

## Climatology of Surface Urban Heat Island of Ahwaz Metropolis

Seyed Abolfazl Masoodian <sup>1\*</sup>, Moslem Torky <sup>2</sup>

<sup>1</sup> Professor of Climatology, Department of Physical Geography, University of Isfahan, Isfahan, Iran

<sup>2</sup> Ph.D. Student of Climatology, Department of Physical Geography, University of Isfahan, Isfahan, Iran

### Abstract

Human activities control the microclimate of the city and one of the most important effects of it is the urban heat island phenomenon. The heat island affects the quality of urban life, including energy consumption, air and water quality, as well as human health. Ahwaz, on the other hand, is one of the hottest cities in Iran. Therefore, the study of the heat island of Ahwaz and the knowledge of urban microclimate is worthy of consideration. For this purpose, in this study, the heat island of Ahwaz metropolitan area was investigated in terms of temporal and spatial variations by using the data of temporal temperature data of the MODIS-Terra and MODIS-Aqua observations from 2002 to 2017. The intensity of the heat island was measured based on the background climate. To this end, after the city boundary was determined by the latest Google Earth imagery. Then, a range, of the size of the city, was determined around the city and was called the non-urban. The temperature that was most common among all the non-urban cells was considered as the temperature of the non-urban. The temperature difference of all the non-urban cells of the city was obtained from the non-urban temperature. The average temperature difference of all cells from the temperature of non-urban was obtained and called the average intensity of the heat/cold island. The results showed that Ahwaz, during the day has a cold island (-2 degrees Centigrade), and at night was a heat island (2.2 degrees Centigrade). Due to the fact that the Karun river passes through the city, heat island is divided into two parts. The eastern and western parts of the city have more procedural temperatures than the city average. Also, the core of the nightly heat island and the weak parts of the daily cold island are in line with the industrial zone of Ahwaz.

**Key words:** Heat Island, Ahwaz Metropolis, Modis, Land Surface Temperature.

## واکاوی تغییرات زمانی و مکانی جزیره گرمایی کلان‌شهر اهواز به کمک داده‌های مودیس

سید ابوالفضل مسعودیان\* : استاد آب‌وهواشناسی، گروه جغرافیای طبیعی، دانشگاه اصفهان، اصفهان، ایران  
مسلم ترکی: دانشجوی دکتری آب‌وهواشناسی، گروه جغرافیای طبیعی، دانشگاه اصفهان، اصفهان، ایران

وصول: ۱۳۹۷/۱۲/۱۸ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۴/۱۰، صص ۹۲-۷۵

### چکیده

فعالیت‌های انسانی خرداقلیم شهر را کنترل می‌کنند و یکی از روشن‌ترین آثار آن، پدیده جزیره گرمایی شهری است. جزیره گرمایی بر کیفیت زندگی شهری از جمله مصرف انرژی، کیفیت هوا و آب و همچنین تندرستی مردم اثر دارد. شهر اهواز از گرم‌ترین شهرهای ایران است؛ از این رو جزیره گرمایی اهواز و شناخت خرداقلیم آن شایسته بررسی است. بدین منظور در این مطالعه جزیره گرمایی کلان‌شهر اهواز از لحاظ تغییرات زمانی و مکانی با استفاده از داده‌های دمای رویه زمین سنجنده مودیس ترا و مودیس آکوا طی سال‌های ۱۳۸۱ تا ۱۳۹۶ بررسی شد. سنجش شدت جزیره گرمایی براساس آب‌وهوای پس‌زمینه انجام گرفت. در این راستا نخست محدوده شهر بر مبنای آخرین تصاویر گوگل‌ارث مشخص و سپس محدوده‌ای به اندازه وسعت شهر در پیرامون شهر تعیین و «ناشهر» نامیده شد. دمایی که در میان همه یاخته‌های ناشهر بیشترین فراوانی را داشت، دمای ناشهر در نظر گرفته شد. در ادامه اختلاف دمای تمامی یاخته‌های شهر از دمای ناشهر به دست آمد و میانگین اختلاف دمای همه یاخته‌های شهر از دمای ناشهر، میانگین شدت جزیره گرمایی / سرمای نامیده شد. نتایج نشان داد شهر اهواز طی روز جزیره سرمایی و هنگام شب جزیره گرمایی دارد. شهر اهواز هنگام روز به‌طور متوسط ۲ درجه سلسیوس خنک‌تر و در شب ۲/۲ درجه سلسیوس گرم‌تر از پیرامون خود است. همچنین به علت عبور رودخانه کارون از داخل شهر، جزیره گرمایی به دو بخش تقسیم می‌شود؛ بخش‌های شرقی و غربی شهر دمای رویه بیشتری نسبت به میانه شهر دارند. کانون جزیره گرمایی شبانه و قسمت‌های ضعیف جزیره سرمایی روزانه بر منطقه صنعتی اهواز منطبق است.

**واژه‌های کلیدی:** جزیره گرمایی، کلان‌شهر اهواز، مودیس، دمای رویه زمین.

## مقدمه

زندگی می‌کنند (Dousset et al, 2011: 314). از سوی دیگر در شهرهای واقع در زیوم گرم و خشک، مناطق شهری دمای کمتری نسبت به مناطق پیرامونی خود دارند و به بیانی جزیره‌ سرمایی<sup>۱</sup> روی شهر تشکیل می‌شود (Imhoff et al, 2010: 509).

پیشرفت‌هایی که در دو دهه گذشته به دست آمده است نشان می‌دهد جزیره گرمایی شهری بسیار پیچیده‌تر از آن است که پیش از این تصور می‌شد. بسته به اینکه دمای کجا را (هوا یا رویه زمین) و با چه ابزاری (سنجنده یا ایستگاه زمینی) اندازه بگیریم، جزیره گرمایی به دست آمده ویژگی‌های متفاوتی را نشان خواهد داد (Arnfield, 2003: 6).

مطالعات زیادی برای بررسی جزیره گرمایی شهری در سطح جهان انجام گرفته است (Fung et al, 2009; Lazzarini et al, 2013 and Bokaie et al, 2016). در مقایسه با سنجنده ماهواره آستر و لندست (TM و ETM+), دمای رویه مودیس تفکیک مکانی درشت‌تری دارد (حدود یک کیلومتر); اما تفکیک زمانی بیشتر (دو بار در روز برای هر ماهواره), مودیس را برای مطالعه جزیره گرمایی مناسب می‌سازد (Tomlinson et al, 2012: 215). پژوهشگران به کمک داده‌های سنجنده مودیس دریافتند جزیره گرمایی شهری ویژگی‌های جالب توجهی را در مقیاس روزانه، ماهیانه و فصلی نشان می‌دهد (Anniballe et al, 2014; Cui and De Foy, 2012; Keramitsoglou et al, 2011 and Wang et al, 2007).

بررسی جزیره گرمایی ۲۶۳ شهر اروپا با شاخص‌های سنجشی متفاوت (۱۱ شاخص) نشان داد در همه شاخص‌ها، جزیره گرمایی تابستانه از جزیره

جزیره گرمایی از آشکارترین نمودهای تغییرات آب‌وهوایی مردم‌زاد است که در نتیجه گسترش شهرنشینی پدید می‌آید. با گسترش شهرها رویه‌های طبیعی مانند درختزارها و علفزارها با ساختمان‌ها و مصالح ساختمانی دارای بازتابندگی کمتر جایگزین می‌شوند؛ بنابراین اثر خنک‌سازی با فرایند تبخیر و تعرق کاهش و جذب و به‌دام‌افتادن تابش خورشیدی افزایش می‌یابد (Anniballe et al, 2014: 163). در این صورت جزیره گرمایی شهری، تفاوت میانگین مکانی دمای پهنه‌های شهری و پهنه‌های پیرامون شهری یا پهنه‌های روستایی (Rizwan et al, 2008: 122) است. هنگام شب ویژگی‌های رویه (مانند گرمایی و رطوبت) و شار گرمای محسوس و هنگام روز ویژگی‌های رویه، شار گرمای محسوس و شار گرمای نهان در پیدایش جزیره گرمایی نقش دارند (Hafner and Kidder, 1999: 463).

بسته به نوع آب‌وهوا و فصل، آثار اجتماعی اقتصادی جزیره گرمایی و آثار آن بر تندرستی مثبت یا منفی است؛ برای نمونه در آب‌وهوای سرد در فصل زمستان، جزیره گرمایی بر آسایش، کاهش مرگ‌ومیر و مصرف انرژی اثر مثبت دارد؛ اما در تابستان اثری منفی به جا می‌گذارد؛ از سوی دیگر در آب‌وهوای گرم اثر آن در همه فصول منفی است. از این گذشته جزیره گرمایی بر چگونگی پخش آلاینده‌ها در شهرها، مصرف آب و شرایط زیست‌اقلمی اثر می‌گذارد (Szymanowski and Kryza, 2012: 53). گرمای شدید در طول ماههای تابستان ممکن است تهدیدی برای بهداشت عمومی باشد؛ به‌ویژه برای افراد سالخورده که در شهرها

<sup>1</sup> Cold island

افزایش بازتاب مناطق شهری و کاهش پوشش گیاهی در مناطق غیرشهری، شدت جزیره گرمایی روزانه در طول دوره افزایش و جزیره گرمایی شبانه کاهش داشته است (مجرد و همکاران، ۱۳۹۷: ۴۷۹).

بررسی تأثیرپذیری جزیره گرمایی شهر تهران از الگوهای همدید با استفاده از داده‌های ۱۴ ایستگاه هواشناسی در داخل و خارج شهر نشان داد در زمان حاکمیت شرایط پرفشاری به علت سکون هوا، شدت جزیره گرمایی افزایش می‌یابد؛ در حالی که در شرایط کم‌فشاری عکس این حالت رخ می‌دهد. همچنین ناهماهنگی سامانه‌های فشاری با زمان رخداد بیشینه و کمینه جزیره گرمایی در فصل سرد سال در بعضی روزها به‌خوبی دیده می‌شود؛ این در حالی است که در دوره‌های گرم بین زمان بیشینه و کمینه این پدیده و حاکمیت مراکز فشار سطحی هماهنگی منظمی وجود دارد (عزیزی و همکاران، ۱۳۹۲: ۵۵).

بررسی جزیره گرمایی شهر تهران با استفاده از داده‌های ایستگاه‌های داخل شهر و ریزمقیاس‌نمایی داده‌های WRF<sup>۱</sup> نشان داد احتمال رخداد جزیره گرمایی در فصل‌های سرد سال بیشتر است؛ هرچند به‌طور طبیعی بیشینه جزیره گرمایی در فصل‌های گرم اتفاق می‌افتد. همچنین شدت جزیره گرمایی در دو منطقه شهری در مرکز و منطقه پرتراکم و قدیمی شهر در فصل‌های گرم و سرد بیشتر از مناطق دیگر است. در منطقه ۱ شهری که ارتفاع بیشتری نسبت به سایر مناطق دارد، احتمال رخداد جزیره گرمایی کم است (Jahangir and Moghim, 2019: 144).

شهر اهواز در منطقه آب‌وهوایی گرم و خشک قرار گرفته است. از سوی دیگر عبور رودخانه کارون از

گرمایی زمستانه نیرومندتر است. فقط شاخص تباین شهر - آب، جزیره گرمایی نیرومندتری در زمستان داشت (Schwarz et al, 2011: 3178).

بررسی جزیره گرمایی روی میلان نشان می‌دهد جزیره گرمایی رویه پایه در روز نسبت به شب شدت بیشتری دارد و بیشترین مقدار آن ۹-۱۰ درجه کلوین است. در این زمان جزیره گرمایی هواپایه وجود ندارد. جزیره گرمایی هواپایه پس از غروب آفتاب ظاهر می‌شود و میانگین آن حدود ۳-۴ درجه کلوین است. جزیره گرمایی هواپایه و رویه پایه شبانه ویژگی مشابهی دارند (Anniballe et al, 2014: 170).

جزیره گرمایی بعضی کلان‌شهرهای ایران را نیز پژوهشگران ارزیابی کرده‌اند. بررسی جزیره گرمایی تهران نشان می‌دهد این شهر طی روز، جزیره گرمایی و در شب، جزیره گرمایی دارد. کمترین میزان جزیره گرمایی، ۴- درجه کلوین در ماه مارس و بیشترین مقدار جزیره گرمایی، ۳/۹ درجه کلوین در ماه می است (Hashemi et al, 2016: 1).

بررسی جزیره گرمایی شهر مشهد با استفاده از داده‌های مودیس نشان می‌دهد شهر مشهد طی شب جزیره گرمایی دارد که منطبق بر بافت قدیم شهر است و به‌صورت میانگین ۳/۵ درجه سلسیوس از ناشهر گرم‌تر است (منتظری، ۱۳۹۷: ۱۵۴۲).

بررسی جزیره گرمایی شهر کرمانشاه با استفاده از تصاویر مودیس نشان داد این شهر طی روز به‌ویژه در دوره گرم سال نسبت به مناطق غیرشهری دمای رویه کمتری دارد و در آن جزیره گرمایی سطحی تشکیل می‌شود. در شب به‌ویژه در بهار روی مناطق شهری جزیره گرمایی تشکیل می‌شود و شدت این جزیره گرمایی ۱ تا ۲ درجه سلسیوس است. از طرفی به دلیل

<sup>1</sup> Weather Research and Forecasting

شود؛ سپس محدوده‌ای به ابعاد ۴۵×۴۹ یاخته که کلان‌شهر اهواز را دربرمی‌گیرد، برای بررسی برگزیده شد. دقت اندازه‌گیری دمای رویه مودیس را کول و همکاران در مکانی مشخص با اندازه‌گیری‌های زمینی سنجیدند. نتایج نشان داد مودیس دمای رویه زمین را با دقت بهتر از ۱ درجه سلسیوس برآورد می‌کند (Coll et al, 2005: 298). همچنین ون و همکاران نشان دادند دقت دمای رویه اندازه‌گیری‌شده با مودیس در بازه ۱۰- تا ۵۰ درجه سلسیوس بهتر از ۱ درجه سلسیوس است (Wan et al, 2004: 261).

پژوهشگران سه رویکرد عمده را در بررسی جزیره گرمایی در پیش گرفته‌اند؛ نخست، رویکرد چندمقیاسی؛ انجام این رویکرد نیازمند فراهم‌آوردن یک پایگاه داده جامع برای شهر است؛ دوم، رویکرد دیده‌بانی؛ این رویکرد بر اندازه‌گیری میدانی یا بهره‌گیری از داده‌های دورسنجی و مدل‌سازی در مقیاس خرد استوار است؛ سوم، رویکرد همانندسازی؛ در این رویکرد همانندسازی در مقیاس میانه و خرد انجام می‌گیرد (Aflaki et al, 2016: 5). همچنین بسته به داده‌هایی که برای تعریف جزیره گرمایی به کار می‌رود، دو رویکرد متفاوت معرفی می‌شود؛ رویکرد مبتنی بر اندازه‌گیری دمای هوا (رویکرد هواپایه) و رویکرد استوار بر اندازه‌گیری دمای رویه (رویکرد رویه‌پایه). در این بررسی از رویکرد دیده‌بانی براساس داده‌های ماهواره‌ای (رویکرد رویه‌پایه) برای سنجش جزیره گرمایی شهر اهواز استفاده شد.

#### تمیز شهر و ناشهر

پیچیدگی‌های فراوانی بر سر راه اندازه‌گیری شدت جزیره گرمایی وجود دارد؛ اینکه مرز شهر کجاست؟

درون شهر، آن را به دو بخش تقسیم کرده است. همچنین وجود کشتزارهای متنوع از یک سو و زمین‌های لخت و عریان از سوی دیگر و پهنه شهری، کاربری اراضی متنوعی در شهر و اطراف آن ایجاد کرده است. آگاهی از رفتار زمانی و مکانی جزیره گرمایی شهر، شناخت جامعی از عوامل پدیدآورنده و تغییرات زمانی و مکانی آن ارائه می‌دهد؛ بر این اساس تصمیم‌گیرندگان شهری راهبردهای لازم را برای کاهش شدت جزیره گرمایی و اصلاح ساخت‌وسازهای شهری انجام می‌دهند.

#### روش‌شناسی پژوهش

در این پژوهش برای بررسی جزیره گرمایی اهواز داده‌های دمای رویه زمین سنجنده مودیس ترا (MOD11A1) و مودیس آکوا (MYD11A1) از درگاه <http://modis.gsfc.nasa.gov> در بازه زمانی ۱ فروردین‌ماه ۱۳۸۱ تا ۲۹ اسفندماه ۱۳۹۶ به صورت روزانه به دست آمد. تفکیک مکانی اسمی این فرآورده، ۱×۱ کیلومتر و تفکیک واقعی آن، ۹۲۶/۸۸۲۹ متر است. سیستم تصویر این فرآورده سینوسی هم مساحت است. این داده‌ها کاشی‌هایی به ابعاد ۱۰ درجه قوسی (۱۲۰۰×۱۲۰۰ یاخته) با فرمت HDF<sup>۱</sup> هستند. برای تحلیل داده‌ها از نرم‌افزار متلب استفاده شد. بدین منظور شش کاشی (h21v05, h22v05, h23v05, h21v06, h22v06, h23v06) انتخاب شدند که سراسر ایران را می‌پوشانند. در مرحله بعد این کاشی‌ها با موزائیک‌کردن در کنار هم قرار داده شدند تا داده‌ای یکپارچه روی ایران تشکیل

<sup>۱</sup> Hierarchical Data Format

داده، محدوده‌ای به ابعاد ۴۵×۴۹ یاخته برگزیده و داده‌های دمای رویه زمین آن استخراج شد.

### انتخاب یاخته‌های شهر و ناشهر

شدت جزیره گرمایی و تغییرات فصلی آن به این بستگی دارد که برای محاسبه جزیره گرمایی چه پهنه‌هایی را به‌مثابه پیراشهر منظور کرده باشیم (Wang et al, 2007: 1). انتخاب یاخته مربوط به پیراشهر بسته به ویژگی‌های رویه آن بر شدت جزیره گرمایی شهری تأثیرگذار است (Kataoka et al, 2009: 408).

پژوهشگران نمایه‌های مختلفی را برای تعیین محدوده شهری و روستایی به کار برده‌اند. بعضی از این نمایه‌ها عبارت‌اند از: محدوده مرکزی شهر درمقابل محدوده روستایی، دمای هوای ایستگاه هواشناسی شهری درمقابل ایستگاه محدوده روستایی، یاخته‌هایی با رویه بسیار ناتراوا درمقابل محدوده ۱۵ تا ۲۰ کیلومتری اطراف با رویه کمتر ناتراوا، منطقه‌ای با بیشترین دمای رویه درمقابل منطقه‌ای با پوشش زمین روستایی (Schwarz et al, 2011: 3176).

لی و همکاران (۲۰۱۷) برای اندازه‌گیری شدت جزیره گرمایی شهرهای آمریکا، جزیره گرمایی را اختلاف بین میانگین دمای رویه یاخته‌های شهر و پیراشهر تعریف کردند. در این پژوهش مناطق شهری را به‌وسیله نور شبانه سنجش‌شده با ماهواره‌های دفاعی انتخاب و مناطق پیراشهر را محدوده‌ای به وسعت شهر در اطراف آن تعیین کردند (Li et al, 2017: 428).

محدوده اطراف شهر اهواز کاربری اراضی متنوعی دارد. این کاربری‌ها شامل زمین‌های کشت‌شده، پوشش طبیعی و زمین‌های بایر است (شکل ۲ و

دمای محدوده شهری را با دمای کجا (محدوده مرجع) باید مقایسه کرد؟ به چه روشی باید اختلاف دمای محدوده شهری و محدوده مرجع را محاسبه کرد؟ همین پیچیدگی‌ها نمایه‌های جزیره گرمایی را متنوع و غیرقابل مقایسه و اصطلاحات زیادی را وارد این شاخه علمی کرده است.

اصطلاحات شهر، پیراشهر<sup>۱</sup> و ناشهر<sup>۲</sup> که در نوشته‌های علمی دیده می‌شوند، عموماً تعریف یکسانی ندارند؛ از این رو تعریف جزیره گرمایی و محاسبه شدت و بررسی تغییرات فصلی آن به شدت وابسته به این است که چه پهنه‌هایی را به‌منزله شهر، پیراشهر یا ناشهر منظور کرده باشیم (Wang et al, 2007: 1). در این پژوهش منظور از ناشهر، رویه‌های ساخته‌نشده در اطراف شهر است. روش‌های گوناگونی برای تمیز شهر از ناشهر پیشنهاد شده است؛ برخی پژوهشگران رویه‌های بسیار ناتراوا<sup>۳</sup> را ملاک تمیز شهر از ناشهر گرفته‌اند؛ عده‌ای نیز پهنه‌هایی را ملاک دانسته‌اند که دمای رویه زمین آنها در مقایسه با پهنه‌های روستایی بیشتر است (Schwarz et al, 2011: 3176). نور شبانه شهرها، یکی از راههایی بوده که به یاری داده‌های دورسنجی برای جانمایی شهرها به کار رفته است (Jin et al, 2005: 1558).

در این پژوهش برای تمیز شهر از ناشهر، رویه‌های شهری به کمک تصاویر گوگل‌ارث مشخص شد (شکل ۱)؛ سپس از هر طرف محدوده شهر را تا آنجا گسترش دادیم که مساحت محدوده پیرامونی از هر طرف با مساحت شهر برابر شود. این محدوده پیرامونی را «ناشهر» نامیدیم؛ بنابراین از کل پایگاه

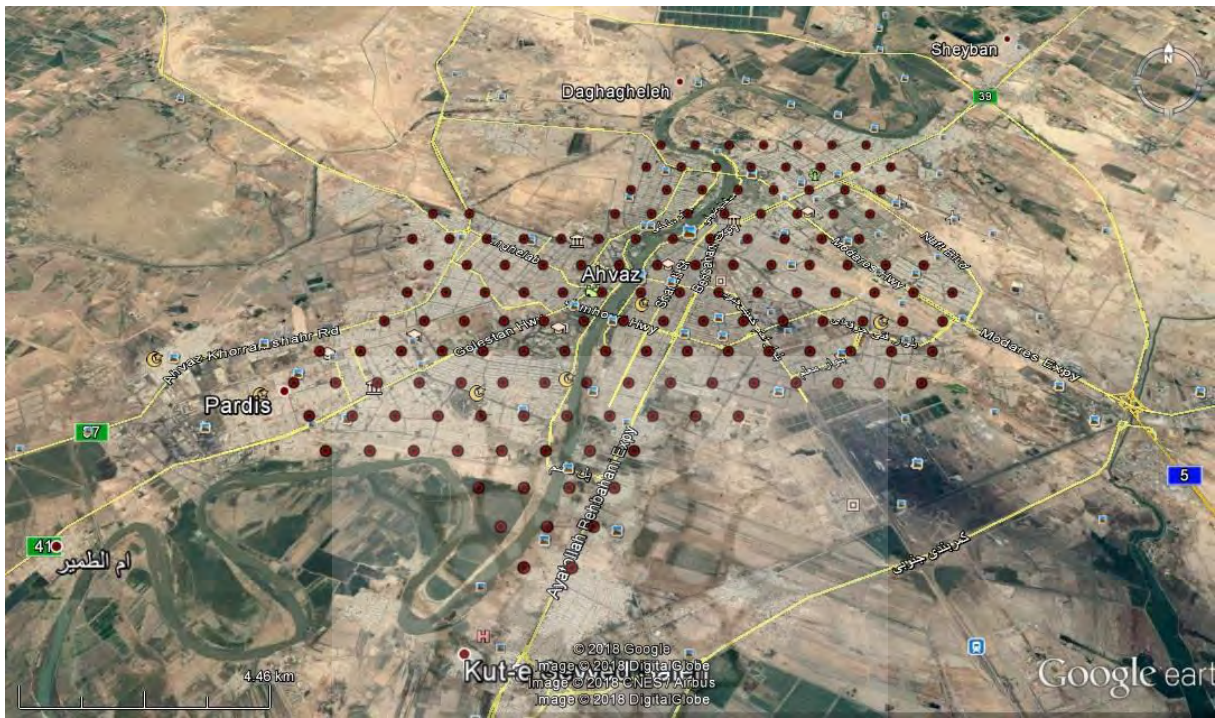
<sup>1</sup> Suburban

<sup>2</sup> Non-Urban

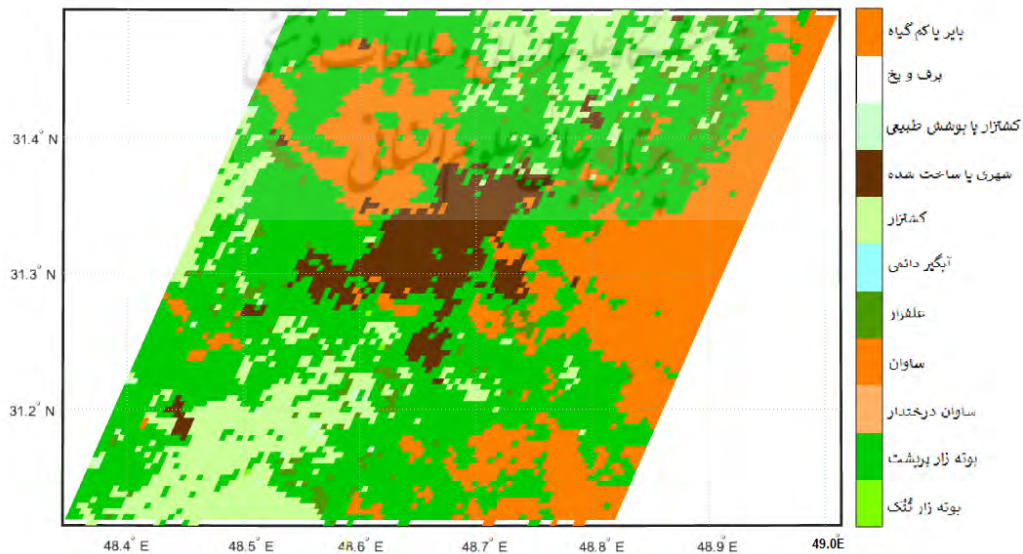
<sup>3</sup> Impervious surface

محدوده‌ی ناشهر انتخاب و دمایی که بیشترین تکرار را در میان یاخته‌های ناشهر داشت به‌مثابه‌ی نماینده‌ی دمایی ناشهر در نظر گرفته شد.

جدول ۱؛ بنابراین انتخاب نقطه‌ای به‌مثابه‌ی نماینده‌ی ناشهر مشکل است؛ از این رو در این پژوهش برای انتخاب دمایی ناشهر از شگرد بیشترین تکرار دما در منطقه‌ی پژوهش استفاده شد؛ برای این منظور نخست



شکل ۱. یاخته‌های مودیس درون مرز شهر اهواز (منبع: نویسندگان، ۱۳۹۷)



شکل ۲. کاربری اراضی منطقه پژوهش (منبع: نویسندگان، ۱۳۹۷)

جدول ۱. مساحت کاربری اراضی در منطقه پژوهش (منبع: نویسندگان، ۱۳۹۷)

بایر	کشتزار با پوشش طبیعی	ساخته شده	کشتزار	علفزار	بوته‌زار پرپشت	بوته‌زار تنک	پوشش زمین
۲۱۶۷	۲۸	۵۸۱	۱۲۸۹	۲۷۸	۴۰۰۹	۲۷	مساحت (کیلومتر مربع)

### محاسبه جزیره گرمایی

برای محاسبه شدت جزیره گرمایی، اختلاف نماینده نا شهر از یاخته‌های درون شهر از رابطه زیر به دست آمد:

$$\text{رابطه ۱} \quad SUHI_{LSTi} = LST_{ui} - LST_r$$

در این رابطه،  $SUHI_{LSTi}$  شدت جزیره گرمایی / سرمایی رویه پایه برای هر یاخته،  $LST_{ui}$  دمای رویه زمین برای هر یاخته درون شهر و  $LST_r$  دمای رویه نماینده نا شهر است. همچنین برای آنکه داده‌های دمای روزانه در روزهای مختلف قابل قیاس با یکدیگر باشند، دمای بهنجار شده رویه زمین برای تمام یاخته‌های منطقه پژوهش با استفاده از رابطه زیر محاسبه شد (Hashemi et al, 2016: 5):

$$\text{رابطه ۲} \quad NLST = \frac{(LST - LST_{min})}{(LST_{max} - LST_{min})}$$

در این رابطه،  $NLST$  دمای بهنجار شده رویه زمین،  $LST$  دمای رویه زمین برای هر یاخته،  $LST_{min}$  دمای کمینه و  $LST_{max}$  دمای بیشینه در محدوده انتخابی است.

### منطقه پژوهش

کلان‌شهر اهواز، مرکز استان خوزستان، در جنوب غرب ایران در ارتفاع ۲۲/۵ متری تراز دریا واقع شده است. آب‌وهوای این شهر براساس طبقه‌بندی لیتین اسکی در ناحیه حاره‌ای گرم و خشک با ضریب بری معتدل قرار دارد (عزیزی، ۱۳۸۰: ۴۹). همچنین

براساس طبقه‌بندی آب‌وهوایی چندمتغیره، شهر اهواز در ناحیه بیابانی گرم ساحلی قرار دارد (حیدری و علیجانی، ۱۳۷۸: ۷۲).

براساس اطلاعات ایستگاه هواشناسی اهواز دو ماه تیر و مرداد با میانگین دمای ۳۸ درجه سلسیوس، گرم‌ترین ماه‌های سال و ماه‌های دی و بهمن با میانگین دمای ۱۲/۴ درجه سلسیوس، سردترین ماه‌ها هستند. در طول ۵۰ سال گذشته، کمترین و بیشترین دمای شهر اهواز به ترتیب ۷- و ۵۴ درجه سلسیوس و میانگین دمای شهر در همین دوره ۲۵/۳ درجه سلسیوس بوده است. میانگین دمای هوا در تابستان، ۴۸ درجه سلسیوس و در زمستان، ۴ درجه سلسیوس و میزان بارندگی سالیانه به‌طور متوسط ۲۱۳ میلی‌متر بوده است. همچنین براساس مطالعات انجام شده براساس دمای رویه زمین، شهر اهواز در طبقه آب‌وهوایی گرم تا بسیار گرم قرار دارد (مرادی و همکاران، ۱۳۹۵: ۱۰۶) و بیشترین میزان بارندگی در ماه دی روی می‌دهد. جمعیت این شهر براساس سرشماری سال ۱۳۹۵ حدود ۱۳۰۰۰۰۰ نفر بوده است (درگاه مرکز ملی آمار ایران، ۱۳۹۶).

### یافته‌های پژوهش

#### آب‌وهوای پس‌زمینه

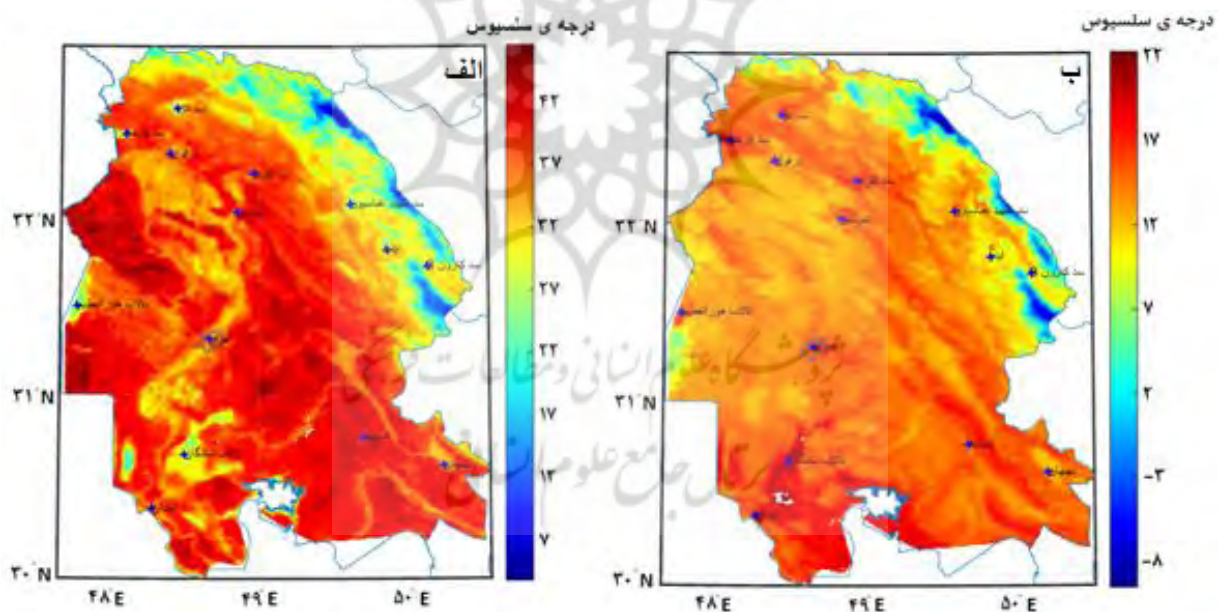
شکل (۳) میانگین بلندمدت دمای رویه زمین استان خوزستان را در روز و شب نشان می‌دهد. میانگین دمای رویه زمین استان خوزستان براساس



انرژی‌اند. اهمیت مطالعه آب‌وهوای پس‌زمینه در این است که به ما نشان می‌دهد احداث شهر چه تغییراتی را در آب‌وهوای محیط ایجاد کرده است.

نکته دیگر اینکه آیا طول دوره اندازه‌گیری دما برای مطالعه دقیق جزیره گرمایی شهر اهواز بسنده است یا خیر؛ زیرا هر عنصر آب‌وهوایی تغییرپذیری متفاوتی دارد و این تغییرپذیری در نقاط مختلف جغرافیایی متفاوت است. میانگین شناور پیش‌رونده داده‌های دمای رویه نشان داد ۴ سال داده‌های روزانه آکوا و ۲ سال داده‌های روزانه ترا برای برآورد دما کفایت می‌کند. برای دمای شبانه نیز می‌توان حتی از داده‌هایی با دوره آماری کمتر، ولی با دقت زیاد استفاده کرد.

داده‌های روز هنگام آکوا ۴۳/۶ درجه سلسیوس است. فقط در بخشی از شمال و شمال شرق استان، دمای رویه کم است. هنگام روز رودخانه کارون و کشتزارهای گسترده اطراف آن، تالاب‌ها و دریاچه پشت سدها اثر چشمگیری بر دمای رویه زمین دارند و به سبب ظرفیت گرمایی زیاد آب و نیز تبدیل بخشی از انرژی تابشی به گرمای نهان دمای کمتری را نشان می‌دهند (شکل ۳- الف). براساس داده‌های شب هنگام آکوا، میانگین دمای رویه زمین استان خوزستان ۱۹/۴ درجه سلسیوس است. کشتزارها هم در روز و هم در شب دمای کمتری نسبت به مناطق اطراف خود دارند، ولی تالاب‌ها، دریاچه پشت سدها و رودخانه کارون در روز محل انباشت انرژی و در شب محل رهاسازی



شکل ۳. میانگین دمای رویه زمین طی سال‌های ۱۳۸۱-۱۳۹۶؛ الف- آکوا، روز؛ ب- آکوا، شب

(منبع: نویسندگان، ۱۳۹۷)

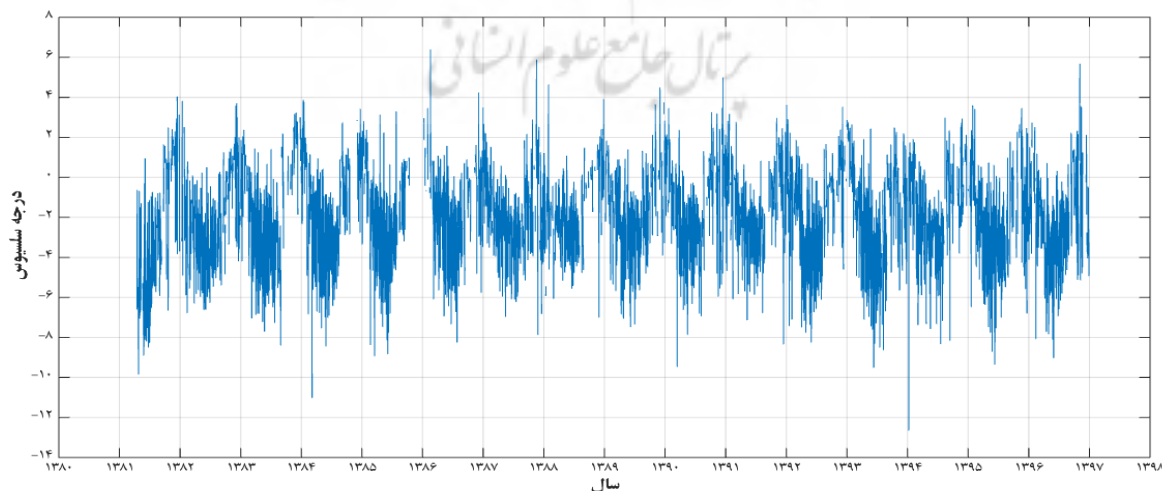
روزانه، فصلی و سالیانه طی روزهای بدون ابر مطالعه شد. بررسی جزیره گرمایی / سرمایی در بازه روزانه نشان داد در شهر اهواز هنگام روز با استفاده از

#### رفتار زمانی جزیره گرمایی

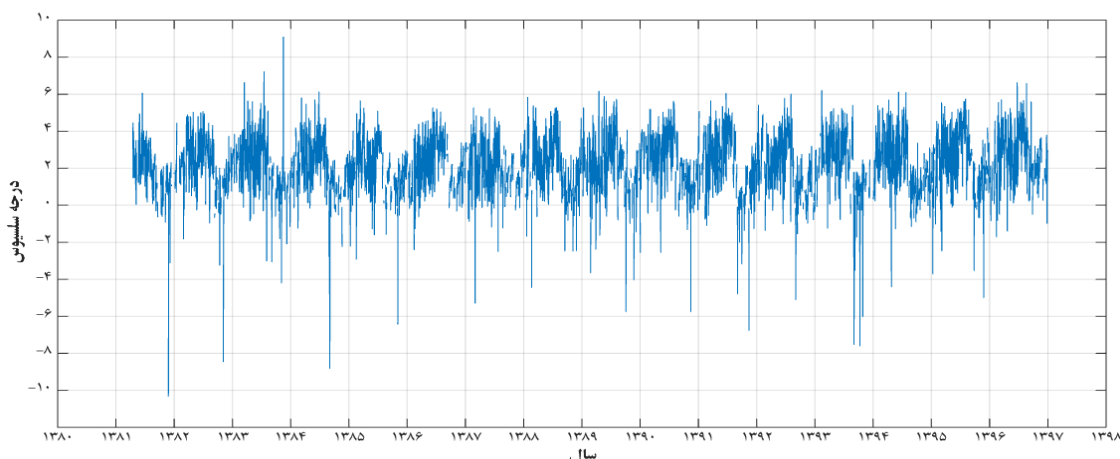
دمای رویه زمین شهر اهواز طی سال‌های ۱۳۹۶-۱۳۸۱ بررسی و رفتار جزیره گرمایی / سرمایی در بازه

داده‌های هر دو ماهواره آکوا و تررا، دمای شهر کمتر از دمای ناشهر (شکل ۴) و هنگام شب، دمای شهر بیشتر از دمای ناشهر است (شکل ۵). میانگین شدت جزیره گرمایی شهر اهواز هنگام روز با داده‌های آکوا ۲/۴ و با داده‌های تررا ۱/۹ درجه سلسیوس است. درحقیقت به علت گرمایش شدید رویه‌های بدون پوشش گیاهی پیرامون شهر اهواز، دمای رویه‌های شهری نسبت به رویه‌های ناشهر کمتر است. همچنین به سبب اینکه هنگام گذر روز تررا (ساعت ۱۲-۱۰) رویه‌های ناشهر نسبت به گذر روز آکوا (۱۴-۱۲) گرمای کمتری دریافت کرده‌اند، شدت جزیره گرمایی روزانه در زمان گذر روز هنگام تررا کمتر است. اگر از روزهایی صرف‌نظر کنیم که به سبب ابرناکی تعداد کمی از یاخته‌های شهر سنجیده شده‌اند، بیشترین مقدار جزیره گرمایی روزانه شهر اهواز با ماهواره آکوا در تاریخ ۱ اسفندماه ۱۳۹۶ به میزان ۱۲/۷- درجه سلسیوس و با ماهواره تررا در تاریخ ۲۵ اردیبهشت‌ماه ۱۳۸۶ به میزان ۱۲/۴- درجه سلسیوس روی داده است؛ همچنین بیشترین مقدار جزیره گرمایی شبانه با ماهواره آکوا در ۱۵ بهمن‌ماه ۱۳۸۳ به میزان ۹/۱- درجه

سلسیوس و با ماهواره تررا در ۱۴ مهرماه ۱۳۸۳ به میزان ۶/۵- درجه سلسیوس رخ داده است. درحقیقت افزایش پهنه‌های تراوا به معنای افزایش شار گرمای نهان است و از شدت جزیره گرمایی می‌کاهد. افزایش شار گرمای نهان بر دمای روز نسبت به دمای شب اثرگذارتر است؛ از این رو بر بیشینه جزیره گرمایی هنگام روز اثر می‌گذارد. از سوی دیگر با هر دو ماهواره آکوا و تررا در ماه‌های تیر، مرداد، شهریور و مهر، جزیره گرمایی روزانه با شدت بیش از ۴- درجه سلسیوس، رخداد بیشتر داشته است و ماه‌های آذر، دی، بهمن، اسفند، فروردین و اردیبهشت کمترین میزان را داشته‌اند. ماه‌های خرداد و آبان، ماه‌های گذار از رخداد کم به زیاد هستند. همچنین شدیدترین جزیره‌های گرمایی شبانه در ماه‌های خرداد، تیر، مرداد، شهریور و مهر رخداد بیشتری داشته‌اند و در ماه‌های آذر، دی، بهمن، اسفند و فروردین کمترین رخداد را داشته‌اند. درحقیقت در فصل‌های گرم سال به دلیل گرمای محسوس ناشهر، تباین دما بین شهر و ناشهر نسبت به فصول سرد سال بیشتر است و این ماندگرمایی تا ساعاتی از شب نیز ادامه می‌یابد.



شکل ۴. شدت جزیره گرمایی / گرمایی شهر اهواز، آکوا، گذر روز (منبع: نویسندگان، ۱۳۹۷)



شکل ۵. شدت جزیره گرمایی / سرمای شهر اهواز، آکوا گذر شب (منبع: نویسندگان، ۱۳۹۷)

دمای شهر از پیرامون خود خنک‌تر است و در حدود ۸۵ درصد گذر ماهواره، دمای شهر از پیرامون خود گرم‌تر است؛ اما دمای کلان‌شهر اهواز غالباً  $2/2$  درجه سلسیوس از ناشهر گرم‌تر است (شکل ۶).

بررسی زمانی جزیره گرمایی شهر اهواز نشان می‌دهد طی روز در این شهر شاهد جزیره سرمای هستیم؛ به طوری که با شروع روز جزیره گرمایی شبانه ضعیف می‌شود و جای خود را به جزیره سرمای می‌دهد و هرچه دمای رویه‌های ناشهر (به دلیل وجود رویه‌های لخت با ظرفیت گرمایی کم) گرم‌تر می‌شود، شدت جزیره سرمای نیز شدیدتر می‌شود؛ به طوری که شدت جزیره سرمای در گذر روز هنگام آکوا بیشتر از تر است. با زاویه گرفتن خورشید، جزیره سرمای نیز ضعیف‌تر و در طول شب جزیره گرمایی بر شهر حاکم می‌شود. به دلیل اینکه تغییرات دمایی ناشهر در طول شب کمتر است، تغییر جزیره گرمایی شبانه کمتر از جزیره سرمای روزانه است؛ همچنین به دلیل گرمایش زیاد رویه‌های ناشهر در فصل تابستان شدت جزیره سرمای در دوره گرم سال نسبت به دوره سرد سال بیشتر است. درحقیقت این ویژگی‌ها حاکی است

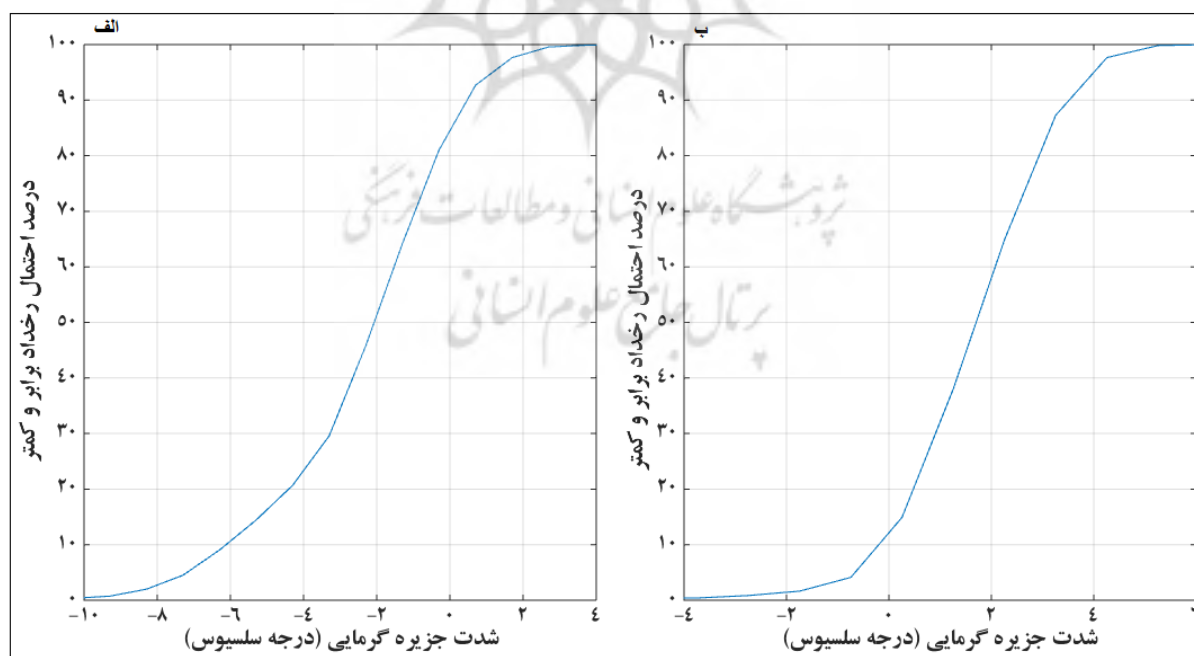
بعضی از ویژگی‌های آماری جزیره گرمایی / سرمای اهواز در جدول (۱) آورده شده است. توزیع فراوانی نمایه گرمایی شبانه و روزانه شهر اهواز بهنجار است. دامنه نمایه در روز بین  $10-$  تا  $4-$  و در شب بین  $4-$  تا  $6-$  درجه سلسیوس قرار دارد. نمای توزیع در روز  $1/7-$  و میانگین آن  $2-$  و در شب  $1/7$  و میانگین آن  $2/2$  درجه سلسیوس است (جدول ۲). از طرفی همان‌طور که شکل ۶ انباشته جزیره گرمایی / سرمای مشهد نشان می‌دهد، طی روز نمودار در سمت چپ و در شب در سمت راست دمای صفر درجه قرار می‌گیرد؛ به بیان دیگر دماهای منفی در روز و دماهای مثبت در شب روی می‌دهد و در بیشتر روزها، جزیره سرمای و در شب جزیره گرمایی روی شهر شکل می‌گیرد (شکل ۶). با اینکه در  $16$  درصد گذر روز هنگام هر دو ماهواره آکوا و ترا شهر از ناشهر گرم‌تر است (شکل ۶)، دمای شهر اهواز به‌طور میانگین  $2$  درجه سلسیوس از پیرامون خود خنک‌تر است (جدول ۲). در شب هنگام وضعیت دمایی شهر با روز تفاوت زیادی دارد. در  $13$  درصد گذر شب هنگام ماهواره ترا و  $15$  درصد گذر ماهواره آکوا،

شهرهای ایالات متحده ۲/۹ درجه سلسیوس از پیراشهر بیشتر بوده است (Imhoff et al, 2010: 504). بونوا و همکاران (۲۰۰۹) نیز نشان دادند برخلاف آب‌وهوای معتدل که شهرسازی جزیره گرمایی چشمگیری را ایجاد می‌کند، در مناطق نیمه‌خشک این اثر زیاد قوی نیست (Bounoua et al, 2009: 217). این موضوع نشان می‌دهد پس‌زمینه بوم‌شناختی شهر نیز در بررسی جزیره گرمایی اهمیت دارد.

بعضی عوامل پس‌زمینه مانند ظرفیت گرمایی رویه زمین و شدت تابش در سراسر سال بر شدت جزیره گرمایی / سرمایی به‌ویژه در طول روز اثرگذارند. مطالعات در سایر نقاط جهان نیز نتایج مشابهی را برای شهرهای با زیبوم خشک نشان می‌دهد؛ به‌طوری که مطالعه انجام‌شده درباره شهرهای ایالات متحده آمریکا نشان می‌دهد به‌جز شهرهایی که در زیبوم‌های خشک و نیمه‌خشک بودند، میانگین سالیانه دمای دیگر

جدول ۲. نتایج آماری جزیره گرمایی اهواز (منبع: نویسندگان، ۱۳۹۷)

ماهواره	کمینه جزیره گرمایی (درجه سلسیوس)	بیشینه جزیره گرمایی (درجه سلسیوس)	انحراف معیار	میانگین جزیره گرمایی / سرمایی (درجه سلسیوس)	نمای توزیع	مساحت جزیره گرمایی (کیلومتر مربع)	مساحت جزیره سرمایی (کیلومتر مربع)
ترا روز	-۱۲/۴	۶/۰	۲/۴۸	-۱/۹	-۱/۳	۳۷	۹۷
آکوا روز	-۱۲/۷	۶/۴	۲/۳۸	-۲	-۱/۷	۳۵	۹۹
ترا شب	-۸/۲	۹/۸	۱/۵	۲/۲	۲/۴	۱۱۹	۱۸
آکوا شب	-۱۰/۳	۹/۱	۱/۵۷	۲/۲	۱/۷	۱۱۸	۱۷



شکل ۶. توزیع فراوانی انباشته نمایه جزیره گرمایی اهواز؛ الف- آکوا روز؛ ب- آکوا شب (منبع: نویسندگان، ۱۳۹۷)

درحقیقت به دلیل گرم‌شدن زیاد رویه‌های لخت ناشهر در همه فصل‌ها به‌ویژه در دوره گرم سال دمای ناشهر نسبت به شهر بیشتر است و باعث شده شهر جزیره سرمایه داشته باشد. کشتزارهای زیادی در حاشیه رود کارون وجود دارد، ولی گونه بیشتر رویه‌های ناشهر را خاک لخت تشکیل می‌دهد. در شب به دلیل اینکه ناشهر گرمای خود را از دست می‌دهد و علاوه بر آن به دلیل تردد وسایل نقلیه و گرمای مردم‌زاد، دمای شهر از ناشهر بیشتر است.

شهر اهواز در همه فصل‌ها هنگام روز دمایی کمتر از پیرامون خود دارد. در فصل تابستان و شروع پاییز (دوره گرم سال) شدت جزیره سرمایه نسبت به فصل‌های زمستان و بهار (دوره خنک‌تر) بیشتر است. در تمامی فصل‌ها طی شب دمای شهر از پیرامون شهر بیشتر بوده است. بیشترین جزیره گرمایی شبانه مربوط به فصل تابستان است و فصل زمستان کمترین جزیره گرمایی شبانه را دارد؛ به بیان دیگر فصل زمستان کمترین جزیره گرمایی و سرمایه را دارد (جدول ۳).

جدول ۳. میانگین شدت جزیره گرمایی برحسب درجه سلسیوس در فصل‌های مختلف سال

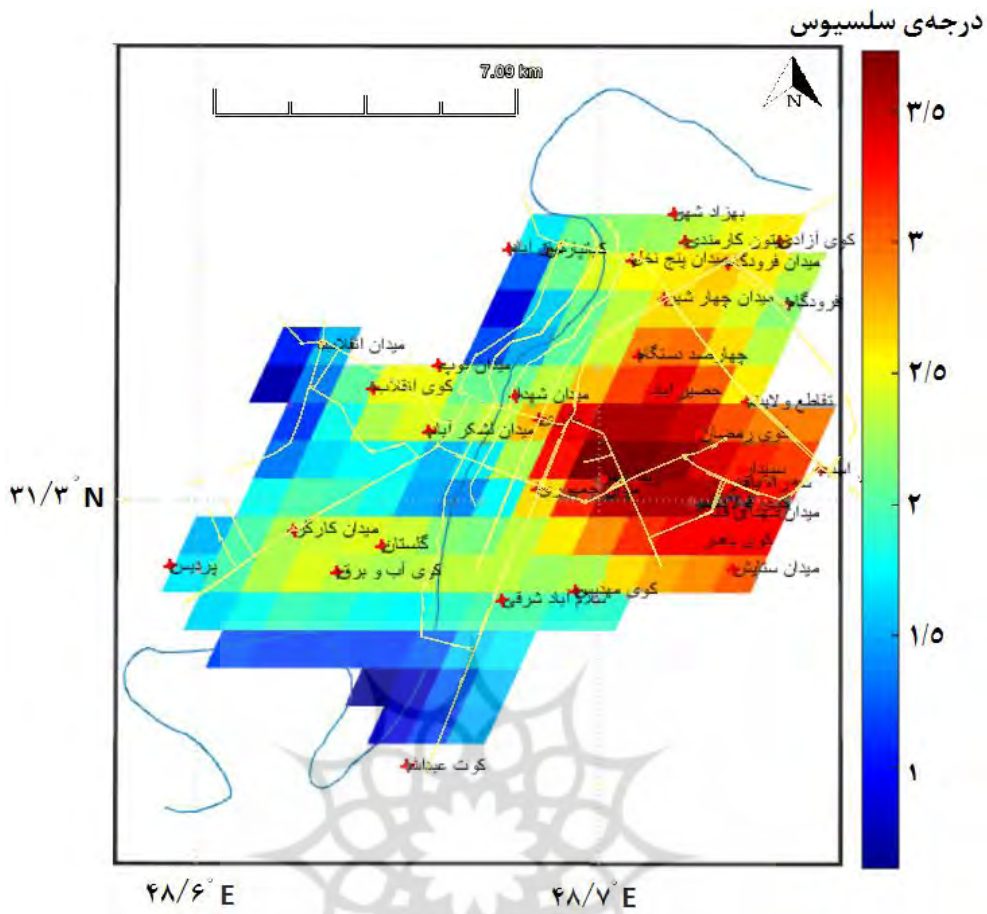
ماهواره	بهار	تابستان	پاییز	زمستان
ترا روز	-۱/۲	-۳/۰	-۲/۶	-۰/۱
آکواروز	-۱/۲	-۳/۲	-۲/۴	-۰/۴
ترا شب	۲/۳	۲/۵	۲/۳	۱/۳
آکوا شب	۲/۴	۲/۷	۲/۴	۱/۲

ولی عبور رودخانه از مرکز شهر باعث شده است حاشیه شهر (در شرق و غرب) دمای بیشتری نسبت به مرکز داشته باشد. بزرگراه آیت‌الله مدرس، مرز بین این دو ناحیه در شرق رودخانه است؛ به طوری که محدوده بین بزرگراه آیت‌الله بهبهانی و مدرس که ناحیه صنعتی کارون نیز در این منطقه واقع شده است، جزیره سرمایه ضعیفی دارد. مساحت این منطقه ۳۰ کیلومترمربع است؛ در حالی که اطراف رودخانه کارون جزیره سرمایه نیرومندی دارد (شکل ۷). در شرق رودخانه از بزرگراه گلستان تا میدان انقلاب جزیره سرمایه ضعیفی وجود دارد. طی روز از مساحت ۱۳۹ کیلومترمربعی اهواز به‌طور میانگین با هر دو ماهواره ترا و آکوا حدود ۹۸ کیلومترمربع آن جزیره سرمایه و حدود ۳۶ کیلومترمربع آن جزیره گرمایی است

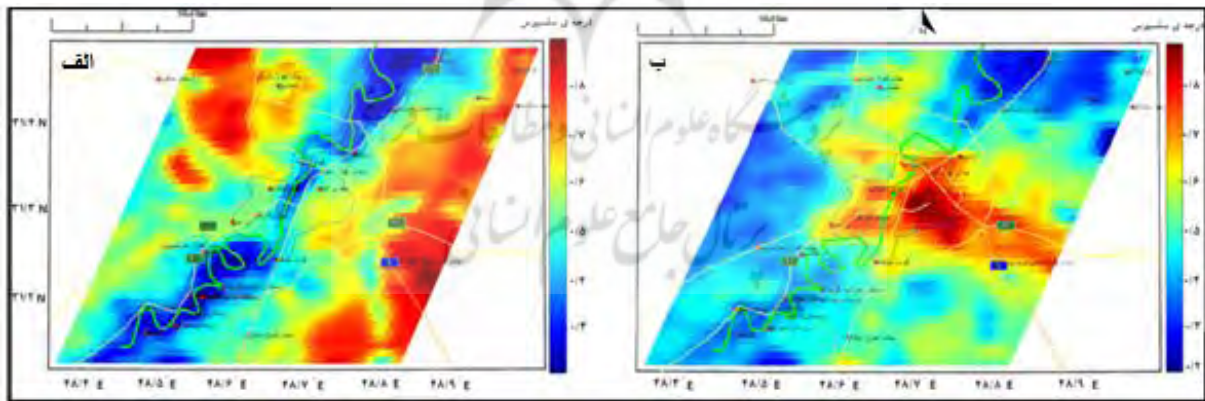
### رفتار مکانی جزیره گرمایی

میانگین بلندمدت جزیره سرمایه شهر اهواز طی روز نشان می‌دهد هنگام روز جزیره سرمایه بر شهر حاکم و میانگین آن ۲- درجه سلسیوس است؛ در عین حال قسمتهایی از شهر همچنان دمای بیشتری نسبت به پیرامون خود دارند. درحقیقت عبور رودخانه کارون از میان شهر، آن را به دو بخش تقسیم کرده است. در سمت شرق و غرب رودخانه همچنان شاهد جزیره سرمایه ضعیف و در اطراف رودخانه شاهد جزیره سرمایه نیرومند هستیم که اثر تعدیلی رودخانه در این شهر به‌خوبی مشخص می‌شود. این اثر تعدیلی رودخانه به قدری قدرتمند است که توانسته شهر را از لحاظ دمایی به دو بخش تقسیم کند. انتظار می‌رود دمای مرکز شهر نسبت به حاشیه شهر بیشتر باشد،





شکل ۸. میانگین بلندمدت جزیره گرمایی اهواز؛ آکوا، شب (منبع: نویسندگان، ۱۳۹۷)



شکل ۹. میانگین دمای بهنجارشده رویه زمین طی سال‌های ۱۳۸۱-۱۳۹۶؛ الف- آکوا، روز؛ ب- آکوا، شب (منبع: نویسندگان، ۱۳۹۷)



شکل ۱۰. کاربری اراضی کلان‌شهر اهواز (منبع اداره کل مسکن و شهرسازی استان خوزستان)

### نتیجه‌گیری

در این مطالعه برای ارزیابی جزیره گرمایی کلان‌شهر اهواز از داده‌های سنجنده مودیس ماهواره‌های ترا و آکوا استفاده شد. بر این اساس جزیره گرمایی اهواز چهار بار در شبانه‌روز بررسی شد. برای انتخاب یاخته مربوط به ناشهر، شگرد جدیدی را در این مطالعه معرفی کردیم؛ در این روش دمایی که بیشترین تکرار را در میان تمامی یاخته‌های ناشهر داشت به‌منزله نماینده ناشهر انتخاب و جزیره گرمایی شهر بر مبنای آن سنجیده شد.

یکی از مهم‌ترین نتایج این مطالعه این است که شهر اهواز طی روز جزیره گرمایی و در شب جزیره گرمایی دارد. برای مقایسه یافته‌های این پژوهش با دیگر مطالعات باید به زیبومی توجه کرد که شهر در آن ساخته شده است؛ چون شدت جزیره گرمایی طی شبانه‌روز در زیبوم‌های مختلف با هم متفاوت است.

یافته‌های جداگانه ارزیابی جزیره گرمایی با شاخص‌های متفاوت در زیبوم‌های گرم و خشک با نتایج این پژوهش همسویی دارند؛ برای نمونه پنگ و همکاران (۲۰۱۱) نشان دادند شهرهایی مانند جده در عربستان و موصل در عراق که در دل بیابان جا دارند، هنگام روز از پیراشهر خنک‌تر بوده‌اند و جزیره گرمایی روی شهر شکل می‌گیرد (Peng et al, 2011: 698). ایمهوف و همکاران (۲۰۱۰) نشان دادند برخلاف شهرهای واقع در زیبوم جنگل و چمنزار، شهرهای واقع در زیبوم خشک هیچ‌گونه جزیره گرمایی را نشان نمی‌دهند و حتی گاهی نیز جزیره گرمایی داشته‌اند (Imhoff et al, 2010: 509). درحقیقت به دلیل اینکه بیشتر زمین‌های اطراف شهر رویه‌های لخت هستند، طی روز به دلیل ظرفیت گرمایی کم به‌سرعت گرم می‌شوند و دمای بیشتری نسبت به رویه‌های شهری به دست می‌آورند؛ اما در



مصالح ساختمانی با سپیدایی و ظرفیت گرمایی زیاد و طراحی مناطق شهری به گونه‌ای که تخلیه حرارتی به سبب وزش باد انجام گیرد.

#### منابع

حیدری، حسن، علیجانی، بهلول، (۱۳۷۸). طبقه‌بندی اقلیمی ایران با استفاده از تکنیک‌های آماری چندمتغیره، پژوهش‌های جغرافیایی، دوره ۳۷، شماره ۰، تهران، ۷۴-۵۷.

عزیزی، قاسم، (۱۳۸۰). طبقه‌بندی رقومی ایستگاههای اقلیمی منتخب در ایران به روش لیتین اسکی، پژوهش‌های جغرافیایی، دوره ۰، شماره ۴۱، تهران، ۳۹-۵۱.

عزیزی، قاسم، شمسی‌پور، علی‌اکبر، مهدیان ماه‌فروزی، مجتبی، میری، مرتضی، (۱۳۹۲). تأثیرپذیری شدت جزیره گرمایی شهر تهران از الگوهای همدیدجو، محیط‌شناسی، دوره ۳۹، شماره ۴، تهران، ۵۵-۶۶.

کاربری اراضی کلان‌شهر اهواز، (۱۳۹۶). اداره کل مسکن و شهرسازی استان خوزستان.

مجرد، فیروز، ناصریه، مهتاب، هاشمی، سیروس، (۱۳۹۷). بررسی تغییرات دوره‌ای و فصلی جزیره گرمایی شهر کرمانشاه در شب و روز با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای، فیزیک زمین و فضا، دوره ۴۴، شماره ۲، تهران، ۴۷۹-۴۹۴.

مرادی، مسعود، صلاحی، برومند، مسعودیان، سید ابوالفضل، (۱۳۹۵). پهنه‌بندی دمای رویه زمین

طول شب به دلایل مختلف جزیره گرمایی بر شهر حاکم است؛ نخست اینکه ظرفیت گرمایی رویه‌های بیرون شهر کم است؛ همچنان که در روز به سرعت گرم می‌شوند، در شب نیز به سرعت گرمای خود را از دست می‌دهند؛ دوم اینکه ساختمان‌های بلند باعث به‌دام‌افتادن گرما در شهر می‌شوند؛ به بیان دیگر فرایندهای متفاوتی بر پیدایش جزیره گرمایی در شب و روز فرمان می‌رانند و اثر فرایندهای فعال در روز تا شب دوام نمی‌آورد.

در شهر اهواز جزیره سرمایی روزهنگام تغییر فصلی آشکاری نشان می‌دهد؛ این شهر در فصل تابستان، بیشترین مقدار و در زمستان، کمترین مقدار جزیره سرمایی را دارد. در مقابل بیشینه جزیره گرمایی شبانه اهواز در فصل تابستان و کمترین میزان آن در فصل زمستان روی می‌دهد و تغییرات فصلی جزیره گرمایی شبانه، بسیار کمتر از جزیره سرمایی روزانه است؛ زیرا دمای رویه ناشهر طی روز به‌ویژه روزهای گرم سال به شدت افزایش می‌یابد و جزیره سرمایی نیرومندی روی شهر به وجود می‌آید؛ اما در شب به دلیل قطع تابش خورشیدی تغییرپذیری دمای رویه ناشهر در مقیاس روزانه و فصلی کم است.

#### پیشنهادها

روش‌های مختلفی برای کاستن از شدت جزیره گرمایی یا کاهش گرما در رویه‌های شهری به‌ویژه در شهرهای گرمی مانند اهواز وجود دارد که با شناخت ویژگی‌های جزیره گرمایی شهری می‌توان از آنها برای کاهش گرما استفاده کرد. بعضی از این روش‌ها عبارت‌اند از: استفاده از فضاهای سبز شهری یا بام سبز در مناطقی که جزیره گرمایی حاکم است، استفاده از

- (2005). **Ground measurements for the validation of land surface temperatures derived from AATSR and MODIS data**, Remote Sensing of Environment, Vol 97 (3), pp 288-300.
- Cui, Y.Y., De Foy, B., (2012). **Seasonal variations of the urban heat island at the surface and the near-surface and reductions due to urban vegetation in Mexico City**, Journal of Applied Meteorology and Climatology, Vol 51, pp 855-868.
- Dousset, B., Gourmelon, F., Laaidi, K., Zeghnoun, A., Giraudet, E., Bretin, P., Mauri, E., Vandentorren, S., (2011), **Satellite monitoring of summer heat waves in the Paris metropolitan area**, International Journal of Climatology, Vol 31, pp 313-323.
- Fung, W., Lam, K., Nichol, J., Wong, M.S., (2009). **Derivation of nighttime urban air temperatures using a satellite thermal image**, Journal of Applied Meteorology and Climatology, Vol 48, pp 863-872.
- Hafner, J., Kidder, S.Q., (1999). **Urban heat island modeling in conjunction with satellite-derived surface/soil parameters**, Journal of applied meteorology, Vol 38, No 4, pp 448-465.
- Hashemi, S., Weng, Q., Darvishi, A., Alavipanah, S.K., (2016). **Seasonal Variations of the Surface Urban Heat Island in a Semi-Arid City**, Remote Sensing, Vol 8, pp 352.
- Imhoff, M.L., Zhang, P., Wolfe, R.E., Bounoua, L., (2010). **Remote sensing of the urban heat island effect across biomes in the continental USA**, Remote Sensing of Environment, Vol 114, No 3, pp 504-513.
- Jahangir, M.S., Moghim, S., (2019). **Assessment of the urban heat island in the city of Tehran using reliability methods**, Atmospheric Research, Vol 225, pp 144-156.
- Jin, M., Dickinson, R.E., Zhang, D.A., (2005). **The footprint of urban areas on global climate as characterized by MODIS**, ایران با داده‌های مودیس، مخاطرات محیط طبیعی، دوره ۵، شماره ۷، سیستان و بلوچستان، ۱۰۱-۱۱۶.
- مرکز ملی آمار ایران، (۱۳۹۶). سالنامه آماری ایران، [Available online at (۱۳۹۴) <https://www.amar.org.ir>]
- منتظری، مجید، (۱۳۹۷). **جزیره گرمایی کلان‌شهر مشهد**، دومین کنفرانس ملی آب‌وهواشناسی ایران، مشهد، ۱۵۴۲-۱۵۵۰.
- Aflaki, A., Mirnezhad, M., Ghaffarianhoseini, A., Ghaffarianhoseini, A., Omrany, H., Wang, Z.H., & Akbari, H., (2016). **Urban heat island mitigation strategies: A state-of-the-art review on Kuala Lumpur**, Singapore and Hong Kong, Cities, Vol 62, pp 131-145.
- Anniballe, R., Bonafoni, S., Pichierri, M., (2014), **Spatial and temporal trends of the surface and air heat island over Milan using MODIS data**, Remote Sensing of Environment, Vol 150, pp 163-171.
- Arnfield, A.J., (2003), **Two decades of urban climate research: a review of turbulence, exchanges of energy and water, and the urban heat island**, International journal of climatology, Vol 23, No 1, pp 1-26.
- Bokaie, M., Zarkesh, M.K., Arasteh, P.D., Hosseini, A., (2016). **Assessment of Urban Heat Island based on the relationship between land surface temperature and Land Use/Land Cover in Tehran**, Sustainable Cities and Society, Vol 23, pp 94-104.
- Bounoua, L., Safia, A., Masek, J., Peters-Lidard, C., Imhoff, M.L., (2009), **Impact of urban growth on surface climate: A case study in Oran, Algeria**, Journal of Applied Meteorology and Climatology, Vol 48, No 2, pp 217-231.
- Coll, C., Caselles, V., Galve, J.M., Valor, E., Niclos, R., Sánchez, J.M., Rivas, R.,

- quantifying surface urban heat islands of European cities with MODIS land surface temperatures. Remote Sensing of Environment**, Vol 115, No 12, pp 3175-3186.
- Szymanowski, M., Kryza, M., (2012). **Local regression models for spatial interpolation of urban heat island—an example from Wrocław, SW Poland**. Theoretical and Applied Climatology, Vol 108, No 1-2, pp 53-71.
- Tomlinson, C., Chapman, L., Thornes, J., Baker, C., (2012). **Derivation of Birmingham's summer surface urban heat island from MODIS satellite images**, International Journal of Climatology, Vol 32, No 2, pp 214-224.
- Wan, Z., Zhang, Y., Zhang, Q., Li, Z-L., (2004). **Quality assessment and validation of the MODIS global land surface temperature**, International Journal of Remote Sensing, Vol 25 (1), pp 261-274.
- Wang, K., Wang, J., Wang, P., Sparrow, M., Yang, J., Chen, H., (2007). **Influences of urbanization on surface characteristics as derived from the Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer: A case study for the Beijing metropolitan area**, Journal of Geophysical Research, Vol 112, pp 112-122..
- Zhang, P., Imhoff, M.L., Wolfe, R.E., Bounoua, L., (2010). **Characterizing urban heat islands of global settlements using MODIS and nighttime lights products**, Canadian Journal of Remote Sensing, Vol 36, No 3, pp 185-196.
- Zhou, B., Lauwaet, D., Hooyberghs, H., De Ridder, K., Kropp, J.P., and Rybski, D., (2016). **Assessing seasonality in the surface urban heat island of London**, Journal of Applied Meteorology and Climatology, Vol 55, pp 493-505.
- <http://modis.gsfc.nasa.gov>
- Journal of climate, Vol 18, No 10, pp 1551-1565.
- Kataoka, K., Matsumoto, F., Ichinose, T., Taniguchi, M., (2009). **Urban warming trends in several large Asian cities over the last 100 years**, Sci. Total Environ, Vol 407, No 9, pp 3112-3119.
- Keramitsoglou, I., Kiranoudis, C.T., Ceriola, G., Weng, Q., Rajasekar, U., (2011). **Identification and analysis of urban surface temperature patterns in Greater Athens, Greece, using MODIS imagery**, Remote Sensing of Environment, Vol 115, pp 3080-3090.
- Lazzarini, M., Marpu, P.R., Ghedira, H., (2013). **Temperature-land cover interactions: the inversion of urban heat island phenomenon in desert city areas**, Remote Sensing of Environment, Vol 130, pp 136-152.
- Li, X., Zhou, Y., Asrar, G.R., Imhoff, M., Li, X., (2017). **The surface urban heat island response to urban expansion: A panel analysis for the conterminous United States**, Science of The Total Environment, Vol 605-606, pp 426-435.
- Peng, S., Piao, S., Ciais, P., Friedlingstein, P., Oettle, C., Br., F.o.-M., Nan, H., Zhou, L., and Myneni, R.B., (2011). **Surface urban heat island across 419 global big cities**, Environmental science & technology, Vol 46, pp 696-703.
- Rizwan, A.M., Dennis, L.Y., Chunho, L.I.U., (2008). **A review on the generation, determination and mitigation of Urban Heat Island**, Journal of Environmental Sciences, Vol 20, No 1, pp 120-128.
- Schneider, A., Friedl, M.A., Potere, D., (2009). **A new map of global urban extent from MODIS satellite data**, Environmental Research Letters, Vol 4, No 4, pp 1-11.
- Schwarz, N., Lautenbach, S., Seppelt, R., (2011). **Exploring indicators for**