

# ارزیابی عوامل مؤثر بر میانگین دمای تابشی در محیط شهری (نمونه موردی: گذر شنبدی، بافت تاریخی بوشهر)

زهرة مجیدی<sup>۱</sup>، محسن تابان<sup>۲\*</sup>

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد طراحی شهری، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه صنعتی جندی شاپور، دزفول، ایران  
(Majidi\_zh@jsu.ac.ir)

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

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۶/۱۱/۱۵

تاریخ وصول مقاله: ۱۳۹۶/۰۲/۱۹

## چکیده

رشد سریع شهرها و گسترش مناطق شهری موجب تغییرات عمده زیست‌محیطی و برهم خوردن شرایط آسایش حرارتی به خصوص در فضاهای باز شهری شده است. افزایش محصوریت فضاهای باز شهری در مناطق گرم و مرطوب می‌تواند منجر به کنترل بهتر محیط از طریق بهبود خرد اقلیم شهری و در نتیجه صرفه‌جویی در مصرف انرژی ساختمان‌ها شود. میانگین دمای تابشی یکی از عوامل مهم و مؤثر بر ایجاد آسایش حرارتی به خصوص در شرایط آفتابی در فضای باز است. هدف تحقیق حاضر بررسی تأثیر بافت شهر و طراحی محیط شهری بر میانگین دمای تابشی است. شهر بوشهر دارای اقلیم گرم و مرطوب است و با توجه به شرایط اقلیمی این شهر، ایجاد آسایش حرارتی برای افزایش حضورپذیری فضاهای شهری به خصوص در ایام گرم سال ضروری است. در این پژوهش داده‌های هواشناسی مؤثر بر آسایش حرارتی به صورت میدانی در سه فصل سال در گذر شنبدی واقع در بافت تاریخی بوشهر برداشت شده است. دمای هوا، رطوبت و سرعت باد و تابش با استفاده از دستگاه‌های اندازه‌گیری به دست آمده و به منظور انجام محاسبه میانگین دمای تابشی از نرم‌افزار RAYman نسخه ۱/۲ استفاده شده است. نتایج تحقیق نشان می‌دهد که در ساعات ابتدایی روز محصوریت فضایی، در میانه روز برای تابش و در بیشتر ساعات روز جریان باد بیشترین تأثیر را بر میانگین دمای تابشی در این محدوده داشته است.

## کلیدواژه

گذرشنبدی، محصوریت فضا، میانگین دمای تابشی، نرم‌افزار RAYman.

## ۱. سرآغاز

در فضای داخلی است. پارامترهای حرارتی فضاهای داخلی ساختمان در ارتباط مستقیم با شرایط حرارتی محیط بیرونی است. برای کنترل و بهینه‌سازی رفتار حرارتی در ساختمان‌ها، نخستین و مهمترین اقدام ایجاد شرایط مناسب در محیط بیرونی ساختمان‌ها و فضاهای عمومی شهری است. در اقلیم گرم ایجاد محصوریت در فضای باز شهری موجب ایجاد سایه بیشتر و کاهش دمای تابشی و در نتیجه بهبود شرایط آسایش و استفاده کمتر از انرژی سرمایشی در

شهرنشینی موجب تغییر در محیط طبیعی و تبدیل آن به محیط مصنوع می‌شود. امروزه تغییرات مورفولوژی، کاهش گیاهان و فضای سبز، آلودگی هوا و ساخت وسازهای بی‌رویه موجب برهم زدن محیط زیست و افزایش دما در شهرها شده است. یکی از مداخلات مثبت برای حفاظت از محیط زیست در شهرها استفاده کمتر از سیستم‌های تهویه مطبوع در ساختمان‌ها برای ایجاد شرایط حرارتی مناسب

ساختمان‌ها و صرفه‌جویی در مصرف انرژی می‌شود. طراحی فضای باز برای بهبود شرایط زیست‌محیطی باید در چارچوب‌های مناسب در طراحی شهری امروزی ما گنجانده شود.

بافت قدیم منبع مناسبی برای طراحی شهرها متناسب با اقلیم است. پارامترهای هواشناسی همچون دمای هوا، رطوبت هوا، سرعت باد و تابش حرارتی به‌عنوان عوامل حرارتی و اثر حرارتی فیزیولوژیکی نقش پررنگی در انسان و در نتیجه آسایش حرارتی انسان دارند. محصوریت یکی از متغیرهای مهم و تأثیرگذار بر عوامل و مشخصات اقلیمی است. میانگین دمای تابشی<sup>۱</sup> یکی از عوامل مهم و مؤثر بر ایجاد آسایش حرارتی انسان‌ها است. تعیین متغیر میانگین دمای تابشی در عمل و به‌خصوص در محیط‌های شهری بسیار پیچیده است. میانگین دمای تابشی تحت تأثیر پارامترهای اقلیمی چون دمای هوا، رطوبت، دمای تابشی و باد و همین‌طور جهت قرارگیری و محصوریت فضا است.

بررسی متغیر میانگین دمای تابشی در اقلیم گرم (به‌دلیل تأثیر زیادی در ایجاد آسایش حرارتی) از حساسیت زیادی برخوردار است. در گذشته در بافت قدیم دمای میانگین تابشی را با ایجاد سایه متعادل می‌کرده‌اند. از استراتژی‌های به‌کار رفته در بافت‌های تاریخی برای ایجاد سایه می‌توان به ساخت دیوارهای بلند، عرض کم‌گذر، کاشت درختان و ایجاد سایبان اشاره کرد.

هدف از این مطالعه بررسی متغیر میانگین دمای تابشی در محله شنبیدی واقع در بافت قدیم بوشهر است. در این ناحیه محصوریت به‌وسیله ارتفاع ساختمان‌ها و تغییر عرض گذر ایجاد شده است. در این پژوهش مقدار میانگین دمای تابشی در فضاها شهری با محصوریت‌های متفاوت اندازه‌گیری شده است.

## ۲. مبانی نظری پژوهش

در محیط خارجی، انتقال انرژی تابشی (جذب و دفع حرارت از طریق تابش) مهم‌ترین تأثیر را برای متعادل

کردن حرارت بدن انسان به‌خصوص در شرایط آفتابی دارد. مهم‌ترین متغیرهای هواشناسی شرایط حرارتی و گرما، دمای هوا، رطوبت نسبی، سرعت باد و میانگین دمای تابشی هستند. تعیین میانگین دمای تابشی مشکلی در زمینه اقلیم‌شناسی زیستی انسان است. میانگین دمای تابشی (°C)، معرف پارامترهای تأثیرگذار از محیط تابشی پیچیده (حاوی چندین موج تابشی با طول موج بلند و بالا) بر شاخص حرارتی است (Kántor & Unger, 2011). میانگین دمای تابشی، مجموعه‌ای از جریان‌ات تابشی با طول موج بلند و کوتاه است، بدن انسان در معرض یکی از مهمترین پارامترهای هواشناسی و آسایش حرارتی است. میانگین دمای تابشی به‌عنوان «دمای یکنواخت از محصوریتی فرضی در گرمای تابشی منتقل شده از بدن انسان هم‌ارز با گرمای تابشی منتقل شده در محصوریت ناهمگن واقعی است (ASHRAE, 2001).

مطالعات بسیاری با محتوای ارزیابی آسایش حرارتی در فضای باز انجام گرفته است که احساس حرارت مردم در شرایط اقلیمی متفاوت را بررسی می‌کنند. یکی از نخستین پژوهش‌ها در این زمینه مطالعه‌ای است که در محیط‌های مختلف شهری، آسایش حرارتی انسان را بر پایه شاخص پیش‌بینی متوسط نظر، رطوبت پوست و شاخص دمای معادل فیزیولوژیک در مونیخ آلمان انجام شد (Mayer & Höpfe, 1987). در سال ۱۹۹۱ مطالعه‌ای میدانی در ساحلی در ایتالیا انجام گرفت. نتایج نشان داد که نور خورشید و آب‌وهوای مناسب مهمترین عوامل برای انتخاب ساحل به‌عنوان مقصد برای مسافران است (Höppe & Seidl, 1991). در تحقیق دیگری پارامترهای انسانی مؤثر بر آسایش در فضای باز شهری مطالعه شد (Nikolopoulou et al., 2001). در تحقیقی که در سال ۲۰۱۰ درباره تأثیر میانگین دمای تابشی بر روی آسایش حرارتی انسان در محیط شهری انجام گرفت، مشخص شد که سرعت باد و میانگین دمای تابشی می‌تواند به‌وسیله ارتفاع و عرض محیط شهری تغییر کند (Herrmann &

خورشید امکان‌پذیر است و اهمیت آن با ارتفاع خورشید افزایش می‌یابد (Kántor & Unger, 2011). در فضاهای باز شهری، میانگین دمای تابشی نخست با هندسه ساختمان، طرح خیابان، بازتاب نما و زمین، و پوشش گیاهی تعیین می‌شود. این ترکیبات می‌تواند به‌طور مؤثر با مداخلات طراحی تغییر داده شود (Chen et al., 2016). شهر بوشهر در اقلیم گرم و مرطوب قرار گرفته و ایجاد آسایش حرارتی برای مردم از ضروریات این شهر است. طراحی محیطی در کنترل میانگین دمای تابشی می‌تواند سبب بهبود احساس آسایش حرارتی و افزایش مطلوبیت فضایی در شهرهایی با شرایط اقلیمی نامناسب شود. در این پژوهش میزان تأثیر هر یک از عوامل بر میانگین دمای تابشی در محیط‌های شهری با محصوریت‌های فضایی مختلف مطالعه شده است. با مشخص شدن درجه اهمیت هر یک از این عوامل می‌توان اولویت‌های کالبدی برای مداخله در محیط مطالعه شده برای ارتقای آسایش حرارتی را تعیین کرد.

### ۳. روش‌شناسی پژوهش

سه روش مختلف برای محاسبه و مدل‌سازی میانگین دمای تابشی در فضای خارجی و در محیط شهری وجود دارد:

(۱) اندازه‌گیری تابش کامل. محاسبه میانگین دمای تابشی بر پایه عوامل زاویه‌ای برای

- i. یک شخص ایستاده یا در حال قدم زدن
- ii. یک حوزه یا محیط فعالیت

(۲) دماسنج ۳۸ میلیمتری جهانی تخت خاکستری

(۳) نرم‌افزار RAY man نسخه ۱/۲ (Thorsson et al., 2007).

محاسبه میانگین دمای تابشی با توجه به معادله ISO 7726 (ISO, 1998) به صورت زیر است:

$$T_{mn} = \left[ (T_g + 273)^4 + \frac{1.1 \times 10^8 \times V_a^{0.6}}{\varepsilon \times D^{0.4}} \times (T_g - T_a) \right]^{0.25} - 273.$$

در این معادله  $T_g$  برابر با دمای کروی؛  $T_a$  برابر با دمای هوا؛  $V_a$  برابر با سرعت باد؛  $D$  برابر با شعاع گوی دستگاه اندازه‌گیری و  $\varepsilon$  برابر با ضریب جذب گوی است. اما در

(Matzarakis, 2010) در سال ۲۰۱۷ مطالعه‌ای برای تعیین تأثیر ضریب دید به آسمان بر میانگین دمای تابشی انجام شده است (Lai et al., 2017). تارک راخا و همکارانش (۲۰۱۷) شبیه‌سازی میانگین دمای تابشی برای شهر سیراکوس در امریکا انجام داده‌اند و عوامل مؤثر بر آن را بررسی کرده‌اند.

در ایران مطالعات بسیاری در زمینه تعیین محدوده آسایش حرارتی و تأثیر آن بر محیط صورت گرفته است. به تأثیر عوامل مختلف بر میانگین دمای تابشی در این مطالعات توجهی نشده است. بسیاری از محققان در زمینه آسایش حرارتی در مطالعاتشان بر لزوم توجه به متغیر میانگین دمای تابشی تأکید کرده‌اند.

در مطالعات آسایش حرارتی در فضای باز، میانگین دمای تابشی پارامتر مناسب‌تری از پارامترهای معمول مانند دمای هوا است (Lau et al., 2016). میانگین دمای تابشی به‌عنوان معیاری بیشتر از دمای هوا و یا درجه حرارت به تجزیه و تحلیل تأثیر آب و هوا بر آسایش مردم می‌پردازد (Thorsson et al, 2014). اهمیت میانگین دمای تابشی در ارزیابی نحوه زندگی (مربوط به اقلیم) انسان با تجزیه و تحلیل تنش گرما آشکار است. میانگین دمای تابشی برای محاسبه شاخص‌های حرارتی مانند شاخص جهانی حرارتی اقلیمی<sup>۲</sup> (Jendritzky et al., 2012)، و دمای ادراک شده<sup>۳</sup> (Staiger et al., 2012)، پیش‌بینی متوسط نظر<sup>۴</sup> (Fanger, 1973)، و دمای معادل فیزیولوژیکی<sup>۵</sup> مورد نیاز است (Matzarakis et al., 1999). میانگین دمای تابشی متغیری کلیدی در آسایش حرارتی و فعالیت‌های پیاده است (Nikolopoulou & Lykoudis, 2006). پرداختن به این موضوع برای طراحی شهرهایی با قابلیت پیاده‌مداری و ارتقاء پایداری ضروری است.

اهمیت نسبی میانگین دمای تابش بستگی به ساعتی از روز و سال و همچنین موقعیت مکانی دارد. تابش ساعت شب منحصرأ شامل اجزای موج بلند است؛ تابش موج کوتاه تنها در ساعاتی وجود دارد که دسترسی به نور

برداشت میدانی بدست آمده است. داده‌ها در سه فصل از سال برداشت شده است. در جدول زیر مشخصات دستگاه‌های استفاده شده در این تحقیق بیان شده است. مقدار دما و رطوبت نسبی مورد نیاز برای محاسبه میانگین دمای تابشی را با استفاده از دستگاه WBGT در فاصله زمانی ۳۰ ثانیه اندازه‌گیری شده و مقدار سرعت باد با استفاده از دستگاه ANOMETR 3880 و در فاصله زمانی ۵ دقیقه برداشت شده است. برداشت داده‌ها در ارتفاع ۱/۷ متر از سطح زمین صورت گرفته است.

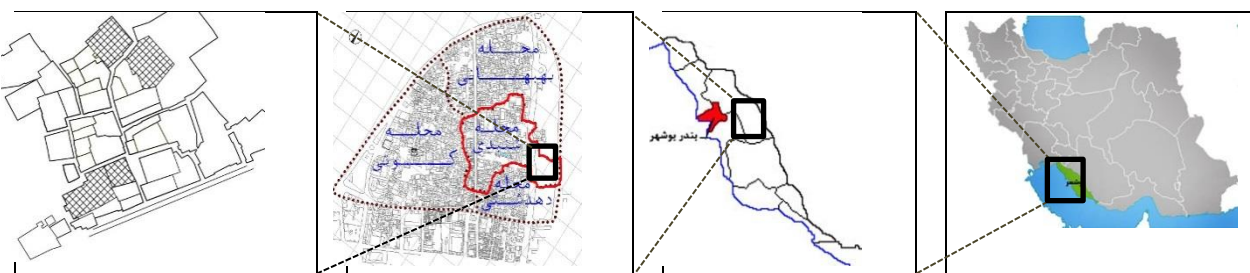
#### ۴. معرفی محدوده مطالعاتی

بندر بوشهر در جنوب غربی کشور و در عرض جغرافیایی ۲۸ درجه و ۵۵ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۰ درجه و ۵۵ دقیقه شرقی قرار دارد. بافت تاریخی بوشهر که در شمالی‌ترین نقطه شبه جزیره بوشهر قرار دارد شکلی مثلثی دارد و از سه طرف (شرق، غرب و شمال) به دریا و از یک طرف (جنوب) به خشکی متصل است. بافت قدیم بندر بوشهر از چهار محله «دهدشتی»، «شنبدی»، «کوتی» و «بهبهانی» تشکیل شده و به «چهارمحل» معروف است. محدوده مورد مطالعه در این پژوهش در محله شنبدی واقع شده است.

این تحقیق برای محاسبه مقدار میانگین دمای تابشی از مدل RAY man نسخه ۱/۲ استفاده شده است. نرم‌افزار RAY man ۱/۲ ابزاری برای محاسبه میانگین دمای تابشی و شاخص‌های حرارتی همچون پیش‌بینی متوسط نظر، دمای مؤثر استاندارد و دمای معادل فیزیولوژیکی در ساختارهای شهری است. این نرم‌افزار مدلی تابشی و اقلیمی است که جریان‌های تابشی را به خوبی محاسبه می‌کند. مزیت اصلی RAYman تسهیل تعیین تغییرات خرد اقلیم از محیط‌های مختلف شهری است، پس از مدل برای تخمین آثار تابش در نظر گرفته شده از ساختار سطح پیچیده (برای مثال ساختمان‌ها، درختان) به صورت بسیار دقیق استفاده می‌شود. علاوه بر پارامترهای هواشناسی، این نرم‌افزار نیاز به داده‌های ورودی برای شرایط سطح مورفولوژیکی منطقه و پارامترهای شخصی دارد (Gulya's et al., 2006). مؤلفه‌های مؤثر برای محاسبه میانگین دمای تابشی با استفاده از نرم‌افزار RAYman شامل داده‌های اقلیمی نظیر دمای هوا، رطوبت، سرعت جریان باد و میزان پوشش ابر و اطلاعات جغرافیایی شامل طول و عرض جغرافیایی و ارتفاع از سطح دریا و همچنین تاریخ و ساعت محاسبه میانگین دمای تابشی است. در این پژوهش داده‌های هواشناسی با استفاده از

جدول ۱. مشخصات دستگاه‌های استفاده شده در این پژوهش

متغیر	واحد	دستگاه	میزان خطا	روش ذخیره	فاصله زمانی	شرکت کالیبره‌کننده
دمای هوا	°C	2010 WBGT SD	۱	اتوماتیک	۳۰ ثانیه	Lutron
رطوبت نسبی	%	2010 WBGT SD		اتوماتیک	۳۰ ثانیه	Lutron
سرعت باد	m/s	ANOMETR3880		دستی	۵ دقیقه	STANDARD



شکل ۱. محدوده مورد مطالعه در کشور، در استان، در بافت قدیم شهر، در محله

عمارت‌های ارزشمند و زیبایی در این محله وجود دارند و همچنین بازار قدیمی بوشهر نیز در این محله واقع شده است که بخشی از آن مرمت و بازآفرینی شده است. در محدوده مورد مطالعه ۷ مقطع با محصوریت فضایی متفاوت در نظر گرفته شده است.

محله شنبدی یکی از ۴ محله قدیمی شهر است و شرایط اقلیمی در ساخت آن تأثیر بسزایی داشته است. محدوده‌ای که در محله شنبدی در نظر گرفته شده در جهت شمال غربی - جنوب شرقی قرار گرفته است. چند گذر منتهی به این محدوده، در ساعات مختلف روز، ورودی و خروجی باد هستند.

			
مقطع شماره ۴ درجه محصوریت: ۲/۲	مقطع شماره ۳ درجه محصوریت: ۰/۹۳	مقطع شماره ۲ درجه محصوریت: ۰/۴۶	مقطع شماره ۱ درجه محصوریت: ۲/۳۵
			
مقطع شماره ۷ درجه محصوریت: ۲/۶	مقطع شماره ۶ درجه محصوریت: ۱/۲	مقطع شماره ۵ درجه محصوریت: ۳	

شکل ۲. هفت مقطع با محصوریت‌های متفاوت در محدوده برداشت شده

به تفکیک مقاطع مختلف ارائه شده است. مقدار میانگین دمای تابشی در ساعت‌های مختلف با استفاده از نرم‌افزار RAYman محاسبه شده و در نمودار زیر نشان داده شده است.

## ۵. یافته‌ها و بحث

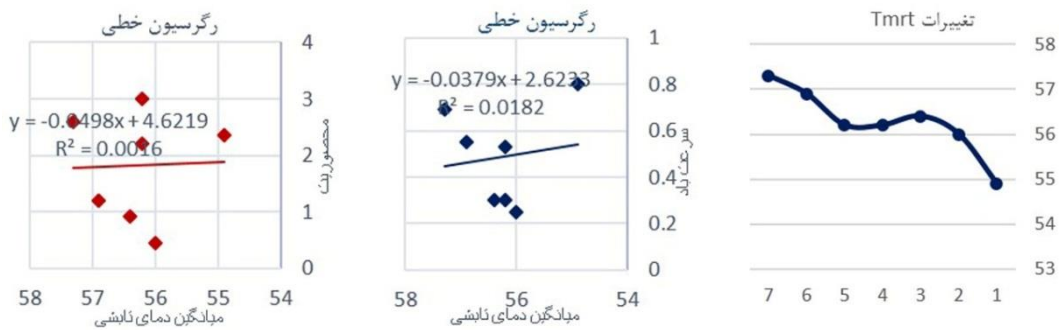
اطلاعات اقلیمی در این محدوده در ۴ مقطع زمانی برداشت شده است. ۲ مرحله برداشت در تابستان، یک برداشت در پاییز و یک برداشت در فصل زمستان انجام گرفته شده است. در جدول زیر میانگین دمای تابشی این ۴ برداشت

جدول ۲. مقدار میانگین دمای تابشی در ۴ مرحله برداشت

روز	نام مقطع	محسوریت (ارتفاع/عرض)	میانگین دمای تابشی (°C)						
			۱۰-۸	۱۲-۱۰	۱۴-۱۲	۱۶-۱۴	۱۸-۱۶		
برداشت شماره ۱	شماره ۱	۲/۳۵	۵۴/۹	۶۷/۴	۶۹/۹	۷۰	۵۷/۱	۲۵/۴	۲۷/۷
	شماره ۲	۰/۴۶	۵۶	۶۹/۴	۶۷/۴	۶۹/۶	۵۵/۱	۲۵/۳	۲۸/۱
	شماره ۳	۰/۹۳	۵۶/۴	۶۸/۸	۶۸/۹	۷۱/۶	۵۴/۳	۲۵/۳	۲۷/۸
	شماره ۴	۲/۲	۵۶/۲	۶۶/۷	۷۰/۱	۷۲/۹	۵۴/۶	۲۵/۱	۲۷/۸
	شماره ۵	۳	۵۶/۲	۶۸/۸	۷۰	۶۷/۹	۵۳/۵	۲۵/۸	۲۷/۴
	شماره ۶	۱/۲	۵۶/۹	۶۸/۹	۷۰/۲	۶۶/۶	۵۵/۲	۲۵/۷	۲۷/۲
	شماره ۷	۲/۶	۵۷/۳	۶۹/۱	۷۳/۴	۶۸/۵	۵۴/۹	۲۵/۹	۲۷/۲
برداشت شماره ۲	شماره ۱	۲/۳۵	-	۶۳/۸	۶۶/۱	۷۱/۳	۵۷/۱	۲۹/۵	۲۵/۳
	شماره ۲	۰/۴۶	-	۶۴/۲	۶۷/۳	۷۱/۱	۵۵/۱	۲۹/۲	۲۴/۹
	شماره ۳	۰/۹۳	-	۶۲/۳	۶۶/۹	۶۹/۶	۵۴/۳	۲۹	۲۴/۷
	شماره ۴	۲/۲	-	۶۳/۴	۶۷/۸	۷۱/۹	۵۴/۶	۲۸/۸	۲۴/۵
	شماره ۵	۳	-	۶۵/۳	۶۸/۴	۶۹/۶	۵۳/۵	۲۸/۸	۲۴/۸
	شماره ۶	۱/۲	-	۶۴	۶۸/۴	۷۱/۵	۵۵/۲	۲۸/۹	۲۴/۹
	شماره ۷	۲/۶	-	۶۳/۵	۶۹/۱	۷۱	۵۴/۹	۲۸/۷	۲۴/۹
برداشت شماره ۳	شماره ۱	۲/۳۵	۳۲/۲	۴۸/۹	۵۵/۴	۵۲/۷	۳۳/۱	۱۷/۲	-
	شماره ۲	۰/۴۶	۳۲/۱	۴۹/۸	۵۳/۶	۵۰/۲	۳۲/۶	۱۶/۹	-
	شماره ۳	۰/۹۳	۳۲/۵	۴۹/۶	۵۴/۴	۵۱/۲	۳۳/۱	۱۶/۷	-
	شماره ۴	۲/۲	۳۲/۲	۵۰/۸	۵۶	۵۲	۳۳/۲	۱۶/۴	-
	شماره ۵	۳	۳۲/۶	۴۹/۹	۵۵/۲	۴۹/۷	۳۲/۹	۱۶/۳	-
	شماره ۶	۱/۲	۳۳/۲	۵۰/۸	۵۵	۵۰/۹	۳۳/۲	۱۶/۴	-
	شماره ۷	۲/۶	۳۲/۳	۵۰	۵۶/۱	۵۳	۳۳/۴	۱۶	-
برداشت شماره ۴	شماره ۱	۲/۳۵	۲۲	۴۱/۳	۴۵/۳	۴۳	۲۵/۹	۴/۳	-
	شماره ۲	۰/۴۶	۲۱/۵	۴۰/۲	۴۵/۷	۴۲/۹	۲۵/۶	۳/۸	-
	شماره ۳	۰/۹۳	۲۱/۵	۴۱/۲	۴۶/۳	۴۳/۵	۲۵/۸	۳/۵	-
	شماره ۴	۲/۲	۲۲/۹	۳۹/۵	۴۷/۴	۴۳/۵	۲۵/۷	۳/۵	-
	شماره ۵	۳	۲۲/۳	۴۲/۱	۴۸/۲	۴۴/۳	۲۵/۷	۳/۱	-
	شماره ۶	۱/۲	۲۲/۱	۴۰/۴	۴۷/۸	۴۵	۲۵/۷	۳/۳	-
	شماره ۷	۲/۶	۲۲/۸	۴۱/۴	۴۷/۶	۴۵/۶	۲۶	۳/۲	-

مقطع آخر با محصوریت ۲/۶ و سرعت باد ۰/۶۹ متر بر ثانیه مقدار میانگین دمای تابشی برابر با ۵۷/۳ °C است. در رگرسیون خطی (رابطه بین محصوریت با میانگین دمای تابشی) ساعت ۸-۱۰ شیب خط برابر است با ۰/۰۵- و این نشان‌دهنده رابطه معکوس محصوریت با میانگین دمای تابشی است. در نمودار رابطه بین سرعت باد با میانگین دمای تابشی معادله خط به صورت  $y = -0.0379x + 2.6233$  است که دارای شیب کمتر نسبت به رگرسیون نخست است. در این ساعت مقدار دو شیب بسیار پایین است که این نشان‌دهنده رابطه پایین بین میانگین دمای تابشی با محصوریت و سرعت باد است. در نمودارهای شکل ۴ می‌توان تغییرات دما، رطوبت و باد را در مقاطع مختلف در بازه زمانی ۸-۱۰ مشاهده کرد.

ساعت ۸-۱۰ صبح در محصوریت (نسبت ارتفاع به عرض) ۲/۳۵ و با سرعت باد ۰/۸ متر بر ثانیه مقدار میانگین دمای تابشی برابر با ۵۴/۹ °C شده است، در محصوریت ۰/۴۶ و با سرعت باد ۰/۲۵ متر بر ثانیه مقدار میانگین دمای تابشی برابر با ۵۶ °C در محصوریت شماره ۳ که محصوریت برابر با ۰/۹۳ و سرعت باد ۰/۳ متر بر ثانیه است مقدار برداشت‌شده میانگین دمای تابشی برابر با ۵۶/۴ °C است. در مقطع بعدی با محصوریت ۲/۲ و سرعت باد ۰/۵۳ متر بر ثانیه مقدار میانگین دمای تابشی برابر با ۵۶/۲ °C است. در مقطع دیگر با محصوریت ۳ و سرعت باد ۰/۳ متر بر ثانیه مقدار میانگین دمای تابشی، ۵۶/۲ °C است. در مقطع ۶ با محصوریت ۱/۲ و سرعت باد ۰/۵۵ متر بر ثانیه مقدار میانگین دمای تابشی برابر است با ۵۶/۹ درجه سانتی‌گراد. در



رگرسیون خطی در ساعت ۸-۱۰ در برداشت نخست

رگرسیون خطی در ساعت ۸-۱۰ در برداشت نخست

تغییرات میانگین دمای تابشی در ساعت ۸-۱۰ در برداشت نخست

شکل ۳. نمودار رگرسیون خطی و تغییرات میانگین دمای تابشی در ساعت ۸-۱۰



تغییرات سرعت باد در ساعت ۸-۱۰ در برداشت نخست

تغییرات دما در ساعت ۸-۱۰ در برداشت نخست

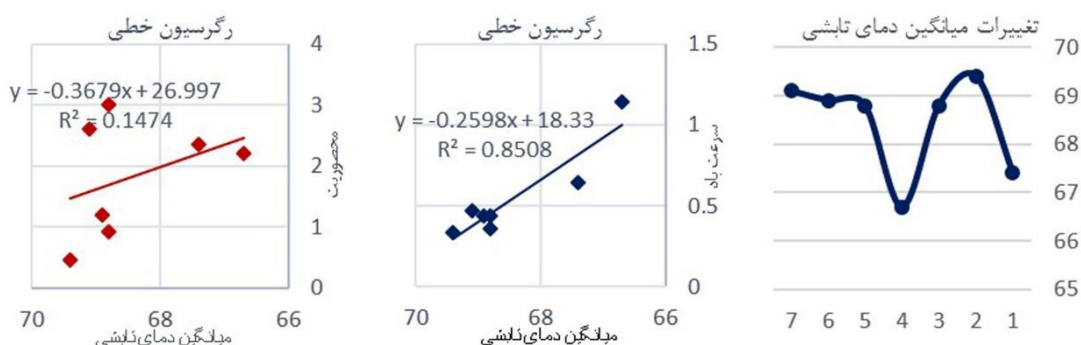
تغییرات رطوبت در ساعت ۸-۱۰ در برداشت نخست

شکل ۴. نمودار تغییرات رطوبت، دما و سرعت باد در ساعت ۸-۱۰

بر ثانیه مقدار میانگین دمای تابشی برابر با ۶۹/۱ درجه سانتی‌گراد است.

در رگرسیون خطی بالا که رابطه بین میانگین دمای تابشی و سرعت باد را نشان می‌دهد شیب به صورت نزولی و مقدار R برابر با ۰/۹ است که این نشان‌دهنده رابطه قوی بین این دو متغیر است. در رگرسیون خطی که رابطه میانگین دمای تابشی با محصوریت را نشان می‌دهد شیب به صورت نزولی است اما مقدار وابستگی آن از وابستگی رگرسیون قبلی کمتر است. با مقایسه دو نمودار تغییرات میانگین تابشی و سرعت باد نیز می‌توان به رابطه قوی بین این دو متغیر پی برد. مقدار همبستگی میانگین دمای تابشی با سرعت باد و محصوریت بسیار بیشتر از ساعات نخستین صبح است. در نمودار زیر تغییرات دما، رطوبت و سرعت باد نشان داده شده است.

در بازه زمانی ۱۰-۱۲ صبح در مقطع نخست با مقدار محصوریت ۲/۳۵ و سرعت باد ۰/۶۴ متر بر ثانیه مقدار میانگین دمای تابشی برابر با ۶۷/۴ درجه سانتی‌گراد است. در محصوریت ۰/۴۶ و سرعت باد ۰/۳۳ متر بر ثانیه مقدار میانگین دمای تابشی برابر با ۶۹/۴ °C است. در مقطع بعدی با محصوریت ۰/۹۳ و سرعت باد ۰/۴۴ m/s مقدار میانگین دمای تابشی برابر با ۶۸/۸ درجه سانتی‌گراد است. در محصوریت ۲/۲ و سرعت باد ۱/۱۴ متر بر ثانیه مقدار میانگین دمای تابشی برابر با ۶۶/۷ درجه سانتی‌گراد است. در محصوریت ۳ و سرعت باد ۰/۳۶ متر بر ثانیه مقدار میانگین دمای تابشی برابر با ۶۸/۸ °C است. در مقطع بعدی با محصوریت ۱/۲ و سرعت باد ۰/۴۴ m/s مقدار میانگین دمای تابشی برابر با ۶۸/۹ درجه سانتی‌گراد است. در مقطع آخر با محصوریت ۲/۶ و با سرعت باد ۰/۴۷ متر



رگرسیون خطی در ساعت ۱۰-۱۲ در برداشت نخست

رگرسیون خطی در ساعت ۱۰-۱۲ در برداشت نخست

تغییرات میانگین دمای تابشی در ساعت ۱۰-۱۲ در برداشت نخست

شکل ۵. نمودار رگرسیون خطی و تغییرات میانگین دمای تابشی در ساعت ۱۰-۱۲

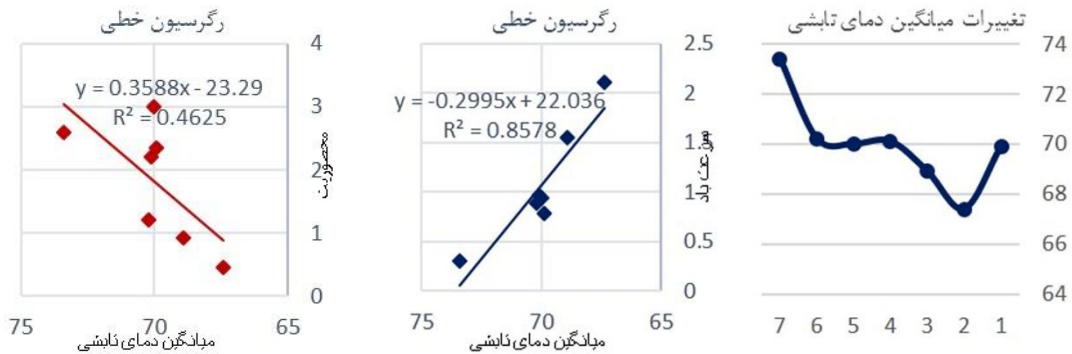


شکل ۶. نمودار تغییرات رطوبت، دما و سرعت باد در ساعت ۱۰-۱۲



میانگین دمای تابشی برابر با ۷۰/۱ درجه سانتی‌گراد، در مقطع ۵ با درجهٔ محصوریت ۳ با سرعت باد ۰/۹۴ متر بر ثانیه مقدار میانگین دمای تابشی برابر با ۷۰ °C، در مقطع با محصوریت ۱/۲ و با سرعت باد ۰/۸۹ متر بر ثانیه مقدار میانگین دمای تابشی برابر با ۷۰/۲ °C شده است، در مقطع آخر با محصوریت ۲/۶ و سرعت باد ۰/۳ متر بر ثانیه مقدار میانگین دمای تابشی برابر با ۷۳/۴ درجه سانتی‌گراد است.

در بازهٔ زمانی ۱۲-۱۴، مقطع با محصوریت ۲/۳۵ دارای سرعت باد ۰/۷۸ متر بر ثانیه دارای مقدار میانگین دمای تابشی برابر با ۶۹/۹ درجه سانتی‌گراد، در مقطع با محصوریت ۰/۴۶ و با سرعت باد ۲/۱۱ متر بر ثانیه مقدار میانگین دمای تابشی برابر با ۶۷/۴ °C شده است، در مقطع شمارهٔ ۳ با محصوریت ۰/۹۳ و سرعت باد ۱/۵۵ متر بر ثانیه مقدار میانگین دمای تابشی برابر با ۶۸/۹ °C، در مقطع با محصوریت ۲/۲ با سرعت باد ۰/۹۷ متر بر ثانیه مقدار



رگرسیون خطی در ساعت ۱۲-۱۴ در برداشت نخست

رگرسیون خطی در ساعت ۱۲-۱۴ در برداشت نخست

تغییرات میانگین دمای تابشی در ساعت ۱۲-۱۴ در برداشت نخست

شکل ۷. نمودار رگرسیون خطی و تغییرات میانگین دمای تابشی در ساعت ۱۲-۱۴



تغییرات سرعت باد در ساعت ۱۲-۱۴ در برداشت نخست

تغییرات دما در ساعت ۱۲-۱۴ در برداشت نخست

تغییرات رطوبت در ساعت ۱۲-۱۴ در برداشت نخست

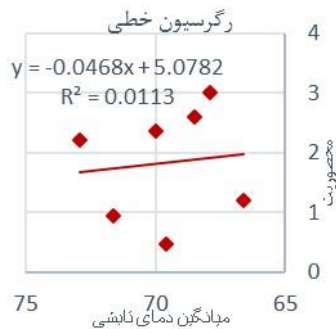
شکل ۸. نمودار تغییرات رطوبت، دما و سرعت باد در ساعت ۱۲-۱۴

در محصوریت ۲/۲ و سرعت باد ۰/۱۴ متر بر ثانیه مقدار میانگین دمای تابشی برابر با ۷۲/۹ درجه سانتی‌گراد است. در محصوریت ۳ و سرعت باد ۱/۵۸ متر بر ثانیه مقدار میانگین دمای تابشی برابر با ۶۷/۹ °C است. در مقطع بعدی با محصوریت ۱/۲ و سرعت باد ۳/۳۳ m/s مقدار میانگین دمای تابشی برابر با ۶۶/۶ درجه سانتی‌گراد است. در مقطع آخر با محصوریت ۲/۶ و با سرعت باد ۱/۶۶ متر بر ثانیه مقدار میانگین دمای تابشی برابر با ۶۸/۵ درجه سانتی‌گراد است.

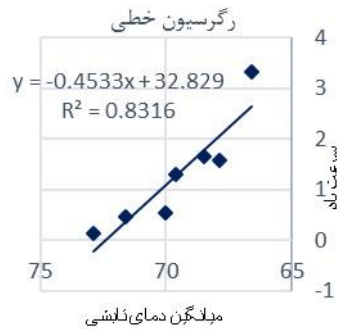
در نمودار رگرسیون خطی (رابطه بین محصوریت با میانگین دمای تابشی) ساعت ۱۴-۱۶ شیب خط برابر است با ۰/۰۴۷- و این نشان‌دهنده رابطه معکوس محصوریت با میانگین دمای تابشی است. در نمودار رگرسیون بعدی (رابطه بین سرعت باد با میانگین دمای تابشی) معادله خط به صورت  $y = -0.4533x + 32.829$  است که دارای شیب بیشتر نسبت به رگرسیون نخست است. در این معادله مقدار R برابر با ۰/۹۱ است که در این بازه زمانی نیز این عدد نشان‌دهنده رابطه قوی بین این دو متغیر است، البته با مقایسه دو نمودار تغییرات باد و رگرسیون خطی (رابطه بین سرعت باد با میانگین دمای تابشی) نیز می‌توان به رابطه بین دو متغیر پی برد. در نمودارهای زیر می‌توان تغییرات دما، رطوبت و باد را در مقاطع مختلف در بازه زمانی ۱۴-۱۶ مشاهده کرد.

در رگرسیون خطی که رابطه بین میانگین دمای تابشی و محصوریت را نشان می‌دهد شیب خط به صورت مثبت و صعودی است که این نشان‌دهنده رابطه مستقیم بین این دو متغیر است در ساعت ۱۲ به دلیل موقعیت قرارگیری خورشید محصوریت نمی‌تواند تأثیری بر کاهش مقدار میانگین دمای تابشی داشته باشد. در رگرسیون خطی که رابطه بین میانگین دمای تابشی و سرعت باد را نشان می‌دهد مقدار R برابر با ۰/۹۲ است که این وابستگی و رابطه شدید بین این دو متغیر را نشان می‌دهد و از آنجا که شیب آن منفی است میانگین دمای تابشی با سرعت باد رابطه معکوس دارند. از مقایسه دو نمودار تغییرات باد و تغییرات میانگین دمای تابشی می‌توان به این نکته پی برد که در این بازه زمانی سرعت باد تأثیر زیادی بر مقدار میانگین دمای تابشی داشته است. در نمودار زیر تغییرات رطوبت، دما و سرعت باد را در بازه زمانی ۱۲-۱۴ در مقاطع نشان می‌دهد.

در ادامه تغییرات میانگین دمای تابشی در بازه زمانی ۱۴-۱۶ بررسی شده است. در مقطع نخست با مقدار محصوریت ۲/۳۵ و سرعت باد ۰/۵۳ متر بر ثانیه مقدار میانگین دمای تابشی برابر با ۷۰ درجه سانتی‌گراد است. در محصوریت ۰/۴۶ و سرعت باد ۱/۳ متر بر ثانیه مقدار میانگین دمای تابشی برابر با ۶۹/۶ °C است. در مقطع بعدی با محصوریت ۰/۹۳ و سرعت باد ۰/۴۷ m/s مقدار میانگین دمای تابشی برابر با ۷۱/۶ درجه سانتی‌گراد است.



رگرسیون خطی در ساعت ۱۴-۱۶ در برداشت نخست

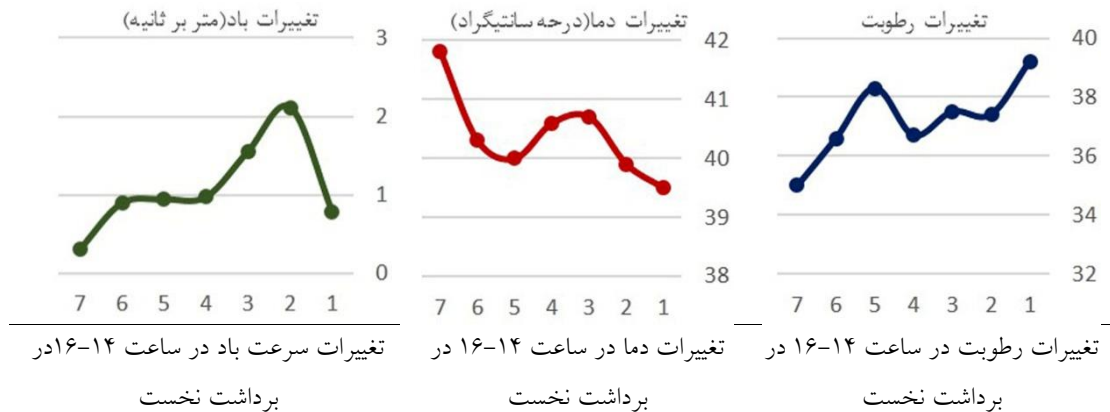


رگرسیون خطی در ساعت ۱۴-۱۶ در برداشت نخست

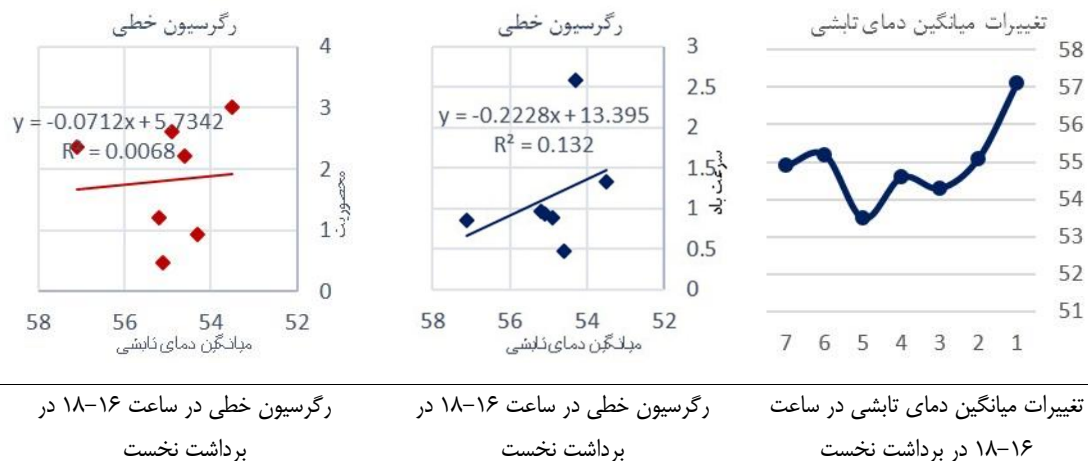


تغییرات میانگین دمای تابشی در ساعت ۱۴-۱۶ در برداشت نخست

شکل ۹. نمودار رگرسیون خطی و تغییرات میانگین دمای تابشی در ساعت ۱۴-۱۶



شکل ۱۰. نمودار تغییرات رطوبت، دما و سرعت باد در ساعت ۱۴-۱۶



شکل ۱۱. نمودار رگرسیون خطی و تغییرات میانگین دمای تابشی در ساعت ۱۶-۱۸

میانگین دمای تابشی برابر با  $53/5^{\circ}\text{C}$  است. در مقطع بعدی با محصوریت  $1/2$  و سرعت باد  $0/97\text{ m/s}$  مقدار میانگین دمای تابشی برابر با  $55/2$  درجه سانتی گراد است. در مقطع آخر با محصوریت  $2/6$  و با سرعت باد  $0/89$  متر بر ثانیه مقدار میانگین دمای تابشی برابر با  $54/9$  درجه سانتی گراد است.

در رگرسیون خطی که رابطه بین میانگین دمای تابشی و محصوریت را نشان می‌دهد شیب خط به صورت منفی و نزولی است که این نشان‌دهنده رابطه غیر مستقیم بین این دو متغیر است و مانند ساعت قبلی رابطه کمی بین

در بازه زمانی ۱۶-۱۸ در مقطع نخست با مقدار محصوریت  $2/35$  و سرعت باد  $0/86$  متر بر ثانیه مقدار میانگین دمای تابشی برابر با  $57/1$  درجه سانتی گراد است. در محصوریت  $0/46$  و سرعت باد  $0/94$  متر بر ثانیه مقدار میانگین دمای تابشی برابر با  $55/1^{\circ}\text{C}$  است. در مقطع بعدی با محصوریت  $0/93$  و سرعت باد  $2/58\text{ m/s}$  مقدار میانگین دمای تابشی برابر با  $54/3$  درجه سانتی گراد است. در محصوریت  $2/2$  و سرعت باد  $0/47$  متر بر ثانیه مقدار میانگین دمای تابشی برابر با  $54/6$  درجه سانتی گراد است. در محصوریت  $3$  و سرعت باد  $1/33$  متر بر ثانیه مقدار

محصولیت ۰/۴۶ و با سرعت باد ۲/۰۸ متر بر ثانیه مقدار میانگین دمای تابشی برابر با  $25/3^{\circ}\text{C}$  شده است، در مقطع شماره ۳ با محصولیت ۰/۹۳ و سرعت باد ۲/۳۱ متر بر ثانیه مقدار میانگین دمای تابشی برابر با  $25/3^{\circ}\text{C}$ ، در مقطع با محصولیت ۲/۲ با سرعت باد ۰/۸۳ متر بر ثانیه مقدار میانگین دمای تابشی برابر با  $25/1^{\circ}\text{C}$  درجه سانتی گراد، در مقطع ۵ با درجه محصولیت ۳ با سرعت باد ۱/۸۹ متر بر ثانیه مقدار میانگین دمای تابشی برابر با  $25/8^{\circ}\text{C}$ ، در مقطع با محصولیت ۱/۲ و با سرعت باد ۱/۱۷ متر بر ثانیه مقدار میانگین دمای تابشی برابر با  $25/7^{\circ}\text{C}$  شده است، در مقطع آخر با محصولیت ۲/۶ و سرعت باد ۱/۵۲ متر بر ثانیه مقدار میانگین دمای تابشی برابر با  $25/9^{\circ}\text{C}$  درجه سانتی گراد است.

محصولیت و میانگین دمای تابشی مشاهده می شود. با نزدیک شدن به ساعت غروب خورشید و کم شدن تابش همبستگی کمی بین محصولیت فضایی و میانگین دمای تابشی مشاهده می شود. در رگرسیون خطی (رابطه بین میانگین دمای تابشی و سرعت باد) شیب خط بیشتر می شود که نشان دهنده رابطه بیشتر میانگین دمای تابشی بیشتر متأثر از باد است تا محصولیت. در نمودار زیر تغییرات رطوبت، دما و سرعت باد را در بازه زمانی ۱۶-۱۸ در مقاطع نشان می دهد.

در بازه زمانی ۱۸-۲۰، مقطع با محصولیت ۲/۳۵ دارای سرعت باد ۲/۶۴ متر بر ثانیه دارای مقدار میانگین دمای تابشی برابر با  $25/4^{\circ}\text{C}$  درجه سانتی گراد، در مقطع با

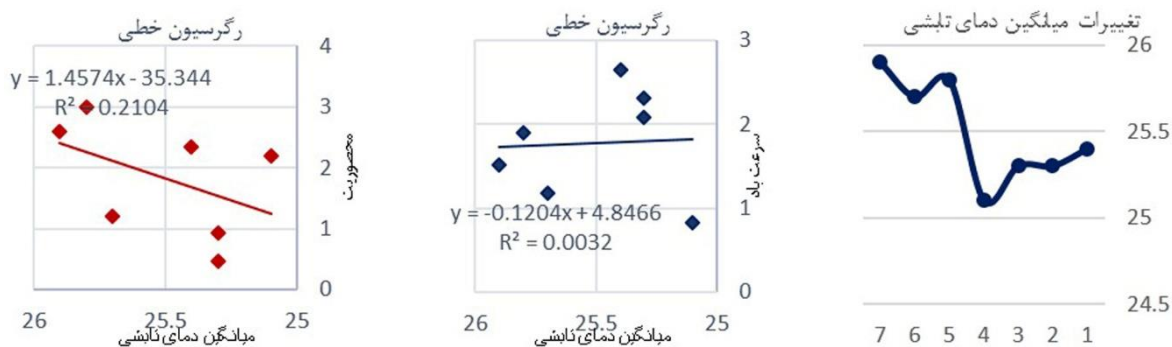


تغییرات سرعت باد در ساعت ۱۶-۱۸ در برداشت نخست

تغییرات دما در ساعت ۱۶-۱۸ در برداشت نخست

تغییرات رطوبت در ساعت ۱۶-۱۸ در برداشت نخست

شکل ۱۲. نمودار تغییرات رطوبت، دما و سرعت باد در ساعت ۱۶-۱۸



رگرسیون خطی در ساعت ۱۸-۲۰ در برداشت نخست

رگرسیون خطی در ساعت ۱۸-۲۰ در برداشت نخست

تغییرات میانگین دمای تابشی در ساعت ۱۸-۲۰ در برداشت نخست

شکل ۱۳. نمودار رگرسیون خطی و تغییرات میانگین دمای تابشی در ساعت ۱۸-۲۰

مقدار نشان داده شده R نشان از عدم تأثیر باد بر مقدار دمای تابش میانگین دارد. در نمودارهای زیر تغییرات دما، رطوبت و باد در بازه زمانی ۱۸-۲۰ آورده شده است. در شکل (۱۵) تغییرات میانگین دمای تابشی، دما، رطوبت و باد را در ساعات مختلف برداشت شده در برداشت مرحله نخست نشان می‌دهد.

نمودار رگرسیون (رابطه بین محصوریت با میانگین دمای تابشی) در بازه زمانی ۱۸-۲۰ دارای شیب مثبت و صعودی با معادله  $y = 1.4574x - 35.344$  است. از این ساعت خورشید در حال غروب کردن است و نمودار و معادله رگرسیون خطی برای میانگین دمای تابشی معنایی ندارد و همبستگی بین این دو متغیر دیده نمی‌شود. در نمودار رگرسیونی که رابطه بین سرعت باد و میانگین دمای تابشی را نشان داده شیب خط دارای مقدار  $-0.12$  است.



تغییرات سرعت باد در ساعت ۱۸-۲۰ در برداشت نخست

تغییرات دما در ساعت ۱۸-۲۰ در برداشت نخست

تغییرات رطوبت در ساعت ۱۸-۲۰ در برداشت نخست

شکل ۱۴. نمودار تغییرات رطوبت، دما و سرعت باد در ساعت ۱۸-۲۰



نمودار میانگین تغییرات باد در ساعات مختلف برداشت شده در برداشت نخست

نمودار میانگین تغییرات میانگین دمای تابشی در ساعات مختلف برداشت شده در برداشت نخست

نمودار میانگین تغییرات رطوبت و دما در ساعات مختلف برداشت شده در برداشت نخست

شکل ۱۵. نمودار تغییرات رطوبت، دما، سرعت باد و میانگین دمای تابشی در کل بازه برداشت

رگرسیون خطی نشان داده شده است. مقدار  $R$  برابر است با ۰/۹۹ که این مقدار نشان دهنده رابطه همبستگی قوی بین اطلاعات برداشت شده با اطلاعات حاصل از ایستگاه هواشناسی وجود دارد.

به منظور اعتبار سنجی و اطمینان از اطلاعات اقلیمی برداشت شده، مقدار میانگین دمای تابشی بدست آمده از برداشت را با میانگین دمای تابشی محاسبه شده از ایستگاه هواشناسی مقایسه کرده و رابطه بین آنها در یک نمودار



شکل ۱۶. رگرسیون خطی رابطه میانگین دمای تابشی برداشت شده با میانگین دمای تابشی ایستگاه هواشناسی در برداشت تابستان

محدوده گذرهای متعدد منتهی به این محدوده است که باد را به سوی آن هدایت می‌کنند. در ساعات روز با تغییر در سرعت باد شاهد تغییر در مقدار میانگین دمای تابشی در مقاطع هستیم.

از دیگر عوامل تأثیر گذار به خصوص در میانه روز، زاویه تابش خورشید است. در این ساعت زاویه تابش به صورت عمود است و عوامل دیگر تأثیری بیش از محصوریت بر مقدار میانگین دمای تابشی می‌گذارند. به طور کلی باد بیشترین تأثیر را بر بهبود میانگین دمای تابشی در بیشتر ساعات روز در این محدوده داشته است. می‌توان نتیجه گرفت که هدایت و افزایش سرعت باد در فضای شهری می‌تواند در بیشتر ساعات روز موجب کاهش میانگین دمای تابشی و به دنبال آن ایجاد آسایش حرارتی در شهر بوشهر شود. جهت‌گیری مناسب و ایجاد گذرهای فرعی به سوی باد مطلوب از جمله مواردی است که می‌توان در طراحی فضاهای شهری برای کاهش میانگین

## ۶. نتایج

در این مطالعه برای شناخت نقش محصوریت، باد، جهت‌گیری گذر و زاویه تابش خورشید بر میانگین دمای تابشی، مقدار میانگین دمای تابشی در ساعات محصوریت‌های متفاوت در محدوده گذر شنبلی در بافت تاریخی بوشهر محاسبه شده است. این مطالعه نشان می‌دهد که بازه زمانی ۱۰-۱۲ بازه‌ای است که محصوریت بیشترین تأثیر بر میانگین دمای تابشی را دارد. در بسیاری از ساعات روز باد بیشترین تأثیر را بر روی مقدار میانگین دمای تابشی داشته است. بین سرعت باد و میزان محصوریت رابطه مستقیم وجود دارد. در ساعات ۸-۱۰ و ۱۰-۱۲ رابطه نسبتاً قوی بین سرعت باد و میزان محصوریت وجود دارد، اما بین ساعات ۱۲-۱۴ و ۱۴-۱۶ از میزان تأثیرگذاری محصوریت بر سرعت باد کاسته می‌شود تا جایی که دیگر رابطه‌ای بین این دو متغیر مشاهده نمی‌شود. یکی از عوامل مؤثر بر افزایش سرعت باد در این

می‌شود. این سایه‌اندازی را می‌توان از طریق ایجاد سایه‌بان مصنوعی، جانمایی درخت‌ها و یا پیش‌آمدگی ساختمان‌ها، ایجاد کرد.

#### یادداشت‌ها

1. Mean radiant temperature ( $T_{mrt}$ )
2. Universal Thermal Climate Index (UTCI)
3. Perceived Temp (PT)
4. Predicted mean vote (PMV)
5. Physiol. Equiv. Temp (PET)
6. Stand. Effective Temp (SET)

دمای تابشی به‌منظور ایجاد آسایش حرارتی در نظر گرفت. همچنین می‌توان به‌منظور ایجاد مطلوبیت فضا، فضاهایی با درجهٔ محصوریت (نسبت ارتفاع به عرض)  $1/3$  ایجاد کرد. در فضاهایی که نسبت عرض خیابان به ارتفاع آن زیادتر است این محصوریت می‌تواند با استفاده از درخت‌هایی با چترهای بزرگ که شعاع چتر آن‌ها بزرگتر از ۲ متر است، ایجاد شود. استفاده از سایبان افقی در ساعات میانه روز که محصوریت فضایی قادر به ایجاد سایه در محیط شهری نیست، برای بهبود آسایش حرارتی توصیه

#### منابع

- ASHRAE. 2001. ASHRAE Fundamentals Handbook 2001, SI ed. American Society of Heating, Atlanta, GA: s.n.
- Chen, L., Yua, B., Yang, F. and Mayer, H. 2016. urban differences of mean radiant temperature in different urban settings in Shanghai and implications for heat stress under heatwaves: A GIS-based approach Liang. Energy and Buildings, 130:830.
- Fanger, P. 1973. Assessment of man's thermal comfort in practice. Br J Ind Med.
- Gulya's, A., Unger, J. and Matzarakis, A. 2006. Assessment of the microclimatic and human comfort conditions in a complex urban environment: Modelling and measurements. Building and Environment, 41: 1713-1722.
- Jendritzky, G., de Dear, R. and Havenith, G. 2012. UTCI—Why another thermal index? International Journal of Biometeorology, 56 (3): 421-428.
- Kántor, N., and Unger, J. 2011. The most problematic variable in the course of human biometeorological comfort assessment The mean radiant temperature. Central European Journal of Geosciences. 3: pp. 92.
- Lau, K. K.-L., Ren, C., Ho, J. and Ng, E. 2016. Numerical modelling of mean radiant temperature in high-density sub-tropical urban environment. Energy and Buildings, 114: 80-86.
- Matzarakis, A., Mayer, H. and Iziomon, M. 1999. Applications of a universal thermal index: physiological equivalent temperature. Int J Biometeorol, 43: 76-84.
- Nikolopoulou, M. and Lykoudis, S. 2006. Thermal comfort in outdoor urban spaces: Analysis across different European countries. Building and Environment, 41: 1467.
- Thorsson, S., Rocklöv, J., Konarska, J., Lindberg, F., Holmer, B., Dousset, B. and Rayner, D. 2014. Mean radiant temperature – A predictor of heat related mortality. Urban Climate. 10: 333.
- Thorsson, S., Lindberg, F., Eliasson, I. and Holmer, B. 2007. Different methods for estimating the mean radiant temperature in an outdoor urban setting. International Journal of Climatology. 27: 1983-1993.
- Staiger, H., Laschewski, G. and Grätz, A. 2012. The perceived temperature - a versatile index for the assessment of the human thermal environment. Part A: scientific basics. Int J Biometeorol, 56: 165-176.