Iranian Journal of Horticultural Science
Vol 47, No 4, Winter 2017 (681-691)
DOI: 10.22059/ijhs.2017.120825.742

علوم باغبانی ایران
دورهٔ ۴۷، شمارهٔ ۴، زمستان ۱۳۹۵ (ص ۶۹۱-۶۸۱)

شبیه‌سازی اثرگذاری زیست‌محیطی بام‌های سبز گسترده و فشرده در شهر یزد

زهرا کریمیان*
استادیار گروه گیاهان زینتی، پژوهشکده علوم گیاهی، دانشگاه فردوسی مشهد
(تاریخ دریافت: ۱۳۹٤/۱/۱٦ - تاریخ پذیرش: ۱۳۹٤/۵/٤)

چکیده

بررسی‌های زیست‌محیطی و خرد اقلیمی انواع بام‌های سبز در مناطق خشک ایران، به‌منظور ارزیابی اثرگذاری احتمالی آن بر محیط پیرامون و شهروندان، پیش از توسعه و گسترش آن‌ها لازم به نظر می‌رسد. در همین زمینه پژوهشی در یکی از مناطق مسکونی شهر یزد با استفاده از داده‌های اقلیمی سال ۱۳۹۳ انجام شد. در این بررسی، شبیه‌سازی نرم‌افزاری منطقهٔ مورد بررسی در زمان و مکان همسان، شامل بام سبز فشرده، بام سبز گسترده و بام بدون پوشش گیاهی با مدل انوی‌مت صورت گرفت. خروجی‌های این مدل نشان داد که تأثیر دما، رطوبت نسبی و همچنین شاخص آسایش دمایی مورد بررسی در بام‌های سبز شبیه‌سازی‌شده در مقایسه با بام بدون پوشش گیاهی در بازهٔ گرم سال، ناچیز و شایان‌توجه نبود. همچنین هر سه سایت شبیه‌سازی‌شده در محدودهٔ تنش گرمای بسیار شدید قرار داشتند.

واژه‌های کلیدی: آسایش دمایی، بام سبز، مدل، مناطق خشک.

The simulation of environmental impacts of extensive and intensive green roofs in Yazd city

Zahra Karimian*
Assistant Professor, Department of Ornamental Plants, Research Center for Plant Sciences, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran
(Received: Apr. 5, 2015 - Accepted: Jul. 26, 2015)

ABSTRACT

Environmental and microclimate studies of various green roof types in arid areas of Iran should be carefully studied in order to assess their potential effects on the surrounding environment and the citizens, before the development and expansion of them. By the same token, a research was performed in one of the residential areas of the Yazd city by using climate data of 2014. In this study, the software simulation on the research area at the same time and place was done, including: intensive green roof, extensive green roof and roof without vegetation with ENVI-met model. The outputs of this model indicated that the effects of temperature, relative humidity and thermal comfort index in the simulated green roofs have been negligible and inconsiderable in comparison with the roof without vegetation in the hot period of the year. Also the three simulated sites were in the extreme heat tension range.

Keywords: Arid lands, green roof, model, thermal comfort.

* Corresponding author E-mail: zkarimian@um.ac.ir Tel: +98 513 8805993

مقدمه

ساخت و نگهداری بام‌های سبز به دلیل سودمندی‌های زیست‌محیطی متنوع و فراوان، مانند کاهش اثرگذاری جزایر گرمایی (Bass & Baskaran, 2003)، ایجاد زیستگاه مناسب برای تنوع زیستی (Brenneisen, 2006)، مدیریت پساب‌های شهری (Berndtsson, 2010)، تضعیف آلودگی صوتی (Van Renterghem & Botteldooren, 2009) و بهبود کیفیت آب‌وهوا (Vijayaraghavan *et al*., 2012) در حال گسترش است. بررسی‌های چندی نشان می‌دهند یکی از سودمندی‌های بام‌های سبز، کاهش دمای محیط و بهبود وضعیت زیست‌محیطی و آسایش دمایی افراد به‌ویژه در دوره‌های گرم سال است (Tengfang *et al*., 2012; Bozonnet *et al*., 2011; Boixo *et al*., 2012). یکی از پدیده‌های ناشی از تغییر اقلیم و گسترش زندگی شهری، جزایر گرمایی است که در نتیجهٔ آن یک شهر یا بخش‌هایی از آن نسبت به نواحی پیرامونی خود دمای بالاتری دارد (Santamouris, 2001). به‌طورکلی محیط‌های درون‌شهری بین ۳/۵ تا ۴/۵ درجهٔ سلسیوس گرم‌تر از فضاهای اطراف شهر هستند و پیش‌بینی‌ها نشان می‌دهد این مسئله به‌طور میانگین منجر به افزایش ۱ درجهٔ سلسیوس در هر دهه خواهد شد (Voogt, 2002). جزایر گرمایی و پدیدهٔ گرمایش زمین باعث چالش‌های زیست‌محیطی، تضعیف آسایش دمایی و افزایش مصرف انرژی الکتریکی به‌منظور خنک‌سازی محیط توسط انسان شده است (Asimakopoulos *et al*., 2012).

گزارش‌های چندی نشان‌دهندهٔ پوشش‌های گیاهی به‌واسطهٔ سایه‌اندازی، افزایش بازتابش سطوح، تبخیر و تعرق و اصلاح الگوی باد، باعث خنک کردن خرد اقلیم می‌شوند (Oke 1989; McPherson 1994 & Taha, 1997). یکی از عامل‌هایی که امروزه در بررسی و محاسبهٔ تأثیر پوشش گیاهی بر کمیت و کیفیت زندگی افرادِ ساکن و حاضر در زیست‌محیط‌های مختلف بسیار اهمیت دارد آسایش دمایی افراد است. دمای هوا، رطوبت نسبی، جابه‌جایی هوا و میانگین دمای تابشی از مهم‌ترین عامل‌های خرد اقلیمی‌اند که آسایش دمایی را کنترل می‌کنند (Brown & Gillespie, 1995). بررسی‌های مختلف گویای این است که به‌طور عمده و مثبت این عامل‌ها تحت تأثیر پوشش گیاهی قرار دارند.

به‌طورکلی بام‌های سبز شامل دو نوع گسترده (Extensive) و فشرده (Intensive) هستند. بام‌های سبز گسترده عمق کشت کمتری نسبت به نوع فشرده آن دارند و ازنظر هزینه‌های نصب و نگهداری مقرون به‌صرفه‌تر هستند. همچنین به دلیل سودمندی و برتری‌های دیگر آن، ساخت و نگهداری بام‌های سبز گسترده بیشتر توصیه می‌شود (Li & Yeung, 2014). برخی گزارش‌ها نشان می‌دهد در اقلیم‌های خشک، گیاهان در بام سبز با سامانه‌های فشرده و عمیق‌تر به دلیل ظرفیت نگهداری آب بیشتر و افزایش دورهٔ مرطوب بودن خاک پس از بارندگی و رطوبت، عملکرد بهتری نشان می‌دهند (Razzaghmanesh *et al*., 2014).

در زمینهٔ تأثیر بام سبز بر بهبود آسایش دمایی افراد نیز بررسی‌هایی در سطح جهان انجام شده است. یکی از تحقیقات نشان می‌دهد که بام‌های سبز، تأثیر خنک‌سازی گسترده‌ای بر فضاهای بسته و تنگ شهری دارند (Alexandri & Jones, 2008). همچنین بام سبز باعث بهبود آسایش درون و اطراف ساختمان‌ها شده و اثرگذاری جزایر گرمایی را کاهش می‌دهد (Kolokotsa *et al*., 2013; Santamouris, 2012). در پژوهشی دیگر گزارش شده است بام‌های سبز در شرایط اقلیمی اروپا، منجر به بهبود محیط‌های شهری و کاهش تأثیر جزایر گرمایی می‌شوند (Kolokotsa *et al*., 2013).

بیشتر بررسی‌های مربوط به بام سبز در اقلیم‌های معتدل اروپایی و آمریکای شمالی انجام شده و استقرار پایدار و تأثیرگذار بام سبز در اقلیم‌هایی با تابستان‌های گرم و خشک کمتر بررسی شده است و به نظر می‌رسد استقرار بام سبز در این مناطق دشوارتر باشد (Williams *et al*., 2010a & b). برخی گزارش‌ها نشان می‌دهد در مناطق گرم و خشک، مشروط به آبیاری کافی، پوشش‌های گیاهی باعث بهبود چشمگیر آسایش دمایی می‌شوند (Pearlmutter *et al*., 2009;

Shashua-Bar *et al.*, 2011). با توجه به محدودیت‌های شدید اقلیمی در مناطق خشک مانند کمبود آب، بالا بودن دمای هوا و تشعشع خورشیدی، وزش بادهای ممتد، نوسان‌های شدید دمای شب و روز و رطوبت پایین، این پرسش مطرح می‌شود که به‌منظور تأمین آسایش دمایی و شرایط زیست‌محیطی مطلوب، چه نوعی از سامانهٔ بام سبز یعنی فشرده، گسترده و یا حدواسط برای این مناطق شایان توصیه و برتر است؟

هدف از انجام این پژوهش، شبیه‌سازی و مقایسهٔ تأثیر زیست‌محیطی انواع بام سبز، به‌ویژه از منظر خنک‌سازی محیط و بهبود آسایش دمایی افراد در نتیجه استفاده از سامانه‌های گسترده و فشرده در مناطق خشک ایران است. در این تحقیق شهر یزد به دلیل داشتن ویژگی‌های یک شهر خشک و کویری با جمعیت و گسترش شهری به نسبت شایان‌توجه در حالی انتخاب شد که خنک‌سازی محیط‌های مسکونی در دوره‌های گرم سال و تأمین آسایش دمایی مطلوب افراد در آن اهمیت بسزایی دارد.

مواد و روش‌ها

منطقهٔ مورد بررسی

این تحقیق روی شماری از بام‌های یک منطقهٔ مسکونی در شهر یزد، حدفاصل خیابان عدالت و خیابان شهید قندی با گسترهٔ تقریبی حدود ۵۰۰۰ مترمربع انجام شد (شکل ۱). علت انتخاب این محدودهٔ مسکونی، سبک معماری جدید این ساختمان‌ها با قابلیت احداث بام سبز روی آن، همسانی بناها، ارتفاع به نسبت یکسان (۸-۶ متر) و تراکم جمعیتی مناسب آن بود. شهر یزد به ترتیب با طول جغرافیایی ۵۴ درجه و ۱۷ دقیقه و عرض جغرافیایی ۳۱ درجه و ۵۳ دقیقه در ارتفاع ۱۲۳۷ متری از سطح دریا قرارگرفته است. میانگین بارش سالانهٔ این شهر برابر با ۱۰۳ میلی‌متر در سال گزارش شده است. بیشینه و کمینهٔ دمای مطلق و میانگین آن به ترتیب ۴۵/۶، ۲۹- و ۲۶/۵ درجهٔ سلسیوس است (Azarakhshi *et al.*, 2013). آب‌وهوای استان یزد به علت قرار گرفتن در کمربند خشک جهانی، دارای تابستان‌های گرم و طولانی و خشک است.

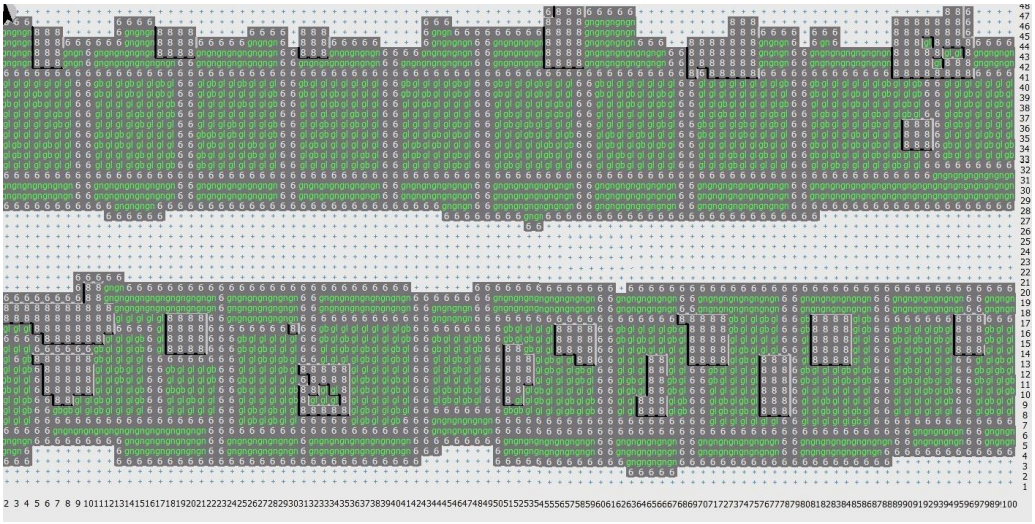
شکل ۱. منطقهٔ مسکونی شبیه‌سازی‌شده برای بام سبز، حدفاصل خیابان عدالت و خیابان شهید قندی یزد

Figure 1. Simulated residential area for green roof, between Edalat and Ghandi Shahid Street in Yazd

شبیه‌سازی‌ها

به‌منظور شبیه‌سازی اثرگذاری زیست‌محیطی و تعیین آسایش دمایی افراد در بام‌های سبز گسترده و فشرده، از نرم‌افزار ان‌وی‌مت[1] استفاده شد. ان‌وی‌مت یک مدل سه‌بعدی است که به‌منظور شبیه‌سازی برهمکنش‌های بین سطح، گیاه و هوا در محیط شهری و با دقت ۱- ۰/۵ متر در فضا و ۱۰ ثانیه در زمان طراحی شده است. فضای معمول برای کاربرد و استفاده این مدل اقلیم شهری، معماری، طراحی ساختمان و طراحی محیط است. این مدل رایانه‌ای شامل چندین نرم‌افزار ویرایشی و ابزار تجسم نگاره‌ای (گرافیکی) برای خروجی و نتایج مدل است (Bruse, 2012). در این مدل، پوشش گیاهی نه تنها از منظر یک بازدارندهٔ متخلخل در مسیر باد و تابش خورشیدی، بلکه به‌عنوان جسمی زنده که فرآیندهای فیزیولوژیکی تبخیر و تعرق و نورساخت (فتوسنتز) دارد در نظر گرفته شده است. انواع مختلف پوشش گیاهی با ویژگی‌های خاص در این مدل قابل استفاده است. این مدل یک پایگاه داده برای گیاهان دارد که قابل گسترش بوده و امکان اضافه کردن گیاهان جدید با ویژگی‌های خاص در آن وجود دارد (Ali-Toudert, 2005).

1. ENIVI-met Software



شکل ۲. نمونهٔ بام سبز شبیه‌سازی‌شده در منطقهٔ مسکونی حدفاصل خیابان عدالت و خیابان شهید قندی یزد با مدل ان‌وی‌مت
Figure 2. Sample for simulated green roof in residential area, between Edalat and Ghandi Shahid Street in Yazd with ENVI-met model.

در این تحقیق، ویژگی‌ها و اطلاعات مربوط به گیاهان مورد استفاده در انواع بام‌های سبز گسترده و فشرده مانند شاخص سطح برگ، عمق نفوذ ریشه، ارتفاع و تراکم گیاه و غیره برای شبیه‌سازی تأثیر هرکدام، به پایگاه داده‌های گیاهی در مدل ان‌وی‌مت وارد شد. در این بررسی سه سطح شبیه‌سازی در نظر گرفته شد:

۱. شبیه‌سازی سطح بام‌ها به‌صورت بام سبز گسترده
۲. شبیه‌سازی سطح بام‌ها به‌صورت بام سبز فشرده
۳. شبیه‌سازی سطح بام‌ها بدون حضور هیچ گیاهی

در شبیه‌سازی بام سبز گسترده، گیاهان علفی و بوته‌ای با تنوع سه نوع گیاه شامل زرشک، شیرخشت و رزماری به‌عنوان ورودی مدل استفاده شدند. در شبیه‌سازی بام سبز فشرده نیز افزون بر گیاهان علفی، سه نوع درخت به همراه پرچین به نسبت فشرده شامل اقاقیا، توت زینتی و سرو به مدل وارد شدند. در هر دو نوع بام سبز نزدیک به ۸۰ درصد بام‌ها با گیاهان انتخابی شبیه‌سازی شدند. ازآنجایی‌که یزد یک شهر خشک و کویری به شمار می‌آید و منابع آبی اندکی در اختیار دارد، در گزینش گیاهان مورد استفاده در بام سبز، در این بررسی، از گونه‌های گیاهی مقاوم به خشکی به‌عنوان داده‌های ورودی در مدل استفاده شد.

همچنین در هر پایگاه شبیه‌سازی، شش ایستگاه به‌منظور تجزیه‌وتحلیل داده‌ها انتخاب شد که چهار ایستگاه درون فضای بام سبز و دو ایستگاه در فضای خارج از بام‌های سبز و در محوطهٔ حیاط واحدهای مسکونی به‌منظور مقایسهٔ تأثیر زیست‌محیطی دو نوع بام سبز بر محیط‌های پیرامونی انتخاب شدند. برای محاسبهٔ آسایش دمایی از شاخص متوسط نظرسنجی پیش‌بینی‌شده (PMV)[1] استفاده شد که از رایج‌ترین شاخص‌های آسایش دمایی است که در محیط بیرون استفاده می‌شوند و بر مبنای موازنهٔ دمایی بدن انسان طراحی شده است (جدول ۱).

داده‌های ورودی به مدل

داده‌های مورد نیاز به‌عنوان ورودی در مدل ان‌وی‌مت در جدول زیر ارائه شده است (جدول ۲). داده‌های گیاهی بر پایهٔ ویژگی‌های گونه‌های مورد استفاده در سامانه‌های بام سبز گسترده و فشرده به مدل وارد شدند، داده‌های هواشناسی با استفاده از آمار درازمدت هواشناسی شهر یزد در مدل استفاده شدند و داده‌های خاک و ساختمان با مراجعه به منابع مربوط به خاک و مصالح مورد استفاده در ساختمان‌های منطقهٔ مورد بررسی به مدل وارد شدند.

1. Predicted Mean Vote

جدول ۱. مقادیر آستانهٔ شاخص PMV در درجه‌های مختلف حساسیت انسان
Table 1. The threshold amounts of PMV index in different degrees of human sensitivity

Grade of physiological stress	Thermal sensitivity	PMV
Extreme cold stress	Very cold	-3.5
Strong cold stress	Cold	-2.5
Moderate cold stress	Cool	-1.5
Slight cold stress	Slightly cool	-0.5
No thermal stress	Comfortable	0.5
Slight heat stress	Slightly warm	1.5
Moderate heat stress	Warm	2.5
Strong heat stress	Hot	3.5
Extreme heat stress	Very hot	

جدول ۲. داده‌های هواشناسی، خاک، گیاه و ساختمان به‌عنوان ورودی در مدل ان‌وی‌مت
Table 2. Meteorological, soil, plant and building data as inputs in ENVI-met Model

Input data	Measured and collected parameters			
Meteorological data	Air temperature	Relative humidity	Wind velocity	
Plant data	Plant type	Plant height	Leaf area index	Stomatal resistance
Soil data	Soil temperature	Soli humidity	Soil texture	
Building data	Indoor temperature	(Walls) U-Value	(Roofs) U-Value	

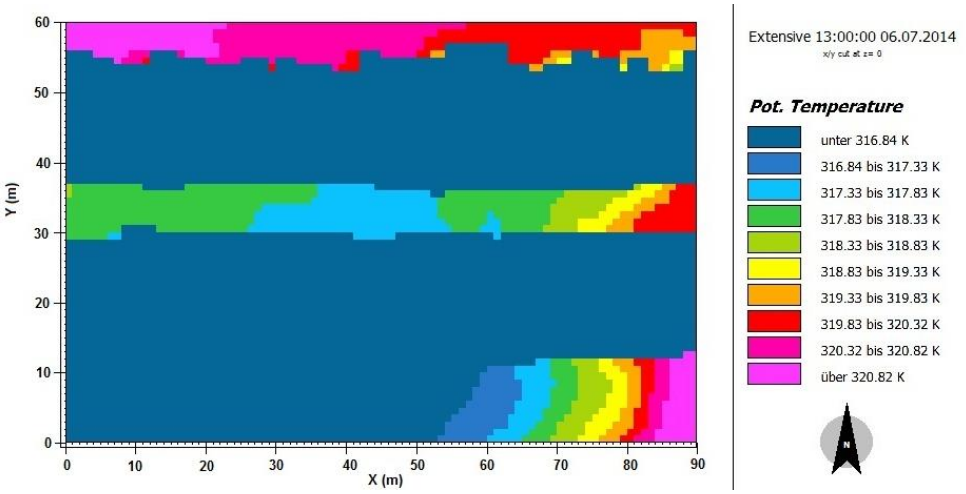
نتایج و بحث

در بین خروجی‌های مدل ان‌وی‌مت، سه عامل دما، رطوبت نسبی و PMV در بررسی اثرگذاری زیست‌محیطی بام‌های سبز مورد نظر انتخاب شدند. اگرچه شبیه‌سازی در ساعت‌های ۱۸-۶ انجام شد اما ساعت‌های مورد ارزیابی در این تحقیق، ۱۵-۱۲ بود زیرا در دوره‌های گرم سال، در طی این ساعت‌ها بیشترین تنش گرمایی بر انسان وارد می‌شود. نمونه‌ای از خروجی دما در بخش لئوناردوی مدل ان‌وی‌مت در شکل ۳ نمایش داده شده است.

خروجی‌های مربوط به دما در مدل ان‌وی‌مت نشان می‌دهد که در هر سه شبیه‌سازی، دما از ساعت‌های ۱۲ تا ۱۵ روند افزایشی داشته است. این روند به ترتیب شامل بام سبز فشرده، بام سبز گسترده و بام بدون پوشش گیاهی بود (شکل ۴). اگرچه ازنظر آماری این تغییرپذیری‌ها معنی‌دار نیستند اما همین تفاوت دمایی اندک ممکن است در شاخص‌های آسایش دمایی مؤثر باشد.

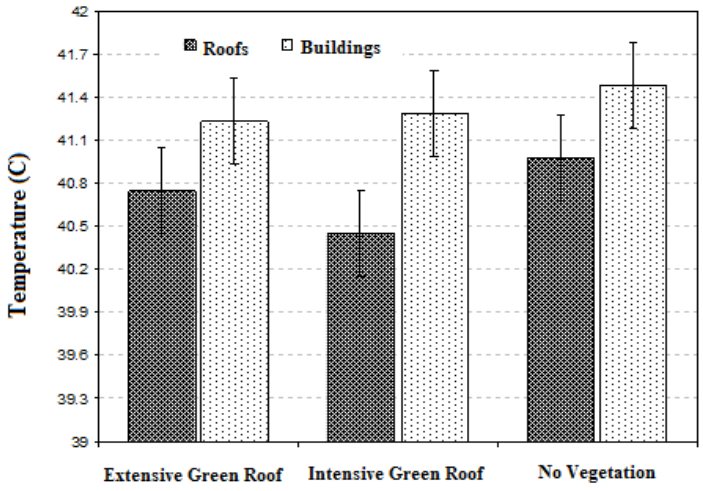
مقایسهٔ دما بین ایستگاه‌های در نظر گرفته شده درون محدودهٔ بام‌های شبیه‌سازی‌شده با ایستگاه‌های خارج از این محدوده که در فضای بین ساختمان‌ها قرار داشتند، نشان داد که در هر سه شبیه‌سازی، دمای روی بام‌ها کمتر از فضای بین ساختمان‌ها بود. در این میان بیشترین اختلاف بین محدودهٔ روی بام با فضای بین ساختمان‌ها در بام سبز فشرده (۰/۸۴ درجهٔ سلسیوس) دیده شد (شکل ۵).

پوشش گیاهی به‌ویژه درختان از راه ایجاد سایه می‌توانند بر خرد اقلیم تأثیرگذار باشند. پوشش گیاهی، تشعشع‌های خورشیدی ورودی به سطح زمین را دریافت می‌کند و باعث تولید سایه در محیط اطراف خود می‌شود. به‌این‌ترتیب منجر به کاهش دمای هوا، دمای سطحی و همچنین گرمای ساختمان‌ها و دیگر سازه‌ها خواهد شد (Shahidan *et al.*, 2010). همچنین تبخیر و تعرق ناشی از پوشش گیاهی و سطح خاک باعث می‌شود انرژی گرمایی اولیه که در نتیجه جذب تشعشع‌های خورشیدی توسط گیاه تولیدشده بود به گرمایی با سطوح انرژی پایین‌تر تبدیل شده و در نهایت باعث خنک شدن محیط می‌شود (Specht & Specht, 2002). خروجی‌های این مدل به‌ویژه در مورد بام سبز فشرده نیز اگرچه به میزان بسیار اندک، این یافته‌ها را تأیید می‌کنند.



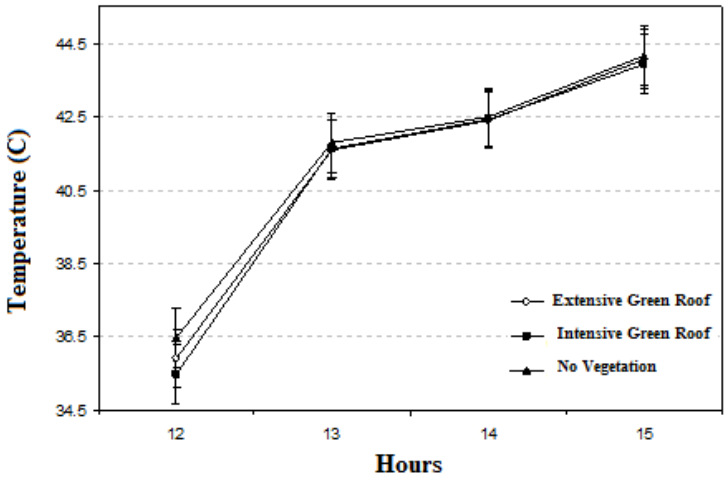
شکل ۳. توزیع دمای پایگاه شبیه‌سازی‌شده به‌صورت بام سبز گسترده در محوطهٔ مسکونی عدالت در بخش لئوناردوی مدل ان‌وی‌مت

Figure 3. Temperature distribution of simulated site as extensive green roof in Edalat residential area in Leonardo section of ENVI-met



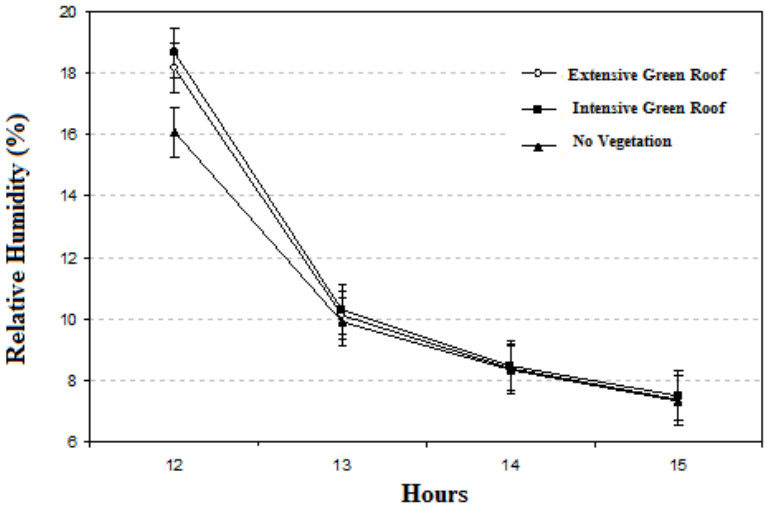
شکل۴. دمای ایستگاه‌های انتخابی سه نوع بام شبیه‌سازی‌شده در محوطهٔ مسکونی عدالت

Figure 4. Temperature of selected stations of three simulated roofs in Edalat residential area

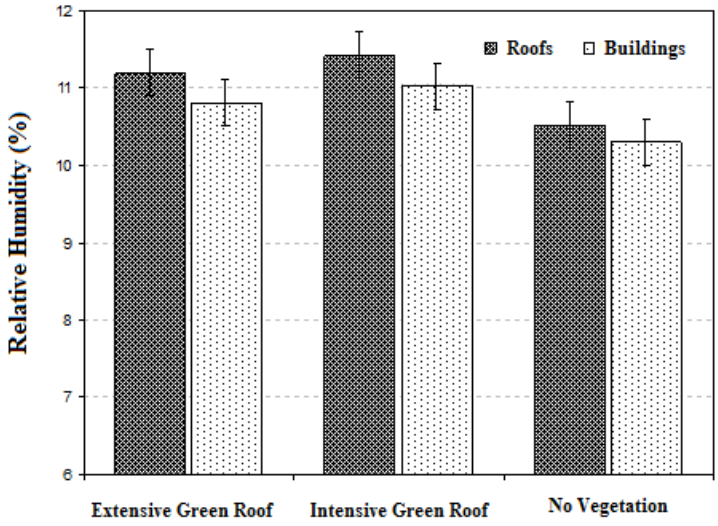


شکل۵. دمای ایستگاه‌های بین بام‌ها و بین ساختمان‌ها در سه نوع بام شبیه‌سازی‌شده در محوطهٔ مسکونی عدالت

Figure 5. Temperature of the stations among roofs and buildings in three simulated roofs in Edalat residential area



شکل ۶. رطوبت نسبی ایستگاه‌های انتخابی سه نوع بام شبیه‌سازی‌شده در محوطهٔ مسکونی عدالت
Figure 6. Relative humidity of selected stations in three simulated roofs in Edalat residential area



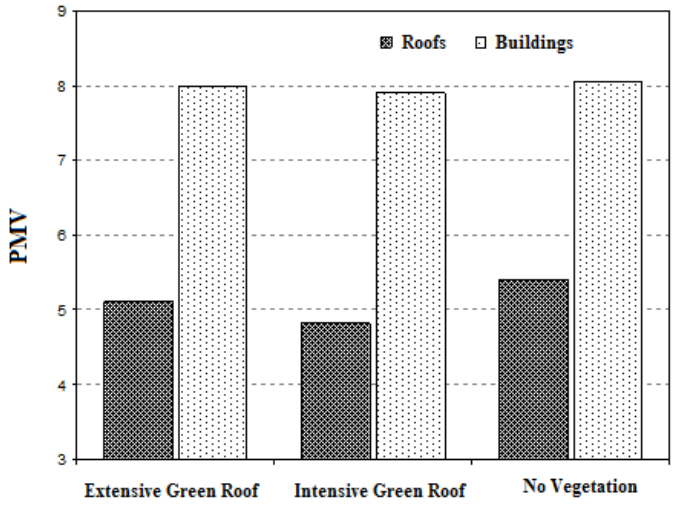
شکل۷. رطوبت نسبی ایستگاه‌های بین بام‌ها و بین ساختمان‌ها در سه نوع بام شبیه‌سازی‌شده در محوطهٔ مسکونی عدالت
Figure 7. Relative humidity of the stations among roofs and buildings in three simulated roofs in Edalat residential area

خروجی رطوبت نسبی در ساعت‌های مورد بررسی در مدل ان‌وی‌مت نشان داد که از ساعت ۱۲ تا ۱۵ میزان رطوبت نسبی کاهش داشته است. بیشترین و کمترین میزان رطوبت نسبی به ترتیب مربوط به بام سبز فشرده و بام بدون پوشش گیاهی بود (شکل ۶). مقایسهٔ رطوبت نسبی بین ایستگاه‌های درون محدودهٔ بام‌های شبیه‌سازی‌شده با ایستگاه‌های خارج از این محدوده که در فضای بین ساختمان‌ها قرار داشتند، نشان داد که به‌رغم معنی‌دار نبودن اختلاف بین آن‌ها ازنظر آماری، فضای بین ساختمان‌ها رطوبت نسبی کمتری در مقایسه با روی بام‌ها داشت. همچنین بیشترین اختلاف رطوبت نسبی بین محدودهٔ روی بام با فضای بین ساختمان‌ها در بام سبز فشرده مشاهده شد (شکل ۷).

بررسی‌های چندی نشان می‌دهد پوشش‌های گیاهی از یک‌سو به دلیل فرآیند تبخیر و تعرق و از سوی دیگر به جهت تأثیر در کاهش دما می‌توانند منجر به افزایش میزان رطوبت نسبی محیط پیرامون خود شوند. رطوبت نسبی تحت تأثیر میزان دمای محیط است به‌گونه‌ای که با کاهش دما، کاهش در

فشار بخار هوا و در نتیجه افزایش نرخ تبخیر و تعرق گیاهان و به دنبال آن افزایش رطوبت نسبی محیط را خواهیم داشت (Bauerle *et al.*, 2009; Will *et al.*, 2013). در این مورد نیز به‌رغم تغییر اندک رطوبت نسبی در سه پایگاه شبیه‌سازی‌شده، ترتیب تغییر کاهشی رطوبت نسبی شامل بام سبز فشرده، بام سبز گسترده و بام بدون پوشش گیاهی بود.

شاخص متوسط نظرسنجی پیش‌بینی‌شده (PMV) به‌دست‌آمده در بخش لئونارد‌وی مدل ان‌وی‌مت بر پایهٔ جدول ۲ نشان داد که در ساعت‌های مورد ارزیابی و در همهٔ پایگاه‌های شبیه‌سازی‌شده، آسایش دمایی افراد در محدودهٔ تنش گرمای بسیار شدید قرار داشتند. کمترین و بیشترین میزان PMV به‌ترتیب مربوط به بام سبز فشرده و بام بدون پوشش گیاهی بود. همچنین در هر سه شبیه‌سازی، روی بام‌ها در مقایسه با فضای بین ساختمان‌ها به دلیل شاخص آسایش دمایی پایین‌تر تنش گرمایی کمتری را نشان دادند (شکل ۸).



شکل ۸. PMV ایستگاه‌های بین بام‌ها و بین ساختمان‌ها در سه نوع بام شبیه‌سازی‌شده در محوطهٔ مسکونی عدالت

Figure 8. PMV among roofs and buildings in three simulated roofs in Edalat residential area

بررسی‌های مختلف درزمینهٔ آسایش دمایی انسان در مناطق گرم و یا دوره‌های گرم سال نشان می‌دهد که فضاها و امکان با پوشش گیاهی بیشتر، مانند بوستان‌ها و باغ‌های شهری در مقایسه با امکان بدون این پوشش‌ها یا با پوشش گیاهی اندک در وضعیت آسایش دمایی مطلوب‌تری قرار دارند. اگرچه در همهٔ شبیه‌سازی‌ها تنش گرمایی یکسانی وجود داشت اما تفاوت میزان این تنش بر پایهٔ شاخص آسایش دمایی PMV نشان‌دهندهٔ وضعیت بهتر آسایش دمایی در شبیه‌سازی‌های بام سبز فشرده و گسترده در مقایسه با شبیه‌سازی بدون پوشش گیاهی بود. بنابراین نتایج به‌دست‌آمده در این بخش از تحقیق با بررسی‌های همسان در این زمینه همخوانی داشت (Ali-Toudert, 2005; Johansson, 2006; Spangenberg *et al.*, 2008).

برخی تحقیقات گزارش می‌دهند که بام‌های سبز باعث بهبود آسایش دمایی و تخفیف تأثیر جزایر گرمایی در شهرها می‌شوند (Kolokotsa *et al.*, 2013; Santamouris, *et al.*, 2012; Alexandri & Jones, 2008). در این شبیه‌سازی‌ها اگرچه در مورد تأثیر دما، رطوبت نسبی و همچنین شاخص آسایش دمایی، بام سبز فشرده و گسترده وضعیت بهتری در مقایسه با بام بدون پوشش گیاهی داشتند اما این تغییرپذیری‌ها ازنظر آماری معنی‌دار نبود و ازنظر محدودهٔ تنش گرمایی نیز یکسان بودند. بنابراین در این شبیه‌سازی، تأثیر بام سبز چه در نوع فشرده و چه در نوع گستردهٔ آن تغییر شایان‌توجه و اثرگذاری در محیط‌زیست و آسایش دمایی پیرامون آن نداشت. همان‌طور که در مقدمه بیان شد، اغلب پژوهش‌های مربوط به بام سبز در مناطق معتدل جهان انجام شده است و بررسی‌های اندکِ مربوط به مناطق نیمه‌خشک نیز در شهرها و

محیط‌هایی صورت گرفته است که میزان بارندگی و اقلیم آن در وضعیت مطلوب‌تری از شهر کویری یزد قرار داشته‌اند (Razzaghmanesh *et al.*, 2014 ؛ Pearlmutter *et al.*, 2009). در این بررسی شاید بتوان تأثیرگذار نبودن انواع بام‌های سبز بر محیط‌زیست پیرامون مناطق مسکونی شبیه‌سازی‌شده در شهر یزد را به اقلیم سخت و کویری این شهر نسبت داد. دمای بسیار بالا در دوره‌های گرم سال به‌ویژه در ساعت‌های مورد بررسی، خشکی هوا، تابش بالای خورشیدی و بارندگی بسیار اندک از عامل‌های مهم دخیل در آسایش دمایی هستند که همه در شهر یزد در وضعیت نامساعدی قرار دارند. اگرچه بنا بر بررسی‌های فراوان، پوشش گیاهی تأثیر مثبتی بر آسایش دمایی افراد دارد (Potcher *et al*., 2006; Hunter Block *et al*., 2012) اما این اثربخشی تا حد بسیاری تابع اقلیم محیط مورد بررسی است (Shashua-Bar *et al*., 2011). یک تحقیق در آمریکا نشان داد که با پوشش ۵۰ درصدی فضای شهری با بام‌های سبز تنها کاهش حدود ۰/۸۸ درجهٔ سلسیوس در دمای هوا را خواهیم داشت (Rosenzweig *et al*., 2006). با توجه به اینکه در این شبیه‌سازی‌ها از یک مدل قوی سه‌بعدی (ان‌وی‌مت) استفاده شده است و حدود ۸۰ درصد پوشش گیاهی در بام‌های سبز به مدل وارد شدند و همچنین دیگر داده‌ها و شرایط ورودی به مدل در همهٔ شبیه‌سازی‌ها به‌طورکلی یکسان بود، بنابراین شاید بتوان گفت تأثیر زیست‌محیطی و زیست‌اقلیمی بام سبز به‌ویژه در اقلیم‌های خشک مانند شهر یزد محدود و اندک است به‌طوری‌که اختلاف دمایی بین بام سبز فشرده و بام بدون پوشش گیاهی حدود ۰/۳۷ درجه سلسیوس بود.

نتیجه‌گیری کلی

خروجی‌های مدل ان‌وی‌مت و یافته‌های ناشی از این شبیه‌سازی‌ها نشان می‌دهد که وجود بام سبز چه به‌صورت فشرده و چه گسترده تأثیر شایان‌توجهی بر زیست اقلیم و آسایش دمایی افراد در دوره‌های گرم سال در شهر یزد ندارد. به‌ظاهر عامل‌های نامساعد اقلیمی به‌ویژه دمای بالا، خشکی هوا و بارندگی ناچیز در این شهر، تأثیر بام سبز را بر عامل‌های اقلیمی و زیست‌محیطی کاهش می‌دهد. این شرایط نامساعد باعث شده است که دما در دوره‌های گرم سال به حدی بالا رود که افزایش نسبی در پوشش گیاهی و به دنبال آن کاهش شاخص آسایش دمایی حتی تا حدود یک واحد، تأثیر چندانی بر بهبود وضعیت زیست‌اقلیمی منطقه مورد بررسی نداشته باشد. بنابراین در توسعهٔ بام سبز در مناطق خشک ایران، تحقیقات علمی و نیاز محور به شکل داده‌برداری‌های میدانی در کنار استفاده از مدل‌های همانندساز، پیش از گسترش تقلیدگرایانه بسیار ضروری است. همچنین در این مناطق تأمین آب ازنظر کمی و کیفی، استفاده از گیاهان بومی و غیربومی مقاوم به خشکی و شوری، به‌کارگیری فنّاوری‌های به‌روز در طراحی و اجرای سامانه‌های بام سبز با تأکید در به کمینه رساندن مصرف آب توصیه می‌شود.

REFERENCES

1. Alexandri, E. & Jones, P. (2008). Temperature decreases in an urban canyon due to green walls and green roofs in diverse climates. *Building and Environment*, 43(4), 480-93.
2. Ali-Toudert, F. (2005). *Dependence of outdoor thermal comfort on street design in hot and dry climate*, PhD thesis, University of Freiburg, Germany.
3. Asimakopoulos, D.A., Santamouris, M., Farrou, I., Laskari, M., Saliari, M., Zanis, G., Giannakidis, G., Tigas, K., Kapsomenakis, J., Douvis, C., Zerefos, S.C., ntonakaki, T. & Giannakopoulos, C. (2012). Modelling the energy demand projection of the building sector in Greece in the 21st century. *Energy and Buildings*, 49, 488-498.
4. Azarakhshi, M., Farzadmehr, J., Eslah, M. & Sahabi, H. (2013). An Investigation on Trends of Annual and Seasonal Rainfall and Temperature in Different Climatologically Regions of Iran. *Journal of Range and Watershed Management*, 66 (1), 1-16. (in Farsi)
5. Bauerle, W.L., Bowden, J.D. Geoff Wang, G. & Shahba, M.A. (2009). Exploring the importance of within-canopy spatial temperature variation on transpiration predictions. *Journal of Experimental Botany*, 60, 3665-3676.

6. Bass, B. & Baskaran, B. (2003). *Evaluating rooftop and vertical gardens as an adaptation strategy for urban areas*. Institute for Research and Construction, National Research Council, Canada, Ottawa, p. 111.
7. Berndtsson, J. C. (2010). Green roof performance towards management of runoff water quantity and quality: a review. *Ecological Engneering*, 36, 351-360.
8. Boixo, S., Diaz-Vicente, M., Colmenar, A. & Castro, M. A. (2012). Potential energy savings from cool roofs in Spain and Andalusia. *Energy*, 38(1), 425-438.
9. Bozonnet, E., Doya, M. & Allard, F. (2011). Cool roofs impact on building thermal response: a French case study. *Energy and Buildings*, 43(11), 3006-3012.
10. Brenneisen, S. (2006). Space for urban wildlife: designing green roofs as habitats in Switzerland. *Urban Habitats*, 4, 27-36.
11. Brown, R. D. & Gillespie, T. J. (1995). *Microclimate landscape design: creating thermal comfort and energy efficiency*, John Wiley and Sons, New York.
12. Bruse, M. ENVI-met website. Retrieved in: http://www.envi-met.com. Visited: 2015/03/01.
13. Johansson, E. (2006). *Urban Design and Outdoor Thermal Comfort in Warm Climates*. Studies in Fez and Colombo. Ph.D. thesis. Housing Development & Management, Lund University.
14. Hunter Block, A., Livesley, S. J. & Williams, N. S. J. (2012). Responding to the Urban Heat Island: A Review of the Potential of Green Infrastructure. *Literature Review, University of Melbourne*, www.vcccar.org.au.
15. Klett, J., Bousselot, J. & Koski, R. (2012). Evaluation of Green Roof Plants and Materials for Semi-Arid Climates, *EPA-National Center for Environmental Publications*. EPA/600/R-12-592. 78 pages.
16. Kolokotsa, D., Santamouris, M. & Zerefos, S.C. (2013). Green and cool roofs' urban heat island mitigation potential in European climates for office buildings under free floating conditions. *Solar Energy*, 95, 118-130.
17. Li, W. C. & Yeung, K. K. A. (2014). A Comprehensive Study of Green Roof Performance from Environmental Perspective. *International Journal of Sustainable Built Environment*, 3(1), 127-134.
18. McPherson, E. G. (1994). Energy-saving potential of trees in Chicago. Chicago's urban forest ecosystem: Results of the Chicago urban forest climate project. USDA forest service, *General Technical Report NE*, 186, 95-113.
19. Oke, T. R. (1982). The energetic basis of the urban heat island. *Journal of Royal Meteorological Society*, 108, 1-24.
20. Pearlmutter, D., Kruger, E. L. & Berliner, P. (2009). The role of evaporation in the energy balance of an open-air scaled urban surface. *International Journal of Climatology*, 29, 911-20.
21. Potcher, O., Cohen, P. & Bitan, A. (2006). Climatic behaviour of various urban parks during hot and humid summer Mediterranean city of Tel Aviv, Israel. *International Journal of Climatology,* 26, 1695- 711.
22. Razzaghmanesh, M., Beecham, S. & Kazemi, F. (2014). The growth and survival of plants in urban green roofs in a dry climate. *Science of the Total Environment*, 476-477, 288-297.
23. Rosenzweig, C., Solecki, W., Parshall, L., Gaffin, S., Lynn, B., Goldberg, R., Cox, J. & Hodges, S. (2006). Mitigating New York City's heat island with urban forestry, living roofs, and light surfaces. *a report to the New York State Energy Research and Development Authority*, viewed 3 March 2012: <http://www.mendeley.com/research/mitigating-new-york-citys-heat-island-with-urban-forestry-living-roofs.
24. Santamouris, M., Gaitani, N., Spanou, A., Saliari, M., Giannopoulou, K., Vasilakopoulou, K. & Kardomateas, T. (2012). Using cool paving materials to improve microclimate of urban areas–Design realization and results of the flisvos project. *Building and Environment*, 53, 128-136.
25. Shahidan, M. F., Shariff, M. K. M., Jones, P., Salleh, E. & Abdullah, A. M. (2010). A comparison of *Mesua ferrea* L. and *Hura crepitans* L. for shade creation and radiation modification in improving thermal comfort. *Landscape and Urban Planning*, 97(3), 168-81.
26. Shashua-Bar, L., Pearlmutter, D. & Erell, E. (2011). The influence of trees and grass on outdoor thermal comfort in a hot-arid environment. *International Journal of Climatology*, 31(10), 1498-506.
27. Spangenberg, J., Shinzato, P., Johansson, E. & Duarte, D. (2008). Simulation of the influence of vegetation on microclimate and thermal comfort in the city of São Paulo. *Rev SBAU Piracicaba*, 3(2), 1-19.
28. Specht, R. L. & Specht, A. (2002). *Australian plant communities: dynamics of structure, growth and biodiversity*. Oxford University Press, South Melbourne.
29. Taha, H. (1997). Urban climates and heat islands: albedo, evapotranspiration, and anthropogenic heat. *Energy and Buildings*, 25, 99-103.
30. Tengfang, X., Sathaye, J., Akbari, H., Gargc, V. & Tetali, S. (2012). Quantifying the direct benefits of cool roofs in an urban setting: reduced cooling energy use and lowered greenhouse gas emissions. *Building and Environment*, 48, 1-6.

31. Van Renterghem, T. & Botteldooren, D. (2009). Reducing the acoustical facade load from road traffic with green roofs. *Building and Environment*, 44, 1081-1087.
32. Vijayaraghavan, K., Joshi, U. M. & Balasubramanian, R. (2012). A field study to evaluate runoff quality from green roofs. Water Resource, 46, 1337-45.
33. Voogt, J.A. (2002). *Urban heat island*, in I Douglas (ed.), Encyclopedia of global environmental change, John Wiley and Sons, New York, pp. 660-6.
34. Will, R. E., Wilson, S. M., Zou, C. B. & Hennessey, T. C. (2013). Increased vapor pressure deficit due to higher temperature leads to greater transpiration and faster mortality during drought for tree seedlings common to the forest–grassland ecotone. *Journal of Experimental Botany*, 60(13), 3665-3676.
35. Williams, N., Hughes, R., Jones, N., Bradbury, D. & Rayner, J. (2010a). The performance of native and exotic species for extensive green roofs in Melbourne, Australia. *Acta Horticulture*, 881, 689-696.
36. Williams, N. S. G., Rayner, J. P. & Raynor, K. J. (2010b). Green roofs for a wide brown land: opportunities and barriers for rooftop greening in Australia. *Urban Forest, Urban Greening*, 9, 245-251.