



Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0)

doi: <https://dx.doi.org/10.22067/jgrd.2023.77411.1158>

مقاله پژوهشی

## کاربرد دمای احساسی مبتنی بر تئوری نسبت طلایی در ارزیابی شرایط آسایش انسانی کلان‌شهرهای ایران

محمد باعقیده (دانشیار اقلیم شناسی، گروه آب و هواشناسی و ژئومورفولوژی، دانشکده جغرافیا و علوم محیطی،  
دانشگاه حکیم سبزواری، سبزوار، ایران، نویسنده مسئول)

[m.baaghideh@hsu.ac.ir](mailto:m.baaghideh@hsu.ac.ir)

فاطمه میوانه (دانش آموخته دکتری اقلیم شناسی شهری، گروه آب و هواشناسی و ژئومورفولوژی، دانشکده جغرافیا و  
علوم محیطی، دانشگاه حکیم سبزواری، سبزوار، ایران)

[fmayvaneh@yahoo.com](mailto:fmayvaneh@yahoo.com)

صص ۱۶۳ - ۱۱۹

### چکیده

احساس راحتی انسان تا حد درخور توجهی به فراسنج‌های آب و هوایی و البته ویژگی‌ها جغرافیایی بستگی دارد. پژوهش‌های معدودی وجود دارد که نقش این دو دسته از عوامل را در کنار هم در مبحث آسایش انسانی در نظر گرفته باشند. پژوهش حاضر با این دیدگاه تلاش دارد سطوح مختلف آسایش انسانی را با استفاده از شاخص دمای احساسی مبتنی بر تئوری نسبت طلایی در کلان‌شهرهای ایران ارزیابی کند. پارامترهای دمای کمینه و بیشینه رطوبت کمینه و بیشینه، بارش و میانگین سرعت باد در گام زمانی روزانه برای ۱۳ کلان‌شهر ایران برای دوره آماری (۲۰۲۰-۱۹۹۱) از سازمان هواشناسی کشور دریافت شد و در محاسبه شاخص «دمای احساسی» (ST) استفاده شد. این شاخص مبتنی بر «تئوری نسبت طلایی» و «دمای بهینه آسایش واقعی» (AOCT) طراحی شده است و از قابلیت‌های مهم آن انعطاف‌پذیری قابل توجه نسبت به تغییرات عرض جغرافیایی، ارتفاع و فصل است. نتایج نشان داد، همبستگی قابل توجه ( $-0/867$ ) معکوس و معنادار ( $\alpha > 0/01$ ) بین

عرض جغرافیایی و دمای بهینه آسایش وجود دارد و این ارتباط برای پارامتر ارتفاع نیز با ضریب  $(-0/607)$  در سطح  $(\alpha > 0/05)$  معنادار بود. شهرهای بندرعباس و اهواز بیشترین درصد فراوانی احساس حرارتی داغ و تبریز بیشترین درصد فراوانی روزهای خیلی سرد را داشتند. بیشترین توزیع ماهانه شرایط آسایش حرارتی برای شهر رشت برآورد شد. برای فصل تابستان، شهر تبریز با مجموع ۲۱ درصد شرایط آسایشی، با اختلاف، وضعیت بهتری در بین دیگر شهرها دارد؛ درحالی‌که اهواز، بندرعباس، کرمان و یزد هیچ موردی از هیچ‌یک از سطوح آسایشی را در این فصل تجربه نکرده‌اند. بیشترین درصد فراوانی شرایط آسایش کامل برای فصل پاییز برآورد شده است؛ به‌گونه‌ای که در ۹ مورد از ۱۳ شهر، آستانه غالب بوده است. استفاده از تمام فراسنج‌های اصلی آب و هوایی و امکان اعمال تصحیحات متنوع، قابلیت استفاده در گستره درخور توجهی از عرض‌های جغرافیایی و مناطق با ارتفاع متفاوت را برای شاخص ST فراهم آورده است.

**کلیدواژه‌ها:** آسایش انسانی، تئوری نسبت طلایی، دمای احساسی، کلان‌شهرهای ایران.

#### ۱. مقدمه

بررسی اثرات شرایط آب و هوایی و تغییرات آن بر فیزیولوژی بدن انسان از هزاران سال پیش مطرح بوده است. امروزه نیز این اثرگذاری با در نظر گرفتن شرایط آسایش برای زیست انسان در همه ابعاد سلامتی و بهداشتی آن مطالعه می‌شود که این موضوع مهم از طریق کاربرد شاخص‌های آسایشی امکان‌پذیر شده است. براساس گزارش‌های هیئت بین‌الدول تغییر اقلیم (IPCC)، فرکانس وقوع رویدادهای شدید هوا-اقلیم افزایش می‌یابد و مخاطرات هواشناسی مانند موج گرما و آسیب‌های ناشی از سرما سلامت جمعیت مرتبط را تهدید می‌کند (لانگین<sup>۱</sup>، ۲۰۱۶، ص. ۲۵۰). براساس این تقاضا، برآورد منطقی سطح آسایش آب و هوای شهری به یکی از کانون‌های مطالعاتی تغییرات آب و هوایی تبدیل شده است. از نظر فیزیولوژیک، شرایط آسایش حرارتی محدوده‌ای از دما و رطوبت است که در آن مکانیسم تنظیم حرارت

1. Longin

بدن در کمترین فعالیت خود باشد. براساس تعریف استاندارد آشرا (ANSI/ASHRAE<sup>۲</sup>) آسایش حرارتی «شرایط ذهنی است که رضایت از محیط حرارتی-رطوبتی را نشان می‌دهد و از طریق برداشتهای ذهنی ارزیابی می‌شود» (والری<sup>۳</sup> و همکاران، ۲۰۱۷، ص. ۱۷۲). بررسی وضعیت بیوکلیمایی انسانی، پایه و اساس بسیاری از برنامه‌ریزی‌ها در زمینه معماری، گردشگری، بهداشت و درمان است. شرایط آب و هوایی از مهم‌ترین عوامل مؤثر بر فعالیت روزانه و طولانی مدت انسان است و نبود آسایش حرارتی به صورت یک پدیده دوقطبی نبود آسایش سرد تا گرم ظاهر می‌شود. امروزه مطالعه تأثیر وضعیت آب و هوا بر سلامتی، عملکرد و رفتار انسانی در قالب یکی از شاخه‌های علمی با عنوان «زیست‌اقلیم انسانی» مطالعه و بررسی می‌شود (بارتن<sup>۴</sup> و همکاران، ۲۰۰۹، ص. ۱۶۵). آسایش و نبود آسایش حرارتی انسان از طریق شاخص‌های تئوری و تجربی زیادی محاسبه می‌شود که داده‌های ورودی این شاخص‌ها بسیاری از عناصر آب و هوایی از جمله سرعت باد، درجه حرارت، رطوبت و تابش خورشید است (تسیلو<sup>۵</sup> و همکاران، ۲۰۱۰، ص. ۱۳۴۵).

در غالب شاخص‌های ارائه شده تمرکز اصلی بر عناصر آب و هوایی (دما، رطوبت، باد...) بوده است، اما واقعیت این است که علاوه بر این عناصر، ویژگی‌ها جغرافیایی (عرض جغرافیایی، ارتفاع و فصل) نیز نقش مهمی در شرایط آسایش انسان دارند و می‌توانند پاسخ‌های فیزیولوژیک انسان را متأثر کنند؛ با وجود این، در تعداد چشمگیری از شاخص‌ها مدنظر قرار نگرفته‌اند که از این گروه می‌توان به شاخص‌های  $AT^8$ ,  $WCI^9$ ,  $CPI^7$ ,  $THI^6$  اشاره کرد. در این دسته از شاخص‌ها که به شاخص‌های تجربی معروف هستند (ذوالفقاری، ۱۳۹۵)، برآورد دمای احساسی تا حد درخور توجهی متأثر از ذهنیت افراد است که این امر نیز

1. American National Standards Institute
2. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers
3. Vellei
4. Burton
5. Tseliou
6. Temperature Humidity Index
7. Cooling power index
8. Apparent Temperature
9. Wind Chill Index

به شدت در کنترل ویژگی‌های محلی است؛ بنابراین نتایج (آستانه‌ها و احساس حرارتی متناظر) نمی‌توانند با اطمینان در دیگر مناطق جغرافیایی استفاده شود.

گروه دیگر از شاخص‌ها، براساس بیلان انرژی بدن انسان طراحی شده‌اند که از آن جمله می‌توان به  $PMV^1$ ،  $PET^2$  و  $SET^3$  اشاره کرد. این شاخص‌ها از نظر تئوری کامل‌تر هستند، اما طراحی مدل در آن‌ها بسیار پیچیده است و برخی از متغیرهای موردنیاز در فرمول‌های محاسباتی (مانند دمای تابشی) به راحتی از داده‌های روزانه ایستگاه‌های هواشناسی دریافت‌شدنی نیستند. علاوه بر این، ویژگی‌های جغرافیایی معمولاً به عنوان عامل اصلی وارد معادلات نشده‌اند و وزن واقعی خود را نیز ندارند؛ به گونه‌ای که با تغییر این ویژگی‌ها تفاوت محسوسی در نتایج حاصل نمی‌شود. وانگ<sup>۴</sup> و همکاران (۲۰۱۳)، یوان<sup>۵</sup> و همکاران (۲۰۲۱)، ص. ۱۵۴) تئوری نسبت طلایی را در حوزه هواشناسی پزشکی و سلامت استفاده کردند؛ بر این اساس، دمای آسایش بهینه واقعی با توجه به دمای بدن انسان مطرح شد و سپس با اعمال اثرات ویژگی‌های جغرافیایی (عرض جغرافیایی، ارتفاع و فصل) شاخص دمای احساسی (ST)<sup>۶</sup> معرفی شد. در برآورد دمای احساسی، ضمن اینکه مهم‌ترین متغیرهای هواشناسی استفاده می‌شود، تلاش شده است سهم اثرگذاری این متغیرها در شرایط متفاوت (دماهای بالاتر یا پایین‌تر از دمای بهینه آسایش و روزهای بارشی و غیر بارشی) اصلاح شود.

هدف اصلی پژوهش حاضر، ارزیابی جامع از شرایط آسایش انسانی در کلان‌شهرهای ایران است؛ به گونه‌ای که علاوه بر فراسنج‌های آب و هوایی، ویژگی‌های جغرافیایی نیز در این ارزیابی لحاظ شوند. در این مسیر اهداف مرحله‌ای ذیل مدنظر خواهند بود:

- برآورد دمای بهینه آسایش واقعی مبتنی بر تئوری نسبت طلایی برای کلان‌شهرهای ایران؛

1. predicted mean vote
2. Physiological Equivalent Temperature
3. Standard Effective Temperature
4. Wang
5. Yuan
6. Somatosensory Temperature

- معرفی و به‌کارگیری شاخص دمای احساسی (St) به‌عنوان یک نمایه با قابلیت کاربرد جهانی؛
- تحلیل و مقایسه خروجی مقادیر محاسبه‌شده در مسیر دستیابی به توزیع ماهانه و فصلی شرایط آسایش در شهرهای منتخب.

## ۲. پیشینه تحقیق

در نیم‌قرن اخیر، روش‌ها و مدل‌های گوناگونی برای بررسی درجه تأثیر فراسنج‌های آب و هوایی بر فیزیولوژی بدن انسان ابداع شده است و سنجش شرایط آسایش و راحتی انسان مورد نظر پژوهشگران متعدد، در جغرافیای متنوع جهان بوده است. از پیشگامان این مسیر باید به اولگی اشاره کرد که در دهه شصت با ارائه نمودار زیست‌اقلیمی به تعیین نقش جداگانه و مشخص عوامل پرداخت. او براساس آزمایش‌ها و محاسباتی که در چهار منطقه مختلف اقلیمی آمریکا انجام داد، نتیجه گرفت که نیاز به ظرفیت و مقاومت حرارتی مناطق یکسان نیست. در همین دهه، گیونی نیز نمودار بیوکلیمایی را ارائه کرد. ترجونگ<sup>۱</sup> (۱۹۶۸) تقسیم‌بندی بیوکلیمایی را مطرح کرد و طی آزمایش‌های متعددی که روی انسان انجام داد، حاصل آن را به‌صورت نمودارهای کاربردی ارائه کرد.

در ادامه پژوهشگران دریافتند که بیان کیفیت پارامترهای محیطی یک منطقه و اثرات آن در آسایش با توجه به برخورداری آن از فراسنج‌های متعدد تاحدودی ممکن است؛ بنابراین باید این پارامترها به‌صورت شاخص‌هایی ارائه شوند که واکنش افراد را به شرایط نامناسب نشان دهند و در یک طبقه‌بندی کمی درجاتی از عالی تا غیرقابل قبول را در بر گیرند. این شاخص‌ها تفسیر تأثیرات پیچیده عناصر محیطی گوناگون را آسان‌تر می‌کنند و امکان مقایسه مکان‌های مختلف از این دیدگاه را فراهم می‌آورند (دی فراتس<sup>۲</sup>، ۲۰۰۳، ص. ۴۵)؛ به این ترتیب، شاخص آسایش انسان از آن دسته مفاهیمی شد که به‌طور گسترده‌ای مدنظر قرار گرفت و تاکنون بیش از ۱۶۵ شاخص آسایش حرارتی برای اندازه‌گیری شرایط راحتی انسان طراحی و

---

1. Terjung  
2. de Freitas

معرفی شده است (کوکولو<sup>۱</sup> و همکاران، ۲۰۱۶، ص. ۳۳، پوچر<sup>۲</sup> و همکاران، ۲۰۱۸، ص. ۳۹۰).

ابتدا شاخص‌های تجربی توجه محققان را به خود جلب کرد و مطالعات گسترده‌ای براساس این دسته از شاخص‌ها در جهان انجام شد (هونام، ۱۹۶۷؛ بلیزی چک، ۲۰۰۵؛ اسماعیل و همکاران، ۲۰۰۹؛ روبرت و همکاران، ۲۰۱۲؛ وان دانا و همکاران، ۲۰۱۵). در ادامه، با امکان استفاده تخصصی‌تر از رایانه و ابداع نرم‌افزارهای مرتبط، امکان ارائه شاخص‌هایی فراهم شد که بیلان انرژی بدن را در محاسبات لحاظ می‌کردند و پژوهش‌های زیادی انجام شد؛ از جمله چنگ<sup>۳</sup> و همکاران (۲۰۱۲، ص. ۴۳) آسایش حرارتی هنگ‌کنگ را با استفاده از شاخص‌های دمای معادل فیزیولوژیک و میانگین رأی پیش‌بینی شده مطالعه کردند. آن‌ها اثر تغییر شرایط باد و تابش خورشیدی را بر احساس دمایی افراد در منطقه بررسی کردند و نتایج پژوهش به صورت روابط ریاضی ارائه شد.

ناستس<sup>۴</sup> و ماتزارکیس<sup>۵</sup> (۲۰۱۲، ص. ۵۹۱) نقش اقلیم در مرگ‌ومیر شهر آتن را با استفاده از شاخص آسایش اقلیمی pmv بررسی کردند. نتایج پژوهش نشان داد، ارتباط معنادار و خطی بین مرگ‌ومیر و افزایش سطح تنش‌های شاخص‌های آسایش اقلیمی وجود دارد. یاهیا<sup>۶</sup> و جانسون<sup>۷</sup> (۲۰۱۳، ص. ۶۱۵) به مقایسه نتایج شاخص‌های حرارتی مختلف در محیط‌های شهری و در هوای آزاد شهر گرم و خشک سوریه پرداختند. آن‌ها با توجه به آستانه بالا و پایین هرکدام از شاخص‌ها، رتبه‌های مختلف آسایش اقلیمی را برآورد کردند. پس از اینکه وانگ<sup>۸</sup> و همکاران (۲۰۱۳) تئوری نسبت طلایی را در حوزه هواشناسی پزشکی و سلامت توسط مطرح کردند، شاخص دمای احساسی (ST) مبتنی بر دمای آسایش بهینه واقعی با

1. Coccolo
2. Potchter
3. Cheng
4. Nastos
5. Matzarakis
6. Yahia
7. Johansson
8. Wang

اعمال اثرات ویژگی‌ها جغرافیایی (عرض جغرافیایی، ارتفاع و فصل) معرفی شد. ژانگ<sup>۱</sup> و همکاران (۲۰۲۰) نیز به‌خوبی از قابلیت‌های این شاخص در برآورد شرایط آسایش انسانی متأثر از عوامل ترکیبی هواشناسی-آلودگی هوا برای شهرهای منتخب چین استفاده کردند. ارتباط شرایط فیزیولوژیک بدن انسان با فراسنج‌های آب و هوایی (دما، رطوبت، سرعت باد و...) فراتر از یک رابطه خطی ساده یا حتی چندگانه است؛ بنابراین در طرح مفهوم دمای بهینه آسایش باید تصحیحات مهم با در نظر گرفتن ویژگی‌های محلی از منظر عرض جغرافیایی، ارتفاع از سطح دریا و فصل لحاظ شود. در پژوهش حاضر سعی بر آن است تا با استفاده از قاعده نسبت طلایی و برآورد دمای احساسی (ST) که خود به‌طور مشخص متأثر از تغییر در ویژگی‌ها محلی است، شرایط تنش و آسایش حرارتی برای کلان‌شهرهای ایران ارزیابی شود.

### ۳. روش‌شناسی تحقیق

#### ۳.۱. داده‌ها

سیزده کلان‌شهر از سراسر ایران با توجه به تنوع آب و هوایی و اختلاف در ویژگی‌ها جغرافیایی (عرض جغرافیایی، طول جغرافیایی و ارتفاع) انتخاب شدند (جدول ۱). مجموعه داده‌های هواشناسی برای این کلان‌شهرها از داده‌های دیدبانی (ایستگاه‌های سینوپتیک) سازمان هواشناسی کشور به‌صورت روزانه استخراج شد. این داده‌ها شامل دمای کمینه و بیشینه، بارش، رطوبت نسبی کمینه و بیشینه و میانگین سرعت باد است. بررسی همگنی داده‌ها با روش جرم مضاعف انجام شد و بازه آماری ۱۹۹۱-۲۰۲۰ به‌عنوان دوره آماری مشترک انتخاب شد.

#### جدول ۱. مشخصات ایستگاه‌های هواشناسی استفاده‌شده در پژوهش

مأخذ: سازمان هواشناسی ایران، ۱۴۰۰

ایستگاه سینوپتیک	عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی	ارتفاع	دوره آماری
مشهد	۳۶/۲۳	۵۶/۶۳	۹۹۹/۲	۱۹۵۱-۲۰۲۱
تهران	۳۵/۶۹	۵۱/۳۰	۱۱۹۱	۱۹۵۱-۲۰۲۱

دوره آماری	ارتفاع	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ایستگاه سینوپتیک
۲۰۲۱-۱۹۵۱	۱۵۵۰/۴	۵۱/۷۰	۳۲/۵۱	اصفهان
۲۰۲۱-۱۹۵۱	۱۳۶۱	۴۶/۲۴	۳۸/۱۲	تبریز
۲۰۲۱-۱۹۵۱	۱۴۸۸	۵۲/۶۰	۲۹/۵۶	شیراز
۲۰۲۱-۱۹۵۱	۲۲/۵	۴۸/۷۴	۳۱/۳۴	اهواز
۲۰۲۱-۱۹۵۵	۱۷۰۲/۸	۴۹/۷۸	۳۴/۰۷	اراک
۲۰۲۱-۱۹۵۶	-۸/۶	۴۹/۶۲	۳۷/۳۲	رشت
۲۰۲۱-۱۹۵۲	۱۲۳۰/۲	۵۴/۲۸	۳۱/۹۰	یزد
۲۰۲۱-۱۹۵۷	۱۷۴۰/۸	۴۸/۵۳	۳۴/۸۶	همدان
۲۰۲۱-۱۹۵۱	۱۷۵۴	۵۶/۹۶	۳۰/۲۵	کرمان
۲۰۲۱-۱۹۵۲	۹/۸	۵۶/۳۷	۲۷/۲۱	بندرعباس
۲۰۲۱-۱۹۸۵	۱۲۹۲/۹	۵۰/۹۵	۳۵/۸۰	کرج

### ۲.۳. دمای احساسی (ST)-تئوری نسبت طلایی<sup>۱</sup>

دمای احساسی نقش مهمی در نظارت بر سیستم تنظیم حرارت بدن انسان دارد. به‌تازگی از فناوری‌های مختلفی برای اندازه‌گیری این شاخص استفاده شده است؛ مانند دماسنج‌های مقاومتی یا ترموکوپل‌های اعمال‌شده روی سطح بدن یا دماسنج‌های مادون قرمز که از نظر بالینی راحت و قابل‌اعتماد تعریف شده‌اند (ماتسوکاوا، ۱۹۹۶، ص. ۱۲۲۴). ارتباط شرایط فیزیولوژیک بدن انسان با فراسنج‌های آب و هوایی (دما، رطوبت، سرعت باد و...) فراتر از یک رابطه خطی ساده یا حتی چندگانه است؛ بنابراین در طرح مفهوم دمای بهینه آسایش واقعی (AOCT<sup>۲</sup>) باید تصحیحات مهمی از منظر عرض جغرافیایی، ارتفاع از سطح دریا و فصل لحاظ شود. یکی از روش‌های معتبر در ارتباط با محاسبه AOCT روشی است که مبتنی بر تئوری نسبت طلایی ارائه شده است و به شرح ذیل است (وانگ و همکاران، ۲۰۱۳):

رابطه (۱):

$$AOCT = 22.7 \times [1 - 0.3 \sin(\varphi - 23.5)] - |0.3 \cos(15^\circ \times (M - 1))| - 2 \times \tan(H/100).$$

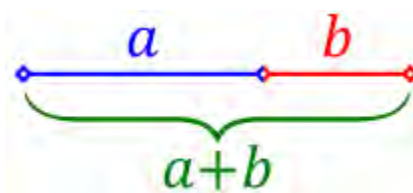
1 Golden Ratio

2. Actual Optimum Comfort Temperature



$\varphi$  عرض جغرافیایی، M: ماه، H: ارتفاع از سطح دریا (متر)

بر اساس تئوری نسبت طلایی، هرگاه یک پاره خط به دو بخش تقسیم شود به گونه ای که بخش طولانی تر (a) را بر بخش کوتاه تر (b) تقسیم کنیم و حاصل آن برابر باشد با مجموع a و b تقسیم بر a، در این صورت یک نسبت طلایی داریم که پاسخ هر دو کسر برابر با  $1/618$  خواهد شد (فالبو<sup>۱</sup>، ۲۰۰۵).



$$\frac{a+b}{a} = \frac{a}{b}$$

مغز ما به گونه ای طراحی شده است که گرایش بصری و احساسی آن اشیاء، تصاویر و پدیده هایی را ترجیح می دهد که در آن نسبت طلایی استفاده شده است و حتی تغییرات کوچک که باعث شود یک پدیده به نسبت طلایی نزدیک شود، تأثیرات زیادی بر گرایش و انتخاب مغز دارد؛ مثلاً طرحی با عرض ۹۶۰ پیکسل داریم که اگر آن را بر  $1/618$  تقسیم کنیم، عدد ۵۹۴ به دست می آید؛ به عبارتی، اگر ارتفاع را معادل ۵۹۴ بگیریم، یک نسبت طلایی خلق کرده ایم که غالب افراد آن را انتخاب می کنند و می پسندند.

با توجه به اینکه میانگین دمای نرمال بدن انسان چیزی حدود  $36/75$  است، بر اساس تئوری نسبت طلایی ( $36.75 \div 1.618$ ) پاسخ معادل  $22/7$  خواهد بود؛ این دمایی است که هر فرد سالم در آن احساس آسایش دارد (وانگ و همکاران، ۲۰۱۳).

در معادله بالا (رابطه ۱)، این دما با لحاظ کردن اثر پارامترهای عرض جغرافیایی، فصل و ارتفاع تصحیح می شود. در این معادله عبارت  $\sin(\varphi - 23.5)$  با هدف اصلاح نقش عرض جغرافیایی در برآورد دمای بهینه آسایش لحاظ شده است؛ چراکه با افزایش عرض جغرافیایی، انرژی دریافتی کاهش می یابد و مناطق کمبود انرژی در عرض های بیشتر، شکل می گیرند؛ بنابراین بر اساس عملکرد انطباقی فیزیولوژی بدن انسان در درازمدت، دمای بهینه آسایش

1. Falbo

کاهش می‌یابد. شایان ذکر است، این ضریب اصلاحی برای مناطق حاره (۲۳/۵ شمالی تا ۲۳/۵ جنوبی) کاربرد ندارد.

عبارت  $\cos(15 \times m - 1)$  به‌عنوان ضریب اصلاحی فصل سال وارد معادله شده است. در دوره سرد سال با توجه به پایین بودن میانگین دمای هوا، دمای بهینه آسایش کمتر از دوره گرم سال است.  $m$  شماره‌ای است که برای ماه‌های سال لحاظ می‌شود. معمولاً ماهی که پایین‌ترین میانگین دمایی را دارد، عدد ۱ و برای ماهی که بیشترین میانگین دما را دارد، عدد ۱۲ منظور می‌شود؛ به این ترتیب در عبارت بالا  $(\cos(15 \times m - 1))$  برای ماه‌های گرم‌تر ضریب مربوط عملکردی افزایشی دارد و دمای بهینه آسایش مقادیر بیشتری خواهد داشت، اما این فرایند برای دوره سرد سال برعکس خواهد بود.

عبارت  $\tan\left(\frac{H}{100}\right)$  با هدف اصلاح اثر ارتفاع بر دمای آسایش بهینه لحاظ شده است. افزایش ارتفاع نیز همچون افزایش عرض جغرافیایی موجب کاهش دمای آسایش می‌شود که ناشی از عملکرد انطباقی بدن در درازمدت برای ساکنان مناطق مرتفع است. اعمال ضریب ۲ برای این عبارت حکایت از اهمیت قابل توجه پارامتر ارتفاع در معادله مربوط را دارد. استفاده از این ضریب اصلاحی برای ارتفاع بالاتر از ۵۰۰ متر نتایج بهتری ارائه می‌دهد؛ هرچند پژوهشگران عملکرد آن را برای مناطقی با ارتفاع پایین‌تر نیز بررسی و تأیید کرده‌اند (ژانگ و همکاران، ۲۰۲۱). با در نظر گرفتن معادله AOCT به‌عنوان یک جزء اصلی، می‌توان معادله برآورد دمای احساسی (ST) را در دو فرم (زمانی که دمای محیط بیشتر از AOCT و زمانی که دمای محیط کمتر از AOCT باشد) ارائه کرد.

رابطه (۲):

When  $ta \geq AOCT$ ,

$$ST = ta + a \left( \exp(0.05(ta - AOCT)(rh - rhs)) - 1 \right) - 0.03(ta - AOCT)v.$$

رابطه (۳):

When  $ta < AOCT$ ,

$$ST = ta - a(\exp(0.013(AOCT - ta)(rh - rhs)) - 1) - 0.01(AOCT - ta)v.$$

در معادلات بالا،

$Ta$ : میانگین دمای هوا،  $\alpha$ : ضریب ثابت  $\cong 14$ ،  $v$ : میانگین سرعت باد (m/s)،  $rh$ : رطوبت نسبی (کسر از ۱۰)،  $rhs$ : رطوبت نسبی بهینه است که برای شرایط بارشی ۰/۶۱۸ و برای شرایط بدون بارش ۰/۵ لحاظ می شود.

ضریب ثابت  $\alpha=14$ ، در واقع تفاوت دمای آسایش مبتنی بر تئوری نسبت طلایی (۲۲/۷) و میانگین دمای نرمال بدن انسان (۳۶/۷۵) است ( $14 \cong 36.75 - 22.7$ ) (وانگ و همکاران، ۲۰۱۳). بر اساس فرمول ۲، دمای احساسی (ST) برای زمانی محاسبه می شود که دمای بهینه آسایش AOCT کمتر از دمای محیط (میانگین دمای هوا) باشد.  $\alpha \geq AOCT$  در این معادله اثر هم افزایی رطوبت با افزایش دما به صورت افزایش نمایی لحاظ شده است (به عبارت  $\exp(0.05(Ta - Aoct))$  دقت شود)؛ بر این اساس، زمانی که رطوبت محیط بیشتر از رطوبت بهینه (در شرایط بارشی و نبود بارش) باشد، دمای احساسی (ST) افزایش خواهد یافت.

عبارت  $(Ta - Aoct) \times V$  بیان می کند که اثر سرمایش باد، تنها به اندازه سرعت باد مربوط نیست، بلکه تفاوت دمای محیط با دمای بهینه آسایش نیز لحاظ شده است؛ به گونه ای که با افزایش دمای هوای محیط نسبت به دمای بهینه آسایش، اثر سرعت باد در کاهش دمای احساسی (ST) آشکارتر خواهد بود.

در فرمول ۳، دمای احساسی (ST) برای زمانی محاسبه می شود که  $(Ta < Aoct)$ ؛ به عبارتی دمای هوای محیط پایین تر از دمای آسایشی بهینه (AOCT) باشد  $(Aoct - Ta)(Rh - Rhs)$ . در این معادله، دمای احساسی هنوز به صورت مستقیم با دمای محیط متناسب است، اما اثر رطوبت بر دمای احساسی کاهش یافته است. ضمن اینکه این عملکرد کاهش رطوبت با کاهش دمای هوا نسبت به دمای بهینه آسایشی افزایش می یابد؛

به عبارتی هرچه رطوبت بیشتر باشد و دمای محیط پایین‌تر از دمای آسایش بهینه (AOCT) باشد، دمای احساسی (ST) کاهش بیشتری خواهد داشت.

نقش باد نیز در هر دو معادله ۲ و ۳، در مجموع کاهش است، اما این کاهش باز هم متناسب با اختلاف دمای هوا با دمای AOCT است. هرچه دمای هوا اختلاف بیشتری با دمای بهینه آسایش (AOCT) داشته باشد، اثر باد در کاهش دمای احساسی (ST) مشهودتر است. ضمن اینکه باید توجه داشت، این اثر کاهش برای معادله ۲ با ضریب بیشتری (۰/۰۳) حمایت شده است. در ارزیابی عملکرد و قابلیت‌های معادلات بالا باید عنوان کرد که محاسبه دمای احساسی (ST) به صورت جداگانه در شرایطی که دمای محیط بالاتر و پایین‌تر از دمای بهینه آسایش است، از نقاط قوت این روش است و می‌تواند تأثیر رطوبت را بر دماهای بالا و پایین به گونه‌ای منطقی‌تر نشان دهد. این موضوع در ارتباط با اثرات سرعت باد نیز صدق می‌کند.

در این روش برخلاف بسیاری از مدل‌های ارائه شده، استفاده از تمام فراسنج‌های اصلی آب و هوایی مؤثر در شرایط آسایش انسانی، میسر شده است؛ ضمن اینکه همراهی این پارامترها در کنار ویژگی‌های مکانی و زمانی (عرض جغرافیایی، ارتفاع و فصل) طیف گسترده‌ای به جنبه‌های کاربردی این روش داده است.

#### جدول ۲. رتبه‌های مختلف ST به همراه آستانه‌ها و احساس حرارتی

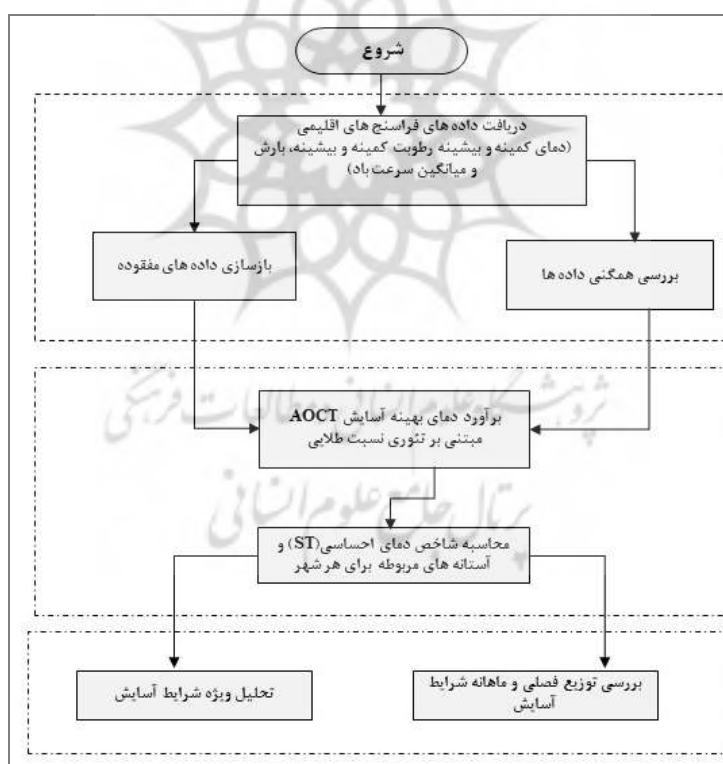
مأخذ: وانگ و همکاران، ۲۰۱۳

رتبه‌های ST	احساس حرارتی	آستانه‌ها
۴	داغ	$-D*31ST >$
۳	خیلی گرم	$-D31-TT \quad T28$
۲	گرم	$-D28-TTTT \leq 25$
۱	گرم همراه با آسایش	$-D25-TTTT \leq 22.7$
۰	آسایش	$-D22.7-TTTT \leq 18$
-۱	خنک همراه با آسایش	$-D18-TTTT \leq 13$
-۲	خنک	$-D13- << TT \leq 8$
-۳	کمی سرد	$-D8- << TT \leq 3$

رتبه‌های ST	احساس حرارتی	آستانه‌ها
-۴	سرد	$5 \leq TT < -D3$
-۵	خیلی سرد	$-15 \leq -D5$
-۶	یخ‌زدگی	$-D15 \leq -$

$$*D=22.7-AOCT$$

در جدول ۲،  $D=22.7-AOCT$  نشان‌دهنده انحراف بین دمای بهینه آسایش واقعی (با اعمال اصلاحات مربوط به عرض جغرافیایی، ارتفاع و فصل تنظیم شده است) و دمای بهینه آسایش تئوری است. این مقدار انحراف در راستای ارائه تنظیم پویا از دامنه ST در محدوده‌های مختلف استفاده شده است. مراحل انجام پژوهش به صورت خلاصه در شکل ۱ نشان داده شده است.



شکل ۱. مدل مفهومی مراحل انجام پژوهش

مأخذ: یافته‌های پژوهش، ۱۴۰۰

## ۴. یافته‌های تحقیق

مقادیر AOCT محاسبه شده برای شهرهای منتخب در جدول ۳ آمده است که بالاترین مقدار دمای بهینه به شهر بندرعباس ۲۲/۲۳ و کمترین آن به تبریز مربوط است. بررسی ارتباط بین پارامترهای (جغرافیایی طول عرض و ارتفاع) با مقادیر شاخص برآورد شده نشان داد، براساس مدل همبستگی پیرسون، همبستگی قابل توجه ( $-0/867$ ) معکوس و معنادار ( $0/01 > \alpha$ ) بین عرض جغرافیایی و دمای بهینه آسایش وجود دارد و این ارتباط برای پارامتر ارتفاع نیز با ضریب ( $-0/607$ ) در سطح ( $0/05 > \alpha$ ) معنادار بود؛ درحالی که با طول جغرافیایی رابطه معنادار وجود نداشت. مطالعه خوش‌نفس و صداقت (۱۳۹۴، ۹۱) نیز مشخص کرد که شاخص سختی هوا با ارتفاع رابطه مستقیم دارد.

جدول ۳. مقادیر میانگین ماهانه AOCT

مأخذ: یافته‌های پژوهش، ۱۴۰۰

میانگین	Dec	Nov	Oct	Sep	Aug	Jul	Jun	May	Apr	Mar	Feb	Jan	AOCT
82/20	14/21	11/21	06/21	00/21	92/20	85/20	77/20	70/20	63/20	59/20	56/20	55/20	مشهد
81/20	13/21	10/21	05/21	99/20	92/20	84/20	76/20	69/20	63/20	58/20	55/20	54/20	اراک
05/21	37/21	34/21	29/21	23/21	16/21	08/21	00/21	93/20	87/20	82/20	79/20	78/20	اصفهان
74/21	05/22	02/22	97/21	91/21	84/21	76/21	69/21	61/21	55/21	50/21	47/21	46/21	اهواز
81/20	13/21	10/21	05/21	99/20	92/20	84/20	76/20	69/20	63/20	58/20	55/20	54/20	تهران

میانگین	05/21	47/20	42/21	23/22	24/21	24/21	71/20	76/20
Dec	37/21	79/20	74/21	55/22	56/21	56/21	02/21	08/21
Nov	34/21	76/20	71/21	52/22	53/21	53/21	99/20	05/21
Oct	29/21	71/20	66/21	47/22	48/21	48/21	94/20	00/21
Sep	23/21	65/20	60/21	41/22	42/21	42/21	88/20	94/20
Aug	15/21	57/20	53/21	33/22	34/21	35/21	81/20	87/20
Jul	08/21	50/20	45/21	26/22	27/21	27/21	73/20	79/20
Jun	00/21	42/20	37/21	18/22	19/21	19/21	65/20	71/20
May	93/20	35/20	30/21	11/22	12/21	12/21	58/20	64/20
Apr	86/20	28/20	24/21	04/22	05/21	06/21	52/20	58/20
Mar	82/20	24/20	19/21	00/22	01/21	01/21	47/20	53/20
Feb	79/20	21/20	16/21	97/21	98/20	98/20	44/20	50/20
Jan	78/20	20/20	15/21	96/21	97/20	97/20	43/20	49/20
AOCT	رشت	تهران	شیراز	بندرعباس	کرمان	یزد	همدان	کرج

بر اساس مقادیر محاسبه شده AOCT و با در نظر گرفتن روابط ارائه شده در جدول ۲، آستانه‌های عددی برای ۱۱ رتبه مختلف شاخص احساس حرارتی (ST) برای هریک از شهرهای مورد بررسی محاسبه شد و در جدول ۴ درج شد؛ بر این اساس، بالاترین آستانه عددی محاسبه شده برای احساس حرارتی «داغ» به بندرعباس (۳۰/۵۳) و پس از آن اهواز با (۳۰/۰۳) مربوط بوده است. برای دیگر شهرها، آستانه‌های محاسبه شده برای این سطح از احساس حرارتی، کمتر از ۳۰ بوده است. از سوی دیگر، پایین‌ترین آستانه عددی محاسبه شده

برای احساس حرارتی فوق سرد (یخزدگی) عدد  $17/23$  - بوده که برای شهر تبریز برآورد شده است.

جدول ۴. آستانه‌های ST محاسبه‌شده برای شهرهای منتخب

مأخذ: یافته‌های پژوهش، ۱۴۰۰

88/89_6/-16	96/96_-5/-15	64/65_-6/-16	88/89_-6/-16	88/88_-6/-16	-D <sup>۰۰</sup> -D<ST≤-۰۰-
11/88_1/-6	04/96_2/-5	35/64_1/-6	11/88_1/-6	12/88_1/-6	-D <sup>۲۰</sup> -D<ST≤۰-
11/11_6/1	04/04_7/2	35/35_6/1	11/11_6/1	12/12_6/1	-D <sup>۸۰</sup> -D<ST≤۳
11/11_11/6	04/04_12/7	35/35_11/6	11/11_11/6	12/12_11/6	-D <sup>۲۲</sup> -D<ST≤۸
11/11_16/11	04/04_17/12	35/35_16/11	11/11_16/11	11/12_16/11	-D <sup>۸۸</sup> -D<ST≤۳۲
81/11_20/16	74/04_21/17	05/35_21/16	81/11_20/16	82/12_20/16	-D <sup>۲۲</sup> /N-D<ST≤۸۸
11/81_23/20	04/74_24/21	35/05_23/21	11/81_23/20	12/82_23/20	-D <sup>۰۰</sup> -D<ST≤۲۲/N
11/11_26/23	04/04_27/24	35/35_26/23	11/11_26/23	12/12_26/23	-D <sup>۸۸</sup> -D<ST≤۰۰
11/11_29/26	03/04_30/27	35/35_29/26	11/11_29/26	12/12_29/26	-D <sup>۱۱</sup> -D<ST≤۸۸
۲۹/۱۱	۳۰/۰۳	۲۹/۳۵	۲۹/۱۱	۲۹/۱۲	-D <sup>۱</sup> ST>
تهران	اهواز	اصفهان	اراک	مشهد	شهر



99/99_6/-16	45/46_6/-16	45/46_6/-16	46/47_5/-15	27/28_6/-16	22/23_7/-17	64/65_6/-16	-D <sup>۰۰</sup> -D<ST≤۰.۰۰-
01/99_1/-6	54/45_1/-6	54/45_1/-6	35/46_2/-5	72/27_1/-6	77/22_0/-7	35/64_1/-6	-D <sup>۲۰</sup> -D<ST≤۰-
01/01_6/1	54/54_6/1	54/54_6/1	53/53_7/2	72/72_6/1	77/77_5/0	35/35_6/1	-D <sup>۸۰</sup> -D<ST≤۳
01/01_11/6	54/54_11/6	54/54_11/6	53/53_12/7	76/72_11/6	77/77_10/5	35/35_11/6	-D <sup>۲۲</sup> -D<ST≤۸
01/01_16/11	54/54_16/11	54/54_16/11	53/53_17/12	72/72_16/11	77/77_15/10	35/35_16/11	-D <sup>۸۸</sup> -D<ST≤۳۲
71/01_20/16	24/54_21/16	24/54_21/16	23/53_22/17	42/72_21/16	47/77_20/15	05/35_21/16	-D <sup>۲۲/۷</sup> -D<ST≤۸۸
01/71_23/20	54/24_23/21	54/24_23/21	53/23_24/22	72/42_23/21	77/47_22/20	65/05_23/21	-D <sup>۰۰</sup> -D<ST≤۲۲/۷
01/01_26/23	54/54_26/23	54/54_26/23	53/53_27/24	72/72_26/23	77/77_25/22	35/65_26/23	-D <sup>۸۸</sup> -D<ST≤۰۰
01_29/26	54/54_29/26	54/54_29/26	53/53_30/27	72/72_29/26	77/77_28/25	35/35_29/26	-D <sup>۱۱</sup> -D<ST≤۸۸
۲۹	۲۹/۵۴	۲۹/۵۴	۳۰/۵۳	۲۹/۸۲	۲۸/۷۷	۲۹/۳۵	-D <sup>۱</sup> ST>
همدان	یزد	کرمان	بندرعباس	شیراز	تهران	رشت	شهر

شماره	فرمول
93/94_6/16	$-D^{00}-D<ST\leq 00$
06/93_1/6	$-D^{20}-D<ST\leq 00$
06/06_6/1	$-D^{80}-D<ST\leq 3$
01/06_11/6	$-D^{22}-D<ST\leq 8$
01/01_16/11	$-D^{88}-D<ST\leq 33$
76/06_20/16	$-D^{22/7}-D<ST\leq 88$
06/76_23/20	$-D^{000}-D<ST\leq 22/7$
06/06_26/23	$-D^{88}-D<ST\leq 00$
06/06_29/26	$-D^{11}-D<ST\leq 88$
۲۹/۰۶	$-D^{11}ST>$
کج	

\*آستانه (D-15- $\leq\leq$ ) از جدول حذف شده است؛ زیرا برای هیچ یک از شهرهای منتخب دمای احساسی در این بازه برآورد نشد.

براساس اطلاعات مندرج در جدول ۵، بالاترین مقادیر دمای احساسی در بین شهرهای بررسی شده در این پژوهش، برای اهواز و بندر عباس به ترتیب با ۳۸/۵۵ و ۳۷/۰۳ برآورد شده است که در ماه‌های آگوست و جولای ثبت شد. بعد از این دو شهر که به لحاظ عرض جغرافیایی کمتر و مهم‌تر از آن، ارتفاع ناچیز از سطح دریا، بالاترین رتبه را به خود اختصاص دادند، شهر یزد با بیشینه دمای احساسی ۳۱/۰۱ قرار دارد و در دسته بعدی می‌توان شهرهایی چون رشت (۳۱/۸۳) اصفهان (۳۱/۳۳) تهران (۳۱/۳۲) و شیراز (۳۱/۰۳) را قرار داد. حضور شهر رشت در این دسته به لحاظ ارتفاع پایین آن به‌رغم عرض جغرافیایی زیاد، قابل توجه است. در گروه دیگر، شهرهای کرج (۳۰/۹۹)، مشهد (۳۰/۲۱)، تبریز (۳۰/۳۵) قرار می‌گیرند. دمای احساسی بیشینه برای شهرهای اراک، کرمان و همدان به ترتیب با ۲۹/۴۲، ۲۹ و ۲۷/۷۵ کمتر از ۳۰ بود. هر سه این شهرها ارتفاع بالاتر از ۱۷۰۰ متر داشتند.

در ارتباط با ماه‌های ثبت بیشینه‌های دمای احساسی، برای اغلب ایستگاه‌ها (۹ مورد از ۱۳ ایستگاه) این موارد در ماه جولای ثبت شده است. بررسی کمینه‌های فرین نشان می‌دهد، پایین‌ترین مقادیر دمای احساسی برای شهرهای همدان (۱۶/۹۳-) و اراک (۱۶/۰۴-) ثبت شده‌اند که مطمئناً نقش هر دو عامل عرض جغرافیایی و ارتفاع (بالاتر از ۱۷۰۰ متر) تعیین‌کننده بوده است. بندرعباس و اهواز تنها شهرهایی بودند که دمای احساسی کمینه آن‌ها در طول دوره آماری منفی نبوده است (۱۲/۰۱ و ۵/۱۴). در شش شهر از ۱۳ شهر، موارد کمینه

در ماه ژانویه ثبت شده‌اند. شش شهر دیگر در ماه فوریه و فقط برای تبریز، زمان این رخداد دسامبر بوده است.

جدول ۵. فرین‌های کمینه و بیشینه دمای احساسی (ST) برآورد شده برای شهرهای منتخب

مأخذ: یافته‌های پژوهش، ۱۴۰۰

شهر	بیشینه	کمینه	میانگین (AOCT)
مشهد	۳۰/۲۱ <sup>(۷)</sup> *	۱۵/۷۹ - (۲)	۲۰/۸۲
اراک	۲۹/۴۲ (۷)	۱۶/۰۴ - (۱)	۲۰/۸۱
اصفهان	۳۱/۳۳ (۸)	۹/۴ - (۱)	۲۱/۰۵
اهواز	۳۸/۵۵ (۸)	۵/۱۴ (۲)	۲۱/۷۳
تهران	۳۱/۳۲ (۷)	۷/۸۵ - (۲)	۲۰/۸۱
رشت	۳۱/۸۳ (۷)	۴/۹۷ - (۲)	۲۱/۰۵
تبریز	۳۰/۳۵ (۷)	۱۳/۴ - (۱۲)	۲۰/۴۷
شیراز	۳۱/۰۳ (۷)	۱/۷۸ - (۱)	۲۱/۴۲
بندرعباس	۳۷/۰۳ (۷)	۱۲/۰۱ (۲)	۲۳/۲۳
کرمان	۲۹ (۸)	۱۱/۱۳ - (۱)	۲۱/۲۴
یزد	۳۳/۰۱ (۸)	۸/۶۷ - (۲)	۲۴/۲۴
همدان	۲۷/۷۵ (۷)	۱۶/۹۳ - (۱)	۲۰/۷
کرج	۳۰/۹۹ (۷)	۱۰/۰۹ - (۱)	۲۰/۷۶

\* اعداد داخل پرانتز شماره ماه است که فرین دمای احساسی در آن برآورد شده است.

جدول ۶، درصد فراوانی وقوع رتبه‌های احساس حرارتی (ST) را برای شهرهای منتخب نشان می‌دهد؛ بر این اساس، در ستون احساس حرارتی داغ (ST>31-D) بیشترین درصد فراوانی به شهرهای بندرعباس و اهواز به ترتیب با ۴۱/۸۸ و ۴۰/۵۹ درصد مربوط بوده است؛ این در حالی است که شهر یزد با فاصله قابل توجه نسبت به دو شهر مذکور (۱۰/۳۲ درصد) در رتبه سوم قرار دارد. برای شهرهای همدان و کرمان هیچ موردی از تنش حرارتی در آستانه مدنظر (داغ) ثبت نشده است. این موضوع برای همدان با توجه به توپوگرافی و عرض جغرافیایی آن دور از ذهن نیست، اما برای شهر کرمان به نظر می‌رسد پارامتر ارتفاع (بالاترین در بین ایستگاه‌های بررسی شده) بیشترین نقش را در این زمینه ایفا کرده است؛ چراکه در

محاسبه شاخص (ST) وزن قابل توجهی برای ارتفاع در نظر گرفته شده است؛ به گونه‌ای که می‌تواند حتی اثر کاهشی عرض جغرافیایی کم را تا حد چشمگیری جبران کند؛ این در حالی است که پژوهش بامری نژاد و همکاران (۱۳۹۸) ضمن تأیید عملکرد شاخص دمای معادل فیزیولوژیک، سهم درخور توجهی را برای تنش‌های حرارتی زیاد، در نظر گرفته است. براساس داده‌های جدول، برای آخرین آستانه تنش سرمای (یخ‌زدگی) هیچ موردی برای شهرهای بررسی شده ثبت نشده است و در آستانه خیلی سرد، بیشترین درصد فراوانی به تبریز و پس از آن به همدان مربوط بوده است و مطابق انتظار، شهرهای بندرعباس، اهواز و البته رشت فاقد رخداد تنش سرمای در این آستانه بودند.

آستانه (18-TTTT77777-D) بیانگر وجود شرایط «آسایش» حرارتی است که براساس اطلاعات جدول، بیشترین درصد فراوانی به بندرعباس با ۲۱/۲۷ درصد و سپس اهواز با ۱۵/۳۶ درصد مربوط بوده است. شهرهای کرمان (۱۳/۷۲ درصد) و همدان (۱۳/۱۰ درصد) در رتبه‌های بعدی قرار می‌گیرند. تبریز با ۱۰/۵۹ درصد کمترین سهم را در این آستانه داشته است. شرایط آسایشی بندرعباس و اهواز در بسیاری از سطوح شاخص احساس حرارتی به هم نزدیک‌اند و تنها تفاوت درخور توجه در سطح «خنک همراه با آسایش» است که باعث شده است اهواز تعداد روزهای آسایشی کمتری در مقایسه با بندرعباس داشته باشد؛ به گونه‌ای که اگر آستانه‌های قبل و بعد از آستانه آسایش یعنی (گرم همراه با آسایش و خنک همراه با آسایش) را نیز به عنوان محدوده آسایش در نظر بگیریم، مجموع این آستانه‌ها برای شهرهای بندرعباس و اهواز (۳۷/۹ و ۳۸/۳۹) بسیار نزدیک به هم خواهد بود.

اختلاف قابل توجه در درصد فراوانی روزهای همراه با آسایش حرارتی برای شهر بندرعباس با دیگر شهرهای بررسی شده، در درجه اول به سهم بسیار ناچیز (نزدیک به صفر) آستانه‌های «خیلی سرد، سرد، کمی سرد و خنک» برای این شهر برمی‌گردد. در آستانه خنک همراه با آسایش نیز بندرعباس پایین‌ترین رتبه (۷/۳۹ درصد) را در بین شهرها داشته است؛ به این ترتیب بیش از ۹۲/۵ درصد از روزهای بررسی شده در دوره آماری، در محدوده خارج از تنش‌های سرد قرار داشته است که از این بین، ۲۱/۲۷ درصد به شرایط «آسایش حرارتی» مربوط بوده و بقیه در محدوده تنش‌های حرارتی گرم توزیع شده است؛ به عبارتی، چند ماه از

سال به طور کامل توسط بالاترین تنش‌های گرمایی (داغ و خیلی گرم) از شرایط آسایش به دور هستند، اما به دلیل نبود تنش‌های سرمایی در این شهر، ماه‌های دیگر سال به شرایط آسایش حرارتی نزدیک‌تر شده‌اند.

در ارتباط با درصد روزهای همراه با آسایش، برای ایستگاه تبریز باید اذعان داشت که سهم قابل توجه تنش‌های سرد نقش مهمی در کاهش آسایش حرارتی داشته است. همسو با این نتیجه، نتایج پژوهش خوش‌نفس و صداقت (۱۳۹۴، ۹۱) مبتنی بر شاخص سختی هوا نشان داد، در شمال غرب ایران ۸۷ درصد از روزهای دوره سرد سال، خارج از محدوده آسایش قرار دارند. تبریز بیشترین درصد روزهای خیلی سرد را در دوره آماری مطالعه شده داشته است و در مورد احساس حرارتی سرد نیز بعد از همدان قرار می‌گیرد؛ البته به این نکته نیز باید توجه داشت که در کنار تنش‌های حرارتی سرد، تنش حرارتی خیلی گرم نیز با سهم نزدیک به ۹ درصد، به نوبه خود در کاهش محدوده آسایش مؤثر بوده است.

#### جدول ۶. درصد فراوانی وقوع رتبه‌های احساس حرارتی (ST) در شهرهای منتخب

مأخذ: یافته‌های پژوهش، ۱۴۰۰

شهر	داغ	خیلی گرم	گرم	گرم همراه با آسایش	آسایش	خنک همراه با آسایش	خنک	کمی سرد	سرد	خیلی سرد	یخ‌زدگی
مشهد	۰/۷۰	۱۱/۱	۶۷/۱	۹/۷۳	۱۰/۸۳	۱۱/۹۲	۸/۵۲	۱۵/۱۳	۶/۷	۰/۵	۰
اراک	۰/۱۱	۹/۶	۷۱/۱	۸/۴۷	۱۰/۷۵	۱۲/۷۲	۳/۴۳	۸/۰۷	۹/۶	۱/۰۲	۰
اصفهان	۱/۹۵	۷/۴/۱	۸۵/۴۱	۳/۵۴	۲۱	۶/۷/۱	۶/۶۱	۳/۴۱	۷/۳/۱	۰/۰۷	۰
تهران	۶/۸	۳۱/۷/۱	۱۲/۳/۱	۷/۴/۸	۲۲/۱۱	۷/۷/۱	۸/۶/۱	۷/۳/۱	۸/۷/۱	۰/۱۱	۰

شهر	اهواز	رشت	تبریز	شیراز	بندرعباس	کرمان	یزد	همدان	کرج
داغ	۶۵/۵	۲۹/۳	۶۹/۰	۱۹/۱	۷۷/۴	۰	۱۰۳/۲	۰	۲/۳
خیلی گرم	۷۰/۱	۳۲/۱	۵۶/۷	۲۰/۵	۵۶/۱	۷۷/۶	۳/۷	۷/۰	۶/۱۱
گرم	۸۰/۷	۷۲/۱	۱۱/۳	۵۲/۳	۸۷/۷	۵/۰	۳۶/۳	۱۰/۵	۱/۳
گرم همراه با آسایش	۶/۰	۷۶/۷	۲۲/۶	۳۷/۷	۶۸/۷	۸۶/۲	۶/۷	۱۷/۶	۹/۳
آسایش	۵/۳	۳/۱	۵/۰	۷/۱	۸۸/۲	۲۸/۳	۲/۲	۱۰/۳	۱۶/۱
خنک همراه با آسایش	۱۷/۰	۱۳/۱	۱۶/۱	۲۵/۵	۶۳/۸	۵۲/۵	۴	۲/۲	۵/۳
خنک	۳۵/۵	۷۷/۶	۳	۶۷/۶	۵/۰	۰/۳	۳/۵	۷/۳	۷/۳
کمی سرد	۸۶/۰	۱۲/۷	۶۲/۵	۳/۷	۰	۵۶/۰	۱/۶	۵/۶	۷/۷
سرد	۰	۶۵/۱	۸/۳	۰/۰	۰	۸/۲	۳/۱	۸/۳	۶/۵
خیلی سرد	۰	۰	۲۵/۲	۰	۰	۱۷/۰	۸/۰	۶/۱	۰/۳
یخ زدگی	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰

#### ۴.۱. توزیع ماهانه سطوح مختلف آسایش حرارتی مبتنی بر شاخص دمای احساسی (ST)

بررسی فراوانی سطوح احساس حرارتی شاخص ST برای ماه‌های سال به تفکیک انجام گرفته است که نتایج در جدول ۷ مشاهده می‌شود. براساس اطلاعات مندرج در این جدول، برای شهرهای اهواز و بندرعباس آستانه‌های سرد و خیلی سرد در هیچ ماهی از سال ثبت نشده

است و حضور دو ماه کامل در شرایط داغ حرارتی (جولای و آگوست) و تقریباً شش ماه بدون شرایط آسایش حرارتی از ویژگی‌ها بارز و مشترک در این دو شهر است. برای شهر بندرعباس تمرکز بیشتر رخدادهای آسایش در اوج دوره سرد سال (دسامبر تا فوریه) بوده است.

برای شهر همدان هیچ موردی از تنش حرارتی داغ در دوره آماری ثبت نشده است و درباره کرمان باید گفت، این شهر از عرض جغرافیایی نسبتاً کم برخوردار است، اما احساس حرارتی داغ در هیچ ماهی از سال ثبت نشده است که می‌تواند متأثر از اثر تعدیلی و نقش قابل توجه ارتفاع ۱۷۴۵ متر باشد.

توزیع روزهای همراه با آسایش حرارتی برای شهر مشهد به گونه‌ای بوده است که تنها دو ماه ژانویه و جولای هیچ موردی از شرایط آسایش را تجربه نکرده‌اند و ماه‌های اکتبر و آوریل بیشترین تعداد روزهای همراه با آسایش حرارتی در طول دوره آماری را داشتند.

برای شیراز نیز درحالی که برای سه ماه جون، جولای و آگوست روزهای داغ ثبت شده است، برای هیچ ماهی از سال در آستانه خیلی سرد موردی به ثبت نرسیده است. برای شهر تهران، نکته قابل توجه وجود ۴۶۶ روز معادل ۶۷ درصد شرایط داغ برای ماه جولای است؛ این در حالی است که احساس حرارتی خیلی گرم نیز سهم درخور توجهی در ماه‌های جون، جولای و آگوست داشته است. مطالعه علیجانی و رضوی (۱۳۹۶، ص. ۱۵۴) نیز اگرچه تنش‌های گرمایی فصل گرم تهران را تأیید می‌کند، درصد زیاد روزهای داغ را نشان نداده است. ماه‌های اکتبر و آوریل نیز به ترتیب بیشترین فراوانی شرایط آسایش را ثبت کرده‌اند.

بیشترین توزیع شرایط آسایش حرارتی برای شهر رشت مشاهده شده است؛ به گونه‌ای که در همه ماه‌های سال فراوانی رخدادهای آسایش ثبت شده است که کمینه آن برای ماه فوریه و جولای و بیشینه آن (معادل ۵۳ درصد) برای ماه اکتبر بوده است. احساس حرارتی غالب برای ماه‌های دوره سرد سال «خنک» بوده است و به نظر می‌رسد که با وجود عرض جغرافیایی زیاد، عواملی همچون ارتفاع کم و شرایط تعدیلی دریا در کاهش سطح تنش‌های گرمایی نقش داشته‌اند.

جدول ۷. توزیع ماهانه سطوح مختلف آسایش حرارتی مبتنی بر شاخص دمای احساسی (ST)

مأخذ: یافته‌های پژوهش، ۱۴۰۰

شهر	اهواز								اراک			
آستانه	داغ	خیلی گرم	گرم	آسایش (گرم)	اسایش	آسایش (خنک)	خنک	کمی سرد	داغ	گرم خیلی	گرم	آسایش (گرم)
ژانویه	۰	۰	۰	۰	۵/۹۹	۶۰/۸۳	۳۱/۸۰	۱/۳۸	۰	۰	۰	۰
فوریه	۰	۰	۰	۳/۰۳	۳۴/۳۴	۴۹/۴۹	۱۱/۱۱	۲/۰۲	۰	۰	۰	۰
مارس	۰	۰/۹۲	۶/۱۶	۲۲/۵۱	۶۲/۶۷	۹/۲۲	۰	۰	۰	۰	۰	۰/۴۱
آوریل	۱/۹۰	۲۵/۲۴	۴۶/۶۷	۱۷/۶۲	۷/۶۲	۰/۹۵	۰	۰	۰	۰	۰	۰/۴۰
می	۶۷/۷۴	۳۰/۴۱	۴۷/۱۱	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۸/۲۷	۲۸/۵۷
ژوئن	۹۸/۱۰	۱/۹۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۱۶/۶۷	۶۷/۶۲	۱۲/۳۷
ژوئای	۱۰۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۱/۳۸	۶۷/۶۶	۲۸/۱۱	۱/۷۴
آگوست	۱۰۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۲۸/۵۷	۶۶/۷۲	۶۶/۷۲	۴/۱۶
سپتامبر	۹۰/۹۵	۸/۵۷	۷۴/۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۳۶/۱۹	۳۶/۱۹	۴۷/۶۲
اکتبر	۱۹/۷۲	۳۰/۷۱	۱۶/۸۳	۰/۶۰	۲/۳۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۵/۹۹
نوامبر	۰	۰/۴۸	۵/۸۱	۱۷/۶۲	۵۲/۸۶	۲۲/۳۸	۰/۹۵	۰	۰	۰	۰	۰
دسامبر	۰	۰	۰	۰	۱۷/۹۷	۶۰/۳۷	۲۱/۶۶	۰	۰	۰	۰	۰



شهر	بندرعباس												اصفهان	
آستانه	اسایش	آسایش (خنک)	خنک	کمی سرد	سرد	سرد خیلی	داغ	خنلی گرم	گرم	آسایش (گرم)	اسایش	آسایش (خنک)	خنک	داغ
ژانویه	۰	۰	۱۲/۴۴	۸۶/۸۶	۴۲/۴۰	۵/۵۳	۰	۰	۰	۰	۵/۶۰	۸۶/۴۴	۱۹/۰	۰
فوریه	۰	۳۵/۴	۶۶/۶۶	۶۷/۷۸	۵۸/۴۵	۶۵/۶	۰	۰	۱۰/۱	۸۱/۳۱	۶۰/۶	۶۶/۲۴	۱۰/۱	۰
مارس	۳/۳۳	۱۷/۶۱	۱۳/۶۳	۵۳/۵۱	۳۷/۱	۰	۰	۱۵/۰	۶۶/۳۱	۳۶/۳۳	۸۱/۵۴	۷۳/۱	۰	۰
آوریل	۲۱/۴۳	۴۵/۱۵	۲۱/۴۳	۳۲/۵	۰	۰	۱۷/۳	۶۱/۶۳	۶۷/۲۳	۳۶/۵	۰/۶/۱	۰	۰	۰
می	۶۱/۵۲	۱۷/۹/۱	۰	۰	۰	۰	۳۸/۸۶	۶۶/۳۸	۰	۰	۰	۰	۰	۰
ژوئن	۳/۳۳	۰	۰	۰	۰	۰	۵۰/۹۶	۵۹/۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰/۹۵
ژوئای	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۱۰/۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۱۴/۷۵
آگوست	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰/۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۷/۳۷
سپتامبر	۱۵/۷۱	۷۳/۰	۰	۰	۰	۰	۳۳/۳۶	۸۶/۶	۰	۰	۰	۰	۰	۰
اکتبر	۳۳/۸	۶۱/۵۳	۲۵/۱۱	۰	۰	۰	۳۶/۵۳	۸۳/۸۳	۱۱/۵۱	۷۳/۱	۰	۰	۰	۰
نوامبر	۱/۴۳	۶۶/۲۴	۳۹/۰۵	۳۱/۸۳	۶۶/۸	۷۳/۰	۰	۶۸/۶	۳۳/۳۳	۵۶/۰۳	۶۳/۰۴	۷۳/۰	۰	۰
دسامبر	۰/۴۶	۱۹/۰	۸۶/۵۱	۳۶/۸۳	۳۶/۳۳	۱۹/۰	۰	۶۳/۰	۶۳/۰	۰/۶/۱	۷۸/۷۶	۶۶/۱۸	۰	۰



کرج													
شهر	خنک	کمی سرد	سرد	خیلی سرد	داغ	گرم خیلی	گرم	آسایش (گرم)	آسایش	آسایش (خنک)	خنک	کمی سرد	سرد
ژانویه	۴/۱۵	۲۷/۷۱	۵۷/۱۴	۱۱/۱۱	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۱۷/۵۱	۸۸/۶۳	۲۳/۵۰
فوریه	۱۱/۲۱	۳۸/۷۱	۳۷/۳۱	۱۶/۱۱	۰	۰	۰	۱۵/۰	۷۵/۸	۸۳/۳۱	۳۷/۳۱	۷۶/۷۱	
مارس	۱۴/۱۳	۴۴/۱۳	۲۲/۶	۰	۰	۰	۰	۳۵/۵	۳۳/۳۱	۵۵/۰۳	۲۷/۳۱	۳۷/۱	
آوریل	۲۰/۴۸	۹/۵۲	۹۵/۰	۰	۰	۰	۰	۵۵/۷۱	۶۸/۳۳	۱۷/۳۱	۶۲/۳	۷۶/۱	
می	۵/۵۳	۰	۰	۰	۰	۷۶/۱	۳۸/۰۲	۲۰/۵۱	۳۱/۰۱	۶۳/۰	۰	۰	
ژوئن	۰	۰	۰	۰	۳۳/۳	۷۶/۳۱	۳۱/۱۳	۳۶/۵	۰	۰	۰	۰	
ژوئیه	۰	۰	۰	۰	۱۹/۳۵	۸۸/۶۳	۷۷/۳۱	۰	۰	۰	۰	۰	
آگوست	۰	۰	۰	۰	۵۱/۳	۱۳	۴۱/۶۳	۲۵/۷	۰	۰	۰	۰	
سپتامبر	۰	۰	۰	۰	۰	۶۸/۳	۶۲/۳۳	۱۷/۳۱	۰	۰	۰	۰	
اکتبر	۲۳/۳۱	۲۵/۰	۰	۰	۰	۰	۳۷/۱	۰	۵۲/۷۸	۵۳/۶	۶۳/۰	۰	
نوامبر	۲۹/۵۲	۴۸/۷۳	۳۳/۳۱	۵/۰	۰	۰	۰	۸۶/۶	۱۶/۸۱	۶۱/۶۳	۳۳/۳۱	۱۸/۵	
دسامبر	۶/۱۹	۳۳/۳۱	۷۶/۳۵	۲۸/۱	۰	۰	۰	۰	۲۸/۱	۵۶/۸۱	۲۵/۸۱	۲۵/۸۱	

شهر	کرمان										مشهد		
آستانه	خیلی سرد	گرم	گرم	آسایش (گرم)	آسایش	آسایش (خنک)	خنک	کمی سرد	سرد	خیلی سرد	داغ	خیلی گرم	گرم
ژانویه	۰/۹۲	۰	۰	۰	۰	۱۰/۱۴	۳۶/۴	۳۷/۹	۱۴/۲۹	۱۳/۱	۰	۰	۰
فوریه	۳/۰۳	۰	۰	۰	۰	۲۱/۲۲	۴۱/۹۲	۲۶/۸۸	۹/۶۰	۰	۰	۰	۰
مارس	۰	۰	۰	۶۳/۰	۵۶/۸	۴۸/۳۹	۳۳/۶۴	۷/۸۷	۱۳/۱	۰	۰	۰	۰
آوریل	۰	۰	۰	۶۸/۲۱	۵۰	۲۸/۵۵	۶/۶۷	۰	۰	۰	۰	۰	۲۸/۲
می	۰	۰	۰	۶۷/۸	۳۹/۱۱	۲۸/۲	۰	۰	۰	۰	۰	۳۱/۳	۳۵/۰۲
ژوئن	۰	۰	۰	۶۸/۳	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۴۳/۱۷	۴۲/۳۸
ژوئیه	۰	۰	۰	۶۷/۶۲	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۶۰/۸۳	۲۸/۵۷
اگوست	۰	۰	۰	۵۵/۳۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۱۸/۳۱	۲۹/۰۳	۵۶/۱۶
سپتامبر	۰	۰	۰	۴۶/۶۳	۲۲/۲۱	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰/۹۵	۳۳/۳۳
اکتبر	۰	۰	۰	۶۲/۸	۵۰/۰۳	۲۹/۰۳	۳/۶۸	۰	۰	۰	۰	۰	۰/۹۲
نوامبر	۰/۴۸	۰	۰	۰	۱/۴۳	۳۴/۲۹	۴۷/۱۴	۱۵/۲۴	۱/۹۰	۰	۰	۰	۰
دسامبر	۰	۰	۰	۰	۰/۶۴	۸۸/۷	۱۰/۱۴	۴۴/۲۴	۵/۵۳	۰	۰	۰	۰



شهر	تبریز												
آستانه	خنک	کمی سرد	سرد	داغ	خیلی گرم	گرم	آسایش (گرم)	آسایش	آسایش (خنک)	خنک	کمی سرد	سرد	خیلی سرد
ژانویه	۴۷/۹۳	۳۸/۲۵	۶/۹	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۲۵/۳۵	۱۹/۵۹	۵/۴/۵۱
فوریه	۵۸/۰۵	۱۹/۸۰	۲/۰۲	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۱۶/۱۱	۴۴/۳۴	۳۵/۳۵	۶/۵/۸۷
مارس	۱۱/۸۱	۳۸/۱	۰	۰	۰	۰	۰	۲۹/۰	۶۰/۱۱	۳۵	۱۳/۰۸	۱۶/۳	۰
آوریل	۲/۳۸	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۳۳/۱۱	۶۱/۶۳	۸۶/۶۳	۶۸/۳	۳۳/۱	۰
می	۰	۰	۰	۰	۰	۳۲/۳	۲۰/۱۱	۱۸/۶۳	۵۳/۵۱	۸۶/۰	۰	۰	۰
ژوئن	۰	۰	۰	۰	۱۰/۱	۴۵/۶۳	۰/۱۸	۰/۱۸	۷۴/۰	۰	۰	۰	۰
ژولای	۰	۰	۰	۸۰/۵	۴۷/۴۳	۸۱/۶۳	۸۳/۸	۶۳/۰	۰	۰	۰	۰	۰
آگوست	۰	۰	۰	۶۳/۰	۳۱/۳۳	۶۰/۰۳	۳۳/۱۱	۶۸/۸	۰	۰	۰	۰	۰
سپتامبر	۰	۰	۰	۰	۱۷/۲	۳۱/۸۳	۱۸/۵۱	۵۶/۰۱	۷۳/۸	۰	۰	۰	۰
اکتبر	۶۴/۰	۰	۰	۰	۰	۰	۳۸/۲	۶۸/۸۳	۳۵/۶۳	۵۰/۸۱	۳۷/۱	۰	۰
نوامبر	۴۸/۱۰	۶۳/۳	۰	۰	۰	۰	۰	۸۶/۶	۶۷/۶۳	۲۲/۶۳	۵۶/۰۳	۲۵/۶	۰
دسامبر	۵۵/۸۵	۳۶/۳۳	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۵۳/۰۶	۵۳/۰۶	۵۱/۸	۳۶/۶۳	۸۳/۸



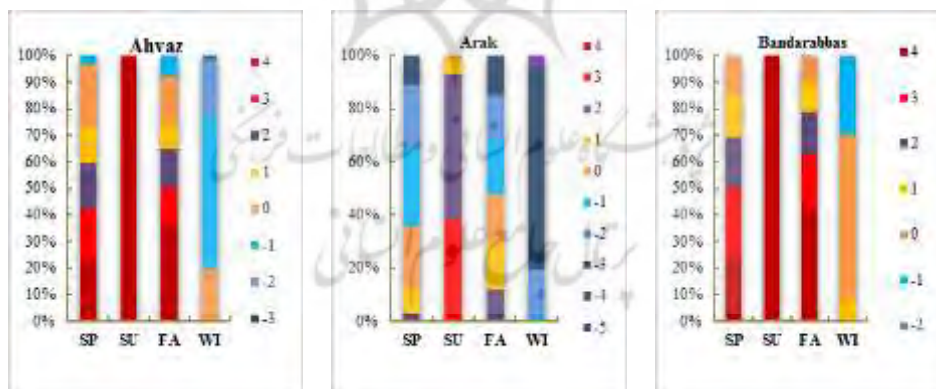
شهر	رشت												
آستانه	آسایش (گرم)	آسایش	آسایش (خنک)	خنک	کمی سرد	سرد	خیلی سرد	داغ	خیلی گرم	گرم	آسایش (گرم)	آسایش	آسایش (خنک)
ژانویه	۰	۱/۳۸	۱۹/۸۲	۴۲/۴۰	۲۸/۵۷	۷/۸۳	۰	۰	۰	۰	۰/۹۲	۲/۳۰	۳/۶۹
فوریه	۱/۵۲	۱۰/۱۰	۳۳/۳۳	۳۶/۳۶	۱۳/۱۳	۴/۵۵	۱۰/۱	۰	۰	۰	۵/۱	۱۰/۱	۲/۰
مارس	۲/۷	۳۹/۳۳	۲۴/۴۰	۳۴/۱	۶۳/۰	۰	۰	۰	۰	۰	۷/۳/۱	۴۷/۱	۱۱/۷/۱
آوریل	۲۸/۱۰	۴۰/۹۵	۱۰/۴۸	۱/۹۰	۰	۰	۰	۰	۰	۷۶/۰	۰	۳۳/۱	۵/۱/۵
می	۱۸/۴۳	۵/۵۳	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۵/۰	۶۵/۶۱	۲۹/۶۴	۴۳/۶۳	۳/۶
ژوئن	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۲/۳/۱	۳۹/۶۳	۴۲/۶۳	۳۴/۱۱	۶۲/۳	۰
ژوئای	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۱۵/۵/۱	۱۶/۹۵	۲۴/۴۲	۴۵/۵	۵/۰	۰
آگوست	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۶۳/۱	۸۰/۸۵	۱۱/۲۱	۱۱/۶	۳۱/۸	۰
سپتامبر	۹/۵۲	۱/۹۰	۰	۰	۰	۰	۰	۶۳/۱	۶۷/۸۱	۳۹/۰۵	۷۳/۰۸	۱۸/۵/۱	۷۳/۰
اکتبر	۲۸/۱	۴۵/۶	۶/۴/۶	۶/۳/۰	۰	۰	۰	۰	۵/۰/۸	۲/۳/۸	۳۰/۰/۱	۵/۳/۵	۶/۱/۸
نوامبر	۰/۴۸	۱۶/۶۷	۴۲/۷/۳	۳۲/۷/۱	۵/۸/۵	۱/۴۳/۱	۰	۰	۰	۰	۷/۳/۰	۳/۱/۸	۴۴/۳/۳
دسامبر	۰	۴/۱۵	۱۴/۲۹	۵۶/۲۲	۲۵/۳۵	۰	۰	۰	۰	۰	۱/۹/۰	۲/۳/۰	۴/۳/۳

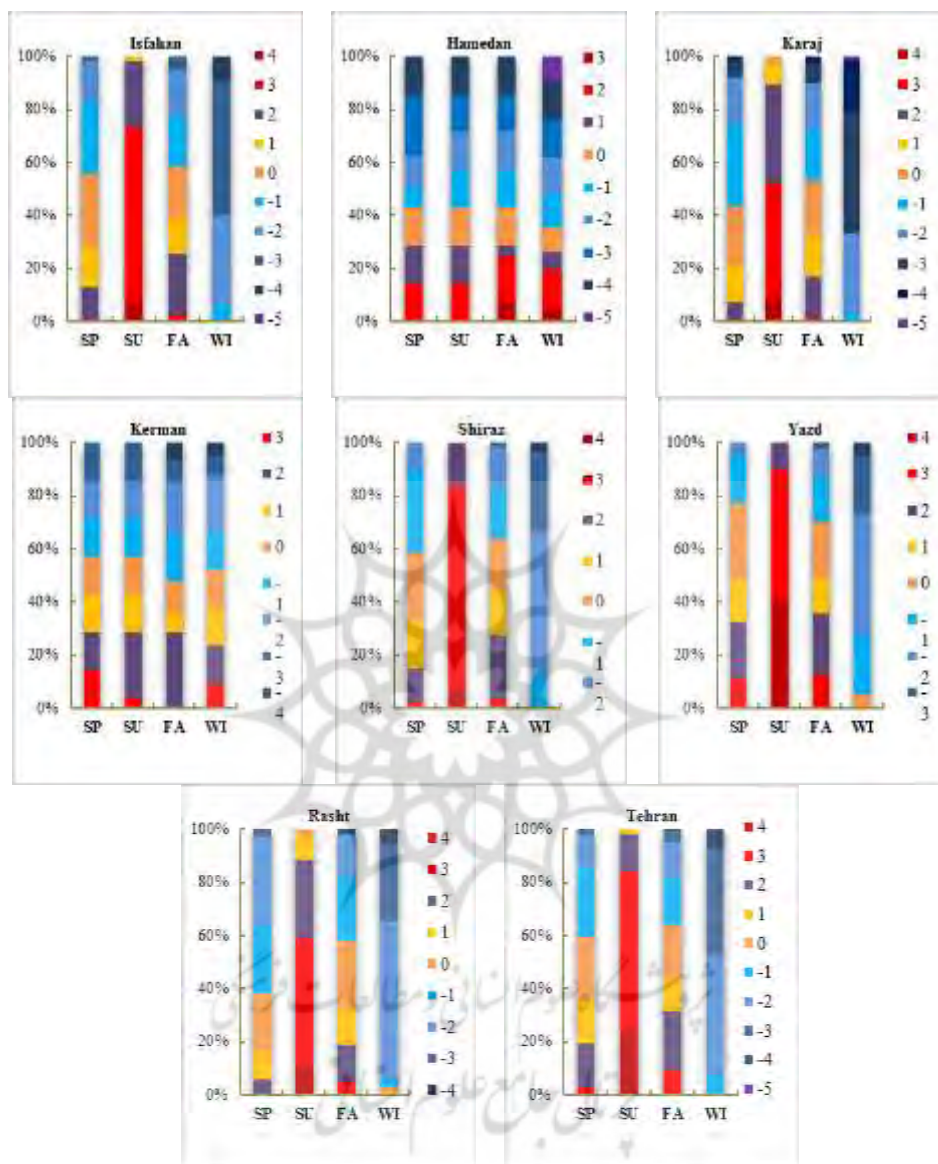


شهر	آستانه	ژانویه	فوریه	مارس	آوریل	می	ژوئن	ژوئیه	آگوست	سپتامبر	اکتبر	نوامبر	دسامبر
خنک	۵۱/۱۵	۵۳/۰۳	۷۲/۳۵	۲۷/۱۴	.	.	.	.	.	.	۵/۵۳	۴۱/۴۳	۷۱/۸۹
کمی سرد	۳۷/۷۹	۳۰/۳۰	۵/۹۹	۱/۹۰	.	.	.	.	.	.	.	۴/۳۹	۱۹/۳۵
سرد	۴/۱۵	۱/۲	۰/۴۶	.	.	.	.	.	.	.	.	۱/۹۰	۰/۹۲

#### ۲.۴. توزیع فصلی سطوح مختلف احساس حرارتی براساس شاخص دمای احساسی (ST)

درصد فراوانی رخدادهای سطوح مختلف احساس حرارتی براساس شاخص ST برای فصل‌های مختلف سال در شهرهای منتخب در شکل ۲ آمده است در طول دوره آماری که ۱۰۹۵۷ روز بوده است، فراوانی رخدادها برای ماه‌های فوریه، مارس آوریل (فصل بهار) می، جون، جولای (فصل تابستان) سپتامبر، اکتبر، نوامبر (فصل پاییز) دسامبر، ژانویه، فوریه (فصل زمستان) لحاظ شده است که امکان مقایسه دیداری را فراهم آورده است.





شکل ۲. توزیع فصلی آستانه‌های شاخص دمای احساسی (ST)

مأخذ: یافته‌های پژوهش، ۱۴۰۰

#### ۳.۴. بررسی ویژه شرایط آسایش

در رتبه‌بندی شاخص احساس حرارتی، آستانه 22D-2222222 18 به‌عنوان محدوده آسایش لحاظ شده است، اما دو آستانه بالا و پایین آن نیز یعنی D-22.7-5555555 و D-13-5555555

به‌عنوان «گرم همراه با آسایش» و «خنک همراه با آسایش» در نظر گرفته شده است. پس از بررسی آستانه‌های مختلف این شاخص برای شهرهای منتخب، در ادامه این بحث تلاش شده است تا با توجه به اهمیت محدوده آسایش، با نگاهی دقیق‌تر، سه سطح آسایشی مذکور بررسی شود؛ از این رو جدول ۸ تنظیم شد. در این جدول برای چهار فصل سال درصد فراوانی سه سطح آسایشی برای شهرهای منتخب محاسبه شده است.

جدول ۸. درصد فراوانی فصلی سه سطح آسایش (خنک همراه با آسایش، آسایش، گرم همراه با آسایش)

مأخذ: یافته‌های پژوهش، ۱۴۰۰

شهر	بهار				تابستان				پاییز				زمستان			
	آسایش (گرم)	آسایش	آسایش (خنک)	جمع	آسایش (گرم)	آسایش	آسایش (خنک)	جمع	آسایش (گرم)	آسایش	آسایش (خنک)	جمع	آسایش (گرم)	آسایش	آسایش (خنک)	جمع
اهواز	۱۳/۴	۲۳/۶	۳/۴	۴۰/۴	۰	۰	۰	۰	۹/۴	۱۸/۲	۷/۴	۳۵	۰/۹	۱۹	۵۷/۱	۷۷/۱
اراک	۱۷/۹	۲۵/۵	۳۰/۹	۷۴/۲	۰/۵	۰	۰	۰/۵	۱۷	۱۹/۲	۱۸/۸	۵۴/۹	۰	۰	۱۲/۳	۱۲/۳
بندرعباس	۱۶/۶	۱۳/۸	۰/۵	۳۰/۹	۰	۰	۰	۰	۱۰/۷	۱۰	۰/۲	۲۰/۹	۷/۸	۶۱/۹	۲۹/۳	۹۸/۹
اصفهان	۱۵/۲	۲۷/۸	۲۷/۲	۷۰/۲	۱/۷	۰	۰	۱/۷	۱۳/۲	۱۹/۸	۱۸/۲	۵۱/۲	۰	۰/۳	۶	۶/۳
همدان	۲۰/۵	۲۶/۷	۲۹	۷۶/۲	۶/۸	۰	۰	۶/۸	۲۵	۳۱/۴	۱۸/۱	۶۴/۴	۰	۰/۳	۷/۶	۷/۹
کرمان	۳۲/۳	۲۶/۶	۱۳/۵	۷۲/۴	۰	۰	۰	۰	۲۷/۸	۲۱/۲	۱۶/۸	۶۵/۸	۰/۲	۱۳/۳	۳۹/۹	۵۳/۲
کرج	۱۳/۲	۲۳	۳۰/۶	۶۶/۸	۸/۷	۲	۰	۱۰/۷	۱۵/۲	۲۱/۲	۱۹/۵	۵۵/۹	۰	۰/۲	۳/۳	۳/۵
مشهد	۱۴	۲۱/۴	۲۲/۲	۵۷/۶	۸/۹	۰/۵	۰	۹/۳	۱۶	۲۰/۷	۱۹/۹	۵۶/۷	۰	۰/۶	۵/۷	۶/۳

شهر	بهار				تابستان				پایز				زمستان			
	آسایش (گرم)	آسایش	آسایش (خنک)	جمع	آسایش (گرم)	آسایش	آسایش (خنک)	جمع	آسایش (گرم)	آسایش	آسایش (خنک)	جمع	آسایش (گرم)	آسایش	آسایش (خنک)	جمع
رشت	۱۰/۴	۲۱/۳	۲۵/۹	۵۷/۹	۸/۷	۲/۸	۰	۱۱/۵	۱۳/۷	۲۵/۹	۲۴/۲	۶۳/۷	۱/۱	۱/۹	۳/۵	۶/۵
شیراز	۱۷/۹	۲۵/۵	۳۰/۹	۷۴/۲	۰/۵	۰	۰	۰/۵	۱۷	۱۹/۲	۱۸/۱	۵۳/۵	۰	۰	۱۲/۳	۱۲/۳
تبریز	۷/۱	۲۰/۷	۲۷/۳	۵۵/۱	۱۷/۱	۳/۷	۰/۲	۲۱	۱۲/۶	۱۷/۹	۱۸/۱	۴۹/۳	۰	۰	۰	۰
تهران	۱۶/۵	۲۳/۶	۲۶/۲	۶۶/۳	۱/۷	۰	۰	۱/۷	۱۱/۳	۲۰/۶	۱۷/۹	۱/۰۵	۰	۰/۶	۷	۷/۳
یزد	۱۶/۳	۲۸/۶	۱۷/۷	۶۲/۶	۰	۰	۰	۰	۱۲/۹	۲۱/۷	۱۶/۳	۵۰/۹	۰/۵	۵/۱	۲۲/۲	۲۷/۷

مشخص است که برای فصل بهار در بیشتر شهرهای بررسی شده (۸ شهر) شرایط خنک همراه با آسایش برتری داشته است و شرایط آسایش کامل برای سه شهر اهواز، اصفهان و یزد فراوانی بیشتری داشته است. در ستون مجموع شرایط آسایشی برای فصل بهار، شهر همدان بیشترین درصد فراوانی شرایط آسایشی را داشته است. برای فصل تابستان مشخص است که در همه شهرهای بررسی شده کمترین درصد فراوانی شرایط آسایشی حاکم است. از میان سه سطح آسایشی، «آستانه گرم همراه با آسایش» برتری نسبی داشته است. از شهرهای بررسی شده، تبریز با مجموع ۲۱ درصد شرایط آسایشی، با اختلاف وضعیت بهتری در بین دیگر شهرها داشته است. اهواز، بندرعباس، کرمان و یزد هیچ موردی از هیچ یک از سطوح آسایشی را در این فصل تجربه نکرده‌اند. بیشترین درصد فراوانی شرایط آسایش کامل برای فصل پاییز برآورد شده است؛ به گونه‌ای که در ۹ شهر از ۱۳ شهر به‌عنوان آستانه غالب خود را نشان داده است. در این فصل، همدان و کرمان شرایط بهتری در مقایسه با دیگر شهرها داشتند و همچون دو فصل قبل، بندرعباس با ۲۰/۹ و اهواز با ۳۵ درصد کمترین

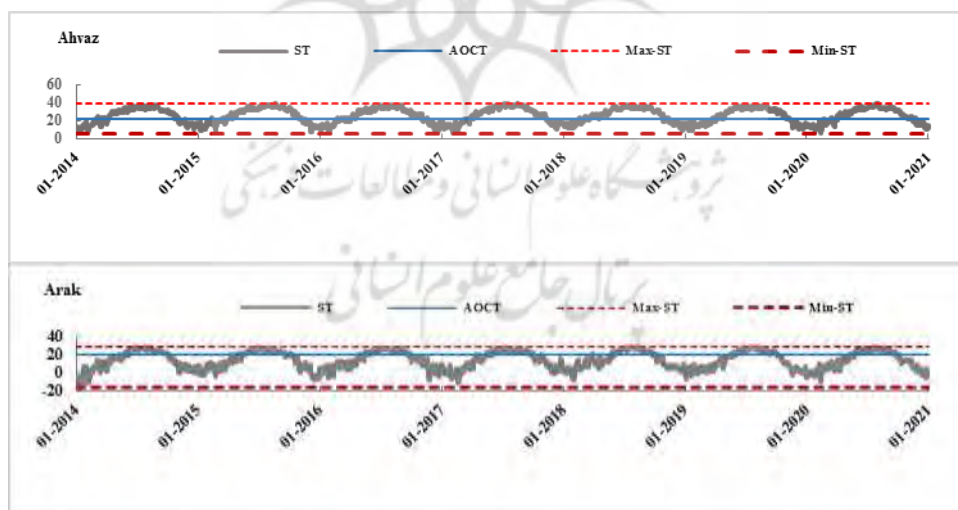
سهم را داشتند. در فصل زمستان در بین سه سطح آسایش بررسی شده، آستانه خنک همراه با آسایش درصد فراوانی بیشتری داشته است. در این فصل، تنها ایستگاه تبریز است که هیچ موردی از آسایش حرارتی را ثبت نکرده است. خالدی و همکاران (۱۳۹۸، ص. ۷۳) نیز براساس خروجی چند شاخص زیست‌اقليمی از جمله PMV و SET، شرایط آسایشی این فصل را برای تبریز بسیار محدود ارزیابی کردند. نکته درخور توجه، درباره شهر ساحلی بندرعباس است که شرایط آسایش کامل، نزدیک به ۶۲ درصد از روزهای این فصل را در بر گرفته است و اگر مجموع سه سطح آسایش را در نظر بگیریم، حدود ۹۹ درصد از روزهای فصل زمستان برای شهر بندرعباس در محدوده آسایش قرار می‌گیرند که خود گویای ظرفیت زیاد سواحل جنوبی کشور در دوره سرد سال در این زمینه است. مطالعه حنفی (۱۳۹۹، ص. ۲۵۳) نیز نشان داد، در فصل زمستان، مناسب‌ترین شرایط آسایش اقلیمی به شهرهای جنوبی کشور مربوط است که بندرعباس و اهواز در رأس آن‌ها قرار دارند.

در شکل ۳ به منظور بررسی تغییرات شاخص دمای احساسی نسبت به موقعیت دمای بهینه آسایش واقعی (AOCT)، مقادیر روزانه شاخص (ST) برای دهه پایانی دوره آماری ترسیم شده است. بررسی نمودارها نشان می‌دهد، الگوی سینوسی کلی برای همه شهرها در نگاه اول مشترک به نظر می‌رسد که بیانگر تأثیرپذیری قابل توجه ST از پارامتر دما و به تبع پیروی از الگوی تغییرات دما در طول سال است، اما نگاه دقیق‌تر به نمودارهای مربوط به شهرهای بررسی شده تفاوت‌های قابل‌بحثی را نشان می‌دهد. با وجود اینکه مقادیر AOCT برای شهرهای بررسی شده تفاوت قابل توجهی را نشان نداده و دامنه آن از ۲۰٫۶۷ تا ۲۲٫۲۳ متغیر بوده است، اما حد بالا و پایین شاخص دمای احساسی، دامنه نوسان متنوعی را در هر ایستگاه نشان داده است که بیشترین آن به اهواز (۳۸٫۵۵) و کمترین به همدان (۱۶٫۹۳-) مربوط بوده است.

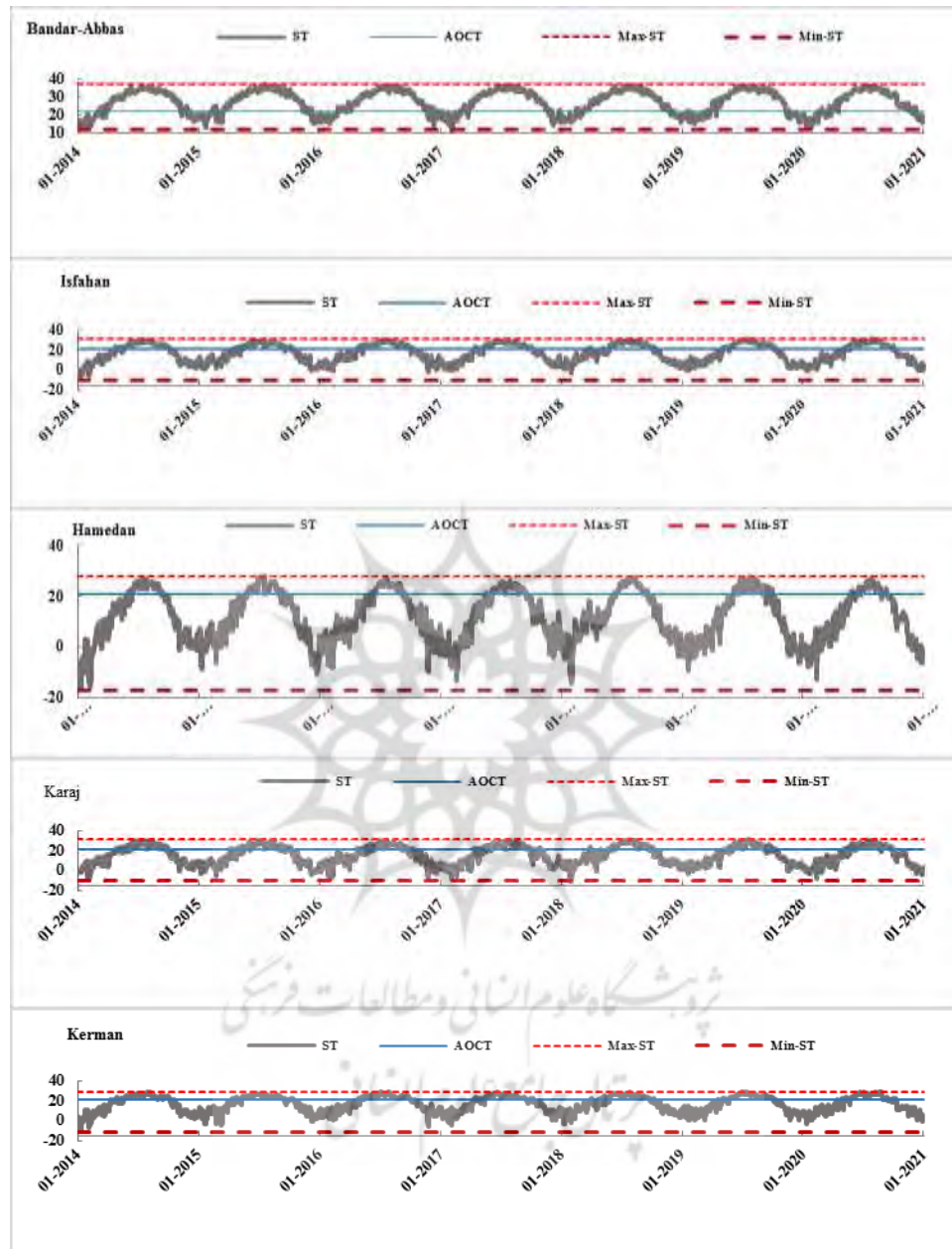
موقعیت خط AOCT نشان می‌دهد، به جز بندرعباس و اهواز برای دیگر شهرها، شاخص ST در بخش قابل توجهی از هر سیکل سالانه پایین‌تر از دمای بهینه آسایش قرار دارد؛ البته باید در نظر داشت که هر فاصله‌ای از خط AOCT به معنای خروج از باند آسایش نیست. این فاصله برای شاخص دمای احساسی محاسبه شده در شهر همدان بیشترین نمود را

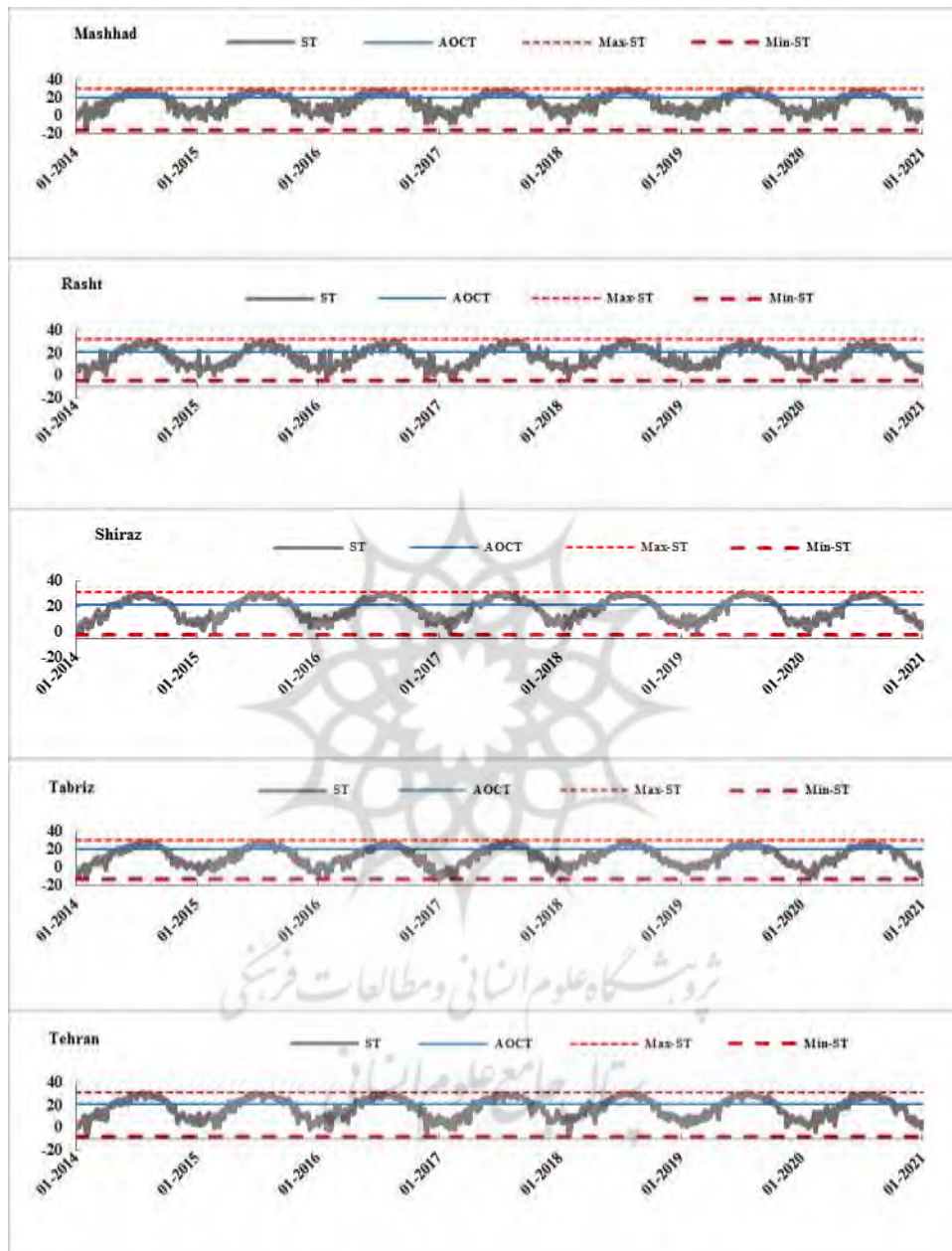
داشته است که تأییدی بر سهم زیاد تنش‌های سرمایی در این شهر است؛ آن‌گونه که برای اهواز و بندرعباس عکس این رویداد با تقویت تنش‌های گرما قابل تشخیص است. علاوه بر این، به جز برای دو شهر مذکور که دمای بهینه آسایش در حد واسط کمینه و بیشینه شاخص ST واقع شده است، برای دیگر شهرها کاملاً نزدیک به مقادیر بیشینه شاخص ترسیم شده است.

ثبت مقادیر فرین شاخص در دوره سرد و گرم باعث شده است که الگوی سینوسی از حالت هموار<sup>۱</sup> خارج شود که در این بین، سهم فرین‌های سرمایشی مشهودتر است (به نمودار همدان دقت شود)؛ البته باید متذکر شد که این بی‌نظمی‌ها گاهی اوقات فرم معکوس به خود گرفته است؛ به‌عنوان مثال، در دوره سرد سال شاهد افزایش قابل توجه مقادیر شاخص ST هستیم؛ افزایشی که در برخی موارد حتی می‌تواند به مرز تنش گرمایی برسد (به نمودار رشت دقت شود). در این باره برای هیچ‌یک از شهرهای بررسی شده، کاهش قابل توجه در شاخص برای دوره گرم سال مشاهده نمی‌شود که به‌طور مشخص بازخوردی از شرایط پایدارتر اقلیم در این دوره از سال است.

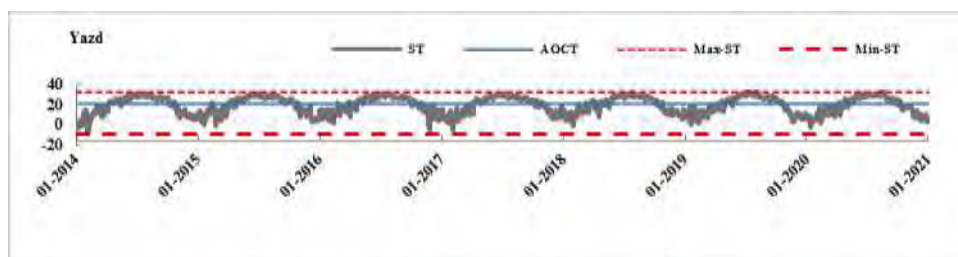


## 1. Smooth









شکل ۳. شاخص احساس حرارتی و AOCT

مأخذ: یافته‌های پژوهش، ۱۴۰۰

### ۵. نتیجه‌گیری

با توجه به اینکه شاخص دمای احساسی (ST) ترکیبی از عملکرد فراسنج‌های آب و هوایی و ویژگی‌های جغرافیایی (عرض جغرافیایی، ارتفاع و فصل) را استفاده می‌کند، قابلیت زیادی در ارزیابی شرایط آسایش حرارتی دارد. مهم‌ترین خروجی‌های این شاخص در ۱۱ رتبه تعریف شده برای کلان‌شهرهای ایران نشان دادند، بیشترین درصد فراوانی احساس حرارتی داغ به شهرهای بندرعباس و اهواز به ترتیب با  $۴۱/۸۸$  و  $۴۰/۵۹$  درصد مربوط بوده است. پژوهش‌های متعدد براساس شاخص‌های مختلف نیز این نتیجه را برای دو شهر مذکور تأیید کرده‌اند؛ از جمله پژوهش فلاح قاله‌ری و همکاران (۱۳۹۸، ص. ۳۳) که ارزیابی شرایط بیوکلیمایی در شهر بندرعباس را مطالعه کردند. نتایج بیان‌کننده شرایط نبود آسایش کامل برای این شهر بود که دارای اقلیم گرم و خشک است. همچنین باعقیده و همکاران (۱، ۱۳۹۷) نشان دادند، در دوره گرم سال شدیدترین تنش‌های حرارتی در سواحل جنوب به‌خصوص جزایر روی می‌دهد، اما در سواحل شمالی تنها تنش‌های سرمای‌ی ثبت شده است که شدت زیاد نیز ندارند؛ این در حالی است که شهر یزد با فاصله قابل توجه نسبت به دو شهر مذکور (۱۰/۳۲ درصد) در رتبه سوم قرار دارد. برای شهرهای همدان و کرمان هیچ موردی از تنش حرارتی در آستانه مدنظر (داغ) ثبت نشده است. این موضوع برای همدان با توجه به توپوگرافی و عرض جغرافیایی آن، دور از ذهن نیست، اما برای شهر کرمان به نظر می‌رسد که پارامتر ارتفاع (بالاترین ارتفاع در بین ایستگاه‌های بررسی شده) بیشترین نقش را در این زمینه ایفا کرده است؛ چراکه در محاسبه شاخص (ST) وزن درخور توجهی برای ارتفاع در نظر

گرفته شده است؛ به گونه‌ای که می‌تواند حتی اثر کاهشی عرض جغرافیایی کم را تا حد چشمگیری جبران کند.

آستانه (18-TTTT7777D) در شاخص ST بیانگر وجود شرایط «آسایش کامل» حرارتی است که درصد فراوانی برای شهر بندرعباس ۲۱/۲۷ و سپس برای اهواز ۱۵/۳۶ درصد بوده است. شرایط آسایشی بندرعباس و اهواز در بسیاری از سطوح شاخص دمای احساسی به هم نزدیک‌اند و تنها تفاوت قابل توجه در سطح «خنک همراه با آسایش» است که باعث شده است اهواز تعداد روزهای آسایشی کمتری در مقایسه با بندرعباس داشته باشد؛ به گونه‌ای که اگر آستانه‌های قبل و بعد از آستانه آسایش یعنی (گرم همراه با آسایش و خنک همراه با آسایش) رانیز به عنوان محدوده آسایش در نظر بگیریم، مجموع این آستانه‌ها برای شهرهای بندرعباس و اهواز بسیار نزدیک به هم خواهد بود.

اختلاف قابل توجه در درصد فراوانی روزهای همراه با آسایش حرارتی برای شهر بندرعباس با دیگر شهرهای بررسی شده، در درجه اول به سهم بسیار ناچیز (نزدیک به صفر) آستانه‌های «خیلی سرد، سرد، کمی سرد و خنک» برای این شهر برمی‌گردد. در آستانه خنک همراه با آسایش نیز بندرعباس پایین‌ترین رتبه (۷/۳۹ درصد) را در بین شهرها داشته است؛ به این ترتیب، بیش از ۹۲/۵ درصد از روزهای بررسی شده در دوره آماری در محدوده خارج از تنش‌های سرد قرار داشته است که از این بین، ۲۱/۲۷ درصد به شرایط «آسایش حرارتی» مربوط بوده و بقیه در محدوده تنش‌های حرارتی گرم توزیع شده است؛ به عبارتی، چند ماه از سال به‌طور کامل توسط بیشترین تنش‌های گرمایی (داغ و خیلی گرم) از شرایط آسایش به دور هستند، اما به دلیل نبود تنش‌های سرمایی در این شهر، ماه‌های دیگر سال به شرایط آسایش حرارتی نزدیک‌تر شده‌اند. در پژوهش‌های انجام شده، درصد زیاد روزهای همراه با آسایش در دوره سرد سال برای شهرهای جنوبی ایران، در شاخص‌های دیگر بیوکلیمایی نیز نمود داشته است که از آن جمله می‌توان به مطالعات فلاح قالهری و همکاران (۱۳۹۵) و زارع ایبانه (۱۳۹۳، ۲۰۱) اشاره کرد.

در کاربرد شاخص ST برخلاف بسیاری از مدل‌های ارائه شده، استفاده از تمام فراسنج‌های اصلی آب و هوایی مؤثر در شرایط آسایش انسانی، میسر شده است؛ ضمن اینکه همراهی این

پارامترها در کنار ویژگی‌های مکانی و زمانی (عرض جغرافیایی، ارتفاع و فصل) طیف گسترده‌ای به جنبه‌های کاربردی این روش داده است. مدل مذکور به لحاظ اعمال تصحیحات متنوع، قابلیت استفاده در گستره قابل توجهی از عرض‌های جغرافیایی و مناطق با ارتفاع متفاوت از سطح دریا را دارد و به گفته وانگ (۲۰۱۳)، این ویژگی‌ها می‌توانند تأییدی بر ظرفیت قابل توجه آن برای تبدیل شدن به یک مدل جهانی<sup>۱</sup> باشند.

### حمایت مالی

این مطالعه بخشی از طرح پژوهشی با حمایت صندوق حمایت از پژوهشگران و فناوران (INSF) به شماره گونت (۹۹۰۲۲۷۱۲) است.

### کتابنامه

۱. بامری نژاد، ف.، کشتکار، ار.، کریم پورریحان، م.، افضل‌لی، ع. (۱۳۹۸). به‌کارگیری شاخص‌های اقلیمی در تعیین مناطق مستعد گردشگری استان کرمان. *جغرافیا و برنامه ریزی محیطی*، ۳(۳۰)، ۷۸-۹۸.
۲. حنفی، ع. (۱۳۹۹). تعیین تقویم زمانی آسایش اقلیمی به‌منظور برنامه‌ریزی گردشگری در شهرهای منتخب توریستی کشور. *مجله مهندسی جغرافیای سرزمین*، ۲(۴)، ۲۷۴-۲۵۹.
۳. خالدی، ش.، کریمی، ی.، ابدالی، ح.، و محمدی، غ. (۱۳۹۸). تحلیل شاخص‌های اقلیم آسایش و ارتباط آن با گردشگری در شهر تبریز. *توسعه پایدار محیط جغرافیایی*، ۱، ۷۳-۸۱.
۴. خوش‌نفس، م.، و صداقت، م. (۱۳۹۴). بررسی آسایش اقلیمی با استفاده از شاخص درجه سختی هوا (مطالعه موردی: شمال غرب ایران)، فصلنامه آب و هواشناسی کاربردی، ۱(۲)، ۹۱-۱۰۴.
۵. ذوالفقاری، ح. (۱۳۹۵). *آب و هواشناسی توریسم*. تهران: سمت.
۶. علیجانی، ب.، و رضوی، ز. (۱۳۹۶). مقایسه شاخص‌های آسایش برای ارزیابی راحتی اقلیمی شهر تهران. *اندیشه جغرافیایی*، ۱۶(۸)، ۱۶۹-۱۴۵.

7. Baaghideh, M., Shakeri, F., & Mayvaneh, F. (2017). Comparative study of thermal stress on North and South Coasts of Iran. *Journal of Health Research in Community*, 3(3), 1-11.
8. Blazejczyk, K. (2005). New indices to assess thermal risks outdoors. Paper presented at the *Environmental ergonomics XI, Proc. of the 11th International Conference* (pp. 222 -225). Ystat, Sweden.
9. Burton, I., Ebi, K. L., & McGregor, G. (2009). *Biometeorology for adaptation to climate variability and change* (3<sup>rd</sup> ed.). Cham: Springer.
10. Cheng, V., Ng, E., Chan, C., & Givoni, B. (2012). Outdoor thermal comfort study in a sub-tropical climate: a longitudinal study based in Hong Kong. *International Journal of Biometeorology*, 56(1), 43-56.
11. Cocci Grifoni, R., Pierantozzi, M., & Tascini, S. (2012). Outdoor thermal comfort and local climate change: Exploring connections, PLEA2012 . Paper presented at the 28<sup>th</sup> Conference, *Opportunities, Limits & Needs Towards an environmentally responsible architecture Lima*, Perú.
12. Cocolo, S., Kämpf, J., Scartezzini, J.-L., & Pearlmutter, D. (2016). Outdoor human comfort and thermal stress: A comprehensive review on models and standards. *Journal of Urban Climate*, 18, 33-57.
13. de Freitas, C. R. (2003). Tourism climatology: Evaluating environmental information for decision making and business planning in the recreation and tourism sector. *International Journal of Biometeorology*, 48(1), 45-54.
14. Falbo, C. (2005). The golden ratio—a contrary viewpoint. *The College Mathematics Journal*, 36(2), 123-134.
15. Fallah Ghalhari, G. A., Shakeri, F., Abbasinia, M., Ghanadzadeh, M. J., Asghari, M., & Tajik, R. (2019). Use of becker and neurotic pressure bioclimatic indices in the assessment of thermal comfort in outdoor environments based on meteorological data: Case study in three different climates of Iran. *Iran Occupational Health Journal*, 16(1), 33-46.
16. Fallah Ghalhari, G., Esmaili, R., & Shakeri, F. (2016). Assessing the seasonal variability of thermal stresses during the last half century in some climatic zones of Iran. *Iranian Journal of Health and Environment*, 9(2), 233-246.
17. Hounam, C. E. (1967). Meteorological factors affecting comfort with special reference to Alice Springs, Australia. *International Journal of Biometeorology*, 11(2), 151-162.
18. Ismail, A. R., Jusoh, N., Zulkifli, R., Sopian K., & Deros, B. M. (2009). Thermal comfort assessment: a case study at Malaysian automotive industry. *American Journal of Applied Sciences*, 6(8), 1495-1501.
19. Longin, F. (2016). *Extreme events in finance: A handbook of extreme value theory and its applications*. Hoboken: New Jersey: John Wiley & Sons.
20. Matsukawa, T., Ozaki, M., Hanagata, K., Iwashita, H., Miyaji, T., & Kumazawa, T. (1996). A comparison of four infrared tympanic thermometers with tympanic membrane temperatures measured by thermocouples. *Canadian Journal of Anaesthesia*, 43(12), 1224-1228.

21. Nastos, P. T., & Matzarakis, A. (2012). The effect of air temperature and human thermal indices on mortality in Athens, Greece. *Theoretical and Applied Climatology*, 108(3-4), 591-599.
22. Potchter, O., Cohen, P., Lin, T.-P., & Matzarakis, A. (2018). Outdoor human thermal perception in various climates: A comprehensive review of approaches, methods and quantification. *Science of the Total Environment*, 631, 390-406.
23. Terjung, W. H. (1968). World patterns of the monthly comfort index. *International journal of Biometeorology*, 12(2), 119-151.
24. Tseliou, A., Tsiros, I. X., Lykoudis, S., & Nikolopoulou, M. (2010). An evaluation of three biometeorological indices for human thermal comfort in urban outdoor areas under real climatic conditions. *Building and Environment*, 45(5), 1346-1352.
25. Van Dana, S. Anish S., & Kumari S. (2015): Analysis on effect of cold stress in bean seeds (*Pharsalus Vulgaris* l). *American Journal of Bio Science*, 3(4), 145-166.
26. Vellei, M., Herrera, M., Fosas, D., & Natarajan, S. (2017). The influence of relative humidity on adaptive thermal comfort. *Building and Environment*, 124, 171-185.
27. Wang, J. (2013). *China air quality online monitoring and analysis platform*. <https://www.aqistudy.cn/historydata/>.
28. Wang, S., Ma, P., Shang, K., et al. (2013). *CN103106336A*. Retrieved from [http://www.wanfangdata.com.cn/details/detail.do?\\_type=patent&id=CN201210596366.0](http://www.wanfangdata.com.cn/details/detail.do?_type=patent&id=CN201210596366.0)
29. Yahia, M. W., & Johansson, E. (2013). Evaluating the behaviour of different thermal indices by investigating various outdoor urban environments in the hot dry city of Damascus, Syria. *International Journal of Biometeorology*, 57(4), 615-630.
30. Yuan, M., Liu, X., Guo, J., Huang, Y., & Song, W. (2021). Analysis of eco-tourism climate resources in xingwen, china based on the comfort index and the negative air (Oxygen) Ion. *Journal of Geoscience and Environment Protection*, 9(3), 154-163.
31. ZareAbyaneh, H. (2014). Study of human comfort based on bio-climate index in warm and arid regions of Iran. *Journal of Water and Soil Conservation*, 20(6), 201-218.
32. Zhang, S., Wang, B., Wang, S., Hu, W., Wen, X., Shao, P., & Fan, J. (2020). Influence of air pollution on human comfort in five typical Chinese cities. *Environmental Research*, 1-10.
33. Zhang, S., Wang, B., Wang, S., Hu, W., Wen, X., Shao, P., & Fan, J. (2021). Influence of air pollution on human comfort in five typical Chinese cities. *Environmental Research*, 195, 1-10.