Archive of SID

محیط زیست طبیعی، مجله منابع طبیعی ایران
دوره ۷۰، شماره ۱، بهار ۱۳۹۶
صفحات: ۱۹۵-۱۸۱

ارزیابی اثر بام‌های سبز بر دما، رطوبت و غلظت دی‌اکسیدکربن موجود در هوای شهر تهران و نقش آن‌ها در توسعهٔ پایدار شهری

معصومه مقبل[1*]، رامین عرفانیان سلیم[2]، مهرنوش قدیمی[3]

۱و ۳. استادیار دانشگاه تهران.
۲. عضو هیئت مدیره و معاون فضای سبز سازمان بوستان‌ها و فضای سبز شهر تهران.

(تاریخ دریافت:۱۳۹۵/۳/۹ ؛ تاریخ تصویب:۱۳۹۶/۷/۱)

چکیده

امروزه در شهرسازی نوین، توجه به سرانهٔ فضای سبز در محیط‌های شهری از مهم‌ترین ضوابط شهرسازی و مدیریت شهری به شمار می‌آیند، به طوری‌که استفادهٔ کاربردی از بام‌ها و دیوارها و توسعهٔ عمودی فضای سبز می‌تواند به عنوان امکان بهره‌برداری بهینه از زمین‌های شهری و راهکاری برای بهبود کیفیت محیط‌زیست این مناطق قلمداد شود،- از این‌رو، در پژوهش حاضر تلاش گردید تا اثرات عینی بام‌های سبز بر شرایط آب و هوایی و کاهش آلودگی هوا در محیط شهر تهران مورد ارزیابی قرار گیرد. بدین منظور، دو دستگاه دیتالاگر دما، رطوبت و دی اکسید کربن مدل HD37AB1347 در منطقهٔ ۱۷ شهرداری تهران یکی بر روی بام ساختمان دارای پوشش سبز (بام سبز) و دیگری بر روی ساختمانی با پوشش ایزوگام در سه وضعیت مختلف نصب و پارامترهای فوق الذکر در بازهٔ زمانی سه ماهه و با فواصل ۱۵ دقیقه‌ای اندازه‌گیری شد. همچنین دو دستگاه دیتالاگر دما و رطوبت مدل Lufft-Opus10 نیز به طور هم‌زمان در داخل ساختمان‌ها به منظور سنجش وضعیت هوای داخلی ساختمان‌ها نصب گردید. مقادیر به‌دست آمده نشان می‌دهد که میزان غلظت دی‌اکسیدکربن در هوای بالای بام سبز بسته به وضعیت اندازه‌گیری بین ۲۰ تا۳۴ قسمت در میلیون، و دمای هوا بین ۱/۴ تا۶/۱ درجهٔ سلسیوس کمتر از میزان این دو پارامتر در بالای پشت بام مرجع می‌باشد. همچنین رطوبت نسبی در تمامی حالات سنجش شده بین ۱۰ تا ۱۷/۵ درصد در هوای بالای بام سبز بیشتر از بام مرجع است. علاوه براین، بر اساس نتایج سنجش وضعیت هوای داخلی، ساختمان دارای بام سبز از تعادل حرارت داخلی بیشتری نسبت به ساختمان دارای بام مرجع برخوردار بود اما هیچ روند مشخص و معناداری در رطوبت فضای داخلی دو ساختمان دیده نشد.

کلید واژگان: بام سبز، خرد آب و هوا، محیط زیست، شهر تهران.

* نویسنده مسئول: شماره تماس: ۹۸۹۱۲۶۰۴۴۸۳۶+
Email: moghbel@ut.ac.ir

www.SID.ir

Archive of SID

۱. مقدمه

امروزه، تغییرات سریع در کاربری اراضی و پوشش سطحی در نواحی شهری به دلیل تأثیرهای محیطی همانند کاهش فضاهای سبز و توسعهٔ جزایر گرمایی شهر، به یک نگرانی زیست‌محیطی تبدیل گردیده است (Amiri et al., 2009). شهر تهران به عنوان یکی از کلان‌شهرهای کشور با مرکزیت سیاسی و اداری با قدمت ده‌ها سال شهرنشینی، دارای تراکم جمعیتی بالا و تمرکز کارگاه‌ها و کارخانجات در محدودهٔ داخلی و حاشیهٔ شهر بوده و در طول سالیان متمادی با توسعهٔ فضای فیزیکی و افزایش جمعیت مهاجر، دستخوش تغییرات کاربری اراضی در مقیاسی وسیع بوده است. این تغییرات فیزیکی، منجر به تغییر خرداقلیم‌های محیط در بستر زمان گردیده و شرایط جوی و اقلیمی شهر را دگرگون ساخته است. چنان‌که در این شهر نیز همانند بسیاری از کلان‌شهرهای مهم دنیا، ساختار فیزیکی سطوح به همراه تمرکز فعالیت‌های انسانی منجر به افزایش دمای مناطق مرکزی شهر و بروز پدیده‌هایی همچون جزایر گرمایی و تولید انواع آلاینده‌های جوی گردیده است که هم برآسایش زیستی ساکنین آن و هم بر برنامه ریزی‌های مدیریت شهری همچون کنترل آلودگی‌ها و مدیریت مصرف انرژی تأثیرگذار بوده است. بام سبز یکی از رویکردهای نو معماری و شهرسازی و برخاسته از مفاهیم توسعهٔ پایدار است که از آن می‌توان به منظور افزایش سرانهٔ فضای سبز، ارتقای کیفیت محیط‌زیست و توسعهٔ پایدار شهری بهره برد. با توجه به مزایای مختلف توسعهٔ بام‌های سبز مانند تلطیف هوا، کاهش آلاینده‌های جوی در محیط‌های شهری از جمله گازهای گلخانه‌ای، بهینه سازی مصرف انرژی، کاهش ناراحتی‌های ناشی از سر و صدا در محیط‌های شهری (عایق صوتی)، افزایش سرانهٔ فضای سبز در مناطق متراکم شهری، کاهش اثرات جزایر گرمایی شهر، کاهش بار سیستم‌های مجاری فاضلاب و سیلاب‌های شهری، درکنار اثرات زیباشناختی و روان‌شناختی و... توسعهٔ بام‌های سبز در برنامه‌ریزی شهری بسیاری از کشورهای پیشرفتهٔ جهان به صورت دستورالعمل اجرایی در آمده است (Yazdan dad et al., 2010; Khosravi et al., 2014) به‌طوری‌که، در زمینهٔ بام‌های سبز و اثرات آن‌ها بر تعدیل هوای محیط‌های شهری تحقیقات گسترده ای در سطح جهان انجام گرفته است که از آن جمله می‌توان به پژوهش Pompeii (۲۰۱۰) اشاره کرد که به مطالعهٔ تأثیر بام سبز بر جزیرهٔ حرارتی پرداخته و نشان داده است که بام سبز در مقایسه با بام معمولی از دما و رطوبت متعادل‌تری برخوردار است. براساس مطالعات Garrison و همکارانش (۲۰۱۲) بام‌های سبز در کاهش مصرف انرژی، مقابله با تغییرات آب و هوایی و نیز حفاظت از منابع آب مؤثر هستند. مطالعات انجام شده در شهر تورنتو کانادا نشان داده است که وجود بام سبز می‌تواند بیش از ۲ درجهٔ سلسیوس سبب تعدیل دمای هوا شود (Oberndorfer et al., 2007). Arabi و همکاران (۲۰۱۵) معتقدند که استفاده از بام سبز به عنوان یکی از مهم‌ترین استراتژی‌های مقابله و کاهش اثرات نامطلوب جزایر گرمایی شهر است. Lehmann (۲۰۱۴) با مطالعهٔ تأثیر بام سبز بر جابجایی جزایر گرمایی نشان داده است که توسعهٔ بام‌های سبز می‌تواند در کاهش دما و حل مسائل زیست‌محیطی مناطق شهری مفید واقع شود. Carter و همکاران (۲۰۰۸) نشان داده‌اند که بام های سبز می‌توانند تا ۵۰٪ از بارش کل سالانه را حفظ کرده و از این طریق نقش مهمی در ویژگی‌های هیدرولوژیکی محیط شهری ایفا می‌کنند. در ایران بام سبز یا باغ بام ها از جمله جدیدترین موضوعات مطرح شده در شهرسازی و برنامه‌ریزی شهری به‌ویژه در مادر شهرهایی مثل شهر تهران می‌باشد و هنوز در شهرهای ایران از نظر اجرایی گستردگی چندانی پیدا نکرده است. با این وجود مطالعات چندی در زمینهٔ بام‌های سبز و اثرات زیست‌محیطی آن‌ها در ایران نیز صورت پذیرفته است. از جمله این تحقیقات می‌توان به Zarandi Mahmoudi و همکاران (۲۰۱۲، ۲۰۱۳)؛ pour Jomeh و همکاران (۲۰۱۰)؛ Nahrli و همکاران

www.SID.ir

Archive of SID

(۲۰۱۱)؛ Ahmadi و همکاران (۲۰۱۳) اشاره کرد.

در ایـران، بـا وجـود مصـوبهٔ یکصـد و دهمـین جلسـهٔ رسمی- علنی و فـوق العـادهٔ شـورای محتـرم شـهر تهـران در تاریخ ۱۳۸۷/۴/۴ مبنی بر " تعیین بهـای خـدمات تشـویقی و شاخص‌هـای اقتصـادی جلـب شـهروندان در ایجـاد و توسـعهٔ فضای سبز بر بدنه و فضـاهای بـلا اسـتفاده در شـهر تهـران" توسعهٔ این نوع فضاها در شـهر تهـران همچنـان بـا مشـکلات مختلفی از جمله مشکلات اقتصادی و عدم تخصـیص بودجـه، نبود طرح‌های تشویقی مناسب جهت جلـب شـهروندان بـرای اجرای فضاهای سبز عمودی بر بناها و مساکن و ... بـه صـورت راکد باقی مانده است. از آنجـایی‌کـه در منـاطق متـراکم شـهر تهران به دلیل نبود فضای کافی در سطح افقی امکـان توسـعهٔ فضای سبز افقی وجود ندارد یـا اینکـه بـه علـت ارزش افـزودهٔ بالای زمین هزینـه‌هـای خریـد زمـین و اجـرای فضـای سـبز مقرون به صرفه نیست، سرانهٔ فضـای سـبز در برخـی منـاطق شهر تهران از حد استاندارد کمتـر اسـت. یکـی از راهکارهـای حـل ایـن مسـئله در منـاطق فـوق، اسـتفاده از فضـاهای بـلا استفاده و سبز کردن آن‌ها با حداقل هزینه است. بـا توجـه بـه ایـن‌کـه پـژوهش انجـام گرفتـه در زمینـهٔ اثـرات اکولـوژیکی فضاهای سـبز عمـودی در ایـران بسـیار انـدک اسـت، اتخـاذ تصمیم و تدوین سیاست های تشویقی در زمینـهٔ توسـعهٔ ایـن فضاها بدون استناد به اثـرات عینـی ایـن نـوع فضـاهای سـبز امکان پذیر نیست. به همـین منظـور، از آنجـایی‌کـه مشـاهدهٔ اثـرات عینـی فضـاهای سـبز عمـودی و کـاهش بسـیاری از مهم‌ترین معضلات گریبان‌گیر شهر تهـران در تشـویق هرچـه بیشتر مسئولین امر و نیز مردم در جهت برنامه‌ریزی و حرکـت به سوی توسعهٔ این فضاها از طریق تـدوین قـوانین مسـتدل و مستحکم نظیـر تـدوین طـرح‌هـای تشـویقی، بسـیار اثرگـذار خواهد بود. هدف از پژوهش حاضر ارزیابی اثرات عینی بام‌هـای سبز بر شرایط آب و هوایی و کـاهش آلـودگی هـوا در محـیط شهر تهران است. از این‌رو، با استفاده از برداشـت‌هـای میـدانی در یکی از پشت بام‌های سبز شهر تهـران بـه صـورت پـایلوت، تأثیر بام‌های سبز بر شـرایط خـرد آب و هـوایی و نیـز فضـای داخلی ساختمان‌ها مورد تحلیل و بررسی قرار خواهد گرفت.

۲. مواد و روش‌ها

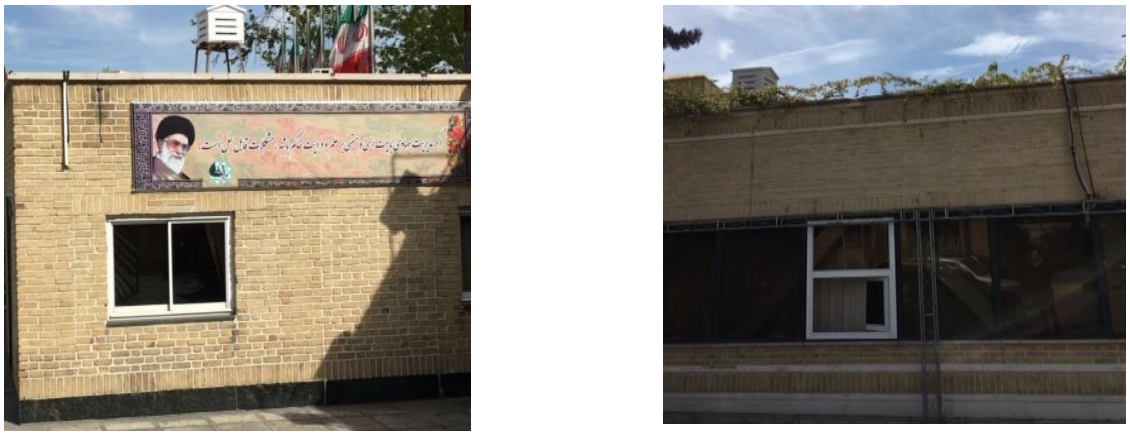
با توجه به کمبود بام‌هـای سـبز اجرایـی در محـدودهٔ شهر تهران، برای اندازه گیری پارامترهای مـورد نظـر بـام سبز واقع در سـاختمان شـمارهٔ ۳ شـهرداری منطقـه ۱۷ شهر تهران به عنوان یک بام پایلوت برای انجـام پـژوهش فـوق مـورد اسـتفاده قـرار گرفـت. از آنجـایی‌کـه عمـده پوشش‌های مورد استفاده در پشت بام‌های شهر تهـران از نوع آسفالت یا ایزوگام اسـت، بـه منظـور سـنجش دقیـق تأثیر نوع پوشش پشت بام بر شرایط محیطی اطـراف آن، در همین محدوده، یعنـی منطقـهٔ ۱۷ شـهرداری تهـران، پشت بام دیگری با نوع پوشش ایزوگامی که از نظر جهـت ساختمان، مساحت و ارتفاع شرایطی مشابه با بام سبز این منطقه داشت به عنوان بام مرجع و نمایندهٔ اکثر بام هـای شهر تهران انتخاب شد. برای سنجش تـأثیر نـوع پوشـش پشت بام‌ها بر کیفیت هوای مجـاور دو دسـتگاه دیتـالاگر مدل HD37AB1347 محصول شرکت دلتـا اوهـم ایتالیـا که قادر بـه انـدازه‌گیـری دمـا، رطوبـت نسـبی و غلظـت دی‌اکسیدکربن محیط می باشند تهیه و در سـه وضـعیت مختلف بر فراز بام‌های مطالعاتی (بام مرجـع و بـام سـبز) نصب شد. لازم به توضیح است هر دو بام مورد استفاده در یک طبقه و در جهت شـمالی-جنـوبی احـداث شـده‌انـد. شـکل ۱ نمـایی از هـر دو بـام مـورد اسـتفاده بـرای اندازه‌گیری‌ها را نمایش می‌دهد.

همان‌طور که پیش‌تر گفته شد برای سنجش دقیق اثر بـام سبز بر کیفیت هوای مناطق شهری انـدازه‌گیـری پارامترهـای مورد مطالعه (دما، رطوبت نسبی و دی اکسـید کـربن هـوا) در سه وضعیت مختلف و در بـازهٔ زمـانی ۳ ماهـه بـا فواصـل ۱۵ دقیقـه‌ای (از تـاریخ ۲۵ اسـفند ۹۴ تـا ۲۵ خـرداد ۹۵) انجـام گرفت. وضعیت‌های اندازه‌گیری به شرح زیر هستند:

۱) اندازه‌گیری در داخل جعبهٔ اسکرین در ارتفاع یـک متری از سطح هر دو پشت بام ۲) اندازه‌گیری در خارج از جعبهٔ اسکرین در ارتفاع یک متری از سطح هـر دو پشـت بام و ۳) اندازه‌گیری در نزدیکی سطح هر دو پشـت بـام و خارج از جعبهٔ اسکرین.

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۱. نمایی از هر دو بام مورد استفاده (سمت راست: بام سبز؛ سمت چپ: بام مرجع)

لازم به توضیح است با توجه به این‌که یکی از مزایای کاربرد بام‌های سبز در زمینهٔ مصرف انرژی و کاهش هدر رفت آن در ساختمان‌های مناطق شهری است، علاوه بر اندازه‌گیری پارامترهای مورد نظر در سطح و یک متری بام‌های مورد مطالعه، دو دستگاه دیتالاگر دما و رطوبت مدل Opus 10 ساخت شرکت Lufft آلمان نیز در فضای داخل هر دو ساختمان به کار گذاشته شد تا میزان تأثیر بام سبز در کاهش هدر رفت انرژی و اثرات آن بر فضای داخلی ساختمان‌ها نیز مورد بررسی قرار گیرد. شکل۲ نحوهٔ نصب دستگاه‌ها را در وضعیت‌های مختلف فوق‌الذکر نمایش می‌دهد. پس از جمع‌آوری داده‌های مورد نیاز در بازهٔ زمانی مورد نظر، ابتدا داده‌ها از نظر کیفی و آماری مورد کنترل قرار گرفته و با استفاده از دو روش شاپیرو ویلک و کولموگوروف اسمیرنوف[1] بررسی شدند. پس از اطمینان از نرمال بودن داده‌ها مورد تجزیه و تحلیل آماری قرار گرفتند.

شکل ۲. نحوه نصب دیتالاگرها در وضعیت‌های اندازه گیری ۱تا ۳ (سمت راست: بام سبز؛ سمت چپ: بام مرجع)

1 . Shapiro-Wilk & Kolmogorov-Smirnov

www.SID.ir

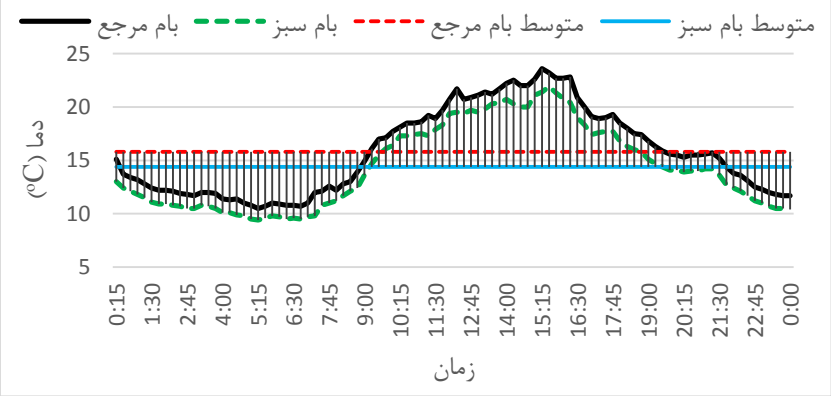
Archive of SID

۳. نتایج

با توجه به اثرات پوشش گیاهی و به طور کلی فضاهای سبز در تعدیل شرایط آب و هوایی و به‌ویژه خرد اقلیم مناطق شهری، نتایج به دست آمده از وضعیت‌های اندازه گیری مختلف به شرح زیر است:

۳. ۱.وضعیت شمارهٔ ۱: مقایسهٔ دما، رطوبت و دی‌اکسیدکربن هوای یک متری بالای دو پشت بام در داخل جعبه اسکرین

به منظور ارزیابی اثر بام سبز بر تعدیل هوای مجاور خود در وضعیت اندازه‌گیری اول، سنسورهای اندازه‌گیری کنندهٔ دما در داخل جعبه اسکرین و در ارتفاع یک متری از هر دو پشت بام قرار داده شد به طوری‌که از منافذ جعبه امکان تبادل هوا با بیرون جعبه به خوبی وجود داشته باشد. نتایج به دست آمده از اندازه‌گیری دما در این وضعیت در ۱۷ آوریل ۲۰۱۶ نشان داد که اختلاف دمای بارز و مشخصی در این شرایط در دمای هوای مجاور دو پشت بام وجود دارد به طوری‌که میانگین دمای هوا در این روز، در یک متری بالای بام سبز ۱۴/۳ و در بالای بام مرجع ۱۵/۷ درجهٔ سلسیوس بوده است که دمای هوای بالای بام سبز به طور متوسط ۱/۴ درجهٔ سلسیوس کمتر از دمای یک متری بالای پشت بام مرجع بود. میزان این اختلاف در ساعات نزدیک به ظهر به دلیل افزایش تبخیر و تعرق در بام سبز اندکی بیشتر از سایر ساعات می‌باشد به طوری‌که حداکثر دمای این روز در بالای بام سبز ۲۱/۹ و در بالای بام مرجع ۲۳/۶ درجهٔ سلسیوس به ثبت رسید (شکل۳).



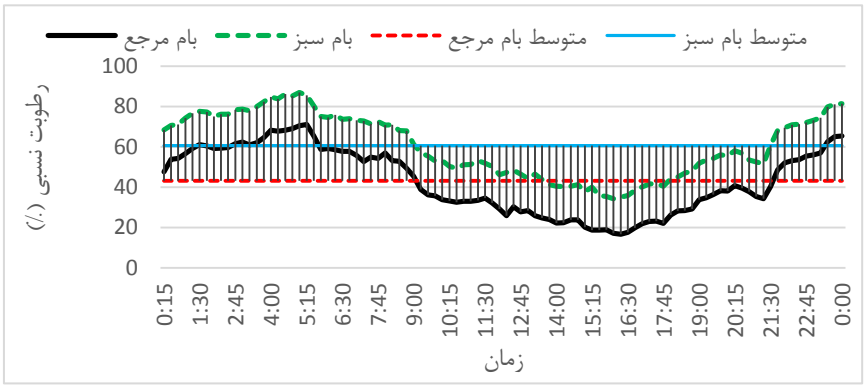
شکل۳ . دمای هوای یک متری بالای بام سبز و بام مرجع (داخل اسکرین)

از آنجایی‌که وجود پوشش گیاهی در هر محیطی می‌تواند در تلطیف هوای آن محیط اثرگذار باشد، علاوه بر دمای هوا، میزان رطوبت نسبی هوای یک متری بالای دو پشت بام نیز در حالت‌های مختلف مورد سنجش و ارزیابی قرار گرفت. همان‌طور که در شکل۴ مشاهده می‌شود، در روز ۱۷ آوریل ۲۰۱۶ میزان رطوبت نسبی هوای یک متری بالای پشت بام سبز به طور محسوسی بیشتر از هوای مجاور بام مرجع می‌باشد (به ترتیب ۶۰/۶ و ۴۳/۱ درصد) که میزان آن در ساعات میانی روز بیشتر از سایر ساعات می‌باشد. به طور متوسط اختلاف رطوبت نسبی هوا در دو بام سبز و مرجع در طول این روز ۱۷/۵ ٪ است. همچنین، الگوی تغییرات رطوبت نسبی هوای مجاور هر دو بام از الگوی تغییرات دمای هوا تبعیت می‌کند. به عبارت دیگر، بیشترین میزان رطوبت نسبی در هوای مجاور هر دو پشت بام در ساعات اولیه و پایانی روز است در حالی‌که در خصوص دما این ساعات کمترین دمای هوا را داراست و برعکس در ساعات میانی روز میزان رطوبت نسبی در حداقل مقدار خود بوده و دما در

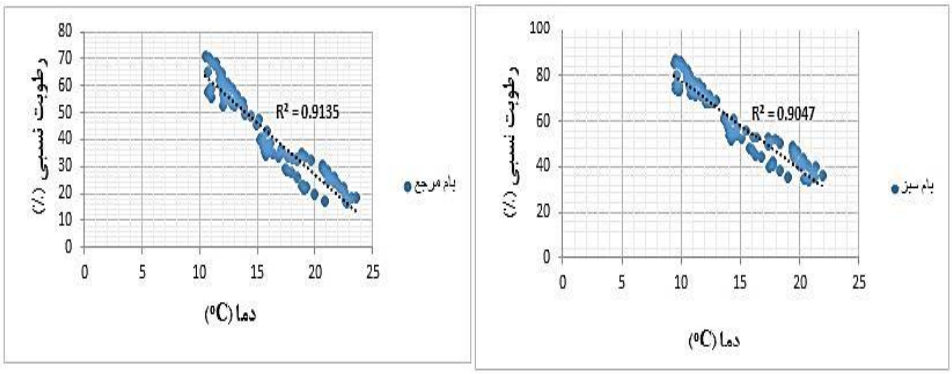
www.SID.ir

Archive of SID

بیشترین مقدار خود می‌باشد. به طوری‌که ارتباط سنجی بین دما و رطوبت نسبی هر دو بام نشان داد که رابطهٔ مستقیم و معکوسی بین مقدار دمای هوای بالای دو پشت بام و میزان رطوبت نسبی وجود دارد. شکل ۵ همبستگی بین دما و رطوبت نسبی موجود در هوای یک متری بالای هر دو بام را نمایش می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود ضریب همبستگی بین دما و رطوبت نسبی هوای بالای بام سبز۰/۹۴ و بام مرجع ۰/۹۵ است که در سطح ۹۵٪ معنادار است. از این‌رو، با توجه به نتایج حاصل از دمای هوای بالای دو پشت بام، از آنجایی‌که دمای هوای بام سبز به طور میانگین کمتر از دمای بام مرجع است و تنها با استناد به نتایج حاصل از ارتباط سنجی دما و رطوبت نسبی، می‌توان چنین استنتاج نمود که بام سبز با دمای کمتر رطوبت نسبی بیشتری دارد.



شکل ۴. رطوبت نسبی هوای یک متری بالای بام سبز و مرجع (داخل اسکرین)



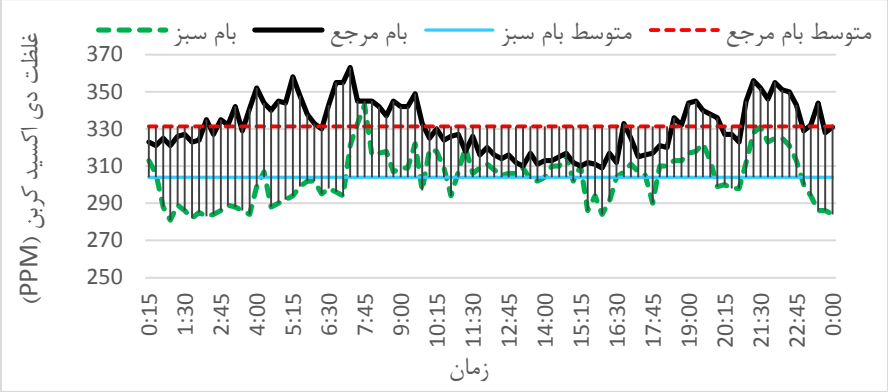
شکل ۵. همبستگی بین دما و رطوبت نسبی هوای یک متری بالای دو بام سبز و مرجع (داخل اسکرین)- معناداری در سطح ۹۵٪

به منظور ارزیابی اثر پوشش گیاهی بر میزان دی‌اکسیدکربن موجود در جو غلظت این گاز در هوای یک متری مجاور هر دو پشت بام و در داخل جعبه اسکرین که امکان تبادل هوا به خوبی وجود داشت و در روز ۱۷ آوریل ۲۰۱۶ اندازه‌گیری شد. با توجه به نتایج حاصل از اندازه‌گیری‌های به عمل آمده همان‌طور که در شکل ۶ قابل مشاهده است اختلاف فاحشی بین میزان دی‌اکسیدکربن در هوای مجاور پشت بام سبز و بام مرجع در این روز وجود دارد. بنابر داده‌های مربوط به این پارامتر، به طور متوسط میزان دی‌اکسیدکربن موجود در هوای مجاور پشت بام سبز ۳۰۳ قسمت در میلیون بوده که حدوداً ۲۸ PPM (قسمت در میلیون) کمتر از میزان

www.SID.ir

Archive of SID

این گاز در هوای مجاور پشت بام مرجع (۳۳۱ قسمت در میلیون) است. علاوه بر اختلاف در میزان دی اکسید کربن موجود در هوای مجاور دو پشت بام، افزایش و کاهش آن در هوا نیز با توجه به ساعات روز از روند مشخصی برخوردار است. چنان‌که در ساعات اولیهٔ روز به دلیل حجم بالای ترافیک و سوخت و ساز ناشی از خودروها میزان این گاز در هوا از روند افزایشی برخوردار است. سپس در اواسط روز با کاهش حجم ترافیک شهری تراکم این گاز نیز در هوا کاهش می یابد و مجدداً در ساعات پایانی روز با افزایش حجم ترافیک روند گاز دی‌اکسیدکربن موجود در هوا نیز افزایش می‌یابد. البته در خصوص بام سبز، علاوه بر تأثیر حجم ترافیک بر میزان کاهش این گاز در ساعات میانی روز، می‌توان به تأثیر فرایند فتوسنتز نیز اشاره کرد. معمولاً در اکثر گونه‌های گیاهی حداکثر میزان فتوسنتز که منجر به جذب بیشتر گاز دی‌اکسیدکربن از محیط مجاور می‌شود در ساعات ظهر و حداکثر تابش رخ می‌دهد.



شکل ۶. میزان غلظت دی‌اکسیدکربن موجود در هوای یک متری بالای بام سبز و مرجع (داخل اسکرین)

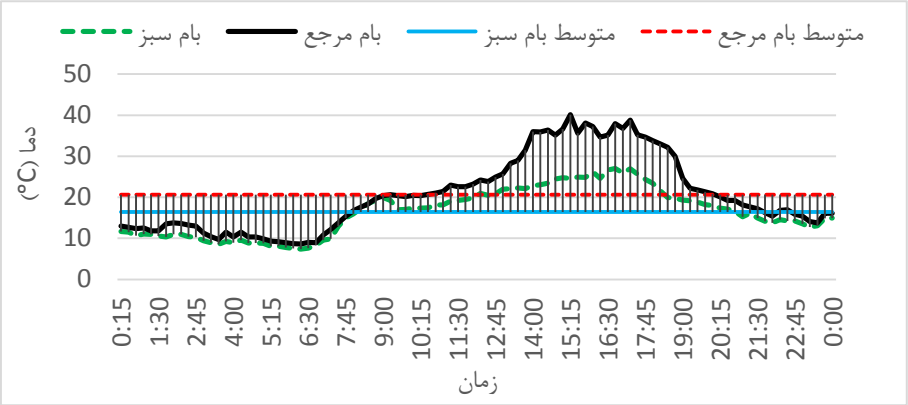
۳. ۲. وضعیت شمارهٔ ۲: مقایسه دما، رطوبت نسبی و غلظت دی‌اکسیدکربن هوای یک متری بالای دو پشت بام در خارج از جعبه اسکرین

در بخش قبل پارامترهای دما، رطوبت و غلظت دی‌اکسیدکربن موجود در جو در شرایط سایه و داخل جعبه اسکرین با یکدیگر مقایسه شد. از آنجایی‌که پارامترهای قرائت شده در داخل جعبه اسکرین نمی‌تواند بیان کنندهٔ احساس واقعی شهروندان به‌ویژه در رابطه با دما و رطوبت موجود در هوا باشند از این‌رو، در این بخش با خارج کردن سنسورها از داخل جعبه اسکرین تلاش شد تا پارامترهای مورد نظر در شرایط آفتابی و خارج از جعبه اسکرین و در ارتفاع یک متری از هر دو پشت بام اندازه‌گیری شوند که در تحلیل شرایط واقعی و برآورد شدت گرما در فضای بیرونی و اثرات پوشش گیاهی در تقلیل شدت جزایر گرمایی اثرگذار باشد. بدین منظور، روز ۲۰ آوریل ۲۰۱۶ به عنوان یک روز آفتابی و بدون پدیدهٔ جوی انتخاب شد. نتایج به دست آمده از داده‌های اندازه گیری شده در این روز در شرایط فوق‌الذکر، نشان می‌دهد که دما در ارتفاع یک متری بام مرجع در شرایط آفتاب به طور متوسط در طول شبانه روز ۴/۲ درجهٔ سلسیوس بالاتر از دمای هوای یک متری بام سبز در همین شرایط است (دمای متوسط بام سبز ۱۶/۴ و بام مرجع ۲۰/۶ درجهٔ سلسیوس) که این اختلاف دمای هوا در ساعات میانی ظهر و با افزایش شدت تابش به بیشترین مقدار خود می‌رسد به طوری‌که حداکثر دمای هوای روزانهٔ بام مرجع و سبز به ترتیب ۴۰/۱ و ۲۷/۱ درجهٔ سلسیوس است. به عبارت دیگر در ساعات میانی روز که حداکثر دمای روزانه رخ

www.SID.ir

Archive of SID

می‌دهد اختلاف دمای هوای یک متری دو پشت بام در شرایط خارج از جعبه اسکرین به بیش از ۱۳ درجهٔ سلسیوس می‌رسد. نکتهٔ قابل توجه دیگر در مقایسهٔ دمای هوای بالای دو پشت بام در این است که زمان وقوع حداکثر دما در هوای دو پشت بام متفاوت است به طوری‌که زمان پیک یا اوج دمای هوا در بالای پشت بام سبز با تأخیر زمانی حدوداً در ساعت ۱۵ بعداز ظهر رخ داده است در حالی‌که حداکثر دمای هوا در بالای پشت بام مرجع در حدود ساعت ۱۴ یعنی یک ساعت زودتر به وقوع پیوسته است. این امر به دلیل رطوبت بیشتر مناطق دارای پوشش گیاهی است. با توجه به ویژگی‌های حرارتی آب از جمله ظرفیت حرارتی بالا در محیط‌هایی که میزان رطوبت بالاتر است به دلیل همین ویژگی قطرات آب، تغییرات محیطی دما با تأخیر زمانی بیشتری رخ می‌دهد (شکل۷).



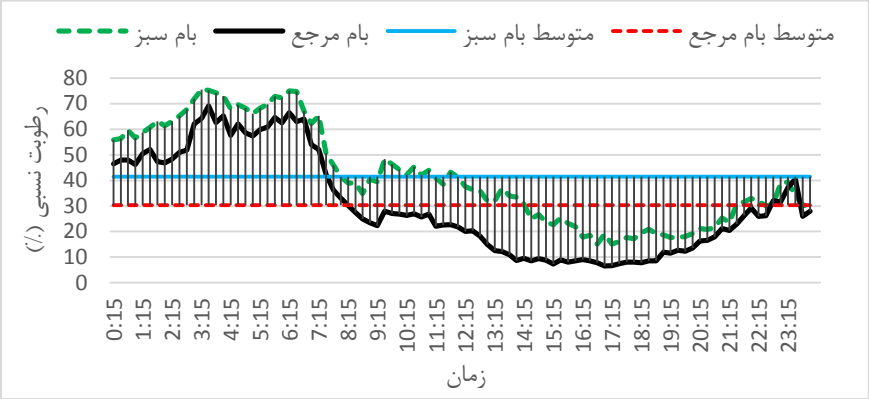
شکل ۷. دمای هوای یک متری بالای بام سبز و بام مرجع (خارج اسکرین)

همان‌طور که پیشتر اشاره شد، از آنجایی‌که احساس واقعی از پارامترهای جوی با تغییر شرایط میکروکلیمایی به شدت تغییر می‌کند به طوری‌که به عنوان مثال دمای هوای ۳۵ درجهٔ سلسیوس در شرایط وجود رطوبت نسبی ۵۵٪ در حدود ۴۳ درجه سلسیوس احساس می شود، میزان رطوبت نسبی هوای یک متری بالای دو پشت بام در خارج از جعبه اسکرین در روز ۲۰ آوریل ۲۰۱۶ مورد ارزیابی قرار گرفت. همان‌طور که در شکل۸ قابل مشاهده است، میزان رطوبت نسبی موجود در هوای یک متری بالای بام سبز به طور متوسط ۱۱/۱ ٪ بیشتر از رطوبت موجود در هوای یک متری بام مرجع است که میزان این اختلاف مانند دما در ساعات میانی روز به حداکثر خود می‌رسد. به دلیل وجود پوشش گیاهی در بام سبز میزان تبخیر و تعرق بیشتر از سطح این بام منجر به بالاتر بودن رطوبت نسبی در هوای مجاور این بام نسبت به بام مرجع است. از طرف دیگر، بین روند دمای هوای بالای دو پشت بام و میزان رطوبت نسبی موجود در هوا ارتباط معنادار و معکوسی وجود دارد. به عبارت دیگر با افزایش دما در طول روز میزان رطوبت نسبی در هوای مجاور هر دو بام به دلیل افزایش ظرفیت رطوبتی هوا کاهش می‌یابد (شکل ۹). ضریب همبستگی بین دمای هوای یک متری و رطوبت نسبی هوا در بام مرجع ۰/۸۸ و در بام سبز ۰/۸۵ است که هر دو در سطح ۹۵٪ معنادار هستند.

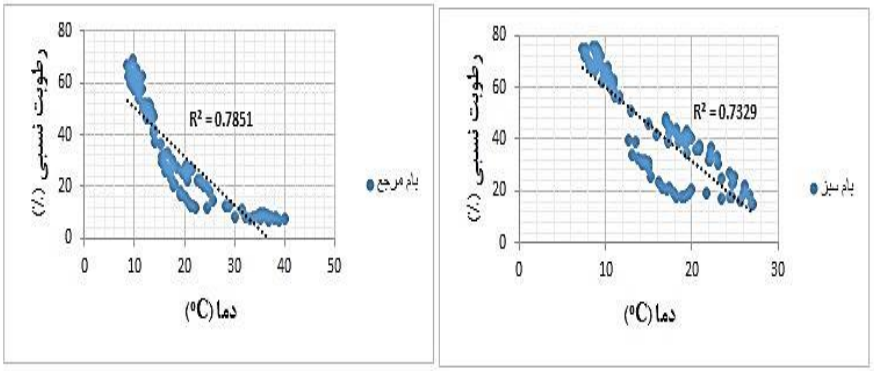
از آنجایی‌که بحث آلودگی هوای محیط‌های شهری بیشتر در فضای بیرونی ساختمان‌ها و در سطح شهر مطرح است که امکان استفاده از سیستم تهویه و یا سیستم‌های تسویهٔ هوا وجود ندارد، از این‌رو غلظت دی‌اکسیدکربن موجود در هوای یک متری بالای دو پشت بام در خارج از جعبه اسکرین و در فضای باز در روز ۲۰ آوریل ۲۰۱۶، مورد ارزیابی قرار گرفت.

www.SID.ir

Archive of SID

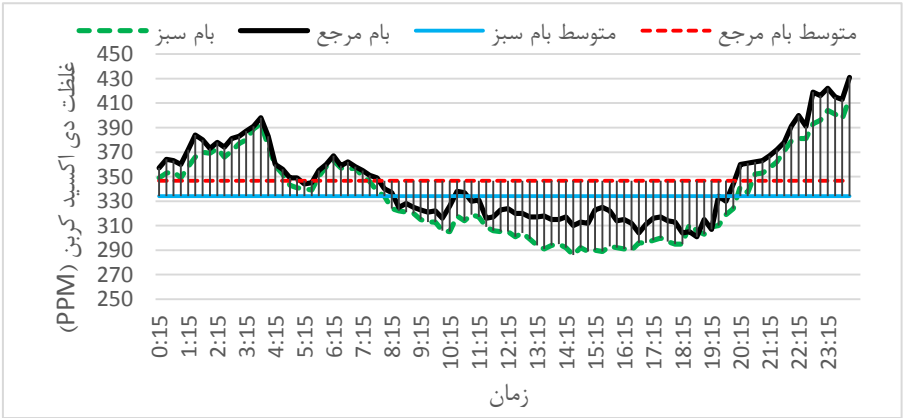


شکل ۸. رطوبت نسبی هوای یک متری بالای بام سبز و مرجع (خارج اسکرین)



شکل ۹. همبستگی بین دما و رطوبت نسبی هوای یک متری بالای دو بام سبز و مرجع (خارج اسکرین)- معناداری در سطح ۹۵٪

همان‌طور که در شکل ۱۰ نمایش داده شده است، در این روز نیز، غلظت دی‌اکسیدکربن موجود در هوای یک متری بالای بام سبز کمتر از بام مرجع است.



شکل ۱۰. میزان غلظت دی‌اکسیدکربن موجود در هوای یک متری بالای بام سبز و مرجع (خارج اسکرین)

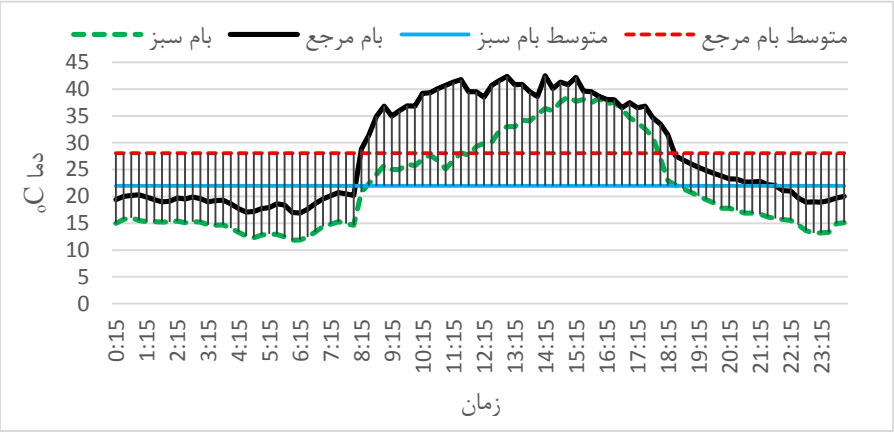
www.SID.ir

Archive of SID

همانند شرایط سنجش شده در داخل جعبه اسکرین، در این حالت نیز غلظت دی‌اکسیدکربن در ساعات میانی روز کاهش داشته و اوایل و اواخر روز غلظت این گاز از میزان بیشتری برخوردار است. در این روز، متوسط دی‌اکسیدکربن هوای بالای بام سبز ۳۳۴ PPM و در بام مرجع ۳۴۶ PPM است که به طور متوسط میزان اختلاف موجود در غلظت دی‌اکسیدکربن هوا در خارج از اسکرین و در ارتفاع یک متری از دو بام در حدود ۱۲ PPM است. این مقدار در مقایسه با شرایط داخل اسکرین (PPM۲۸) کمتر است. بدیهی است در شرایط خارج از اسکرین وجود جریان هوا و وزش باد می‌تواند تراکم مولکول‌های هوا را در واحد سطح تغییر داده و نسبت به حالتی که سنسور در داخل اسکرین قرار دارد و جریان هوا کمتر است غلظت دی‌اکسیدکربن نیز کمتر می‌شود.

۳.۳. وضعیت شمارهٔ ۳: مقایسهٔ دمای هوای نزدیک به سطح دو پشت بام در خارج از جعبه اسکرین

با توجه به اینکه نوع پوشش موجود در سطح (چه سطح زمین چه سطح بام) به دلیل تأثیر ویژگی‌های فیزیکی و حرارتی سطوح از جمله رنگ، جنس، بافت، نفوذپذیری و... در میزان جذب تابش، نفوذ رطوبت و تأثیر بر سایر عناصر آب و هوایی می‌تواند در ایجاد خرد آب و هواهای متنوع در محیط اثرگذار باشد، در این بخش هوای مجاور به سطح بام‌های مورد مطالعه از نظر پارامترهای مورد نظر در خارج از جعبه اسکرین ارزیابی شد. بدین منظور داده‌های ثبت شده در روز ۲۳ آوریل ۲۰۱۶ با شرایط جوی صاف و آفتابی انتخاب و مورد بررسی قرار گرفت. براساس نتایج به دست آمده که در شکل ۱۱ قابل مشاهده است، متوسط دمای هوای مجاور سطح در بام سبز ۲۱/۹ درجهٔ سلسیوس و در بام مرجع ۲۸/۱ درجهٔ سلسیوس است. بنابراین، متوسط اختلاف دمای هوای مجاور سطح دو بام مرجع و بام سبز در خارج از جعبه اسکرین در حدود ۶/۱ درجهٔ سلسیوس است. به عبارت دیگر در فضای باز متوسط اختلاف دمای هوای مجاور سطح دو بام در یک روز آرام جوی بیش از ۶ درجهٔ سلسیوس است. کمترین میزان اختلاف دمای هوای مجاور سطح دو بام در ساعات ابتدایی و انتهایی روز رخ می‌دهد. علاوه براین، همانند دمای هوای یک متری بالای دو بام که قبلاً شرح آن گذشت، زمان وقوع حداکثر دما در مجاور سطح بام سبز با تأخیر زمانی و در حدود ساعت ۱۵:۱۵ روز با مقدار ۳۸/۶ درجهٔ سلسیوس رخ داده است در حالی‌که پیک دمای هوای مجاور سطح در بام مرجع زودتر و در ساعت ۱۲ ظهر با مقدار ۴۲/۵ درجهٔ سلسیوس به وقوع پیوسته است که این تأخیر زمانی در وقوع حداکثر دما در بام سبز به دلیل وجود رطوبت ناشی از تبخیر و تعرق پوشش گیاهی است.

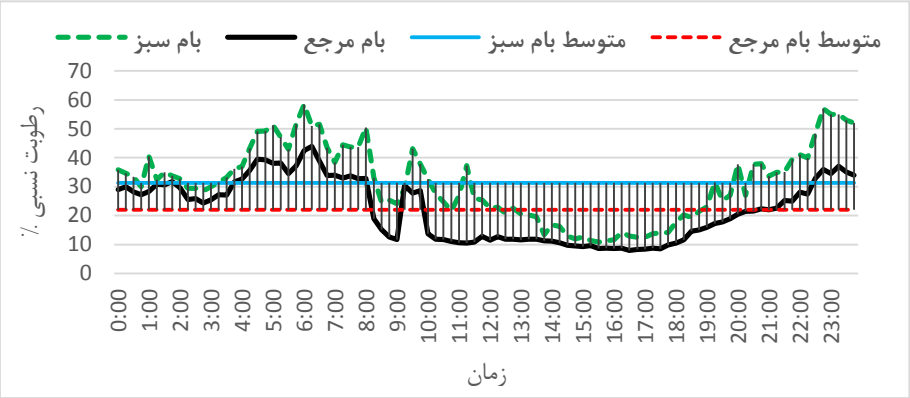


شکل ۱۱. دمای هوای نزدیک به سطح بام سبز و بام مرجع (خارج اسکرین)

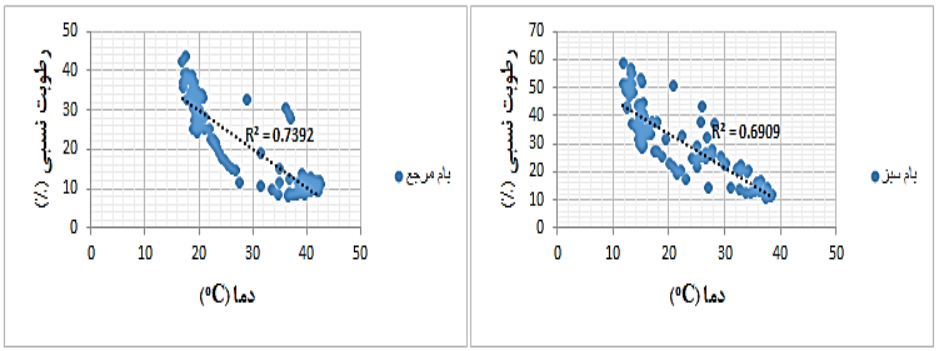
www.SID.ir

Archive of SID

مقایسهٔ رطوبت نسبی هوای مجاور سطح دو پشت بـام در فضای بیرونی و خارج از جعبه اسکرین نشان مـی‌دهـد که در روز ۲۳ آوریل ۲۰۱۶ متوسـط رطوبـت موجـود در هوای مجاور سطح بام سبز ۳۱/۳ درصـد و در بـام مرجـع ۲۲/۰۸ درصد است (شکل ۱۲). بـه طـور کلـی ماننـد دو حالت قبل ارزیابی شده، میـزان رطوبـت نسـبی در هـوای مجاور سطح بام سـبز در طـول روز بیشـتر از بـام مرجـع است که به دلیل وجود پوشش گیاهی در این بام و تـأثیر فرآیند تبخیر و تعرق است. از طرف دیگر، در این روز نیـز ارتباط معناداری بـین میـزان رطوبـت موجـود در هـوای مجـاور سـطح دو بـام و دمـای هـوا وجـود دارد. ضـریب همبستگی بین این دو پارامتر برای بام مرجع و بـام سـبز به ترتیب ۰/۸۵ و ۰/۸۳ است که در سـطح ۹۵٪ معنـادار است (شکل ۱۳).



شکل ۱۲. رطوبت نسبی هوای نزدیک به سطح بام سبز و مرجع (خارج اسکرین)



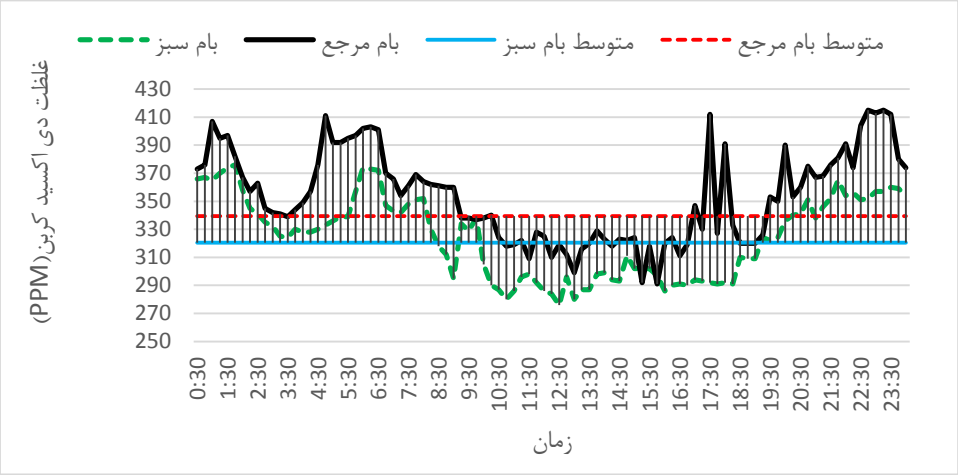
شکل ۱۳. همبستگی بین دما و رطوبت نسبی هوای نزدیک به سطح بام سبز و مرجع (خارج اسکرین) – معناداری در سطح ۹۵٪

نتایج حاصل از سنجش غلظت دی‌اکسیدکربن موجود در هوای مجاور سطح دو بام در خارج از جعبه اسکرین در شکل۱۴ نمایش داده شده است. متوسط دی‌اکسیدکـربن موجود در هوای مجاور سطح بام مرجع در روز ۲۳ آوریـل ۲۰۱۶ در حدود ۳۳۹ PPM بوده است که این مقدار برای بام سـبز در حـدود ۳۲۰ PPM اسـت. از ایـن‌رو متوسـط اختلاف این گاز بین بام سبز و بـام مرجـع در حـدود ۱۹ PPM است. لازم به توضیح است در ایـن حالـت نیـز بـه دلیل تأثیر جریان هوا و وزش باد غلظت دی‌اکسـیدکـربن اندازه‌گیری شده نسبت به انـدازه‌گیـری انجـام گرفتـه در

www.SID.ir

Archive of SID

داخل اسکرین کمتر است. در این روز نیز با نزدیک شدن به ساعات میانی روز از غلظت دی‌اکسیدکربن هوا کاسته می‌شود در حالی‌که در ساعات ابتدایی و انتهایی روز از غلظت بیشتری برخوردار است.



شکل ۱۴. میزان غلظت دی‌اکسیدکربن موجود در هوای نزدیک به سطح بام سبز و مرجع (خارج اسکرین)

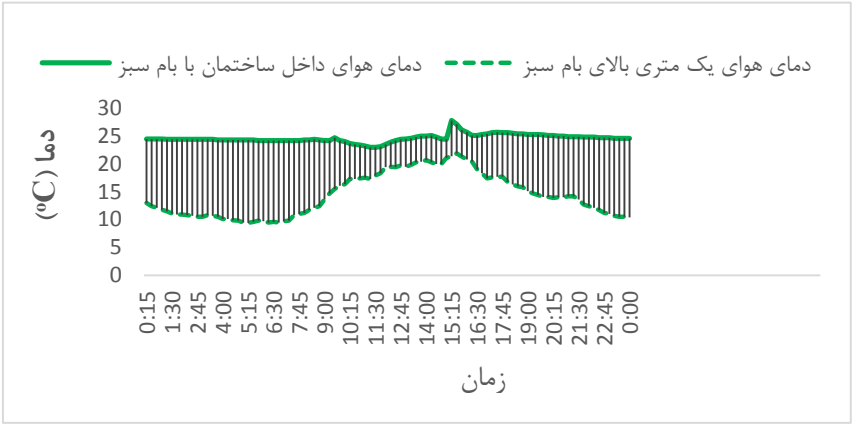
۳. ۴.سنجش شرایط داخلی دو ساختمان

۳. ۴. ۱.مقایسهٔ روند دمای فضای داخلی با دمای هوای یک متری بالای دو بام

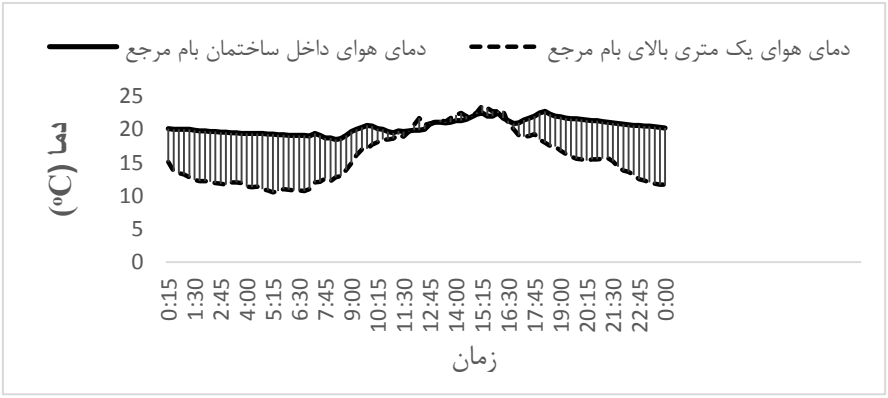
به منظور ارزیابی تأثیر بام سبز بر میزان مبادلهٔ حرارتی با محیط بیرون از ساختمان، دو سنجندهٔ دما در فضای داخلی هر دو ساختمان نصب و تغییرات دما در طول شبانه روز و هم زمان با اندازه‌گیری دما در بالای پشت بام‌ها در مقیاس زمانی ۱۵ دقیقه اندازه‌گیری شد. لازم به توضیح است با توجه به اینکه شرایط دو ساختمان فوق از نظر جهت قرارگیری بازشوها و پنجره‌ها همسان نبوده، مقادیر عددی دمای داخل دو ساختمان با یکدیگر مقایسه نشد زیرا طبیعتاً تعداد درب‌ها و پنجره‌ها و جهت قرارگیری آن‌ها در میزان دمای داخلی دو ساختمان اثر گذار است. از این‌رو در این بخش تنها روند دمایی داخل دو ساختمان در طول شبانه روز و اختلاف هریک با هوای بالای خود مقایسه شده است. براساس ارزیابی دمای فضای داخلی ساختمان دارای بام سبز با دمای یک متری بالای بام سبز و مقایسه آن با دمای داخل و بالای بام مرجع در روز ۱۲ آوریل ۲۰۱۶ که نتایج آن در شکل ۱۵و ۱۶ نمایش داده شده است می‌توان نتیجه گرفت که اختلاف دمای داخل ساختمان دارای بام سبز با دمای هوای یک متری بالای خود نسبت به اختلاف این دو پارامتر در بام مرجع بیشتر است. به دیگر سخن، تبادل حرارتی داخل و بیرون بامی که دارای پوشش بام سبز است نسبت به بامی که فاقد این پوشش است کمتر بوده و بنابراین بام سبز نوعی نقش عایق حرارتی را ایفا می‌کند. همچنین بررسی داده‌های دمای فضای داخلی دو بام نشان داد که ساختمانی که دارای بام سبز است در طول روز دیرتر از بام مرجع گرم می‌شود و در مقابل در طول شب نیز دمای خود را به تدریج و با شدت کمتری نسبت به بام مرجع از دست می‌دهد در حالیکه فضای داخلی بام مرجع در طول روز با سرعت بیشتری گرم شده و در طول شب نیز به سرعت گرمای خود را از دست می‌دهد به طوری‌که اختلاف دمای داخل و بیرون این بام در ساعات ظهر به حداقل و در ساعات شبانه به حداکثر می‌رسد.

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۱۵. مقایسهٔ دمای داخل ساختمان دارای بام سبز با دمای هوای بالای این ساختمان



شکل ۱۶. مقایسهٔ دمای داخل ساختمان فاقد بام سبز با دمای هوای بالای این ساختمان

۴. بحث و نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از ارزیابی بام سبز نشان می‌دهد که در تمامی حالات مورد مطالعه (در داخل و خارج از اسکرین، شرایط جوی آفتابی و بارشی، و فضای داخلی ساختمان‌ها) بام سبز در تعدیل دما، افزایش رطوبت و کاهش غلظت دی‌اکسیدکربن موجود در جو و همچنین در کاهش هدر رفت انرژی داخل ساختمان اثرگذار است. جدول ۱ به اختصار تفاوت بین پارامترهای فوق را در شرایط مختلف سنجش شده نمایش می‌دهد. براساس نتایج این جدول می‌توان نتیجه گرفت که در تمامی وضعیت‌های اندازه‌گیری شده تفاوت مشخصی بین پارامترهای اندازه‌گیری شده بر فراز هر دو بام وجود دارد. مقادیر به‌دست آمده نشان می‌دهد که میزان غلظت دی‌اکسیدکربن در هوای بالای بام سبز بسته به وضعیت اندازه‌گیری بین ۲۰ تا۳۴ قسمت در میلیون، و دمای هوا بین ۱/۴ تا۶/۱ درجهٔ سلسیوس کمتر از میزان این دو پارامتر در بالای پشت بام مرجع است. همچنین رطوبت نسبی در تمامی حالات سنجش شده بین ۱۰ تا ۱۷/۵ درصد در هوای بالای بام سبز بیشتر از بام مرجع است. از طرف دیگر مقایسهٔ دمای داخلی دو ساختمان مورد مطالعه نشان داد که ساختمان دارای بام سبز از تعادل حرارت داخلی بیشتری نسبت به ساختمان دارای بام

www.SID.ir

Archive of SID

مرجع برخوردار است که این نتیجه با تحقیقات Mahmoudi Zarandi و همکاران (۱۳۹۱) که نشان دادند بام سبز نسبت به بام معمولی ۵۰٪ انتقال حرارتی کمتری دارد همخوانی و مطابقت دارد. همچنین Oberndorfer و همکارانش در سال ۲۰۰۷ نشان داده اند که بام سبز می‌تواند تا حدود ۲ درجهٔ سلسیوس منجر به تعدیل دمای هوای مجاور شود که این نتایج نیز با نتایج حاصل از پژوهش حاضر همخوانی و مطابقت نشان می‌دهد.

جدول ۱. متوسط پارامترهای مورد مطالعه در شرایط سنجش مختلف در دو بام سبز و مرجع

شرایط سنجش	بام سبز			بام مرجع		
	CO2 PPM	دما °C	رطوبت نسبی(٪)	CO2 PPM	دما °C	رطوبت نسبی(٪)
وضعیت ۱	۳۰۳	۱۴/۳	۶۰/۶	۳۳۱	۱۵/۷	۴۳/۱
وضعیت ۲	۳۳۴	۱۶/۴	۴۱/۴	۳۴۶	۲۰/۶	۳۰/۳
وضعیت ۳	۳۲۰	۲۱/۹	۳۱/۳	۳۳۹	۲۸/۱	۲۲/۰۸

لازم به ذکر است نتایج حاصل از این پژوهش در مقیاس خرد به دست آمده است و از آنجایی‌که بین مساحت پوشش گیاهی و اثرات تعدیل کنندگی آن‌ها بر آب و هوا ارتباط مستقیمی وجود دارد، بدیهی است توسعهٔ هرچه بیشتر این نوع فضاها به‌ویژه در مناطق متراکم شهری که امکان توسعهٔ افقی فضای سبز وجود ندارد در تعدیل آب و هوای این مناطق و ایجاد محیطی سالم‌تر و در نهایت دستیابی به محورهای توسعهٔ پایدار کمک کننده خواهد بود. به عبارتی اختلاف دما، رطوبت و غلظت دی‌اکسیدکربن به دست آمده در هوای مجاور بام سبز و بام مرجع در واحد سطحی در حدود ۴۰-۵۰ مترمربع گویای آن است که چنانچه گستره و مساحت این نوع پوشش‌ها در مراکز شهر و نواحی متراکم آن افزایش یابد،تأثیرات آن هم در مقیاس عمودی و هم افقی چشمگیرتر بوده و به رفع بسیاری از معضلات اقلیمی موجود در شهر تهران کمک خواهد کرد. همچنین، با توجه به اینکه دی‌اکسیدکربن از جمله مهم‌ترین گازهای گلخانه‌ای است که در سال‌های بعد از انقلاب صنعتی به دلیل استفادهٔ بیش از حد از سوخت‌های فسیلی به‌ویژه در مناطق شهری از روند افزایشی برخوردار بوده است که سهم قابل توجهی در پدیدهٔ گرم شدن زمین دارد و از آنجایی‌که بسیاری ار سیاست‌مداران و سران کشورها در تلاش برای ارائهٔ راهکارهایی در جهت کاهش تولید این گاز هستند، نتایج به دست آمده از این پژوهش نشان می‌دهد که افزایش فضاهای سبز به هر طریق ممکن (افقی، عمودی) می تواند سهم به‌سزایی در کاهش این گاز داشته و در کنار سایر سیاست‌های کنترل تولید گازهای گلخانه‌ای مورد توجه قرار گیرد.

تقدیر و تشکر

این مقاله برگرفته از طرح پژوهشی-کاربردی و با حمایت مالی سازمان بوستان‌ها و فضای سبز شهر تهران انجام شده است که بدین وسیله تشکر و قدردانی می گردد.

www.SID.ir

Archive of SID

References

Ahmadi Masoud, N., Samadi Khadem, Sh., Dargahi, A., 2013. The importance of green space in the control and reduction of urban air pollution. Third international conference on environment planning and management, University of Tehran (in Persian).

Amiri, L., 2006. The effect of climatic elements in Tehran's air pollution, Msc. Thesis, Faculty of Geography, University of Tehran (in Persian).

Arabi, R., Shahidan, M. F., Kamal, M. M., Jaafar, M. F. Z. B., & Rakhshandehroo, M., 2015. Mitigating Urban Heat Island through Green Roofs. Current World Environment, 10(Special Issue 1 (2015)), 918-927.

Carter, T., & Butler, C., 2008. Ecological impacts of replacing traditional roofs with green roofs in two urban areas. Cities and the Environment (CATE), 1(2), 9.

Garrison, N., Horowitz, C., Lunghino, C. A., Devine, J., & Beckman, D.S., 2012. Looking up: how green roofs and cool roofs can reduce energy use, address climate change, and protect water resources in Southern California. Natural Resources Defence Council.

Getter, K.L., Rowe, D.B., 2006. The Role of Extension Green Roofs in Sustainable Development. HortScience 41(5): 1276-1285.

Green roofs: a resource manual for municipal policy makers. Canada Mortgage and Housing Corporation, 2006.

Jomehpour, M., Mosavarzadeh, S., 2015. Urban Green roof role in sustainable development. First conference on sustainable development of urban green space, Tabriz (in Persian).

Khosravi, M., Ghobadi, A., 2014. Determination of green roof impact on reduction of urban heat island (case study: Karaj). Urban ecology research, second year. No.4, 67-78 (in Persian).

Mahmoudi zarandi, M., Pakari, N., Bahrami, H., 2012. Evaluation of green roof impact on reduction of air temperature. Bagh-e-Nazar. No. 20. 73-82 (in Persian).

Mahmoudi zarandi, M., Pakari, N., 2013. Detailed design of suitable green roof to ruduce building energy consumption. Armanshahr. No. 11. 141-151(in Persian).

Nahrli, D., Abdolahi, M., Valibeigi, M., 2011. Evaluation of the limiting factors of green roof development in Iran Using AHP. Ecology Quarterly. No.6. 89-98 (in Persian).

Oberndorfer, E., Lundholm, J., Bass, B., Coffman, R. R., Doshi, H., Dunnett, N. ... & Rowe, B., 2007. Green roofs as urban ecosystems: ecological structures, functions, and services. BioScience, 57(10), 823-833.

Pompeii II, W. C., 2010. Assessing urban heat island mitigation using green roofs: a hardware scale modeling approach (Doctoral dissertation, SHIPPENSBURG UNIVERSITY).

Yazdandad, H., Emami, S., Hashemi, N., 2010. Environmental values and functions of green roofs on urban sustainable development development. First national conference on urban sustainable, University of Gilan (in Persian).

www.SID.ir

Archive of SID

www.SID.ir