بررسی میزان اثر و نقش پوشش گیاهی بر متغیرهای تعیین‌کنندهٔ آسایش حرارتی فضای باز[1]

مطالعهٔ موردی: اقلیم گرم و خشک سیستان

مرتضی ادیب[4]
استادیار دانشکدهٔ معماری و شهرسازی، دانشگاه شهید بهشتی

جمشید داوطلب[2]

محمدرضا حافظی[3]
استادیار دانشکدهٔ معماری و شهرسازی، دانشگاه شهید بهشتی

واژگان کلیدی: پوشش گیاهی، آسایش حرارتی در فضای باز، اقلیم خرد، سیستان، شاخص WBGT

چکیده

فضای باز عرصه‌ای برای بسیاری از فعالیت‌های روزمره، و بهبود وضع زندگی در محیط‌های باز، یکی از مهم‌ترین مباحث معماران و شهرسازان است. پژوهش حاضر تلاش کرده است تا با توجه به ضرورت و نیاز روانی انسان به حضور در فضاهای باز و اهمیتی که در برقراری آسایش در این‌گونه فضاها یک برای حضور طولانی‌تر و با کیفیت‌تر افراد احساس می‌شود، ضمن بررسی و شناخت ویژگی‌های ساختاری فضای سبز، عوامل مؤثر در ایجاد و تعدیل شرایط آسایش حرارتی در فضای بازِ متأثر از فضای سبز را مورد کنکاش قرار داده و میزان اثر هر عامل را مشخص کند. انتخاب منطقهٔ سیستان در اقلیم گرم و خشک حاشیهٔ کویر واقع در شرق ایران که امروزه به علت خشک‌سالی دست‌خوش تغییرات اقلیمی زیادی شده است به منظور نمونهٔ مطالعاتی، انتخابی مناسب در بین مناطق گرم و خشک ایران به حساب می‌آید. بنابراین هدف اصلی این مقاله بررسی و کشف عوامل مؤثر بر پوشش گیاهی در ایجاد آسایش حرارتی فضای باز در اقلیم گرم و خشک سیستان و تعیین میزان اثر هر یک از عوامل به منظور بهبود وضع خرداقلیمِ سبز است.

برداشت‌های میدانی در ۲۹ مکان و دو محوطهٔ متفاوت (فضای سبز محض، و ترکیبی از فضای سبز و ساختمان) در نزدیکی یکدیگر در دانشگاه زابل توسط دستگاه‌های هواشناسی WBGT، Kestrel و TES در گرم‌ترین روزهای سال در تیر و مرداد ۱۳۹۵ با فواصل زمانی ۳ ساعته و در سه مقیاس اقلیم خرد، اقلیم محلی، و اقلیم شهری انجام گرفت. پارامترهای دمای هوا، رطوبت نسبی، سرعت جریان باد و دمای کروی در هریک از نقاط تعیین‌شده برداشت و میانگین دمای تابشی نیز با استفاده از داده‌های فوق محاسبه شد. در نهایت تحلیل آماری و منطقی روابط بین متغیرهای حاصل از کار میدانی به کمک نرم‌افزار Minitab و با استفاده از معیار آسایش گرمایی فضای باز WBGT انجام پذیرفت.

بر اساس تحلیل‌های انجام‌یافته و با بررسی وضعیت پارامترهای مؤثر بر آسایش حرارتی، مشاهده شد که فضای سبز در محل خود وضعیت محیطی را بهبود بخشیده و در مجموع می‌تواند شرایط آسایش حرارتی فضای باز را تعدیل کند، اما بلافاصله با عبور از فضای سبز شرایط محیطی به وضعیت قبل برمی‌گردد. علاوه بر آن بیشترین اثرگذاری فضای سبز از بین پارامترهای محیطی، بر سرعت باد و میانگین دمای تابشی دیده شد. مقایسهٔ مقیاس‌های مختلف اقلیم نیز نشان داد که شرایط آسایش حرارتی در اقلیم خرد در زمان و مکان مورد مطالعهٔ این تحقیق، مناسب‌تر از شرایط اقلیم شهری، و اقلیم شهری مناسب‌تر از اقلیم محلی است.

۱. این مقاله مستخرج از پایان‌نامه دکتری معماری نویسندهٔ مسئول است با عنوان *اثر پوشش گیاهی بر شرایط آسایش حرارتی فضای باز شهری*، که به راهنمایی استادان دکتر شهرام پوردیهیمی و دکتر محمدرضا حافظی و مشاورهٔ دکتر مرتضی ادیب در دانشکدهٔ معماری و شهرسازی دانشگاه شهید بهشتی در حال تدوین است.

۲. دانشجوی دکتری معماری، دانشگاه شهید بهشتی، نویسندهٔ مسئول؛
j_davtalab@sbu.ac.ir
3. mr-hafezi@sbu.ac.ir
4. m.adib@sbu.ac.ir

پرسش‌های پژوهش

۱. آیا پوشش گیاهی می‌تواند شرایط آسایش حرارتی را برای کاربران محیط‌های باز فراهم کند؟

۲. چه سطوحی از پوشش گیاهی و به چه میزان می‌تواند در تعدیل پارامترهای تعیین‌کنندهٔ شرایط آسایش حرارتی محیط باز اثرگذار باشد و عوامل مؤثر بر میزان این اثرگذاری در فضای باز کدامند؟

۳. خرداقلیم متأثر از پوشش گیاهی چه مقدار با اقلیم محلی و شهری متفاوت است؟

مقدمه

شهرها به علت پدیدهٔ «جزیرهٔ حرارتی» ناشی از تراکم زیاد جمعیت، دمای‌شان نسبت به محیط‌های روستایی بالاتر است و دچار چالش‌های فراوانی از جمله تغییر در خرداقلیم‌ها و نیازمند انرژی بیشتر شده‌اند. بنابراین نیاز مبرم به استراتژی‌های تعدیل حرارتی احساس می‌شود و تاکنون روش‌های متعددی برای تعدیل حرارتی و کاهش جزایر حرارتی پیشنهاد شده است که از آن میان دو فاکتور مصالح و گیاه به عنوان فاکتورهای پیشنهادی در بسیاری از استراتژی‌های تعدیل حرارتی دیده می‌شوند.[۵] در این زمینه سایتو معتقد است که یکی از عوامل اصلی افزایش‌دهندهٔ جزایر حرارتی، جایگزینی فضای ساخته‌شده به جای فضای سبز بوده است.[۶] از طرفی هم‌نشینی محیط‌های باز و نیمه‌باز در کنار فضاهای بستهٔ ساختمانی است که معماری را معنا می‌بخشد و این مسئله اهمیت تنظیم شرایط آسایشِ حرارتی فضاهای باز را دوچندان می‌کند.[۷]

بیشتر تحقیقات میدانی دربارهٔ اثر واحه‌ایِ پوششِ گیاهی دربارهٔ اقلیم‌های مدیترانه‌ای، اقیانوسی، گرمسیری، و نیمه‌گرمسیری به انجام رسیده است و کمترین میزان تحقیقات میدانی در زمینهٔ اقلیمِ گرم و بیابانی انجام یافته است. در حالی که به نظر می‌رسد بیشترین اثرگذاری فضای سبز در تعدیل حرارتی در این اقلیم قابل مشاهده باشد و نیاز این اقلیم به کاهش دما با توجه به طبیعت خشن آن و وجود محیط‌زیست شدید و سخت برای ساکنان، بیش از سایر اقلیم‌های معرفی و تبیین شده است.[۸] لذا انتخاب منطقهٔ سیستان در اقلیم گرم و خشک حاشیهٔ کویر واقع در شرق ایران ـ که امروزه دست‌خوش تغییرات اقلیمی چون گرم‌شدن هوا، افزایش سرعت باد و وجود ماسه‌بادی فراوانِ برخاسته از کف دریاچهٔ خشک‌شدهٔ هامون شده است ـ به منزلهٔ نمونهٔ مطالعاتی، انتخابی مناسب در بین مناطق گرم و خشک ایران به حساب می‌آید. بنابراین هدف اصلی این مقاله بررسی و کشف عوامل مؤثر در ایجاد و تعدیل آسایش حرارتی در فضای سبز در زمینهٔ اقلیمی گرم و خشک سیستان و ارائه راهکارهای کلی و جزئی به منظور بهبود وضع خرداقلیمِ سبز است. البته در ادامهٔ هدف اولیه، چگونگی نیل به فضایی مطلوب و تبیینِ الگوی نظری برای تعدیل آسایش حرارتی فضای باز معماری و شهری، منظور نظر است.

۵. ارمغان احمدی، *طراحی شهری انرژی کارا بر پایهٔ ساختار شهری*، ص۳۲.

6. Saito, *Energy and Buildings*, p. 494.

۷. منصوره طاهباز، *آسایش در فضاهای باز و معابر*، ص۲.

۸. احمدی، همان، ص۸۶.

۱. پیشینهٔ تحقیق

بحث آسایش حرارتی در فضای باز مبحث جدیدی است که باید به آن توجه بیشتر شود. به دلایل متعدد تعریف آسایش حرارتی در فضای باز پیچیدگی‌های بیشتری نسبت به فضای بسته دارد. این تفاوت‌ها باعث شده است که برخی از محققان استانداردهای فضای بسته را قابل تعمیم به فضای باز ندانند.[۹] نتایج پژوهش‌های آسایش حرارتی فضای باز در اقلیم‌ها و موقعیت‌های مختلف نشان می‌دهند که محدودهٔ آسایش حرارتی با توجه به تفاوت‌های جغرافیایی و شخصیتی، متفاوت است.[۱۰] بر این اساس ضرورت دارد که آسایش حرارتی فضای باز در هر منطقه جغرافیایی به صورت مستقل مورد ارزیابی قرارگیرد.

با مطالعهٔ پژوهش‌ها در زمینهٔ آسایش حرارتی در فضاهای باز، می‌توان این پژوهش‌ها را در سه دسته جای داد: دستهٔ اول مطالعاتی هستند که به ارتباط میان آسایش حرارتی و الگوهای رفتاری اجتماعی و میزان فعالیت‌ها در فضاهای باز می‌پردازند. دستهٔ دیگری از پژوهش‌های آسایش حرارتی در فضاهای باز به اثرگذاری مجموعهٔ عوامل محیطی اعم از عوامل طبیعی و مصنوع و هم‌نشینی آن‌ها کنار یکدیگر در آسایش حرارتی می‌پردازند[۱۱] و دستهٔ سوم پژوهش‌ها که در حوزهٔ تحقیق این پژوهش هستند به صورت متمرکز به موضوع اثرگذاری یک عنصر محیطی خاص بر ایجاد آسایش پرداخته‌اند.[۱۲] برخی از این پژوهش‌ها بدین قرار است: وایو[۱۳] در مقالهٔ خود به نقش اکولوژیکی درختان و اثرات آن‌ها در شکل‌گیری خرداقلیم سازگار با محیط اشاره می‌کند. هدف از این مطالعه ارزیابی میزان نقش درختان در بهبود دما و رطوبت محیط و اثر متقابل آن‌ها در شکل دادن به خرداقلیمِ سازگار است. روش کار این پژوهش، جمع‌آوری داده‌های هواشناسی دما و رطوبت در شرایط بود و نبودِ درختان و انتخاب شبکهٔ برداشت به گونه‌ای بوده است که تمامی ویژگی‌های سطوح را پوشش دهد.[۱۴] در مقالهٔ دیگری اثرات اقلیمی درختان بر آسایش حرارتی در محوطهٔ باز میان ساختمان‌های مسکونی توسط محمد فهمی[۱۵] و استفان[۱۶] مورد مطالعه قرار گرفته است.[۱۷] همچنین در پژوهشی که با هدف ارزیابی تفاوت دمای بوستان و محیط اطراف آن و الگوی اقلیمی فضای بوستان مرکزی لیسبون پرتقال صورت گرفت، مشخص شد که بوستان در طی تمامی ساعات روز و شب به‌خصوص در فصل تابستان خنک‌تر از محیط اطراف است و همچنین ساختار فضای سبز، مؤثر بر اقلیم درون بوستان است.[۱۸] یافته‌های پژوهشی که بر روی فضای بوستانی با درختان انبوه، پیاده‌رویی در خیابان باریک، و میدانگاهی شهری در مرکز سائوپولو[۱۹] برزیل انجام گرفت، نشان داد که تابش و میزان جریان هوا بیش از سایر عوامل بر ارزیابی آسایش حرارتی مؤثر است. نتایج تأکید کرد که با ایجاد فضاهای متنوع در فضاهای باز، می‌توان آسایش حرارتی را برای تعداد بیشتری از افراد فراهم ساخت.[۲۰]

علاوه بر نمونه‌های ذکرشدهٔ بالا، در پژوهش‌های دیگری در فضای باز شهری (خیابان‌ها، میدان‌ها، محوطهٔ دانشگاه‌ها و مجتمع‌های مسکونی) که توسط پژوهشگران داخلی[۲۱] و خارجی صورت گرفته به نقش عناصر طبیعی مانند فضای سبز و آب،[۲۲] ماهیت گونهٔ گیاهی و چیدمان آن‌ها،[۲۳] و نقش کف‌سازی[۲۴] و سایه[۲۵] در آسایش حرارتی فضاهای بازِ شهری پرداخته‌اند. دربارهٔ ارزیابی نقش فضای سبز در ایجاد آسایش حرارتی در فضای باز برای نمونه می‌توان به پژوهش جولیاس[۲۶] اشاره کرد که یافته‌های آن نشان داد در مکان‌هایی که محدودیت‌هایی برای ایجاد تغییرات با استفاده از مصالح مصنوع وجود دارد، تغییر پوشش گیاهی بهترین راهکار است؛ چون که درختان می‌توانند ۵ تا ۱۰ درصد بار فیزیولوژیکی نارضایتی حرارتی را کاهش دهند.[۲۷]

بر طبق تحقیقات انجام‌شده، پوشش گیاهی از سه طریق اثرگذاری بر سرعت وزش باد، سایه‌اندازی، و ایجاد رطوبت حاصل از تبخیر و تعرق، آسایش حرارتی محیط را تحت شعاع قرار می‌دهند. دو عامل سایه‌اندازی و رطوبت، از عوامل اصلی تعدیل حرارتی گیاهی به شمار می‌روند.[۲۸] علاوه بر این دو

۹. نک: Emmanuel, 2005: 1592.
۱۰. نک: Lin et al., 2010a.
۱۱. نک: Panagopoulos, 2008.
۱۲. سمانه متقی‌پیشه، *سایه و آسایش در بـاغ ایرانی؛ نمونهٔ مـورد مطالعه: باغ‌های شیراز*، ص۷۷.
۱۳. نک: Imawan Wahyu.
۱۴. نک: Hidayat & Wahyu, 2010.
۱۵. نک: Mohamad Fahmy.
۱۶. نک: Stephen Sharples.
۱۷. نک: Fahmy & Stephen, 2009.
۱۸. نک: Andrade & Vieira, 2007.
19. Sao Poulo
۲۰. نک: Monteiro & Alucci, 2009b.
۲۱. نک: طاهباز ۱۳۶۹، متقی‌پیشـه ۱۳۹۲، رضایی ۱۳۹۵، اسلامی ۱۳۹۵ و احمدی ۱۳۹۵
۲۲. نک:
Saito et al., 1990; Gaitani et al., 2007; Chen et al., 2009b.
۲۳. نک:
Chen et al., 2008; Fahmy, 2009.
۲۴. نک:
Chen et al., 2009a; Lin et al., 2010b.
۲۵. نک:
Ali Toudert & Mayer, 2006; Lin et al., 2010a.
۲۶. نک: Gulyas, 2009.
۲۷. علیرضا منعام، *آسـایش محیطی در فضای باز شهری*، ص۴۶.
28. Santamouris, 2007, p.213, Bernatzky, 1982, p.7.

عامل، نفوذ تابش نیز در کنترل دمایی اثرگذار است؛ به‌طوری که پناه‌گرفتن از پرتو خورشید یا مسیری که به نور خورشید منتهی می‌شود، عامل اصلی استفاده از فضاهای شهری است.[۲۹] در تحقیقی که لیبارز در سال ۲۰۰۵ منتشر کرد، نشان داد که شاخ و برگ گیاهی تا میزان ۶۰ تا ۹۰ درصد می‌تواند از نفوذ تابش جلوگیری کند و بازتاب از زمین نیز به تبع آن کاهشی چشم‌گیر می‌یابد و بنابراین دمای تابشی و دمای ادراکی به شکل محسوسی کاهش می‌یابند.[۳۰]

فصل مشترک تحقیقات انجام‌شده این است که هنگامی که پوشش گیاهی در سطوح شهری قرار داده شود، تعادل حرارتی می‌تواند به سمت شرایط خنکی‌کنندگی (همانند مناطق روستایی) تغییر کند. اما آن‌چه مهم است و در طراحی فضای باز کاربرد دارد، مطالعه و شناخت میزان و میدان اثر خنک‌کنندگی فضای سبز شهری و عوامل مؤثر بر این دو پارامتر است. این تحقیق رفتار حرارتی متفاوت فضاهای سبز را بررسی خواهد کرد و به دنبال علت تفاوت در دامنهٔ اثرگذاری و میزان اثر در سطوح پوشیده‌شده با فضاهای سبز مختلف در عین شناخت عوامل مؤثر بر این رفتارهاست.

۲. روش و ابزار تحقیق

به منظور پاسخ به سؤالات تحقیق، مباحثی مانند آسایش حرارتی فضای باز، پوشش گیاهی و اثر آن بر شرایط آسایش حرارتی و تعدیل دما، عوامل مؤثر و پارامترهای مربوط به آن، و شناخت روش‌ها و ابزار سنجش و اندازه‌گیری از طریق مطالعات کتابخانه‌ای گردآوری شده است. همچنین داده‌های محیطی مانند دمای هوا، رطوبت نسبی، سرعت جریان باد، و میانگین دمای تابشی متاثر از هر یک از پارامترهای اندازه، شکل، نسبت پوشش (میزان پوشش گیاهی در واحد سطح)، میزان سایهٔ فضای سبز، مساحت و شکل برگ، و ماهیت گونهٔ گیاهی از طریق بررسی‌های میدانی و با انتخاب دو محوطهٔ فضای سبز در مقیاس خرد به منزلهٔ نمونهٔ موردی، اندازه‌گیری و محاسبه شده است. همچنین تمامی داده‌ها به استناد روش برگرفته از مقاله و پایان‌نامهٔ خانم سمانه متقی‌پیشه، در سه مقیاس اقلیمی یعنی اقلیم خرد (محوطه‌های منتخب)، اقلیم محلی (پشت‌بام مرتفع‌ترین ساختمان موجود در محوطه‌های منتخب) و اقلیم شهری (آمار ساعتی ایستگاه هواشناسی در روزهای برداشت) جمع‌آوری و مقایسه شده است.[۳۱] این تحقیق با توجه به موضوع، درگیر عواملی مانند کیفیت هوا و شرایط محیطی می‌شود و به نوعی یک تحقیق کمی است و در مورد اندازه‌ها و رابطهٔ آن‌ها بحث می‌کند. لذا به تناسب از روش تحقیق کمی در آن استفاده شده است و جهت به حداقل رساندن عوامل مداخله‌گر بر مکان و طبیعت خاص تأکید دارد. همچنین به منظور تجزیه و تحلیل داده‌ها و دستیابی به اثرات پارامترها بر یکدیگر و کشف رابطهٔ بین این داده‌ها تا حصول نتیجه، از آمار استنباطی با کمک نرم‌افزارهای Excel و Minitab استفاده شده است.

۲. ۱. محدوده و زمان موضوع تحقیق

حوزهٔ محیطی مطالعهٔ موردی پژوهش، شهر زابل مرکز منطقهٔ سیستان در شمال استان سیستان و بلوچستان واقع در شرق کشور است که علل انتخاب آن به لحاظ ضرورت‌های اقلیمی و وضع بد آب و هوایی در مقدمه بیان شد. این منطقه بین ۳۰ درجه و ۷ دقیقه تا ۳۱ درجه و ۲۹ دقیقهٔ عرض شمالی و ۵۹ درجه و ۵۸ دقیقه تا ۶۱ درجه و ۵۰ دقیقهٔ طول شرقی قرار دارد.[۳۲] (ت ۱)

با توجه به هدف پژوهش که شناخت اثر خنک‌کنندگی[۳۳] فضای سبز است و پس از بررسی تمامی فضاهای سبز موجود در شهر زابل و بر اساس معیارهایی که فضاهای سبز مورد پژوهش باید داشته باشد تا بتوان به سوالات تحقیق پاسخ داد، فضاهای سبز موجود در محوطهٔ دانشگاه زابل به منظور محوطهٔ مطالعه انتخاب شده است. همچنین دسترسی راحت به محل آزمایش،

۲۹. نک:
Carmona & Tiesdell, 2007.
30. Leirbard, 2005, p.3.
۳۱. نک: منصوره طاهباز و همکاران، ۱۳۹۱.
32. http://www.irandeserts.com
33. Cooling Effect

کنترل کامل وضعیت و شرایط آزمایش و بحث امنیت دستگاه‌ها و هماهنگی مناسب با حراست مجموعه از دیگر علل انتخاب این محوطه به منظور مکان مطالعه و آزمایش بود. علاوه بر این، محوطه در حومهٔ شهر زابل واقع شده است، بنابراین با انتخاب آن می‌توان تا حدودی اثر عوامل مداخله‌گری چون ترافیک و جزیرهٔ گرمایی حاصل از مرکزیت شهر را از بین برد. همچنین با توجه به اینکه جهت باد غالب در زابل[۳۴] از شمال غرب به جنوب شرق است، با انتخاب محوطهٔ مزبور، شاهد اثر باد بدون دخل و تصرف و تغییر جهت خواهیم بود.

فضاهای سبز موجود در محوطهٔ دانشگاه زابل که سبزترین فضاهای باز شهر زابل است، عمدتاً به دو شکل فضاهای باز بین ساختمان‌ها و فضاهای سبز مجزا وجود دارند. با توجه به هدف پژوهش (سنجش متغیرهای تعیین‌کنندهٔ آسایش حرارتی و اثر خنک‌کنندگی فضای سبز) و به منظور امکان مقایسه و نیز شناخت عوامل مؤثر بر این فضاها، از بین هر یک از فضاهای سبزِ حدِ وسط ساختمان‌ها و فضای سبز مجزا، نمونه‌ای مناسب برای آزمایش انتخاب شد. از دیگر علل انتخاب این دو محوطه، نزدیک بودن‌شان به یکدیگر و حذف عوامل مداخله‌گر حاصل از دوری از یکدیگر است. (ت ۲)

به لحاظ زمانی، با توجه به هدف تحقیق که شناخت و بررسی اثر خنک‌کنندگی پوشش گیاهی در فضای باز در اقلیم گرم و خشک است، روزهای انتخابی جهت برداشت اطلاعات میدانی از میان گرم‌ترین روزهای سال در تیر و مرداد و با فواصل زمانی منطقی که پوششی بر فصل گرما به حساب آید، با هماهنگی ادارهٔ کل هواشناسی استان جهت کار میدانی انتخاب شدند (روزهای ۱، ۲، ۲۱ و ۲۲ تیرماه، و ۵ و ۶ مردادماه ۱۳۹۵). همچنین اطلاعات مورد نیاز با فواصل زمانی ۳ ساعته، طبق تحقیقات انجام‌شده و البته محدویت‌های امنیتی انسانی و ابزاری اندازه‌گیری در شب، در ساعت‌های ۹ صبح، ۱۲ ظهر، ۳ و ۶ بعدازظهر (به علت بیشترین نیاز ساکنان به تعدیل دما در این ساعات) برداشت شد.

۲. ۲. شیوه و ابزار گردآوری اطلاعات

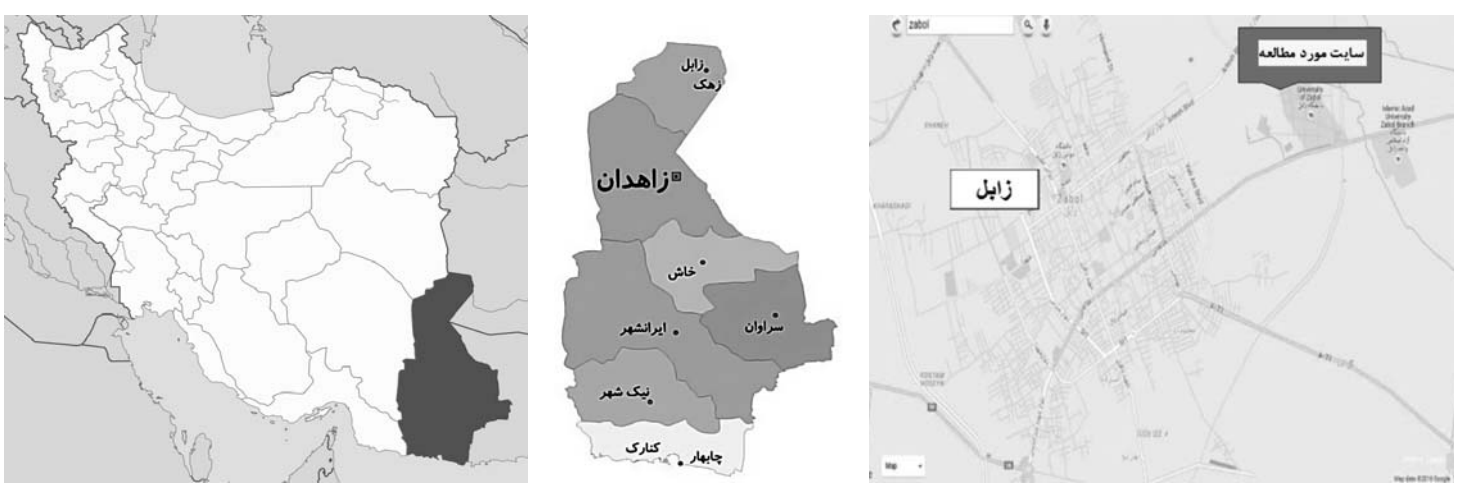
متغیرهای محیطی که تعیین‌کنندهٔ شرایط آسایش حرارتی فضای باز هستند، شامل دمای هوا، میانگین دمای تابشی[۳۵]، سرعت باد و رطوبت هوا هستند؛[۳۶] بنابراین با تغییر هر یک از این متغیرها

۳۴. بادهـــای معروف بـــه یکصد و بیســـت روزه که گاه تا شش ماه نیز طول می‌کشد (گندمکار، ۱۳۸۸).

35. Mean Radiant Temperature

36. Fanger, 1972; Givoni, 1976

ت ۱. موقعیت استان سیستان و بلوچستان در کشور (سمت چپ)، موقعیت شهرستان زابل در استان (وسط) و موقعیت محوطهٔ مطالعه‌شده در شمال شرقی زابل (سمت راست)، مأخذ: گوگل ارت و https://fa.wikipedia.org/wiki/زابل



چه به‌طور مجزا و چه هم‌زمان، شرایط آسایش حرارتی فضای باز دچار تغییر می‌شود. ارزیابی این متغیرها به اَشکال اندازه‌گیری

نام سایت	عملکرد	نوع فضای سبز	مساحت (هکتار)
شماره ۱ (A)	مرکز فرهنگی شهید چمران	مجزا	۱/۵
شماره ۲ (B)	سالن چندمنظوره و دانشکده علوم	حدواسط ساختمان‌ها	۲/۵

$$T_{mrt} = \left[\left(T_g + 273.15\right)^4 + \frac{1.1 \times 10^8 V_a^{0.6}}{\varepsilon D^{0.4}} \times \left(T_g - T_a\right)\right]^{1/4} - 273.15$$

مستقیم، استفاده از معادلات و آمار ایستگاه‌های هواشناسی شهری صورت گرفت. پارامترهایی چون دمای هوا، سرعت باد و رطوبت هوا که به طور مستقیم بر شرایط آسایش حرارتی محیطِ باز اثرگذار هستند، و همچنین پارامتر دمای کروی که برای محاسبهٔ میانگین دمای تابشی مورد نیاز بود در هر یک از نقاط تعیین‌شده، توسط دستگاه‌های اندازه‌گیری قابل حمل به‌طور مستقیم برداشت شد. به توصیهٔ متخصصان هواشناسی پس از کسب تجربه از طریق اندازه‌گیری‌های بسیار و طولانی در اواخر قرن نوزدهم، و به منظور اجتناب از اثر وضعیت زمین و حرکت افراد بر اندازه‌گیری‌ها،[۳۷] کلیهٔ متغیرها در ارتفاع ۱/۵ متری اندازه‌گیری شد. که این تراز ارتفاعی در بازهٔ تعیین‌شده از طرف سازمان هواشناسی جهانی[۳۸] ـ که نصب سنسورها را به دلیل کاهش اثر تابش خورشید، بازتابش سطح زمین و اجسام پیرامون در دمای اندازه‌گیری شده، در ارتفاع ۲–۱/۲۵ متر از سطح زمین مشخص کرده است ـ[۳۹] قرار دارد. همچنین متغیر میانگین دمای تابشی بر مبنای متغیرهای دمای هوا، دمای کروی، و سرعت باد و به کمک معادلهٔ (ت ۳) برای تمامی نقاط اندازه‌گیری شده محاسبه شد.

در معادلهٔ فوق (ت ۳)، V_a سرعت جریان هوا بر حسب متر بر ثانیه، T_a دمای هوا بر حسب درجهٔ سانتی‌گراد، D قطر دماسنج کروی، T_g دمای کروی بر حسب درجهٔ سانتی‌گراد و ε ضریب تشعشع است. این ضریب برای گوی سیاه‌رنگ مسی ۰/۹۵ است.[۴۰]

داده‌های اقلیم شهری شامل دما، رطوبت و سرعت باد نیز از نزدیک‌ترین ایستگاه هواشناسی به محوطه‌های موضوع مطالعه (ایستگاه سینوپتیک زابل) استخراج شد. همچنین جهت برداشت و ثبت متغیرهای محیطی مؤثر بر تعدیل شرایط آسایش حرارتی فضای باز، از دستگاه‌های زیر متناسب با هر یک از پارامترها استفاده شد (ت ۴):

نام دستگاه	متغیر قابل اندازه‌گیری	واحد	میزان دقت	ملاحظات	تصویر
Kestrel 4600	دمای هوا (T_a)	°C	0.5 °C	ـ یک دستگاه هواشناسی نسبتاً کامل ـ دیتالاگر ـ قابلیت ثبت تا ۲۰۰۰۰۰ داده	
	رطوبت نسبی (RH)	%	3 %		
	سرعت باد (V)	m/s	3 %		
	دمای کروی (T_g)	°C	1.4 °C		
WBGT 8778	دمای هوا (T_a)	°C	0.6°C	ـ دماسنجی است که داخل یک کرهٔ مسی به قطر ۱۵۰ میلی‌متر جای داده شده و سطح خارجی کره به رنگ سیاه مات درآمده است.	
	رطوبت نسبی (RH)	%	3 %		
	دمای کروی (T_g)	°C	1.5 °C		
	دمای تشعشعی (WBGT)[41]	°C	0.1 °C		
TES 1341 (Hot wire anemometer)	دمای هوا (T_a)	°C	0.5 °C	ـ هات‌وایر دیتالاگر بادسنجی حرارتی به روش مقاومتی (سیم داغ) است. ـ قابلیت ثبت داده‌ها تا ۲۰۰۰۰ مورد	
	رطوبت نسبی (RH)	%	3 %		
	سرعت باد (V)	m/s	3 %		

۲. ۳. فرآیند گردآوری داده‌های میدانی

گردآوری داده‌ها در گام نخست باید از طریق انتخاب مکان‌هایی مناسب برای اندازه‌گیری انجام شود. لذا انتخاب این نقاط بسیار مهم است و باید هدف‌دار و با لحاظ‌کردن معیارهایی خاص انجام پذیرد. با توجه به معیارها و عوامل مؤثر بر آسایش حرارتی تحت شعاع پوشش گیاهی، این نقاط باید به لحاظ نوع و تراکم پوشش گیاهی، جنس مصالح کف، و نزدیکی به عناصر مصنوع متنوع باشد تا امکان شناخت این عوامل بر آسایش حرارتی محیط میسر شود. علاوه بر این با هدف شناخت میزان و شعاع اثر حرارتی فضای سبز، لازم بود علاوه بر نقاط تعیین‌شدهٔ داخل فضای سبز، نقاطی نیز در خارج از آن به عنوان نمایندهٔ شرایط اقلیمیِ خارج، انتخاب و اندازه‌گیری شوند. این نقاط ـ با توجه به جهت باد در سیستان که از شمال تا شمال غرب است ـ شامل یک نقطه در جبههٔ شمالی و نقاطی دیگر در جبههٔ جنوبی محوطه است که پس از عبور جریان باد از روی محوطه، انتخاب شده است. بر مبنای مشاهدات عینی و با استفاده از نقشه‌های شهری و هوایی، اطلاعات مکانی هر نقطه به عنوان شناسنامهٔ آن موقعیت برداشت شد (ت ۷). تراکم فضای سبز هر موقعیت تعیین‌شده، بر اساس نقشه‌های ماهواره‌ای به سه دستهٔ انبوه، نیمه‌انبوه، و فاقد پوشش سبز تقسیم شد. به جهت امکان تجزیه و تحلیل و مقایسهٔ شرایط آسایش اقلیم خرد محوطه با اقلیم محلی، یک نقطه در پشت بام مرتفع‌ترین ساختمان محوطه در نظر گرفته شد تا بدان واسطه اطلاعات اقلیم محلی ثبت شود. همچنین بر اساس اطلاعات ایستگاه هواشناسی فرودگاه زابل، شرایط اقلیم شهری تعریف و در این تحقیق به کار گرفته شد.

ارزیابی‌های میدانی در ۲۹ مکان ـ که محصول معیارهای

۳۷. شهرام پوردیهیمی، *زبان اقلیمی در طراحـــی محیطی پایدار*، ج۱، ص ۲۰.

38. WMO: World Meteorological Organization

39. Chartered Institution of Building Services Engineers. (CIBSE), 2002, p.2-3.

40. Ashrae, 2001, p. 277.

41. Wet Bulb Globe Temperature

ت ۲ (صفحهٔ روبه‌رو، بالا). موقعیت و مشخصات کلی محوطه‌های فضای سبز منتخب مطالعه‌شده در محوطهٔ دانشگاه زابل، مأخذ: گوگل ارت برگرفته از بررسی نگارندهٔ مسئول.

ت ۳ (صفحهٔ روبه‌رو، پایین). محاسبهٔ میانگین دمای تابشی با استفاده از دمای هوا، سرعت باد و دمای کروی، ماخذ: ISO 7726, 1998.

ت ۴. مشخصات دستگاه‌های اندازه‌گیری متغیرهای اقلیمی مورد نیاز، ماخذ:

www.Kestrelweather.com

www.testequipmentdepot.com/reed/thermometers/8778.htm

www.saenco.com/hse/1392-05-01-08-00-12/tes-1341.html.

بیان‌شده در قسمت پیشین جهت انتخاب نقاط است ـ در دو محوطهٔ متفاوت شمارهٔ ۱ و ۲ در نزدیکی یکدیگر در دانشگاه زابل انجام گرفت (ت ۵). همان‌گونه که بیان شد سایت شمارهٔ ۱ (A) صرفاً فضای سبز و بدون ابنیه، و سایت شمارهٔ ۲ (B) ترکیبی از فضای سبز و ساختمان‌های معمول سه تا چهار طبقه در شهرستان زابل است. مطابق (ت ۶) نقاط اندازه‌گیری داخلی در محوطهٔ شمارهٔ ۱ بر روی یک شبکهٔ شطرنجی به ابعاد ۵۰×۵۰ متر و در محوطهٔ شمارهٔ ۲ روی یک شبکهٔ ۵۰×۶۰ متر واقع شده‌اند که این روش برگرفته از پایان‌نامهٔ کارشناسی ارشد خانم متقی‌پیشه و جهت رسم نمودار تراز دمایی و سایر متغیرهای اقلیمی است که در مقاله‌ای دیگر به این موضوع پرداخته شده است.[۴۲] همچنین نقاط مبنای R_1 و R_2 در خارج محوطه و نقطهٔ R جهت ثبت اطلاعات اقلیم محلی بر پشت بام مرتفع‌ترین ساختمان (دانشکدهٔ علوم) انتخاب شده‌اند.

پارامترهای دمای هوا، رطوبت نسبی، سرعت جریان باد و دمای کروی در هریک از نقاط تعیین‌شده توسط یک دستگاه هواشناسی Kestrel 4600، دو دستگاه WBGT 8778 و دو دستگاه TES 1341 برداشت و ثبت شد. البته برای جلوگیری

۴۲. نک: سیدحسن تقوایی و همکاران، «نقش سایه در باغ ایرانی، بررسی وضعیت آسایش اقلیمی در باغ جهان‌نما و باغ دلگشا»، ص۴۸.

ت ۵. موقعیت برخی از نقاط تعیین‌شده به منظور اندازه‌گیری پارامترهای اقلیمی، عکس‌ها: نگارندهٔ مسئول

a: پشت بام مرتفع‌ترین ساختمان محوطه؛

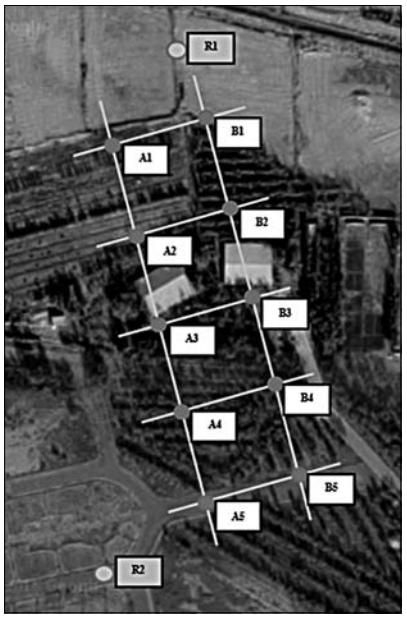
b: نقطه‌ای منتخب در محوطهٔ ۱؛

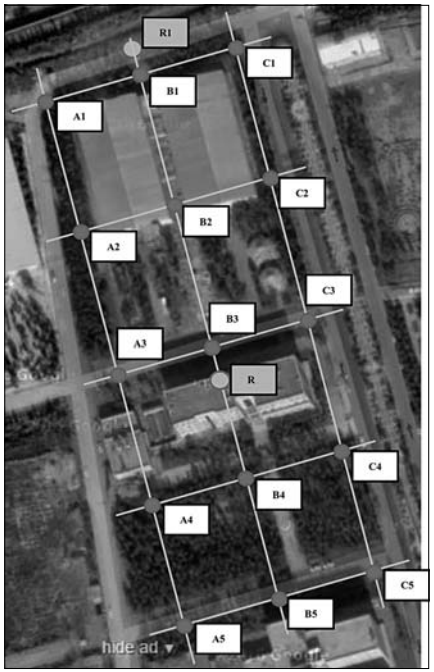
c: نقطهٔ مرجع قبل از محوطه؛

d: نقطهٔ مرجع بعد از محوطه؛

e: نقطه‌ای منتخب در محوطهٔ ۲،

از اختلال ناشی از سایهٔ افراد روی دستگاه‌های هواشناسی و برای تغییر نکردن ارتفاع در نقاط مختلف، همهٔ دستگاه‌ها روی سه‌پایه و در ارتفاع تعیین‌شدهٔ ۱/۵ متر از سطح زمین نصب شدند. همچنین میانگین دمای تابشی با استفاده از داده‌های فوق برای تمامی نقاط محاسبه شد.





نقطه (نام ایستگاه)	نوع پوشش کف			نوع پوشش گیاهی				تراکم پوشش گیاهی	
	سخت	نرم		درخت		بوته		بدون پوشش	تنک	انبوه
	بستر شنی	خاک	چمن	اکالیپتوس	کاج	ذرت	تاک			
R1		*				*				*
A1		*				*				*
B1		*				*				*
A2		*			*				*	
B2		*		*					*	
A3			*		*					*
B3		*		*					*	
A4		*		*					*	
B4			*		*					*
A5	*							*		
B5	*							*		
R2	*							*		

نقطه (نام ایستگاه)	نوع پوشش کف					نوع پوشش گیاهی		تراکم پوشش گیاهی		فاصله از بنا			فاصله از منبع آبی		
	سخت			نرم		درخت	بدون پوشش	تنک	انبوه	تا ۵ متر	۵ تا ۱۰ متر	۱۰ تا ۱۵ متر	تا ۱۰ متر	۱۰ تا ۲۰ متر	بیش از ۲۰ متر
	آسفالت	بستر شنی	بتن کف	خاک	چمن	اکالیپتوس									
R1	*						*				*		*		
A1				*		*			*	*				*	
B1		*					*				*			*	
C1				*		*			*	*				*	
A2			*	*				*		*					*
B2							*			*					*
C2				*		*		*		*					*
A3	*						*					*			*
B3	*						*					*			*
C3	*						*					*			*
A4					*	*			*		*				*
B4				*		*		*				*			*
C4				*		*		*				*			*
A5	*						*				*				*
B5	*						*					*			*
C5	*						*					*			*

ت ۶ (راست). نقاط تعیین‌شده به منظور اندازه‌گیری پارامترهای اقلیمی، محوطهٔ شمارهٔ ۱ روی یک شبکهٔ ۵۰×۵۰ متر (بالا) و محوطهٔ شمارهٔ ۲ روی یک شبکهٔ ۵۰×۶۰ متر (پایین)، تدوین: نگارندگان.

ت ۷ (چپ). مشخصات نقاط برداشت‌شده در محوطه‌های شمارهٔ ۱ (بالا) و شمارهٔ ۲ (پایین)، تدوین: نگارندگان.

۳. تحلیل داده‌ها

داده‌هایی که در این پژوهش گردآوری شده است را می‌توان به دو دسته شامل داده‌های محیطی (دمای هوا، رطوبت نسبی، جریان هوا و میانگین دمای تابشی) و داده‌های فیزیکی (اندازه و شکل فضای سبز، نوع گونهٔ گیاهی، نسبت پوشش، میزان سایه، نوع پوشش کف و ...) تقسیم کرد. داده‌های فیزیکی به منزلهٔ «متغیرهای مستقل» بر داده‌های محیطی (متغیرهای میانجی) اثر گذاشته و این متغیرها به نوبهٔ خود بر آسایش حرارتی در فضای باز معماری و شهری به منزلهٔ «متغیر وابسته» اثرگذارند.

پس از انجام کار میدانی، داده‌های برداشت‌شده توسط دستگاه‌های مختلف هواشناسی، به تفکیک روز، ساعت، و موقعیت نقطه برداشت شد و نوع متغیر در گام نخست وارد نرم‌افزار Excel گردید و با میانگین‌گیری‌های لازم بین داده‌ها در ایام و ساعات مختلف و دسته‌بندی و تنظیم، داده‌ها مناسب تحلیل شدند. همچنین به منظور دستیابی به اثر پارامترها بر یکدیگر و کشف رابطهٔ بین این داده‌ها از آمار استنباطی با کمک نرم‌افزارهای Excel و Minitab استفاده شده است.

۳. ۱. استخراج و تحلیل داده‌های اقلیم شهری

آمار هواشناسی مشخص‌کنندهٔ اقلیم شهری از نزدیک‌ترین ایستگاه هواشناسی به محوطه‌های منتخب «ایستگاه سینوپتیک زابل» به تفکیک روز و ساعت و مطابق با اوقات برداشت‌های میدانی استخراج شد (ت ۸). با توجه به اینکه سرعت باد در ایستگاه‌های هواشناسی در ارتفاع ۱۰ متر سنجیده می‌شود، با فرمول «ت ۹» این پارامتر در ارتفاع ۱/۵ متر محاسبه شد تا بتوان آن را با سرعت باد در داده‌های برداشت میدانی در همین ارتفاع مقایسه کرد.

در این فرمول، V_Z سرعت متوسط باد در ارتفاع مورد نظر بر حسب متر بر ثانیه، V_{Z10} سرعت متوسط باد در ارتفاع دیده‌بانی ایستگاه هواشناسی (ده متر)، Z ارتفاع مورد نظر بر حسب متر و Z_{10} ارتفاع دیده‌بانی ایستگاه هواشناسی (ده متر) است و α عددی است که مقدار آن بستگی به همواری سطح زمین دارد و مقدار آن برای محیط‌های حومه‌ای ۰/۲۵ در نظر گرفته می‌شود.[۴۳]

همان‌طور که نمودار «ت ۱۰» نشان می‌دهد، با حرکت از روز ابتدای اندازه‌گیری (۱ تیرماه) به روز پایان کار میدانی

تاریخ	ساعت	دمای هوا (°C)	رطوبت نسبی (%)	سرعت جریان هوا در ارتفاع ۱۰ متر (m/s)	سرعت جریان هوا در ارتفاع ۱/۵ متر (m/s)
۱۳۹۵/۴/۱	۹:۰۰	۳۲/۹۵	۱۵/۵	۱۲	۷/۴۶
	۱۲:۰۰	۳۷/۸۵	۱۱/۵	۱۱	۶/۸۴
	۱۵:۰۰	۴۰/۴	۹/۵	۱۱	۶/۸۴
	۱۸:۰۰	۳۸/۶	۱۱/۵	۱۱	۶/۸۴
۱۳۹۵/۴/۲	۹:۰۰	۳۳/۱۵	۲۱	۱۲/۵	۷/۷۷
	۱۲:۰۰	۳۸/۶	۱۴/۵	۱۲	۷/۴۶
	۱۵:۰۰	۴۰/۶	۱۳/۵	۱۱/۵	۷/۱۵
	۱۸:۰۰	۳۷/۹	۱۶	۱۳	۸/۰۸
۱۳۹۵/۴/۲۱	۹:۰۰	۳۵/۱۵	۱۹	۱۰/۵	۶/۵۳
	۱۲:۰۰	۴۰/۶	۱۴	۹	۵/۶۰
	۱۵:۰۰	۴۳/۷	۱۱	۸	۴/۹۷
	۱۸:۰۰	۴۲/۳۵	۱۰/۵	۷/۵	۴/۶۶
۱۳۹۵/۴/۲۲	۹:۰۰	۳۷	۱۵	۱۱/۵	۷/۱۵
	۱۲:۰۰	۴۲/۶۵	۱۱	۱۱	۶/۸۴
	۱۵:۰۰	۴۵/۳۵	۹/۵	۹	۵/۶۰
	۱۸:۰۰	۴۳/۱۵	۱۰	۸/۵	۵/۲۸
۱۳۹۵/۵/۵	۹:۰۰	۳۷/۳۵	۱۶/۵	۵/۵	۳/۴۲
	۱۲:۰۰	۴۳/۹۵	۱۲	۵	۳/۱۱
	۱۵:۰۰	۴۶/۷۵	۱۰	۳	۱/۸۶
	۱۸:۰۰	۴۵/۱۵	۱۱/۵	۲/۵	۱/۵۵
۱۳۹۵/۵/۶	۹:۰۰	۳۵/۱	۲۷/۵	۱۱	۶/۸۴
	۱۲:۰۰	۳۹/۷	۲۲	۱۰/۵	۶/۵۳
	۱۵:۰۰	۴۳/۱	۱۷/۵	۹/۵	۵/۹۰
	۱۸:۰۰	۴۲/۰۵	۱۷/۵	۸/۵	۵/۲۸

ت ۸ (چپ). آمار ایستگاه هواشناسی زابل (اقلیم شهری) در روزهای برداشت میدانی، مأخذ: داده‌های ایستگاه هواشناسی زابل.
ت ۹ (راست). محاسبهٔ متوسط سرعت باد در ارتفاع معین، مأخذ: رازجویان، ۱۳۷۹.

$$V_z = V_{z10} * (\frac{Z}{Z_{10}})^a$$

۴۳. محمود رازجویان، آسایش در پناه باد، ص ۱۲.

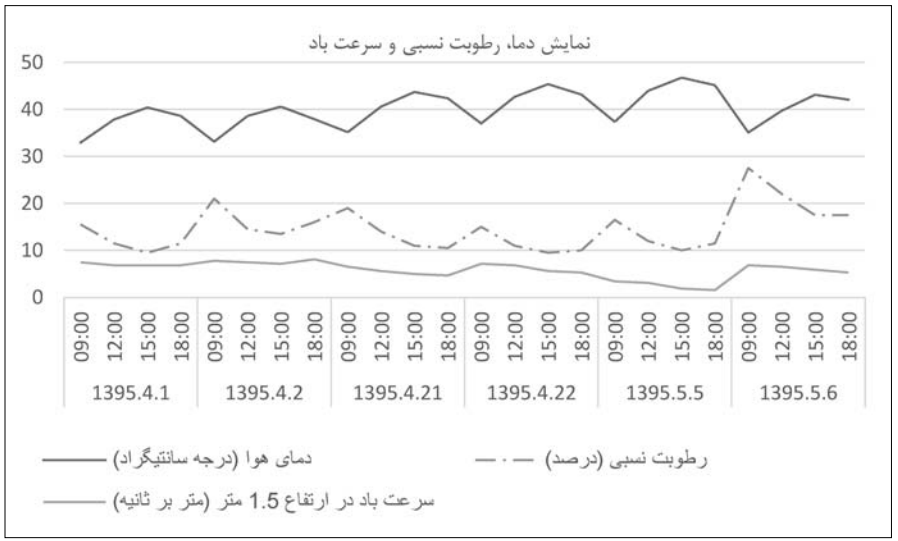
(۶ مرداد) دمای هوا افزایش نسبی دارد؛ اما رطوبت نسبی و سرعت باد تغییر کمی را نشان می‌دهد. البته در بین روزهایی که اندازه‌گیری انجام شده است، ۵ مرداد روز خاصی است؛ در این روز بیشترین میزان دما و کمترین میزان رطوبت و سرعت باد دیده می‌شود، که این خود نشان‌دهندهٔ آن است که با کاهش سرعت باد، دما در مناطق گرم و خشک به‌شدت بالا می‌رود.

همچنین با بررسی دما و رطوبت نسبی در تمام ایام، به وضوح قابل مشاهده است که دما و رطوبت نسبی با یکدیگر رابطهٔ عکس دارند و با بالارفتن یک پارامتر، عامل دیگر کاهش یافته و برعکس. علاوه بر آن، کمترین میزان دما و بیشترین میزان رطوبت نسبی در ساعت ۹ صبح و بیشترین میزان دما و کمترین میزان رطوبت نسبی در ساعت ۳ عصر مُحقَق می‌شود.

تاریخ	ساعت	دمای هوا (°C)	رطوبت نسبی (%)	سرعت جریان هوا در ارتفاع ۱/۵ (m/s)	میانگین دمای تابشی (°C)
۱۳۹۵/۴/۱	۹:۰۰	۳۵	۱۲/۲۱	۱۲/۴۸	۳۸/۵۵
	۱۲:۰۰	۴۱/۷۲	۶/۴۵	۸/۲۸	۵۲/۴۰
	۱۵:۰۰	۴۱/۴۵	۵/۹۳	۴/۵۳	۵۱/۷۷
	۱۸:۰۰	۳۹/۳۶	۸/۷۸	۶/۰۸	۵۵/۱۱
۱۳۹۵/۴/۲	۹:۰۰	۳۳/۷۲	۷/۵	۶/۷۲	۳۷/۹۲
	۱۲:۰۰	۳۹/۵۵	۴/۴۲	۸/۲	۵۰/۳۷
	۱۵:۰۰	۴۰/۳۲	۴/۱	۴/۶	۴۸/۱۱
	۱۸:۰۰	۳۶/۸	۸/۹۵	۶/۹۷	۴۱/۶۰
۱۳۹۵/۴/۲۱	۹:۰۰	۳۶/۳۵	۱۱/۴۲	۹/۹	۴۲/۴۷
	۱۲:۰۰	۴۲/۷۷	۷/۲۷	۶/۵۵	۵۴/۹۱
	۱۵:۰۰	۴۳/۳	۵/۶۲	۷/۲۲	۵۴/۰۹
	۱۸:۰۰	۴۱/۳۵	۷/۴۵	۶/۳۲	۴۸/۴۲
۱۳۹۵/۴/۲۲	۹:۰۰	۳۷/۶۳	۸/۴۶	۷/۹۶	۴۲/۵۳
	۱۲:۰۰	۴۳/۹۳	۴/۶۸	۱۰/۰۳	۵۶/۵۶
	۱۵:۰۰	۴۴/۶	۴/۲	۵/۲	۵۴/۱۸
	۱۸:۰۰	۴۲/۲۸	۵/۴۳	۴/۷۶	۴۸/۷۷
۱۳۹۵/۵/۵	۹:۰۰	۳۸/۵۷	۱۰/۴۲	۵/۲۲	۴۴/۹۹
	۱۲:۰۰	۴۶/۶	۵	۳/۳۲	۶۲/۴۵
	۱۵:۰۰	۴۸/۳۵	۵/۱۲	۰/۷۳	۶۰/۷۸
	۱۸:۰۰	۴۷/۲۷	۶/۲۵	۰/۱۲	۵۶/۹۷
۱۳۹۵/۵/۶	۹:۰۰	۳۵/۶	۲۲	۸/۲	۴۲/۸۰
	۱۲:۰۰	۴۱/۵	۱۶/۲۵	۹/۵۶	۵۵/۱۰
	۱۵:۰۰	۴۲/۵۳	۱۲/۲۶	۸/۰۶	۵۳/۳۲
	۱۸:۰۰	۴۱/۰۵	۱۳	۴/۴۶	۴۷/۳۵

۳. ۲. تحلیل داده‌های اقلیم محلی حاصل از برداشت میدانی

یک دستگاه هواشناسی Kestrel 4600 روی پشت بام مرتفع‌ترین ساختمان نزدیک به هر دو محوطه (دانشکدهٔ علوم) نصب شد و پارامترهای دمای هوا، رطوبت نسبی، سرعت باد و دمای کروی مربوط به اقلیم محلی را ثبت کرد. با استفاده از معادلهٔ «ت ۳»، میانگین دمای تابشی نیز برای همهٔ نقاط محاسبه شد. آمار سه ساعتی مربوط به این اطلاعات در جدول «ت ۱۱» ارائه شده است.



ت ۱۰ (چپ). رابطهٔ پارامترهای دمای هوا، رطوبت نسبی، و سرعت باد در ایستگاه هواشناسی زابل (اقلیم شهری)، تدوین: نگارندگان.

ت ۱۱ (راست). آمار نقطهٔ برداشت‌شده واقع در پشت بام دانشکدهٔ علوم (نمایندهٔ اقلیم محلی)، برداشت و تدوین: نگارندگان.

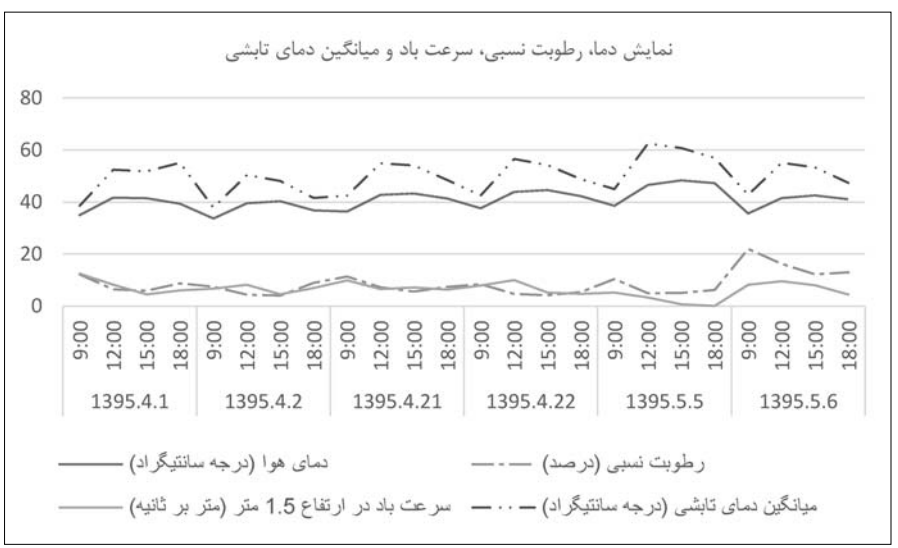
طبق «ت ۱۲»، تغییرات دما، رطوبت نسبی، و سرعت باد در نقطهٔ منتخب واقع در پشت بام دانشکدهٔ علوم به مثابه نمایندهٔ اقلیم محلی، مشابه تغییرات ایستگاه هواشناسی زابل (اقلیم شهری) است. با این تفاوت که در این مکان محاسبهٔ میانگین دمای تابشی نشان می‌دهد که با افزایش نسبی دما و کاهش رطوبت، این پارامتر به‌شدت افزایش می‌یابد و چون عامل اثرگذار و مهمی در تعیین شرایط آسایش حرارتی در فضای باز به حساب می‌آید، لذا در میانهٔ روز و در فضای باز، شاهد عدم آسایش حرارتی خواهیم بود.

۳. ۳. تحلیل داده‌های اقلیم خرد بر اساس برداشت میدانی

با توجه به هدف تحقیق، دو محوطهٔ شمارهٔ ۱ (دارای پوشش سبز و بدون ابنیه به منزلهٔ محوطهٔ شاهد) و محوطهٔ شمارهٔ ۲ (ترکیبی از پوشش گیاهی و ساختمان به منظور محوطهٔ آزمون) به مثابهٔ نمایندهٔ اقلیم خرد و در نزدیکی یکدیگر انتخاب شده و پارامترهای اقلیمی مؤثر بر شرایط آسایش حرارتی در فضای باز برای هر یک از این محوطه‌ها در نقاط تعیین‌شده، توسط دستگاه‌های هواشناسی WBGT 8778 و TES 1341 اندازه‌گیری و محاسبه شد.

۳. ۳. ۱. تحلیل داده‌های محوطهٔ شمارهٔ ۱

در این محوطه که صرفاً دارای پوشش گیاهی و بدون عناصر مصنوع بود و به منظور محوطهٔ گواه انتخاب شده است، ۱۰ نقطه روی دو محور A و B در داخل محوطه، و ۲ نقطه R_1 و R_2 در خارج از محوطه به مثابهٔ مکان‌های اندازه‌گیری لحاظ شده است. در انتخاب نقاط سعی بر آن بوده است تا نقاطی انتخاب شود که متنوع باشند و کل حالات ممکن از نظر نوع و تراکم پوشش گیاهی و جنس کف را شامل شود. همچنین پس از انتخاب نقاط هدف، به منظور تحلیل مناسب‌تر، نقاط داخل محوطه روی دو محور تثبیت شدند. علاوه بر آن هر یک از نقاط R_1 و R_2 به منزلهٔ مبنا، قبل و بعد از محوطه با توجه به جهت باد تثبیت شدند. در نمودارهای زیر مقدار پارامترهای اقلیمی مؤثر بر شرایط آسایش حرارتی به تفکیک ارائه و توصیف شده است.



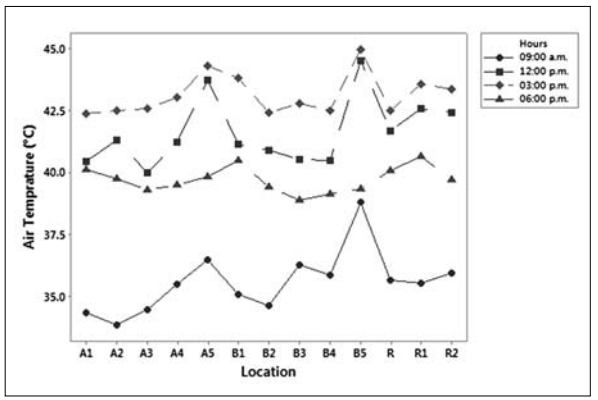
ت ۱۲. رابطهٔ پارامترهای دمای هوا، رطوبت نسبی، سرعت باد، و میانگین دمای تابشی در پشت بام دانشکدهٔ علوم (نمایندهٔ اقلیم محلی)، برداشت و تدوین: نگارندگان.

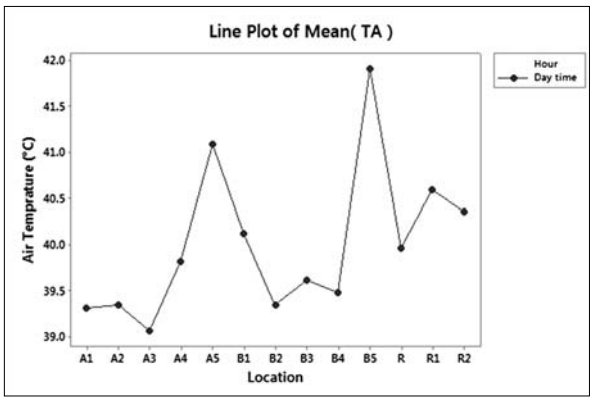
تحلیل دمای هوا و رطوبت نسبی: بر طبق نمودارهای «ت ۱۳» و «ت ۱۴»، به لحاظ زمانی، در ساعت ۳ عصر بیشترین میزان دمای هوا و کمترین میزان رطوبت نسبی و در ساعت ۹ صبح کمترین میزان دمای هوا و بیشترین میزان رطوبت نسبی در همهٔ نقاط ثبت شده است.

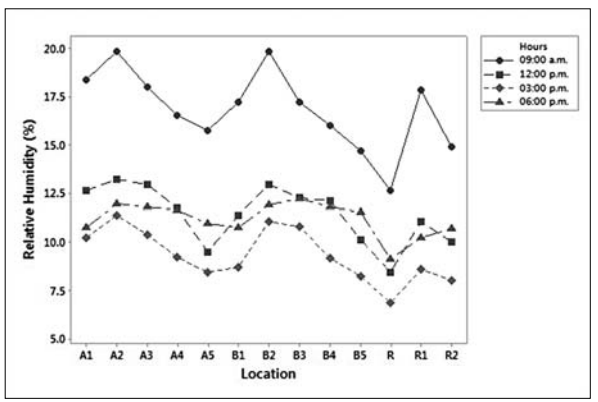
اما از نظر موقعیت مکانی، طبق نمودارهای «ت ۱۵ و ت ۱۶»، از بین نقاط داخل سایت، بیشترین میزان دمای هوا و کمترین میزان رطوبت نسبی متعلق به نقاط A5 و B5 (نقاطی بدون پوشش گیاهی و سایه و با پوشش کف شنی)، کمترین میزان دمای هوا متعلق به نقطهٔ A3 (با پوشش گیاهی انبوه درخت گز و پوشش کف چمن) و پس از آن نقاط A1، A2 و B2 (نقاطی با پوشش گیاهی درخت اکالیپتوس، ذرت و تاک، تقریباً در سایه و

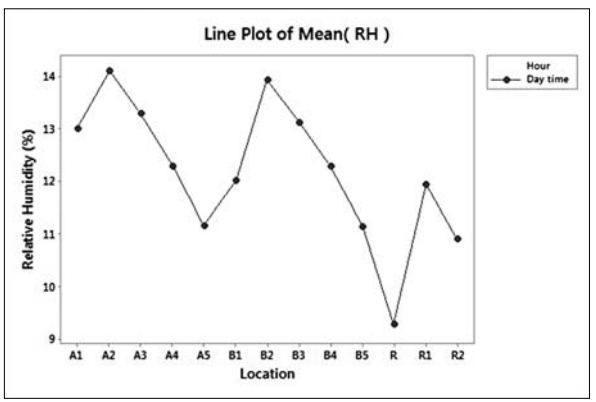
پوشش کف خاک)، بیشترین رطوبت نسبی متعلق به نقاط A2 و B2 (نقاطی با پوشش گیاهی درخت اکالیپتوس و تاک و پوشش کف خاک) است. سایر نقاط به لحاظ آماری بسته به پوشش گیاهی، تراکم و سایه‌اندازی آن و همچنین نوع پوشش کف در حد وسط این نقاط واقع شده‌اند. نکتهٔ حائز اهمیت این است که نقطهٔ A3 علی‌رغم نداشتن رطوبت ماکزیمم، کمترین میزان دما را بین همهٔ نقاط داراست. علت این رویداد نوع پوشش سبز و سایه‌اندازی زیاد درختان انبوه گز در این نقطه نسبت به سایر نقاط است. بنابراین اثر سایه بر کاهش دما، اثر قابل ملاحظه‌ای است.

اما بررسی نقاط R1 و R2 در خارج از محوطه نشان می‌دهد که نقطهٔ مبنای R1 (قبل از محوطه با توجه به جهت باد) نسبت به نقطهٔ مبنای R2 (بعد از محوطه) علی‌رغم اینکه دارای پوشش گیاهی است و جنس کف آن نیز خاک است و از رطوبت نسبی بیشتری نیز برخوردار است، اما بر خلاف تصور عمدتاً دمای بالاتری را نشان می‌دهد، که با توجه به ویژگی‌ها و شناسنامهٔ این نقاط تنها علت می‌تواند اثر خنک‌کنندگی مجموعهٔ فضای سبز تا شعاع مشخص بعد از آن با توجه به جهت باد باشد. چه بسا اگر نقطهٔ R2 پوشش گیاهی داشت و یا اینکه پوشش کف آن به جای بستر شنی از خاک و مشابه نقطهٔ R1 بود، این اختلاف دما بیشتر از این نیز می‌بود.









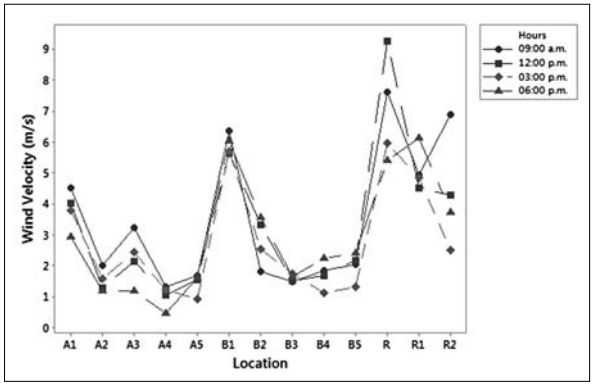
ت ۱۳ (راست، بالا). میانگین دمای هوا در نقاط برداشت‌شدهٔ محوطهٔ شمارهٔ ۱ به تفکیک ساعات معین در طی روز، برداشت و تدوین: نگارندگان.
ت ۱۴ (راست، پایین). میانگین رطوبت نسبی در نقاط برداشت‌شدهٔ محوطهٔ شمارهٔ ۱ به تفکیک ساعات معین در طی روز، برداشت و تدوین: نگارندگان.
ت ۱۵ (چپ، بالا). میانگین دمای هوا در نقاط برداشت‌شدهٔ محوطهٔ شمارهٔ ۱ در کل روز، برداشت و تدوین: نگارندگان.
ت ۱۶ (چپ، پایین). میانگین رطوبت نسبی در نقاط برداشت‌شدهٔ محوطهٔ شمارهٔ ۱ در کل روز، برداشت و تدوین: نگارندگان.

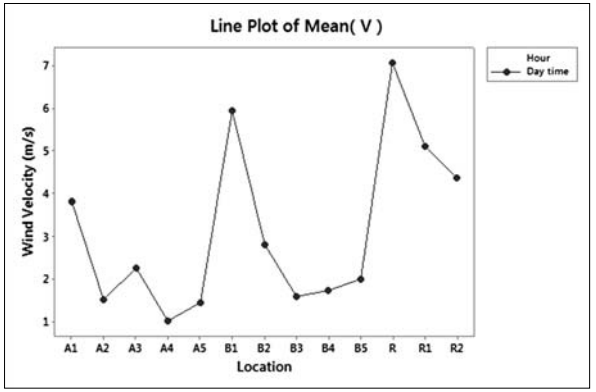
تحلیل سرعت جریان هوا (باد): همان‌طور که در نمودار «ت ۱۷» مشاهده می‌شود، به لحاظ زمانی، سرعت باد در ساعات مختلف روز اختلاف اندکی با یکدیگر داشته و با حرکت از ساعت ۹ صبح به ۶ عصر به میزان بسیار کمی از سرعت باد کاسته شده است. طبق نمودار «ت ۱۸»، از بین نقاط داخل محوطه نقطه‌های A1 و B1 (نقاط ابتدایی محوطه با توجه به جهت وزش باد) بیشترین سرعت باد را به خود دیده‌اند و کمترین سرعت باد نیز در نقطهٔ A4 (واقع‌شده در وسط محوطه و فضای سبز) ثبت شده است. سایر نقاط با اختلاف کم نسبت به یکدیگر و اختلاف زیاد نسبت به نقاط ذکرشده در میانهٔ این محدوده واقع شده‌اند.

بررسی نقاط مبنای R1 و R2 و کاهش سرعت باد در نقطهٔ R2 نشان می‌دهد که پوشش گیاهی علاوه بر کاستن از سرعت باد در داخل فضای سبز، در مجموع باعث کاهش سرعت باد در فضای باز بعد از آن تا شعاع معینی می‌شود. این نقش پوشش گیاهی برای مناطقی چون سیستان که بادهایی با سرعت زیاد و مزاحم دارند می‌تواند مفید واقع شود.

تحلیل میانگین دمای تابشی: میانگین دمای تابشی از پارامترهای بسیار مؤثر بر آسایش حرارتی در فضای باز است. نمودار «ت ۱۹» بیشترین میانگین دمای تابشی را در ساعات ۳ عصر و ۱۲ ظهر و کمترین میانگین دمای تابشی را در ساعات ۹ صبح و ۶ عصر نمایش می‌دهد؛ که این تغییر با توجه به شدت تابش، میزان دما و رطوبت نسبی در ساعات ذکرشده طبیعی به نظر می‌رسد. در ساعت ۳ عصر در بعضی از نقاط میانگین دمای تابشی به ۶۰ درجهٔ سانتی‌گراد نزدیک می‌شود.

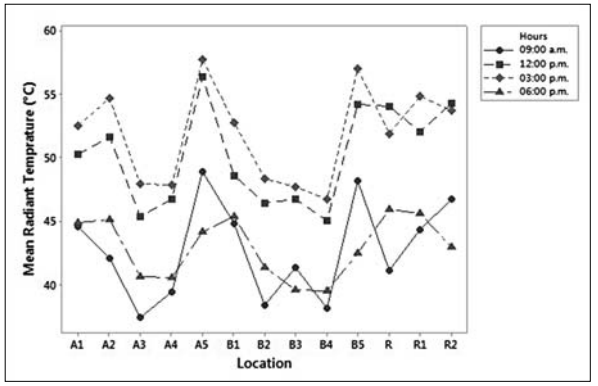
اما در کل مدت روز طبق نمودار «ت ۲۰» و به‌طور میانگین، مکان‌های A5 و B5 از بین نقاط داخل محوطه به علت نداشتن پوشش سبز و سایه و همچنین به سبب پوشش کف شنی شاهد بیشترین میانگین دمای تابشی هستند و نقاط B4 و A3 به سبب اینکه تنها نقاطی هستند که دارای پوشش انبوه درخت گز بوده و سایهٔ گسترده‌ای ایجاد می‌کنند و پوشش کف آن‌ها نیز چمن است، با کمترین میانگین دمای تابشی مواجه هستند. مقایسهٔ داده‌های نقاط مبنای R1 و R2 به علت اینکه هر دو مکان در معرض تابش مستقیم آفتاب و بدون سایه هستند، تفاوت چندانی در میانگین دمای تابشی بین این نقاط را نشان نمی‌دهد و اختلاف اندک بین آن‌ها هم به سبب پوشش متفاوت کف آن دو (پوشش کف R1 خاک و پوشش R2 بستر شنی) است.

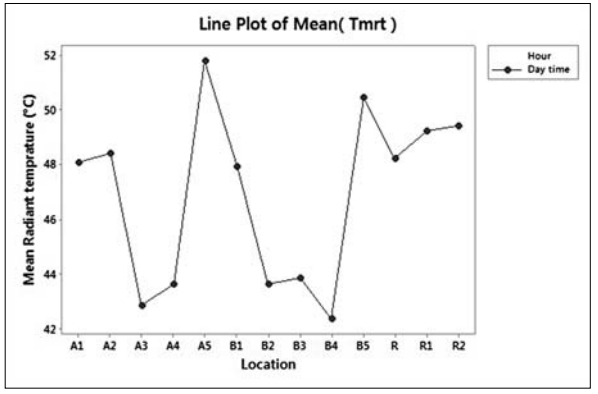




ت ۱۷ (بالا). میانگین سرعت باد در نقاط برداشت‌شدهٔ محوطهٔ شمارهٔ ۱ به تفکیک ساعات معین در طی روز،
برداشت و تدوین: نگارندگان.
ت ۱۸ (پایین). میانگین سرعت باد در نقاط برداشت‌شدهٔ محوطهٔ شمارهٔ ۱ در کل روز،
برداشت و تدوین: نگارندگان.

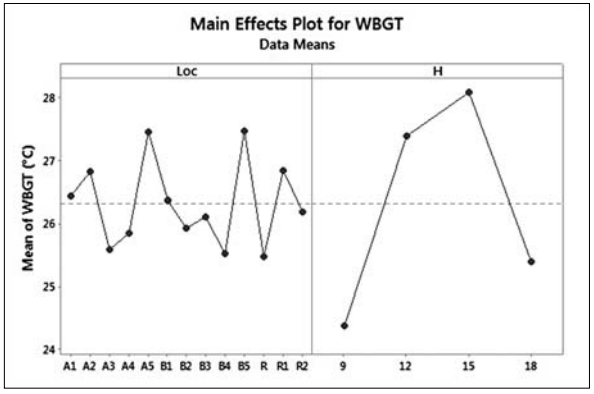
تحلیل شاخص WBGT: این شاخص یکی از شاخص‌های ارزیابی استرس حرارتی است که با در نظر گرفتن دمای تر، دمای خشک، و گرمای تابشی، وضعیت گرمایی محیط را به صورت یک عدد نشان می‌دهد. این شاخص در عین اینکه از ساده‌ترین و مناسب‌ترین روش‌های ارزیابی وضعیت گرمایی محیط است، از راندمان بالایی نیز برخوردار است.[۴۴] مزیت این شاخص نسبت به سایر شاخص‌های استرس حرارتی آن است که به صورت میدانی قابل برداشت است. در حالی که سایر شاخص‌ها بر اساس برداشت مؤلفه‌های خرد اقلیمی به وسیلهٔ نرم‌افزار محاسبه می‌شود. با توجه به وابستگی زیاد این شاخص به میانگین دمای تابشی، تغییرات و تحلیل آماری زمانی و مکانیِ نقاطِ مشابه تحلیل میانگین دمای تابشی است.





طبق محدوده‌های تعیین‌شده بر اساس شاخص WBGT، چنان‌چه این شاخص بین ۲۳/۵ تا ۲۸ درجه باشد، احساس حرارتی داغ و اگر بالای ۲۸ درجه باشد بسیار داغ است.[۴۵] با مشاهدهٔ نمودار (ت۲۱) چنین استنباط می‌شود که در ساعت ۳ عصر و بعضاً ۱۲ ظهر اکثر نقاطی که سایه و پوشش گیاهی کافی ندارند در وضعیت احساس حرارتی بسیار داغ قرار دارند و سایر نقاط نیز در وضعیت داغ هستند. در ساعت ۹ صبح و ۶ عصر هم به علت وجود سایهٔ بیشتر نسبت به دو زمان دیگر، همهٔ نقاط در وضعیت احساس حرارتی داغ هستند. به لحاظ مکانی نقاط A5 و B5 در وضعیت احساس حرارتی بسیار داغ و نقاط A3 و B4 در وضعیت داغ قرار دارند. بنابراین پوشش گیاهی و سایه اندازی و همچنین نوع پوشش کف، در بهبود وضعیت و تبدیل وضعیت حرارتی از بسیار بد به بد مؤثر بوده است.

تحلیل هم‌زمان پارامترهای دما، رطوبت، باد و میانگین دمای تابشی: نمودار «ت ۲۲» به‌وضوح نشان می‌دهد که سرعت باد با دمای هوا نسبت مستقیم و با رطوبت نسبی نسبت عکس دارد؛ به‌طوری که افزایش سرعت باد باعث کاهش رطوبت نسبی و افزایش دما می‌شود و بالعکس. میانگین دمای تابشی نیز تابعی از تغییرات این سه پارامتر به‌خصوص دما و رطوبت است و با دما نسبت مستقیم و رطوبت نسبت عکس دارد. تغییرات میانگین دمای تابشی علاوه بر پارامترهای اقلیمی ذکرشده به میزان زیادی به



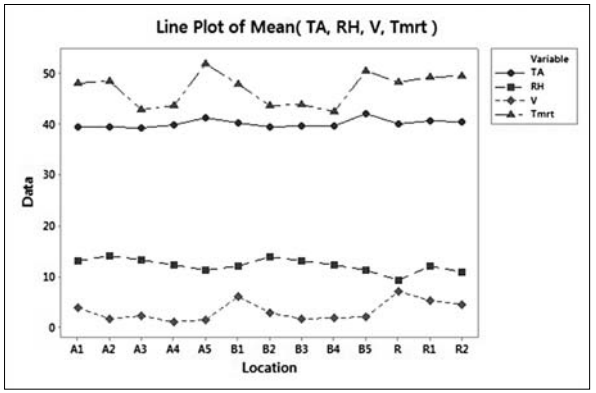
۴۴. نک: Haji Azimi, et al., 2011
۴۵. نک: Monteiro et al., 2006b

ت ۱۹ (راست، بالا). میانگین دمای تابشی در نقاط برداشت‌شدهٔ محوطهٔ شمارهٔ ۱ به تفکیک ساعات معین در طی روز، برداشت و تدوین: نگارندگان.
ت ۲۰ (راست، پایین). میانگین دمای تابشی در نقاط برداشت‌شدهٔ محوطهٔ شمارهٔ ۱ در کل روز، برداشت و تدوین: نگارندگان.
ت ۲۱ (چپ). میانگین شاخص WBGT در نقاط برداشت‌شدهٔ محوطهٔ شمارهٔ ۱ به تفکیک زمان و مکان، برداشت و تدوین: نگارندگان.

موقعیت و ویژگی‌های نقاط برداشت‌شده بستگی دارد؛ به‌طوری که نقاط A5 و B5 به علت عدم وجود پوشش گیاهی و سایه و جنس کف شنی دارای شرایط بسیار بد و نقاط A3 و B4 به سبب داشتن پوشش گیاهی مناسب (درختان انبوه گز) و سایه و پوشش کف چمن از شرایط مطلوب‌تری برخوردارند.

۳. ۳. ۲. تحلیل داده‌های محوطهٔ شمارهٔ ۲

در محوطهٔ شمارهٔ ۲ که ترکیبی از پوشش گیاهی و ابنیه بوده و به منظور محوطهٔ آزمون انتخاب شده است، ۱۵ نقطه روی سه محور A و B و C داخل محوطه و نقطهٔ R_1 خارج از محوطه برای اندازه‌گیری لحاظ شده است. در این محوطه نیز همچون محوطهٔ شمارهٔ ۱ سعی بر آن بوده است تا نقاطی به منظور مکان قابل برداشت انتخاب شود که تنوع لازم جهت رسیدن به هدفِ تحقیق را داشته و کل حالات ممکن از نظر نوع و تراکم پوشش گیاهی و جنس کف را شامل شود. همچنین مکان R_1 به منظور نقطهٔ مبنای قبل از محوطه با توجه به جهت باد و نقاط A5 و B5 و C5 که جزئی از نقاط مرزی محوطه نیز به شمار می‌آیند، به علت محدودیت در فضای باز محوطه، به منظور نقاط بعد از سایت در نظر گرفته شدند. در نمودارهای زیر مقدار پارامترهای اقلیمی مؤثر بر شرایط آسایش حرارتی به تفکیک برای محوطهٔ شمارهٔ ۲ ارائه و توصیف شده است.



ت ۲۲. میانگین دمای هوا، رطوبت نسبی، سرعت باد و دمای تابشی در نقاط برداشت‌شدهٔ محوطهٔ شمارهٔ ۱ به تفکیک زمان و مکان،
برداشت و تدوین: نگارندگان.

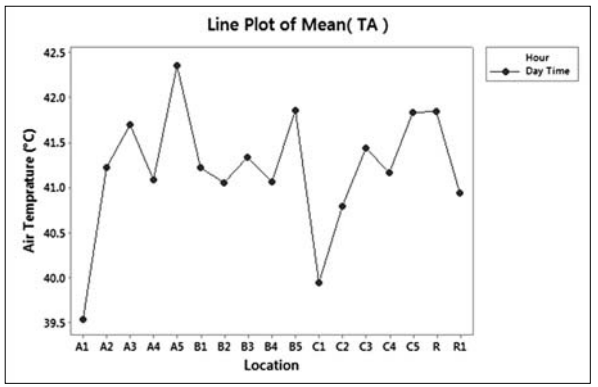
تحلیل دمای هوا و رطوبت نسبی: طبق نمودارهای «ت ۲۳ و ت ۲۴»، از بین نقاط داخل محوطه، بیشترین دمای هوا در مرحلهٔ اول به محور ۵ (نقاط B5، A5 و C5) و سپس به محور ۳ (نقاط B3، A3 و C3) اختصاص دارد، و کمترین رطوبت نسبی متعلق به محور ۳ و آنگاه محور ۵ است. با توجه به شناسنامهٔ نقاط ذکرشده (نقاطی بدون پوشش گیاهی و سایه و با پوشش کف آسفالت)، اینکه این نقاط شاهد بالاترین دمای سایت هستند خیلی دور از انتظار نیست، اما در بین این ۶ نقطه، نقطهٔ A5 شاهد دمای بیشتری نسبت به سایر نقاط است و تنها علت آن می‌تواند فاصلهٔ کمتر آن از بناهای اطراف باشد. کمترین دمای هوا متعلق به نقاط A1 و C1 (با پوشش گیاهی انبوه درخت اکالیپتوس با سایهٔ نسبتاً زیاد و پوشش کف خاک) و بیشترین رطوبت نسبی متعلق به نقاط B1 ،A1 و C1 است. اما علت اینکه نقطهٔ B1 علی‌رغم داشتن رطوبت نسبی بالا، جزء نقاط با دمای پایین نیست، این است که فاقد پوشش گیاهی و در معرض تابش مستقیم آفتاب است و پوشش کف آن شنی است. سایر نقاط به لحاظ آماری بسته به تراکم پوشش گیاهی و میزان سایه‌اندازی آن و همچنین نوع پوشش کف و فاصله از بنا در حدوسط این نقاط واقع شده‌اند.

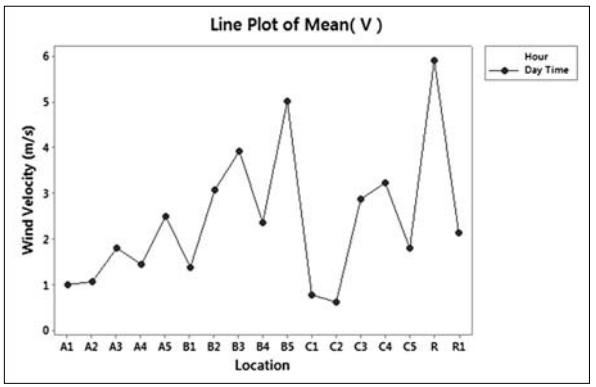
میانگین دمای هوا و رطوبت نسبی نقطهٔ R1 در خارج از محوطه نشان می‌دهد که نقطهٔ مبنای R1 (قبل از محوطه با توجه به جهت باد) نسبت به نقاط مبنای محور ۵ (بعد از محوطه) علی‌رغم اینکه دارای پوشش گیاهی نیست اما از رطوبت نسبی بیشتری برخوردار است، که دلیل آن نزدیکی به منبع آب (نهر واقع‌شده در جبههٔ شمالی محوطه) است و این مزیت باعث شده است که به لحاظ دمای هوا در ردهٔ متوسط واقع شود در حالی که با ویژگی‌هایی که دارد می‌توانست گرم‌ترین نقطهٔ محوطه باشد. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که رطوبت در تعدیل دما نقش تعیین‌کننده‌ای می‌تواند داشته باشد. همچنین اختلاف دمای حداقل (نقطهٔ A1) و حداکثر (نقطهٔ A5) حدود

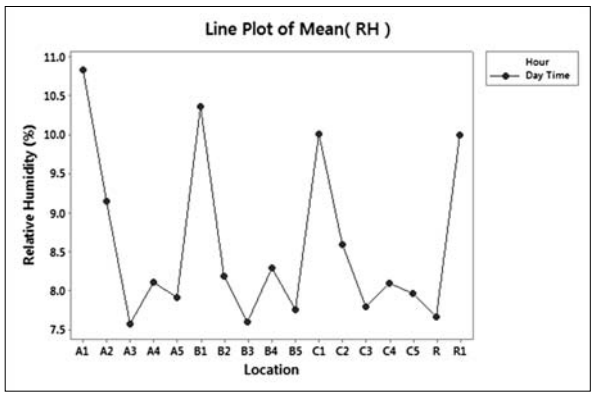
۴ درجهٔ سانتی‌گراد و اختلاف رطوبت نسبی حداقل (نقطهٔ A3) و حداکثر (نقطهٔ A1) نیز حدود ۴ درصد است که حاصل وجود و تراکم پوشش گیاهی و نوع پوشش کف است.

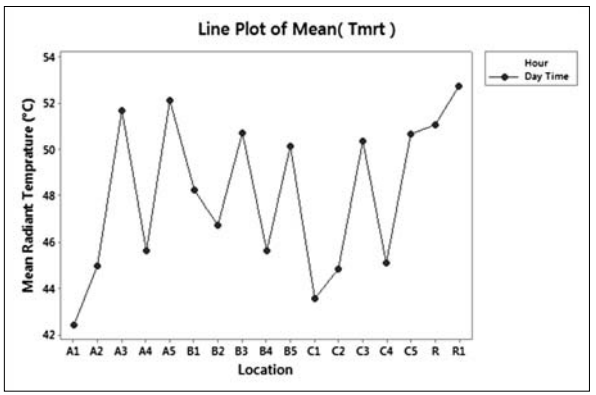
تحلیل سرعت جریان هوا (باد): طبق نمودار «ت ۲۵»، از بین نقاط داخل محوطه، نقاطی از محورهای سه‌گانهٔ A و B و C که بر روی محورهای ۳ و ۵ واقع شده و فاقد پوشش گیاهی هستند نسبت به نقاط متناظر خود، در معرض بیشترین میزان سرعت باد هستند و کمترین میزان سرعت باد هم به ترتیب به نقاط C1، C2 و A1 مربوط می‌شود که از پوشش انبوه‌تری از فضای سبز نسبت به سایر نقاط بهره می‌برند. سایر نقاط بسته به میزان پوشش گیاهی، با اختلاف کم نسبت به یکدیگر در میانهٔ این محدوده قرار دارند. نقطهٔ مبنای R1 (قبل از محوطه با توجه به جهت باد) نیز به سبب وجود درختان تنک قبل از آن در معرض بادی با سرعت متوسط هستند.

تحلیل میانگین دمای تابشی: در کل مدت روز طبق نمودار «ت ۲۶» و به‌طور میانگین، از بین نقاط داخل محوطه، نقاطی که روی محورهای ۳ و ۵ واقع‌اند به علت نداشتن پوشش سبز و سایه و همچنین به سبب پوشش کف آسفالت، بیشترین میانگین دمای تابشی را دارند و نقاط A1 و C1 به علت اینکه دارای پوشش انبوه درخت اکالیپتوس بوده و سایهٔ گسترده‌ای ایجاد می‌کنند، لذا کمترین میانگین دمای تابشی را دارند.









ت ۲۳ (راست، بالا). میانگین دمای هوا در نقاط برداشت‌شدهٔ محوطهٔ شمارهٔ ۲ در کل روز، برداشت و تدوین: نگارندگان.
ت ۲۴ (راست، پایین). میانگین رطوبت نسبی در نقاط برداشت‌شدهٔ محوطهٔ شمارهٔ ۲ در کل روز،
برداشت و تدوین: نگارندگان.
ت ۲۵ (چپ، بالا). میانگین سرعت باد در نقاط برداشت‌شدهٔ محوطهٔ شمارهٔ ۲ در کل روز، برداشت و تدوین: نگارندگان.
ت ۲۶ (چپ، پایین). میانگین دمای تابشی در نقاط برداشت‌شدهٔ محوطهٔ شمارهٔ ۲ در کل روز، برداشت و تدوین: نگارندگان.

اختلاف بین حداقل و حداکثر میانگین دمای تابشی که حاصل تراکم و وجود پوشش گیاهی و پوشش کف است، حدود ۱۱ درجهٔ سانتی‌گراد است و اثر بسیار زیادی روی تغییر شرایط آسایش حرارتی دارد. شرایط نقطهٔ مبنای R1 نیز، به علت اینکه در معرض تابش مستقیم آفتاب و بدون سایه است و مصالحِ کفش آسفالت است، نامطلوب‌تر از نقاط روی محورهای ۳ و ۵ است.

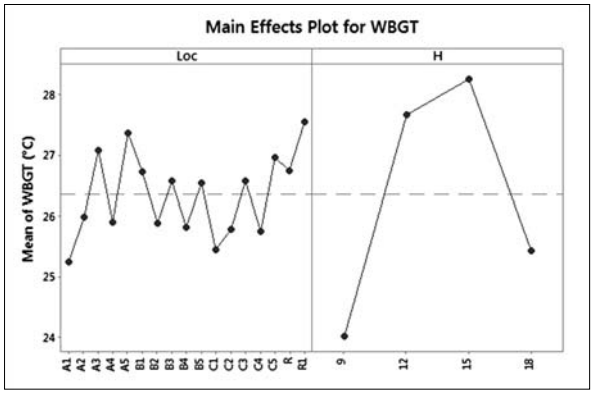
تحلیل شاخص WBGT: نمودار «ت ۲۷» نشان می‌دهد که در ساعت ۳ عصر و بعضاً ۱۲ ظهر اکثر نقاطی که سایه و پوشش گیاهی کافی ندارند در وضعیت احساس حرارتی بسیار داغ و سایر نقاط نیز در وضعیت داغ هستند. در ساعت ۹ صبح و ۶ عصر هم به سبب وجود سایهٔ بیشتر نسبت به دو زمان دیگر، همهٔ نقاط در وضعیت احساس حرارتی داغ هستند. به لحاظ مکانی نقاط واقع بر محورهای ۳ و ۵ WBGT بالاتر و نقاط A1 و C1 به سبب داشتن پوشش گیاهی انبوه و سایه‌اندازی و پوشش خاک در کف WBGT پایین‌تری دارند.

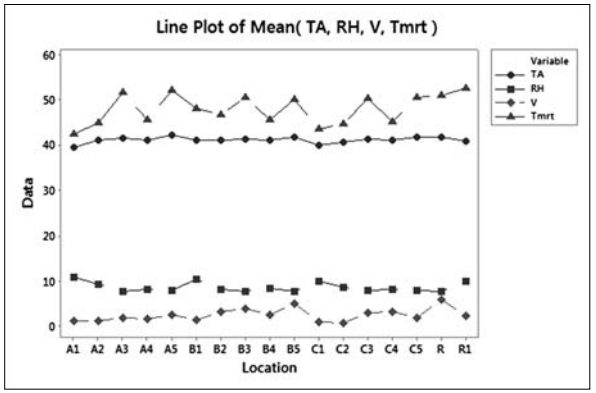
تحلیل هم‌زمان پارامترهای دما، رطوبت، باد و میانگین دمای تابشی: همان‌طور که از نمودار «ت ۲۸» برمی‌آید سرعت باد با دمای هوا نسبت مستقیم و با رطوبت نسبی نسبت عکس دارد؛ به‌طوری که افزایش سرعت باد باعث کاهش رطوبت نسبی و افزایش دما می‌شود و برعکس. و میانگین دمای تابشی نیز تابعی از تغییرات این سه پارامتر به‌خصوص دما و رطوبت است و با دما نسبت مستقیم و با رطوبت نسبت عکس دارد. تغییرات میانگین دمای تابشی به میزان زیادی به موقعیت و ویژگی‌های مکان‌های منتخب بستگی دارد؛ به‌طوری که نقاط واقع بر محورهای ۳ و ۵ به علت عدم پوشش گیاهی و سایه، و جنس آسفالت کف دارای شرایط بسیار نامطلوب و نقاط A1 و C1 به واسطهٔ پوشش گیاهی انبوه (درختان اکالیپتوس) و سایه و پوشش خاک در کف از شرایط مطلوب‌تری برخوردارند.

۴. نتایج

۴. ۱. مقایسهٔ محوطه‌های شمارهٔ ۱ و ۲

با بررسی وضعیت پارامترهای مؤثر بر آسایش حرارتی در هر یک از سایت‌های ۱ و ۲ (ت ۲۹) مشاهده می‌شود که در نقاطی که دارای پوشش گیاهی هستند در مقایسه با مکان‌هایی که پوشش گیاهی ندارند، میانگین دمای هوا بین ۱ تا ۲ درجه سانتی‌گراد پایین‌تر، رطوبت نسبی حدود ۲ درصد بالاتر، میانگین دمای تابشی حدود ۶ درجه سانتی‌گراد پایین‌تر، و شاخص WBGT حدود ۱/۵ درجه سانتی‌گراد کمتر است. اما وضعیت سرعت باد در دو سایت بر خلاف یکدیگر و در محوطهٔ ۱ کاهشی و در محوطهٔ ۲ افزایشی است. اما مقایسهٔ کلی محوطه‌های ۱ و ۲ نشان می‌دهد که در محوطهٔ شمارهٔ ۱ که صرفاً پوشش گیاهی





ت ۲۷ (راست). میانگین شاخص WBGT در نقاط برداشت‌شدهٔ محوطهٔ شمارهٔ ۲ به تفکیک زمان و مکان،
برداشت و تدوین: نگارندگان.
ت ۲۸ (چپ). میانگین دمای هوا، رطوبت نسبی، سرعت باد و دمای تابشی در نقاط برداشت‌شدهٔ محوطهٔ شمارهٔ ۲ به تفکیک زمان و مکان،
برداشت و تدوین: نگارندگان.

است در مقایسه با محوطهٔ شمارهٔ ۲ که ترکیبی از پوشش گیاهی و ابنیه است، دمای هوای حدود ۱/۵ درجه پایین‌تر، رطوبت نسبی حدود ۴ درصد بیشتر، سرعت باد حدود ۰/۲ متر بر ثانیه بیشتر، میانگین دمای تابشی ۱/۲ درجه پایین‌تر، و شاخص WBGT تقریباً برابر است؛ که علت عمدهٔ این تفاوت وجود ابنیه در محوطهٔ شمارهٔ ۲ است.

مقایسهٔ نقاط R1 (مرجع قبل از محوطه) و R2 (مرجع بعد از محوطه) با میانگین هر پارامتر داخل محوطه، نشان می‌دهد که در محوطهٔ شمارهٔ ۱ میانگین دمای هوای داخل محوطه ۱ درجه کاهش، رطوبت نسبی ۱/۵ درصد افزایش، سرعت باد ۲/۵ متر بر ثانیه کاهش، میانگین دمای تابشی ۳ درجه کاهش داشته و شاخص WBGT تقریباً بدون تغییر بوده است. همچنین در محوطهٔ شمارهٔ ۲ میانگین دمای هوای داخل محوطه نسبت به R1 بدون تغییر و نسبت به R2، ۱ درجه کاهش داشته است. رطوبت نسبی نسبت به R1، ۱/۵ درصد کاهش و نسبت به R2، ۱ درصد افزایش داشته، و سرعت باد نسبت به R2، ۱ متر بر ثانیه کاهش داشته و میانگین دمای تابشی حدود ۵ درجه کاهش داشته و شاخص WBGT، ۱ درجه کاهش داشته است. از این مقایسه چنین برمی‌آید که فضای سبز در محل خود شرایط محیطی را بهبود می‌بخشد اما بلافاصله با عبور از فضای سبز، شرایط محیطی به وضعیت قبل برمی‌گردد؛ و اینکه بیشترین اثرگذاری فضای سبز از بین پارامترهای محیطی بر سرعت باد و میانگین دمای تابشی دیده می‌شود.

۴. ۲. مقایسهٔ اقلیم‌های سه‌گانهٔ شهری، محلی و خرد

مقایسهٔ پارامترهای اقلیمی در مقیاس‌های فوق و وجود تفاوت‌ها در آن، قبل از هر چیز ناشی از تفاوت در ساختار عناصر شکل‌دهندهٔ هر یک است. با توجه به اینکه ایستگاه سینوپتیک شهر زابل تنها پارامترهای دما، رطوبت و سرعت باد را ثبت کرده است، لذا مقایسه نیز بر اساس این سه پارامتر انجام می‌شود. مقایسهٔ دمای هوا نشان می‌دهد این متغیر در اقلیم خرد فضاهای سبز موضوع مطالعه به‌طور میانگین تنها ۰/۵ درجه از اقلیم محلی خنک‌تر و با اقلیم شهری برابری می‌کند. این در حالی است که رطوبت در اقلیم خرد نسبت به دو اقلیم دیگر حدود ۲/۵ درصد بیشتر و سرعت باد ۴/۵ متر بر ثانیه از اقلیم محلی و ۳/۵ متر بر ثانیه از اقلیم شهری کمتر است. همچنین برآیند پارامترها نشان می‌دهد که شرایط اقلیمی در

محوطه	وضعیت ایستگاه	دمای هوا (°C)	رطوبت نسبی (%)	سرعت باد (m/s)	میانگین دمای تابشی (°C)	شاخص WBGT (°C)
شمارهٔ ۱	دارای پوشش گیاهی	۳۹/۵۱	۱۳	۲/۵۷	۴۵/۰۸	۲۶/۰۸
	بدون پوشش گیاهی	۴۴/۴۹	۱۱/۱۴	۱/۵۱	۵۱/۱۲	۲۷/۴۷
	میانگین	۳۹/۹۰	۱۲/۶۳	۲/۴۰	۴۶/۲۹	۲۶/۳۶
	R1	۴۰/۵۹	۱۱/۹۳	۵/۱۱	۴۹/۲۱	۲۶/۸۵
	R2	۴۰/۳۵	۱۰/۹۰	۴/۳۵	۴۹/۴۱	۲۶/۱۹
شمارهٔ ۲	دارای پوشش گیاهی	۴۰/۷۹	۹/۰۶	۱/۶۵	۴۵/۲۴	۲۵/۸۴
	بدون پوشش گیاهی	۴۱/۷۵	۷/۷۶	۲/۹۷	۵۰/۹۵	۲۶/۸۵
	میانگین	۴۱/۱۷	۸/۵۴	۲/۱۸	۴۷/۵۲	۲۶/۲۴
	R1	۴۰/۹۴	۹/۹۹	۲/۱۲	۵۲/۷۵	۲۷/۵۴
	R2	۴۲/۰۱	۷/۸۷	۳/۰۹	۵۰/۹۸	۲۶/۹۵

ت ۲۹. آمار نقاط برداشت‌شدهٔ محوطه‌های شمارهٔ ۱ و ۲ به تفکیک پوشش گیاهی و عدم پوشش گیاهی و نقاط مرجع خارج از محوطه، تدوین: نگارندگان.

اقلیمِ خرد در زمان و مکان مورد مطالعهٔ این تحقیق، از شرایط اقلیمِ شهری مناسب‌تر و اقلیم شهری از اقلیم محلی مناسب‌تر است. در مجموع می‌توان گفت که اثر پوشش فضای سبز در مقام عنصر سازندهٔ اقلیم خرد منتخب، شاید بر بهبود دمای هوا ناچیز باشد، اما اثر آن بر رطوبت نسبی، سرعت باد و میانگین دمای تابشی محسوس است و بنابراین می‌تواند شرایط آسایش حرارتی فضای باز را در منطقهٔ سیستان با رطوبت نسبی بسیار پایین و سرعت باد بسیار بالا، تعدیل کند.

جمع‌بندی

ایـن پـژوهش با هدف کلی یـافتن رابطهٔ میان پوشش گیاهی و آسایش حرارتی فضای باز و هدف ویژهٔ بررسی میزان اثر و نقش پوشش گیاهی بر متغیرهای تعیین‌کنندهٔ آسایش حرارتی فضای باز انجام شد. در این راستا با انجام کار میدانی، اثر برخی از ویژگی‌های متنوع فضاهای دارای پوشش سبز بر عوامل مؤثر بر آسایش حرارتی فضای باز همچون دمای هوا، رطوبت نسبی، سرعت باد و میانگین دمای تابشی بررسی و سنجیده شد. بر اساس تحلیل‌های انجام‌یافته و با بررسی وضعیت پارامترهای مؤثر بر آسایش حرارتی در هر یک از محوطه‌های ۱ و ۲، مشاهده شد که در نقاطی که دارای پوشش گیاهی هستند در مقایسه با مکان‌هایی که پوشش گیاهی ندارند، به‌طور میانگین دمای هوا بین ۱ تا ۲ درجه سانتی‌گراد پایین‌تر، رطوبت نسبی حدود ۲ درصد بالاتر، میانگین دمای تابشی حدود ۶ درجهٔ سانتی‌گراد پایین‌تر، و شاخص WBGT حدود ۱/۵ درجه سانتی‌گراد کمتر است و این میزان کاهش شاخص، احساس حرارتی را از شرایط بسیار داغ به داغ تعدیل می‌کند. البته این اختلاف‌ها حاصل میانگین ساعات مختلف هستند، در صورتی که در ساعت ۳ بعدازظهر که نیاز به تعدیل بیشتر دما است، این اختلاف‌ها از این هم بیشتر و دمای نقاط دارای پوشش گیاهیِ مناسب (از نوع درخت گز) گاه حدود ۴ درجه پایین‌تر از مکان‌های بدون پوشش گیاهی، و رطوبت نسبی ۶ درصد بیشتر، سرعت باد ۴ متربرثانیه کمتر، و میانگین دمای تابشی ۱۶ درجه و شاخص WBGT حدود ۳/۵ درجهٔ سانتی‌گراد پایین‌تر را نشان می‌دهد. همچنین مشاهده شد که فضای سبز در محل خود شرایط محیطی را بهبود می‌بخشد؛ اما بلافاصله با عبور از فضای سبز شرایط محیطی به وضعیت قبل برمی‌گردد. همچنین بیشترین اثرگذاری فضای سبز از بین پارامترهای محیطی بر سرعت باد و میانگین دمای تابشی دیده شد. علاوه بر آن در نقاطی که پوشش آن‌ها درخت گز (با سایهٔ بیشتر و با نسبت پوشش انبوه) بود، به نسبت مکان‌های دارای درخت اکالیپتوس (با سایهٔ کمتر و تنک‌تر) وضعیت اقلیمی متعادل‌تر بود. بنابراین به نظر می‌رسد با انتخاب گونهٔ مناسب گیاهی نظیر درخت گز که با اقلیم کم‌آب زابل نیز سازگارتر است، در مقایسه با گونه‌ای همچون درخت اکالیپتوس که مصرف آب بسیار بالا و سایه‌اندازی کمتری دارد، می‌توان پارامترهای اقلیمی مؤثر بر شرایط آسایش حرارتی فضاهای باز را تا حدودی تعدیل کرد و وضعیت بهتری را برای زندگی در منطقهٔ گرم و خشک سیستان ایجاد کرد. مقایسهٔ مقیاس‌های مختلف اقلیم نیز نشان داد که دمای هوا در اقلیم خردِ فضاهای سبز مطالعه‌شده به طور میانگین تنها ۰/۵ درجه از اقلیم محلی خنک‌تر است و با اقلیم شهری برابری می‌کند؛ این در حالی است که رطوبت در اقلیم خرد نسبت به دو اقلیم دیگر حدود ۲/۵ درصد بیشتر و سرعت باد ۴/۵ متر بر ثانیه از اقلیم محلی و ۳/۵ متر بر ثانیه از اقلیم شهری کمتر است. همچنین برآیند پارامترها نشان می‌دهد که شرایط اقلیمی در اقلیم خرد در زمان و مکان موضوع مطالعهٔ این تحقیق، مناسب‌تر از شرایط اقلیم شهری و اقلیم شهری مناسب‌تر از اقلیم محلی است.

در مجموع می‌توان گفت که اثر پوشش فضای سبز شاید بر بهبود دمای هوا کمتر باشد، اما اثر آن بر رطوبت نسبی، سرعت باد و میانگین دمای تابشی محسوس بوده و کاهش سرعت باد و ایجاد سایه به علت وجود درختان می‌تواند در تعدیل شرایط

محیطی بسیار اثرگذار باشد و در نتیجه شرایط آسایش حرارتی را برای کاربران محیط‌های باز قابل تحمل‌تر و تعدیل کند. البته تحقیق نشان داد که میزان تعدیل به عوامل ساختاری فضای سبز بستگی دارد؛ به‌نحوی که در نقاط دارای پوشش گیاهی متراکم‌تر یا درخت گز، به نسبت نقاط با تراکم کمتر و گونهٔ اکالیپتوس، پارامترهای اقلیمی و بالطبع شرایط آسایش حرارتی وضعیت بهتری را نشان می‌دهد. عامل تعیین‌کنندهٔ ساختاریِ دیگر نوع پوشش کف فضای باز بود که بر طبق مشاهدات و تحلیل‌های انجام‌گرفته، نقاط با پوشش کف چمن، خاک، شن و ماسه، آسفالت، و بتن به ترتیب اولویت شرایط بهتری را نسبت به یکدیگر ایجاد می‌کردند.

یافته‌های این پژوهش اگر در اصلاح و بازنگری طرح‌های توسعهٔ شهری با هدف کاهش مصرف انرژی به‌کار گرفته شود می‌تواند در مقیاس کلان باعث تعدیل جزیرهٔ حرارتی شهرها شده و در مقیاس کوچک در محیط معماری نیز با توجه به اهمیت فضای باز چه به لحاظ عملکرد این نوع فضاها و چه به لحاظ اثری که بر شرایط محیطی داخل می‌گذارند، به پیاده‌محوری، خنک‌کردن جداره‌های ابنیه و همچنین کاهش مصرف انرژی درون ساختمان‌ها کمک کند. برخی از راهکارها و اصول منتج از تحقیق حاضر که در محیط‌های باز شهری و معماری مناطق گرم و خشک مشابه منطقهٔ سیستان کاربرد دارند عبارتند از:

ـ استفاده از گونه‌های مناسب سایه‌انداز و سازگار با اقلیم گرم و خشک همچون درخت گز که نیاز به آب کمتر و ظرفیت مقاومت بالایی در برابر خشکی دارد و سایهٔ بیشتری ایجاد می‌کند، پیشنهاد می‌شود.

ـ جنس مصالح و پوشش کف در فضای باز سازگار با اقلیم گرم و خشک در نظر گرفته شود و در صورت امکان از چمن و خاک به‌جای آسفالت و بتن استفاده شود.

ـ جهت کاستن از سرعت باد، تراکم پوشش گیاهی در جبههٔ ورود باد بیشتر از سایر بخش‌های فضای باز در نظر گرفته شود.

ـ مسیرهای پیاده تا حد امکان در کنار فضای سبز سایه‌انداز طراحی شوند تا هم جلوی تابش مستقیم خورشید به افراد گرفته شود و هم از سرعت باد کاسته شده و رفت و آمد راحت‌تر انجام پذیرد.

قدردانی

از ریاست محترم دانشگاه زابل، مدیر محترم حراست دانشگاه و تمامی عزیزانی که امکان انجام برداشت‌های میدانی تحقیق را فراهم کرده‌اند و به‌ویژه از خانم دکتر منصوره طاهباز دانشیار دانشکدهٔ معماری و شهرسازی دانشگاه شهید بهشتی به‌خاطر راهنمایی‌های تخصصی و در اختیار قرار دادن ابزار اندازه‌گیری، صمیمانه قدردانی کرده و برای ایشان آرزوی توفیق روزافزون داریم.

منابع و مآخذ

احمدی ونهری، ارمغان. *طراحی شهری انرژی کارا بر پایهٔ ساختار سبز شهری*. پایان‌نامهٔ دکتری طراحی شهری. استاد راهنما: علی غفاری، منصوره طاهباز، دانشگاه شهید بهشتی، دانشکدهٔ معماری و شهرسازی، ۱۳۹۵.

اسلامی، محمدامین، نوذری فردوسیه، احمد، و منصوره طاهباز. «راهکارهای طراحی اقلیمی معابر فضای باز، مطالعه موردی: پیاده راه‌های دانشگاه کاشان». در *هویت شهر*، ش ۲۶ (تابستان ۱۳۹۵)، ص ۳۳-۴۶.

پوردیهیمی، شهرام. *زبان اقلیمی در طراحی محیطی پایدار*. جلد ۱ و ۲. تهران: انتشارات دانشگاه شهید بهشتی، ۱۳۹۰.

رازجویان، محمود. *آسایش در پناه باد*. تهران: انتشارات دانشگاه شهید بهشتی، ۱۳۷۹.

رضایی، ناهیده، و منصوره طاهباز. «ارزیابی کیفیت اقلیمی مسیرهای ارتباطی باز و نیمه‌باز پردیس دانشگاه کاشان». در *نامهٔ معماری و شهرسازی*، ش ۱۶ (بهار و تابستان ۱۳۹۵)، ص ۱۶۳-۱۸۱.

تقوایی، سیدحسن، طاهباز، منصوره، و سمانه متقی‌پیشه. «نقش سایه در باغ ایرانی، بررسی وضعیت آسایش اقلیمی در باغ جهان‌نما و باغ دلگشا». در *مطالعات معماری ایران*، ش ۷ (بهار و تابستان ۱۳۹۴)، ص ۳۵-۵۶.

طاهباز، منصوره. *آسایش در فضاهای باز و معابر*. پایان‌نامه کارشناسی ارشد معماری. استاد راهنما: محمود رازجویان، دانشگاه شهید بهشتی، دانشکدهٔ معماری و شهرسازی، ۱۳۶۹.

طاهباز، منصوره، جلیلیان، شهربانو، و فاطمه موسوی. «آموزه‌هایی از معماری اقلیمی گذرهای کاشان، تحقیق میدانی در بافت تاریخی شهر». در

مطالعات معماری ایران، ش ۱ (بهار و تابستان ۱۳۹۱)، ص ۵۹–۸۳.

گندمکار، امیر. «بررسی همدید انرژی باد در منطقهٔ سیستان، ایستگاه زابل». در *فضای جغرافیایی*، ش ۲۷ (پاییز ۱۳۸۸)، ۱۶۱–۱۸۰.

متقی‌پیشه، سمانه. *سایه و آسایش در باغ ایرانی، نمونه مورد مطالعه: باغ‌های شیراز*. پایان‌نامهٔ کارشناسی ارشد معماری منظر. استاد راهنما: سید حسن تقوایی، منصوره طاهباز. دانشگاه شهید بهشتی، دانشکدهٔ معماری و شهرسازی، ۱۳۹۲.

منعام، علیرضا. آسایش محیطی در فضاهای باز شهری. پایان‌نامه دکتری معماری. استاد راهنما: محسن فیضی، مصطفی بهزادفر، دانشگاه علم و صنعت ایران، دانشکدهٔ معماری و شهرسازی، ۱۳۹۰.

Ahmed-Ouameur, Fouad & Andre Potvin. "Microclimates and Thermal Comfort in Outdoor Pedestrian Spaces: A Dynamic Approach Assessing Thermal Transients and Adaptability of the Users". *The American Solar Energy Society (ASES)*, SOLAR, Cleaveland, Ohio. American Solar Energy Society, American Institute of Architects: 592-597. 2007.

Ali-Toudert, Fazia. & Helmut Mayer. "Effects of Street Design on Outdoor Thermal Comfort". In: KISS, A.; MEZŐSI, G.; SÜMEGHY, Z. (eds.) *Landscape, Environment and Society*. Szeged 45-55. 2006.

Andrade, Henrique. & Rute Vieira. "A Climatic Study of an Urban Green Space: The Gulbenkian Park in Lisbon (Portugal)". *Finisterra: Revista portuguesa de geografia*, 49: 27-46. 2007.

Ashrae. 2001. *ASHRAE Fundamentals Handbook* (SI Edition). American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. 2001.

Bernatzky, A. "The contribution of trees and green spaces to a town climate". *Energy and Buildings*. 5: 1-10. 1982.

Bosselmann, Peter. *Sun, Wind, and Comfort A Study of Open Spaces and Sidewalks in Four Downtown Areas*. IURD Monograph Series, Institute of Urban and Regional Development, UC Berkeley. 1984.

Carmona, Matthe & Steve Tiesdell. *Urban Design Reader*. Oxford, Burlington, MA: Elsevier / Architectural Press. 2007.

Chen, Hong. Ooka, Ryozo. Huang, Hong & Takashi Tsuchiya. "Study on Mitigation Measures for Outdoor Thermal Environment on Present Urban blocks in Tokyo Using Coupled Simulation". *Building and Environment*, 44: 2290-2299. 2009a.

Chen, Hong. Ooka, Ryozo. & Shinsuke Kato. "Study on Optimum Design Method for Pleasant Outdoor Thermal Environment Using Genetic Algorithms (Ga) and Coupled Simulation of Convection, Radiation and Conduction". *Building and Environment*, 43. 2008.

Chen, Zhuolun. Krarti, Moncef. Zhai, Zhiqiang. Meng, Qinglin & Lihua Zhao. *Sensitive Analysis of Landscaping Effects on Outdoor Thermal Environment in a Residential Community of Hot-Humid Area in China*. The seventh International Conference on Urban Climate, Yokohama, Japan. 2009b.

Emmanuel, R. "Thermal comfort implications of urbanization in a warm-humid city: the Colombo Metropolitan Region (CMR)". Sri Lanka. *Building and Environment*. 40. 1591-1601. 2005.

Fahmy, Mohamad. Stephen Sharples. & Ali Eltrapolsi. "Dual Stage Simulations to study the Microclimatic Effects of Trees on Thermal Comfort in a Residential Building". *Eleventh International IBPSA Conference Glasgow*, Scotland, July 27-30. 2009.

Fanger, P.O. *Thermal Comfort: Analysis and Applications in Environmental Engineering*. New York. McGraw Hill. 1972.

Gaitani, N. Mihalakakou, G. & Mat Santamouris. "On the Use of Bioclimatic Architecture Principles in Order to Improve Thermal Comfort Conditions in Outdoor Spaces". Journal of *Building and Environment*, 42: 317-324. 2007.

Givoni, B. *Man, Climate and Architecture*. London. Applied Science Publishers. 1976.

Hidayat. & Wahyu Imawan. "The Ecological Rple of Trees and Their Interactions in Forming the Microclimate Amenity of Environment". *Jurnal Bumi Lestari*. Vol. 10, No. 2, Agustus, pp. 182-190. 2010.

ISO 7726. *Ergonomics of the thermal environment - Instrument for measuring physical quantities*. Geneva, Switzerland: International Organization for

Standardization. November 1998.

Liébard, A. & A, De Herde. *Traité d'architecture ET d'urbanisme bioclimatique*. Concevoir, édifier ET aménager avec le développement durable. Éd. Le moniteur. 2005.

Lin, Tzu-Ping. Matzarakis, Andreas & Ruey-Lung Hwang. "Shading Effect on Long- Term Outdoor Thermal Comfort". *Building and Environment*, 45: 213–221. 2010a.

Lin, Tzu-Ping. Matzarakis, Andreas. Hwang, Ruey-Lung & Chihyen Huang. "Effect of Pavements Albedo on Long-Term Outdoor Thermal Comfort". BIOMET 7 Conference, Freiburg, Germany. 2010b.

Monteiro, Leonardo Marques. & Marcia Peinado Alucci. *Outdoor Thermal Comfort: Comparison of Results of Empirical Field Research and Predictive Models Simulation*. Windsor, Cumberland Lodge, Windsor. 2006b.

Monteiro, Leonardo Marques. & Marcia Peinado Alucci. "Outdoor Thermal Comfort: Comparative Study of a Sidewalk, a Square and a Park in a Downtown Area". The seventh International Conference on Urban Climate, 29 June - 3 July 2009 Yokohama, Japan. 2009b.

Panagopoulos, T. "Actas da 1a Conferencia sobre Edificios Eficientes, Universidade do Algarve". *25 de Janeiro de 2008*. Pp: 1-4. 2008.

Saito, Ikuo. Ishihara, Osamu. & Tadahisa Katayama. "Study of the Effect of Green Areas on the Thermal Environment in an Urban Area". *Energy and Buildings*, 15: 493-498. 1990.

Saito, I. Ishihara, O. & Katayama T. "Study of the effect of green areas on the thermal environment in an urban area". *Energy and Buildings*. 15(3). 493-498. 1991.

Santamouris, M. *Advances in passive cooling (buildings, energy and solar technology series)*. Earthscan. Sterling. 2007.

https://fa.wikipedia.org/wiki/زابل

http://www.Kestrelweather.com

http://www.saenco.com/hse/1392-05-01-08-00-12/tes-1341.html

http://www.testequipmentdepot.com/reed/thermometers/8778.htm