

کاهش جزایر حرارتی شهری از طریق افزایش سبزی‌نگی و سطوح نفوذپذیر در

تهران

مرضیه فربودی^۱

زهرا زمانی^{۲*}

zahrzamanii@ut.ac.ir

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۳/۲

تاریخ دریافت: ۹۹/۱۰/۲۸

چکیده

زمینه و هدف: توسعه روزافزون فضاهای شهری سبب بروز پدیده جزیره حرارتی شهری شده است. یکی از عوامل اصلی ایجاد آن کاهش سطوح نفوذپذیر و فضاهای سبز در شهرها است که منجر به برهم خوردن چرخه باران، کاهش رطوبت نسبی در محیط‌های شهری و در نهایت افزایش دما می‌شود. جزیره حرارتی در مراکز شهر و محل‌های پرتردد و پرترافیک تشدید می‌شود. از اینرو هدف پژوهش حاضر تعدیل این پدیده در بخشی از محدوده مرکزی تهران و ارائه راهکارهایی جهت تعدیل دما می‌باشد.

روش بررسی: این پژوهش با روش شبیه‌سازی انجام شد و در دو فاز صورت پذیرفت. در مرحله اول (در مقیاس بلوک شهری) وضع موجود و وضع پیشنهادی نگارندگان با استفاده از لیدی باگ^۳ و دراگون فلای^۴ شبیه‌سازی شد و دمای خشک و شاخص UTCI^۵ (شاخص حرارتی اقلیم جهانی) در آن دو مورد مقایسه قرار گرفت. در فاز دوم بخشی از بلوک شهری مورد مطالعه انتخاب شد و مدل خرداقلیمی در سه حالت وضع موجود، وضع پیشنهادی و وضع بهبودیافته با انویمت در ۱۵ مرداد ۹۸ شبیه‌سازی شد. سپس تاثیر مترال ساختمان، کفپوش‌ها با نفوذپذیری متفاوت، چمن، درخت و آب بر سرعت باد، دما، رطوبت نسبی، دمای تابشی و میزان غلظت دی‌اکسید کربن مورد مطالعه قرار گرفت.

یافته‌ها: مدل بهبودیافته‌هایی که شامل درخت، آب، چمن، مصالح نفوذپذیر، بام سبز بود نسبت به وضع موجود باعث کاهش دما تا ۴ درجه سانتیگراد، افزایش ۱۰ درصدی در رطوبت نسبی، کاهش ۴ الی ۵ درجه دمای تابش، کاهش غلظت دی‌اکسید کربن و کاهش سرعت باد شد.

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد معماری، دانشکده معماری، پردیس بین‌المللیکیش، دانشگاه تهران
۲- استادیار، گروه فناوری، دانشکده معماری، دانشکده‌گان هنرهای زیبا، دانشگاه تهران. * (مسئول مکاتبات)

‡ Ladybug

‡ DragonFly

‡ Dry bulb temperature

‡ Universal Thermal Climate Index

بحث و نتیجه گیری: نتایج نشان داد شاخص UTCI با افزایش زیرساخت های سبز شهری و کفپوش های نفوذپذیر تعدیل می گردد. همچنین درخت نسبت به سایر پارامتر ها بیشترین تاثیر کاهش دما را ایجاد می کند.

واژه های کلیدی: جزیره حرارتی، زیر ساخت های سبز شهری، انویمت، درگون فلای، شاخص UTCI.

Studying the solutions of urban heat island mitigation through greenery and permeable surface in Tehran

Marzieh Farbudi¹

Zahra Zamani^{2*}

zahrazamanii@ut.ac.ir

Admission Date: May 23, 2021

Date Received: January 17, 2021

Abstract

Background and Objective: The increase in development of urban spaces has caused the phenomenon of urban heat island. One of the main factors that disrupts the rain cycle, reduces relative humidity in urban environments, and ultimately raises the temperature is the reduction of permeable surfaces and green spaces in cities. The heat island is intensified in the city center and in high-traffic areas. The purpose of this study was to modulate this phenomenon at the central part of Tehran and to provide solutions to adjust the temperature.

Material and Methodology: This research was carried out in two phases by using a simulation method. In the first phase (on an urban block scale) the current situation and the situation proposed by the authors were simulated using Ladybug and Dragon Fly to compare UTCI index and dry-bulb temperature. In the second phase, part of the studied urban block was selected and the micro-climatic model were simulated in three modes of the current, proposed and the optimal situation with Envi-met on August 6, 1998. Subsequently, the effect of building materials, floors with different permeability, grass, trees and water on wind speed, temperature, relative humidity, radiant temperature and carbon dioxide concentration was studied.

Findings: Finally, the optimal model that included trees, water, grass, permeable materials, trees and green roofs reduced the temperature (to four degrees), irradiation temperature (4 to 5 degrees), the carbon monoxide concentration and wind speed and meanwhile increased the relative humidity up to 10% compared to the current situation.

Discussion and conclusion: The results indicated that the UTCI index was adjusted as urban green infrastructure and permeable pavement increased. The tree also had the greatest effect on lowering the temperature than other parameters.

Key words: heat Island, Green infrastructure, ENVI-met, Dragonfly, UTCI index.

1- Masters student, Kish international campus, University of Tehran.

2- Assistant professor, Arch. Technology, School of Architecture, College of Fine Arts, University of Tehran.

*(Corresponding Author)

مقدمه

توسعه شهرها و به دنبال آن افزایش ساخت و سازها باعث تغییرات اقلیمی در این مناطق و بروز پدیده جزیره حرارتی شده است. این پدیده پدیده به معنای افزایش درجه حرارت شهر نسبت به حومه آن و مناطق روستایی است (۱). این پدیده باعث بالا رفتن بار سرمایشی ساختمان، عدم آسایش حرارتی عابران و ازدیاد گازهای گلخانه‌ای و متعاقباً آلودگی هوا، می‌گردد.

از آنجا که ترافیک شهری و صنایع مختلف باعث افزایش غلظت گازهای گلخانه‌ای می‌شود، امواج خورشیدی با طول موج کوتاه از این آلاینده‌ها عبور می‌کند اما امواج با طول موج بلند به آن جذب می‌شود. به این ترتیب پدیده گلخانه‌ای که خود یکی از عوامل تشدید جزیره حرارتی است شدت می‌یابد. با توجه به استفاده از مصالح نفوذ ناپذیر در برابر آب در اکثر محیط‌های مصنوعی، رطوبتی که گرمای ناشی از دریافت خورشیدی را از طریق تبخیر کاهش دهد، وجود ندارد. دما در سطوح نفوذ ناپذیر که در معرض تابش مستقیم نور خورشید قرار دارند ممکن است به ۸۸ درجه سانتی‌گراد برسد در حالیکه دما در سطوح گیاهی با خاک مرطوب حداکثر به ۴۸ درجه سانتی‌گراد می‌رسد (۲). از طرفی از طرفی بکارگیری مصالح تیره رنگ در نما، بام و کفسازی‌ها، جذب انرژی خورشید افزایش یافته است. افزایش دمای سطوح در محیط‌های شهری منجر به افزایش دمای هوا و در نهایت تشدید پدیده مذکور می‌گردد. این گرما از سطوح به آب سیلاب‌ها منتقل شده و بر کیفیت آن و در نهایت چرخه حیات آبزیان و گیاهان اثرات مخربی می‌گذارد (۳). به این ترتیب شناخت عوامل تعدیل‌کننده پدیده جزیره حرارتی جهت بهبود خرداقلیم‌های شهری امری ضروری است. از این رو مقاله حاضر با انتخاب بخشی از محدوده مرکزی تهران که پدیده جزیره حرارتی در آن مشهود است به مطالعه پارامترهای تعدیل‌کننده این پدیده پرداخت.

پرسش‌های تحقیق

این پژوهش، به دنبال پاسخ به این سؤال است که پارامترهای درخت، کف پوش‌های نفوذپذیر، بام سبز، دیوار سبز و آب چه

تاثیری بر دما، رطوبت، سرعت باد و غلظت دی‌اکسید کربن دارد؟

کدام یک از متغیرهای درخت، کف‌پوش‌های نفوذپذیر، بام سبز، دیوار سبز و آب بیشترین تاثیر را بر تعدیل جزیره حرارتی دارد؟

فرضیه تحقیق

بر اساس سوالات اصلی پژوهش فرضیات زیر مطرح می‌گردد: پارامترهای درخت، کف پوش‌های نفوذپذیر، بام سبز، دیوار سبز و آب به میزان قابل ملاحظه‌ای باعث تعدیل دما، افزایش رطوبت افزایش جریان هوا و کاهش غلظت دی‌اکسید کربن می‌شود.

متغیر درخت بیشترین تاثیر را بر کاهش جزایر حرارتی دارد.

پیشینه تحقیق

عواملی مانند شکل شهر، کمبود زیرساخت‌های سبز شهری، افزایش متریکال‌های جاذب حرارت، گرمای ناشی از فعالیت‌های انسانی (۴) گازهای گلخانه‌های شهری، که باعث افزایش تابش موج بلند، آلودگی و متعاقباً افزایش دمای هوای شهر می‌گردد و کم شدن سطوح نفوذپذیر در شکل‌گیری جزایر حرارتی نقش دارند (۳). جهت تعدیل این پدیده تغییراتی در هر یک از عوامل فوق لازم است. در میان پارامترهای مذکور، تغییر در ساختار شکل شهر، جهت‌گیری خیابان‌ها و ساختمان‌ها امری پر هزینه و طولانی مدت می‌باشد. در مقابل، دستیابی به تغییرات مثبت در سایر عوامل امکان‌پذیرتر می‌باشد. پوشش گیاهی از طریق مکانسیم تبخیر و تعرق آسایه‌اندازی، بهبود جریان همرفت و ایجاد عایق حرارتی از طریق ساختار لایه لایه گیاهی باعث تعدیل جزیره حرارتی می‌شود (۵ و ۷ و ۸ و ۹). از طرفی مطالعات متعددی نشان داد بر خلاف پدیده جزیره حرارتی، پدیده جزیره سرمای پارک‌ها باعث کاهش ۳ تا ۴ درجه سانتیگراد در تابستان می‌شوند (۱۰). پژوهشگران با مطالعه جزایر حرارتی در تهران به این نتیجه دست یافته‌اند که با رشد

1- Cooling Buffer Zone

2 Evapotranspiration

3 Park cool island

تعدیل دما نشان دادند این جداره‌ها باعث کاهش دما از ۰/۳۹ تا ۰/۷۵ درجه سانتیگراد می‌شوند (۱۷). همچنین طالقانی و همکاران در پژوهشی به مطالعه تاثیر پوشش گیاهی در فضای حیاط مرکزی پرداختند نتایج نشان داد دمای داخل حیاط با پوشش گیاهی و حوض آب ۱/۲ درجه سانتیگراد از دمای فضای بیرون از حیاط پایین تر است (۱۸). همچنین در پژوهش‌های دیگر تاثیر مصالح رایج شهری مانند آسفالت با ضریب بازتاب ۰/۰۵ و سنگ با ضریب بازتاب ۰/۰۲ بر تشدید جزیره حرارتی را نشان داده‌اند (۱۹ و ۲۰). یکی دیگر از ویژگی‌های مصالحی که در کف پوش‌های شهری استفاده می‌شود میزان نفوذ پذیری ویا تخلخل آن است. مطالعات نشان داده است مصالح نفوذپذیر در معرض تابش آفتاب به دلیل پدیده تبخیر، دمای سطحی پایین‌تری نسبت به مصالح نفوذ ناپذیر دارند (۲۱)

روش تحقیق

روش تحقیق ترکیبی از پژوهش موردی و روش شبیه‌سازی است. محدوده مرکزی تهران که در دسته بندی اقلیمی گرم و خشک قرار دارد، و دارای بیشترین میزان جزایر حرارتی نیز هست، گزینه مناسبی برای پژوهش حاضر می‌باشد. ازینرو بخشی از محدوده طرح توسعه دانشگاه تهران جهت مطالعه میزان تاثیر فاکتورهای تعدیل کننده دما انتخاب شد. این پژوهش در منطقه ۶ شهر تهران در محدوده طرح توسعه دانشگاه تهران، با موقعیت جغرافیایی ۳۵/۷۱ درجه شمالی و ۵۱/۴ درجه شرقی و ارتفاع ۱۲۰۰ متر از سطح دریا واقع شده است. محدوده جنوبی منطقه ۶ تهران، مطابق با نقشه حرارتی شکل (۲)، دارای پدیده جزیره گرمایی است و دمای سطوح در این محدوده ۴۶/۲ تا ۴۹/۵ درجه سانتیگراد می‌باشد. یکی از لکه‌های حرارتی در میدان انقلاب در محدوده طرح توسعه دانشگاه تهران می‌باشد. ازین رو این محدوده جهت بررسی تاثیر متغیرهای تعدیل کننده جزیره حرارتی انتخاب شد. همان‌طور که در شکل ۱ مراحل انجام تحقیق مشخص شده است، پژوهش حاضر در دو فاز صورت پذیرفت. در مرحله اول بلوک شهری مورد مطالعه وضع موجود و وضع پیشنهادی با استفاده از پلاگین‌های لیدی باگ و دراگون فلای شبیه‌سازی

و توسعه کلان شهر تهران این پدیده تشدید شده و خصوصیات زمانی و فضایی آن نیز تغییر یافته است. با توجه به اینکه کلان شهر تهران نقش بسزایی در زمینه‌های اقتصادی، فرهنگی، اجتماعی و سیاسی کشور دارد کاهش اثرات این پدیده ضروری بوده و نیاز به برنامه ریزی مدیران شهرداری دارد (۱۱ و ۱۲). با توجه به نتایج جزایر حرارتی از طریق تصاویر LANDSAT، مکان‌هایی که پوشش گیاهی بیشتری دارند درجه حرارت کمتری نسبت به مکان‌هایی که خالی از پوشش گیاهی هستند دارد (۱۳). پژوهشی در یک جزیره در چین اثر سرمایشی بام سبز در مقیاس شهری را مورد مطالعه قرار داد. مقایسه میانگین دمای زمین در سال ۲۰۱۴ که ابنیه فاقد بام سبز بودند و سال ۲۰۱۷ که ۵۴۰۰۰۰ متر مربع بام سبز بر روی ساختمان‌ها قرار داده شد ۰/۹۱ درجه سانتیگراد کاهش دما را نشان داد. همچنین این پژوهش نشان داد در محدوده ۱۰۰ متر بالای بام سبز که لایه خنک کننده حائل نامیده می‌شود به ازای هر ۱۰۰۰ متر مربع افزایش در مساحت بام سبز ۰/۴ درجه سانتیگراد دما کاهش می‌یابد (۱۴). پژوهشی دیگر در تورنتو به مطالعه تاثیر پوشش گیاهی بر کاهش موج گرما در مقیاس خرد و کلان پرداخت. در این پژوهش دو سناریو پوشش گیاهی شدیداً متراکم و تراکم متوسط تعریف شد. شبیه‌سازی در مقیاس شهری با Weather Research و در مقیاس محله با Anuimeta انجام شد. نتایج نشان داد دما در مقیاس محله ۱/۶ تا ۲/۳ و در مقیاس شهری ۰/۵ تا ۱/۴ درجه سانتیگراد کاهش می‌یابد (۱۵). در پژوهشی از دنیس و همکاران مطالعه تاثیر پوشش گیاهی در کاهش درجه حرارت در اقلیم نیمه گرمسیری صورت گرفت. با دستیابی به نتایج خروجی‌های تاثیرگذار در درجه حرارت که با نرم افزار Envi-met در سه حالت پایه، درخت‌های خیابانی و درخت‌های انبوه با تراکم بالا در امتداد پیاده‌رو شبیه‌سازی شد، به این نتیجه دست یافتند که در حالت سوم پایین‌ترین مقدار دمای هوا و توزیع همگن اثر خنک‌کنندگی گیاهی را نشان می‌دهد (۱۶). بقایی و همکاران در پژوهشی با موضوع مطالعه تاثیر جداره‌های عمودی سبز بر

است. در مدل پیشنهادی پارامترهای درخت، مصالح آجر، کف پوش‌های نفوذپذیر، بام سبز، چمن و آب به وضع موجود اضافه شد. سپس در مدل بهبودیافته این پارامترها در راستای تعدیل دمای بیشتر بهبودیافته سازی شد. در نهایت تاثیر این تغییرات بر رطوبت نسبی، سرعت باد، دمای تابشی، و میزان غلظت دی-اکسیدکربن بررسی شد و در سه حالت با یکدیگر مقایسه شد.

شد و دمای خشک و شاخص UTCI در آن دو مورد مقایسه قرار گرفت. در فاز دوم یک محدوده ۵۰ در ۵۰ از بلوک شهری فوق در سه حالت وضع موجود، وضع پیشنهادی و وضع بهبودیافته در نرم‌افزار خرداقلیمی انویمت مدل سازی شد. سپس نتایج شبیه سازی در نرم‌افزار لئوناردو تحلیل شد و خروجی‌های شبیه‌سازی در هر سه حالت مورد مقایسه و تحلیل قرار گرفت. وضع موجود یک فضای خالی با کف پوش آسفالت



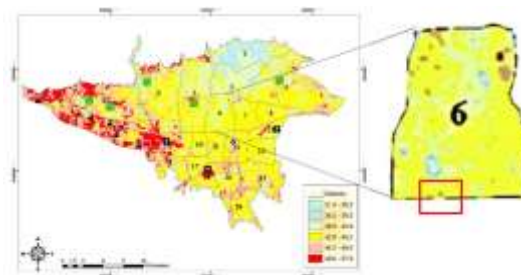
شکل ۱- مراحل انجام پژوهش

Figure 1. Research phases

۱- یافته های تحقیق

۱-۶- معرفی نمونه مورد مطالعه:

شرایط اقلیم شهر تهران با توجه به تقسیم بندی کوپن در گروه سرد و خشک قرار می‌گیرد. دمای متوسط سالیانه آن $17/4^{\circ}\text{C}$ در فرودگاه مهرآباد گزارش شده است. با توجه به وسعت بزرگ این شهر ارتفاع آن از سطح دریا بین ۹۰۰ تا ۱۸۰۰ متر متغیر می‌باشد. محدوده مورد بررسی در این پژوهش در منطقه ۶ و محدوده طرح توسعه دانشگاه تهران واقع شده است، که از شمال به بلوار کشاورز و پارک لاله، از جنوب به خیابان انقلاب، از شرق به خیابان وصال شیرازی و از غرب به خیابان کارگر شمالی منتهی می‌شود. با توجه به شدت جزایر حرارتی در این محدوده مطالعه تاثیر پارامترهای تعدیل کننده این پدیده امری ضروری است. محدوده شبیه‌سازی شده در فاز اول و دوم پژوهش در غرب طرح توسعه می‌باشد که در شکل ۳ مشخص شده است.



شکل ۲- نقشه حرارتی تیرماه سال ۲۰۱۰ (۲۲)

Figure 2. Thermal map Jun 2010 (22)



شکل ۳- موقعیت سایت مورد مطالعه

Figure 3. Case study location

۶-۲ مدل سازی فاز اول با لیدی باگ- درگون فلای

فاز اول مدل سازی در مقیاس بلوک شهری انجام شد. در این مرحله مدل سازی در محیط گرس‌هاپر با استفاده از پلاگین‌های لیدی‌باگ و دراگون‌فلای انجام شده و شاخص شاخص UTCI در دو حالت محاسبه شد. این شاخص جهت سنجش تنش حرارتی که کاربر در فضای باز تجربه می‌کند استفاده می‌شود. محاسبات آن بر اساس مدل ارائه شده توسط Fiala به منظور توصیف رفتار فیزیولوژیکی پیچیده‌ی بدن انسان می‌باشد، که شامل واکنش بدن انسان برای تنظیم حرارت بدن در تغییرات شرایط فضای باز است. به طور خاص UTCI مقدار درجه

حرارتی از هوا می‌باشد که تحت شرایط مرجع، باعث واکنش فیزیولوژیکی مشابه با شرایط واقعی می‌شود. شرایط مرجع، فردی را در حال پیاده‌روی با سرعت ۴ کیلومتر در ساعت و با نرخ متابولیسم ۲/۳ در نظر می‌گیرد و همچنین سرعت باد بین ۰/۳ الی ۱/۱ متر بر ثانیه و رطوبت نسبی ۵۰٪ در نظر می‌گیرد. مقدار UTCI تنها به سرعت هوا، میانگین دمای تابشی، رطوبت نسبی و دمای واقعی هوا وابسته است. همچنین می‌توان مقدار UTCI را بر اساس رابطه‌ی ساده شده‌ی زیر محاسبه کرد (۲۳).

$$UTCI = 3.21 + (0.872 \cdot Ta) + (0.2459 \cdot MRT) - (2.5078 \cdot va) - (0.0176 \cdot RH) \text{ (}^\circ\text{C)}$$

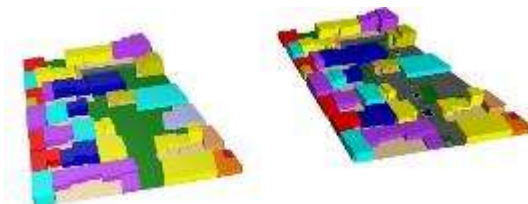
جدول ۱- رابطه بین شاخص UTCI و تنش حرارتی (۲۳)

Table 1. The relation between UTCI index and Thermal stress (22)

Table 1 Correlation between thermal stress and UTCI.	
UTCI range	Stress category
UTCI > 46 °C	Extreme heat stress
46 °C ≥ UTCI > 38 °C	Very strong heat stress
38 °C ≥ UTCI > 32 °C	Strong heat stress
32 °C ≥ UTCI > 26 °C	Moderate heat stress
26 °C ≥ UTCI > 9 °C	No thermal stress
9 °C ≥ UTCI > 0 °C	Slight cold stress
0 °C ≥ UTCI > -13 °C	Moderate cold stress
-13 °C ≥ UTCI > -27 °C	Strong cold stress
-27 °C ≥ UTCI > -40 °C	Very strong cold stress
UTCI ≤ -40 °C	Extreme cold stress

شکل ۶ دمای خشک بلوک شهری وضع موجود و شکل ۷ دمای خشک وضعیت پیشنهادی را در گرم‌ترین ماه سال نشان می‌دهد. در نهایت UTCI برای وضع موجود و وضع پیشنهادی محاسبه شد. همانطور که در شکل ۸ مشخص است دما در بلوک شهری پیشنهادی نسبت به وضع موجود کاهش یافته.

در ابتدا مدل سه بعدی بلوک شهری مورد مطالعه در راینو ساخته شد سپس بلوک شهری پیشنهادی که در آن فضای سبز جایگزین کفپوش آسفالت شد مدل سازی شد (شکل ۴). همانطور که در تصویر ۵ مشخص است میانگین دما در بلوک شهری پیشنهادی ۳۱/۹، و در وضع موجود ۳۳/۱ می‌باشد.



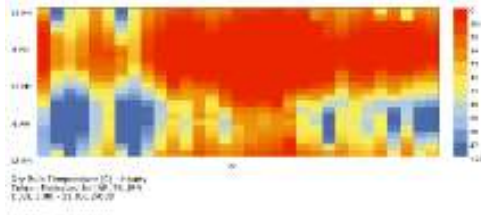
شکل ۴- سمت راست بلوک شهری وضع موجود، سمت چپ بلوک شهری پیشنهادی

Figure 4. Current urban block (Right), Proposed urban block (left)



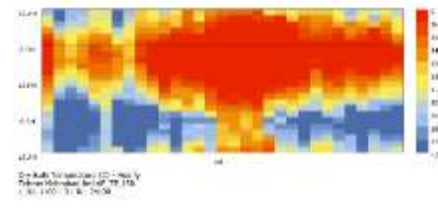
شکل ۵- خروجی دما در مناطق روستایی، بلوک شهری وضع موجود و بلوک شهری پیشنهادی در محیط گرسهپا

Figure 5. Grasshopper Temperature outputs for rural district, current urban block and proposed urban block



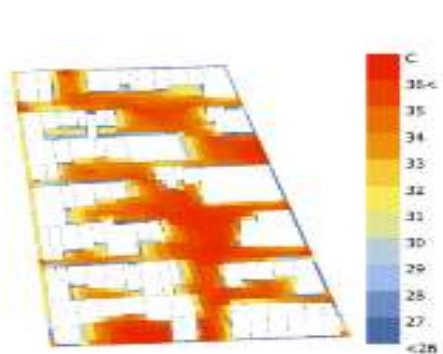
شکل ۷- دمای خشک بلوک شهری موجود

Figure 7. Dry bulb temperature of current urban block



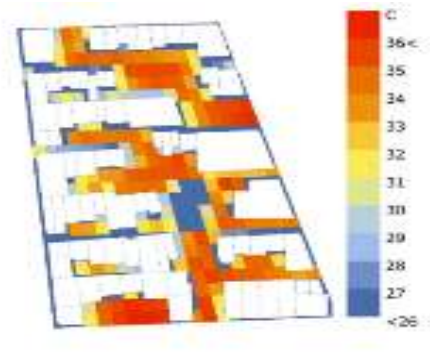
شکل ۶- دمای خشک بلوک شهری پیشنهادی

Figure 6. Dry bulb temperature of proposed urban block



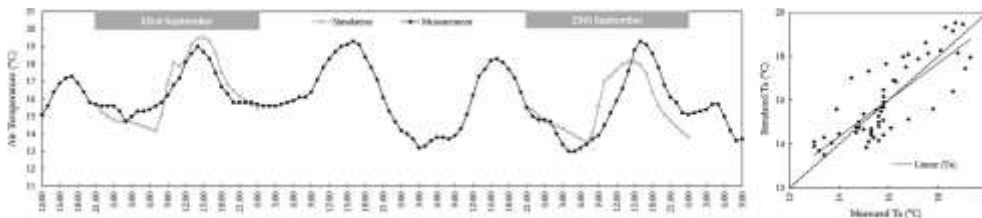
شکل ۹- نقشه UTCI در بلوک شهری موجود

Figure 9. UTCI map current urban block



شکل ۸- نقشه UTCI در بلوک شهری پیشنهادی

Figure 8. UTCI map proposed urban block



نمودار ۱- روایی نرم افزار انویمت ماخذ (۲۴)

Diagram 1. Validity of Envi-met (24)

۳-۶ مدل سازی فاز دوم با انویمت

وزش باد، رطوبت و دما در نظر گرفته شود. با تحلیل های نرم افزار انویمت می توان تمرکز را از سطح یک ساختمان تا سطوح

برای طراحی شهرهای انعطاف پذیر و پایدار به ویژه با گستره وسیعی از متغیرهای اقلیمی، لازم است تأثیر هر متغیر بر الگوی

مدل سازی شد. سپس نتایج شبیه سازی در رابط گرافیکی لئوناردو تحلیل شد و خروجی های شبیه سازی در هر سه حالت مورد مقایسه و تحلیل قرار گرفت. بر اساس داده های هواشناسی اطلاعات ورودی نرم افزار شامل حداقل و حداکثر دما در تابستان برابر ۲۱ و ۴۲ درجه سانتیگراد میانگین سرعت باد ۳ m/s و از جهت غرب می باشد (جدول ۲). شبیه سازی در گرمترین روز سال ۲۰۱۹/۰۸/۰۶ (۲۵ مرداد ۱۳۹۸) صورت گرفت. نتایج بدست آمده مربوط به یک بازه ۲۴ ساعته می باشد.

بزرگ شهری گسترش داد بدین ترتیب تاثیرات نامطلوب شناسایی شده و پتانسیل های موجود را ارتقا داد. این نرم افزار در پژوهش های متعددی مورد اعتبار سنجی قرار گرفته است (۱ و ۲۴ و ۲۵) به عنوان مثال نمودار ۱ که از تحقیق طالقانی و همکاران استخراج شده تایید کننده روایی این نرم افزار است (۲۴).

همانطور که در شکل ۱۰ مشخص است در این مرحله یک محدوده ۵۰ در ۵۰ از بلوک شهری مورد نظر جهت شبیه سازی خرد اقلیمی با جزئیات بیشتر انتخاب شد و در سه حالت وضع موجود، وضع پیشنهادی و وضع بهبودیافته در نرم افزار انویمت

جدول ۲- اطلاعات ورودی به انویمت

Table 2. input summary for Envi-met

اطلاعات ورودی نرم افزار	
۱۳۹۸ مرداد ۲۵	تاریخ شبیه سازی
30*44*44	تعداد گرید مدل سازی
۲*۲*۲	سایز گرید
۲۴:۰۰:۰۰ ساعت	ساعت شروع شبیه سازی و مدت شبیه سازی
m/s ^۳	سرعت باد در ارتفاع ۱۰ متر
۲۷۰	جهت باد
۴۲ و ۲۱	کمینه و بیشینه دما
۳۹ و ۱۱	کمینه و بیشینه رطوبت نسبی

پیشنهادی با افزودن پوشش گیاهی و درخت، آبنما، کفسازی- های نفوذپذیر در ترکیب با گیاه شبیه سازی شد. همچنین جهت بهبودیافته سازی دیوار و بام سبز به مدل پیشنهادی اضافه شد. سپس متریکال نفوذپذیر و همچنین درخت با ارتفاع ۱۵ متر سایه اندازی ۱۱ متر در تنظیمات نرم افزار تعریف شده و به مدل پیشنهادی اضافه شد. در مدل بهبودیافته در کفپوش ها لایه های اولیه از آجر شکسته انتخاب شد و ضخامت لایه شن جهت افزایش نفوذ آب افزایش داده شد. در نهایت تاثیر این تغییرات بر رطوبت نسبی، سرعت باد، دمای تابشی، و میزان غلظت دی اکسید کربن بررسی شد و در سه حالت وضع موجود، مدل پیشنهادی و مدل بهبودیافته با یکدیگر مقایسه شد.



شکل ۱۰- انتخاب محدوده ۵۰ در ۵۰ از بلوک شهری مورد مطالعه

Figure 10. selecting the 50*50 area of the case study

همانطور که در جدول ۲ مشخص است وضع موجود که صرفا آسفالت می باشد در انویت مدل سازی شد. سپس طرح

مشاهده شد. این کاهش دما در مقایسه شهری تغییر چشمگیری می‌باشد. در تصویر ۱۳ نقشه دما در وضع موجود و طرح بهبودیافته نشان دهنده این کاهش محسوس می‌باشد. همچنین نقشه دمای تابش خورشید در وضع موجود و وضع بهبودیافته در تصویر ۱۴ ارائه شده.

۳-۳-۶- رطوبت نسبی:

مطابق نمودار ۴ رطوبت نسبی در مدل پیشنهادی در گرمترین روز تابستان و در تمام ساعات روز و شب ۲٪ نسبت به وضع موجود افزایش یافته. همچنین مدل بهبودیافته ساعات ۰۳:۰۰ تا ۱۲:۰۰ به میزان ۱۰٪ و در باقی ساعات به میزان ۲٪ تا ۳٪ نسبت به وضع موجود افزایش یافته است.

در ادامه خروجی های شبیه سازی ها با استفاده از رابط گرافیکی لئوناردو مورد تحلیل قرار گرفت و آنالیزهای باد، دما و دی‌اکسید کربن در سه حالت وضع موجود، وضع پیشنهادی و وضع بهینه ارائه شد.

۱-۳-۶- تغییرات سرعت باد:


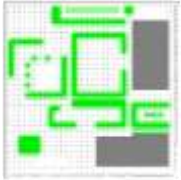

برای جلوگیری از کاهش سرعت باد متناسب با محدوده‌ی آسایش حرارتی انسان از درختان با ارتفاع ۱۵ متری استفاده شده است، برای جلوگیری از کاهش بیش از حد سرعت باد در سایت در قسمت های غرب که باد مطلوب می‌وزد از درختانی استفاده شده که پوشش گیاهی متراکمی نداشته باشند و مانع نفوذ باد مطلوب نباشند.

۲-۳-۶- تغییرات دما:

طبق نمودار ۲ با تغییرات ایجاد شده در طرح پیشنهادی و طرح بهبودیافته، در گرمترین روز تابستان، طرح پیشنهادی نسبت به وضع موود کاهش ۱ تا ۲ درجه در تمام طول روز و شب را داشت. همچنین کاهش ۴ درجه دما در طرح بهبودیافته

جدول ۳- معرفی ۳ سناریو وضع موجود، پیشنهادی و بهبود یافته در فاز دوم پژوهش

Table 3. 3 scenarios: current situation, proposed model and improved model in second phase of research

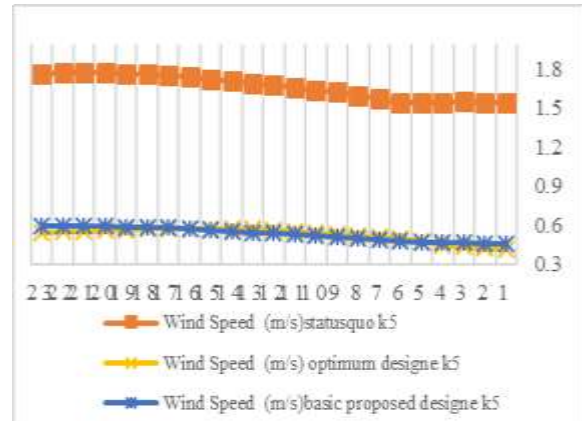
ویژگی ها	تصویر سه بعدی مدل	مدل های مورد مطالعه
محدوده ۵۰ در ۵۰ کفپوش آسفالت		مدل وضع موجود
محدوده ۵۰ در ۵۰ پوشش گیاهی و درخت، آبنما، کفسازی های نفوذپذیر		مدل پیشنهادی
محدوده ۵۰ در ۵۰ پوشش گیاهی و درخت، آبنما، کفسازی های نفوذپذیر افزایش نفوذپذیری متربال کف نسبت به طرح پیشنهادی افزودن دیوار و بام سبز افزایش تاج درختان تا ۱۱ متر		مدل بهبود یافته

۶-۳-۴- دمای تابش:

مطابق نمودار ۵ و تصویر درجه حرارت تابشی در گرمترین روز سال در گرمترین ساعات آن روز ۱۲:۰۰ لغایت ۱۵:۰۰ حدود ۱ الی ۳ درجه کاهش یافته اما کاهش چشمگیر آن در ساعات ۱۲:۰۰ که حدود ۱۰ الی ۱۲ درجه است.

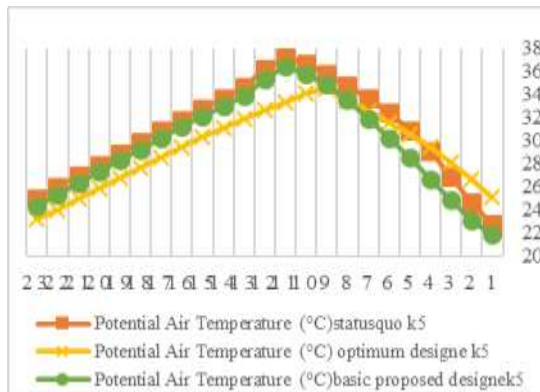
۶-۳-۵- غلظت کربن دی اکسید:

مطابق نمودار ۶ غلظت کربن دی اکسید طرح پیشنهادی ۲ تا ۳ ppm نسبت به وضع موجود کاهش یافت. همچنین ماکسیمم کاهش غلظت این گاز در طرح بهبودیافته نسبت به وضع موجود ۸ تا ۹ ppm بود.



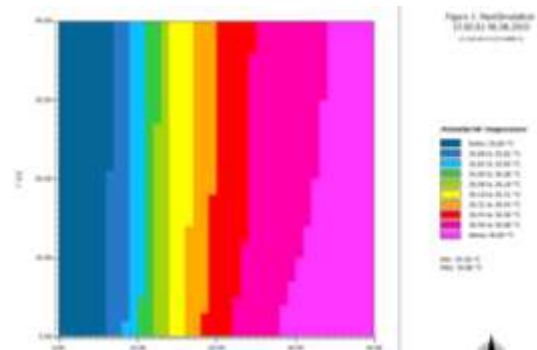
نمودار ۲- دما هوا در ارتفاع ۱/۵ متری در سه حالت

Diagram 2. Air temperature of three scenario



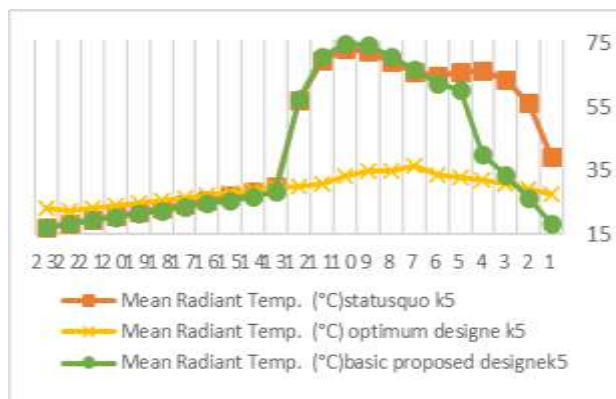
نمودار ۳- سرعت باد در ارتفاع ۱/۵ متری در ۳ سناریو

Diagram 3. wind speed of three scenario



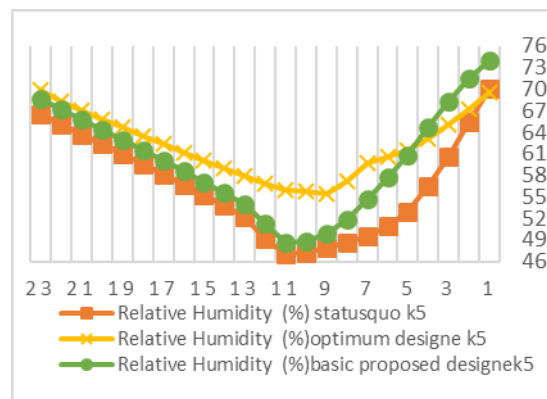
تصویر ۱۳- سمت راست نقشه دما در طرح بهبودیافته، سمت چپ نقشه دما در وضع موجود

Figure 13. temperature map of improved model (right), temperature map of current model (left)



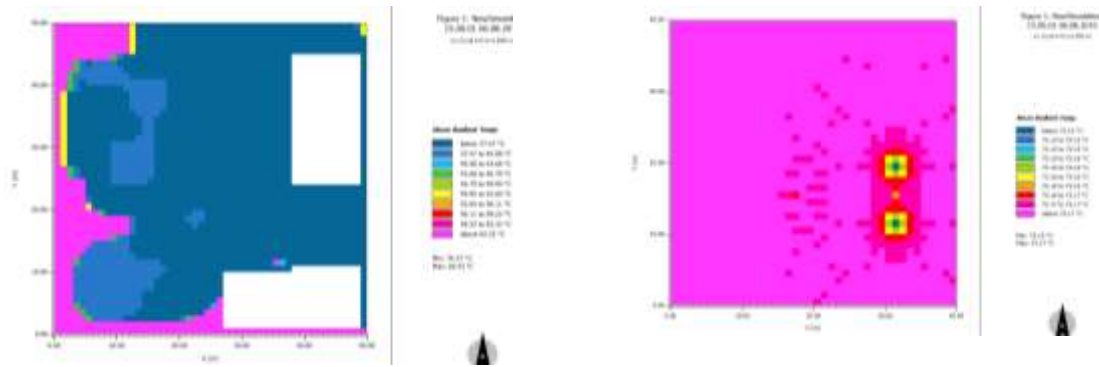
نمودار ۵- دمای تابشی در ارتفاع ۱/۵ متری در سه مدل

Diagram 5. Mean Radiant Temp. of three scenario



نمودار ۴- رطوبت نسبی در ارتفاع ۱/۵ متری در سه مدل

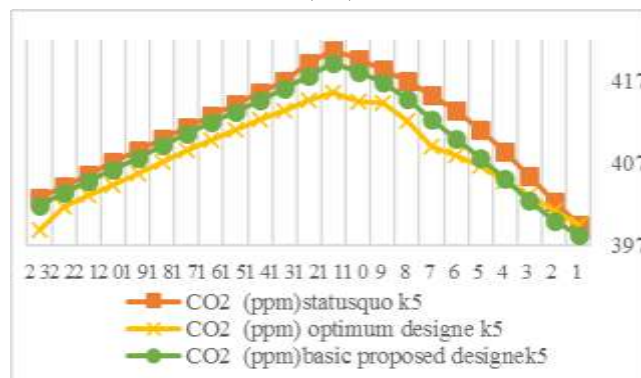
Diagram 4. Relative Humidity of three scenario



شکل ۱۴ - سمت راست نقشه دمای تابش خورشید در وضع موجود، سمت چپ نقشه دمای تابش خورشید در وضع

بهبودیافته

Figure 14. Mean Radiant Temp. Map of current model (right), Mean Radiant Temp. Map of improved model (left)



نمودار ۶ - غلظت دی اکسید کربن در سه سناریو

Diagram 6. Carbon dioxide concentration in three scenarios

نتیجه تحقیق

بهبودیافته بخشی از سایت با انویست در ۱۵ مرداد ۹۸ شبیه سازی شد. در این مرحله شبیه سازی در مقیاس همسایگی و با بررسی متغیرهای بیشتری مورد مطالعه قرار گرفت. وضع موجود که صرفاً آسفالت می باشد در انویست مدل سازی شد. سپس طرح پیشنهادی با افزودن پوشش گیاهی و درخت، آبنا، کفسازی های نفوذپذیر در ترکیب با گیاه شبیه سازی شد.

همچنین در مدل بهبودیافته دیوار و بام سبز به مدل پیشنهادی اضافه شد. سپس متریکال نفوذپذیر و همچنین درخت با ارتفاع ۱۵ متر سایه اندازی ۱۱ متر در تنظیمات نرم افزار تعریف شده و به مدل پیشنهادی اضافه شد. در مدل بهبودیافته در کفپوش ها لایه های اولیه از آجر شکسته انتخاب شد و ضخامت لایه شن

مقاله ای حاضر در ابتدا به بررسی اثر جزیره ی حرارتی و عوامل تاثیرگذار آن پرداخت و سپس به معرفی راهکارهای کاهش اثر جزیره ی حرارتی پرداخت. این پژوهش با روش شبیه سازی انجام شد و در دو فاز صورت پذیرفت. در مرحله اول دو حالت وضع موجود و وضع پیشنهادی با استفاده از پلاگین های لیدی باگ و دراگون فلای در مقیاس بلوک شهری شبیه سازی شد و دمای خشک و شاخص UTCI (شاخص حرارتی اقلیم جهانی) در آن دو مورد مقایسه قرار گرفت. نتایج نشان داد میانگین دما در بلوک شهری پیشنهادی ۳۱/۹، و در وضع موجود ۳۳/۱ می باشد. همچنین مشخص شد افزایش پوشش گیاهی در مقیاس بلوک شهری باعث تعدیل شاخص UTCI می گردد. در فاز دوم، مدل خرد اقلیمی وضع موجود، وضع پیشنهادی و وضع

3102.
<https://doi.org/10.1016/j.solener.2010.12.023>
5. Ng, E., Chen, L., Wang, Y., Yuan, C. 2012. A study on the cooling effects of greening in a high-density city: an experience from Hong Kong. *Build. Environ.* 47: 256-27.
<https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2011.07.014>
 6. Perez, G., Rincon, L., Vila, A., Gonzalez, J.M. Cabeza, L.F. 2011. Behaviour of green facades in Mediterranean Continental climate. *Energy Convers. Manag.* 52 (4): 1861-1867.
<https://doi.org/10.1016/j.enconman.2010.11.008>
 7. Sharma, A., Woodruff, S., Budhathoki, M., Hamlet, A.F., Chen, F., Fernando, H.J.S. 2018. Role of green roofs in reducing heat stress in vulnerable urban communities da multidisciplinary approach. *Environ. Res. Lett.* 13 (9): 094011.
 8. Zamani Z, Heidari S, Hanachi P. 2020 Study the Microclimatic Performance of the Courtyard in Tehran Climate (Case study: Memar Bashi Theological Seminary courtyard), *J. Env. Sci. Tech.*, Vol 22, No.5.
 9. Zamani Z, Heidari S, Hanachi P. 2019 Optimizing the Building Location Arrangement in Urban Block, in order to Achieve Heat Mitigation of Yards in Tehran, *J. Env. Sci. Tech.*, Vol 21, No.9.
 10. Zamani Z, Heidari S, Hanachi P. Reviewing the thermal and microclimatic function of courtyards. *Renew Sustain Energy Rev.* 2018;93:580-595.

جهت افزایش نفوذ آب افزایش داده شد. در نهایت تاثیر این تغییرات بر رطوبت نسبی، سرعت باد، دمای تابشی، و میزان غلظت دی اکسیدکربن بررسی شد و در سه حالت وضع موجود، مدل پیشنهادی و مدل بهبودیافته با یکدیگر مقایسه شد. نتایج نشان داد درخت نسبت به سایر پارامترها بیشترین تاثیر کاهش دما را ایجاد کرد. درختانی با تاج ۱۰ متر دما را در ساعات ۱۲ تا ۱۵، ۳ الی ۴ درجه کاهش داد و باعث افزایش رطوبت نسبی تا ۱۰٪ شد. نهایتاً مدل بهبودیافته نهایی که شامل درخت، آب، چمن، مصالح نفوذ پذیر، درخت و بام سبز، نسبت به وضع موجود باعث کاهش دما تا ۴ درجه سانتیگراد، افزایش ۱۰ درصدی در رطوبت نسبی، کاهش قابل توجه دمای تابش، کاهش غلظت دی اکسید کربن و کاهش سرعت باد شد.

References

1. Farhadi, H., Faizi M., Sanaieian H., 2019. Mitigating the urban heat island in a residential area in Tehran: Investigating the role of vegetation, materials, and orientation of buildings, *Sustainable Cities and Society.* 46: 101448.
<https://doi.org/10.1016/j.scs.2019.101448>
2. Mansoorian, M. Namdar ghasghaee, N. 2008. Environmental management. Iran Consultants committee press. Tehran. (In Persian)
3. Alijani, B. Toulabinejad, M. Sayadi, F. 2017. Calculation of heat island intensity based on urban geometry (case study: district of kучeh bagh in Tabriz, *Journal of spatial analysis environmental hazarts*, 4 (3) 99-112. (In Persian)
4. Santamouris, M., Synnefa, A., Karlessi, T., 2011. Using advanced cool materials in the urban built environment to mitigate heat islands and improve thermal comfort conditions. *Sol. Energy* 85 (12): 3085-

16. Duarte, D.H.S., Shinzato, P., Gusson, C., Alves, C.A. 2015. The impact of vegetation on urban microclimate to counterbalance built density in a subtropical changing climate, *Urban Climate* 14: 224–239. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2015.09.006>
17. Baghaei Daemei, A. Azmoodehb, M. Zamani, Z. Mehrinejad Khotbehsara E., (2018), Experimental and simulation studies on the thermal behavior of vertical greenery system for temperature mitigation in urban spaces, 20 277–284 <https://doi.org/10.1016/j.job.2018.07.024>
18. Zamani Z, Heidari S, Azmoodeh, M. Taleghani, M. 2019 Energy performance and summer thermal comfort of traditional courtyard buildings in a desert climate, *Environmental Progress & sustainable Energy*, Volume 38, Issue 6
19. Baker, M.C. Canada, N.R.C.o. 1980. *Roofs: Design, Application, and Maintenance*, Multi science Publications, Montreal.
20. Bretz, S. Akbari, H. Rosenfeld, A.H. Taha, H. 1992 Implementation of solar reflective surfaces: materials and utility programs, University of California, Berkeley.
21. Takashi, A., Vu Thanh, Ca., 2000. Characteristics of permeable pavement during hot summer weather and impact on the thermal environment. *Building and Environment* 35: 363-375. [https://doi.org/10.1016/S0360-1323\(99\)00020-7](https://doi.org/10.1016/S0360-1323(99)00020-7)
22. Bokaie, M. Kheirkhah Zarkesh, M. Daneshkar Arasteh, P. Hosseini, A, 2016. Assessment of Urban Heat Island based on the relationship
11. Rafiean M, Rezai rad H. 2017. Measuring the Impact of Vegetation Greenness on Spatial Changes of Heat Island Intensity in Tehran Metropolitan by Using ASTER and Landsat8 Satellite Images. *Jsaeh.*; 4 (3) :1-16 <http://jsaeh.khu.ac.ir/article-1-2746-fa.html> (Access in 2020/11/27) (In Persian)
12. Malekpour P. , Taleai M, 2010. Evaluation of Land Surface Temperature and Urban Landuse/LandCover Changes Using of ETM+ Satellite Data A Case Study of Tehran City, *Iranian Journal of Remote Sencing & GIS*, 2 (3): 89-102. <https://www.magiran.com/paper/920383> (Access in 2020/11/27) (In Persian)
13. Al-Saadi, L. M. Jaber, S. H. Al-Jiboori, M. H. 2020. Variation of urban vegetation cover and its impact on minimum and maximum heat islands. *Urban Climate* 34: 100707. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2020.100707>
14. Dong, J., Lin M., Zuo, J., Lin, T., Liu J., Sun, C., Luo, J., 2020. Quantitative study on the cooling effect of green roofs in a highdensity urban Area: A case study of Xiamen, China, *Journal of Cleaner Production* 255: 120-152. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120152>
15. Berardi, U., Jandaghian, Z., Graham, J., 2020. Effects of greenery enhancements for the resilience to heat waves: A comparison of analysis performed through mesoscale (WRF) and microscale (Envi-met) modeling, *Science of the Total Environment* 747: 141300. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141300>

- in courtyards: A validated and calibrated parametric study of heat mitigation strategies for urban courtyards in the Netherlands. *Solar Energy*. (103):108–124. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2014.01.033>
25. Rajabi, T, Abu-Hijleh, 2014. The Study of Vegetation Effects on Reduction of Urban Heat Island in Dubai, World SB 4 Barcelona. Barcelona. http://wsb14barcelona.org/programme/pdf_poster/P-221.pdf
- between land surface temperature and Land Use/ Land Cover in Tehran, *Sustainable Cities and Society* 23 (2016) 94–104
23. Evola, G., Costanzo, V., Magrì, C., Margani, G., Marletta, L., & Naboni, E. 2020. A novel comprehensive workflow for modelling outdoor thermal comfort and energy demand in urban canyons: Results and critical issues. *Energy and Buildings*. 216: 109946. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2020.109946>
24. Taleghani, M., Tenpierik, M., Dobbelsteen, A., Sailor, D, 2014. Heat