرتفع، حیاط مرکزی و دیوارهای ضخیم، قرن‌هاست که به تهویه طبیعی و خنک‌سازی فضاهای داخلی کمک کرده است. در اقلیم گرم و مرطوب جنوب نیز سازگاری با رطوبت و گرما در مقیاس شهر و بنا مشهود است؛ بافت شهری شهرهای ساحلی به‌صورت نیمه‌متراکم و کشیده در امتداد ساحل شکل گرفته تا هم‌زمان حداکثر سایه‌اندازی و جریان هوای دریایی در میان ساختمان‌ها فراهم شود. در معماری بومی این مناطق، سقف‌های بلند و ایوان‌های وسیع برای کمک به تهویه هوا و کاهش جذب گرمای ساختمان متداول بوده است. مجموعه این راهکارهای سنتی بیانگر آن است که معماری و شهرسازی می‌تواند تا حد زیادی آثار اقلیمی نامطلوب را تخفیف دهد و آسایش حرارتی را حتی در شدیدترین شرایط آب و هوا تأمین کند. از این رو، شناسایی و به کارگیری تجربیات جهانی و بومی در زمینه طراحی اقلیمی بناها و فضاهای شهری در اقلیم‌های گرم و مرطوب و گرم و خشک، می‌تواند راهکارهایی عملی برای کاستن از بحران جزیره حرارتی شهری و ارتقای تاب‌آوری شهرهای ایران در برابر گرمایش فزاینده ارائه دهد.

۲. پیشینه و مبانی نظری

تا قبل از ورود به قرن بیستم، جوامع بشری به الزام و نه به انتخاب، اگر چه آرام اما پیوسته، به سمت سازگاری بیشتر با بوم و اقلیم در ابعاد مختلف از انتخاب مکان و خاستگاه و جهات توسعه شهرها، تا جهات و عرض معابر برای نفوذ بادهای مطلوب و یا سایه‌اندازی گذرها، تا انواع تمهیدات معماری برای مطلوبیت بیشتری زیستی گام برداشته‌اند.

۲-۱. تجارب سنتی ایران در کنترل گرما

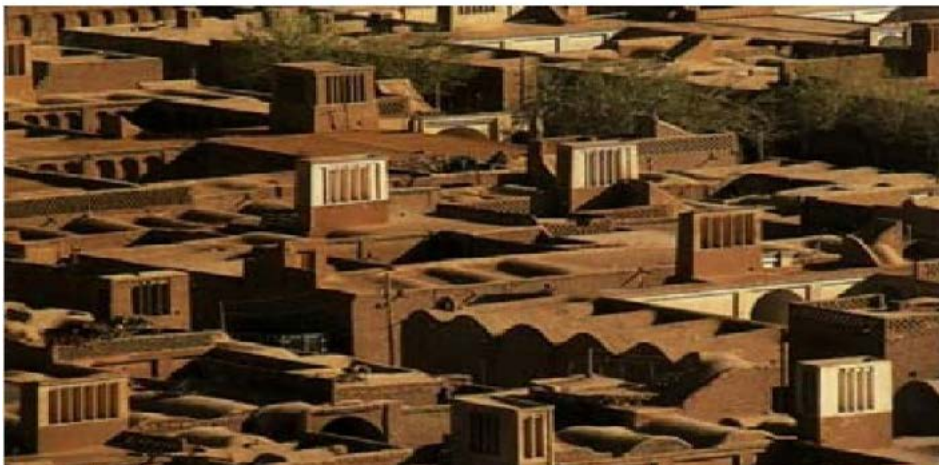
معماری سنتی ایران سرشار از راهکارهای هوشمندانه برای مقابله با گرمای شدید در اقلیم‌های مختلف است. در شهرهای کویری مرکز ایران (اقلیم گرم و خشک)، عناصری نظیر بادگیر، حیاط مرکزی، ایوان، سابات و سرداب به کار گرفته شده‌اند. بادگیرها برج‌های تهویه‌ای‌اند که نسیم خنک را به داخل بنا هدایت می‌کنند و از دیرباز شاهکاری در تهویه طبیعی محسوب می‌شوند. حیاط‌های مرکزی با باغچه و حوض آب در وسط خانه‌ها، علاوه بر تأمین سایه، از طریق تبخیر آب به خنک‌سازی هوا کمک می‌کردند. ایوان‌ها (ایوان سراسری یا بهار خواب) فضاهای نیمه‌باز سایه‌داری بودند که مرزی میان بیرون و داخل ایجاد کرده و از تابش مستقیم خورشید به اتاق‌ها جلوگیری می‌کردند. دیوارهای ضخیم خشتی و رنگ روشن نماها نیز در کاهش جذب حرارت خورشید نقش داشتند [۱۹].

در اقلیم‌های گرم و مرطوب (جنوب ایران)، راهکارهای سنتی متفاوت بوده است. در معماری بومی سواحل جنوب، ساختمان‌ها با سقف‌های بلند و پنجره‌های مشبک طراحی می‌شدند تا بیشترین تهویه ممکن ایجاد شود. ساخت بناها روی پایه‌ها (جهت جریان هوادر زیر بنا) و ایجاد سایبان‌های

عریض برای ممانعت از نفوذ باران و آفتاب متداول بوده است. استفاده از مصالح سبک و بومی مانند چوب نخل که در برابر رطوبت مقاوم است، موجب تنفس پذیری بیشتر ساختمان می‌شده است [۲۰].

به‌طور کلی، تجربه سنتی ایران نشان می‌دهد سایه‌اندازی، تهویه طبیعی، جرم حرارتی و تبخیر آب ارکان اصلی در خنک‌سازی بومی بوده‌اند. بادگیرها با هدایت باد و ساباط‌ها با ایجاد سایه برای معابر، نمونه‌هایی از انطباق هوشمندانه طراحی شهری با اقلیم‌اند. این میراث غنی می‌تواند الهام‌بخش راهکارهای نوین در معماری و شهرسازی امروز ما باشد.

شکل ۲. نمونه‌ای از بادگیرهای سنتی در یزد. بادگیرها هوا را به داخل فضاهای زیرین هدایت می‌کنند و با خنک کردن آب و هوا، نقش مؤثری در تعدیل دما دارند [۲۱]



۲-۲. دسته‌بندی راهبردهای کاهش گرما در معماری و شهرسازی

راهکارهای کاهش اثر جزایر حرارتی شهری را می‌توان در چند دسته کلی طبقه‌بندی کرد. بسیاری از کشورها چهار راهبرد اصلی را برای خنک‌سازی شهری دنبال می‌کنند: افزایش پوشش گیاهی (درخت و فضای سبز)، استفاده از بام‌های سبز، به‌کارگیری بام‌ها و سقف‌های بازتابنده (بام سرد) و به‌کارگیری کف‌سازی و روسازی‌های بازتابنده (کف سرد). هریک از این راهکارها موجب کاهش دمای سطحی و هوای شهری می‌شود و در کنار هم آثار تجمعی دارند. به‌کارگیری ترکیبی آنها علاوه‌بر کاهش دما، مزیت‌هایی چون بهبود کیفیت هوا، صرفه‌جویی انرژی، کاهش آلودگی و افزایش سلامت عمومی را به دنبال خواهد داشت.

از دید مقیاس و ماهیت مداخله، می‌توان راهکارها را در سه دسته معماری (ساختمان)، شهرسازی (بافت شهری) و راهکارهای طبیعی / مصالح تقسیم کرد [۲۲]:

■ **راهکارهای معماری و طراحی ساختمان:** شامل طراحی همساز با اقلیم (جهت‌گیری مناسب بنا، فرم ساختمان)، ایجاد سایه (ساخت ایوان، بالکن و سایبان)، بهبود تهویه طبیعی در بنا، استفاده از مصالح با ظرفیت حرارتی مناسب و رنگ‌های بازتابنده در پوسته ساختمان می‌شود. این اقدامات در مقیاس خرد بر کاهش جذب گرما و بهبود آسایش حرارتی در داخل و نزدیک بنا تمرکز دارند.

■ **راهکارهای برنامه‌ریزی و طراحی شهری:** مرتبط با ساختار کلان‌شهر نظیر تعیین فاصله و ارتفاع مناسب ساختمان‌ها، جهت‌گیری معابر نسبت به باد، تأمین فضاهای باز (مانند پارک‌ها و میادین) برای تهویه، کاهش تراکم‌های ناسازگار اقلیمی و ایجاد سایه شهری از طریق درخت‌کاری معابر و طراحی جداره‌های شهری است. این دسته بر بهبود ریزاقلیم شهری تمرکز دارد و می‌تواند در مقیاس محله تا شهر اثرگذار باشد.

■ **راهکارهای طبیعی و مصالح نوین:** استفاده از فضای سبز (درختان، پوشش گیاهی، بام و دیوار سبز) جهت ایجاد سایه و سرمایش تبخیری، به‌کارگیری مصالح بازتابنده (مانند رنگ سرد بام و آسفالت خنک) برای کاهش جذب حرارت، و بهره‌گیری از فناوری‌های نو (مانند مواد تغییر

فاز دهنده و حسگرهای هوشمند) برای مدیریت حرارت. این راهکارها می‌توانند به صورت عناصر الحاقی به طراحی معماری / شهری افزوده شوند و مکمل دو دسته قبلی اند [۲۲].

باید توجه داشت اثربخشی هر راهکار وابسته به شرایط اقلیمی، مورفولوژی شهری و نحوه اجرای آن است.

۳. راهکارهای طراحی معماری برای کاهش گرمای شهری

۳-۱. طراحی همساز با اقلیم و جهت‌گیری بنا

طراحی همساز با اقلیم بر این اصل استوار است که ساختمان باید با شرایط آب‌وهوایی منطقه تطبیق یابد تا کمترین جذب حرارت ناخواسته و بیشترین دفع آن را داشته باشد. جهت‌گیری مناسب بنا یکی از نخستین گام‌هاست؛ برای مثال در اقلیم گرم و خشک ایران، جهت شرقی-غربی برای کشیدگی بنا ترجیح داده می‌شود تا نماهای شمالی و جنوبی طولانی‌تر بوده و تابش مستقیم کمتری دریافت شود. این امر باعث کاهش گرمای ورودی خورشید در تابستان می‌شود. برعکس، در مناطق مرطوب که جریان باد خنک در عصرها حائز اهمیت است، جهت‌گیری بناها طوری انتخاب می‌شود که حداکثر تهویه متقابل حاصل گردد [۲۳].

علاوه بر جهت، فرم و جرم حرارتی ساختمان نقش مهمی دارند. ساختمان‌های همساز با اقلیم گرم، اغلب فشرده و با حداقل سطح خارجی در معرض آفتاب طراحی می‌شوند تا بار حرارتی کاهش یابد. استفاده از جرم حرارتی (مثلاً دیوارهای ضخیم سنگی یا آجری) باعث می‌شود حرارت روز در جرم دیوار جذب و ذخیره شده و با تأخیر زمانی در شب آزاد شود؛ به این ترتیب ساعات اوج گرما در داخل به تأخیر افتاده و هم‌زمان با خنک شدن هوا در شب، حرارت جذب شده تخلیه می‌شود. این ویژگی به ویژه در آب‌وهوای بیابانی که دمای روز و شب اختلاف زیادی دارد بسیار مفید است [۲۴].

طراحی اقلیمی همچنین بر کوچک نگاه داشتن بازشوها در نماهای آفتاب‌گیر، ایجاد ایوان و بالکن به عنوان فضای حائل، و بهره‌گیری از رنگ‌ها و متریال‌های بازتابنده تأکید دارد. نمای ساختمان با رنگ روشن می‌تواند درصد قابل توجهی از تابش خورشید را بازتاب دهد و دمای سطح نما را پایین نگاه دارد. تحقیقات نشان داده که رنگ آمیزی سفید یا استفاده از پوشش‌های بازتابنده در بام و نما قادر است دمای سطح را تا چندین درجه کاهش دهد و حتی دمای هوای اطراف ساختمان را نیز کم کند. به عنوان نمونه، پژوهشی در ایران نشان داده است که تغییر رنگ بام (سقف) حدود ۱۷ درصد به خنک شدن داخل ساختمان‌ها و در نتیجه کاهش مصرف انرژی منجر می‌گردد [۲۵]. عایق کاری حرارتی جداره‌ها و سقف نیز جزء راهبردهای طراحی معماری است؛ عایق مناسب مانع انتقال گرمای بیرون به داخل در تابستان می‌شود و نیاز به سرمایش مکانیکی را کاهش می‌دهد [۲۶].

در مجموع، یک طراحی همساز با اقلیم گرم بر پیشگیری از جذب حرارت (از طریق جهت‌گیری، سایه‌اندازی و بازتابش) و تسهیل دفع حرارت (از طریق تهویه و جرم حرارتی) استوار است. این اصول در معماری سنتی ایران به وفور دیده می‌شود و در معماری معاصر نیز می‌توانند با فناوری‌های نوین تلفیق شوند تا ساختمان‌هایی با حداقل اثر جزیره حرارتی ایجاد گردد.

۳-۲. سایه‌اندازی در معماری (ایوان‌ها، سایبان‌ها، مشبک‌ها)

سایه‌اندازی یکی از مؤثرترین روش‌ها برای کاهش گرم شدن بناها و فضاهای شهری است. در معماری، المان‌های مختلفی برای ایجاد سایه به کار می‌روند:

■ **ایوان و بالکن‌های عریض:** ساخت ایوان‌های سراسری در اطراف بنا یا بالکن‌های پیش آمده در طبقات بالا می‌تواند از برخورد مستقیم

آفتاب به جداره‌های بنا جلوگیری کند. به عنوان مثال، در معماری بومی جنوب ایران، ایوان‌های عمیق بخش جدایی ناپذیر خانه‌ها بوده‌اند که در ساعات گرم روز فضای نشیمن سایه و خنک فراهم می‌کردند.

■ **سایبان‌ها و طاق‌نماها:** استفاده از سایبان‌های ثابت یا متحرک روی پنجره‌ها و درها می‌تواند میزان تابش وارد شده را تا حد زیادی کاهش دهد. سایبان‌های افقی برای پنجره‌های روبه جنوب (در نیمکره شمالی) بسیار مؤثرند؛ زیرا جلوی آفتاب تابستانی را در ارتفاع بالا می‌گیرند، ولی آفتاب زمستانی در ارتفاع پایین را تا حدی عبور می‌دهند. طاق‌نما و طارمی‌های سنتی نیز نقشی مشابه داشتند و فضای نیمه‌باز سایه‌دار خلق می‌کردند [۲۷].

■ **عناصر مشبک (مشربیه‌ها و ارسی‌ها):** مشبک‌های چوبی یا آجری که روی بازشوها قرار می‌گیرند، علاوه بر ایجاد سایه، با شکست شدت نور و کنترل دید، محیطی مطبوع‌تر فراهم می‌کنند. ارسی‌های رنگی در معماری ایرانی نمونه‌ای از این مشبک‌ها هستند که نور خورشید را فیلتر می‌کردند. امروزه می‌توان از پنل‌های مشبک مدرن (مانند برابیس سولیل)^۱ در نما بهره گرفت که همچون پوسته دوم، ساختمان را در برابر تابش مستقیم محافظت می‌کنند.

سایه‌اندازی هوشمند در معماری معاصر می‌تواند پویا باشد؛ مثلاً سایبان‌های متحرک خودکار که با جهت خورشید تنظیم می‌شوند یا نماهای دوپوسته که لایه بیرونی آنها مانند یک پرده کرکره بزرگ عمل می‌کنند. این راهکارها بدون مصرف انرژی زیاد، بار سرمایشی ساختمان را کاهش می‌دهند. طبق تحقیقات، سایه مستقیم در ختان بر یک بنا می‌تواند تا ۴۰ درصد بار حرارتی را کاهش دهد و همراه با راهسازی رطوبت توسط پوشش گیاهی، مجموعاً تا ۷۰ درصد کاهش در اثر جزیره حرارتی پیرامون بنا داشته باشد. هر چند این آمار بسته به شرایط محیطی و طراحی متفاوت است، اصل مطلب آن است که سایه‌اندازی - چه توسط عناصر مصنوعی معماری و چه توسط درختان - نقش کلیدی در خنک‌سازی محیط دارد. بنابراین در طراحی ساختمان‌های جدید به‌ویژه در اقلیم‌های خیلی گرم، پیش‌بینی سایبان‌های کافی و طراحی حجم بنا به گونه‌ای که خود ایجاد سایه کند (مثلاً طراحی پلکان و عقب‌نشست در طبقات بالا) توصیه می‌شود [۲۸].

شکل ۳. کاربرد مشربیه در ساختمان‌های مدرن امروزی برای ایجاد سایه و جلوگیری از تابش مستقیم به داخل بنا [۲۹]



۳-۳. بام‌های سرد و بام‌های سبز

بام‌ها به عنوان سطوح وسیع در معرض آفتاب، سهم زیادی در جذب حرارت و گرم شدن ساختمان‌ها و هوای شهر دارند. بنابراین خنک‌سازی بام یکی از مؤثرترین راهکارهای معماری برای کاهش گرمای شهری است. دو رویکرد اصلی در این زمینه عبارت‌اند از بام سرد و بام سبز:

■ **بام‌های سرد:** منظور بام‌هایی است که با رنگ‌ها یا پوشش‌های بازتاب‌دهنده پوشانده شوند تا بخش عمده‌ای از تابش خورشید را منعکس کنند. اکثر بام‌های معمولی تیره رنگ، فقط ۱۰-۲۰ درصد نور خورشید را بازتاب می‌دهند و باقی را جذب می‌کنند که می‌تواند دمای سطح آنها را به‌طور قابل ملاحظه‌ای بالا ببرد. در مقابل، یک بام سرد با پوشش بازتابنده (مثلاً سفید یا نقره‌ای) بخش زیادی از تابش را باز می‌تاباند و دمایش بسیار کمتر بالا می‌رود. این باعث کاهش انتقال حرارت به داخل ساختمان و همچنین کاهش انتشار حرارت به هوای شهری می‌شود [۳۰]. مطالعات نشان داده‌اند اجرای بام‌های سرد در مقیاس شهری می‌تواند دمای هوای محیط را نیز چند درجه کاهش دهد. برای نمونه، شهر فینیکس آمریکا با به کارگیری پوشش بازتابنده در معابر و بام‌ها، در برخی نقاط تا ۷ درجه سانتی‌گراد کاهش دمای سطح زمین را تجربه کرده است [۳۱].

■ **بام‌های سبز:** به بام‌هایی گفته می‌شود که لایه‌ای از خاک و پوشش گیاهی روی آنها قرار گرفته باشد. بام سبز چندین مکانیسم خنک‌سازی دارد: ایجاد سایه روی سطح بام، تعرق گیاهان که گرمای هوا را می‌گیرد، و مقداری عایق اضافه ناشی از لایه خاک. پژوهش‌ها نشان داده‌اند که بام سبز می‌تواند اختلاف دمای قابل توجهی ایجاد کند. یک مثال مشهور، بام سبز شهرداری شیکاگو است که اندازه‌گیری‌ها نشان داد در یک روز تابستانی، دمای سطح قسمت سبز فقط حدود ۲۱ درجه سلسیوس بود؛ در حالی که بام معمولی مجاور به ۴۰ درجه سلسیوس رسید. این تفاوت چشمگیر (۱۹ درجه) نه فقط نشان‌دهنده کاهش جذب حرارت توسط بام سبز است، بلکه تأثیر آن بر بهبود دمای هوای بالای بام و کاهش بار سرمایشی داخل بنا نیز مؤثر است [۳۲، ۳۳].

اجرای بام سبز در شهرهای ایران نیز پتانسیل بالایی برای بهبود اقلیم شهری دارد. بام‌های سبز می‌توانند در کاهش رواناب سطحی (کنترل سیلاب‌های شهری)، بهبود کیفیت هوا و ایجاد فضای سبز قابل استفاده برای ساکنان مؤثر باشند. چالش‌هایی نظیر هزینه اولیه، نیاز به سازه مقاوم‌تر و نگهداری، وجود دارد، اما سیاست‌های تشویقی می‌تواند گسترش بام‌های سبز را ترغیب کند.

۳-۴. تهویه طبیعی و استفاده از بادهای غالب

استفاده از تهویه طبیعی در طراحی معماری از مؤثرترین روش‌ها برای دفع حرارت داخلی و خنک کردن فضاها بدون مصرف انرژی است. در شهرها نیز تهویه طبیعی به بهبود آب‌وهوای کوچه‌ها و خیابان‌ها کمک می‌کند. منظور از تهویه طبیعی، ورود و خروج هوا از طریق بازشوهای بنا و فضاهای باز به علت اختلاف فشار باد یا هدایت حرارتی است.

طراحان باید با شناسایی بادهای غالب منطقه، جهت‌گیری و پلان ساختمان را طوری تنظیم کنند که از آن بادهای خنک‌سازی بهره‌گیرند. به عنوان مثال، اگر در بعدازظهرهای تابستان نسیم خنکی از سمت دریا یا کوه به شهر می‌وزد، بناها و پنجره‌ها باید رو به آن جهت باز شوند تا این نسیم به داخل نفوذ، و گرمای انباشته شده را خارج کند. بادگیرهای سنتی نمونه بارز بهره‌گیری از باد غالب در معماری ایرانی هستند که حتی در هوای ساکن نیز با ایجاد اختلاف فشار، جریان هوا را برقرار می‌کردند [۲۱].

در طراحی معاصر، می‌توان از برج‌های تهویه مدرن الهام گرفته از بادگیر استفاده کرد که هوای گرم را به بالا مکیده، از سقف خارج می‌کنند و هوای خنک‌تر سطح زمین را به داخل می‌کشند. همچنین طراحی پلان باز و قرار دادن بازشوها در دو سمت بنا (تهویه عرضی) امکان جریان مستقیم هوا را فراهم می‌کند. حتی در ساختمان‌های بلندمرتبه نیز می‌توان با ایجاد فضای تهویه در مرکز (آتریوم یا شفت) جریان همرفت طبیعی را تقویت کرد که هوای گرم را بالا می‌برد و خارج می‌کند.

تهویه طبیعی مؤثر در یک بنا مستلزم در نظر گرفتن مسیر پیوسته هواست. مبلمان و پارتیشن‌ها نباید مانع جریان باد شوند. در اقلیم‌های گرم، شب‌ها که دمای بیرون کاهش می‌یابد، استفاده از تهویه شبانه بسیار مفید است: باز گذاشتن پنجره‌ها در طول شب تا نسیم شبانه هوای

گرم روز را از داخل، بیرون ببرد و فضای داخلی را قبل از روز بعد خنک کند. این عمل به استفاده کمتر از کولر در روز کمک می‌کند [۲۱]. در بافت شهری متراکم، ممکن است فقط با اتکال بر بادهای طبیعی، تمام فضاها تهویه نشوند. در چنین حالتی می‌توان تهویه طبیعی را با تهویه مکانیکی مکمل کرد (مثلاً استفاده از پنکه سقفی یا سیستم‌های دمنده) تا جریان هوا در نقاط رکود تقویت شود. به هر حال، فراهم کردن امکان تهویه طبیعی یک راهبرد کم‌هزینه و پایدار برای کاهش گرمای داخلی و پیرو آن، کاهش انتقال گرما به محیط شهری است. باد به عنوان یک منبع طبیعی، در صورت هدایت صحیح، هم دمای داخل بنا را مطبوع‌تر، و هم از تجمع هوا جلوگیری می‌کند.

شکل ۴. بام در یکی از ساختمان‌های تهران - کاهش جذب حرارت توسط بام [۳۴]



۵-۳. استفاده از مصالح خنک و عایق‌های حرارتی

انتخاب مصالح مناسب در پوسته خارجی ساختمان (بام و نما) تأثیر شایانی بر رفتار حرارتی آن دارد. مصالح خنک به موادی اطلاق می‌شود که ظرفیت حرارتی پایین یا درصد بازتاب نور بالایی دارند و در نتیجه تحت تابش خورشید، کمتر گرم می‌شوند. نمونه بارز آن رنگ‌های سرد یا پوشش‌های بازتابنده است که برای بام، دیوار و حتی پیاده‌روها قابل استفاده‌اند. این پوشش‌ها می‌توانند دمای سطح را چندین درجه کاهش دهند؛ همان‌طور که اشاره شد، در یک روز آفتابی ممکن است سطح یک پشت‌بام تیره تا ۵۰ درجه سلسیوس گرم‌تر از محیط شود، در حالی که بازتابش بیشتر می‌تواند این اختلاف را بسیار کاهش دهد [۳۵]؛ پژوهشی در تهران نشان می‌دهد که به‌ازای ۰.۴ افزایش ضریب بازتابش سطح بام ساختمان مسکونی در تهران، میانگین دمای ماهیانه سطح بام حداکثر در گرم‌ترین ماه، ۸ درجه سانتی‌گراد کاهش می‌یابد [۳۰]. علاوه بر رنگ، جنس مصالح نمایش مهم است. مصالحی که گرمای ویژه بالا و ضریب انتقال حرارت کمی دارند (مانند چوب، بتن سبک، آجر سفالی توخالی) در برابر تغییرات سریع دما عایق‌تر عمل می‌کنند. در مقابل، فلزات بدون پوشش یا شیشه شفاف (بدون سایه‌بان) حرارت زیادی جذب و منتقل می‌کنند که در اقلیم گرم نامطلوب است. از این‌رو، در طراحی نماهای مدرن در مناطق گرم بهتر است از شیشه‌های کم‌گسیل یا بازتابنده یو.وی استفاده شود و بخشی از نماها با متریال‌های عایق‌تر پوشانده شود.

1. Low-E

2. UV

شکل ۵. عایق‌بندی مناسب بام‌ها از نفوذ گرمای خورشید به داخل ساختمان جلوگیری می‌کند که به کاهش نیاز به سیستم‌های خنک‌کننده مانند کولر و تهویه منجر می‌شود [۳۶]



عایق‌های حرارتی (نظیر پلی‌یورتان، پشم سنگ، پلی‌استایرن) در دیوارها و سقف‌ها نقش کلیدی در کاهش بار حرارتی دارند. یک دیوار یا سقف عایق کاری شده در تابستان جلوی ورود حرارت به فضای داخلی را می‌گیرد و نتیجه آن کاهش نیاز به کولر و همچنین جلوگیری از گرم شدن هوای شهری توسط سیستم‌های تهویه مطبوع است. استانداردهای نوین ساختمان‌سازی تأکید می‌کنند که حتی در مناطق گرمسیری، عایق کردن سقف و دیوار خارجی سرمایه‌گذاری مقرون به صرفه‌ای است؛ چون هزینه‌های انرژی سرمایشی را به شدت کاهش می‌دهد [۲۲]. رویکرد جدید دیگر در مصالح ساختمانی، استفاده از مواد تغییر فاز دهنده^۱ در جداره‌هاست. این مواد می‌توانند در طول روز با جذب گرما ذوب شوند و گرما را در خود نگاه دارند و در شب با آزاد کردن آن مجدداً جامد شوند. به این ترتیب، به عنوان بافر حرارتی عمل می‌کنند و اوج دمای داخل را کاهش می‌دهند [۳۷]. همچنین فناوری‌های شیشه‌های هوشمند که میزان شفافیتشان با تابش تغییر می‌کند یا رنگ‌های ترموکرومیک که در دماهای بالا بازتابنده‌تر می‌شوند، از دیگر نوآوری‌های مصالحی‌اند که به خنک‌سازی ساختمان کمک می‌کنند [۳۸]. به‌طور خلاصه، در طراحی معماری اقلیمی، استفاده آگاهانه از مصالح و پوشش‌های مناسب می‌تواند همانند یک سیستم سرمایشی غیرفعال عمل کند. ترکیب پوسته‌های بازتابنده، جداره‌های عایق و ظرفیت حرارتی کافی در بنا، راهبردی کارآمد برای کاهش تبادل حرارت ناخواسته با محیط بیرون است. این امر در مقیاس شهر نیز اثر تجمعی دارد و حرارت کمتری در بافت شهری تولید و ذخیره می‌شود.

۴. راهکارهای برنامه‌ریزی و طراحی شهری

۴-۱. فرم و ساختار اقلیمی بافت شهر

فرم کلی شهر و ساختار بافت آن تأثیر قابل توجهی بر اقلیم محلی دارد. فرم اقلیمی شهر به معنای طراحی الگوی استقرار ساختمان‌ها، خیابان‌ها و فضاهای باز به گونه‌ای است که با شرایط آب و هوایی سازگار باشد. در یک بافت شهری همسان با اقلیم گرم، اهداف اصلی عبارت‌اند از: کاهش جذب حرارت خورشید توسط سطوح شهری، افزایش امکان دفع حرارت در شب، و بهبود جریان هوا در میان بناها [۲۷].

1. PCM

یکی از مفاهیم کلیدی، نسبت ارتفاع به عرض خیابان‌ها یا ضریب منظر آسمان است. در مناطق بسیار گرم و آفتابی، خیابان‌های باریک‌تر و ساختمان‌های بلندتر (تأحیدی) مفیدند؛ زیرا سایه‌اندازی متقابل ساختمان‌ها بخش زیادی از طول روز خیابان را از آفتاب محفوظ می‌دارد (شبیه به کوچه‌های سنتی در یزد). این همان مفهوم سبابت در شهرسازی سنتی است که با ایجاد گذرگاه‌های سرپوشیده یا نیمه‌مسقف، فرم بافت را اقلیمی می‌کند. البته نباید فراموش کرد که خیابان بیش از حد باریک می‌تواند جلوی تهویه را بگیرد؛ لذا تعادل میان سایه و تهویه لازم است. تراکم و ارتفاع ساختمان‌ها نیز باید با اقلیم تنظیم شود. در اقلیم گرم و خشک، بافت‌های متراکم و درون‌گرا (حیاطدار) سنتی بودند که تبادل حرارت با بیرون را کم می‌کردند. اما در اقلیم گرم و مرطوب که باد و تهویه اهمیت بیشتری دارد، بافت بازتر و پراکنده‌تر که باد بتواند در آن حرکت کند، مناسب‌تر است. بنابراین برنامه‌ریزی شهری باید اقلیم هر منطقه را تحلیل و متناسب با آن ضوابط تراکم و الگوی بلوک‌بندی را تعیین کند. به عنوان نمونه، شاید برای یک شهر ساحلی جنوب ایران مناسب باشد که حداکثر ارتفاع ساختمان‌ها در نزدیکی ساحل محدود شود تا باد در کل شهر نفوذ کند؛ در حالی که در شهر کویری، افزایش ارتفاع در بخش مرکزی برای ایجاد سایه و تمرکز کاربری‌ها قابل قبول باشد [۳۹].

شکل ۶. بافت متراکم شهر یزد همراه با فضاهای سایه‌دار فراوان مناسب برای اقلیم گرم و خشک [۴۰]



فرم اقلیمی همچنین شامل استفاده از سطوح آب (مثل دریاچه‌های مصنوعی شهری یا آب‌نماهای گسترده) و فضاهای سبز وسیع در الگوی شهر است تا جزایر حرارتی معکوس (جزایر خنک) ایجاد کند [۳۱]. طرح‌ریزی چنین عناصری باید از مقیاس کلان (مثلاً حلقه‌های سبز اطراف شهر، پارک‌های بزرگ شهری) صورت گیرد. در بسیاری از شهرهای جهان، ساختار اقلیمی بافت به صورت «شهر باغ» یا شبکه‌ای از راهروهای سبز و آبی طراحی شده است که مثل ریه‌ها و شریان‌های تنفسی عمل می‌کنند.

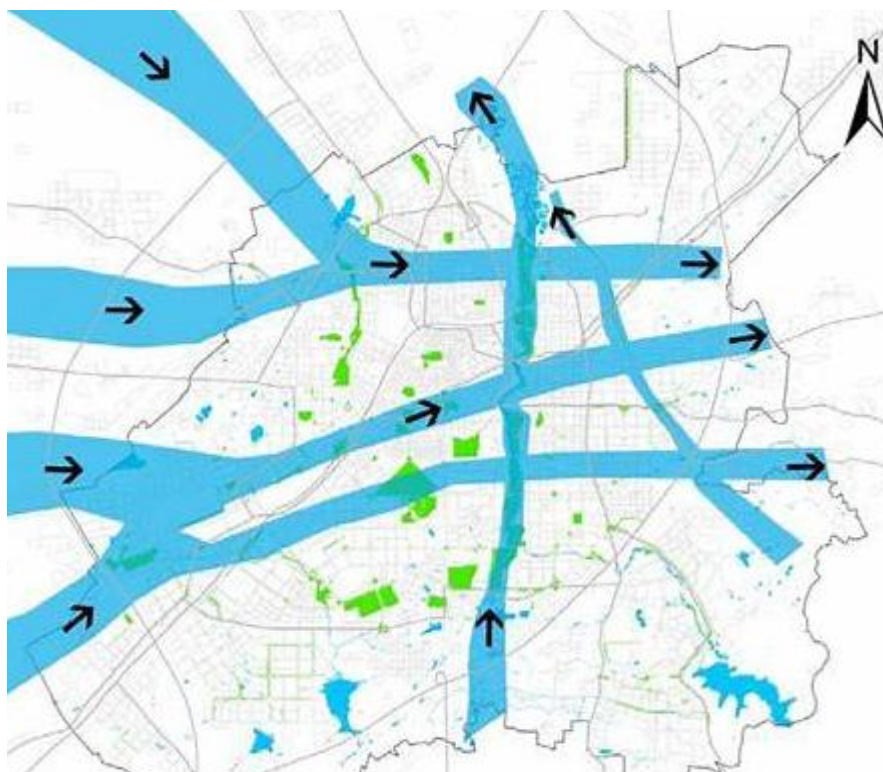
در مجموع، یک شهر با فرم مناسب اقلیمی دارای ویژگی‌هایی چون: بافت و معابر جهت‌گذاری شده براساس اقلیم، نسبت‌های ابعادی کنترل شده برای جلوگیری از ماندگاری گرما، توزیع بهینه فضاهای باز و سبز در بافت، و هماهنگی تراکم ساختمانی با ظرفیت تهویه طبیعی است.

۲-۴. جهت‌گیری شبکه معابر برای تهویه

شبکه خیابان‌ها و معابر شهر مانند کانال‌هایی برای جریان هوا عمل می‌کنند. اگر این کانال‌ها درست جهت‌دهی شوند، می‌توانند بادهای خنک‌کننده را به اعماق بافت شهری هدایت و به تهویه هوای گرم کمک کنند. منظور از باد خنک‌کننده می‌تواند نسیم دریا در شهر ساحلی، باد کوهستان در حاشیه کوه، یا به‌طور کلی باد غالب منطقه در ساعات معتدل روز باشد.

بنابراین در طراحی یا بهسازی شبکه معابر، باید اطلاعات بادهای غالب در فصول گرم مدنظر قرار گیرد. مثلاً اگر باد عصرگاهی از شمال غربی می‌وزد، ایجاد معابری با امتداد شمال غربی - جنوب شرقی در بافت می‌تواند مانند قیف، این باد را به داخل شهر بکشد. شهرهای سنتی کویری ایران عمدتاً دارای گذرهای همسو با جهت باد مطلوب (بادهای موسمی تابستان) بوده‌اند تا تهویه طبیعی میسر شود. در بافت‌های جدید نیز می‌توان محورهای تنفس شهری تعریف کرد؛ خیابان‌ها یا فضای باز طولی که از یک سمت شهر تا سمت دیگر کشیده می‌شوند و کوران هوا را فراهم می‌کنند.

شکل ۷. جهت‌گیری پیشنهادی معابر شهر چینگ‌چون چین برای تهویه شهری [۴۱]



در بسیاری از کلان‌شهرها امروزه اصطلاح دالان باد به کار می‌رود. دالان باد^۱ مسیری طراحی شده (یا گاه طبیعی) در بافت شهری است که عاری از موانع بلندمرتبه بوده و مسیر جریان آزاد هواست. شهر اشتوتگارت آلمان نمونه شناخته‌شده‌ای دارد که طی دهه‌ها، حریم دالان‌های

1. Wind Corridor



هوای آن حفظ شده است تا هوای تازه از سمت تپه‌های اطراف به مرکز شهر برسد. در شهرهای ایران نیز شناسایی چنین دالان‌هایی (مثلاً مسیر رودخانه خشک یا مسیل‌ها، خیابان‌های وسیع شرقی-غربی یا تهویه شبانه) و ممانعت از انسداد آنها با ساخت‌وساز، یک راهکار کم‌هزینه برای بهبود تهویه شهری است [۴۲].

نکته دیگر، پیوند شبکه معابر با فضاهای باز است. اگر خیابانی به یک میدان یا پارک ختم شود، اثر مکشی ایجاد می‌کند (هوای گرم بالا می‌رود و هوای خنک اطراف را می‌کشد). لذا طراحان باید معابر را طوری جهت‌دهی و مکان‌یابی کنند که این پدیده تقویت شود. در عمل، ممکن است جهت‌گیری ایدئال همه خیابان‌ها مطابق باد غالب امکان‌پذیر نباشد (به‌خاطر بافت شطرنجی یا محدودیت‌های مالکیت)؛ در این حالت می‌توان گشودگی‌های موضعی مانند میدانچه‌ها یا فواصل بین بناها ایجاد کرد که باد را از یک محور به محور دیگر متصل کنند. به‌طور خلاصه، تهویه هوای شهر وابسته به وجود مسیرهای پیوسته و باز متناسب با جهت باد است. در طراحی جدید شهر یا نوسازی بافت، شهرداری‌ها باید راهنمای طراحی اقلیمی معابر داشته باشند تا مهندسان ترافیک و شهرسازی ضمن تأمین کارکرد حمل‌ونقلی خیابان، نقش اقلیمی آن را نیز در نظر بگیرند. این رویکرد، شهر را در برابر پدیده جزیره حرارتی مقاوم‌تر خواهد کرد.

۳-۴. نقش فضاهای باز و میادین در تهویه

فضاهای باز شهری نظیر پارک‌ها، میدان‌ها و پلازاها^۱ به‌عنوان نقاط تنفس و گره‌های تهویه در بافت فشرده عمل می‌کنند. این فضاها چند کارکرد مهم در بهبود آسایش حرارتی دارند:

■ نخست آنکه سطح ساخته نشده بیشتری در این نقاط وجود دارد (خاک، چمن، آب‌نما و...؛ لذا در روزهای تابستان بخشی از انرژی خورشید صرف تبخیر آب خاک و تعرق گیاهان می‌شود و هوای بالای این سطوح نسبتاً خنک‌تر از محیط پیرامون (مصالخ سخت) خواهد بود. به‌عبارتی این فضاها نقش «جزایر خنک» را ایفا می‌کنند.

■ دوم، فضای باز گسترده امکان صعود هوای گرم را در خود فراهم می‌کند (هوای گرم به‌صورت ستون حرارتی از پارک بالا می‌رود) و به‌این‌ترتیب از اطراف هوا را به سمت خود می‌کشد. اگر پارکی به‌خوبی با شبکه معابر مرتبط باشد، این پدیده به مکش هوای تازه از خیابان‌ها به داخل بافت منجر می‌شود.

■ سوم، میادین و پارک‌ها می‌توانند محل تغییر مسیر باد باشند. وقتی باد در یک مسیر طولانی خیابان حرکت می‌کند، وجود یک میدان باز در انتها یا میانه مسیر می‌تواند همانند پخش‌کننده عمل کرده، باد را به شاخه‌های دیگر هدایت کند.

از این‌رو، مکان‌یابی فضاهای باز باید استراتژیک باشد؛ مثلاً هر چند صد متر در بافت متر اکم، یک میدان کوچک یا بوستان محلی تعبیه شود که هم فضای استراحت مردم باشد و هم کوران هوا را تقویت کند. الگویی که برخی پژوهشگران پیشنهاد می‌کنند، ایجاد شبکه‌ای از فضاهای باز در فاصله معین است؛ به‌طوری‌که هیچ نقطه‌ای از شهر بیش از چند صد متر از یک فضای باز فاصله نداشته باشد. این ساختار شبکه‌ای سبب می‌شود هوای محبوس مانده در لایه‌لای ساختمان‌ها دیر یا زود به یک حفره باز برسد و تخلیه شود.

آب‌نماها و فواره‌ها در میادین، علاوه بر زیبایی، با افزایش رطوبت و سرمایش تبخیری، هوای میدان را خنک‌تر می‌کنند (البته تأثیر آنها بیشتر موضعی است). در شهرهای ایران از گذشته وجود حوض آب در وسط باغ‌ها و میدان‌ها مرسوم بوده (مثلاً حوض وسط میدان‌های قدیمی) که همین موضوع کارکرد تعدیل حرارت را داشته است. امروزه نیز طراحی میدان‌های شهری در اقلیم‌های گرم بهتر است همراه با عنصر آب (ترجیحاً در گردش) باشد تا حداکثر بهره اقلیمی حاصل شود.

برای نمونه، شهر مدین در کلمبیا با ایجاد کریدورهای سبز و پارک‌های کوچک متعدد توانست میانگین دمای هوا را حدود ۲ درجه سلسیوس

۱. فضای شهری و عرصه عمومی برای حضور، مکث و اجتماع انسان در شهرها که معمولاً عاری از تردد خودرو است.

کاهش دهد. هر چند اقلیم آن با ایران متفاوت است، اصل موضوع یعنی پراکندگی فضاهای باز خنک‌کننده در بافت شهری، قابل تعمیم است. پس برای کاهش گرمای شهری، سرمایه‌گذاری روی پارک‌ها و میدان‌های متعدد کوچک و بزرگ در نقاط استراتژیک شهر یک راهکار ضروری است [۴۳].

۴-۴. چیدمان کاربری زمین و تراکم

چیدمان مناسب کاربری اراضی در شهر می‌تواند به کاهش پدیده جزیره حرارتی کمک کند. اصولاً کاربری‌های گوناگون (مسکونی، تجاری، صنعتی، اداری) الگوهای مصرف انرژی و پوشش سطحی متفاوتی دارند که بر دمای محلی مؤثر است. برای مثال، مناطق صنعتی ممکن است گستره‌های وسیعی از سطوح بدون سایه و ماشین‌آلات گرم داشته باشند؛ یا مناطق تجاری پر تراکم با ساختمان‌های بلند، تهویه طبیعی کمتری دارند. از این رو، برنامه‌ریزی کاربری باید با رویکرد اقلیمی و به دنبال پراکندگی منابع تولید حرارت و توزیع فضاهای خنک‌کننده باشد. یکی از راهبردها، ترکیب کاربری‌ها به صورت کاربری مختلط است تا از ایجاد بخش‌های وسیع تک‌عملکردی (که ممکن است بسیار گرم شوند) پرهیز شود. مثلاً ترکیب فضاهای سبز و تفریحی در دل مناطق مسکونی و تجاری، یا ایجاد کریدورهای سبز عمومی در میان بافت‌های پرتراکم تجاری، باعث می‌شود در همان محله تعادل حرارتی برقرار گردد. همچنین پهنه‌بندی می‌تواند طوری باشد که ساختمان‌های بلند در یک امتداد خطی نباشند (که مثل دیوار مانع باد شوند)، بلکه شطرنجی و پخش باشند تا باد میانشان حرکت کند.

تراکم ساختمانی را باید بر اساس ظرفیت زیست‌محیطی هر محدوده تعیین کرد. در گذشته، تراکم‌ها بیشتر بر مبنای زیرساخت و جمعیت‌پذیری تعیین می‌شد، اما اکنون شاخص ظرفیت اقلیمی نیز مطرح است. یعنی این سؤال که یک محله تا چه حد تراکم را می‌تواند تحمل کند، بدون آنکه تهویه و دمای آن به سطوح بحرانی برسد. این موضوع به‌ویژه در مناطق مرکزی شهرهای بزرگ ایران که با برج‌سازی‌های پرتراکم روبه‌رو هستند اهمیت دارد. باید توجه داشت که تراکم بالای ساختمانی اگر با تمهیدات اقلیمی جبران نشود، جزیره حرارتی قوی ایجاد خواهد کرد.

یک راهکار عملی، تنظیم ضوابط سطح اشغال و فضای باز در هر قطعه زمین بر پایه اقلیم است. به عنوان مثال، الزام وجود حیاط یا فضای باز (درصد مشخصی از مساحت زمین) برای قطعات بزرگ‌تر از حدی معین، می‌تواند از ساخت یکپارچه جرم ساختمانی و عدم وجود فضای تنفس جلوگیری کند. در برخی شهرها، مشوق‌هایی برای سازندگان در نظر گرفته می‌شود که اگر قسمتی از زمینشان را به فضای سبز عمومی یا پلازا قابل دسترس عموم اختصاص دهند، اجازه تراکم بیشتر بگیرند. این رویکرد برد-برد هم نیاز توسعه را تأمین می‌کند و هم فضای باز شهری اضافه می‌شود.

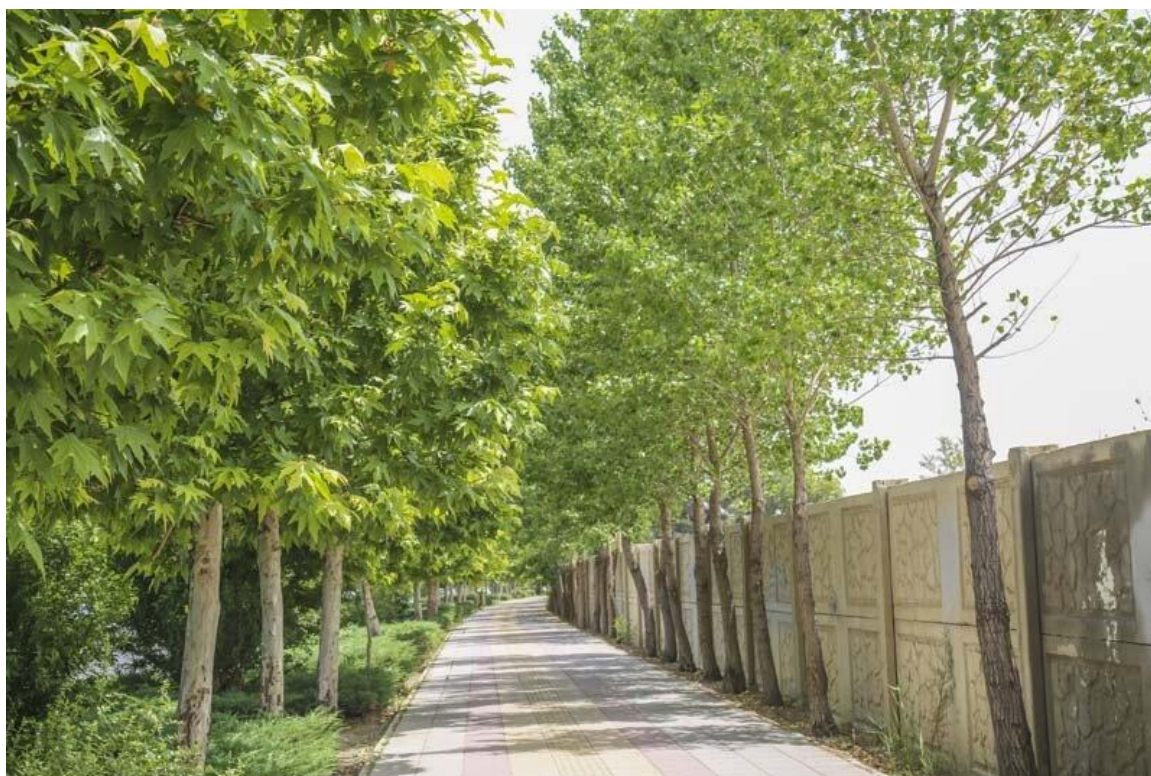
در نهایت، باید گفت الگوی توسعه شهری نمی‌تواند از اقلیم جدا باشد. شهرهای گسترده افقی گرچه ممکن است تهویه بهتری داشته باشند، باعث اتکا به خودرو و افزایش انتشار حرارت می‌شوند؛ از سوی دیگر شهرهای عمودی متراکم اگر با اقلیم‌سازی همراه نباشند، گرمای شدید موضعی تولید می‌کنند. لذا سیاست مطلوب، توسعه متراکم اما اقلیم‌محور است: یعنی همراه هر افزایش تراکم، تمهیدات فضای باز، سطح سبز و الزامات طراحی اقلیمی، تشدید گردد تا توازن برقرار شود.

۴-۵. ایجاد سایه در سطح شهر با درخت‌کاری و سازه‌های شهری

سایه در مقیاس کل شهر به اندازه سایه در معماری، حائز اهمیت است. درخت‌کاری شهری مؤثرترین ابزار ایجاد سایه گسترده و کاهش دمای معابر است. یک درخت بالغ می‌تواند سطح خیابان یا پیاده‌رو زیر خود را در اوج تابستان تا ده‌ها درجه خنک‌تر نگاه دارد. طبق مطالعات، سطوح آسفالتی در سایه درخت تا ۲۵ درجه سانتی‌گراد خنک‌تر از سطوح مجاور زیر آفتاب بوده‌اند [۴۵]. این اختلاف دما نه فقط آسایش عابران پیاده

را افزایش می‌دهد، بلکه میزان گرمای بازتاب شده به هوا را هم کم می‌کند. بنابراین کاشت ردیفی درختان در حاشیه خیابان‌ها، در بوستان‌ها و اطراف میادین یک راهبرد بی‌بدیل در خنک‌سازی شهری است [۴۶]. علاوه بر درخت، سازه‌های شهری سایه‌انداز نیز می‌توانند مکمل باشند؛ مانند سایبان‌های ایستگاه‌های اتوبوس، سایه‌بان‌های عابر پیاده در پیاده‌روهای عریض، و حتی سازه‌های هنری یا پرگولاها در میدان‌ها که سایه می‌اندازند. استفاده از فناوری‌های نو مانند سایه‌بان‌های خورشیدی (صفحات فتوولتائیک به صورت سقف سبک روی پارکینگ‌ها یا معابر پیاده) به صورت دوگانه مفیدند: هم برق تولید می‌کنند و هم سایه فراهم می‌آورند. نمونه‌هایی از این قبیل در برخی شهرهای جهان نصب شده است.

شکل ۸. درخت‌کاری کنار پیاده‌رو برای ایجاد سایه در فضای شهری [۴۷]



در طراحی مبلمان شهری نیز می‌توان المان‌های سایه‌انداز را گنجانده؛ مثلاً چترهای بزرگ شهری در پلازاها، یا طاق‌هایی با پوشش گیاه رونده روی مسیرهای پیاده. شهرهای سنتی ایران با عناصری چون چتر بازاری (پارچه‌های کشیده شده روی راسته بازارها) یا همان سباط در محلات مسکونی، پیش‌گام این ایده بوده‌اند که معابر نیز نیاز به سرپناه در برابر آفتاب دارند [۲۷]. احیای این مفاهیم به شکل مدرن (با سازه‌های سبک، بادوام و زیبا) می‌تواند بخش زیادی از معابر پررفت و آمد را در تابستان قابل تردد کند و گرمای محیط را کاهش دهد. از منظر برنامه‌ریزی، شهرداری‌ها می‌توانند نقشه سایه شهری تهیه کنند؛ یعنی تحلیل کنند در هر ساعت روز کدام بخش از معابر بدون سایه است و اولویت درخت‌کاری یا نصب سایبان در کجاست. به عنوان مثال، اگر پیاده‌روی غربی یک خیابان در عصر تابستان آفتابگیر است، آنجا اولویت کاشت درختان چترگسترده باشد یا اگر یک پلازای تجاری در ظهر کاملاً آفتاب‌زده است، نصب سایه‌بان‌های چتری بزرگ در آن در دستور کار قرار گیرد.

فراموش نشود که هر مقدار کاهش دما در سطح شهر، اثر تصاعدی در بهبود شرایط دارد؛ چراکه تجهیزات سرمایشی ساختمان‌ها نیز کمتر کار

می‌کنند و خود حرارت کمتری به خیابان پس می‌دهند. ایجاد سایه گسترده شهری از طریق درختان و سازه‌ها، یکی از ساده‌ترین و ارزان‌ترین راه‌ها برای مبارزه با گرمای شهری است که علاوه بر فواید اقلیمی، زیبایی بصری و کیفیت فضای شهری را نیز ارتقا می‌دهد.

۴-۶. رنگ خودروهای شهری

رنگ بدنه خودروها، به‌ویژه در شهرهای گرم و آفتاب‌خیز، می‌تواند یکی از عوامل خُرد اما گسترده در افزایش دمای سطوح شهری و تشدید پدیده جزیره حرارتی باشد. خودروهای تیره، به‌ویژه خودروهای مشکی، به دلیل ضریب بازتاب خورشیدی پایین، بخش بیشتری از تابش خورشید را جذب و آن را به گرما تبدیل می‌کنند؛ در حالی که خودروهای روشن‌تر، مانند سفید و نقره‌ای، بخش بیشتری از تابش را بازتاب می‌دهند و دمای سطح پایین‌تری دارند. پژوهش آزمایشگاه ملی لارنس برکلی آمریکا درباره «خودروهای خنک» نشان می‌دهد که افزایش ضریب بازتاب خورشیدی^۱ بدنه خودرو به میزان حدود نیم درجه می‌تواند دمای هوای کابین خودرو را در شرایط توقف زیر تابش مستقیم خورشید حدود ۵ تا ۶ درجه سانتی‌گراد کاهش دهد. همچنین در مقایسه دو خودروی مشابه، دمای سقف خودروی نقره‌ای با بازتابندگی بالا در اوج آزمایش تا حدود ۲۵ درجه سانتی‌گراد کمتر از سقف خودروی مشکی اندازه‌گیری شده است. این ارقام نشان می‌دهد که رنگ خودرو نه فقط بر آسایش سرنشینان و مصرف انرژی سرمایشی خودرو اثر دارد، بلکه در مقیاس انبوه ناوگان شهری می‌تواند بر تراز حرارتی فضاهای باز شهری نیز تأثیرگذار باشد.

در کلان‌شهرها، سطح قابل توجهی از معابر، پارکینگ‌های روباز و فضاهای عمومی توسط خودروهای متوقف یا در حال حرکت اشغال می‌شود. هنگامی که سهم خودروهای تیره‌رنگ بالا باشد، این سطوح متحرک و ثابت مانند اجسام جاذب حرارت عمل کرده، در ساعات تابش، گرمای بیشتری در محیط شهری ذخیره و سپس به هوای پیرامون بازتاب می‌کنند. این مسئله در کنار آسفالت تیره، نماهای کم‌بازتاب و کمبود پوشش گیاهی، می‌تواند به افزایش دمای موضعی، تشدید جزیره حرارتی شهری و افزایش نیاز به سرمایش در خودروها و ساختمان‌های اطراف منجر شود. براساس همان پژوهش، استفاده از رنگ‌های با بازتابندگی بالاتر، مانند سفید یا نقره‌ای، می‌تواند ظرفیت مورد نیاز سامانه سرمایش خودرو را حدود ۱۳ درصد، و مصرف سوخت و انتشار دی‌اکسید کربن را نیز کاهش دهد. از این منظر، ترویج رنگ‌های روشن و بازتابنده در ناوگان حمل‌ونقل شهری، تاکسی‌ها، خودروهای عمومی، اتوبوس‌ها و ناوگان خدماتی می‌تواند به عنوان یکی از سیاست‌های مکمل و کم‌هزینه در برنامه‌های کاهش گرمای شهری و مدیریت جزایر حرارتی مورد توجه قرار گیرد؛ به‌ویژه در شهرهای گرم و خشک و مرطوب ایران که تابش شدید خورشید و دمای بالای تابستان، فشار مضاعفی بر آسایش حرارتی و مصرف انرژی وارد می‌کند [۴۸].

۵. فضای سبز و راهکارهای مبتنی بر طبیعت

۵-۱. درخت‌کاری شهری و کمربند سبز اطراف شهر

درختان شهری را می‌توان دستگاه‌های طبیعی تهویه مطبوع دانست. آنها با مکانیسم‌های مختلفی دما را کاهش می‌دهند: ایجاد سایه، تعرق و تبخیر آب از برگ‌ها، و کاهش سرعت بادهای گرم و گردوغبار از آن موارد به شمار می‌آیند. تحقیقات نشان می‌دهد کاشت علمی و هدفمند درختان می‌تواند تا ۴۰ درصد از طریق سایه‌اندازی مستقیم و تا ۳۰ درصد از طریق افزایش رطوبت هوا، اثر جزیره حرارتی را کاهش دهد. البته این ارقام به شرایط شهر و گونه‌های درخت وابسته است، اما اصل پیام واضح است: هرچه پوشش درختی بیشتر، شهر خنک‌تر [۴۹]. بنابراین یکی از استراتژی‌های کلان، افزایش سرانه فضای سبز و تعداد درختان در شهر است. این امر هم در مقیاس درون‌شهری و هم به صورت

۱. شاخصی که توانایی سطوح برای بازتاب انرژی خورشیدی به جو را دلالت می‌نماید (SRI): Solar Reflectance Index



کمربند سبز پیرامونی مطرح می‌شود. بسیاری از شهرهای بزرگ دنیا کمربند سبزی به دور خود دارند تا به عنوان حائل اقلیمی عمل کند؛ این کمربند سبز در روز مانند حلقه خنکی است که اطراف شهر را فرا می‌گیرد و از گسترش حرارت شهری به بیرون و بالعکس تا حدی جلوگیری می‌کند. به علاوه، درختان اطراف شهر می‌توانند بادهای ورودی به شهر را تعدیل و تا حدی خنک‌تر کنند (با عبور باد از لابه‌لای درختان و تبادل گرما با آنها).

داخل شهر، برنامه‌هایی مانند یک درخت برای هر خانه یا کاشت درختان در معابر اصلی، نقش بسزایی دارند. درختان سایه‌دار بزرگ در تابستان سایه ممتدی روی خیابان‌ها می‌اندازند و پیاده‌روها را قابل استفاده‌تر می‌کنند. افزون بر این، آنها آلودگی هوا را جذب می‌کنند و رطوبت محیط را بالا می‌برند که هر دو به کاهش استرس گرمایی شهروندان کمک می‌کند.

یکی از نکات مهم، انتخاب گونه‌های درختی متناسب با اقلیم است. برای شهرهای گرم و خشک ایران، درختان مقاوم به کم‌آبی، مانند توت، زیتون تلخ، کاج و افاقیا، مفید بوده‌اند؛ ضمن اینکه درختان برگ‌ریز مزیتی دارند که در تابستان سایه می‌دهند و در زمستان برگ می‌ریزند و آفتاب را عبور می‌دهند. در شهرهای گرم و مرطوب، گونه‌هایی مانند نخل، انجیر معابد، بانیان و اکالیپتوس که با رطوبت سازگارند کاشته می‌شوند. تنوع‌بخشی به گونه‌ها نیز اهمیت دارد تا اکوسیستم شهری پایدارتر باشد و آفات به یک گونه خاص صدمه نزنند.

علاوه بر کاشت، نگهداری درختان شهری نیز کلیدی است. آبیاری منظم (به ویژه در سال‌های اولیه)، هرس اصولی و جلوگیری از آسیب دیدن ریشه‌ها در پروژه‌های عمرانی باعث تداوم نقش خنک‌کنندگی آنها می‌شود. برخی شهرها در فصول گرم اقدام به آب‌پاشی برگ درختان می‌کنند تا با افزایش رطوبت برگ، توان تبخیری آن بالاتر رود.

در کنار درختان، بوته‌زارها و فضای سبز طبیعی پیرامون شهر نیز نباید نادیده گرفته شود. حفظ باغ‌ها و مزارع حاشیه شهرها به عنوان مناطق خنک‌کننده و موانع توسعه کالبدی، راهبردی برای ممانعت از تشدید جزیره حرارتی است. به همین دلیل، سیاست کمربند سبز که در تهران و برخی کلان‌شهرهای دیگر دنبال شده، علاوه بر هدف زیست‌محیطی، از منظر کنترل گرما نیز حائز اهمیت است.

در پایان این بخش، ذکر این نکته بجاست که درخت کاری نیازمند مشارکت شهروندان است. طرح‌هایی مانند جشنواره روز درخت کاری، توزیع نهال رایگان، یا نام‌گذاری درختان به نام افراد می‌تواند مردم را در نگهداری و تکثیر درختان شهر سهیم کند. شهر خنک‌تر، دستاورد همیاری مدیریت شهری و شهروندان در گسترش پوشش سبز خواهد بود.

۲-۵. پارک‌ها و فضاهای سبز عمومی

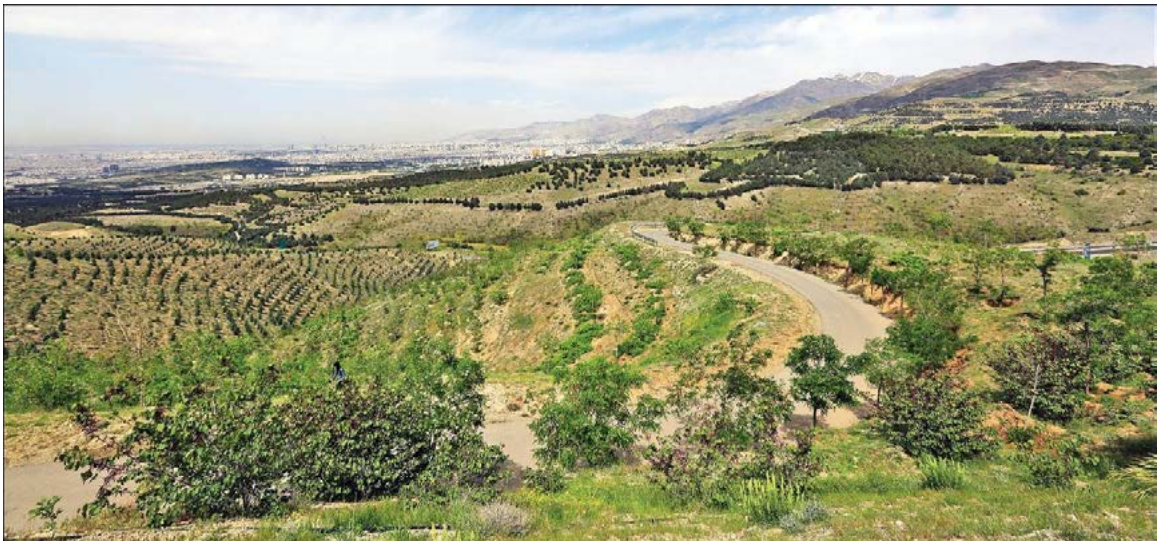
پارک‌ها ریه‌های تنفسی شهر و مخازن خنکای شهری به شمار می‌روند. حضور یک پارک بزرگ درون یک بافت متراکم می‌تواند اثر جزیره حرارتی آن محدوده را تضعیف کند. زیرا پوشش گیاهی انبوه در پارک، تابش خورشید را به جای سطوح سخت به برگ‌ها می‌رساند و انرژی خورشیدی صرف تبخیر آب گیاهان و خاک می‌شود نه گرم کردن هوا [۳۱]. علاوه بر آن، پارک‌ها به دلیل نبود موانع فیزیکی بلند، در شب امکان خنک شدن تابشی (تشعشع گرمای ذخیره شده به آسمان) را دارند و هوای بالای خود را سریع‌تر سرد می‌کنند. این هوای خنک شده شبانه می‌تواند در نزدیکی سطح زمین حرکت و به مناطق مجاور نفوذ کند.

بر همین مبنا، افزایش تعداد و مساحت پارک‌های شهری یک راهبرد مهم سازگار با طبیعت برای کنترل گرماست. باید دقت کرد که توزیع پارک‌ها در سطح شهر عادلانه باشد تا همه مناطق از مزیت خنک‌کنندگی آنها بهره‌مند شوند. گاه ممکن است یک پارک بسیار بزرگ در گوشه‌ای از شهر باشد، ولی سایر نواحی عمدتاً از آسفالت و بتن پوشیده شوند؛ در این صورت اثر کلی پارک بر دمای شهر محدودتر می‌شود. در حالی که چندین پارک میانی کوچک و متوسط پراکنده در سطح شهر بهتر می‌تواند دمای عمومی را کاهش دهد.

طراحی اقلیمی پارک‌ها نیز اهمیت دارد. کاشت درختان بلند حاشیه پارک برای سایه‌اندازی معابر اطراف، جانمایی آبگیرها یا دریاچه‌های

مصنوعی داخل پارک برای تقویت رطوبت و نسیم محلی، استفاده از پوشش گیاهی متنوع با دوره‌های برگ‌دهی متفاوت (تا همیشه بخشی سبز باشد)، و ایجاد اختلاف سطح زمین (تپه‌های کوچک و گودال‌ها) برای کمک به گردش هوا از جمله این طراحی‌هاست. در شهرهای خیلی گرم، برخی پارک‌ها به سیستم مه‌پاش یا فواره‌های ریزدانه مجهز می‌شوند تا خنکی بیشتری احساس شود.

شکل ۹. کمربند سبز در محدوده حریم تهران [۵۰]



از منظر اجتماعی، پارک‌ها مکان تجمع و فعالیت شهروندان در عصرهای تابستان هستند. خنک‌تر بودن پارک نه فقط به سلامتی و آسایش مردم کمک می‌کند، بلکه پناهگاهی در برابر موج‌های گرم‌ماست؛ به‌ویژه برای افرادی که ممکن است تهویه کافی در منزل نداشته باشند. در برخی کشورها برای شرایط اضطراری گرما، برنامه «ساعت پارک» دارند که پارک‌ها در شب‌های بسیار گرم باز می‌مانند تا مردم در هوای آزاد خنک‌تر استراحت کنند.

فضاهای سبز خطی مانند پارک‌های حاشیه رودخانه یا کمربندهای سبز طولی نیز حائز اهمیت‌اند. این فضاها طولانی می‌توانند همچون کانال‌های خنک‌کننده، هوای مطبوع را جابه‌جا کنند. برای مثال، بوستان‌های حاشیه رود در شهرهایی چون اصفهان (کنار زاینده‌رود) یا کرج (پارک چمران کنار رودخانه) نواحی اطراف خود را معتدل‌تر کرده‌اند؛ در صورتی که یک رودخانه از داخل شهر می‌گذرد، باید بیشترین فضای سبز ممکن به اطراف آن اختصاص یابد تا مسیر آب به مسیر سرما تبدیل شود.

در مجموع، سرمایه‌گذاری روی پارک‌ها و فضاهای سبز عمومی چندمنظوره است: کاهش حرارت، بهبود کیفیت هوا، تفرج و سلامتی شهروندان. از این رو افزایش سرانه فضای سبز - ضمن توجه به کیفیت نگهداری آن - یک شاخص کلیدی در برنامه‌های توسعه شهری برای مقابله با آثار گرمایش جهانی و جزیره حرارتی محسوب می‌شود.

۳-۵. بام سبز و دیوار سبز

بام‌های سبز پیش‌تر در بخش ۳-۳ از منظر معماری معرفی شدند. در اینجا بُعد شهری و مزایای تجمعی آنها بررسی می‌شود. اگر درصد قابل توجهی از ساختمان‌های یک شهر دارای بام سبز باشند، اثر جمعی آنها بر دمای هوا و محیط شهری مشهود خواهد بود. بام‌های سبز شهری با کاهش جذب حرارت توسط سقف‌ها، هم گرمای کمتری به هوای بالای شهر انتقال می‌دهند و هم مانند مینی‌پارک‌هایی پراکنده در ارتفاع عمل می‌کنند. پژوهشی در شهرهای بزرگ نشان داده است با گسترش بام‌های سبز، می‌توان دمای هوای منطقه مرکز شهر را در فصل گرم



به‌طور میانگین ۱-۲ درجه سانتی‌گراد کاهش داد، به‌خصوص در ساعات بعدازظهر که تابش شدید است [۵۱].

در پژوهشی در شهر تهران مشخص شد که دمای نزدیک به بام سبز نسبت به بام با مصالح متداول بیش از ۶ درجه سلسیوس کمتر است که نوعی پژوهش در مقیاس محلی محسوب می‌شود؛ البته جای پژوهش‌های وسیع‌تر در مقیاس شهری همچنان خالی است [۴۴]. دیوارهای سبز، دیواره‌ها یا نماهای پوشیده از گیاه‌اند؛ این فناوری نسبتاً جدیدتر است و شامل کاشت گیاهان بالارونده یا نصب مدول‌های گیاهی روی بدنه ساختمان‌هاست. دیوار سبز دو سود اقلیمی دارد: ۱. سطح نمای ساختمان را خنک نگاه می‌دارد (مانند عایق حرارتی و سایه‌بان عمل می‌کند)؛ ۲. اگر در ابعاد بزرگ اجرا شود، می‌تواند دمای هوای کوچه یا خیابان مجاور را نیز از طریق تبخیر آب برگ‌ها پایین بیاورد. در خیابان‌های تنگ، که امکان درخت‌کاری کم است، دیوارهای سبز جایگزین مناسبی برای آوردن گیاهان به آن فضا هستند.

تصور کنید در یک خیابان، دو طرف ساختمان‌ها با گیاه پوشانده شده باشند؛ در چنین وضعیتی کل آن معبر به یک تونل سبز خنک بدل می‌شود. گرچه نگهداری دیوار سبز (آبیاری، هرس و تغذیه) چالش‌های خودش را دارد، برخی شهرها با نصب سامانه‌های هوشمند آبیاری قطره‌ای این مشکل را حل کرده‌اند. در تهران و مشهد هم در سال‌های اخیر نمونه‌های کوچک دیوار سبز اجرا شده است (مثلاً روی دیواره‌های پارکینگ طبقاتی یا بزرگ‌راه‌ها) که نتایج امیدبخشی داشته‌اند.

در مقیاس محله، بام‌ها و دیوارهای سبز می‌توانند به ایجاد یک شبکه سبز سه‌بعدی منجر شوند. یعنی علاوه بر سطح زمین، سطوح قائم و بام‌ها نیز بخشی از اکوسیستم سبز شهر شوند. این افزایش سرانه سبز عمودی، به‌ویژه در مناطق پرتراکم که زمین کافی برای پارک ندارند، بسیار حیاتی است. تصور شهرهایی در آینده که اکثر بام‌ها و بسیاری از دیوارها سبزند، دیگر دور از ذهن نیست؛ شهر سنگی می‌تواند به باغ شهر تبدیل شود.

یک نکته دیگر بام‌های خورشیدی سبز است: ترکیب پنل‌های خورشیدی با کشت گیاهان کم‌عمق روی بام. تحقیقات نشان داده‌اند وجود پوشش گیاهی زیر پنل‌ها باعث کاهش حرارت مازاد و افزایش راندمان آنها می‌شود و از سوی دیگر پنل‌ها نیز سایه نسبی برای گیاهان فراهم می‌کنند. این هم‌افزایی جالب، رویکردی است که در برخی پروژه‌های جدید دنبال می‌شود تا هم‌زمان انرژی پاک و خنکای شهری تأمین گردد.

۴-۵. فضای سبز معابر و پارک‌های کوچک

علاوه بر پارک‌های بزرگ و کمربندهای سبز، فضای سبز در مقیاس خُرد نیز اثرگذار است. منظور از مقیاس خُرد درختچه‌ها، باغچه‌های کنار پیاده‌رو، پارک‌های کوچک و حتی گلدان‌های بزرگ شهری است که در گوشه و کنار معابر قرار می‌گیرند. هر تکه فضای سبز هر چند کوچک، به سهم خود جزیره خنک محلی ایجاد می‌کند، به‌ویژه در محلات متراکم که امکان پارک بزرگ نیست، چند پارک کوچک پراکنده می‌تواند تا حدی نقش آن را بازی کند.

پارک کوچک فضایی سبز به مساحت کم (گاهی چند ۱۰ مترمربع تا حداکثر چند ۱۰۰ مترمربع) است که معمولاً در بافت مسکونی یا تجاری بین ساختمان‌ها ایجاد می‌شود. این فضاها با داشتن ۵-۱۰ درخت و مقداری چمن یا باغچه، برای استراحت عابران و ساکنان اطراف تعبیه می‌شوند. از نظر اقلیمی، درست است که پارک کوچک شاید کل محله را خنک نکند، اما دمای همان حوالی خود را پایین‌تر نگاه می‌دارد و اگر شبکه‌ای از پارک‌های کوچک وجود داشته باشد، تأثیر تجمعی محسوس می‌شود.

فضای سبز معابر شامل ردیفی از درختان حاشیه خیابان، گلدان‌های بزرگ در پیاده‌رو، چمن‌کاری یا درخت‌کاری در میان جزیره‌های خیابان‌ها، و هر نوع کاشت در محیط خیابان است. این فضاها سبز دو اثر دارند: ۱. سایه و تبخیر که دمای مسیر را کاهش می‌دهد؛ ۲. آسایش بصری و کاهش استرس گرمایی برای عابران و رانندگان. خیابانی که درخت‌کاری خوبی دارد، حتی اگر اندکی طولانی باشد، کمتر حس گرمای کلافه‌کننده به فرد می‌دهد؛ زیرا هر چند قدم، می‌توان زیر سایه درخت استراحت کرد.

شکل ۱۰. پارک‌های کوچک شهری جهت تعدیل دمای گرم تابستان [۵۲]



برای مؤثر بودن فضای سبز معابر، تداوم آن مهم است. یک تک‌درخت تنها وسط پیاده‌رو کار زیادی نمی‌کند، ولی اگر هر پنج متر یک درخت داشته باشیم، اثر هم‌پوشانی سایه و رطوبت آنها کاملاً هوا را متفاوت می‌کند. به علاوه، بهتر است گونه‌های درخت معابر با رشد سریع و پرشاخ‌وبرگ باشند تا در مدت کوتاه سایه مطلوب دهند.

شهرداری‌ها معمولاً عرض معبر را تقسیم می‌کنند: قسمتی برای سواره، قسمتی پیاده و قسمتی هم برای دوچرخه‌سواری. پیشنهاد کارشناسان این است که یک مسیر سبز نیز در هر سمت خیابان لحاظ شود؛ مثلاً نواری یک تا دو متری بین سواره‌رو و پیاده‌رو که در آن درخت و بوته کاشته شود. این نوار سبز علاوه بر اقلیم، به ایمنی هم کمک می‌کند (سپر میان عابر و خودرو). همچنین می‌توان سازه‌های شهری مانند ایستگاه اتوبوس، دکل برق و... را با فضای سبز تلفیق کرد.

خلاصه آنکه اگر شهر از سطح زمین تا بام ساختمان‌ها پوشیده از لکه‌های سبز خُرد و کلان باشد، تاب‌آوری حرارتی آن به مراتب بالاتر می‌رود. این ایده با عنوان شهر اسفنجی^۱ یا زیست‌پذیر نیز شناخته می‌شود که در آن شهر همچون اسفنجی آب و سبزی را در خود جای می‌دهد و بر اثر تابش آفتاب داغ نمی‌شود. فضای سبز خُرد، جزئی از همین رویکرد است و باید در هر طرح کوچک مقیاس شهری (مثل بازسازی یک میدان یا پیاده‌راه‌سازی یک خیابان) از یاد نرود [۵۳].

۵-۵. نقش تبخیر و تعرق در کاهش دمای شهری

تبخیر و تعرق دو فرایند طبیعی‌اند که با مصرف انرژی گرمایی هوا، آن را خنک می‌کنند. در محیط‌های شهری، این پدیده به‌طور عمده توسط پوشش گیاهی (تعرق از برگ‌ها) و آب‌های سطحی (تبخیر از آب‌نماها، دریاچه‌ها، سطوح مرطوب) رخ می‌دهد. هر چه آب بیشتری در محیط تبخیر شود، مقداری از حرارت هوا صرف تغییر فاز آب به بخار می‌شود و در نتیجه دمای هوا کاهش می‌یابد. این اصل همان مکانیسم کولرهای آبی سنتی است که با تبخیر آب هوا را خنک می‌کنند.

در یک شهر، درختان و چمن‌ها مانند کولرهای خاموش عمل می‌کنند. مثلاً یک درخت بالغ در روز گرم می‌تواند تا ده‌ها لیتر آب را از زمین جذب و از طریق برگ‌ها تبخیر کند. این مقدار تبخیر، گرمای قابل توجهی از هوا می‌گیرد (هر گرم آب حدود ۲۲۶۰ ژول گرما برای تبخیر نیاز دارد). به این ترتیب، اطراف درخت چند درجه خنک‌تر می‌شود. به‌طور مشابه، چمن‌زارهای مرطوب در پارک‌ها یا باغچه‌ها با تبخیر آرام آب از سطح خود، هوای بالای سرشان را سردتر نگاه می‌دارند.

۱. در چارچوب شهر اسفنجی یا «Sponge City»، شهر همانند یک اسفنج عمل می‌کند و با جذب، ذخیره‌سازی و بازتوزیع آب باران، رطوبت و سبزی را در خود جای می‌دهد.



بدون حضور گیاهان و آب، انرژی خورشید مستقیماً صرف گرم کردن سطوح سخت و هوای می‌شود؛ اما وجود رطوبت این معادله را عوض می‌کند: بخشی از انرژی صرف تغییر حالت آب می‌شود و دمای محسوس هوا کمتر افزایش می‌یابد. البته در اقلیم‌های مرطوب، افزایش رطوبت می‌تواند به احساس شرجی و ناراحتی منجر شود، بنابراین در آن شرایط ترکیب تبخیر با تهویه (باد) ضروری است تا رطوبت را پخش کند. در شهرهای گرم و خشک ایران، افزایش رطوبت محیطی تا حد معقول عملاً مفید است؛ چون رطوبت نسبی هوا بسیار پایین است؛ لذا ایجاد فضاهای آب در شهر مانند حوض‌ها، فواره‌ها، آبشارهای مصنوعی، یا حتی آب‌پاشی کنترل شده معابر (در حدی که اسراف نباشد) همگی می‌توانند با افزایش تبخیر، هوا را خنک‌تر کنند. در گذشته، جاری بودن جوی آب در کوچه‌ها و وجود حوض در حیاط خانه‌ها دقیقاً همین نقش را داشت.

جالب اینجاست که ترکیب تبخیر و سایه بسیار کارا تر است. اگر جایی هم سایه باشد و هم سطح مرطوب، خنکی مضاعفی احساس می‌شود. برای همین است که زیر سایه درخت کنار یک آب‌نما در پارک، گاهی چند درجه خنک‌تر از جای دیگر پارک حس می‌شود. شهرها می‌توانند با تعبیه آب‌نماهای سایه‌دار (مثلاً آب‌نما زیر پرگولای پوشیده از مو) این اثر را تقویت کنند. اما تعرق گیاهان صرفاً به آب بستگی ندارد؛ سلامت گیاه و پوشش سطح برگ هم مهم است. گردوغبار شهر می‌تواند منافذ تبخیر برگ (روزنه‌ها) را مسدود و کارایی خنک‌کنندگی را کم کند. لذا شست‌وشوی برگ درختان (توسط باران یا آبیاری منظم) خود به خنکی هوا کمک می‌کند. برخی شهرها در تابستان خیابان‌ها را آب‌پاشی می‌کنند که هم گردوغبار را می‌خوانند و هم مقداری هوا را خنک می‌کند؛ این نیز ناشی از همان تبخیر آب روی آسفالت است.

در اقلیم‌شناسی شهری، مفهومی به نام خنک‌کننده‌های تبخیری شهری وجود دارد؛ این‌ها شامل هر عنصر شهری می‌شوند که با آب کار می‌کنند: دریاچه‌های مصنوعی، آبپاش‌های مه‌پاش در فضاهای عمومی، سطوح نفوذپذیر که آب باران را جذب و به تدریج تبخیر می‌کنند و پوشش‌های گیاهی گسترده. همه این‌ها با تقویت سیکل تبخیر و تعرق، جلوی افزایش بیش از حد دما را می‌گیرند. البته مدیریت مصرف آب در این میان حیاتی است تا روش‌ها پایدار باشند. استفاده از آب باز یافتی یا پساب تصفیه شده برای فواره‌ها و آبیاری فضای سبز راهکاری است که هم‌اکنون در برخی شهرهای ایران آغاز شده است و باید گسترش یابد تا بدون هدررفت منابع آبی، بتوان از مزایای سرمایه‌گذاری آن بهره‌مند شد.

۶. مصالح و فناوری‌های نوین برای سطوح خنک شهری

۶-۱. کف پوش‌ها و آسفالت‌های بازتابنده

سطوح گسترده معابر شهری (خیابان‌ها، جاده‌ها، پارکینگ‌ها) عمدتاً با آسفالت یا بتن پوشیده شده‌اند که رنگ تیره و ظرفیت حرارتی بالایی دارند. در روزهای آفتابی، این سطوح به شدت گرم می‌شوند و حرارت خود را به هوا پس می‌دهند و جزایر حرارتی ایجاد می‌کنند. روسازی‌های بازتابنده یا آسفالت‌های خنک راهکاری نوین برای کاهش این اثر هستند. ایده اصلی این است که با تغییر ترکیب یا رنگ آسفالت، میزان بیشتری از نور خورشید منعکس و حرارت کمتری جذب شود [۵۴].

برای انجام کار دو روش معمول وجود دارد: یکی افزودن سنگ‌دانه‌های بازتابنده یا رنگ‌دانه‌های روشن به مخلوط آسفالت، و دیگری روکش کردن سطح جاده با لایه‌ای روشن (مثلاً رنگ سفید یا خاکستری) پس از اجرا. هر دو روش آلبیدوی (بازتاب نور از سطح) سطح جاده را افزایش می‌دهند. تحقیقات میدانی در شهرهایی که این فناوری را آزموده‌اند، نشان می‌دهد دمای سطح آسفالت بازتابنده در بعدازظهر تابستان می‌تواند ۱۵-۱۰ درجه سلسیوس کمتر از آسفالت معمولی مجاور باشد. در فینیکس و لس‌آنجلس پروژه‌های آزمایشی رنگ‌آمیزی خیابان‌ها به رنگ روشن انجام شده و نتایج اولیه حاکی از کاهش ۷-۵ درجه سلسیوس دمای سطح و حدود ۱-۲ درجه سلسیوس دمای هوای نزدیک

سطح بوده است [۳۱].

البته آسفالت بازتابنده یک ملاحظه دارد: نور منعکس شده کجا می‌رود؟ اگر خیابان‌های روشن بین ساختمان‌های بلند باشند، ممکن است این نور به نماها برخورد و آنها را گرم کند یا باعث خیرگی شود. بنابراین اغلب توصیه می‌شود همراه با روسازی روشن، نمای ساختمان‌ها نیز رنگ مناسب داشته یا سایه‌اندازی کافی داشته باشند تا بازتاب خورشید مزاحمت ایجاد نکند.

نوع دیگری از کف‌پوش خنک، روسازی نفوذپذیر است که اجازه می‌دهد آب به داخل زمین نفوذ کند و در زیر سطح، ذخیره یا به تدریج تبخیر شود. این روسازی‌ها (مثلاً بلوک‌های بتنی مشبک که چمن از میانشان رشد می‌کند، یا آسفالت متخلخل) گرمای کمتری ذخیره می‌کند، چون بخشی از آن صرف تبخیر آب در منافذ می‌شود؛ همچنین آب باران را جمع کرده، در زمان گرم تبخیر می‌کنند که به خنک‌سازی هوا کمک می‌کند.

پیاده‌روهای خنک نیز دسته دیگری‌اند؛ مثلاً موزاییک‌های رنگ روشن یا کف‌پوش‌های پلیمری بازتابنده برای پیاده‌رو و محوطه‌سازی استفاده می‌شوند. این مصالح علاوه بر کاهش دما، به دلیل روشن تر بودن سطح، در شب هم نور بیشتری منعکس و محیط روشن‌تری فراهم می‌کنند که یک فایده جنبی برای زیبایی شهری است.

شهرداری‌ها می‌توانند با وضع مقررات، پیمانکاران را به استفاده از آسفالت خنک در پروژه‌های جدید موظف کنند یا حداقل در سطوح گسترده مانند پارکینگ‌های روباز، ترمینال‌ها و محوطه مراکز خرید از پوشش‌های روشن استفاده شود. هزینه این مواد معمولاً اندکی بیشتر از آسفالت معمولی است، اما در درازمدت با کاهش نیاز به تعمیر (به علت داغ نشدن بیش از حد و کمتر نرم شدن آسفالت) و کاهش هزینه‌های انرژی شهری (تهویه مطبوع) توجیه‌پذیر است. به‌طور خلاصه، خنک‌سازی سطوح زمین به کمک مصالح نوین راهی است تا شهر را از پایه و از کف خنک‌تر ساخت.

۲-۶. رنگ‌های سرد برای بام و نما

همان‌طور که گفته شد، رنگ سطوح روی مقدار حرارت جذب شده تأثیر مستقیم دارد. رنگ‌های سرد به رنگ‌ها یا پوشش‌هایی گفته می‌شود که در عین داشتن رنگ روشن (یا حتی رنگ دلخواه تیره)، خاصیت بازتاب‌دهندگی فروسرخ بالایی دارند. این بدان معناست که بخش عمده‌ای از طیف خورشید، مخصوصاً طول موج‌های حرارتی، را بازتاب می‌کنند و نمی‌گذارند سطح داغ شود [۵۵].

برای بام‌ها، ساده‌ترین راه استفاده از رنگ سفید یا بسیار روشن است. حتی یک رنگ پلاستیک ساده سفید روی ایزوگام یا آسفالت بام می‌تواند در صد بازتاب آن را به طرز چشمگیری بالا ببرد. تحقیقاتی در تهران نشان داده است که سفید کردن بام‌های تخت می‌تواند دمای سطح آنها را حدود ۲۰ درجه سلسیوس کاهش دهد و به تبع آن دمای هوای بالای بام ۱-۲ درجه سلسیوس خنک‌تر شود. البته ماندگاری این رنگ‌ها مهم است (هر چند سال باید تجدید شوند) [۳۰].

نسل جدیدتر پوشش‌ها، پوشش‌های سرامیکی بازتابنده‌اند که حاوی ذرات میکرونی سرامیکی‌اند و علاوه بر بازتاب نور، خود نیز در برابر حرارت بسیار مقاوم‌اند. این پوشش‌ها برای نماهای ساختمان‌ها (خصوصاً سطوح فلزی یا بتنی) هم قابل استفاده‌اند و جلوی گرم شدن بیش از حد دیوارها در تابش آفتاب را می‌گیرند [۵۶].

جالب توجه آنکه فناوری نانو هم وارد این عرصه شده است؛ رنگ‌های نانویی خنک‌کننده که یک لایه بسیار نازک شفاف روی شیشه یا نما کشیده می‌شوند و مانند آینه نامرئی، اشعه مادون قرمز خورشید را منعکس می‌کنند، اما در طیف مرئی بی‌رنگ‌اند [۵۷]. به این ترتیب مثلاً می‌توان یک نمای شیشه‌ای را بدون تغییر ظاهر، به سطوح خنک تبدیل کرد.

مزیت بزرگ رنگ‌های سرد این است که نصبشان آسان و ارزان است. برخلاف مثلاً ساخت بام سبز که مهارت و سازه قوی می‌خواهد، رنگ

کردن بام با رنگ بازتابنده را تقریباً هر کسی می‌تواند انجام دهد. به همین دلیل بسیاری از شهرها برنامه‌هایی برای سفیدسازی بام‌ها در مقیاس محله‌ای اجرا کرده‌اند. برای نمونه، در نیویورک ظرف چند سال بیش از ۵۰۰ هزار مترمربع از بام‌های ساختمان‌های عمومی با رنگ سرد پوشیده شد که به کاهش مصرف انرژی کولرها و تعدیل جزیره حرارتی کمک کرد [۵۸].

یک نکته در استفاده از رنگ‌های سرد برای نما، همخوانی با سیما و منظر شهری است. شهرهای تاریخی ممکن است نماهای رنگی خاصی داشته باشند؛ در این موارد می‌توان از پوشش‌های بازتابنده بی‌رنگ استفاده کرد تا ظاهر بنا تغییر نکند. ولی در معماری مدرن، استفاده از رنگ‌های روشن خود یک ترند زیباشناسانه به شمار می‌رود؛ مثلاً شهر سانتا کروز در اسپانیا معروف به ساختمان‌های سفید که نه تنها زیباست بلکه اقلیمی نیز است.

در ایران، مبحث ۱۹ مقررات ملی ساختمان (مدیریت انرژی در ساختمان)، به استفاده از رنگ‌های بازتابنده در اقلیم گرم توصیه کرده است (هرچند هنوز الزامی نشده است). با بالا رفتن هزینه انرژی و مشکل کمبود برق در تابستان، احتمالاً این راهکار بیش از پیش مورد توجه قرار خواهد گرفت.

۳-۶. مصالح تغییر فاز دهنده و عایق‌های نوین

مواد تغییر فاز دهنده دسته‌ای از موادی هستند که می‌توانند در یک محدوده دمایی مشخص، با جذب یا آزاد کردن گرمای نهان، از جامد به مایع و برعکس تبدیل شوند. این ویژگی آنها را به ذخیره‌سازهای حرارتی هوشمند بدل می‌کند. در ساختمان، این مواد را معمولاً در جداره‌ها یا سقف به کار می‌برند تا گرمای اضافی روز را در خود جذب کنند و در شب که هوا خنک شد دوباره آزاد کنند، بدون آنکه دمای محیط به شدت نوسان یابد.

برای اقلیم گرم، مواد تغییر فاز دهنده کمک می‌کنند تا اوج دمای ظهر تعدیل شود و با تأخیر زمانی به شب برسد. به این ترتیب ساعات آسایش درون ساختمان افزایش می‌یابد. مطالعات در دبی و دوحه نشان داده افزودن لایه مواد تغییر فاز دهنده به ضخامت چند سانتی‌متر در سقف، می‌تواند دمای اوج داخل را ۲-۳ درجه سلسیوس کاهش دهد و مصرف برق کولر را حدود ۱۵ درصد کم کند. در مقیاس شهری، اگر بسیاری ساختمان‌ها این فناوری را داشته باشند، حرارت کمتری از ساختمان‌ها به بیرون نشت می‌کند (زیرا مواد تغییر فاز دهنده بخشی از آن را جذب کرده) و شب‌ها نیز با آزادسازی تدریجی، اجازه می‌دهد گرما در زمانی که نیاز گرمایی کمتر است به بیرون بیاید [۳۷].

عایق‌های نوین نیز سهم مهمی در کنترل گرما دارند؛ عایق‌های سنتی مثل پشم شیشه یا یونولیت مدت‌هاست استفاده می‌شوند، اما اکنون عایق‌های نانویی، عایق‌های خلأ^۱ و رنگ‌های عایق به بازار آمده‌اند. عایق خلأ با یک محفظه تقریباً بدون هوا، ضریب انتقال حرارت بسیار ناچیزی دارد (چندبرابر بهتر از پلی‌اورتان)، ولی هنوز گران است. رنگ‌های عایق حاوی میکروکره‌های توخالی سرامیکی‌اند که روی دیوار یا سقف زده می‌شوند و مثل پتو عمل می‌کنند.

در کنار این‌ها، شیشه‌های دوجداره پیشرفته که لایه نانویی کم‌گسیل دارند، میزان ورود حرارت خورشیدی را کم می‌کنند. به‌طور کلی هر نوآوری که تبادل گرما را کاهش دهد، به معنای آن است که گرمای کمتری در داخل تولید می‌کند و سپس به بیرون دفع می‌شود، و این یعنی خیابان‌های خنک‌تر.

در عرصه خیابان و مبلمان شهری هم مصالح جدید مطرح‌اند؛ برای مثال سیمان‌های بازتابنده نور که در روز نور را بازتاب می‌دهند و در شب کمی از خود نور ساطع می‌کنند (فسفرسانس) و نیاز به چراغ را کم می‌کنند. یا کف‌پوش‌های خنک‌کننده آبی که لوله‌های آب سرد در زیرشان

گردد (مشابه سیستم‌های گرمایش از کف ولی این بار برای سرمایش پیاده‌راه).

مصلح نوین گاهی ترکیبی از چند عملکرد را دارند؛ مثلاً پنل‌های نما که هم عایق‌اند هم روکش بازتابنده و هم شاید یک لایه مواد تغییر فاز دهنده داخلی داشته باشند. این راهکارهای تجمیع شده می‌توانند ساختمان‌ها را واقعاً غیر فعال کنند؛ به طوری که تبادل حرارتی بسیار کمی با بیرون داشته باشند. اگر چنین شود، بخش بزرگی از مشکل جزیره حرارتی (که ناشی از نشتی حرارت از ساختمان‌هاست) کاسته می‌شود [۲۲، ۲۷].

فعلاً چالش اصلی مواد تغییر فاز دهنده و عایق‌های پیشرفته هزینه نسبی بالای آنهاست، ولی با افزایش مقیاس تولید، انتظار می‌رود در آینده نزدیک مقرون به صرفه شوند. روند ضوابط ساختمانی جهانی به سمتی است که ساختمان‌های جدید مصرف انرژی نزدیک به صفر داشته باشند که جز با عایق کاری عالی و مصالح هوشمند ممکن نیست. در ایران نیز ارتقای مبحث ۱۹ مقررات ملی ساختمان به کارگیری این فناوری‌ها را اجتناب‌ناپذیر خواهد کرد. اثر جانبی مثبت آن، شهرهای خنک‌تر و سالم‌تر خواهد بود.

۴-۶. فناوری‌های هوشمند (حسگرها، مه‌پاش‌ها، شبکه‌های اقلیمی)

علاوه بر مصالح، فناوری‌های دیجیتال و هوشمند نیز در خدمت خنک‌سازی شهری درآمده‌اند. امروزه می‌توان با نصب حسگرهای دما، رطوبت و کیفیت هوا در نقاط مختلف شهر، یک شبکه اقلیمی هوشمند ایجاد کرد که داده‌های لحظه‌ای را به مراکز کنترل ارسال می‌کند. این داده‌ها امکان تحلیل دقیق توزیع دما در شهر و شناسایی نقاط خیلی گرم را می‌دهد. سپس مدیریت شهری می‌تواند اقداماتی هدفمند انجام دهد. برای مثال، اگر حسگرها نشان دهند که دمای یک میدان سنگ‌فرش شده به شدت بالا رفته، سیستم مه‌پاش خودکار آن می‌تواند فعال شود و ذرات ریز آب در هوا اسپری کند تا دما چند درجه افت کند. این مه‌پاش‌ها در بسیاری از شهرهای حاشیه خلیج فارس و نیز در اروپا طی موج‌های گرما در مراکزی مانند ایستگاه‌های قطار، بازارهای روباز یا حتی در امتداد برخی خیابان‌های توریستی به کار گرفته شده‌اند. ترکیب این سیستم با حسگر دما و زمان سنج، بهره‌وری آن را بالا می‌برد تا فقط در مواقع لازم کار کند.

فناوری دیگر، بادبزن‌ها و تهویه‌های شهری هوشمند است؛ در پاساژهای روباز یا ایستگاه‌های اتوبوس، اگر دما از حدی بالاتر رود، فن‌های بزرگ سقفی روشن می‌شوند تا هوا را به گردش درآورند. یا در کوچه‌های بسیار تنگ و گرم، می‌توان ستون‌های تهویه نصب کرد که با انرژی خورشیدی کار می‌کنند و هوا را مکش و روبه بالا هدایت می‌کنند (شبیه بادگیر مکانیکی).

سطوح نوآور نیز وجود دارند؛ به عنوان مثال، کف پوش‌هایی که حساس به دما بوده، در گرمای زیاد تغییر رنگ می‌دهند تا هشدار بصری بدهند یا رنگ خود را روشن‌تر کنند (برای بازتاب بیشتر). حتی پنجره‌هایی طراحی شده که با افزایش دمای محیط، خودبه‌خود کدر می‌شوند و جلوی ورود گرما را می‌گیرند (شیشه‌های ترموکرومیک) [۵۹].

شبکه‌های اقلیمی دیجیتال همچنین امکان پیش‌بینی محلی وضعیت گرما را می‌دهند؛ مثلاً سیستم‌های آنلاین به شهروندان اطلاع می‌دهند که کدام قسمت‌های پارک اکنون خنک‌تر است یا اگر می‌خواهید عصر پیاده‌روی کنید، فلان مسیر به دلیل جهت باد مطلوب‌تر است. این کاربردها هنوز در ابتدای راه‌اند، اما با شهرهای هوشمند در حال گسترش‌اند.

یک ایده جالب دیگر، پوشش‌های متحرک شهری است؛ برای مثال سایبان‌های بزرگی در میادین که روزها باز و شب‌ها بسته می‌شوند (برای دید آسمان) قابل ذکر است. این سازه‌ها را می‌توان خودکار و با حسگر نور خورشید کنترل کرد. شهر مدینه در عربستان نمونه‌ای از این سایبان‌های تاشو را در حیاط مسجد نبوی نصب کرده است که روزها باز می‌شود و جمعیت زیر خود را از آفتاب حفظ می‌کند.

در مجموع، فناوری‌های هوشمند مانند یک لایه مکمل روی راهکارهای سنتی آمده‌اند تا آنها را مؤثرتر، دقیق‌تر و پاسخ‌گوتر کنند. البته نباید از یاد برد که این ابزارها برق و نگهداری می‌خواهند؛ پس استفاده بی‌رویه از آنها در تناقض با پایداری محیطی است. اما به شکل هدفمند و

ترکیب شده با راهبردهای غیرفعال (طبیعی)، می‌توانند کمک شایانی به مدیریت گرمای شهری کنند.

۵-۶. استفاده از شبیه‌سازی‌های اقلیمی و چاپ سه‌بعدی

شبیه‌سازی اقلیمی شهری به شهرسازان و معماران امکان می‌دهد پیشاپیش تأثیر طرح‌های خود را بر دمای محیط و آسایش حرارتی بسنجند. مدل‌های سه‌بعدی دقیق از بخش‌های شهر با مشخصات مصالح، ارتفاع ساختمان‌ها، عرض خیابان‌ها، درصد سبزی‌نگی و... به کامپیوتر داده می‌شود و نرم‌افزارهایی مثل انویمت، سی‌اف‌دی^۱ یا ابزارهای انرژی، رفتار دما و باد را محاسبه می‌کنند. با این کار، می‌توان نقاط داغ بالقوه را در طرح شناسایی کرد و تدابیر اصلاحی اندیشید؛ مثلاً اضافه کردن درخت در یک نقطه یا تغییر جهت ساختمان‌ها.

فناوری اطلاعات می‌تواند در مدل‌سازی و شبیه‌سازی اقلیمی شهر نیز کمک کند. با نرم‌افزارهای پیشرفته (مانند انویمت)^۲ طرح‌های شهری را قبل از ساخت می‌توان از نظر تأثیر بر دمای محلی سنجید. سناریوهای مختلف (درخت‌کاری، تغییر رنگ بام‌ها، افزودن برکه مصنوعی و...) را شبیه‌سازی کرد و بهترین ترکیب را برگزید. این رویکرد علمی تضمین می‌کند سرمایه‌گذاری‌ها در جای درست انجام شوند [۶۰]. شبیه‌سازی‌ها همچنین امکان آزمون سناریوهای مختلف را در آینده می‌دهند؛ برای مثال، اگر روند کنونی ساخت‌وساز ادامه یابد، بیست سال دیگر دمای یک محدوده چند درجه افزایش خواهد یافت؟ یا اگر ۵۰ درصد بام‌ها سبز شوند، چه تأثیری خواهد داشت؟ چنین نتایجی می‌تواند در توجیه اقتصادی و تصویب سیاست‌های اقلیمی به مدیران کمک کند. امروزه برخی شهرهای پیشرفته دنیا یک دوقلوی دیجیتال^۳ از شهر خود ساخته‌اند که یکی از کاربردهایش، شبیه‌سازی محیطی است.

اما چاپ سه‌بعدی چگونه به مبحث خنک‌سازی مرتبط می‌شود؟ چاپ سه‌بعدی در ساختمان‌سازی این قابلیت را دارد که اشکال پیچیده و بهینه اقلیمی را که با روش‌های سنتی، سخت یا گران ایجاد می‌شد، تولید کند. برای مثال، یک سایه‌بان مشبک پیچیده با الگوی الهام از طبیعت (پارامتریک) که نور را فیلتر می‌کند، یا بلوک‌های نما با کانال‌های درونی برای جریان هوا - اینها را می‌توان با چاپگر سه‌بعدی ساخت. همچنین المان‌های شهری مانند نیمکت‌ها، مجسمه‌ها یا سازه‌های سایه‌انداز را می‌توان طوری طراحی کرد که هم زیبا باشند هم اقلیم‌محور (مثلاً نیمکتی که درون خود تبخیر آب دارد و مثل کولر خنک است) و می‌توان این طرح‌های خاص را با چاپگر تولید کرد. چاپ سه‌بعدی همچنین اجازه می‌دهد مصالح نوین بهتر استفاده شوند؛ به عنوان مثال بتن‌های بازتابنده یا خنک، در چاپ سه‌بعدی قابل قالب‌گیری به فرم‌های دلخواه‌اند که ممکن است با قالب‌های معمولی دشوار باشد، یا ساخت ساختمان‌های گنبدی با پرینت سه‌بعدی، که جرم حرارتی خوبی برای اقلیم گرم دارند، آسان‌تر شده است.

حوزه دیگری که شبیه‌سازی و چاپ تلاقی می‌کنند، ساخت ماکت‌های اقلیمی است؛ گاهی برای اطمینان از نتایج نرم‌افزار، یک محدوده از شهر را در تونل باد یا زیر نور خورشید مصنوعی تست می‌کنند. با چاپ سه‌بعدی ماکت دقیق، این کار تسهیل می‌شود.

از جنبه سیاستی، شهرداری‌ها می‌توانند الزام کنند که پروژه‌های بزرگ شهری یک گزارش شبیه‌سازی اقلیمی ارائه دهند؛ مشابه گزارش ارزیابی زیست‌محیطی^۴. این امر طراحان را تشویق می‌کند که از ابتدا اقلیم را در نظر بگیرند و از ابزارهای مدرن بهره ببرند. در آموزش آکادمیک معماری و شهرسازی نیز یادگیری نرم‌افزارهای شبیه‌سازی اقلیمی باید جدی گرفته شود تا نسل جدید، طراحان اقلیمی بار بیایند.

به‌طور خلاصه، فناوری‌های محاسباتی و ساخت دیجیتال دو بال حرکت به‌سوی شهرهای هوشمند و سازگار با اقلیم‌اند. با کمک آنها، می‌توان از مرحله طراحی تا ساخت و بهره‌برداری، کنترل کرد که محیط شهری نه فقط انسان‌ساخت و کارا، بلکه همگام با طبیعت و اقلیم منطقه باشد.

1. CFD

2. ENVI-Met

3. Digital Twin

۴. گزارش ارزیابی زیست‌محیطی یا EIA سندی رسمی است که پیش از اجرای پروژه‌های بزرگ عمرانی و شهری تهیه می‌شود تا پیامدهای آن پروژه بر محیط زیست (آب، خاک، هوا، تنوع زیستی، سلامت انسان و منظره طبیعی) شناسایی، پیش‌بینی و ارزیابی شوند.

۷. مدیریت باد و تهویه شهری



۷-۱. شناسایی و حفظ دالان‌های باد در شهر

همان‌طور که پیش‌تر اشاره شد، وجود دالان‌های باد در بافت شهر به‌منزله شریان‌های تهویه و خنک‌کننده است. این دالان‌ها می‌توانند طبیعی باشند (مثلاً امتداد یک رودخانه یا دره در شهر) یا انسان‌ساخت (خیابان‌های باز طولی). مهم این است که این مسیرها اجازه می‌دهند جریان‌های هوای بیرون به داخل شهر نفوذ و هوای گرم و آلوده را جابه‌جا کنند.

اولین گام در مدیریت باد شهری، شناسایی این دالان‌هاست؛ لازم است مطالعه‌ای بر الگوی وزش باد منطقه‌ای و اندرکنش آن با توپوگرافی و بافت شهر انجام شود. برای مثال، در تهران محور طبیعی وزش باد شمال به جنوب از کوهپایه‌ها به دشت است که بزرگ‌راه‌ها و خیابان‌های شمالی-جنوبی می‌توانند این باد را هدایت کنند. یا در اصفهان، زاینده‌رود یک کریدور هوای خنک ایجاد می‌کند. با تکنیک‌های سنجش از دور و مدل‌سازی، نواحی‌ای از شهر که باد در آنها کانالیزه می‌شود قابل تشخیص است.

پس از شناسایی، حفاظت و تقویت این دالان‌ها اهمیت دارد؛ حفاظت یعنی جلوگیری از مسدود شدن آنها با احداث برج‌ها یا موانع. برای مثال، اگر در حاشیه یک مسیر باد، ساخت‌وسازهای بلند صورت گیرد، باید لابه‌لای آنها فضاهای باز کافی یا طراحی خاصی باشد که باد همچنان عبور کند. گاهی ممکن است لازم شود برخی موانع موجود برداشته شوند؛ مثلاً باز کردن یک گلوگاه ترافیکی یا تخریب یک سازه متروک که در مسیر باد اختلال ایجاد کرده است.

تقویت دالان‌ها می‌تواند با منظم‌سازی لبه‌ها باشد؛ به‌عنوان نمونه، کاشت درختان در حاشیه دالان برای هدایت بهتر جریان (درست شبیه جداره‌سازی یک رودخانه با خاک‌ریز)؛ یا ایجاد اختلاف دما در ابتدا و انتهای دالان، اگر انتهای دالان شهری به یک پارک یا آبگیر منتهی شود، هوای آن ناحیه خنک‌تر می‌شود و مکش طبیعی باد را بیشتر می‌کند.

شایان ذکر است که حفظ دالان‌های باد فوایدی فراتر از خنک‌سازی دارد؛ آنها کمک می‌کنند آلودگی هوای تهویه و پخش شود. مطالعات موردی نشان می‌دهد شهرهایی که در طرح‌های توسعه خود به کریدورهای باد توجه کرده‌اند، شاخص آلودگی و دمای بهتری نسبت به شهرهای بدون این ملاحظه دارند.

نمونه موفق در این زمینه، شهر اشتوتگارت آلمان است که چند دالان اصلی از تپه‌های جنگلی اطرافش به مرکز شهر دارد و برای حفاظت از آنها، حتی جلوی صدور مجوز ساخت برخی برج‌ها را گرفته است. در نتیجه، علی‌رغم صنعتی بودن، دمای مرکز شهر قابل تحمل‌تر است. شهرهای ایران نیز باید در طرح‌های جامع خود نقشه دالان‌های اقلیمی داشته باشند و آن را به‌عنوان زیرساخت سبز-آبی در کنار خیابان‌ها ببینند.

۷-۲. طراحی چیدمان شهری برای تقویت جریان هوا

علاوه بر حفظ دالان‌های طبیعی، می‌توان با چیدمان آگاهانه ساختمان‌ها و فضاها در یک محله یا سایت بزرگ، جریان هوا را تقویت کرد. این مقوله در طراحی شهرک‌ها یا فازهای توسعه جدید بسیار مهم است. چند اصل راهنما در این زمینه عبارت‌اند از:

- **پهنه‌های باز در مقابل باد غالب:** در ابتدای محدوده یک محله، فضای باز یا کاربری کم‌ارتفاع (مثل پارکینگ روباز یا میدان) قرار دهیم تا باد بتواند وارد شود. سپس در داخل محله مسیرهای خطی نسبتاً مستقیم تعبیه کنیم که باد را به قلب محله هدایت کنند.
- **تغییر تدریجی ارتفاع ساختمان‌ها:** اگر ساختمان‌های بلند ضروری‌اند، بهتر است در سمت پایین باد محله یا مرکز آن باشند، نه در لبه رو به باد. ساختمان‌های کوتاه‌تر در جلوی باد، آن را به بالا هدایت می‌کنند که از روی کل محله رد می‌شود. ولی اگر ارتفاع به تدریج افزایش یابد، باد به خوبی وارد بافت می‌شود و حول برج‌های بلند می‌پیچد و در تراز پایین حرکت می‌کند.



■ **جهت‌گیری نسبت به باد:** سعی شود محورهای اصلی معابر و نحوه قرارگیری بلوک‌های ساختمانی طوری باشد که باد غالب را بیشتر عمود بر خود بگیرند تا کانالیزه کنند. مثلاً اگر باد از شمال می‌وزد، خیابان شرقی - غربی با بناهای طرفینش مانند یک بادشکن عمل می‌کند؛ در حالی که خیابان شمالی - جنوبی اجازه پیشروی باد می‌دهد.

■ **فواصل و سطوح متخلخل:** وجود مسیرهای بادی^۱ بین ساختمان‌ها مفید است؛ این به معنای طراحی کوچه‌های فرعی یا بازشوهای بزرگ در پایین ساختمان‌هاست که مثل تونل باد عمل کنند. در برخی طراحی‌های نو در دنیا، طبقه همکف چند برج مجاور خالی و تبدیل به یک پلازای اشتراکی باز شده است تا باد از زیر برج‌ها عبور کند.

همچنین عنصر آب را می‌توان در چیدمان فضاها استفاده کرد؛ قرار دادن آبگیر یا استخر در مسیر باد، هوای ورودی را قدری خنک‌تر می‌کند (باد که بر آب می‌وزد تبخیر را زیاد می‌کند و خنک می‌شود). این باد خنک شده سپس وارد فضای شهری می‌شود و محیط را مطبوع‌تر می‌کند. یکی از نمونه‌های موفق از طراحی شهری هماهنگ با باد، پروژه سیتی‌بریز^۲ در سنگاپور است که بلوک‌های مسکونی را شبیه حرف «ال» چیده‌اند تا باد درون سایه این بلوک‌ها بپیچد و یک حیاط مرکزی خنک ایجاد کند؛ یا در شهر جدید مصدر امارات، خیابان‌ها عمداً ۳۰ درجه نسبت به محور جغرافیایی با زاویه ساخته شده‌اند تا باد مطلوب شمال غربی را جذب و باد نامطلوب کویری را دفع کنند.

باید توجه کرد که گاهی طراحی برای باد ممکن است با ملاحظات دیگر (مثلاً آفتاب‌گیری یا چشم‌انداز) در تضاد افتد؛ هنر برنامه‌ریزی در موازنه این عوامل است؛ اما در شهرهای خیلی گرم، شاید اولویت با باد باشد؛ زیرا بدون آن حیات سخت می‌شود. شهرهای ساحلی ایران مثل بندرعباس یا بوشهر، به‌طور سنتی کوچه‌هایی رو به دریا دارند تا از نسیم دریا بهره ببرند، این سنت را نباید نادیده گرفت.

در مجموع، شهر در اقلیم‌های خیلی گرم نباید به‌صورت تصادفی رشد کند؛ بلکه باید مانند یک بادگیر بزرگ طراحی شود که در مقیاس بزرگ عمل کند؛ برای این منظور، متخصصین اقلیم‌شناسی شهری باید عضو تیم طراحی شهری باشند و از ابتدا الگوی بهینه چیدمان را پیشنهاد دهند. نتایج آن در درازمدت به‌صورت آسایش بیشتر و نیاز کمتر به تهویه مکانیکی نمود خواهد یافت.

۳-۷. استفاده از عناصر هدایت‌کننده باد در معماری

در مقیاس معماری بناهای منفرد نیز می‌توان از عناصر هدایت باد بهره برد. مشهورترین این عناصر در تاریخ معماری ایران، همان بادگیر است. بادگیرها نمونه‌ای الهام‌بخش برای کاربرد مدرن هستند. امروزه معماران در اقلیم‌های گرم از برج‌های تهویه یا پنجره‌های سقفی تهویه‌دار استفاده می‌کنند که در نقش بادگیر ظاهر می‌شوند؛ برای مثال، در یک مرکز خرید در دبئی، برج‌هایی روی سقف تعبیه شده است که هوای بیرون را می‌گیرند و با کانال به طبقات پایین می‌رسانند و بالعکس هوای گرم داخل را بالا می‌کشند [۶۱].

علاوه بر بادگیر، فرم ساختمان هم می‌تواند هدایتگر باد باشد. سقف‌های منحنی یا شیب‌دار که باد را به پایین منحرف می‌کنند، یا پلان‌های دوزنقه‌ای که مثل قیف باد عمل می‌کنند، از این موارد به شمار می‌روند؛ حتی ساده‌تر، یک حیاط مرکزی اگر جهت یک ضلعش باز باشد، باد را از آن سمت می‌گیرد و در حیاط توزیع می‌کند.

مشبک‌ها و بازشوهای هدایت‌کننده نیز مؤثرند؛ در معماری سنتی، وجود دریچه‌های بالا و پایین در بادگیر یا دیوار روبه‌باد، جریان را تنظیم می‌کرد. در طراحی‌های جدید، می‌توان پنجره‌هایی در نما ایجاد کرد که زاویه دارند و وقتی باز می‌شوند مانند بادگیر عمل می‌کنند و باد را به داخل اتاق منحرف کنند. در برخی از ساختمان‌های بلند در اقلیم‌های مشابه از پروفیل‌های خاص در نما استفاده شده است تا باد را به سمت تراس‌ها یا محوطه بازشان هدایت کند تا آن فضا خنک‌تر شود.

در شهرهای پرجمعیت شرق آسیا (مثلاً هنگ کنگ)، ساختمان‌های بسیار بلندی ساخته شده‌اند که در میانه ارتفاع، حفره‌های بزرگ دارند؛

1. Wind Passages

2. City Breeze

این کار عمده‌ای برای عبور باد و کاهش اثر سدکنندگی برج بر باد است. به علاوه، باد عبوری از آن حفره‌ها گاهی به فضاهای جمعی نیمه‌باز در همان تراز هدایت می‌شود (مثلاً رستوران یا باغ معلق در طبقه سی‌ام که نسیم ملایم دارد). برای ساختمان‌های معمولی، اگر می‌خواهیم باد به همه نقاط خانه برسد، باید ورودی و خروجی هوا در امتداد مناسبی قرار گیرند. مثلاً در یک واحد آپارتمانی، داشتن پنجره در دو دیوار روبه‌رو (یا مجاور با فاصله) خیلی بهتر از تک پنجره است. همچنین ارتفاع متفاوت در بچه‌ها کمک می‌کند جریان همرفت طبیعی نیز شکل گیرد (هوای گرم از بالا برود، هوای خنک از پایین وارد شود). این موضوعات ساده را می‌توان به عنوان چک‌لیست در طراحی واحدهای مسکونی در شهرهای گرم لحاظ کرد. در نهایت، استفاده موفق از چنین عناصری نیازمند شناخت دقیق الگوی باد در هر محل است. لذا قبل از کار گذاشتن هر هدایتگر، باید با ابزار شبیه‌سازی یا آزمون میدانی مطمئن شد که نتیجه بر وفق مراد خواهد بود، وگرنه ممکن است اثر معکوس (مثلاً ایجاد گردباد کوچک موضعی) داشته باشد.

۸. سیاست‌ها و مقررات برای شهرهای خنک‌تر

۸-۱. اصلاح و ارتقای مقررات ملی ساختمان

سیاستگذاری صحیح می‌تواند معماران و سازندگان را به سمت طراحی‌های خنک‌تر سوق دهد. مقررات ملی ساختمان (به‌ویژه مبحث ۱۹ مقررات ملی) نقش کلیدی در تعیین استانداردهای ساخت دارد. اصلاح این مقررات با در نظر گرفتن موضوع جزیره حرارتی و گرمایش شهری ضروری است. برای نمونه، می‌توان موادی را به مبحث انرژی افزود که استفاده از بام سرد یا بام سبز را برای ساختمان‌های بزرگ الزامی یا تشویقی کند؛ یا حداقل رنگ مجاز پوشش بام در اقلیم‌های گرم به صورت روشن تعیین شود. همچنین مقررات می‌تواند ضوابطی برای حداقل فضای سبز در محوطه ساختمان تعریف کند (مثلاً هر ساختمان باید در صدی از زمینش باغچه داشته باشد) یا حداکثر سطح غیرقابل نفوذ در یک حیاط را مشخص کند تا آب نفوذ کند و تبخیر شود. در برخی کشورها، کدی به نام «نسبت فضای سبز»^۱ وجود دارد؛ جای چنین بندی در مقررات ملی ما خالی است. عایق کاری حرارتی الزام دیگری است که در مقررات وجود دارد، ولی اجرای آن ناقص است. باید مقررات باروش‌های نوین (مثلاً تأییدیه انرژی برای گرفتن پایان کار) سخت‌گیری بیشتری کند تا ساختمان ناکارآمد از لحاظ حرارتی ساخته نشود. هر ساختمان پرمصرف انرژی، نه فقط برای مالک که برای کل شهر هزینه گرمایی ایجاد می‌کند (چون گرمای دفع شده‌اش سهمی در گرم کردن محیط دارد). لذا از دید سیاستگذاری، اجرای مبحث انرژی باید به عنوان یک وظیفه شهروندی هم تبلیغ و هم پیگیری شود. بازنگری در مقررات شهرسازی مثل آیین‌نامه طراحی معابر شهری نیز لازم است؛ مثلاً ضابطه سایه‌اندازی می‌تواند تدوین شود که طبق آن ساختمان جدید نباید سایه نامطلوب حرارتی بر همسایه بیندازد یا بالعکس بخشی از سطحش باید سایه مفید بر معبر بیندازد؛ یا ضابطه تهویه محلی تدوین شود که اگر بلوکی طراحی می‌شود، اثبات کند که مانع باد محلی نمی‌شود. علاوه بر اصلاح مقررات ملی، ممکن است نیاز به نگارش راهنمای اقلیمی به عنوان مکمل باشد؛ برای مثال شهرداری‌ها یک راهنمای طراحی اقلیمی برای معماران منتشر کنند که استانداردهای پیشنهادی یا اجباری را شرح دهد (چیزی شبیه به لید برای توسعه محله^۲ اما با محوریت کاهش گرما). در این راهنماها می‌توان شاخص‌های کمی تعریف کرد؛ مانند حداکثر شاخص پوشش تیره در سطح نما، حداقل سطح سبز، حداقل میزان بازتابندگی مصالح و غیره.

1. Green Space Ratio (GSR)

2. LEED for Neighborhood Development (LEED ND)



اجرای مقررات نیز اهمیت دارد؛ شاید لازم باشد سازمان نظام‌مهندسی یا شهرداری‌ها کنترل اقلیمی را به چک‌لیست نظارت اضافه کنند؛ یعنی نقشه‌های معماری از نظر اقلیمی هم بررسی شوند نه فقط سازه و تأسیسات. البته این کار مستلزم تربیت کارشناسان ویژه است. به‌طور خلاصه، قوانین فعلی نیازمند به‌روز شدن منطبق با تغییرات اقلیمی را دارند. دورانی که صرفاً با کولر و سوخت‌های فسیلی فضای داخل در شرایط آسایش قرار می‌گرفت و فضای خارجی مهم نبود، گذشته است؛ حال باید قانوناً مکلف بود ساختمان و شهر طوری ساخته شود که خودبه‌خود با اقلیم سازگار باشد. این تغییر رویکرد در متن قوانین، پیام روشنی به همه ذی‌نفعان (از سازنده تا بهره‌بردار) خواهد داد که دوران معماری و شهرسازی خنثی نسبت به گرما تمام شده است.

۲-۸. تلفیق اقلیم در طرح‌های جامع و تفصیلی شهری

طرح جامع و تفصیلی، نقشه راه توسعه شهرند. اگر ملاحظات اقلیمی و کاهش گرما در آنها لحاظ نشود، اقدامات پراکنده چندان راهگشا نخواهد بود. لذا تلفیق اقلیم در برنامه‌ریزی شهری یک ضرورت است؛ به این معنا که در اسناد بالادستی هر شهر، فصلی به تحلیل اقلیمی شهر، نقاط آسیب‌پذیر از نظر گرما، و راهبردهای کالبدی برای بهبود وضعیت اختصاص یابد.

برای مثال، طرح جامع می‌تواند پهنه‌های اقلیمی شهر را مشخص کند؛ کدام مناطق بیشتر جزیره حرارتی‌اند، کدام بادگیرند و کدام نیاز به فضای سبز بیشتر دارند. سپس در کاربری زمین و پهنه‌بندی، این امر مدنظر قرار گیرد. مثلاً پهنه‌های مرکزی گرم باید تراکم کمتری بگیرند یا ملزم به ایجاد فضای باز بیشتری شوند، یا در ضوابط تفصیلی بیاید که در فلان منطقه، هر برج باید برای جریان هوا چه فاصله‌ای از برج بعدی داشته باشد.

طرح تفصیلی نیز که مقررات دقیق‌تری در مقیاس محله می‌دهد، می‌تواند ریزبینانه‌تر برخورد کند؛ برای نمونه، معرفی «معايير تنفسي» در یک ناحیه و ممنوعیت هرگونه مسدودسازی یا تغییر کاربری آنها مدنظر قرار گیرد. یا تعیین شبکه فضاهای سبز و باز مورد نیاز (همان چیزی که در بخش‌های قبل اشاره شد مثل پارک‌های کوچک که باید مکان‌یابی شود و در طرح بیاید) لحاظ شود.

علاوه بر اسناد کالبدی، برنامه‌های عملیاتی شهری نیز مهم هستند (برنامه پنج‌ساله شهرداری‌ها). این برنامه‌ها باید پروژه‌های مرتبط با خنک‌سازی را در اولویت قرار دهند؛ مثل کاهش ۲۰ درصد جزیره حرارتی در پنج سال از طریق رنگ‌آمیزی بام‌ها، نهضت درخت‌کاری، ایجاد آب‌نماها، نصب سایبان‌ها و... وقتی در بودجه رسمی شهر این پروژه‌ها تعریف شود، ضمانت اجرا پیدا می‌کند.

تجربه شهرهای پیشرو نشان می‌دهد که اگر اقلیم در مرحله برنامه‌ریزی لحاظ گردد، بسیاری از مشکلات بعدی کم می‌شود. مثلاً سنگاپور در برنامه جامع خود الزام دارد هر پروژه بزرگ، نسبت فضای سبز مشخصی تأمین کند (نسبتی که مساحت برگ‌های درختان به مساحت زمین را بیان می‌کند). یا لندن در برنامه «لندن پلن»، بخشی با عنوان فاکتور فضای سبز شهری^۱ دارد که توسعه‌دهندگان باید آن را رعایت کنند تا اثر گرمایی ساختمان‌شان جبران شود.

در ایران، هنوز طرح‌های توسعه عمدتاً بر محورهای جمعیتی، اقتصادی و کالبدی کلاسیک می‌چرخند. اما با آشکارتر شدن معضل گرمایش شهری، لازم است فصل جدیدی با عنوان «راهبردهای اقلیمی» در این طرح‌ها باز شود. شورای عالی شهرسازی و معماری ایران می‌تواند این را به‌عنوان یک ضابطه ابلاغ کند که هر طرح توسعه شهری باید پیوست اقلیمی داشته باشد. خوشبختانه پژوهش‌ها و دستورالعمل‌های داخلی هم در این باره روبه‌رشد است.

نهایتاً، در حوزه اقلیم اقدامات یکپارچه مورد نیاز است. در غیر این صورت ممکن است یک منطقه شهرداری برای کاهش گرما کاری انجام دهد، ولی منطقه مجاور با یک تصمیم نامناسب (مثلاً آسفالت کردن همه فضاهای خاکی) آن را خنثی کند. اما وقتی نقشه راه واحد باشد، همه بخش‌ها در یک جهت حرکت می‌کنند.

1. Urban Greening Factor

۳-۸. برنامه‌های اقدام گرمایی^۱

برنامه اقدام گرمایی سندی است که یک شهر یا منطقه برای آمادگی و پاسخ به موج‌های گرما و کاهش آثار جزایر حرارتی تهیه می‌کند. این برنامه‌ها در سال‌های اخیر توسط سازمان‌های بین‌المللی (مانند انجمن مدافعان منابع طبیعی،^۲ برنامه اسکان بشر سازمان ملل^۳) ترویج شده‌اند و چند شهر در جنوب آسیا پیش‌گام آن بودند. معروف‌ترین نمونه، برنامه اقدام گرمایی احمدآباد در هند است که پس از موج گرمای مرگ‌بار سال ۲۰۱۰ تدوین شد [۶۲].

یک برنامه اقدام گرمایی معمولاً شامل دو بخش است: اقدامات کوتاه‌مدت اضطراری برای حفاظت از مردم در هنگام موج گرما (مثلاً ایجاد مراکز خنک، هشدارهای زودهنگام، توزیع آب و غیره)، و اقدامات بلندمدت کاهشی برای تعدیل شرایط اقلیمی شهر (همان راهبردهای معماری و شهری که بحث شد). محور این پژوهش موضوع دوم است که در چنین برنامه‌هایی لیست، و برای اجرا زمان‌بندی می‌شود. داشتن یک برنامه اقدام گرمایی به مدیریت شهری کمک می‌کند تا کارها را اولویت‌بندی کند؛ مثلاً در برنامه می‌آید که تا سالی مشخص در آینده همه ایستگاه‌های اتوبوس دارای سایبان و مه‌پاش می‌شوند، یا طرح درخت‌کاری محلات کم‌درخت اجرا می‌شود. یکی از عناصر مهم برنامه اقدام گرمایی، ایجاد سامانه هشدار گرماست. این سامانه‌ها براساس پیش‌بینی دما و رطوبت، روزهای خطرناک را اعلام می‌کنند و سطح هشدار مشخص می‌شود. در سطوح بالاتر، برخی مقررات موقت اعمال می‌شود (مثل کاهش ساعات کار در فضای باز، یا باز کردن کتابخانه‌های شبانه برای پناه مردم). هرچند این موضوع بیشتر جنبه مدیریت بحران دارد تا طراحی شهری، بخشی از همان بسته سیاستی کلی برای شهر خنک‌تر است.

تهیه چنین برنامه‌هایی باید بر مبنای داده‌های محلی و مشارکت ذی‌نفعان باشد؛ سازمان‌های مردم‌نهاد، گروه‌های اجتماعی (مثلاً انجمن سالمندان، چون آنها آسیب‌پذیرترند) و دانشگاه‌ها می‌توانند در تدوین برنامه اقدام گرمایی دخیل شوند تا عملی و بومی باشد. در ایران، شاید هنوز اصطلاح «برنامه اقدام گرمایی» جا نیفتاده باشد، ولی بستر قانونی آن می‌تواند زیرمجموعه «برنامه‌های سازگاری با تغییر اقلیم» موضوع بند «ت» ماده ۲۲ و بند «الف» ماده ۵۵ قانون برنامه هفتم پیشرفت در نظر گرفته شود که دولت تدوین آن را شروع کرده است. کلان‌شهرهایی چون اهواز، بندرعباس، تهران و مشهد قطعاً نیازمند چنین برنامه‌هایی‌اند. به‌خصوص که طبق سناریوهای اقلیمی، موج‌های گرمای شدیدتری در آینده به وجود خواهد آمد و شهرها باید آماده شوند.

سیاست‌گذاری سطح شهر باید از حالت واکنشی خارج شود و به‌صورت برنامه‌ریزی پیش‌دستانه باشد. برنامه اقدام گرمایی نمونه چنین رویکردی است که نه فقط برای وضعیت اضطراری برنامه دارد، بلکه با مجموعه اقدامات تدریجی، به کاهش کلی دمای شهری نیز کمک می‌کند.

۴-۸. سیاست‌های تشویقی و مالی برای کاهش گرما

علاوه بر مقررات اجباری، سیاست‌های انگیزشی می‌تواند مشارکت بخش خصوصی و مردم را در خنک‌سازی شهر جلب کند. تجربه نشان داده است زمانی که مشوق‌های مالی یا امتیازات خاص ارائه شود، سرعت تحقق بسیاری از راهکارها بیشتر می‌شود. برخی سیاست‌های تشویقی موفق در جهان عبارت‌اند از:

■ **کاهش عوارض یا مالیات در قبال اجرای اقدامات سبز:** مثلاً اگر مالک یک ساختمان تجاری بام سبز اجرا کند، درصدی تخفیف در عوارض نوسازی یا مالیات ملک بگیرد یا سازنده‌ای که در پروژه‌اش ۳۰ درصد فراتر از حداقل فضای سبز مقرر شده ایجاد کند، تراکم اضافه پاداش بگیرد.

■ **یارانه مستقیم برای مصالح خنک:** شهرداری می‌تواند برنامه‌ای داشته باشد که بخشی از هزینه رنگ سفید بام یا درخت‌کاری در حیاط منازل را بپردازد یا نهال و رنگ رایگان توزیع کند. در برخی شهرهای آمریکا، طرح «خنک‌سازی محله‌ای» اجرا شده است که دولت محلی

1. Heat Action Plans

2. Natural Resources Defense Council (NRDC)

3. UN-Habitat



پول خرید درخت و کاشت آن در حیاط خانه‌ها را تأمین می‌کند، چون منفعت جمعی دارد.

■ **وام‌ها یا کمک‌های بلاعوض:** اعطای وام کم‌بهره به ساختمان‌های قدیمی برای عایق‌کاری و نصب تهویه بهینه (که گرمای کمتری بیرون دهد)، یا کمک بلاعوض برای مدارس و بیمارستان‌ها تا حیاط خود را سبز و سایه‌دار کنند.

■ **برچسب یا گواهی‌نامه تشویقی:** مثلاً برچسب ساختمان‌های خنک^۱ یا محله‌های سبز اعطا شود. این گونه گواهی‌ها شاید به‌طور مستقیم مالی نباشد، ولی ارزش اعتباری دارد [۳۶] و در درازمدت به منافع اقتصادی (مثل افزایش ارزش ملک) ترجمه می‌شود. برنامه ستاره انرژی^۲ در آمریکا نمونه‌ای است که برای کولرها، پنجره‌ها و ساختمان‌ها برچسب کارایی می‌دهد؛ می‌توان مشابه آن برای شاخص خنکی بنا برنامه‌ای تعریف کرد [۴۶].

■ **تشویق نوآوری و مسابقات:** راه‌اندازی مسابقه بهترین بام سبز، یا بهترین طراحی سایه‌بان شهری، با جوایز نقدی، هم فرهنگ‌سازی است هم ایده‌های نو می‌آورد. اخیراً اتحادیه اروپا چالشی به نام ابتکارات شهری طبیعت پایه^۳ داشته است و برای ایده‌های طبیعت‌بنیان در شهرها جوایزی را تخصیص داده است [۵۶].

یک گزینه دیگر، تغییر تعرفه خدمات شهری است. مثلاً اگر ساختمانی بامش تیره و آلاینده گرمایی است، نسبت به ساختمان خنک‌تر بیشتر عوارض بدهد. البته سنجش این موضوع شاید سخت باشد، اما احتمال دارد در آینده با تصاویر ماهواره‌ای حرارتی قابل انجام باشد که فلان بام همیشه ۵۰° سلسیوس است پس جریمه شود! در حال حاضر بیشتر بر پاداش تأکید می‌شود تا تنبیه.

در ایران هم، به‌عنوان یک نمونه مثبت، شهرداری‌ها برای نمای سبز امتیازاتی قائل شده‌اند (مثل اجازه پیش‌آمدگی فلاورباکس در نمای ساختمان تا ۱۰ سانتی‌متر بدون هیچ جریمه‌ای)، اما این‌ها کافی نیست. تشویق‌های کوچک اما هدفمند می‌تواند مردم را ترغیب کند؛ فرض کنید هر کس در کوچه خود یک درخت بکارد و دو سال نگهداری کند، درصدی تخفیف روی قبض آب بگیرد. چنین ایده‌هایی ارزش آزمودن دارند. سیاست‌های تشویقی به‌خصوص برای مالکین خصوصی که مقررات دستشان را نمی‌بندد، مهم است؛ نمی‌توان به‌اجبار همه پشت‌بام‌ها را سفید کرد، اما اگر انگیزه مالی ایجاد شود شاید خیلی‌ها داوطلب شوند، یا صاحبان مجتمع‌های تجاری ممکن است برای کاهش هزینه‌های تهویه خودشان نیز علاقه‌مند باشند اگر اندکی هم حمایت ببینند.

در مجموع، ترکیبی از اجبار و امتیاز در سیاست‌گذاری نیاز است: هم استانداردها ارتقا یابند (اجبار مقررات) و هم امتیاز مشوق‌ها برای فراتر رفتن از استاندارد داده شود؛ این راه، گذار به شهرهای خنک‌تر را تسریع خواهد کرد و بار هزینه اقدامات را بین دولت و مردم تقسیم می‌کند.

۹. نمونه‌های بین‌المللی و تجارب معاصر

در مقیاس جهانی از رهگذر تداوم زیست‌پذیری در مناطق گرم و ساحلی و هم از منظر کاهش مصرف انرژی در مناطق گرم تلاش‌های متعدد و متنوعی برای خنک‌سازی شهرها انجام شده است که بررسی و ارزیابی این تجارب می‌تواند در انتقال درس‌آموخته‌ها و ارائه راهکارهای بومی در کشور موثر باشد.

۹-۱. شهرهای گرم و خشک: فینیکس، دبی، سیدنی و ملبورن

شهرهای گرم و خشک با تابستان‌های بسیار سوزان و رطوبت پایین، چالش شدیدی در زمینه جزیره حرارتی دارند. در ایالات متحده، شهر فینیکس در آریزونا نماد این مسئله است. دمای تابستان آن به بالای ۴۵ درجه سلسیوس می‌رسد و رشد شهری بی‌رویه باعث تشدید گرما

1. Cool Building Label

2. Energy Star

3. Nature Based Urban Innovation (Naturvation)

شده است. فینیکس جزو اولین شهرهایی بود که مفهوم جزیره حرارتی در دهه ۱۹۸۰ در آن مطالعه شد و دریافتند مناطق مرکزی آن تا ۱۲ سلسیوس گرم‌تر از حومه‌اند [۶۶]. اقدامات فینیکس شامل این موارد است: رنگ آمیزی سرد معابر (پایلو ۲۰۱۷)، کاشت گسترده درختان بیابانی کم‌آب (هدف یک میلیون درخت)، احداث پارک‌های جدید با الهام از واحه (ترکیب آب و نخل). همچنین یک «کمپته گرم» تشکیل داده شد که تمام پروژه‌ها را از منظر اقلیمی رصد می‌کرد. با این تدابیر، طبق گزارش شهرداری، در برخی نقاطی که آسفالت خنک اجرا شده بود، دمای سطح تا ۷ درجه سلسیوس افت کرد [۳۱].

دبی در امارات متحده عربی نمونه‌ای دیگر است؛ دبی توسعه عمودی و سازه‌های شیشه‌ای عظیمی دارد که خود تولیدکننده گرما هستند. رطوبت در ساحل بالاست، ولی درون شهر به خاطر تهویه مطبوع شدید، خشک‌تر و داغ‌تر می‌شود. اخیراً دبی به سمت معماری سنتی خلیج فارس برگشته است؛ پروژه محله بستکیه دبی که با بادگیرها و کوچه‌های باریک احیا شده از آن نمونه‌هاست. همچنین خیابان‌های پیاده‌روی سرپوشیده‌ای ساخته شده که با سایه‌بان و مه‌پاش مجهز شده‌اند. دبی یک منطقه مخصوص به نام «منطقه خنک» هم طراحی کرده است که تمام ساختمان‌هایش پوشش بازتابنده خواهند داشت و با سیستم سرمایش مرکزی کار خواهند کرد تا حرارت کمتری بیرون دهند. برای روسازی جاده هم به‌طور آزمایشی ترکیبی از آسفالت با افزودنی دی‌اکسید تیتانیوم (برای بازتاب بیشتر و کاهش آلودگی) به کار برده‌اند [۴۲].

در استرالیا، شهرهای حاشیه صحرای مرکزی و حتی شهرهای معتدل‌تر مانند سیدنی در نواحی تازه‌ساخت حومه با مشکل گرمای افراطی روبه‌رو هستند. دولت استرالیا مطالعات زیادی درباره سقف‌های خنک داشته است و نتایج نشان می‌دهد سقف‌های روشن می‌توانند دمای سطح شهرک‌های جدید را چند درجه پایین‌تر نگاه دارند [۶۷]. برخی ایالت‌ها قوانینی وضع کرده‌اند که سقف خانه‌های نوساز نباید تیره باشد. در ملبورن، طرح سبزسازی بخش غربی صدها هکتار فضای سبز جدید در غرب خشک شهر ایجاد کرد تا اثری شبیه کمربند سبز داشته باشد. همچنین در غرب سیدنی برای محلات در حال ساخت، شرط کرده‌اند ۴۰ درصد سایه در معابر تا سال دهم وجود داشته باشد (یعنی یا به‌طور طبیعی یا با سازه). استرالیا به‌طور کلی رویکردش ترکیب سنت بومی با فناوری مدرن است. برای مثال استفاده از آب باز یافتی تصفیه شده برای آبیاری پارک‌ها در آدلاید و پرت اجرا می‌شود، تا هم سبزی‌نگی و تبخیر باشد و هم آب شرب هدر نرود.

این شهرهای گرم و خشک چند درس کلیدی دارند: اهمیت رنگ (بازتابش)، اهمیت سایه (شبه‌سازه یا طبیعی)، و اهمیت فناوری کم‌آب (چون منابع آب محدود است باید راهکارها بهینه آب مصرف کنند). همچنین نشان می‌دهند که حتی در چنین اقلیم‌های سختی، می‌توان با برنامه‌ریزی از شدت گرما کاست. شهرهای کویری ایران مانند یزد، اهواز و زاهدان می‌توانند از تجارب فینیکس و دبی بسیار بیاموزند، هر چند خود نیز پیشینه‌ای غنی دارند.

۹-۲. شهرهای گرم و مرطوب: سنگاپور، میامی، بمبئی

شهرهای گرم و مرطوب با چالش رطوبت بالا و شب‌های گرم دست‌به‌گریبان‌اند. در این شرایط، خنک‌سازی تبخیری کمتر مؤثر است (چون هوا اشباع از رطوبت است) و تهویه اهمیت بیشتری دارد.

سنگاپور نمونه بارزی است که خود را «شهر درون باغ» لقب داده است. این شهر - کشور استوایی برنامه سبزسازی گسترده از دهه ۱۹۶۰ داشته و اکنون یکی از سبزترین مناطق شهری جهان است. اما فراتر از درخت‌کاری، سنگاپور معماری نوینی خلق کرده که هدفش بهبود تهویه و کاهش دمای محسوس است؛ برج‌های بلند با باغ‌های آسمانی و پوسته‌های دوگانه‌ای که هوا را هدایت می‌کنند، خیابان‌های سایه‌دار با پوشش گیاهی انبوه، و استفاده وسیع از آب‌نماها در فضاهای عمومی (خیابان معروف اورچارد دارای جویبار مصنوعی و فواره‌های متعدد است) از آن جمله‌اند. همچنین سنگاپور مقررات سخت‌گیرانه‌ای برای گواهی ساختمان سبز دارد که شامل الزامات کاهش اثر جزیره حرارتی است. نتیجه اینکه علی‌رغم گرمای ۳۰ درجه سلسیوس و رطوبت ۸۰ درصد، راه رفتن در بسیاری از قسمت‌های شهر به مدد سایه و نسیم حاصل از طراحی،



قابل تحمل است. طبق برخی مطالعات، مناطقی از شهر تا ۴ درجه خنک‌تر از سایر نقاط غیر سبز جزیره هستند. میامی در فلوریدای آمریکا آب‌وهوای نیمه‌استوایی دارد و به «شهر ساحلی» معروف است. تمرکز میامی در سال‌های اخیر بر توسعه پارک‌های ساحلی و مانگروها^۱ بوده است که مانند کولر طبیعی عمل می‌کنند. آنها متوجه شدند تخریب مانگروهای ساحلی برای ساخت‌وساز، نه فقط حفاظ طوفان را از بین برده، بلکه نسیم خنک دریا را نیز کاهش داده است. لذا پروژه احیای سواحل با کاشت درختان حرا و ایجاد تالاب‌های مصنوعی در جنوب شهر را آغاز کردند. میامی همچنین پایلوت‌های پیاده‌راه خنک را نیز داشته است؛ یک خیابان شهر را تماماً سفیدکاری و درخت‌کاری کردند که نتیجه ۲ درجه سلسیوس کاهش دمای سطحی بود. در سیاست هم، میامی از اولین شهرهای آمریکاست که یک «مدیر تاب‌آوری گرما» استخدام کرده است تا برنامه عملی گرمایی تدوین کند. موضوع مهم آنها تأمین برق در اوج مصرف و جلوگیری از خاموشی است، چون خاموشی در اوج گرما فاجعه خواهد بود.

بمبئی در هند، با دمای بالا و رطوبت شدید آب‌وهوای حاره‌ای گرم و مرطوب دارد. این شهر بسیار متراکم و پرجمعیت است و کمبود فضای سبز دارد. یکی از پروژه‌های شاخص بمبئی، تبدیل پشت‌بام ایستگاه‌های قطار و اتوبوس به باغ است. همچنین برخی محله‌های فقیرنشین (زاغه‌ها) را با کمک سازمان مردم‌نهاد سقف‌هایشان را سفید یا آبی روشن کرده‌اند و بادبزن‌های بزرگی در کوچه‌ها نصب کرده‌اند. بمبئی از شهرهای پیشرو هند در تدوین برنامه حرارتی است و تمرکز آن بیشتر بر جلوگیری از مرگ‌ومیر و تأمین آب آشامیدنی در اوج گرماست. اما اخیراً روی کاهش جزایر حرارتی هم کار می‌کنند؛ مثلاً کارخانه‌های حاشیه شهر که گستره بام بزرگی دارند موظف شده‌اند بامشان را روشن کنند، و طرح ایجاد پارک‌های بارانی در ۳۰۰ نقطه را دارند که هم جذب سیلاب کند هم محیط را خنک‌تر سازد.

چالش شهرهای گرم و مرطوب این است که شب‌ها هم به سختی خنک می‌شوند و کولرهای گازی ۲۴ ساعته کار می‌کنند و خود گرما می‌دمند. بنابراین، این شهرها برای شکستن چرخه معیوب، به سمت سرمایش غیرفعال ترکیب شده با فناوری می‌روند. سنگاپور با شبکه خنک‌کننده منطقه‌ای سعی کرده است راندمان را بالا ببرد تا گرمای اتلافی کاهش یابد، یا میامی روی کولرهای حرارت‌باز یافت^۲ سرمایه‌گذاری می‌کند تا گرمای دفعی به برق تبدیل شود.

به‌طور کل، از این شهرها می‌توان آموخت که در رطوبت بالا، باد و سایه، قهرمانان اصلی‌اند. تبخیر زیاد فقط شرحی‌تری می‌کند، پس باید تا جای ممکن بافت شهری را باز و پرنسیم کرد. برای شهرهای ساحلی شرحی ایران (مثل بندرعباس، بوشهر) این نکته بسیار مهم است.

۱۰. راهبردهای پیشنهادی برای شهرهای ایران

۱۰-۱. راهکارهای ویژه برای شهرهای ساحلی گرم و مرطوب

شهرهای ساحلی جنوب ایران (بندرعباس، بوشهر، چابهار و...) و حتی کناره دریای خزر در تابستان آب‌وهوایی گرم و بسیار مرطوب دارند. ویژگی این اقلیم، دمای بالای شبانه و رطوبت بالاست که تعریق بدن را بی‌اثر می‌کند و گرمازایی تجهیزات سرمایشی هم مزید بر علت می‌شود. راهبردهای کاهش گرما در این شهرها باید تأکید ویژه بر تهویه و کاهش رطوبت داشته باشد:

■ **بازگشایی دالان‌های باد در جهت دریا:** در شهرهای ساحلی جنوب، نسیم دریا در اواخر شب و بامداد وجود دارد. شبکه معابر و فضاها باز باید طوری سامان یابد که این نسیم به اعماق شهر نفوذ کند. مثلاً ایجاد یک محور باز شمال-جنوب از سمت ساحل به داخل شهر، یا تخریب ساختمان‌های خیلی بلند در لبه ساحلی که مثل سد عمل می‌کنند.

۱. همان جنگل‌های حرا هستند که همچون کولر طبیعی عمل می‌کنند، چون از طریق تبخیر و تعرق شدید، رطوبت را افزایش و دمای محلی را کاهش می‌دهند.

■ **افزایش ارتفاع فضاهای زیرساختی:** خیلی از خانه‌های سنتی بندر روی پیلوت (سکو) ساخته می‌شدند تا هوا در زیر خانه بچرخد و رطوبت زمین بالا نیاید. در ساخت و سازهای جدید هم می‌توان توصیه کرد طبقه همکف باز و مشبک باشد (برای پارکینگ یا فضای نیمه‌باز) تا کوران هوا زیر بنا شکل گیرد.

■ **سایه و سرپناه گسترده:** در این اقلیم شاید کاشت برخی درختان پرشاخ و برگ مانند شمال امکان‌پذیر نباشد (به دلیل شوری و کم‌آبی)، لذا باید با سازه‌ها سایه تأمین کرد. گسترش ساباط‌ها، بازارهای سرپوشیده با بادبزن، استفاده از جنس حصیری سنتی برای ایجاد آلاچیق‌های بزرگ عمومی در سواحل، همه مفید است.

■ **رنگ‌های بسیار روشن:** به دلیل تابش شدید آفتاب و آسمان صاف، بهتر است سطح شهر تا حد امکان روشن و سفیدپوش باشد. نما و بام ساختمان‌ها می‌توانند با گچ، آهک یا رنگ‌های سفید سنتی - همانند معماری بومی جزایر خلیج فارس - پوشانده شوند؛ این اقدام، ساده، اما مؤثر است و نقش چشمگیری در کاهش جذب گرما دارد.

■ **استفاده از نخلستان‌ها و کمربند سبز مقاوم:** در جنوب ایران، نخل خرما به عنوان یکی از درختان بومی نقش مهمی ایفا می‌کند؛ چراکه هم سایه‌ای مناسب فراهم می‌آورد و هم نسبت به شوری خاک و گرمای شدید مقاوم است. احیای نخلستان‌های حاشیه شهرها و توسعه آنها به عنوان فضای سبز شهری می‌تواند یک راهبرد برد-برد باشد؛ زیرا علاوه بر کارکرد اقلیمی در خنک‌سازی محیط، ارزش اقتصادی نیز برای شهر و ساکنان به همراه دارد. با این حال، به دلیل بحران آب، هرگونه توسعه سبز فقط در قالب کمربندهای مقاوم و کم‌مصرف آب و با اتکای کامل به پساب تصفیه شده، آب لب‌شور و رواناب شهری مجاز است. آبیاری باید به صورت قطره‌ای زیر سطحی انجام شود و مالچ‌پاشی زیستی و کم‌آبیاری مرحله‌ای الزامی است.

■ **تهویه مکانیکی و رطوبت‌زدایی در اماکن عمومی:** در چنین اقلیم‌هایی، گاهی رطوبت بالا حتی بیش از دما آزاردهنده است. به همین دلیل، نصب دستگاه‌های رطوبت‌گیر صنعتی در مکان‌هایی مانند سالن‌های انتظار، بیمارستان‌ها و ایستگاه‌ها می‌تواند با کاهش بخار آب موجود در هوا، احساس گرما را به شکل محسوسی کم کند. این دستگاه‌ها علاوه بر ایجاد شرایط مطلوب‌تر، محصول جانبی ارزشمندی یعنی آب مقطر نیز تولید می‌کنند. همچنین به کارگیری فن‌های بزرگ در فضاهای تجمعی - مانند بازارهای ماهی‌فروشان - با ایجاد گردش هوا از رکود و ماندگاری هوای شرجی جلوگیری می‌کند و شرایط آسایش حرارتی بهتری فراهم می‌سازد.

■ **مصالح با جرم حرارتی کمتر:** به کارگیری بتن و آسفالت که گرما را در طول روز جذب و در شب آزاد می‌کنند، در مناطقی که شب‌ها نیز گرم هستند توصیه نمی‌شود؛ زیرا نه فقط موجب خنک شدن نمی‌شوند، بلکه دمای محیط را بالاتر نگاه می‌دارند. در این شرایط، مناسب‌تر است از کف‌پوش‌های سبک‌تر و آب‌دوست استفاده شود؛ برای نمونه، سنگ‌فرش به جای آسفالت یا ترکیبی از خاک تثبیت شده مناسب است. همچنین در خصوص دیوارهای ساختمان، بهتر است ضخامت آنها متوسط انتخاب شود، نه خیلی نازک که عایق نباشند و نه بیش از حد ضخیم که امکان خنک شدن شبانه را از دست بدهند.

■ **زیرساخت‌های آبی خنک‌کن:** شهرهای ساحلی این امکان را دارند که از آب دریا به عنوان منبع طبیعی سرمایش استفاده کنند. یکی از روش‌های نوین در این زمینه، استفاده از سیستم‌های تبادل حرارتی با آب دریاست^۱ که نمونه‌هایی از آن در پروژه‌هایی در قطر و بحرین با موفقیت به کار گرفته شده است. علاوه بر این، ایجاد آب‌نماها و فضاهای آبی شهری با بهره‌گیری از گردش آب نسبتاً خنک دریا، می‌تواند به تعدیل دما و افزایش کیفیت اقلیمی فضاهای عمومی کمک کند و محیطی مطبوع‌تر برای شهروندان فراهم آورد.

برای شهرهای گرم و مرطوب چهار اصل کلیدی مطرح است: باد، سایه، رنگ روشن و فناوری رطوبت‌زدا. نبود جریان باد کافی می‌تواند این شهرها را به فضایی شبیه سونا بدل کند. نمونه‌های تاریخی نیز همین اهمیت را نشان می‌دهند؛ مانند بادگیرهای هشت‌وجهی بندر لنگه یا

1. Seawater District Cooling (SDC)



خانه‌های سنتی بوشهر که با بادخورهای بزرگ، جریان هوا را در فضاهای باز هدایت و شرایط زیست‌پذیرتری را فراهم می‌کنند.

۲-۱۰. راهکارهای ویژه برای شهرهای گرم و خشک

شهرهای کویری و نیمه‌کویری ایران مانند یزد، کرمان، شیراز، قم و حتی اهواز (گرم و نسبتاً مرطوب) با گرمای شدید روز، آفتاب سوزان و کمبود آب شناخته می‌شوند؛ هر چند اغلب شب‌ها خنک‌تر هستند. راهبردهای اختصاصی برای این اقلیم عبارت‌اند از:

■ **احیای شبکه قنات و آب‌های سطحی شهری:** بسیاری از این شهرها در گذشته دارای قنات‌ها و جوی‌های پرآب بوده‌اند که اکنون خشک یا متروک شده‌اند. احیای این شبکه‌ها - حتی به صورت نمادین با پمپاژ آب سالم - می‌تواند به ایجاد رطوبت و خنکی موضعی کمک کند. نمونه روشن آن جاری شدن دوباره زاینده‌رود در اصفهان است که کاهش فوری دمای محیط را به همراه داشت. در یزد نیز طرحی برای جاری کردن آب در بخش تاریخی شهر مطرح شده است.

■ **گسترش سطوح سبز کم‌آب‌بر:** در این مناطق امکان کاشت چمن‌های پرآب‌بر وجود ندارد؛ اما استفاده از گونه‌های مقاوم مانند گز، کهور، سنجد تلخ، تاغ و سایر گیاهان بومی می‌تواند مؤثر باشد. ایجاد پارک‌های بیابانی^۱ با پوشش بومی، علاوه بر زیبایی و ارزش اکولوژیک، به خنک‌سازی محیط کمک می‌کند. پارک سرخه حصار تهران نمونه‌ای موفق از چنین الگوهایی است.

■ **تأکید بر جرم حرارتی و خنک‌سازی شبانه:** برخلاف مناطق مرطوب، در این اقلیم استفاده از دیوارهای ضخیم و مصالح سنگین مناسب است، زیرا اختلاف دمای شب و روز بالاست. همچنین ترویج فرهنگ شب‌زیستی اهمیت دارد؛ یعنی انتقال بخشی از فعالیت‌ها به ساعات غروب و شب. برای تحقق این رویکرد، شهر باید امکانات شبانه مانند روشنایی پارک‌ها و امنیت عمومی را تقویت کند.

■ **گردش هوا از ارتفاعات:** بسیاری از شهرهای داخلی مانند کرمان و شیراز در مجاورت ارتفاعات قرار دارند. شبانگاه، هوای سرد کوهستان به پایین سرازیر می‌شود. لازم است این مسیرها در حاشیه شهرها مسدود نشوند و حتی می‌توان با ایجاد کانال یا مسیرهایی در بافت شهری، جریان هوا را هدایت کرد. طرح بازگشایی مسیر خشک از کوه دراک به شیراز نمونه‌ای از این ایده است که هم به کنترل سیلاب و هم به ایجاد کریدور هوا کمک می‌کند.

■ **پوشش‌های منعکس‌کننده گردوغبار:** در اقلیم‌های کویری گردوغبار یک معضل جدی است. سطوح براق و بسیار روشن به سرعت کثیف می‌شوند و کارایی خود را از دست می‌دهند. به همین دلیل استفاده از پوشش‌های خودتمیزشونده که گردوغبار به آنها نمی‌چسبد، راهکار مناسبی است. این فناوری هم‌اکنون در شیشه‌ها و رنگ‌های حاوی نانوذرات کاربرد دارد.

■ **سرمایش تبخیری هوشمند:** کولر آبی به طور سنتی در این مناطق رایج است، اما نیازمند ارتقا است. استفاده از پدهای جدید با بازده بالاتر و مصرف آب کمتر، نصب تایمر و کنترلر دما برای خاموشی خودکار در شب، و در سطح شهری احداث برج‌های خنک‌کننده تبخیری مرکزی^۲ می‌تواند جایگزین کولرهای پراکنده شود و گرمای کمتری به محیط بازگرداند.

■ **محدود کردن سطوح آسفالتی بزرگ:** فضاهایی مانند پارکینگ‌ها و ترمینال‌ها در این اقلیم‌ها به «کوره‌های حرارتی» تبدیل می‌شوند. پوشاندن این سطوح با سایه‌بان، استفاده از مواد جایگزین یا طراحی پارکینگ‌های زیرزمینی و تبدیل سطح رویی به فضای سبز یا پلازا از راهکارهای مؤثر است.

■ **طاق‌ها و بادگیرهای مدرن:** بازطراحی فرم‌های سنتی مانند طاق و گنبد، که سطح کمتری در معرض خورشید قرار می‌دهند، می‌تواند در معماری معاصر به کار رود. همچنین بادگیرها می‌توانند با چهره‌ای مدرن و سازه‌های سبک فلزی بازطراحی شوند؛ عناصری که علاوه بر کارکرد تهویه، هویت بخش شهر نیز هستند.

1. Desert Parks
2. District Cooling

برای شهرهای گرم و خشک، اصول اصلی عبارت‌اند از: حفظ سرمای شبانه، بهره‌گیری از معماری درون‌گرا، کاهش سطوح جاذب حرارت و استفاده حداکثری از آب برای سرمایش تبخیری. خوشبختانه اکثر شهرهای کویری ایران دارای بافت‌های تاریخی و تجربیات بومی ارزشمندی هستند که فقط کافی است با فناوری و دانش امروز به‌روز شوند.

۳-۱۰. اقدامات سطح سیاست‌گذاری کلان

در سطح ملی و استانی، دولت می‌تواند پشتیبان شهرهای خنک‌تر باشد و از طریق مجموعه‌ای از سیاست‌ها و برنامه‌ها مسیر کاهش گرمایش شهری را هموار کند:

■ **تدوین سند برنامه ملی تغییر اقلیم:** ضروری است که در سطح کلان، برنامه ملی تغییر اقلیم به‌عنوان چارچوب اصلی سیاست‌گذاری کشور، بخشی ویژه و مستقل را به موضوع گرمایش شهری و مدیریت جزایر حرارتی اختصاص دهد. این بخش باید فراتر از توصیه‌های کلی، دارای اهداف کمی و زمان‌بندی شده باشد؛ برای مثال کاهش ۵۰ درصدی تعداد روزهای بادمای بالای ۴۰ درجه در محدوده‌های شهری تا یک سال معین برنامه ریزی شود. همچنین، سند باید مجموعه‌ای از اقدامات بین‌بخشی هماهنگ را تعریف کند که در آن وظایف دستگاه‌های مختلف (وزارت راه و شهرسازی، وزارت نیرو، وزارت کشور، وزارت بهداشت، سازمان محیط زیست، شهرداری‌ها و مراکز پژوهشی) به‌طور دقیق مشخص شده باشد.

این برنامه می‌تواند شامل این محورها باشد:

✓ **استانداردگذاری ملی:** تدوین و اجرای استانداردهای اجباری در حوزه ساختمان (مانند الزام به بام سبز و سرد، مصالح بازتابنده، تهویه طبیعی) و در حوزه شهرسازی (مانند نسبت فضای سبز، طراحی بادراه‌ها و سایه‌اندازی).

✓ **نظام پایش و گزارش دهی:** ایجاد سامانه ملی برای پایش مستمر دمای شهری، مصرف انرژی، و شاخص‌های سلامت مرتبط با گرما و انتشار گزارش‌های دوره‌ای جهت ارزیابی میزان تحقق اهداف.

✓ **ابزارهای مالی و حمایتی:** تخصیص منابع ویژه در بودجه‌های سالیانه و طراحی مشوق‌های اقتصادی (وام، یارانه، معافیت‌های مالیاتی) برای شهرداری‌ها و بخش خصوصی جهت اجرای طرح‌های کاهش گرما.

✓ **دیپلماسی اقلیمی و انتقال فناوری:** استفاده از ظرفیت پیمان‌های بین‌المللی مانند توافق پاریس برای جذب منابع مالی و بهره‌گیری از تجارب کشورهای موفق در مدیریت گرمایش شهری.

✓ **آموزش و ظرفیت‌سازی:** گنجاندن آموزش تغییر اقلیم و طراحی اقلیمی در دانشگاه‌ها، دوره‌های تخصصی برای مدیران شهری، و کمپین‌های آگاهی‌بخشی عمومی به شهروندان در زمینه رفتارهای کاهنده گرما.

در نهایت پیشنهاد می‌شود که دولت مکلف شود در اجرای بند «ت» ماده (۲۲) قانون برنامه هفتم، «برنامه ملی مدیریت گرمایش شهری» را با محورهای استانداردگذاری برای ساختمان و شهرسازی، پایش و گزارش دهی سراسری، ابزارهای مالی و حمایتی، دیپلماسی اقلیمی و آموزش و ظرفیت‌سازی، ظرف ۶ ماه تهیه کند و به تصویب هیئت وزیران برساند. دستگاه‌های اجرایی ذی‌ربط مکلف شوند که طی مدت مقرر، آیین‌نامه‌های اجرایی، ضوابط فنی و شاخص‌های سنجش‌پذیر را ابلاغ و گزارش پیشرفت سالیانه را به مجلس شورای اسلامی ارسال کنند.

■ **بازنگری مقررات و استانداردها:** ضروری است که مبحث ۱۹ مقررات ملی ساختمان و سایر آیین‌نامه‌های مرتبط با طراحی و ساخت، به‌روزرسانی و با الزامات اقلیمی و کاهش گرمایش شهری منطبق شوند. این بازنگری باید علاوه بر الزام به عایق کاری و بهینه‌سازی مصرف انرژی، شامل ضوابط ویژه برای بام‌های سرد و سبز، نمای بازتابنده، تهویه طبیعی و طراحی سایه‌انداز نیز باشد. در کنار آن، سازمان ملی استاندارد ایران باید شاخص‌های فنی معتبری همچون ضریب شاخص بازتاب کل خورشیدی^۱



و سایر معیارهای مرتبط با مصالح خنک را تدوین و اجباری کند. براساس این ضوابط، تولیدکنندگان مصالح ساختمانی ملزم شوند محصولات خود را با برچسب انرژی و برچسب اقلیمی عرضه کنند تا انتخاب برای طراحان، پیمانکاران و مالکان شفاف‌تر باشد. این اقدام می‌تواند مشابه تجربه‌های موفق جهانی (مانند کدهای ساختمانی در ایالات متحده، ژاپن و اتحادیه اروپا) زمینه‌ساز بازار مصالح پایدار در کشور شود و در کنار کاهش مصرف انرژی، به کاهش محسوس دمای سطحی شهرها نیز کمک کند.

■ **اعتبارات و تسهیلات:** یکی از مهم‌ترین ابزارهای اجرایی برای کاهش گرمای شهری، تخصیص اعتبارات هدفمند و تسهیلات مالی کم‌بهره است. دولت می‌تواند از طریق وام‌های ارزان‌قیمت ویژه برای شهرداری‌ها و نهادهای محلی، زمینه اجرای پروژه‌های سبز و اقلیم‌محور را فراهم کند. همچنین ضروری است که در بودجه سالیانه سازمان برنامه و بودجه، ردیف‌های مشخص و پایدار برای طرح‌های خنک‌سازی شهری (مانند توسعه فضاهای سبز، اجرای بام و نمای خنک، احداث کمر بند سبز و بهبود مصالح زیرساختی) لحاظ شود.

الگوگیری از تجربه طرح بازآفرینی شهری نشان می‌دهد که تخصیص ردیف اعتباری ویژه، می‌تواند محرک مهمی برای اجرای اقدامات اقلیمی در محلات فرسوده و کم‌برخوردار باشد. در این چارچوب، پیشنهاد می‌شود علاوه بر منابع دولتی، سازوکارهای تأمین مالی ترکیبی همچون مشارکت بخش خصوصی، استفاده از اوراق سبز شهری و بهره‌گیری از کمک‌های بین‌المللی مرتبط با تغییر اقلیم نیز در دستور کار قرار گیرد. چنین سیاستی نه فقط به اجرای پروژه‌های خنک‌سازی سرعت می‌بخشد، بلکه موجب عدالت اقلیمی می‌شود؛ زیرا مناطق آسیب‌پذیرتر و فقیرتر که بیشترین فشار گرمایی را تحمل می‌کنند، می‌توانند زودتر از منافع این اقدامات بهره‌مند شوند.

■ **ظرفیت‌سازی و آموزش:** دوره‌های آموزشی برای شهرداران، مهندسان مشاور و پیمانکاران در زمینه طراحی اقلیمی و فناوری‌های نو برگزار شود. گنجاندن دروس مرتبط با اقلیم شهری و پدیده جزیره حرارتی در برنامه‌های آموزشی دانشگاه‌های معماری و شهرسازی تأکید گردد. همچنین ایجاد یک مرکز ملی تحقیقات شهرهای تاب‌آور در برابر گرما (برای مثال در پژوهشکده هواشناسی یا مرکز تحقیقات ساختمان) بررسی شود. به علاوه به منظور تصمیم‌سازی مبتنی بر شواهد و پرهیز از تحمیل هزینه‌های فاقد بازده، اجرای یک برنامه ملی پژوهش، پایش و ارزیابی در خصوص نقش اقدامات مذکور در کاهش دمای محیط در داخل کشور ضروری است.

■ **الزام دستگاه‌های دولتی:** ساختمان‌های اداری و دولتی به دلیل وسعت، پراکندگی در سطح کشور و سهم قابل توجه از مصرف انرژی شهری، می‌توانند به عنوان الگوی پیشرو در خنک‌سازی شهری عمل کنند. از این رو، لازم است:

✓ وزارتخانه‌ها و سازمان‌های دولتی موظف شوند در کوتاه‌ترین زمان، بام ساختمان‌های خود را به یکی از دوروش بام سبز یا بام سفید تجهیز کنند. این اقدام علاوه بر کاهش دمای موضعی و مصرف انرژی، جنبه الگوسازی اجتماعی نیز دارد و شهروندان را به اجرای اقدامات مشابه در بخش خصوصی ترغیب می‌کند.

✓ وزارت راه و شهرسازی در تمام پروژه‌های ملی به ویژه طرح‌های مسکن ملی، به رعایت الزامات اقلیمی (مانند استفاده از مصالح بازتابنده، طراحی سایه‌اندازها، تهویه طبیعی و پیش‌بینی فضای سبز کافی) ملزم باشد. درج این الزامات در دفترچه‌های فنی و اسناد مناقصات، می‌تواند از همان ابتدا اجرای آنها را تضمین کند.

✓ سایر نهادهای عمومی و حاکمیتی همچون شهرداری‌ها، دانشگاه‌ها، و سازمان‌های خدماتی نیز باید به این تکلیف پایبند باشند تا پوشش بام‌های سبز/سرد به یک جریان فراگیر در سطح ملی تبدیل شود.

این سیاست در بسیاری از کشورها از جمله ژاپن به عنوان بخشی از مقررات ملی اجرا شده و نتایج آن کاهش چشمگیر دمای سطحی و مصرف انرژی در ساختمان‌های عمومی بوده است. ایران نیز می‌تواند با الزام دستگاه‌های دولتی به رعایت این الگو، نخستین گام جدی در مسیر نهادهای خنک‌سازی شهرهای تاب‌آور به گرما را بردارد.

چنین اقداماتی علاوه بر کاهش فشار بر شبکه برق در اوج بار تابستان، به‌طور مستقیم موجب کاهش دمای محلی و ارتقای تاب‌آوری شهرها در برابر موج‌های گرما می‌شود. تجربه‌های موفق در کشورهایی مانند هند و اسپانیا نشان داده است که ترکیب اصلاح فناوری به علاوه مدیریت تقاضا می‌تواند مصرف انرژی سرمایشی را تا ۲۰ درصد کاهش دهد.

■ **پایش و فناوری:** یکی از پیش‌نیازهای اصلی برای مدیریت هوشمند گرمایش شهری، داده‌های دقیق و در مقیاس خرد است. به همین دلیل لازم است شبکه‌ای گسترده از ایستگاه‌های هواشناسی محلی، حسگرهای محیطی و سامانه‌های هوشمند پایش اقلیم شهری ایجاد شود.

✓ **ایستگاه‌های هواشناسی و حسگرهای شهری:** نصب ایستگاه‌های ثابت و حسگرهای پرتابل در محلات مختلف، امکان اندازه‌گیری دقیق دما، رطوبت، سرعت باد و آلودگی هوا را فراهم می‌کند. این داده‌ها می‌توانند نقشه‌های حرارتی محلات را به‌صورت برخط تولید کنند.

✓ **سامانه‌های هشدار موج گرما:** توسعه و استقرار سامانه‌های هشدار سریع، که بر پایه داده‌های هواشناسی و سناریوهای تغییر اقلیم کار می‌کنند، می‌تواند به کاهش تلفات انسانی کمک کند. چنین سامانه‌هایی در کشورهای پیشرو (مانند هند و آمریکا) به‌طور موفق اجرا شده‌اند و از طریق پیامک، اپلیکیشن‌های موبایلی و رسانه‌های عمومی به مردم هشدار می‌دهند.

✓ **ارتباط میان سازمان هواشناسی و مدیریت شهری:** سازمان هواشناسی باید داده‌های ریزمقیاس را به‌صورت مستقیم و به‌موقع در اختیار شهرداری‌ها قرار دهد تا مدیران شهری بتوانند تصمیم‌های فوری (مانند بازگشایی پناهگاه‌های حرارتی، تنظیم آبیاری فضای سبز، یا تغییر زمان فعالیت کارگاه‌ها) اتخاذ کنند.

✓ **بهره‌گیری از فناوری‌های نوین:** استفاده از اینترنت اشیا برای شبکه‌سازی حسگرهای شهری، به‌کارگیری تصاویر ماهواره‌ای و داده‌های سنجش از دور برای تحلیل تغییرات دمایی در طول زمان، و ترکیب این داده‌ها با مدل‌های شبیه‌سازی اقلیمی می‌تواند تصویر جامعی از وضعیت حرارتی شهرها ارائه دهد.

✓ **پلتفرم‌های داده‌باز:** انتشار عمومی داده‌های پایش برای پژوهشگران، شرکت‌های دانش‌بنیان و شهروندان موجب افزایش شفافیت و توسعه راه‌حل‌های خلاقانه در سطح محلات خواهد شد.

این سیاست اگر با حمایت مالی دولت و همکاری نزدیک میان سازمان هواشناسی، شهرداری‌ها، وزارت ارتباطات و مراکز پژوهشی اجرا شود، می‌تواند پایه‌ای برای شکل‌گیری مدیریت اقلیم شهری هوشمند در ایران باشد.

■ **تبلیغات و فرهنگ‌سازی ملی:** تغییر الگوی رفتاری و نگرش عمومی نسبت به پدیده گرمایش شهری بدون آگاهی‌رسانی و آموزش فراگیر امکان‌پذیر نیست. از این‌رو سیاستگذاران باید بر رسانه‌ها، مدارس و نهادهای فرهنگی سرمایه‌گذاری کنند:

✓ **رسانه ملی و شبکه‌های اجتماعی:** تولید برنامه‌های تلویزیونی و رادیویی با محوریت ارزش درخت‌کاری و کاهش دما، معرفی تجربه‌های موفق داخلی و خارجی (مثلاً محله‌هایی که با افزایش پوشش سبز خنک‌تر شده‌اند)، و ساخت مستندهای کوتاه برای جلب توجه عموم، توصیه می‌شود.

✓ **برگزاری مسابقات و پویش‌ها:** راه‌اندازی مسابقات تلویزیونی یا آنلاین با موضوع «بهترین ایده خنک‌سازی محله» که در آن شهروندان ایده‌ها و ابتکارات خود را ارائه دهند. چنین مسابقاتی هم خلاقیت اجتماعی را برمی‌انگیزد و هم ایده‌های بومی و ارزان تولید می‌کند.

✓ **مدارس و دانشگاه‌ها:** گنجاندن پروژه‌های زیست‌محیطی در برنامه‌های درسی، مانند کاشت یک درخت توسط هر کلاس و ثبت گزارش رشد آن، یا پروژه‌های دانشجویی در معماری و شهرسازی برای طراحی محله‌های خنک از این موارد است. این اقدامات نسل آینده را از همان ابتدا با مفهوم «مدیریت اقلیم شهری» آشنا می‌کند.

✓ **استفاده از ظرفیت نهادهای دینی و فرهنگی:** مساجد، هیئت‌ها و فرهنگ‌سراها می‌توانند در قالب خطبه‌ها، جلسات یا کارگاه‌ها، اهمیت کاهش گرما و حفاظت از فضای سبز را به مردم منتقل کنند.



این بخش در واقع مکمل اقدامات فنی و مقرراتی است و باعث می‌شود شهروندان نه به عنوان مخاطب منفعل، بلکه بازیگران فعال در فرایند کاهش گرمایش شهری حضور داشته باشند.

■ **دیپلماسی و همکاری بین‌المللی:** گرمایش شهری و تغییر اقلیم موضوعی صرفاً محلی نیست، بلکه چالشی فراملی است که نیازمند همکاری منطقه‌ای و جهانی است. در این راستا، ایران می‌تواند از ظرفیت‌های دیپلماسی محیط زیستی برای هم‌افزایی در حوزه خنک‌سازی شهری بهره‌گیرد:

✓ **پروژه‌های منطقه‌ای:** مشارکت فعال در برنامه‌های خنک‌سازی شهرهای خاورمیانه که توسط نهادهایی مانند برنامه اسکان بشر ملل متحد^۱ یا برنامه محیط زیست ملل متحد آشتیبانی می‌شوند می‌تواند به تبادل تجربه و دسترسی به منابع مالی و فنی بین‌المللی منجر شود.

✓ **تبادل تجربه با کشورهای همسایه:** همکاری نزدیک با کشورهای نظیر امارات، قطر و هند که در زمینه راهکارهای نوین خنک‌سازی (مانند خنک‌سازی محله‌ای با استفاده از آب دریا یا اجرای بام‌های سبز در مقیاس وسیع) پیش‌گام‌اند، می‌تواند به بومی‌سازی فناوری‌های مشابه در ایران کمک کند.

✓ **بهره‌گیری از کمک‌های فنی و مالی سازمان‌های بین‌المللی:** سازمان‌های بین‌المللی ظرفیت‌های گسترده‌ای در حمایت مالی، انتقال دانش و آموزش نیروی انسانی دارند. ایران می‌تواند با پیوستن رسمی به برخی از این شبکه‌ها، هم در پروژه‌های پایلوت مشارکت کند و هم از نتایج پژوهشی و استانداردهای بین‌المللی استفاده نماید.

✓ **تقویت جایگاه علمی و دانشگاهی:** همکاری پژوهشگران و دانشگاه‌های ایران با مراکز علمی معتبر جهان در حوزه تغییر اقلیم و معماری اقلیمی (مانند پروژه‌های مشترک با اروپا یا شرق آسیا) باعث ارتقای سطح دانش داخلی و اعتبار بین‌المللی کشور خواهد شد.

چنین همکاری‌هایی نه فقط موجب دسترسی ایران به فناوری‌های روز و منابع مالی خارجی می‌شود، بلکه اعتبار دیپلماسی محیط زیستی ایران را نیز تقویت می‌کند و به حل مشترک یکی از مهم‌ترین چالش‌های آینده منطقه یعنی «گرمایش شهری» کمک خواهد کرد.

۴-۱۰. اقدامات سطح مدیریت شهری

در سطح مدیریت شهری (شهرداری‌ها و شوراهای محلی)، مجموعه‌ای از اقدامات اجرایی می‌تواند به کاهش اثر جزایر حرارتی و بهبود آسایش اقلیمی شهرها کمک کند:

■ **تهیه برنامه اقدام شهری:** هر شهر باید یک برنامه ۵ تا ۱۰ ساله (برنامه عملی گرمایی محلی) برای کاهش گرمایش شهری تدوین کند که در آن اهداف، پروژه‌ها، زمان‌بندی، مسئولان و منابع مالی مشخص باشد. تجربه‌های موفق جهانی مانند برنامه اقدام گرمایی شهر احمدآباد هند یا طرح‌های مشابه در فینیکس نشان داده‌اند که وجود چنین برنامه‌ای، علاوه بر کاهش تلفات ناشی از موج‌های گرما، موجب ارتقای کیفیت زندگی شهری و افزایش تاب‌آوری اجتماعی نیز می‌شود.

■ **اصلاح طرح‌های توسعه:** در بازنگری طرح‌های جامع و تفصیلی، پیوست اقلیمی الزامی گردد. شوراهای شهر نیز می‌توانند مصوباتی مانند «مصوبه بام سبز» تصویب کنند که در بسیاری از کلان‌شهرهای جهان تجربه شده و لازم‌الاجراست. اجرای چنین اصلاحاتی موجب می‌شود که سیاست‌های خنک‌سازی شهری نه به صورت پروژه‌های مقطعی، بلکه در قالب چارچوب‌های حقوقی پایدار در فرایند توسعه شهری ایران نهادینه شوند.

■ **اجرای پروژه‌های پایلوت:** شهرداری‌ها می‌توانند با اجرای پروژه‌های پایلوت نوآورانه، راهکارهای خنک‌سازی شهری را در مقیاس کوچک

1. UN-Habitat
2. UNEP

آزمایش کنند و پس از ارزیابی نتایج، آنها را در سطح گسترده‌تر به کار گیرند. برای نمونه، اجرای پوشش بازتابنده در یک خیابان منتخب (خیابان سفید) به کاهش دمای سطح و ارتقای آسایش حرارتی کمک می‌کند؛ پوشاندن یک پارکینگ بزرگ با پنل‌های خورشیدی (پارکینگ خورشیدی) ضمن تأمین برق، سایه خنک فراهم می‌سازد؛ کاشت گسترده درختان بومی مقاوم به کم‌آبی در یک محله (محله سبز) امکان سنجش آثار زیست‌محیطی و حرارتی را فراهم می‌کند؛ و تجهیز چند ایستگاه اتوبوس یا میدان شهری به سایبان، مه‌پاش یا بام سبز کوچک (ایستگاه‌های خنک‌سازی عمومی) می‌تواند به عنوان الگویی عملی برای توسعه گسترده‌تر در سطح شهر عمل کند.

■ **توسعه حمل و نقل عمومی و برقی:** خودروها و ناوگان حمل و نقل شهری نه فقط منبع اصلی آلودگی هوا هستند، بلکه سهم قابل توجهی در تولید گرمای شهری نیز دارند. استفاده از اتوبوس‌های برقی و ناوگان حمل و نقل پاک می‌تواند دمای سطح خیابان‌ها را به میزان محسوسی کاهش دهد. علاوه بر این، طراحی و توسعه مسیرهای دوچرخه‌سواری سایه‌دار با درخت کاری یا سازه‌های سبک، شهروندان را به جایگزینی خودروهای شخصی کولردار تشویق می‌کند. تجربه شهرهایی چون پاریس، کپنهاگ و شنزن نشان داده است که سرمایه‌گذاری در حمل و نقل برقی و مسیرهای سبز دوچرخه‌سواری، ضمن کاهش مصرف انرژی و آلودگی، موجب افزایش تاب‌آوری شهر در برابر موج‌های گرمایی می‌شود. برای ایران نیز حرکت به سمت ناوگان برقی و تقویت زیرساخت‌های حمل و نقل عمومی باید به عنوان راهبردی دوگانه در کاهش آلودگی و گرمایش شهری مورد توجه قرار گیرد.

■ **مدیریت سطح آب و آبیاری:** آب به عنوان یک منبع محدود در شهرهای ایران باید به گونه‌ای مدیریت شود که بیشترین کارکرد اقلیمی و خنک‌کنندگی را داشته باشد. یکی از راهکارهای مؤثر، اجرای آبیاری شبانه فضای سبز است؛ زیرا در این حالت رطوبت در خاک ذخیره می‌شود و در طول روز از طریق تبخیر و تعرق به کاهش دمای محیط کمک می‌کند.

■ **نظارت بر ساخت و ساز:** اجرای ضوابط اقلیمی در حوزه معماری و شهرسازی فقط زمانی اثربخش خواهد بود که با نظارت مؤثر شهرداری‌ها همراه باشد. شهرداری باید به عنوان مرجع صدور مجوز و پایان کار، نظارت مستقیم بر رعایت الزامات اقلیمی داشته باشد. برای نمونه اگر سازنده‌ای برخلاف مجوز، بام تیره یا مصالح غیرمجاز استفاده کند، صدور پایان کار باید متوقف شود تا اصلاح لازم صورت گیرد؛ قطع یا تخریب فضای سبز موجود در زمین‌های ساختمانی باید مشمول جرائم سنگین و الزام به جبران (مانند کاشت چند برابر درختان قطع شده) باشد؛ می‌توان در کمیسیون ماده (۱۰۰) شهرداری‌ها، بند ویژه‌ای تعریف کرد تا تخلفات اقلیمی مانند عدم رعایت نسبت فضای سبز، سایه‌اندازی، یا استفاده از مصالح غیراستاندارد نیز به عنوان تخلف ساختمانی محسوب شوند. چنین نظارت سخت‌گیرانه‌ای علاوه بر تضمین اجرای سیاست‌های اقلیمی، پیام روشنی برای سازندگان و توسعه‌دهندگان ارسال می‌کند که رعایت الزامات اقلیمی یک انتخاب نیست، بلکه الزام قانونی و شهری است.

مدیریت شهری در ایران باید «مدیریت اقلیم شهری» را همانند مدیریت پسماند یا ترافیک، به عنوان یکی از وظایف اصلی خود تلقی کند. گرما مستقیماً بر کیفیت زندگی، بهره‌وری اقتصادی و سلامت عمومی اثر می‌گذارد. بنابراین شهرداری‌ها و شوراهای باید این موضوع را با نهایت جدیت دنبال کنند. حتی می‌توان آینده‌ای را متصور شد که معاونت جدیدی در شهرداری‌ها با عنوان معاونت اقلیم و انرژی تشکیل شود تا به طور تخصصی این مأموریت را پیش ببرد.

۵-۱۰. نقشه راه اجرایی سه مرحله‌ای (کوتاه، میان مدت و بلندمدت)

برای عملی‌سازی راهبردها، می‌توان اقدامات را در سه بازه زمانی تقسیم‌بندی کرد:

• **کوتاه مدت (۱-۲ سال):** اقدامات سریعی که هزینه کم و اثربخشی فوری دارند؛ شامل کمپین‌های درخت کاری مشارکتی، رنگ آمیزی بام ساختمان‌های عمومی، نصب سایبان در ایستگاه‌های اتوبوس و اماکن پر تردد، ایجاد چند پارک کوچک در نقاط بحرانی، تأمین آب‌رسانی



و مه‌پاش در بازارها در تابستان، تهیه پیش‌نویس اصلاح مقررات و طرح‌های جامع (اگر چه تصویب ممکن است طول بکشد)، آموزش پرسنل شهرداری و مهندسان در کارگاه‌های اقلیم شهری، و ایجاد سامانه هشدار گرما با همکاری هواشناسی. این‌ها کارهایی است که سریع می‌توان آغاز کرد و اثرشان هم به سرعت دیده می‌شود (مثلاً اگر در یک تابستان یک خیابان را سفید کنید، همان تابستان مردم حس خواهند کرد).

■ **میان مدت (۳-۵ سال):** پروژه‌های زیربنایی تر و سیاستی که زمان می‌برد؛ مثل اجرای کامل یک کمربند سبز یا پارک بزرگ، اصلاح مشوق‌ها و قوانین و آغاز اجرای آنها، نوسازی ناوگان حمل‌ونقل (جایگزینی اتوبوس‌ها)، اجرای پایلوت‌های فناوری (مثلاً تست آسفالت خنک در چند منطقه و سپس تهیه آیین‌نامه فنی برای آن)، نصب شبکه حسگرهای هوا در کل شهر، ساخت تصفیه‌خانه پساب مختص آبیاری فضای سبز (تا خیال افراد از بابت مصرف آب راحت‌تر شود). در این دوره باید پایلوت‌ها به سیاست تبدیل شوند؛ مثلاً اگر ۱۰۰ پشت‌بام دولتی سفید شدند و جواب داد، قانون یا بودجه برای ۱۰۰۰ پشت‌بام خصوصی دیده شود.

■ **بلندمدت (۵-۱۵ سال):** تغییرات ساختاری و تکمیل چشم‌انداز؛ مثل تغییر چهره کلی شهر با توسعه سیستماتیک فضای سبز تا رسیدن به درصد مطلوب (ممکن است ۱۰ سال طول بکشد تا درختان کاشته شده بالغ شوند و اثر کامل داشته باشند)، بازنگری کامل طرح تفصیلی با رویکرد اقلیم‌محور و اجرای پروژه‌های عظیم (مانند پارک حاشیه رود یا دریاچه مصنوعی در شهر)، تغییر رفتارهای جامعه (جاافتادن فرهنگ صرفه‌جویی انرژی و تنظیم کولر روی دمای مناسب)، و به‌طور خلاصه، رسیدن به شهری که ذاتاً خنک‌تر نسبت به امروز است. در این افق، انتظار می‌رود ساختمان‌های جدید همگی استاندارد باشند، بخش عمده‌ای از بام‌ها سبز یا سرد شده‌اند، خودروها الکتریکی شده‌اند و گرمای کمتری تولید می‌کنند، و شهروندان در مواجهه با گرما آگاه و آماده‌اند.

مهم است که نظارت و تطبیق در طول راه وجود داشته باشد. شاید لازم شود هر سال ارزیابی کنند آیا این اقدام جواب داد یا نه و راهبردها را تنظیم مجدد کنند. به‌علاوه تأمین منابع مالی پایدار برای این نقشه‌راه حیاتی است. می‌توان از بودجه شهرداری، بودجه دولتی، سرمایه‌گذاری بخش خصوصی (مثلاً حمایت‌گری شرکت‌ها در پارک‌ها) و کمک‌های بین‌المللی استفاده کرد.

در واقع این سه مرحله به یکدیگر مرتبط‌اند: موفقیت‌های کوتاه‌مدت انگیزه و الگو برای میان‌مدت فراهم می‌کند، و در میان‌مدت زیرساخت‌ها برای دستیابی به اهداف بلندمدت پی‌ریزی می‌شود. بدون برنامه و زمان‌بندی، خیلی از ایده‌ها در حد حرف می‌ماند. با نقشه‌راه، شهر می‌داند هر سال باید منتظر چه اقداماتی باشد و شهروندان هم مطالبه‌گر آن می‌شوند. این گونه می‌توان امید داشت که مثلاً تا سال ۱۴۱۰ شهرهای گرم ایران حتی با وجود افزایش گرمایش جهانی به‌مراتب قابل سکونت‌تر از امروز شوند.

۱۱. جمع‌بندی



پرداختن به مسئله گرمایش شهری در ایران به‌ویژه در اقلیم‌های گرم و خشک و گرم‌و مرطوب، اهمیت و فوریت ویژه‌ای دارد و ارتباط مستقیم با تغییرات اقلیمی جهانی و سلامت عمومی شهروندان دارد. گزارش‌های بین‌المللی بر وخامت این چالش تأکید دارند؛ برای مثال، مؤسسه لَنست در سال ۲۰۲۱ گزارش کرده است که فقط در سال ۲۰۱۹ بیش از ۳۵۶ هزار نفر در جهان در نتیجه گرمای شدید جان خود را از دست داده‌اند. افزون بر این، پیش‌بینی شده است که تا سال ۲۰۵۰ حدود ۱.۶ میلیارد نفر از ساکنان شهرها در معرض گرمای بی‌سابقه قرار خواهند گرفت که آثار فلج‌کننده‌ای بر سلامت و اقتصاد شهری خواهد داشت. در ایران نیز رشد بی‌رویه شهرنشینی، تراکم ساخت‌وساز بدون توجه به اصول اقلیمی، کاهش فضای سبز و استفاده از مصالح جذب‌کننده حرارت (مانند آسفالت سیاه و بتن تیره) موجب افزایش محسوس دمای شهری شده است؛ به همین دلیل رویکردهای فعلی طراحی شهری و ساختمانی، که عمدتاً بر گرمایش زمستانی متمرکزند، در مقابله با گرمای تابستان ناکارآمدند. به این ترتیب، به کارگیری راهبردهای جدید برای کنترل دمای شهری و صیانت از سلامت عمومی امری ضروری به نظر می‌رسد.

در سطح سیاست‌گذاری نیز لازم است اقدامات شتابان و جامعی صورت پذیرد. تدوین اسناد راهبردی ملی اختصاصی (مانند «سند ملی اقلیم شهری» و «سند ملی مقابله با گرمایش شهرها») برای تعیین اهداف بلندمدت مدیریت دمای شهری توصیه شده است. به موازات آن، بازنگری مقررات و آیین‌نامه‌های ساخت و ساز و شهرسازی (از جمله اصلاح مبحث ۱۹ مقررات ملی ساختمان با لحاظ معیارهای کاهش آثار گرمایی مانند مصالح با ضریب بازتاب بالا، بام‌ها و دیوارهای سبز، تقویت تهویه طبیعی و...) ضروری است. تقویت ظرفیت نهادی نیز اهمیت دارد؛ برای مثال ایجاد دفتر تخصصی «اقلیم شهری» در شهرداری‌ها و سایر نهادهای مرتبط می‌تواند انسجام بخشی و هماهنگی میان برنامه‌ها را بهبود بخشد. در کنار اینها، راه‌اندازی سامانه ملی پایش دمای شهری و انتشار گزارش‌های سالیانه شاخص‌های حرارتی می‌تواند شفافیت و پاسخ‌گویی سیاست‌ها را تضمین و اثربخشی اقدامات را ارزیابی کند.

هم‌افزایی و هماهنگی میان بخشی با رویکرد برنامه‌محور در سطح شهرها نیز ضروری است. براساس تجارب موفق جهانی، هر شهر باید یک برنامه عملیاتی ۵ تا ۱۰ ساله مقابله با گرمایش تدوین کند که در آن اهداف کلی، پروژه‌ها، زمان‌بندی، مسئولیت‌ها و منابع مالی به روشنی مشخص شود. تدوین این طرح‌ها باید مشارکت تمام ذی‌نفعان محلی (شهرداری، بهداشت، محیط زیست، دانشگاه‌ها و سازمان‌های مردم‌نهاد) را در نظر گیرد تا طرح‌های عملی و بومی شکل گیرد. علاوه بر اقدامات اجباری، استفاده از سیاست‌های انگیزشی و مشوق‌های مالی به منظور تشویق اجرای پروژه‌های اقلیمی (مانند پرداخت تسهیلات بانکی یا یارانه برای اجرای بام‌های سبز، مصالح خنک و توسعه حمل و نقل برقی) می‌تواند مشارکت بخش خصوصی و مردم را در خنک‌سازی شهرها تسریع کند. این رویکرد برنامه‌ریزی شده و میان بخشی، همراه با هدایت منابع و بودجه‌های مشخص، شهرها را قادر می‌سازد تا به صورت مستمر و هدفمند با چالش گرمای شهری مقابله کنند.

از نظر راه‌حل‌های فنی و کالبدی، گزارش حاضر بر ترکیب راهبردهای طبیعت‌گرا و طراحی اقلیمی تأکید دارد. توسعه شبکه سبز و آبی شهری (افزایش درخت‌کاری، پارک‌ها و فضاهای سبز)، احداث بام‌ها و دیوارهای سبز و کاربرد مصالح بازتابنده نور و حرارت (مانند بام‌های سفید و کف‌پوش‌های سرد) از جمله راهکارهای مؤثر معرفی شده‌اند. در طراحی شهری نیز حفظ و ایجاد دالان‌های وزش باد غالب، جهت‌یابی مناسب ساختمان‌ها برای تهویه طبیعی، و فراهم آوردن سایه (مثلاً با استفاده از شاخ‌وبرگ درختان یا سایبان‌های شهری) می‌تواند شدت دمای تابشی را به میزان قابل توجهی کاهش دهد. ترکیب این راهکارها نه فقط مستقیماً دمای محیط را کاهش می‌دهد، بلکه کیفیت هوا و سطح رفاه عمومی را نیز ارتقا می‌بخشد. همچنین در تهیه طرح‌های جامع و تفصیلی شهرها باید الزامات اقلیمی و ظرفیت‌های هر شهر لحاظ شود؛ برای نمونه می‌توان در طرح‌های بالادستی بررسی اقلیمی شهرها و تعیین پهنه‌های آسیب‌پذیر گرمایی را گنجانده و ضوابط تراکم و استفاده از فضاهای سبز را متناسب با آن تنظیم کرد. توجه به تفاوت‌های اقلیمی و زیرساختی شهرها (از جمله منابع آب، شبکه برق و...) نیز در بازنگری اسناد توسعه شهری و مقررات ساخت و ساز حیاتی است.

در نهایت، ایجاد سازوکارهای نظارت، گزارش‌دهی و مشارکت شهروندی برای تضمین موفقیت سیاست‌ها بسیار با اهمیت است. استقرار نظام ملی پایش دمای سطحی و هوایی شهرها و انتشار گزارش‌های سالیانه، امکان رصد مستمر روند تغییرات اقلیمی شهری و ارزیابی تأثیرات مداخلات را فراهم می‌سازد. هم‌زمان، جلب مشارکت عمومی از طریق طرح‌های آموزشی و کمپین‌های همگانی (مانند جشنواره‌ها و طرح‌های درخت‌کاری یا برنامه‌های پوشش سبز محلات) در کاهش فاصله بین سیاست‌ها و واقعیت می‌تواند تأثیرگذار باشد. به این ترتیب، کنار هم قرار گرفتن رویکرد نهادمحور و اجماع عمومی کمک می‌کند تا تاب‌آوری حرارتی شهرها افزایش یابد و برنامه‌ها با اعتماد و همراهی شهروندان اجرا شوند.

نهایتاً، روشن است که مسئله گرمایش شهری در ایران نیازمند اقداماتی منسجم و درازمدت است. ترکیب فوری اصلاح سیاست‌ها و مقررات، تقویت نهادها، به کارگیری راهکارهای طراحی اقلیمی و مشارکت فعال مردم، چارچوبی راهبردی برای مقابله با بحران گرمای شهری ایجاد می‌کند. اتخاذ و اجرای همه‌جانبه این توصیه‌ها می‌تواند ضامن پایداری و سلامت شهرنشینان در مواجهه با روند روبه‌رشد تغییرات اقلیمی باشد.



- [1] Program, u.e., (2025), Urban Cooling and Extreme Heat.
- [2] Barnes, P., et al., Summary Update 2021 for Policymakers: UNEP Environmental Effects Assessment Panel.
- [3] Organization, W.H. (2024), Compendium of WHO and other UN guidance in health and environment, Update. 2024: World Health Organization.
- [4] Desai, B.H., (2020), “14. United nations environment programme (UNEP)”. Yearbook of International Environmental Law, Vol. 31, No.1, pp. 319-325.
- [5] Dalmer, N., (2022), “UNEP and the evolution of environmental concerns: An open system perspective, in Building Environmental Peace: The UN Environment Programme as a Knowledge Actor”, Springer. pp. 129-167.
- [6] Kumar, A., (2023), United Nations Environment Programme (UNEP). Yearbook of International Environmental Law, Vol. 34, No. 1, p. yvae022.
- [7] Reckien, D. and M. (2022), van Aalst, Summary for Policymakers, in Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability: Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press. pp. 3-33.
- [8] Huang, T.-Y., et al. (2023), “From AR5 to AR6: Exploring research advancement in climate change based on scientific evidence from IPCC WGI reports”, Scientometrics, Vol. 128, No.9, pp. 5227-5245.
- [9] Moulaii, M., H. Rezaeirad, and T. Sadeghipour (2023), “The role of population changes on the temperature changes of the building surfaces and urban open spaces; case study: Tehran metropolis”, Naqshejahan-Basic studies and New Technologies of Architecture and Planning, Vol. 13, No. 2, pp. 40-60.
- [10] Legg, S. (2021), IPCC, 2021: Climate change 2021-the physical science basis. Interaction, Vol. 49, No. 4, pp. 44-45.
- [11] Filippini, T., et al. (2024), “Adverse human health effects of climate change: an update. Annali di Igiene”, Medicina Preventiva e di Comunità, Vol. 36, No3.
- [12] Gallo, E., et al. (2024), “Heat-related mortality in Europe during 2023 and the role of adaptation in protecting health”, Nature medicine, Vol. 30, No.11, pp. 3101-3105.
- [13] Zhao, Q., et al. (2021), “Global, regional, and national burden of mortality associated with non-optimal ambient temperatures from 2000 to 2019: a three-stage modelling study”, The Lancet Planetary Health, Vol. 5, No. 7, pp. e415-e425.
- [14] Ballester, J., et al. (2023), “Heat-related mortality in Europe during the summer of 2022”, Nature medicine, Vol. 29, No. 7, pp. 1866-1857.
- [15] risks, g.c. (2024), Earth’s Highest Heat Index Recorded in Southern Iran During Historic Middle East Heatwave.

[۱۶] ایرنا (۱۴۰۴)، مصرف برق در تابستان از ۸۵ هزار مگاوات عبور خواهد کرد.

[17] Qibing, W.(2025), Extreme heat taking toll on people worldwide, WMO warns.

[۱۸] فیض مهدوی، محمد، قبادیان، وحید (۱۳۹۱). طراحی اقلیمی: اصول نظری و اجرایی کاربرد انرژی در ساختمان. انتشارات دانشگاه تهران. (مولفان)

دونالد واتسون، کنت لیز).

[۱۹] زرین و دیگران (۲۰۲۱)، «اصول تطبیقی معماری پایدار بناهای مسکونی بومی در اقلیم‌های خشک ایران»، مطالعات هنر اسلامی، دوره ۱۸، شماره ۴۱، صص. ۲۲۳-۲۳۳.

[۲۰] مصوری نظام‌آباد (۲۰۲۱)، «تأثیر اقلیم بر معماری بومی و پایدار مناطق گرم و مرطوب»، مطالعات جغرافیا، عمران و مدیریت شهری، دوره ۲۵، شماره ۷، صص. ۴۹-۶۰.

[21] Moulaii, M.M., et al. (2013), "Learning from Sustainable Features of Energy Efficient Housing in Iran: A Case Study of Climatic Controls in the Hot-Arid Regions of Iran (Yazd)", American Journal of Scientific Research, Vol. 87, pp. 46-56.

[۲۲] منصوریان و عسکرزاده (۲۰۲۵)، «استراتژی‌های کاهش جزیره گرمایی شهری: راهکارها و چالش‌ها در بهبود محیط زیست شهری»، مجله پژوهش‌های خشک‌سالی و تغییر اقلیم، دوره ۳، شماره ۱، صص. ۱۱۵-۱۳۴.

[۲۳] لشکری، ح. و ز. محمدی (۲۰۱۵)، «تحلیل رابطه جهت و زاویه تابش خورشید و جهت‌گیری دیوار در انتقال انرژی گرمایی به داخل ساختمان در شهرهای گرمسیری (مطالعه موردی شهر لار)»، فصلنامه علمی و پژوهشی نگرش‌های نو در جغرافیای انسانی، دوره ۷، شماره ۲، صص. ۲۰-۱.

[۲۴] پیریایی و دیگران (۲۰۲۲)، «بررسی ریخت‌شناسی حیاط مرکزی بناهای مسکونی بومی گرم و خشک، مورد مطالعه: شهر یزد»، معماری و شهرسازی آرمان شهر، دوره ۱۵، شماره ۴، صص. ۳۱-۴۱.

[۲۵] فرشاد، ر. (۲۰۱۴)، بام خنک: تجربه‌ای در خنک کردن بام از طریق تغییر رنگ.

[۲۶] مولائی و دیگران (۲۰۲۳)، «نقش تحولات جمعیتی بر تغییرات دمای سطوح انبیه و فضاها در شهرها؛ نمونه موردی: کلان‌شهر تهران»، نقش جهان - مطالعات نظری و فناوری‌های نوین معماری و شهرسازی، دوره ۱۳، شماره ۲، صص. ۴۰-۶۰.

[۲۷] رحمتی و دیگران (۲۰۱۶)، «بررسی راهکارهای طراحی معماری بر کاهش اثر جزایر حرارتی شهری»، نشریه انرژی ایران، دوره ۱۹، شماره ۱.

[28] Taleghani, M. (2018), "Outdoor thermal comfort by different heat mitigation strategies-Areview", renewable and sustainable energy reviews, Vol. 81, pp. 2011-2018

[29] Available from: <https://pardysanonline.ir/>

[۳۰] درویش و دیگران (۲۰۱۹)، «ظرفیت بازتابش خورشیدی سطوح بام در کاهش مصرف انرژی سرمایشی مسکن شهری، مطالعه موردی: مسکن مهر شهرری»، فصلنامه علمی پژوهش‌های بوم‌شناسی شهری، دوره ۱۰، شماره ۲۰، صص. ۱۲۶-۱۱۱.

[31] Palmieri, E.J.W.M.S.A. (2025),

<https://www.preventionweb.net/news/cities-are-heating-better-infrastructure-can-cool-them-down>.

[32] Sharma, A., et al. (2016), "Green and cool roofs to mitigate urban heat island effects in the Chicago metropolitan area: Evaluation with a regional climate model", Environmental Research Letters, Vol. 11, No.6, p. 064004.

[33] Molaei, M.M. P. Pilechiha, and A. Afshar (2018), Energy Efficiency Evaluation of Green Roof in Iran Case Study: Tehran, Tabriz, Ramsar, Bandar Abbas.

[۳۴] طراحی فضای سبز مشهد، (۱۳۹۷).

Available from: <https://karmani.net/>

[35] Shariatmadari, E., et al. (2019), Landscape Planning Based on Microclimate With The Aim of Reducing Air Pollutants in Metropolises (Case Study: District 22 of Tehran). Bagh-e Nazar, Vol. 16, No. 72.

[۳۶] اهمیت استفاده از عایق حرارتی کف ساختمان، (۱۴۰۴).

Available from: <https://ramansazeh.com/blog/importance-of-floor-insulation/>

[37] Moulaii, M., et al. (2025), "The difference in the effect of phase change materials on the heating and cooling needs of office spaces on the ceiling, floor, interior, and exterior walls in Tehran", International Journal of

Environmental Sciences, Vol. 11(3s): pp. 542-564.

[۳۸] زاده، ق و دیگران (۲۰۲۵)، «بررسی تیپولوژی انواع پنجره‌ها و شیشه‌های هوشمند برای مصرف بهینه انرژی یک ساختمان اداری در اقلیم سرد»، پژوهش‌های معماری نوین، دوره ۴، شماره ۴.

[39] Moulaii, M. and M. Younesi (2021), Multi-objective optimization of parametric form of native residential building based on comfort in hot and dry climate of Yazd city.

[۴۰] عکس/تصاویر هوایی زیبا از شهر یزد، (۱۴۰۰).

Available from: <https://dana.ir>.

[41] Chang, S., Q. Jiang, and Y. Zhao (2018), "Integrating CFD and GIS into the development of urban ventilation corridors: A case study in Changchun City, China", Sustainability, Vol. 10, No.6. pp. 1814.

[42] Alhammadi, A. (2023), Urban Warming and Strategic Advanced Cooling Potential Technologies for Dubai City Monitoring, Experimenting and Modelling for Climate Change and Sustainability. University of New South Wales (Australia).

[43] Paniagua-Villada, C., et al. (2024), "Built vs. Green cover: an unequal struggle for urban space in Medellín (Colombia)", Urban Ecosystems, Vol. 27, No. 4, pp. 1055-1065.

[۴۴] معصومه، رامین عرفانیان سلیم، رامین و قدیمی، مهرنوش قدیمی (۲۰۱۷)، «ارزیابی اثر بام‌های سبز بر دما، رطوبت و غلظت دی اکسید کربن موجود در هوای شهر تهران و نقش آنها در توسعه پایدار شهری».

[45] Epa, U. (2016), Using trees and vegetation to reduce heat islands. Heat Islands.

[۴۶] آزموده (۲۰۲۱)، «چگونگی عملکرد گیاهان در تعدیل پارامترهای مؤثر بر آسایش حرارتی در فضای شهری نمونه پژوهش: دیوار سبز شهری در تهران»، جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، دوره ۳۲، شماره ۳، صص. ۸۰-۶۷.

[۴۷] ارتقای منظر شهری با یکپارچه‌سازی درختان، (۱۴۰۲)؛

Available from: <https://www.karajemrouz.ir>.

[48] Levinson, R., et al. (2011), "Potential benefits of solar reflective car shells: Cooler cabins, fuel savings and emission reductions", Applied Energy, Vol. 88, No. 12, pp. 4343-4357.

[۴۹] حاجی فتحعلی، مهسا، محسن فیضی، محسن، عاطفه دهقان، توران پشتی، عاطفه (۲۰۲۰). «راهبردهای کوتاه مدت برای کاهش آثار مخرب جزایر گرمایی در مناطق شهری»، فصلنامه جغرافیا (برنامه‌ریزی منطقه‌ای)، دوره ۱۰، شماره ۳۸، صص. ۲۱۴-۱۹۵.

[۵۰] رکورد جنگل کاری در کمربند سبز تهران شکست، (۱۴۰۳)،

Available from: <https://newspaper.hamshahrionline.ir/>.

[۵۱] زنگنه، امیری و پیلهور (۲۰۱۶)، «بررسی عوامل مؤثر در عدم استفاده و توسعه بام سبز در کاهش جزایر حرارتی کلان شهرها (نمونه موردی: شهر مشهد)، علوم جغرافیایی، دوره ۲۵، شماره ۱۲، صص. ۸۴-۹۹.

[۵۲] فضاهای سبز کوچک؛ راهکاری ساده برای شهرهای پایدارتر. (۱۴۰۴)،

Available from: <https://www.imna.ir/>

[53] Guan, X., J. Wang, and F. Xiao, (2021), Sponge city strategy and application of pavement materials in sponge city. Journal of Cleaner Production, Vol. 303, pp. 127022.

[۵۴] منصورمقدم و دیگران (۲۰۲۱)، «مطالعه و پیش‌بینی تغییرات دمای سطح زمین شهر یزد: بررسی اثر مجاورت و تغییرات پوشش اراضی»، سنجش‌ازدور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی، دوره ۱۲، شماره ۴، صص. ۲۷-۱.

[۵۵] حاجی فتحعلی، مهسا، فیضی، محسن و دهقان، عاطفه (۲۰۴۱). رابطه گرمای هوا، میانگین گرمای تابشی و آلودگی در کاهش جزایر حرارتی در شهرها. جغرافیا (نشریه انجمن جغرافیایی ایران)، شماره ۹۱، دوره ۱۷: ۳۷۱-۱۹۱.

[۵۶] شیخ زاده، قنبر علی، عظمتی، علی اکبری و سارائی، آرمین (۳۹۳۱). ارزیابی کاهش تلفات حرارتی با استفاده از رنگ حاوی میکرو ذرات سرامیکی

در دیواره داخلی یک اتاق با پانل سرمایش تشعشعی. فصلنامه علوم و تکنولوژی محیط زیست، شماره ۱، دوره ۶۱: ۳۲۱-۳۳۱

- [57] Askarinejad, A., Z. Shahrestani, and S. Veisheh (2018), "Using Smart Coatings, a New Way for Sustainable and Green Construction", Building Engineering & Housing Science, Vol. 12, No. 1, pp. 45-48.
- [58] Poletto, C. (2021), How 'Cool Roofs' Can Help Fight Climate Change. International New York Times, pp. NA-NA.
- [59] Moulaii, M., A. Lotfi, and H. RezaeiRad (2025), "Benefiting from smart materials in the shell of desert buildings in order to control the thermal conductivity of interior spaces", Building Engineering, Vol. 3, No. 2, pp. 2196-2196.
- [60] 임혁위, (2018), A Study on the Outdoor Thermal Comfort of Pedestrians in the Commercial Streets. 서울대학교 대학원.
- [61] Satwiko, P. and Tuhari (2017), "The development of hybrid longitudinal windcatcher for basement ventilation in warm humid climate", International Journal Of Ventilation, Vol. 16, No. 1, pp. 15-29.
- [62] Hess, J.J., et al. (2018), "Building Resilience to Climate Change: Pilot Evaluation of the Impact of India's First Heat Action Plan on All-Cause Mortality", Journal of environmental and public health, Vol. 2018, No. 1, pp. 7973519.
- [63] Lee, S.E. and P. Rajagopalan (2008), "Building energy efficiency labeling programme in Singapore", Energy Policy, Vol. 10, No. 36, pp. 3982-3992.
- [64] Star, E. (2010), Energy star®. Program Requirements for Residential.
- [65] Nature-Based, U. and U (2021), Newcastle-Upon-Tyne, Naturvation.
- [66] Yin, Z., et al. (2023), Urban heat islands and their effects on thermal comfort in the US: New York and New Jersey. Ecological Indicators, Vol. 154, p. 110765.
- [67] Yenneti, K., et al. (2020), "Urban overheating and cooling potential in Australia: An evidence-based review", Climate, Vol. 8, No. 11, p. 126.

عنوان: راهکارهای معماری و شهرسازی برای تهویه و خنک‌سازی شهرها (با تأکید بر شهرهای گرم و مرطوب و گرم و خشک ایران)



DOI: <https://doi.org/10.22034/mrc.report.21829>

Permanent Link: https://report.mrc.ir/article_11862.html

Publisher: Islamic Parliament Research Center of Iran

گزیده سیاستی

تهویه شهری و خنک سازی شهرها در روند گرمایش جهانی به طور عام و خاص مناطق گرمسیر کشور ضرورت دارد؛ با حفظ دالان‌های باد، کنترل تراکم ساختمانی، توسعه فضای سبز و پایش اقلیمی، سایه‌اندازی و ترکیب رنگ محیط شهری؛ شهرهای ایران در برابر گرما تاب‌آورتر می‌شوند.



مرکز پژوهش‌های مجلس شورای اسلامی

تهران، خیابان پاسداران، روبروی پارک نیاوران (ضلع جنوبی، پلاک ۸۰۲)

تلفن: ۷۵۱۸۳۰۰۰ صندوق پستی: ۱۵۸۷۵-۵۸۵۵ پست الکترونیک: mrc@majles.ir

وبسایت: rc.majles.ir