

## تحلیل بررسی آسایش حرارتی در فضاهای باز شهری در فصل تابستان با استفاده از شاخص PPD (مطالعه موردی: پیاده‌راه رود کنار خرم‌آباد)<sup>۱</sup>

نورمحمد منجزی\*، علی اسلامی مقدم\*\*

تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۰/۹/۱

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۱/۱۱/۶

### چکیده

امروزه بحث آسایش حرارتی به عنوان یکی از عوامل مهم در کیفیت فضا‌های شهری در کنار عوامل کالبدی مطرح گردیده است در واقع کیفیت فضا‌های شهری برای استفاده شهروندان مهم بوده و بایستی به آن توجه شود. اما به دلیل تأثیر عوامل گوناگون در فضا‌های باز شهری که بر روی آسایش حرارتی کاربران تأثیرگذار است و کمبود مبانی مدون در این زمینه موجب دشواری تشخیص و تأمین نیازهای اقلیمی در یک محدوده شهری برای طراحان گردیده است. پژوهش حاضر با در نظر گرفتن بحث آسایش حرارتی در فضای پیاده راه شهری، به بررسی عوامل اقلیمی و محیطی در محدوده مورد نظر که در این پژوهش شهر خرم‌آباد و در حریم قلعه فلک الافلاک واقع گردیده است، پرداخته و از طریق کاربرد تکنیک شبیه‌سازی رایانه‌ای با استفاده از نرم‌افزار انوی مت<sup>a</sup> به بررسی یکی از شاخص‌های آسایش حرارتی به نام درصد نارضایتی پیش‌بینی شده<sup>b</sup> در نقاط مختلف مسیر پیاده راه طراحی شده می‌پردازد که در بررسی نتایج به دست آمده مشخص می‌شود که عواملی نظیر انتخاب جهت مسیر حرکت پیاده‌راه، ساعت پیاده روی، عرض پیاده‌راه، وجود درختان، سایه و آب همچنین برخی ویژگی‌های کاربران نظیر نرخ متابولیک، نرخ فعالیت، نرخ پوشش در میزان آسایش حرارتی تأثیرگذار بوده است.

### واژگان کلیدی

پیاده‌راه، آسایش حرارتی، خرم‌آباد، تابستان، PPD

۱- این مقاله برگرفته از پایان‌نامه کارشناسی ارشد نگارنده دوم با عنوان «تعیین الگوی بهینه پیاده راه شهری با تأکید بر آسایش: رودکنار خرم‌آباد (گللال)» به راهنمایی نگارنده اول در دانشگاه صنعتی جندی شاپور دزفول است.

\* monjezi@jstu.ac.ir

استادیار گروه شهرسازی، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه صنعتی جندی شاپور، دزفول، ایران.

\*\* کارشناس ارشد طراحی شهری، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه صنعتی جندی شاپور، دزفول، ایران. (نویسنده مسئول)

alieslamimoghadam@yahoo.com

## مقدمه

فضای عمومی و باز شهری مطلوب می‌تواند بستر اثرات مثبت متنوعی بر شهر باشد. از اثرات مثبت که باعث افزایش دیدارهای چهره به چهره مردم می‌شود پیاده‌راه‌ها هستند. پیامد این اثر افزایش تعاملات اجتماعی است. رودکنارها گونه‌ای از پیاده‌راه‌ها هستند که لزوماً در حاشیه رودها شکل می‌گیرند. به همین دلیل موقعیت جغرافیایی خاص و همجواری آنها با طبیعت سیال رودخانه، رودکنارها را در گروه پیاده‌راه‌های با کیفیات مخصوص قرار می‌دهد. حضور شهروندان در دو گروه سواره و پیاده و سرعت حرکت متفاوت یکی دیگر از ویژگی‌های فضاهای رودکنار است. طبیعت منعطف، نسیم ملایم، امتدادهای نرم، پوشش گیاهی متراکم، چشم‌انداز وسیع و نور پر فروغ و رنگهای متنوع همگی فضایی پر انرژی را بوجود می‌آورد که با حضور گروه‌های مختلف مردم به حد کمال می‌رسد. موضوع افزایش کیفیت فضاهای متنوع شهری از نظر طراحان شهری همواره به عنوان مسئله‌ای قابل توجه مطرح بوده است. رودکنارها نیز به واسطه تعامل تنگاتنگ محیط انسان ساخت و طبیعت بکر محلی مناسب برای الحاق این فضاها به دیگر فضاهای کاربردی شهر و امکان بهره‌وری بیشتر و حضور پیوسته شهروندان در یک فضای با کیفیت محیطی مناسب را دارند. اگرچه تعیین همه عوامل تأثیرگذار بر رودکنارها کاری قابل توجه است اما به نظر می‌رسد که آسایش حرارتی بسیار مؤثرتر باشد. به همین دلیل رابطه تعادلی بین میزان حضورپذیری مردم و برخورداری از آسایش حرارتی برای ایجاد فضای عمومی و باز شهری می‌تواند نقش مؤثری داشته باشد. در این پژوهش با بررسی آسایش حرارتی در مسیر پیاده راه شهری و شناخت عواملی که بر آسایش حرارتی در فضای باز تأثیر دارند میتوان به فضای شهری دست یافت که شهروندان تمایل به استفاده از آن را دارند و این ضرورت انجام این پژوهش بوده و هدف از آن نیز بررسی آسایش حرارتی در پیاده‌راه‌های رودکنار به منظور یافتن عواملی است که بیشترین تأثیر را بین انسان و محیط در فضاهای باز شهری بوجود می‌آورد و در نهایت باعث افزایش میزان حضورپذیری در این فضاها می‌شود. بررسی‌های میدانی در رودکنار خرم آباد نشان می‌دهند که عواملی مانند «دما» و «تابش» در زمره عوامل اقلیمی در افزایش کیفیت فضایی رودکنار تأثیرگذارند. بطوریکه تغییر در میزان این دو متغیر میتواند بر میزان ناراضی‌تای حرارتی افراد از محیط موثر باشد سوال اصلی در این پژوهش یافتن عوامل اقلیمی و محیطی تأثیرگذار بر آسایش حرارتی در فضاهای باز شهری مانند فضاهای رودکنار است. به همین منظور با در نظر گرفتن عواملی مانند دما و تابش سعی دارد میزان این تأثیرگذاری را تعیین کند.

**پیشینه‌ی پژوهش:** از جمله پژوهش‌های انجام شده پیرامون آسایش حرارتی در فضاهای باز شهری می‌توان به پژوهشی با عنوان «خرم اقلیم و آسایش حرارتی در فضاهای باز پیاده‌روها» که توسط پاتوین و احمد عمر (Ahmed-Ouameur and Potvine, 2007)، با هدف بررسی فضاهای مختلف شهری به منظور ارزیابی شرایط آسایش حرارتی در کبک کانادا بر روی سه فضای باز بوستان، منطقه متراکم تجاری و ناحیه بلند مرتبه شهری انجام شد، نام برد. در این پژوهش شاخص‌های مورفولوژی شهری از قبیل پستی و بلندی، تخلخل، تراکم ابنیه، فضای سبز و همچنین متغیرهای اقلیمی به منظور محاسبه آسایش حرارتی اندازه‌گیری و محاسبه گردید. نتایج پژوهش با مقایسه اندازه‌گیری در سه فضای مذکور نشان داد که با افزایش تراکم ابنیه، دمای موثر نیز افزایش و با افزایش تراکم فضای سبز، دمای موثر کاهش می‌یابد.

ستای و همکاران (Setaih et al, ۲۰۱۳)، در مقاله‌ای با عنوان "ارزیابی راحتی حرارتی، محیط بیرونی در ریزاقلیم شهری در نواحی گرم و خشک"، به بررسی موردی یک پیاده‌رو در شهر مدینه عربستان پرداختند. هدف این پژوهش یافتن روش‌های دسترس‌پذیر برای افزایش سطح آسایش حرارتی عابران در فضای باز ریزاقلیم‌های شهری گرم و خشک بود. این پژوهش برای محاسبه آسایش حرارتی از شاخص دمای معادل فیزیولوژیک و برای تحلیل آن از برنامه ریمن استفاده کرده است. میدل و همکاران (Middel et al, ۲۰۱۴) تأثیر سایه بر آسایش حرارتی بیرونی را در شهر تمپی ایالت آریزونا بررسی کردند. این مقاله تأثیر سایبانها و درختان را بر آسایش حرارتی شهروندان در یک مرکز عابر پیاده در طول دوره یک ساله و در چهار فصل ارزیابی کرده است. نتایج نشان می‌دهد که دامنه راحتی قابل قبول ۱۹/۱ درجه سانتیگراد بوده است. در ادامه گاسپاری و فابری (Fabbri and Gaspari, ۲۰۱۷) مطالعه‌ای در مورد استفاده از نقشه خرد اقلیم در فضای باز برای طراحی و بازسازی شهری با هدف آزمایش مدل سازی میکرومتری یک بخش شهری در یک نسخه آزمایشی با بهره‌گیری از نرم افزار «انوی مت» انجام دادند. اکثر مطالعات موجود در ایران (پوردیهمی، ۱۳۷۸؛ حدیدی، ۱۳۸۸) معطوف به آسایش حرارتی در فضای درون ساختمان و به منظور کاهش مصرف انرژی بوده است. مطالعات معدودی (قیابکوه، ۱۳۸۲؛ طاهباز، ۱۳۸۶) به آسایش حرارتی در فضای باز پرداخته‌اند.

در دهه‌های گذشته مدل‌های متعددی جهت برآورد تعادل انرژی بدن انسان در محیط‌های مختلف به منظور ارزیابی آسایش حرارتی تعریف شده است. این مدل‌های در بر گیرنده مولفه‌های هواشناسی و بازتاب محیط اطراف هستند (Fanger, ۱۹۷۲) (Fobelets&Gagge, ۱۹۸۶).

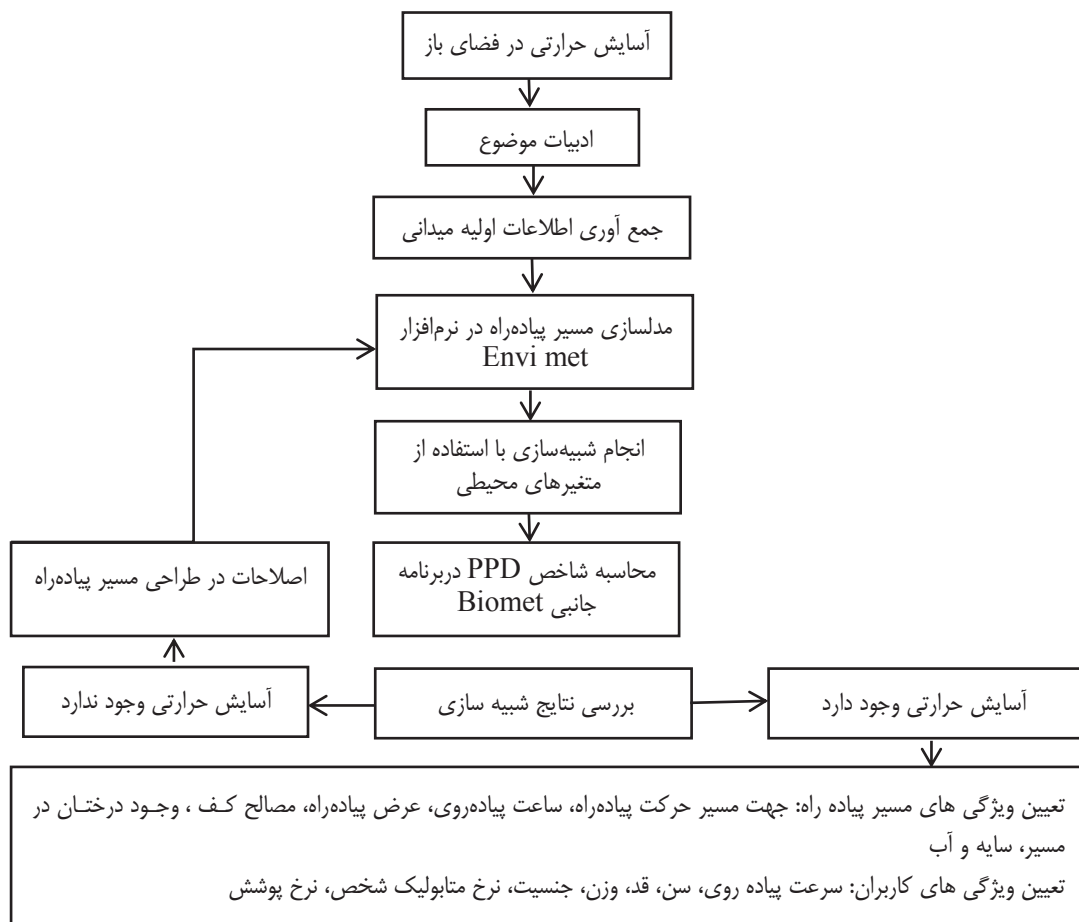
اکثر مدل‌ها علاوه بر مولفه‌های هواشناسی شامل دمای متوسط تابشی نیز هستند که در تابستان و در محیط‌های شهری، نقش مهمی در تعادل گرمایی بدن انسان دارد. این دما اثر انرژی تابشی از محیط روی مبادله تابشی میان یک شخص و محیط احاطه کننده را نشان می‌دهد (حیدری‌نژاد و دلفانی، ۱۳۸۸، ۳۳).

جدول ۱- پیشینه در یک نگاه

سال	نویسنده یا نویسندگان	یافته‌های اصلی پژوهش
۲۰۰۷	(Ahmed-Ouam eur and Potvin, 2007)	با افزایش تراکم ابنیه، دمای موثر نیز افزایش و با افزایش تراکم فضای سبز، دمای موثر کاهش می‌یابد.
۲۰۱۳	(Setaih et al, 2013)	یافتن روش‌های دسترس‌پذیر برای افزایش سطح آسایش حرارتی عابران در فضای باز ریزاقلیم‌های شهری گرم و خشک
۲۰۱۶	(Middel et al, 2016)	این مقاله تأثیر سایبانها و درختان را بر آسایش حرارتی شهروندان در یک مرکز عابر پیاده در طول دوره یک ساله و در چهار فصل ارزیابی کرده است. نتایج نشان می‌دهد که دامنه راحتی قابل قبول ۱۹/۱ درجه سانتیگراد بوده است.
۲۰۱۷	(Fabbri and Gaspari, 2017)	مطالعه‌ای در مورد استفاده از نقشه خرد اقلیم در فضای باز برای طراحی و بازسازی شهری با هدف آزمایش مدل‌سازی میکرومتری یک بخش شهری در یک نسخه آزمایشی با بهره‌گیری از نرم افزار «انوی مت» انجام دادند.
۱۳۷۸	(پوردیهیمی، شهرام، ۱۳۷۸)	مطالعه ای معطوف به آسایش حرارتی در فضای درون ساختمان و به منظور کاهش مصرف انرژی
۱۳۸۸	(حیدری، شاهین، ۱۳۸۸)	مطالعه ای معطوف به آسایش حرارتی در فضای درون ساختمان و به منظور کاهش مصرف انرژی
۱۳۸۲	(قیابکوه، زهرا، ۱۳۸۲)	بررسی آسایش حرارتی در فضای باز
۱۳۸۶	(طاهباز، منصوره، ۱۳۸۶)	بررسی آسایش حرارتی در فضای باز
۱۳۸۸	(حیدری‌نژاد و دلفانی، ۱۳۸۸، ۳۳)	دمای متوسط تابشی در تابستان و در محیط‌های شهری، نقش مهمی در تعادل گرمایی بدن انسان دارد.
۱۳۸۹	(بهزادفر و منعم، ۱۳۸۹)	یافته‌های پژوهش نشان می‌دهد همبستگی "ضریب دید به آسمان" با " میانگین دمای تابشی " و دمای کروی، بیش از همبستگی " ضریب دید به آسمان " با سایر متغیرهای اقلیمی است. در این رابطه افزایش "ضریب دید به آسمان" منجر به افزایش "میانگین دمای تابش" به صورت مستقیم می‌گردد. بر این اساس، اهمیت توجه به میزان "ضریب دید به آسمان" نقشی تعیین کننده در خلق فضاهای مطلوب از نظر آسایش حرارتی در فصول گرم سال دارد.
۱۳۸۹	(محمودی، قاضی زاده، و منعم، ۱۳۸۹)	با مقایسه "دمای معادل فیزیولوژیکی" و عوامل فیزیکی محیط شامل ضریب دید به آسمان، میزان سایه، فاصله تا ساختمان، معیارهای طراحی مؤثر در تحقق آسایش حرارتی شناسایی و پیشنهادهایی جهت ارتقای معماری فضاهای باز بارویکرد اقلیمی ارائه گردیده است.
۱۳۹۲	(حیدری و منعم، ۱۳۹۲)	یافته‌ها نشان داده‌اند که شاخص PET نسبت به دیگر شاخص‌های حرارتی دارای دقت بالاتری برای پیش‌بینی میانگین آسایش حرارتی در فضای باز است، و همچنین در این پژوهش رابطه آسانی برای محاسبه PET برای فضای باز ساکنان تهران تعیین شده است.

## روش تحقیق

پژوهش حاضر با هدف بررسی عوامل اقلیمی و محیطی در آسایش حرارتی کاربران پیاده راه شهری رود کنار خرم آباد با استفاده از سطوح آب، سایه درختان چنار و سایبان‌های عمودی در مسیر پیاده راه تهیه شده است. پس از بررسی پیشینه مطالعات آسایش حرارتی در فضاهای باز شهری، که مبتنی بر مطالعات کتابخانه‌ای و شامل مطالعه متون، استفاده از مقالات، در حوزه آسایش حرارتی است، شاخص PPD که یک شاخص معتبر در آسایش حرارتی بوده انتخاب شد و سپس با استفاده از روش تحلیلی تأثیر پارامترهای انتخاب شده بر میزان احساس حرارتی افراد مورد بررسی قرار گرفته است. روش تحلیلی در بررسی آسایش حرارتی اجازه می‌دهد تا نسبت به پارامترهای محیطی و عوامل انسانی مؤثر بر آسایش حرارتی و اندرکنش این عوامل با احساس حرارتی افراد تصویر واضح تری داشت و با تغییر در میزان متغیرها و استفاده از تکنیک شبیه سازی از طریق نرم افزار اقلیمی Envi met در نقاطی از مسیر که کاربران در شرایط نامناسب آسایش حرارتی هستند وضعیت مناسبی را ایجاد کرد. روند پژوهش به کار گرفته شده در نمودار ۱ مشخص شده است.



نمودار ۱- روند پژوهش

## مبانی نظری

در این قسمت از پژوهش به بررسی ادبی آسایش حرارتی و انواع آن و معرفی شاخص‌های تأثیرگذار بر آسایش حرارتی در فضای باز پرداخته شده است.

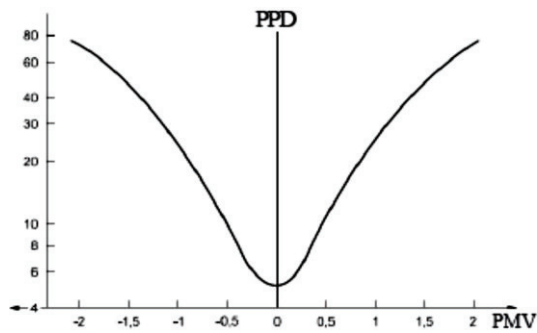
**آسایش حرارتی:** آسایش حرارتی را می‌توان به‌سادگی احساس رضایت از محیط تعریف کرد، سطوح فعالیت، پوشاک و خرد اقلیم‌ها (درجه حرارت هوا، رطوبت هوا، باد) از عوامل اصلی تأثیرگذار در آسایش حرارتی هستند. معمولاً عدم آسایش ناشی از احساس گرما یا سرمای بیش‌ازحد است که می‌تواند ناشی از یک کوران ناخواسته یا تفاوت دمای محیط با بدن باشد. به دلیل این‌که دما در طول روز تغییر می‌کند رسیدن به تعادل گرمایی یک فرآیند پویا می‌باشد.

**شاخص‌های آسایش حرارتی:** وجود تعداد زیاد شاخص‌های حرارتی ممکن است در ابتدا گیج‌کننده باشد، اما در واقع، ویژگی‌های مشترک آنها در دو دسته شاخص‌های تجربی و عقلانی تقسیم هستند.

جدول ۲- معرفی شاخص‌های آسایش حرارتی (مجیدی و حیدری، ۱۳۹۸)

شاخص تجربی	دمای مؤثر ( $ET^c$ )، دمای برآیند ( $RT^d$ )، دمای عامل رطوبت ( $HOP^e$ )، شاخص باد خنک ( $WCI^f$ )
شاخص عقلانی	شاخص استرس گرمایی ( $HSI^g$ )، درصد نارضایتی پیش‌بینی‌شده (PPD)، دمای مؤثر استاندارد ( $SET^h$ )، پیش‌بینی متوسط نظر، دمای پیش‌بینی ( $PMV^i$ )

**درصد نارضایتی پیش‌بینی شده (PPD):** مقدار میانگین نارضایتی رأی حرارتی یک گروه نسبتاً بزرگ از افراد که در شرایط محیطی مشابه قرار دارند را پیش‌بینی می‌کند. اما رأی هر یک از افراد در اطراف این مقدار متوسط قرار دارد. پیش‌بینی تعداد افرادی از گروه که احساس گرما و سرما دارند نیز در این میان ارزش به‌سزایی دارد که نمی‌توان از طریق PMV آن را تخمین زد.



راهنما:

PMV میانگین آرای پیش‌بینی شده  
PPD درصد ناراضحی پیش‌بینی شده (%)

تصویر ۱ - رابطه شاخص PMV با PPD (استاندارد ملی ایران، ۱۳۹۰)

PPD شاخصی است برای پیش‌بینی کمی درصدی از افراد که به دلیل احساس سرما یا گرما ابراز ناراضحی دارند.

بر اساس استانداردهای بین‌المللی، ناراضحی حرارتی شامل احساس خیلی گرمی، گرمی، سردی و خیلی سردی است. از روی داده‌های تجربی نمودار PPD یا درصد ناراضحی پیش‌بینی شده برحسب PMV رسم شده است، و یک منحنی متقارن را نشان می‌دهد که کمینه آن ۵ درصد است. استاندارد ایزو ۷۷۳۰ حد PPD را در محدوده  $PMV < 0.5$  و  $PMV > -0.5$  برابر ۱۰ درصد معرفی می‌کند. در صورتی که مقدار PMV معلوم باشد، شاخص PPD را می‌توان از رابطه‌ی زیر تخمین زد (معرفت و امیدوار، ۱۳۹۲، ۴۱).

$$PPD = 100 - 95 \times e^{-(0.03353 \times PMV^4 - 0.2179 \times PMV^2)}$$

به این ترتیب با استفاده از روش‌های مزبور، در مرحله طراحی و

قبل از آنکه بنایی ساخته شود می‌توان تخمین زد که آیا بنای طراحی شده از نظر تأمین شرایط آسایش استفاده‌کنندگان مورد قبول واقع می‌شود یا خیر. بنابراین قبل از صرف هزینه‌های گزاف، به راحتی می‌توان نقاط ضعف را اصلاح نمود. با استفاده از کمی کردن پارامترهای کیفی می‌توان کیفیت‌ها را نیز بر اساس قوانین ریاضی حاکم، تجزیه و تحلیل نمود. در واقع استفاده از مدل‌های آسایش به معنی کمی کردن احساس حرارتی افراد است. در جهت دستیابی به این هدف، یعنی کمی کردن احساس حرارتی، لازم است که شاخص‌های آسایش حرارتی به دقت تعریف شوند، به نحوی که این شاخصها بیانگر احساس حرارتی افراد باشند.

**متغیرهای تأثیرگذار بر شاخص (PPD):** چهار متغیر محیطی تأثیرگذار بر آسایش حرارتی انسان وجود دارد: دمای هوا، میانگین دمای تابشی، رطوبت و سرعت وزش باد. علاوه بر این، دو متغیر شخصی بر آسایش حرارتی تأثیر می‌گذارد: نرخ پوشش و سطح فعالیت. این عوامل تأثیر قابل‌توجهی بر آسایش حرارتی انسان دارند زیرا آن‌ها بر تعادل حرارتی بدن انسان تأثیر می‌گذارند، به‌عنوان مثال تعادل گرما تولیدشده توسط فرآیند متابولیک و گرما ازدست‌رفته از طریق همرفت، تابش و تبخیر (Fanger, 1970). در تبادل حرارت بدن انسان با محیط اطراف، لباس عامل موثری بشمار می‌رود و از تماس سطح بدن با محیط می‌کاهد. نوع پوشش، عایقی است که انسان‌ها برای تطابق با محیط انتخاب می‌کنند. (ذولفقاری، ۱۳۸۶، ۱۳۲).

**میزان فعالیت:** میزان حرارت تولید شده به وسیله بدن انسان با واحد وات بر متر مربع پوست انسان ( $w/m^2$ ) سنجیده می‌شود. میزان حرارت تولید شده بستگی به سطح پوست و فعالیت هر شخص دارد. به ازای یک متر مربع سطح پوست بدن انسان که خوابیده باشد، در حدود ۴۱ وات انرژی تولید می‌شود، یعنی  $0.41 w/m^2$ . اندازه سطح پوست یک انسان را می‌توان از رابطه زیر محاسبه نمود (معرفت و امیدوار، ۱۳۹۲، ۲۳).

$$Adu = 0.202 \times W^{0.425} \times h^{0.725} (m^2)$$

در رابطه مزبور:

$$Adu = \text{سطح پوست بدن بر حسب متر مربع.}$$

$$W = \text{وزن بدن بر حسب کیلوگرم.}$$

$$H = \text{اندازه قد بر حسب متر.}$$

به عنوان مثال، سطح پوست بدن یک انسان به وزن ۷۵ کیلوگرم و قد ۱۸۰ سانتی‌متر به شرح زیر محاسبه می‌شود:

$$Adu = 0.202 \times 75^{0.425} \times 1.8^{0.725} (m^2) = 1.94 (m^2)$$

بنابراین شخص مزبور در حالت خواب، معادل  $41 \times 1.94 = 79.54 w$  انرژی تولید می‌کند.

جدول ۳ - نرخ متابولیک (سازمان ملی استاندارد ایران، ۱۳۸۴)

نرخ متابولیک		فعالیت
met	w/m <sup>2</sup>	
۰/۸	۴۶	دراز کشیدن
۱	۵۸	نشسته، در حال استراحت
۱/۲	۷۰	کارنشسته (کارهای اداری، آموزشی و آزمایشگاهی)
۱/۶	۹۳	ایستاده، فعالیت سبک (خرید، کارهای آزمایشگاهی و صنعتی سبک)
۲	۱۱۶	ایستاده، فعالیت متوسط (فروشنده‌گی، خانه داری، کار با ماشین آلات صنعتی)
پیاده‌روی در سطوح تخت و بدون شیب با سرعت:		
۱/۹	۱۱۰	۲ km/h
۲/۴	۱۴۰	۳ km/h
۲/۸	۱۶۵	۴ km/h
۳/۴	۲۰۰	۵ km/h

**نرخ پوشش:** نوع پوشش و لباس یکی دیگر از عوامل تأثیرگذار بر آسایش حرارتی به شمار می‌آید. ضریب نارسایی یا مقاومت لباس  $I_{cl}$  بوده و با واحد Clo سنجیده می‌شود و عبارت است از مقدار لباسی که شخص در یک محیط با دمای  $21^{\circ}\text{C}$  و جریان هوایی معادل  $0.1\text{m/s}$  پوشیده و احساس آسایش بنماید (Cagge, et al, 1942). جدول زیر ارزش نارسایی پوشاک مختلف را نشان می‌دهد. در تبادل حرارت بدن انسان با محیط اطراف، لباس عامل موثری به شمار می‌رود. چرا که لباس مثل لفافی نارسا قسمتی از بدن را می‌پوشاند و از تماس سطح بدن با محیط اطراف می‌کاهد (ذوالفقاری، ۱۳۸۶).

جدول شماره ۴ - ارزش نارسایی پوشاک مختلف (بهاری نژاد و یعقوبی، ۱۳۸۵)

نوع پوشش	ارزش نارسایی به کلو clo
بدون لباس	۰
لباس زیر	۰/۱
پوشش های استوایی	۰/۳
لباس تابستانی سبک مردان	۰/۵
لباس کار سبک مردان	۰/۷
لباس پوشش سنگین مردان	۱/۵
پوشش داخل خانه خانم ها	۰/۷-۰/۹
پوشش خیلی سنگین پشمی مردان	۲-۲/۵

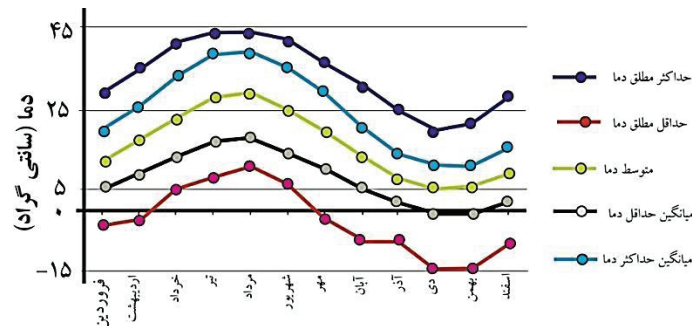
$$1 \text{ clo} = 0.155 \text{ m}^2 \cdot \text{C} / \text{W}$$

دمای هوا یک عامل مهم خرداقلیم است که بر آسایش حرارتی تأثیر می‌گذارد. رطوبت اثر مستقیم و کمی بر آسایش حرارتی در شرایط سرد می‌گذارد. در شرایط گرم، بدن انسان نیاز به افزایش از دست دادن حرارت برای حفظ آسایش دارد. این عمل به‌طور عمده با کاهش پوشش لباس و از طریق عرق کردن و در ارتباط با از دست دادن حرارت مرتبط با حرارت پنهان از تبخیر است (ASCE, 2004). از آنجا که عمل تبخیر با کاهش رطوبت نسبی افزایش می‌یابد، رطوبت نسبی پارامتر بسیار مهم‌تر در اقلیم‌های گرم می‌شود (Stathopoulos, 2006). در انتقال و از دست دادن تبخیر اثرات دما و رطوبت با شرایط باد ارتباط نزدیکی دارند و نمی‌توانند جدا از سرعت باد باشند (Stathopoulos, 2006). در محیط خارجی، انتقال انرژی تابشی (جذب و دفع حرارت از طریق تابش) مهم‌ترین تأثیر را برای متعادل کردن حرارت بدن انسان بخصوص در شرایط آفتابی دارد. مهم‌ترین متغیرهای هواشناسی شرایط حرارتی و تنش گرما دمای هوا، رطوبت نسبی، سرعت باد و میانگین دمای تابشی هستند. تعیین میانگین دمای تابشی یک مشکل کلاسیک درزمینه‌ی اقلیم‌شناسی زیستی انسان است. میانگین دمای تابشی

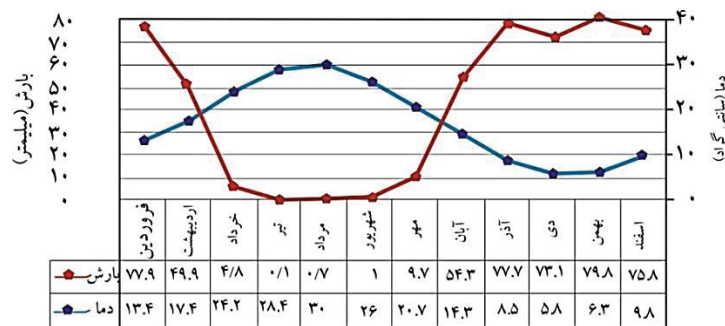
(K, 0C) به معرفی پارامترهای تأثیرگذار از محیط تابشی پیچیده (حاوی چندین موج تابشی با طول موج بلند و بالا) بر شاخص حرارتی می‌پردازد (Kántor & Unger, 2011). در مطالعات آسایش حرارتی در فضای باز، میانگین دمای تابشی پارامتر مناسب‌تر از پارامترهای معمولی مانند دمای هوا است که نشان‌دهنده آن است که تغییرات مکانی بزرگ در مسافت‌های کوتاه، به‌ویژه در هوا و یا درجه حرارت به تجزیه و تحلیل تأثیر آب و هوا بر آسایش مردم می‌پردازد (Thorsson et al, 2014).

### معرفی محدوده مطالعاتی

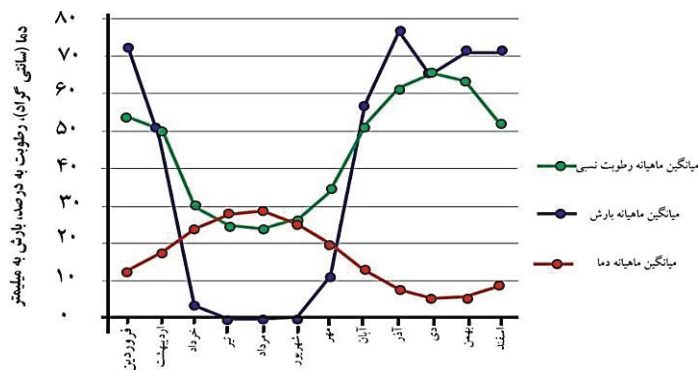
شهر خرم‌آباد با مختصات جغرافیایی  $48^{\circ} 21' 15''$  طول شرقی و  $33^{\circ} 29' 15''$  عرض شمالی، در جنوب غربی کشور ایران واقع شده است. موقعیت جغرافیائی شهر به گونه‌ای است که توده‌های هوای برآمده از جنوب غرب و غرب وارد آن می‌شود و اثرات ویژه اقلیمی از خود بر جای گذارند. با بررسی‌های داده‌های آماری ایستگاه هواشناسی شهر خرم‌آباد، مشخص شد که آب و هوای شهر خرم‌آباد خصوصیات اقلیمی سرد و کوهستانی ایران را داراست. زمستان‌ها و سرد تا حدودی مرطوب و تابستان‌ها نیمه خشک تا خشک است و زمستان‌های اکثر طولانی و از ۳ تا ۵ ماه به درازا می‌کشد. بهار و پاییز فصول کوتاهی هستند و گرمای تابستان در تیر و مرداد ظاهر می‌شود. به طور کلی اقلیم کوهستانی سرد همراه با بادهای خشک و ماه‌های خشک و بی باران در تابستان و زمستان‌های سرد از مشخصات کلی و آب هوایی شهر خرم‌آباد است.



تصویر ۲. نمودار کلیموگرام شهر خرم‌آباد



تصویر ۳. نمودار ماهیانه دما و بارش شهر خرم‌آباد



تصویر ۴. نمودار ماهیانه رطوبت نسبی، بارش و دمای شهر خرم‌آباد

محدوده طراحی در بخش قدیمی شهر خرم‌آباد و در حریم قلعه تاریخی فلک الافلاک واقع شده است. البته آزاد سازی این حریم بطور کامل انجام نشده و در حال حاضر قسمت جنوبی محدوده دارای کاربری نظامی است. مسیر پیاده‌راه تحت مطالعه از قسمت شمالی سایت وارد می‌شود و پس از چرخش به سمت شرق به موازات رودخانه خرم‌آباد (گللال) به سمت جنوب ادامه می‌یابد (تصویر شماره ۵).



تصویر ۵ - نقشه‌های سلسله مراتبی محدوده تحت مطالعه در کشور، استان، شهر و سایت طراحی شده در حریم قلعه فلک الافلاک

**معرفی نرم‌افزار Envi - met:** بررسی اثرهای خرد اقلیم شهری توسط نرم‌افزار تحلیلی Envi - met قابل مدل‌سازی است. این نرم‌افزار شرایط اقلیمی بافت شهری را در فرآیندی فیزیکی بین اتمسفر، زمین، ساختمان‌ها و گیاهان، در جهت نیل به آسایش حرارتی تحلیل و محاسبه می‌کند. داده‌های ورودی مشخصات فیزیکی سایت مورد نظر و اطلاعات جغرافیایی و هواشناسی را در بر می‌گیرد. داده‌های مورد نیاز مشخصات فیزیکی محدوده مطالعاتی، شامل جنس و میزان بازتابش مصالح، موقعیت، ابعاد و نوع درختان موجود و همچنین حجم سه بعدی آن و داده‌های جغرافیایی و هواشناسی شامل طول و عرض جغرافیایی سرعت و جهت باد در ارتفاع ۱۰ متری و میزان پوشش ابرناکی در زمان شبیه‌سازی است. محاسبه آسایش حرارتی علاوه بر دمای متوسط تابشی و شاخص‌های دیگر نظیر سرعت باد، رطوبت و دمای هوا نیازمند مشخصات فردی همچون سن، جنسیت، نوع پوشاک و نرخ فعالیت شخص نیز است. در نرم‌افزار Envi - met با کمک محاسبات Biomet می‌توان شاخص‌های آسایش حرارتی  $PMV$ ،  $PPD$ ،  $PET^k$ ،  $UTCI^l$  محاسبه نمود.

**روش انجام شبیه‌سازی:** در شروع بررسی، با توجه به طول یک کیلومتری مسیر پیاده‌راه، تعداد بیست و یک نقطه بر روی آن در نظر گرفته شده است. هر یک از این نقاط دارای شرایط ویژه‌ای از لحاظ موقعیت قرارگیری، عرض پیاده‌راه، میزان پوشش سایه درختان، جهت مسیر حرکت، نزدیکی به منابع آب و جنس کف‌سازی و رنگ مصالح کف هستند. به کمک مدل طراحی شده از محدوده مطالعاتی حریم قلعه فلک‌الافلاک که مسیر پیاده‌راه نیز جزئی از آن است، در نرم‌افزار Envi Met شبیه‌سازی به همراه اطلاعات هواشناسی ایستگاه سینوپتیک خرم‌آباد در بازه زمانی ۶ صبح الی ۲۱ شب انجام شد. میزان دما، تابش، رطوبت و شاخص  $PPD$  در این نقاط برای روز ۱ مرداد ماه ۱۳۹۸ ه.ش، به عنوان یکی از گرم‌ترین روزهای سال، با کمک نرم‌افزار Biomet که یک نرم‌افزار جانبی Envi met است، محاسبه می‌شود؛ سپس با توجه به داده‌های تصاویر و نمودارهای حاصل از شبیه‌سازی و مقایسه شرایط حرارتی همه نقاط روی مسیر پیاده‌راه با دیگر نقاط محدوده مطالعاتی، انتظار می‌رود مقادیر مطلوب الگوی بهینه در طراحی پیاده‌راه جهت دستیابی به آسایش حرارتی بدست آید.

جدول شماره ۵ - اطلاعات هواشناسی در ۲۰۱۹/۰۷/۲۲-۱۳۹۸/۰۵/۰۱، (ایستگاه سینوپتیک خرم‌آباد، ۱۳۹۹)

میانگین دمای خاک	میانگین سرعت باد	رطوبت نسبی میانگین	رطوبت نسبی حداقل	رطوبت نسبی حداکثر	دمای میانگین	دمای حداقل	دمای حداکثر
۲۲	۱/۷۵	۱۷/۸۷	۱۰	۲۶	۳۶/۱	۲۹/۲	۴۴/۲

مقادیر کمی مولفه‌های شخصی و نرخ پوشش مخصوص شهروندان برای محاسبه شاخص  $PPD$  در جدول شماره ۶ ذکر شده است.



جدول شماره ۶ - مؤلفه های شخصی در ۱۳۹۸/۰۵/۰۱ - ۲۰۱۹/۰۷/۲۲

جنس	سن	وزن Kg	قد M	سرعت پیاده روی M/S	ضریب میزان پوشش CLO	نرخ متابولیک W
مرد	۳۵	۷۵	۱/۷۵	۰/۹	۰/۵	۱۴۲/۶۲
زن	۳۵	۶۳	۱/۶۵	۰/۵	۰/۹	۱۱۶/۴۹

نرخ پوشش برای مردان در این ماه عدد ۰/۵ (لیاس سبک تابستانی) و برای خانمها عدد ۰/۹ (چادر، مانتو، روسری) که با توجه به ویژگی های فرهنگی و اجتماعی منطقه در نظر گرفته شده است. همچنین وابسته به نوع فعالیت، یعنی پیاده روی در فضای باز و نرخ فعالیت، با توجه به تفاوت متابولیسمی بدن افراد با گروه های سنی مختلف، در این پژوهش گروه سنی جوان با سن ۳۵ سال و برای پیاده روی با سرعت ۰/۹ متر بر ثانیه برای آقایان و ۰/۵ متر بر ثانیه برای خانمها در نرم افزار مینای محاسبه قرار گرفته است.



تصویر ۶ - سایت طراحی شده و نقاط شماره گذاری شده جهت بررسی آسایش حرارتی در مسیر پیاده راه



تصویر ۷ - فضای سبز و درختان سایت در محیط Envi met و برشی از مسیر پیاده راه و همجواری های سایت

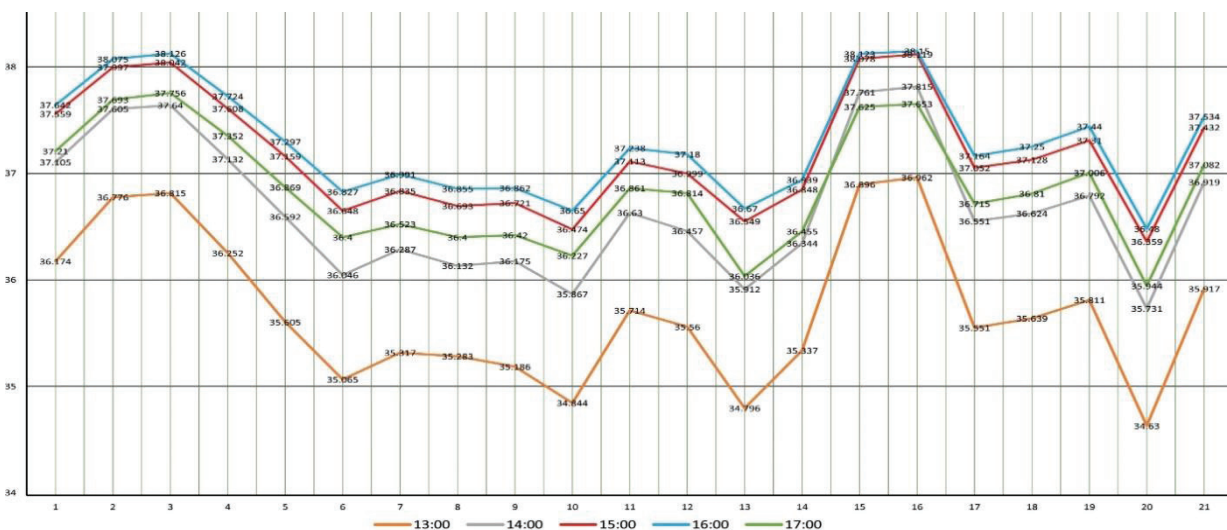
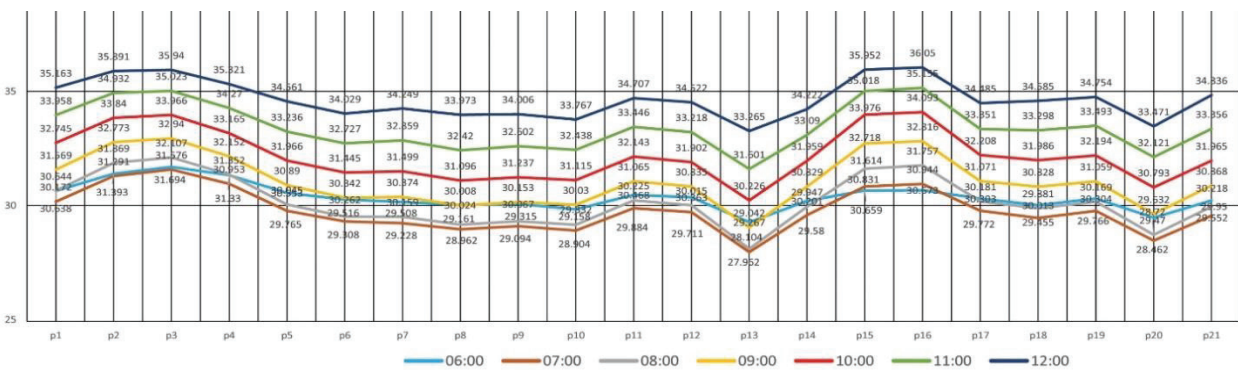
برای تعیین تأثیر مؤلفه های جنس مصالح و رنگ کف، میزان پوشش درختان و نزدیکی به منابع آب، تغییر جهت و پهنای مسیر پیاده راه، نقاط مطابق جدول زیر در نظر گرفته شده است:

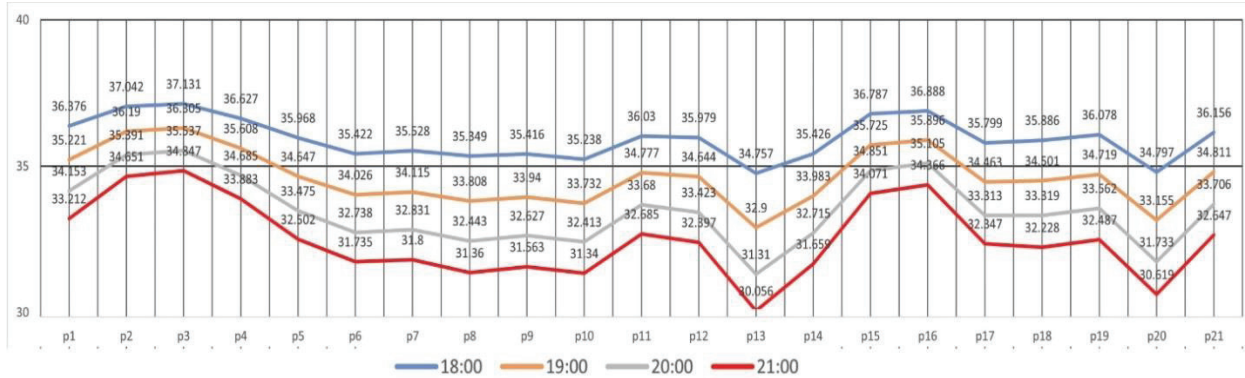
جدول ۷ - اطلاعات مصالح و جهت مسیر در ۲۱ نقطه تعیین شده بر روی پیادهراه

نقاط	مصالح کف	رنگ مصالح	عرض پیادهراه	جهت گیری پیادهراه
P1-P2	بتن	رنگ روشن	۲۰ متر	شمالی - جنوبی
P3-P4	بتن	رنگ روشن	۲۵ متر	شرقی - غربی
P5-P6	بتن	رنگ روشن	۱۰ متر	شرقی - غربی
P6-P7	بتن	رنگ روشن	۱۰ متر	شمالی - جنوبی
P8-P9	آجر	زرد	۱۰ متر	شمالی - جنوبی
P10-P11	خاک	قهوه‌ای روشن	۱۰ متر	شمالی - جنوبی
P12-P13	آجر	قرمز	۱۰ متر	شمالی - جنوبی
P14-P15-P16	بتن	رنگ روشن	۱۰ متر	شرقی - غربی
P16-P17	بتن	رنگ روشن	۱۰ متر	شمالی - جنوبی
P17-P18	بتن	رنگ روشن	۱۰ متر	شرقی - غربی
P19-P20	بتن	رنگ روشن	۱۰ متر	شمالی - جنوبی
P20-P21	بتن	رنگ روشن	۱۰ متر	شرقی - غربی

## یافته‌های تحقیق

بررسی اطلاعات دمایی حاصل از شبیه‌سازی حرارتی در ۱ مرداد ماه ۱۳۹۸:





تصویر ۸ - میزان دما در نقاط ۲۱ گانه تعیین شده بر مسیر پیاده‌راه در ساعات ۶ الی ۲۱ در ۱ مردادماه ۱۳۹۸

جدول ۸. بیشترین و کمترین درجه حرارت در نقاط مشخص شده در مسیر پیاده‌راه در ۱ مرداد ۹۸

ساعات شبیه‌سازی شده در ۱ مرداد ۹۸	۱۸-۱۹-۲۰-۲۱	۱۳-۱۴-۱۵-۱۶-۱۷	۶-۷-۸-۹-۱۰-۱۱-۱۲
نقاط دارای بیشترین درجه حرارت به ترتیب	P3-P2-P16-P15	P16-P3-P15-P2	P16 -P15- P3-P2
نقاط دارای کمترین درجه حرارت به ترتیب	P13-P20	P20 -P13-P10	P13-P20

### جمع بندی از اطلاعات دمایی حاصل از شبیه‌سازی حرارتی در ۱ مرداد ماه ۱۳۹۸: جدول شماره ۷ که از

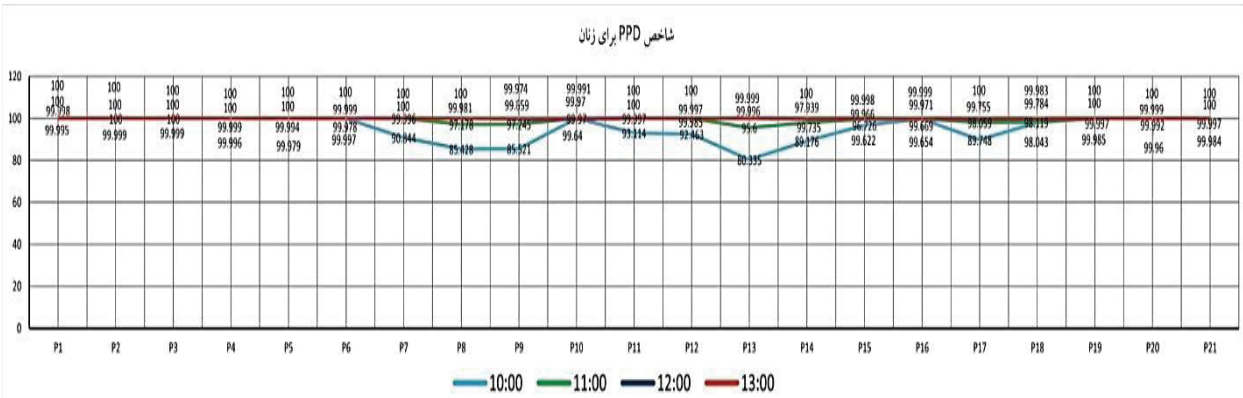
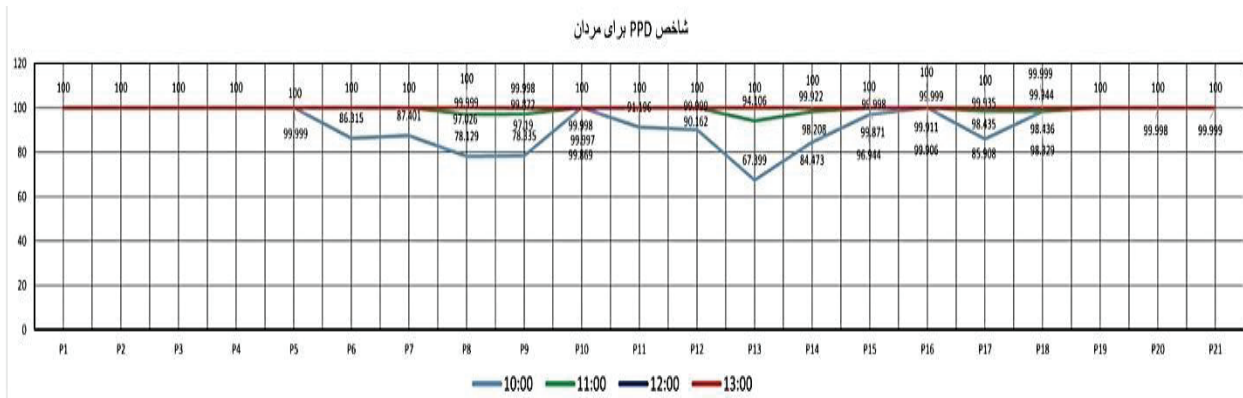
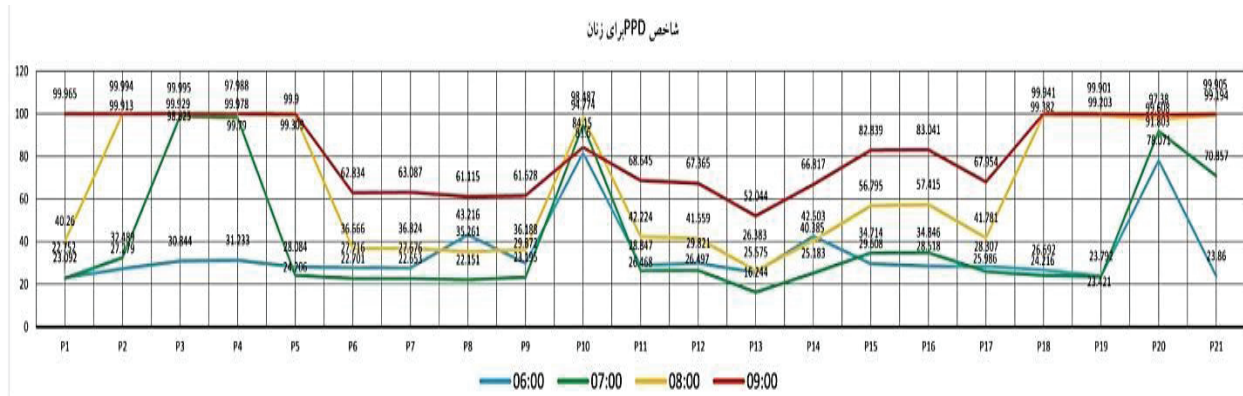
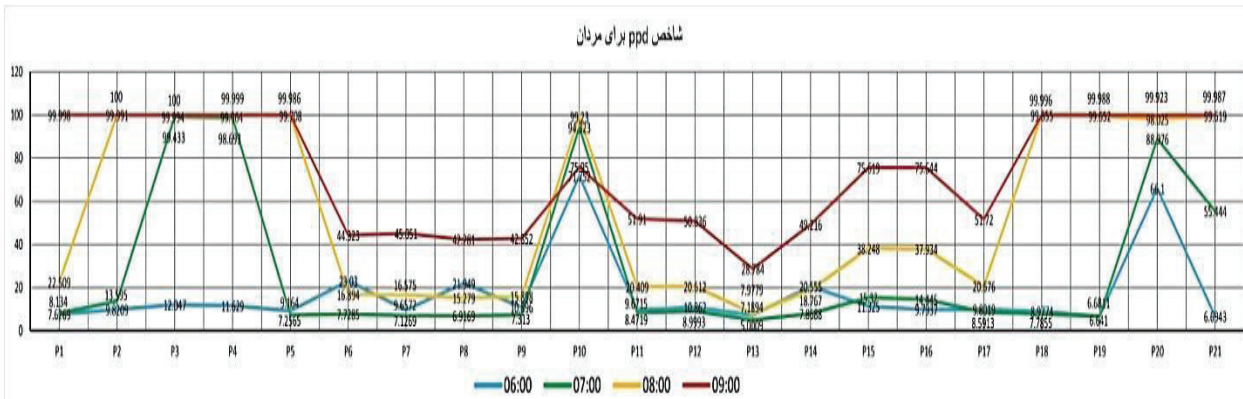
بررسی نمودارهای دما در ساعات شبیه‌سازی شده بدست آمده نشان می‌دهد که از ساعات ۶ الی ۱۲ کمترین دما متعلق به نقطه P13 به میزان ۲۷/۹۶، سپس در نقطه P20 به میزان ۲۸/۴۶ است که در ساعت ۷ اتفاق افتاده است. بیشترین دما در این محدوده زمانی، در ساعت ۱۲ در نقطه P16 به میزان ۳۶/۰۵ درجه سلیسیوس اندازه‌گیری شده است و سپس نقاط P16، P15، P2، P3 بترتیب دارای دمای ۳۵.۱۶، ۳۵.۹۴، ۳۶.۰۵، ۳۵.۹۵ هستند. این نقاط در راستای شرقی غربی مسیر پیاده‌راه واقع شده‌اند و در محل نقاط P2، P3، عرض پیاده‌راه به میزان ۱۵ متر عریضتر از سایر نقاط پیاده راه است و پوشش درختان چنان نمی‌تواند کل سطح پیاده‌راه را در سایه قرار دهد.

در محدوده زمانی ۱۳-۱۷ کمترین دما در ساعت ۱۳ در نقطه P20 به میزان ۳۴/۶۳ درجه سلیسیوس است که این نقطه داری کف‌سازی بارنگ روشن و از جنس بتن است و در کنار آنمای بزرگ رقص موزیکال واقع است و همچنین در این ساعت نیز در سایه درختان چنان سمت غرب خود، قرار دارد. نقطه بعدی P13 به میزان ۳۴/۷۹، و سپس P10 به میزان ۳۴/۸۶ درجه سلیسیوس است. این دماها برای نقاط اخیر به دلیل راستای شمالی-جنوبی مسیر و سایه‌اندازی درختان سمت غرب پیاده‌راه ایجاد می‌شود؛ هر چند جنس مصالح نقطه P10 زمین خاکی بوده و نقطه P13 نیز از آجر کف قرمز رنگ استفاده شده است.

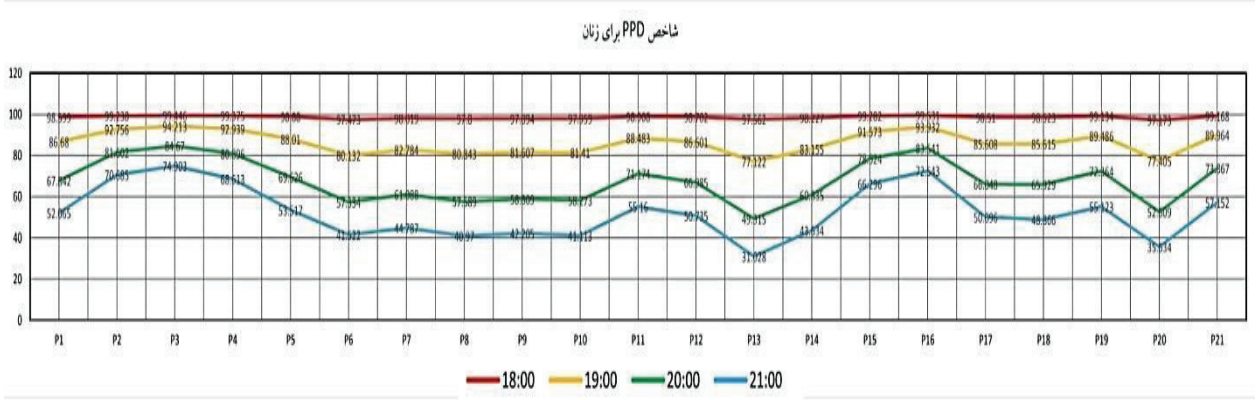
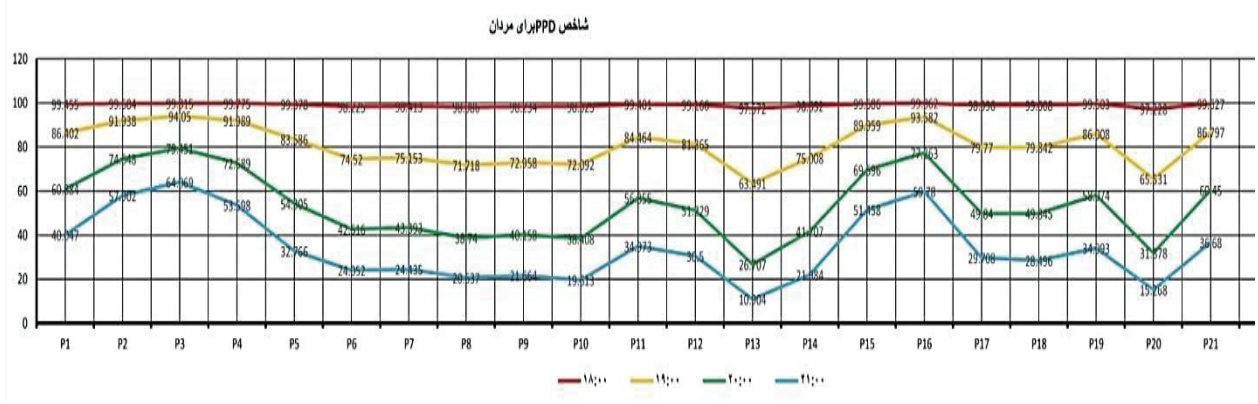
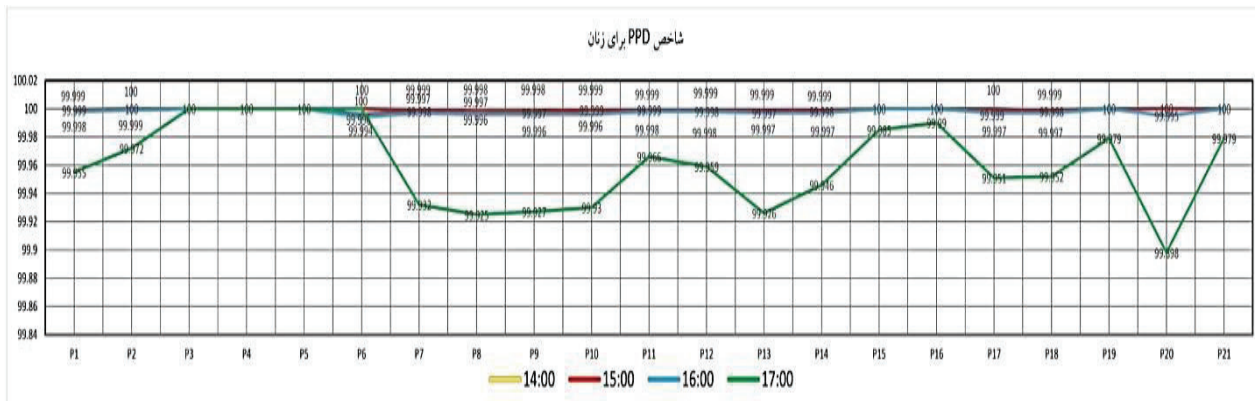
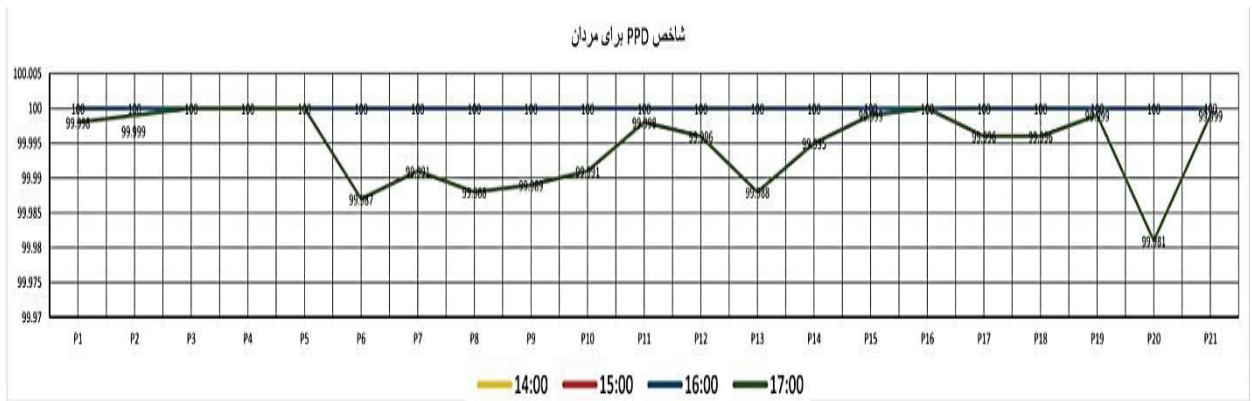
بیشترین دما در ساعت ۱۶ در نقطه P16 به میزان ۳۸/۱۵ و سپس P3 به مقدار ۳۸/۱۲۶، نقطه P15 به مقدار ۳۸/۱۲، P2 به مقدار ۳۸/۰۷ درجه سلیسیوس بدست آمده است. افزایش دما در این نقاط نسبت به نقاط P6 الی P14 به دلیل شرقی غربی بودن مسیر در این نقاط است که باعث افزایش میزان تابش و در نتیجه، سبب بالا رفتن درجه حرارت در این نقاط می‌شود. در محدوده زمانی ۱۸ الی ۲۱ کمترین دما در ساعت ۲۱، در نقطه P13 به میزان ۳۰/۰۶ و سپس نقطه P20 به مقدار ۳۰/۶۱ درجه سلیسیوس اتفاق افتاده است. بیشترین دما در این محدوده زمانی در ساعت ۱۸، در نقطه P3 به مقدار ۳۷/۱۳ و سپس در نقطه P2 به مقدار ۳۷/۰۴، P16 به مقدار ۳۶/۸۸ و نقطه P15 به مقدار ۳۶/۷۸ اندازه‌گیری شده است.

### میزان شاخص PPD مردان و زنان در نقاط مشخص شده روی مسیر پیاده‌راه در تاریخ ۱ مردادماه ۹۸: شاخص PPD

یکی از شاخص‌های مهم در آسایش حرارتی است. این شاخص مانند شاخص PMV به وسیله نرم‌افزار Envi Met قابل محاسبه است. در این فرایند با دادن اطلاعات هواشناسی و مؤلفه‌های شخصی به نرم‌افزار این شاخص محاسبه می‌شود؛ سپس، با توجه به اعداد بدست آمده درجه احساس حرارتی شخص در محدوده مطالعاتی تعیین می‌شود. مقادیر شاخص آسایش حرارتی، از ساعت ۶ الی ۲۱، در ۲۱ نقطه تعیین شده از مسیر پیاده‌راه، قید شده است:



تصویر ۹ - مقایسه شاخص PPD برای مردان و زنان در نقاط مشخص شده بر مسیر پیاده‌راه در ساعات ۶ الی ۱۳ در مرداد ماه ۱۳۹۸



تصویر ۱۰- مقایسه شاخص PPD برای مردان و زنان در نقاط مشخص شده بر مسیر پیاده‌راه از ساعات ۱۴ الی ۲۱ در ۱ مردادماه ۱۳۹۸

جمع‌بندی از مقایسه شاخص PPD مردان وزنان در نقاط روی مسیر پیاده‌راه در ۱ مرداد ماه ۱۳۹۸: مقایسه مقادیر شاخص PPD نشان می‌دهد که میزان آسایش حرارتی مردم از ساعت ۶ تا ساعت ۱۰ صبح، در محدوده‌ای بوده است که میزان درصد ناراضیاتی حرارتی کمتر از ۵۰ درصد است. اما از این ساعت به بعد بطور فزاینده‌ای مقدار آن افزایش می‌یابد. بطوری که از ساعت ۱۲ الی ۱۷ این مقدار به ۱۰۰ درصد خود می‌رسد که نشان از ناراضیاتی شدید حرارتی از فضا دارد. از ساعت ۱۹ روند کاهشی پیدا می‌کند و در ساعت ۲۱ با مقدار ۳۱.۰۵ در نقطه p13 می‌شود. از دیگر نکات قابل توجه این نمودارها این است که در نقاط p20 و p13 از ساعت ۱۹ شرایط دمایی قابل تحمل‌تر از بقیه مسیر است که به دلیل میزان سطح پوشش درختان در این دو نقطه و نزدیکی آنها به آب‌نمای رقص موزیکال است.

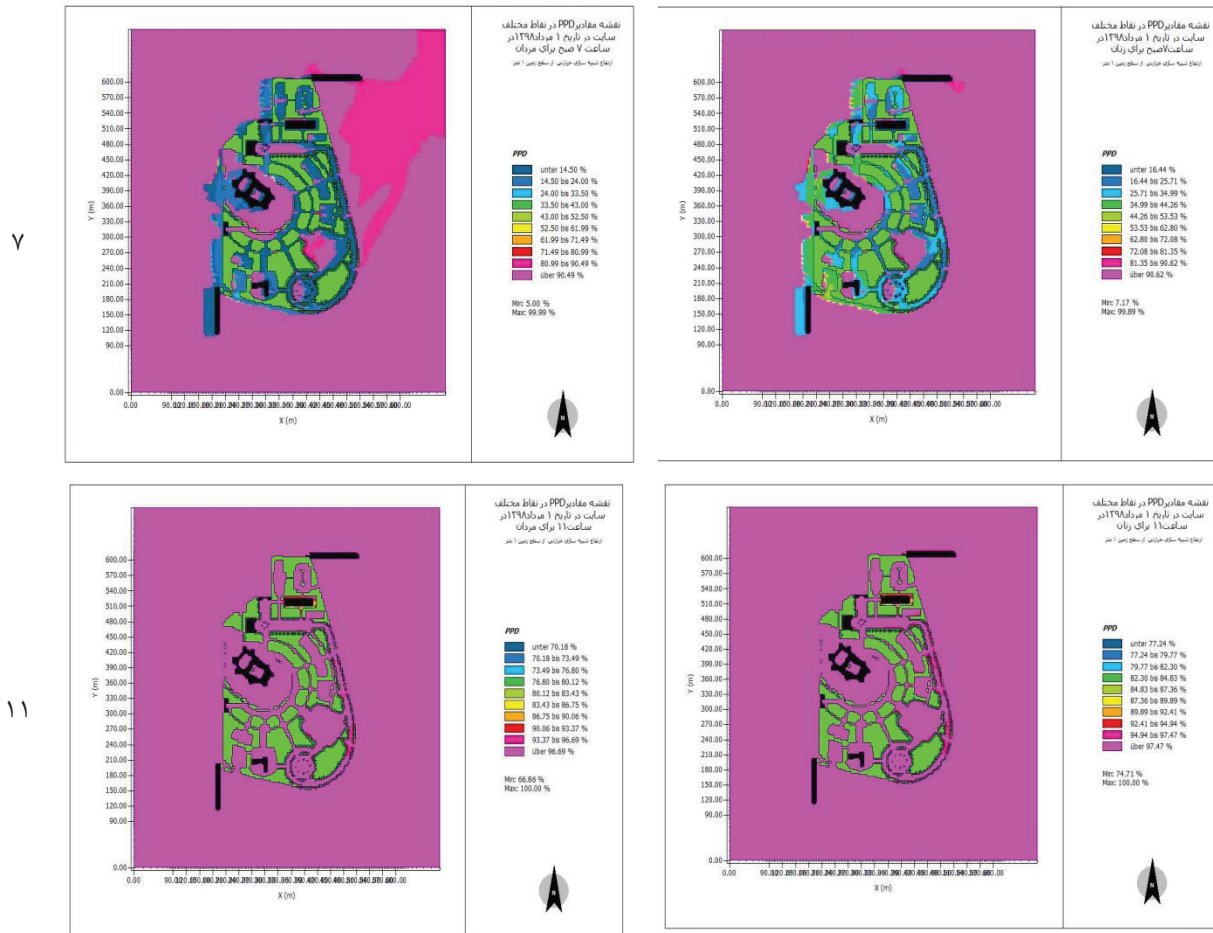
کف‌سازی در نقطه p13 از آجر قرمز و در نقطه p20 از بتن با رنگ روشن است. البته بدلیل در سایه بودن این نقاط تغییر جنس و رنگ مصالح اختلاف محسوس دمایی را ایجاد نمی‌کند. نقاط p6، p7، p8، p9 نیز وضعیت دمایی و رضایتمندی بهتری از ساعت ۱۹ به بعد دارند که بدلیل راستای شمالی- جنوبی بودن مسیر پیاده‌راه و انبوه درختان چنار در این نقاط است. از نکات دیگر این نمودارها که مقایسه شاخص PPD بین مردان و زنان است نیز مشخص می‌شود که خانم‌ها بدلیل پوشیدگی بیشتر لباس هایشان از احساس ناراضیاتی حرارتی بیشتری در مقایسه با مردان در این فصل سال هستند.

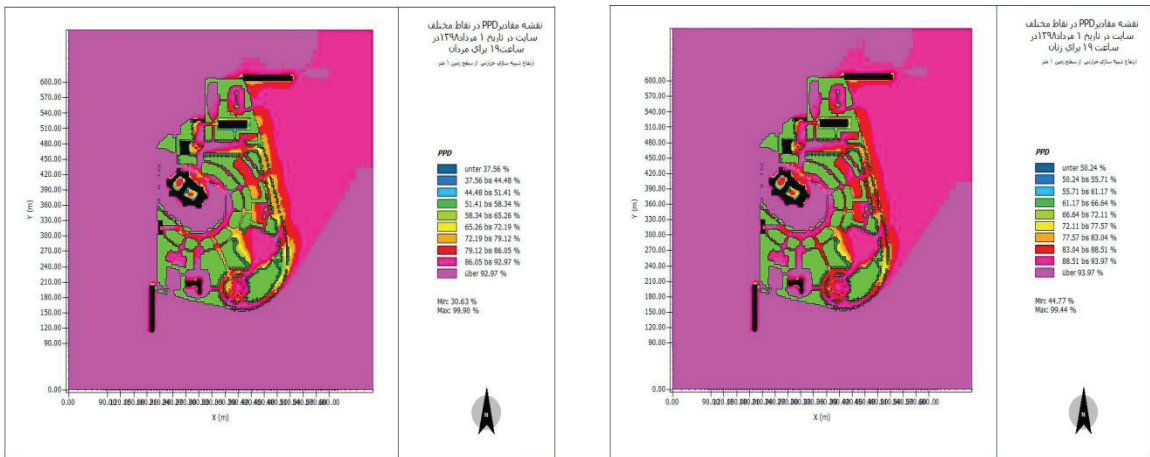
مقایسه شاخص PPD در سایت قلعه فلک‌الافلاک و پیاده‌راه طراحی شده در آن در ۱ مرداد ماه ۱۳۹۸: اکنون میزان شاخص PPD در سایت قلعه فلک‌الافلاک و پیاده‌راه طراحی شده در آن را به کمک برنامه Biomet که یک نرم‌افزار جانبی Envi met است، را محاسبه کرده تا تأثیر طراحی را در آسایش حرارتی مسیر پیاده راه و سایت قلعه فلک‌الافلاک به صورت نقشه‌های گرافیکی رنگی بر این شاخص مشاهده کنیم. البته میزان این شاخص برای مردان و زنان به صورت جداگانه بدست می‌آید.

ساعت:

مردان

زنان



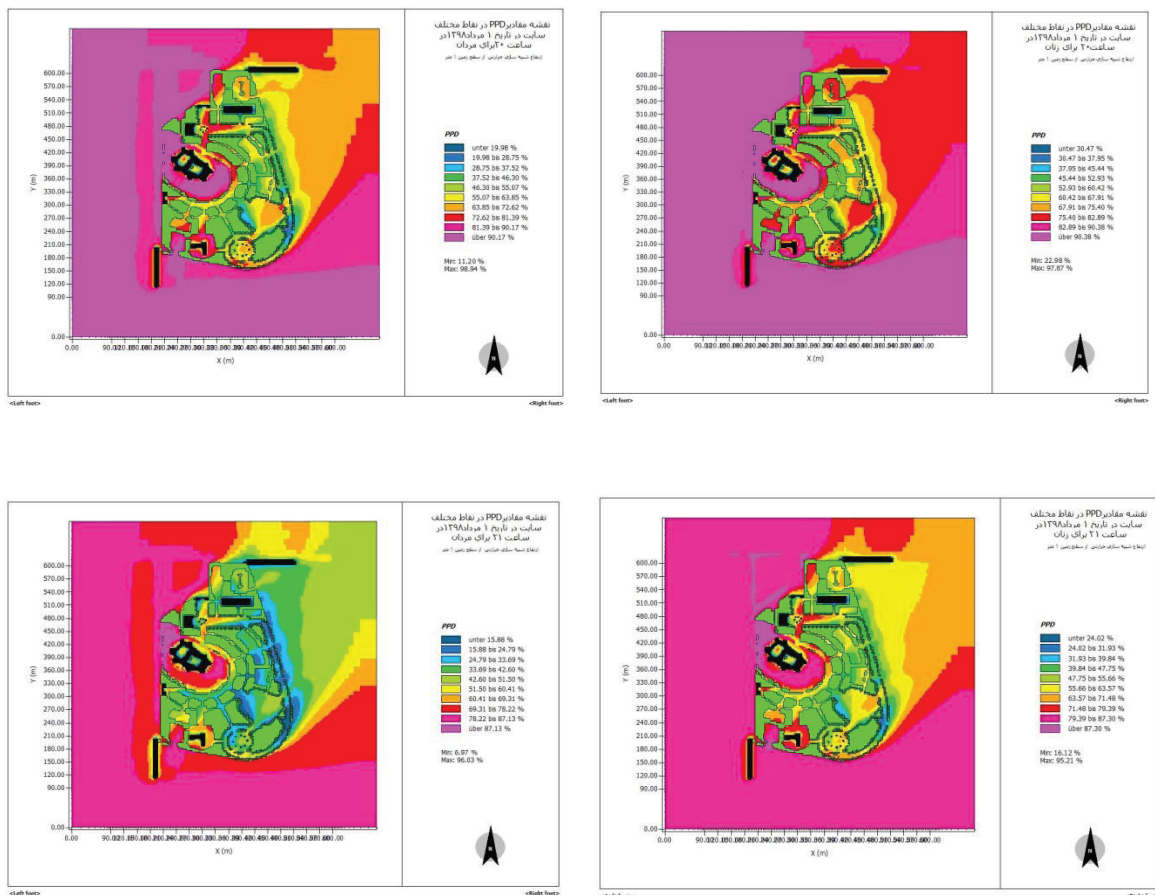


تصویر ۱۱. شبیه‌سازی شاخص PPD بوسیله نرم افزار جانبی Biomet از سایت قلعه فلک الافلاک و پیاده‌راه طراحی شده در آن برای مردان و زنان در ساعات ۷، ۱۱، ۱۹ در تاریخ ۱ مرداد ماه ۱۳۹۸

ساعت

مردان

زنان



تصویر ۱۲- شبیه‌سازی شاخص PPD به وسیله نرم افزار جانبی Biomet از سایت قلعه فلک الافلاک و پیاده‌راه طراحی شده در آن برای مردان و زنان در ساعات ۲۰، ۲۱ در تاریخ ۱ مرداد ماه ۱۳۹۸

## بحث و نتیجه گیری

به دلیل کلان بودن وسعت شهر خرم‌آباد، پذیرش تأثیر سازگاری و ناسازگاری بعضی از ویژگی‌های کلی جغرافیایی آن مثل «واقع شدن بین دو رشته کوه در شرق و غرب»، اجتناب ناپذیر است. اما ویژگی‌های دیگر مثل «پهنای بهینه بستر رودخانه»، «پهنای بهینه ساحل رودخانه»، «فضای سبز-درختان کهنسال چنار»، «استفاده از جریان آب در پیاده راه»، قابل تغییرند؛ بنابراین می‌توانند قوانین طراحی را به خود مشغول کنند. بررسی‌های انجام شده در جغرافیای محلی رودکنار خرم‌آباد، تصویر ۷، نشان می‌دهد که بیشتر امتداد مسیر حرکت در ساحل شرقی آن با یک انحراف ۱۵ درجه غربی در راستای شمال-جنوب جهت‌گیری شده است؛ با این استثناء که در شمال محدوده مطالعاتی تغییر جهت در راستای شرق-غرب (نقاط P1 تا P5) و در جنوب آن (نقاط P14 تا P19) تغییر تدریجی مسیر در تبعیت از دایره، و نقاط P20 و P21 که برای ادامه مسیر در نظر گرفته شده است، وجود دارد. بنابراین انتظار می‌رود که شرایط جغرافیای محلی رودکنار برای نقاط بیست و یک گانه (P1 تا P21) در چهار گروه کلی متفاوت باشد.

در یک رویکرد تحلیلی، مشخصات جدول ماهونی برای شهر خرم‌آباد در یک صورت کلی نشان‌دهنده وجود شرایط آسایش حرارتی مطلوب در سه فصل اردیبهشت، مهر و آبان از سال است. بنابراین انتظار می‌رود که در نه ماه باقیمانده یعنی فروردین، خرداد، تیر، مرداد، شهریور، آذر، دی، بهمن و اسفند آسایش حرارتی نامطلوب وجود داشته باشد. به این ترتیب می‌توان گفت که نزدیک به ۴۵ درصد از مواقع سال سرما حاکم است و برای گرم کردن فضای داخل ساختمان باید از گرمایش مکانیکی استفاده کرد. و همچنین در ۳۰ درصد از مواقع سال هوا گرم است و باید از تهویه و سرمایش مکانیکی استفاده نمود. مجموع ارقام مواقع گرم و سرد سال نشان می‌دهد که شرایط آسایش تنها در ۲۵ درصد از مواقع سال برای شهر خرم‌آباد برقرار است. بررسی‌های انجام شده بر روی شاخص حرارتی PPD در روز اول مرداد ماه در منطقه مطالعاتی، نشان می‌دهد که با یک استثناء از ناسازگاری، در ساعت ۷ صبح در نقاط P3، P4، P5 و در امتداد مسیر در راستای شرقی-غربی، در باقی هفده نقطه باقیمانده، از منظر دمای هوا و تابش خورشید، آسایش حرارتی مطلوب وجود دارد. با حفظ همین شرایط، کمترین میزان شاخص PPD برای مردان ۱۴ درصد و برای زنان ۱۶/۴۴ درصد است.

در ادامه بررسی‌ها نشان می‌دهند، ساعت ۹ در نقطه P13 کمترین درصد نارضایتی و نقاط P16، P15، P3، P4، P5 بدلیل راستای شرقی-غربی مسیر، بیشترین درصد نارضایتی وجود دارد. همچنین نقاط فاقد پوشش درخت، مانند P19، P21، P20، درصد نارضایتی بالایی دارند. کمترین میزان شاخص PPD برای مردان در این نقطه ۱۶/۱۸ درصد و برای زنان ۳۵/۴۷ درصد است. در ساعت ۱۱ با افزایش میزان تابش و بالا رفتن دما در کلیه نقاط بیشترین درصد نارضایتی مشاهده می‌شود. به همین ترتیب نارضایتی تا ساعت ۱۹ در بیشتر نقاط و محدوده مطالعاتی وجود دارد. از ساعت ۱۹ درصد نارضایتی با غروب خورشید کاهش می‌یابد، بطوریکه کمترین میزان نارضایتی در این ساعت برای مردان ۳۰/۶۳ درصد و برای زنان ۴۴/۷۷ درصد دیده می‌شود. نقاط P20، P13 دارای کمترین میزان درصد نارضایتی و نقاط P16، P15، P3، P4، P5 دارای بیشترین درصد نارضایتی در طول مسیر این ساعت هستند. در ساعت ۲۱ نقاط P2، P3، P16، به ترتیب با مقادیر ۷۲/۵۴، ۷۰/۵۸، ۷۴/۹ درصد، بیشترین درصد نارضایتی حرارتی را نشان می‌دهند. میزان شاخص PPD در این نقاط در کمترین حالت برای مردان ۶/۹۷ و برای زنان ۱۶/۱۲ درصد است. بررسی تطبیقی در مجموع نشان می‌دهد که در میانه فصل تابستان شرایط آسایش حرارتی در فضای باز بدلیل گرمای هوا (۴۴/۲ درجه سانتی‌گراد) در طول روز (از ساعت ۹ تا ۱۹) وجود ندارد، و فقط در ساعات ابتدایی روز تا ساعت ۹ و بعد از ظهر از ساعت ۱۹ به بعد با رعایت نرخ پوشش و فعالیت، و استفاده از دالان‌های سبز، آسایش حرارتی امکان‌پذیر است. همچنین مشخص می‌شود که مردان از لحاظ فیزیولوژیکی و نرخ پوشش کمتر در این شرایط از وضعیت بهتری نسبت به زنان برخوردارند. بررسی صورت گرفته با کمک نرم افزار envi met مشخص می‌گردد که در روز ۱ مرداد ۹۸ در ساعات محدودی از روز آسایش حرارتی وجود دارد بطوری که از ساعت ۱۰ الی ۱۹ بدلیل بالا بودن دمای هوا در فضای بیرونی آسایش حرارتی وجود ندارد و درصد شاخص نارضایتی حرارتی در بیشترین مقدار یعنی ۹۵ درصد است تا زمان غروب خورشید که در این روز در ساعت ۱۸:۲۶ دقیقه است ادامه می‌یابد و از ساعت ۱۹ الی ۲۱ که شبیه‌سازی حرارتی انجام گرفته است بدلیل عدم وجود تابش خورشید دما کاهش یافته و درصد شاخص نارضایتی حرارتی نیز کاهش می‌یابد و آسایش حرارتی برقرار می‌شود.

در یک جمع‌بندی با بررسی شاخص PPD پیاده راه رودکنار خرم‌آباد در محدوده مورد مطالعه، آسایش حرارتی در موارد زیر برقرار بوده است:

- ۱- در ساعات اولیه صبح تا ساعت ۹ و از ساعت ۱۹ به بعد
- ۲- در مسیر پیاده‌راهی که جهت شمالی - جنوبی دارد.
- ۳- در مسیر پیاده‌راهی که در دو سمت آن درختان چنار وجود داشته و عرض پیاده راه از ۱۰ متر تجاوز نکند.



- ۴- در مسیر پیاده‌راهی که نزدیک منابع آب و فضای سبز بوده است.  
 ۵- در مسیر پیاده‌راهی که در دو سمت آن بوته‌های متراکم شمشاد به ارتفاع ۱۲۰ سانتی متر وجود دارد.  
 ۶- در مسیر پیاده‌راهی که در فاصله مابین سطح زمین و شروع برگ درختان سایبان عمودی جهت ایجاد سایه بر مسیر پیاده راه قرار داده شده است.

## پی‌نوشت‌ها

- a - Envi Met (نرم‌افزار شبیه‌سازی حرارتی)  
 b - Predicted Percentage of Dissatisfied  
 c - Effective Temperature  
 d - Resulting Temperature  
 e - Humidity operating temperature  
 f - Wind Chill Index  
 g - Heat stress index  
 h - Standard effective temperature  
 i - Predicted mean vote  
 j - نرم‌افزار جانبی انوی مت برای محاسبه شاخص‌های آسایش حرارتی  
 k - Physiologically Equivalent Temperature  
 l - Universal Thermal Climate Index

## فهرست منابع

- پوردیهیمی، ش. (۱۳۷۸) ساخت و ساز همساز با اقلیم، نشریه صفا، ۹(۲۸): ۲۵-۳۸.  
 حیدری نژاد، ق، دلفانی، ش، زنگنه، م. و حیدری نژاد، م. (۱۳۸۸) آسایش حرارتی. تهران: مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن.  
 حیدری، ش. (۱۳۸۸) در جستجوی هویت شهری ایلام. تهران: مرکز مطالعاتی و تحقیقاتی شهرسازی و معماری.  
 ذوالفقاری، ح. (۱۳۸۶) تعیین تقویم زمانی مناسب برای گردش در تبریز با استفاده از شاخص‌های دمایی معادل فیزیولوژی PET و متوسط نظرسنجی پیش بینی شده PMV، نشریه پژوهش‌های جغرافیایی، ۵(۶۲): ۱۲۹-۱۴۱.  
 طاهباز، م. (۱۳۸۶) طراحی سایه در فضای باز، نشریه هنرهای زیبا، ۳۱(۳۱): ۲۷-۳۸.  
 قیابکلو، ز. (۱۳۸۲) الگوی حرکت سابه و طراحی سایت، نشریه هنرهای زیبا، ۱۵(۱۵): ۵۸-۶۸.  
 معرفت، م، امیدوار، ا، حیدری، ش، ذولفقاری، ا، ذولفقاری، س، شارسان، آ، فیاض، ر، طهماسبی، ف، لنگرانی، م. و مهرگان، س. (۱۳۹۰). تعیین شاخص‌های آسایش حرارتی PMV و PPD و معیارهای آسایش حرارتی موضعی. تهران: سازمان ملی استاندارد ایران.  
 مجیدی، ف، حیدری، ش، قلعه نویی، م. و قاسمی سیچانی، م. (۱۳۹۸) ارزیابی و تحلیل وضعیت آسایش حرارتی فضای باز محلات مسکونی با استفاده از شاخص‌های حرارتی (نمونه موردی: محلات منتخب شهر اصفهان)، نشریه معماری و شهرسازی ایران، ۱۰(۱۸): ۱۱۳-۱۲۶.  
 بهزادفر، م، منعم، ع. (۱۳۸۹) تأثیر ضریب دید به آسمان در آسایش حرارتی کاربران فضای باز شهری، بررسی بوستان‌های منتخب شهر تهران، نشریه آرمانشهر، ۳(۵): ۲۳-۳۴.  
 حیدری، ش، منعم، ع. (۱۳۹۲) ارزیابی شاخص‌های آسایش حرارتی در فضای باز، نشریه جغرافیا و توسعه ناحیه ای، ۱۱(۱): ۱۹۷-۲۱۶.  
 محمودی، ا، قاضی‌زاده، س. و منعم، ع. (۱۳۸۹) تأثیر طراحی در آسایش حرارتی فضای باز مجتمع‌های مسکونی نمونه مورد مطالعه: فاز سه مجتمع مسکونی اکباتان، نشریه هنرهای زیبا، ۲(۴۲): ۵۹-۷۰.  
 معرفت، م، امیدوار، ا. (۱۳۹۲) آسایش حرارتی: محاسبات و ملاحظات طراحی. تهران: یزدا.  
 Ahmed-Ouameur, F., & Potvin, A. (2007). Microclimates and thermal comfort in outdoor pedestrian spaces a dynamic approach assessing thermal transients and adaptability of the users. In Proceedings of the solar conference (Vol. 2, p. 592). AMERICAN SOLAR ENERGY SOCIETY; AMERICAN INSTITUTE OF ARCHITECTS.  
 Carmona, M., & Tiesdell, S. (Eds.). (2007). *Urban design reader*. Routledge.  
 Fanger, P. O. (1970). *Thermal comfort. Analysis and applications in environmental engineering*. Thermal comfort. Analysis and applications in environmental engineering.  
 Fanger, P. O. (1972). *Thermal comfort: Analysis and applications*. Environmental engineering.  
 Fobelets A and Gagge AP (1988). Rationalization of the effective temperature ET\* as a measure of the enthalpy of the human environment, *ASHRAE Transactions*, 94, 12- 31.

- Hensen, J. L. (1990). Literature review on thermal comfort in transient conditions. *Building and environment*, 25(4), 309-316.
- Gaspari, J., & Fabbri, K. (2017). A study on the use of outdoor microclimate map to address design solutions for urban regeneration. *Energy Procedia*, 111, 500-509.
- Kántor, N., & Unger, J. (2011). The most problematic variable in the course of human-biometeorological comfort assessment—the mean radiant temperature. *Central European Journal of Geosciences*, 3(1), 90-100.
- Lang, J. (1987). Creating architectural theory. The role of the behavioral sciences in environmental design.
- Lenzholzer, S. (2012). Research and design for thermal comfort in Dutch urban squares. *Resources, conservation and recycling*, 64, 39-48.
- Middel, A., Selover, N., Hagen, B., & Chhetri, N. (2016). Impact of shade on outdoor thermal comfort—a seasonal field study in Tempe, Arizona. *International journal of biometeorology*, 60(12), 1849-1861.
- Stathopoulos, T. (2006). Pedestrian level winds and outdoor human comfort. *Journal of wind engineering and industrial aerodynamics*, 94(11), 769-780.
- Setaih, K., Hamza, N., & Townshend, T. (2013, August). Assessment of outdoor thermal comfort in urban microclimate in hot arid areas. *In 13th International Conference of International Building Performance Simulation Association, Chambery, France* (pp. 3153-3160).
- Thorsson, S., Lindqvist, M., & Lindqvist, S. (2004). Thermal bioclimatic conditions and patterns of behaviour in an urban park in Göteborg, Sweden. *International journal of biometeorology*, 48(3), 149-156.

## Investigation of PPD index in thermal comfort of urban open spaces in Summer (Case study: Sidewalk in riverside, Khorramabad City)

*Noor Mohammad Monjezi, Assistant Professor, Faculty of Architecture and Urban Planning, Jundishapur University, Khuzestan Province, Dezful, Iran*

*Ali Eslamimoghadam\*, Master student, urban design, architecture and urban planning, Jundishapur University of Technology, Dezful, Iran.*

*Received: 2021/11/22*

*Accepted: 2022/1/26*

**Introduction:** Regarding the importance, although it is a significant task to determine all the influencing factors on the riverbanks, thermal comfort is much more effective. For this reason, the balanced relationship between the presence of people and the enjoyment of thermal comfort can play an effective role in creating a public and open urban space. In this research, by examining the thermal comfort on the urban sidewalk and knowing the factors that affect the thermal comfort in the open space, it is possible to achieve an urban space that citizens are willing to use, and this is the necessity of this research and its purpose. Investigating thermal comfort in riverside sidewalks is to find the factors that create the greatest impact between humans and the environment in urban open spaces and ultimately increase the attendance rate in these spaces.

**Methodology:** The current research aims to investigate the climatic and environmental factors in the thermal comfort of the users of the Khorram Abad city sidewalk by using water levels, the shade of plantain trees, and vertical canopies on the sidewalk. After reviewing the history of thermal comfort studies in urban open spaces, which is based on library studies and includes reading texts, and using articles, in thermal comfort, the PPD index, which is a valid index in thermal comfort, was selected and then using influence of the selected parameters on the degree of a thermal sensation of people has been investigated using the analytical method.

**Results:** In an analytical approach, the specifications of the Mahoni table for Khorramabad city show the existence of favorable thermal comfort conditions in the three seasons of May, October, and November of the year. Therefore, it is expected that there will be unfavorable thermal comfort in the remaining nine months, i.e., April, June, July, August, September, December, Bahman, and March. In this way, we can say that it is cold almost 45% of the time of the year and mechanical heating should heat the space inside the building. Also, 30% of the time of the year, the weather is hot and mechanical ventilation and cooling should be used. The total figures for hot and cold times of the year show comfortable conditions exist only in 25% of the times of the year for Khorramabad city.

**Conclusion:** The comparative study shows that in the middle of summer there is no thermal comfort in the open space because of the heat of the air (44.2°C) during the day (from 9:00 to 19:00), and only in the early hours of the day until 9:00 and Thermal comfort is possible from 19:00 onwards by observing the coverage and activity rate and using green corridors. It is also clear that men have better conditions than women in terms of physiology and a lower coverage rate in this situation. The investigation carried out with the help of Envi Met software shows that on August 1, 2018, there is thermal comfort in limited hours of the day, so from 10:00 to 19:00 there is no thermal comfort because of the high temperature in the outdoor space and the percentage of thermal dissatisfaction index It is at its highest value, i.e. 95%, until sunset, which is at 6:26 p.m. on this day, and from 7:00 p.m. to 9:00 p.m., when the thermal simulation was performed, because of the absence of sunlight, the temperature decreased and the percentage of the thermal dissatisfaction index also decreased.

**Keywords:** Sidewalk, Thermal Comfort, Khorramabad, Summer, PPD.

\* Corresponding Author's E-mail: [alieslamimoghadam@yahoo.com](mailto:alieslamimoghadam@yahoo.com)