

## پیشنهاد دمای پایه جدید برای محاسبه میزان تقاضای انرژی بر مبنای شاخص‌های آسایش گرمایی و دما- فیزیولوژیک

غلامرضا روشن\*

استادیار، گروه جغرافیا، دانشگاه گلستان، گرگان، ایران

(دریافت: ۹۴/۱۰/۲۷، پذیرش نهایی: ۹۵/۳/۲۵)

### چکیده

دما به‌عنوان یکی از مؤلفه‌های تأثیرگذار بر عرضه و تقاضای انرژی است؛ بنابراین تعیین یک دمای پایه مناسب به منظور محاسبه تقاضای انرژی سرمایشی و گرمایشی سکونتگاه‌ها می‌تواند در مدیریت انرژی نقش قابل‌توجهی ایفا کند. بنابراین این تحقیق در نظر دارد دمای پایه ده ایستگاه کشور را که معرف شرایط متنوع آب‌وهوایی و جغرافیایی ایران هستند، با استفاده از شاخص‌های آسایش گرمایی (CPI)، Cooling power index (THI)، Temperature-Humidity index و Predicted Mean Vote (PMV) مورد بازنگری قرار دهد. مؤلفه‌های اقلیمی استفاده‌شده در این پژوهش در مقیاس روزانه شامل دمای متوسط، رطوبت نسبی، سرعت باد و ابرناکی برای دوره آماری ۱۹۶۰ تا ۲۰۱۰ هستند. نتایج توزیع فراوانی رخدادهای زیست اقلیمی ایستگاه‌ها برای دو شاخص THI و CPI نشان می‌دهد که تمرکز غالب فراوانی‌ها متعلق به طبقات گرم تا داغ بوده ولی برای شاخص PMV تمرکز رخدادهای منحصراً برای این آستانه‌ها نیست. یافته‌ها نشان داد که بر اساس شاخص‌های CPI، THI و PMV به ترتیب شیراز با ۳۳/۶ درصد، همدان با ۲۶/۶ درصد و بندرعباس با ۱۵/۲ درصد، بیشینه فراوانی طبقه آسایش اقلیمی را تجربه کرده‌اند. در ادامه به‌طور جداگانه با استفاده از هر کدام از شاخص‌های مختلف زیست اقلیمی و به‌کارگیری روش صدک‌ها، آستانه‌های دمای پایه آسایش از محدوده طبقه آسایش اقلیمی استخراج شد. از جمله ضعف هر روش پهنای زیاد دامنه آسایش، دوربودن از مقادیر استاندارد مرسوم یا منطبق نبودن با شرایط آب‌وهوایی به‌عنوان ایرادهای آن‌ها تشخیص داده شد که بیشینه ضعف به شاخص بیکر اختصاص یافت. بنابراین با ترکیب همه شاخص‌ها، ضعف‌های فوق، برطرف و مقادیر دمای پایه آسایش جدید و مطلوبی با توجه به وضعیت و الگوی بیوکلیمایی هر ایستگاه ارائه شد.

واژه‌های کلیدی: تنوع اقلیمی، تقاضای انرژی، دمای پایه، درجه- روز سرمایشی و گرمایشی، شاخص‌های آسایش حرارتی.

### ۱. مقدمه

استفاده شود. عدم رعایت اصول صحیح معماری در مسکن جدید، به دلیل دسترسی به سوخت ارزان و فقدان مدیریت کارآمد در نظارت بر ساخت‌وسازها سبب شده است، سالانه مقادیر قابل ملاحظه‌ای از انرژی تولیدی برای گرم و سرد کردن منازل و مکان‌های فعالیت مصرف شود. به طوری که سرانه سوخت در کشور ایران به بیش از چند برابر سرانه سوخت جهان افزایش یابد (لشکری و داوری، ۱۳۸۳). اصولی‌ترین روش استفاده مطلوب از امکانات طبیعی در وهله اول شناخت دقیق آن‌هاست. در مرحله بعد نحوه استفاده بهینه از این منابع مطرح می‌شود. یکی از مسائل جهان امروز، مسأله صرفه‌جویی در مصرف انرژی‌هایی است که قابل تجدید نیستند و استفاده بهینه از انرژی‌های طبیعی نه تنها محیط زندگی را به فضایی

برخورداری از یک شرایط زیستی راحت و بدون تنش در محیط زندگی و فعالیت، آرزوی هر انسانی است. هر فردی انتظار دارد در محیط کار و فعالیت و مکان استراحت خود از اقلیمی مطلوب بهره‌برد. در صورتی که در اکثر مناطق دنیا چنین شرایطی به طور طبیعی به دست نمی‌آید. تنوع لباس در مناطق اقلیمی مختلف و الگوی معماری مختلف، نشان‌دهنده تلاش انسان برای سازگاری خود با شرایط اقلیمی و ایجاد شرایطی مطلوب برای زیست و فعالیت است. انتخاب نوع لباس مناسب با شرایط اقلیمی و جهت‌گیری مناسب ساختمان، نوع مصالح به‌کاررفته، ابعاد و جهت پنجره و بازوها و استفاده بهینه از آفتاب و باد در تهویه فضاهای مسکونی، سبب می‌شود کمتر از انرژی فسیلی برای گرمایش و سرمایش منازل

آن‌ها را در نظر می‌گیرد. از آنجا که فرایند محاسباتی این شاخص طولانی است، نرم‌افزار RayMan جهت راحتی در خروجی گرفتن از این شاخص طراحی شده است (ماتزاراکیس و روتز، ۲۰۰۷). همانگونه که اشاره شد روش دوم جهت پایش شرایط زیست اقلیمی استفاده از دیاگرام‌های زیست اقلیمی است. شاید یکی از پیشگامان در راستای طراحی دیاگرام‌های آسایش اقلیمی را بتوان ویکتور اولگی نام برد. اولگی جهت تعیین آسایش محیط خارج از ساختمان دیاگرامی ارائه کرد که اگرچه برای استفاده از این دیاگرام دما و رطوبت نسبی کفایت می‌کند، ولی این دیاگرام به‌گونه‌ای طراحی شده که برای دوره‌هایی نیز که با عدم آسایش اقلیمی همراه می‌باشند، می‌تواند به‌صورت بالقوه با در نظر گرفتن پارامترهای اقلیمی مختلفی نظیر سرعت باد، تابش و نیاز رطوبتی، شرایط مورد نیاز برای ورود به منطقه آسایش را تعیین کرد (اولگی، ۱۹۶۷). از دیگر دیاگرام‌های بیوکلیمایی نمودار زیست اقلیمی ساختمان گیونی است. این نمودار به منظور بهسازی وضعیت داخلی ساختمان بر اساس اوضاع اقلیمی محل طراحی شده است و با توجه به تغییرات متوسط دما و رطوبت ماهیانه راهکارهای سرمایش و گرمایش طبیعی برای ساختمان ارائه شده است (گیونی، ۱۹۷۶).

بررسی شرایط آسایش اقلیمی در بیرون از ساختمان از دو جنبه دارای اهمیت است. اولین جنبه مهم برای این موضوع، مقایسه بین شرایط آسایش اقلیمی داخل ساختمان طراحی شده در شرایط طبیعی بدون بهره‌گیری از سیستم‌های مکانیکی برای تأمین گرمایش و سرمایش با شرایط اقلیمی بیرون ساختمان است. در این رابطه چنان که آسایش اقلیمی ساختمان ۶۰ درصد بیشتر از آسایش اقلیمی بیرون از ساختمان در شرایط طبیعی باشد، نشان‌دهنده طراحی اقلیمی مناسب برای ساختمان مذکور است (گیونی، ۱۹۹۲). جنبه دوم اهمیت بررسی شرایط اقلیمی بیرون ساختمان، آگاهی از تأثیر شرایط اقلیمی بیرون ساختمان بر شرایط درونی ساختمان است؛ چرا که ساختمان‌ها همواره در حال مبادله دما، رطوبت و هوا با

آسوده تبدیل خواهد کرد، بلکه در کاهش مصرف انرژی نیز تأثیر فراوانی خواهد داشت (طاووسی و همکاران، ۱۳۷۸). زیست اقلیم در واقع وضعیت آب‌وهوا در رابطه با موجودات زنده و به‌ویژه انسان را مورد بررسی قرار می‌دهد (گوسلین و همکاران، ۲۰۱۴). از مسائل حائز اهمیت در مطالعات زیست اقلیم شناسی، بحث آسایش انسان در فضای آزاد و فضای داخل ساختمان با توجه به پارامترهای اقلیمی است. این موارد قسمتی از مبحث بزرگتری در اقلیم‌شناسی کاربردی تحت عنوان اقلیم و محیط‌های مسکونی یا معماری‌های همساز با اقلیم است. اما به‌طور کلی شایان ذکر است که در راستای پایش و اکاوی شرایط زیست اقلیمی دو دسته روش کلی وجود دارد. روش‌هایی که اساس آن‌ها بر پایه محاسبات تجربی است که خود این روش‌های محاسباتی شامل شاخص‌های ساده آسایش حرارتی تا پیچیده دما- فیزیولوژیک هستند. به‌عنوان نمونه از شاخص‌های ساده آسایش حرارتی می‌توان به شاخص‌هایی نظیر هیومیدکس اشاره کرد که اگرچه روش‌های مختلفی به منظور محاسبه این شاخص ارائه شده است ولی در غالب آن‌ها از دو پارامتر دما و رطوبت نسبی استفاده می‌شود (اوراسو و همکاران، ۲۰۱۴؛ قانقرمه و همکاران، ۲۰۱۳). همچنین از دیگر شاخص‌های محاسباتی زیست اقلیمی ساده که فقط از دو مؤلفه دما و سرعت باد استفاده می‌کند را می‌توان به شاخص سوزباد اشاره نمود که کارهای زیادی بر مبنای این شاخص در سرتاسر دنیا انجام گرفته است (روشن و همکاران، ۲۰۱۰؛ جی یونگ و کیم، ۲۰۱۳). روش دمای معادل فیزیولوژیک (Physiologically (PET equivalent temperature) نیز یکی از پرکاربردترین شاخص‌های زیست اقلیمی است که محاسبه آن فرایندی طولانی و پیچیده دارد که این نوع شاخص از دسته شاخص‌های دما- فیزیولوژیک است که برخی از مؤلفه‌های فیزیولوژیکی بدن انسان را نظیر تبادل گرمای همرفتی تعرق، تبادل گرمای تبخیری یا تلفات گرمای تبخیری تعرق، مدل‌سازی کرده و در فرایند محاسباتی

بیرون ساختمان هستند و این مسئله بر روی کاهش یا افزایش درصد آسایش اقلیمی داخل ساختمان می‌تواند نقش بسزایی داشته باشد (میرموسوی و همکاران، ۱۳۹۳). یکی از شاخص‌های کاربردی در تعیین انرژی مورد نیاز جهت تأمین آسایش اقلیمی، شاخص درجه-روز است. مجموع انحراف میانگین دمای روزانه از دمای آسایشی انسان (دمای پایه) درجه-روز نامیده می‌شود. در بالاتر از دمای پایه نیاز به سرد کردن محیط و در پایین‌تر از آن نیاز به گرم کردن محیط مشاهده می‌شود که به ترتیب نیازهای سرمایشی (CDD) و گرمایشی (HDD) نامیده می‌شود (روشن و همکاران، ۲۰۱۲). درجه-روزهای سرمایش و گرمایش از جنبه‌های مختلف، شاخصی مهم و مؤثر قلمداد می‌شود. معیار درجه-روز گرمایشی و سرمایشی می‌تواند ضمن ارائه تصویری روشن و دقیق از میزان نیازهای حرارتی ساختمان، شهر و منطقه، در تأمین آسایش حرارتی و اصلاح الگوی مصرف انرژی نیز نقش مثبتی ایفا کند. برآورد و محاسبه مقادیر میانگین درجه-روزهای نیاز به گرمایش و سرمایش به عنوان اطلاعات پایه و اصلی در برآورد مقدار انرژی مورد نیاز جهت گرم کردن ساختمان در فصل سرد یا سرد کردن آن در فصل گرم سال و در نتیجه برنامه‌ریزی مصرف انرژی است. نکته قابل توجه اینکه مطالعات مختلف در سرتاسر دنیا با توجه به موقعیت جغرافیایی و اقلیمی خود مبنای دماهای متفاوتی به منظور محاسبه HDD و CDD استفاده کرده‌اند. در پژوهشی برای هنک گنگ اگرچه لم و همکاران (۲۰۰۵) دمای پایه ۱۶ و ۲۴ را به ترتیب به عنوان مبنای محاسبه HDD و CDD انتخاب کردند ولی جیانگ و همکاران (۲۰۰۹) در راستای پایش تغییرات نیاز به انرژی گرمایشی و سرمایشی در ۵۱ شهر چین دامنه دمایی ۱۸ تا ۲۴ را ملاک آسایش قرار داده‌اند. سویتان و جورکویک (۲۰۱۵) جهت مشخص کردن روند ماهانه تقاضای انرژی در بخش گرمایش و سرمایش کرواسی سه مبنای دمایی برای محاسبات خود انتخاب کردند. به طوری که برای HDD سه دمای مبنای ۱۰، ۱۲ و ۱۵ درجه

سانتی‌گراد و همچنین جهت محاسبه CDD دماهای ۱۸، ۲۱ و ۲۳ درجه سانتی‌گراد به عنوان مبنای محاسبات انتخاب شدند. دمبایک (۲۰۰۹) در مطالعه خود دامنه آسایش حرارتی را برای شهرهای ترکیه بین ۱۷/۵ تا ۲۲ درجه سانتی‌گراد انتخاب کرد، ولی یلدیز و سوساواگلو (۲۰۰۷) دو آستانه آسایش حرارتی ۱۸ تا درجه ۲۰ و ۱۸ تا ۲۴ درجه سانتی‌گراد در تحقیق خود اعمال کرد. اولین پیشگامان تحقیقات راجع به اقلیم و آسایش انسان و محیط‌های مسکونی در ایران بیشتر مربوط به کارهای ریاضی (۱۳۶۵)، رزمجویان (۱۳۷۶)، خلیلی (۱۳۷۸) و کسمایی (۱۳۷۸) است. شایان ذکر است که بسیاری از محققان داخلی آستانه آسایش حرارتی را برای شهرهای مختلف ایران ۱۸ تا ۲۴ درجه یا ۱۸ تا ۲۱ درجه سانتی‌گراد انتخاب کرده‌اند (روشن و همکاران، ۲۰۱۲؛ محرابی و همکاران، ۲۰۱۱؛ تقوی، ۲۰۱۰؛ خلیلی، ۱۳۸۳؛ کسمانی، ۱۳۷۸). نکته قابل تأمل اینکه ایران کشوری دارای تنوع آب‌وهوایی و اقلیمی است. در این راستا لازم به ذکر است که توزیع شهرهای مختلف ایران در نواحی جغرافیایی متنوع نظیر جنگل‌ها، بیابان‌ها، سواحل دریا و مناطق کوهستانی به طوری است که نقش این عوامل محلی در تنوع آب‌وهوایی شهرهای ایران بر کسی پوشیده نیست. پس ترکیب سامانه‌ها و توده‌های مختلف جوی (عوامل فرامنطقه‌ای) در طول سال با عوامل منطقه‌ای و محلی باعث شده که نه تنها تفاوت‌های فاحشی بین شهرهایی که فاصله نسبتاً دوری از یکدیگر دارند مشاهده شود، بلکه حتی برخی شهرهای نزدیک به یکدیگر نیز تفاوت‌هایی در شرایط آب‌وهوایی دارند. پس مجموع این عوامل باعث می‌گردد که در انتخاب دمای پایه آسایش حرارتی شهرهای مختلف ایران، بازنگری اساسی انجام شود. مقاله حاضر در نظر دارد تا ملاک انتخاب آستانه آسایش حرارتی هر شهر را بر پایه فراوانی رخدادهای دمایی روزهای همراه با آسایش حرارتی بر مبنای شاخص‌های زیست اقلیمی THI، CPI و PMV تعیین و نتایج این روش‌ها را با یکدیگر مقایسه کند. بنابراین انتظار می‌رود تا

رطوبت و باد در نتایج نهایی آن می‌شود که این محدودیت می‌تواند به وسیله استفاده از دو شاخص بیکر و دما-رطوبت برطرف شود.

برای این تحقیق از داده‌های روزانه سال‌های ۱۹۶۰ تا ۲۰۱۰ استفاده شده که مؤلفه‌های آب‌وهوایی به کار گرفته شده جهت محاسبه هریک از شاخص‌های آسایش حرارتی در مرحله بعد معرفی شده‌اند. لازم به توضیح است که بازسازی داده‌های مفقود به وسیله روش رگرسیون خطی انجام گرفت که پس از اعتبارسنجی داده‌های بازسازی شده، نتایج مورد تأیید قرار گرفت. همچنین تصادفی بودن داده‌های دیدبانی و همگنی آن‌ها نیز با به کارگیری آزمون ران تست و رسم هیستوگرام بررسی شدند. نکته حائز اهمیت اینکه از آنجایی که ایران دارای تنوع اقلیمی مختلفی است، ۱۰ ایستگاه که معرف شرایط متفاوت آب‌وهوایی ایران هستند، انتخاب شد. بدین منظور از نواحی جنوب غرب خزر ایستگاه رشت و نواحی شرقی خزر، بابلرس انتخاب گردید که معرف شرایط اقلیمی خیلی مرطوب است و تهران نیز به عنوان نماینده‌ای از شهرهای نیمه‌شمالی کشور مورد ارزیابی قرار گرفت. برای سواحل جنوبی کشور با خصیصه بارز آب‌وهوای بسیار گرم و مرطوب آن در ایام گرم سال شهرهای بندرعباس، بوشهر و اهواز انتخاب شدند. اما همدان با توجه به آب‌وهوای بسیار سرد خود و قرارگیری در مسیر سامانه‌های غربی به عنوان نماینده ایستگاه‌های غرب کشور و مشهد به عنوان نماینده مناطق شمال شرق کشور با خاصیت تأثیرپذیری از پرفشار سرد سیری انتخاب شدند. برای نواحی خشک تا نیمه‌خشک مرکزی نیز دو ایستگاه شیراز و یزد مورد واسنجی قرار گرفتند.

## ۲-۱. شاخص بیکر

شاخص قدرت خنک‌کنندگی محیط که به شاخص بیکر معروف است، جهت ارزیابی شرایط آسایش برای مناطقی که مخصوصاً شرایط اقلیمی سرد دارد، از کارایی خوبی برخوردار است. بیکر برای محاسبه قدرت خنک‌کنندگی

با در نظر گرفتن ویژگی اختصاصی اقلیمی هر شهر، به نحو مطلوب‌تری بتوان دامنه آسایش حرارتی و به گفتار دیگر دمای پایه مناسبی را جهت برآورد HDD و CDD ارائه کرد و پایش واقع‌بینانه‌تری از تقاضای انرژی در بخش خنک‌کنندگی و گرمایش ساختمان‌های مناطق مختلف اقلیمی کشور ارائه کرد.

## ۲. مواد و روش‌ها

در تحقیق حاضر جهت تعیین دمای پایه جدید به منظور تأمین شرایط آسایش اقلیمی از سه شاخص آسایش حرارتی بیکر، شاخص دما-رطوبت و یک شاخص دما-فیزیولوژیک تحت عنوان متوسط نظرسنجی شده (PMV) استفاده شده است که در ادامه هر کدام از این شاخص‌ها معرفی شده‌اند. دلایل انتخاب این سه شاخص بدین منظور است که سه مؤلفه آب‌وهوایی دما، رطوبت و باد نقش مهمی در تعیین شرایط آسایش اقلیمی ایفا می‌کنند که در مدل‌های ساده بر روی یک یا ترکیبی از این مؤلفه‌ها تأکید می‌شود. در شاخص بیکر، قدرت خنک‌کنندگی محیط لحاظ شده است و نقطه قوت این شاخص به گونه‌ای است که مخصوصاً برای مناطقی که از آب‌وهوای سردی برخوردارند، ترکیب دما و سرعت باد، پایش مناسب‌تری از شرایط آسایش ارائه می‌دهد، اما از آنجایی که محاسبه شاخص دما-رطوبت، بر پایه دو مؤلفه رطوبت نسبی و دما می‌باشد، بنابراین اثر ترکیبی این دو مؤلفه اقلیمی را که در بیکر لحاظ نشده است، در نظر می‌گیرد. از طرف دیگر کارایی این روش برای مناطق دارای آب‌وهوای گرم مناسب‌تر است، به طوری که این شاخص گرایش کمتری برای تعیین طبقات سرد تا فوق یخ‌زدگی دارد. اما پایش شرایط آسایش صرفاً به سه مؤلفه آب‌وهوایی فوق‌الذکر وابسته نیست و لحاظ خصوصیات فیزیولوژیکی نیز نقش تأثیرگذار در درک شرایط آسایش افراد دارد که ضعف دو مدل قبل توسط PMV پوشش داده شده است. در عین حال استفاده PMV از مؤلفه‌های آب‌وهوایی بیشتر، باعث کاهش وزن و به نوعی تعدیل اثرگذاری سه مؤلفه دما،

طریق رابطه ۲ محاسبه کرد (ماتر، ۱۹۷۴):

$$THI = t - (0.55 - 0.0055f)(t - 14.5) \quad (2)$$

در این معادله t دمای هوا بر حسب درجه سانتی‌گراد و f رطوبت نسبی بر حسب درصد است. دامنه تغییرات این شاخص در جدول ۲، ارائه شده است:

جدول ۲. طبقات مختلف آسایش حرارتی برای شاخص دما-رطوبت.

مقدار THI بر حسب سانتی‌گراد	شرایط گرمایی
کمتر از -۴۰	فوق یخ‌زدگی
-۳۹/۹ تا -۲۰	یخ‌زدگی
-۱۹/۹ تا -۱۰	بی‌نهایت سرد
-۹/۹ تا -۱/۸	خیلی سرد
-۱/۷ تا ۱۲/۹	سرد
۱۳ تا ۱۴/۹	خنک
۱۵ تا ۱۹/۹	مطبوع و آسایش
۲۰ تا ۲۹/۴	گرم
۲۶ تا ۲۹/۹	خیلی گرم
بیشتر از ۳۰	داغ

۲-۳. شاخص متوسط نظرسنجی پیش‌بینی شده (PMV)

شاخص متوسط نظرسنجی پیش‌بینی شده یکی از مهم‌ترین شاخص‌های فیزیولوژی-دما محسوب می‌شود که جدای از مطالعات مربوط به برنامه‌ریزی شهری، در مطالعات مربوط به هواشناسی زیست‌انسانی و همچنین اقلیم-گردشگری نیز جهت بررسی شرایط آسایش حرارتی کاربرد زیادی پیدا کرده‌اند. روابط محاسباتی این شاخص در زیر ارائه شده است (فانگر، ۱۹۷۰):

محیط رابطه ۱ را پیشنهاد کرده که طبقات مختلف آسایش حرارتی این شاخص از ۰ تا ۵۹ در جدول ۱ ارائه شده است (بیکر، ۱۹۷۲):

$$CPI = (0.26 + 0.34V^{0.622})(36.5 - t) \quad \text{mcal/cm}^2/\text{sec} \quad (1)$$

که در این رابطه CPI، شاخص قدرت سردکنندگی بیکر بر حسب میکروکالری در سانتی‌متر مربع بر ثانیه، V، سرعت باد بر حسب متر بر ثانیه و t، میانگین دمای روزانه است.

جدول ۱. درجات قدرت سردکنندگی و آستانه تحریک بیوکلیمایی انسانی بیکر (رضانی و ابراهیمی، ۱۳۸۸).

مقادیر CPI	شرایط محیطی	شرایط بیوکلیمایی انسانی
۴-۰	داغ، گرم، شرجی و نامطبوع	فشار بیوکلیمایی
۵-۹	گرم، قابل تحمل	محدوده آسایش بیوکلیمایی
۱۰-۱۹	ملایم و مطبوع	محدوده آسایش بیوکلیمایی
۲۰-۲۹	خنک	تحریک ملایم
۳۰-۳۹	سرد و کمی تنش‌زا	تحریک متوسط تا شدید
۴۰-۴۹	خیلی سرد	به‌طور متوسط تنش‌زا
۵۰-۵۹	سرد نامطبوع	شدیداً تنش‌زا

۲-۲. شاخص دما-رطوبت تام (THI)

شاخص دما-رطوبت (THI) توسط تام در سال ۱۹۵۹ ارائه شده است. شایان توجه است که در بررسی‌های میکروکلیمایی از جمله مطالعات تطبیقی که بین مناطق شهری و حومه یا مراکز تفریحی و گردشگری با بخش‌های همجوار صورت می‌گیرد، این شاخص می‌تواند نتایج قابل قبولی ارائه کند. شاخص THI را می‌توان از

$$PMV = (0.303 e - 0.036M + 0.028)[(M-W) - H - E_c - C_{rec} - E_{rec}] \quad (۳)$$

$$e = 3.05 \times 10^{-3} (256 T_{sk} - 3373 - P_a) + E_{sw} \quad (۴)$$

$$E_c = 3.05 \times 10^{-3} [5733 - 6.99 \times (M-W) - P_a] + 0.42 (M-W - 58.15) \quad (۵)$$

$$C_{rec} = 0.0014 M (34 - T_a) \quad (۶)$$

$$E_{rec} = 1.72 \times 10^{-5} M (5867 - P_a) \quad (۷)$$

ارتفاع، موقعیت و ارتفاع شهر؛

۲. متغیرهای هواشناسی شامل دمای هوای خشک بر حسب درجه سانتی گراد، فشار بخار بر حسب هکتوپاسکال یا رطوبت نسبی بر حسب درصد، سرعت باد بر حسب متر بر ثانیه و میزان ابرناکی آسمان بر حسب اکتاست؛  
 ۳. دسته سوم از متغیرها شامل متغیرهای فردی به عنوان و ویژگی‌های فیزیولوژیک مؤثر در مدل هستند. در این رابطه باید ویژگی‌های فردی مثل قد، وزن، سن و جنسیت وارد مدل شود.

۴. متغیرهای دسته چهارم شامل نوع پوشش و فعالیت هستند. پوشش بر حسب کلو و فعالیت بر حسب وات مشخص می‌شود. لازم به توضیح است که موارد سه و چهار، از پیش فرض‌های مدل در نظر گرفته شده‌اند.

جدول ۳. مقادیر آستانه شاخص PMV در درجات مختلف حساسیت انسان (ماتزاراکیس و همکاران، ۲۰۰۷).

PMV	حساسیت حرارتی	درجه تنش فیزیولوژیک
-	خیلی سرد	تنش سرمای بسیار شدید
-۳/۵	سرد	تنش سرمای شدید
-۲/۵	خنک	تنش سرمای متوسط
-۱/۵	کمی خنک	تنش سرمای اندک
-۰/۵	راحت	بدون تنش سرما
۰/۵	کمی گرم	تنش گرمای اندک
۱/۵	گرم	تنش گرمای متوسط
۲/۵	خیلی گرم	تنش گرمای شدید
۳/۵	داغ	تنش گرمای بسیار شدید

۲-۴. تعیین و بازنگری در محدوده آسایش دمایی

همانگونه که پیش‌تر بیان شد، هدف اصلی این مقاله، بازنگری دمای پایه جهت محاسبه شاخص‌های درجه-روز گرمایش (HDD) و سرمایش (CDD) است که با توجه

H مستقیم قابل اندازه‌گیری و از طریق معادله زیر نیز قابل محاسبه است:

$$H = K_{cl} = T_{sk} - T_{cl} / I_{cl} \quad (۸)$$

در معادلات فوق:

$$C_{rec} = \text{تبادل حرارت همرفتی تعرق (W/m}^2\text{)}$$

$$E_{rec} = \text{تبادل حرارت تبخیری تعرق (W/m}^2\text{)}$$

$$E_{sw} = \text{تلفات حرارت تبخیری تعرق (W/m}^2\text{)}$$

$E_c$  = تبادل حرارت تبخیری در سطح پوست موقعی که در حالت حرارتی خنثی قرار دارد (W/m<sup>2</sup>)

$$I_{cl} = \text{تابش لباس به طور متوسط برای تمام بدن (W/m}^2\text{)}$$

$$M = \text{نرخ سوخت‌وساز بدن (W/m}^2\text{)}$$

$$T_{cl} = \text{دمای سطح لباس (درجه سانتی گراد)}$$

$$T_{sk} = \text{دمای متوسط پوست (درجه سانتی گراد)}$$

$$W = \text{شار انرژی مکانیکی مؤثر (W/m}^2\text{)}$$

$$e = \text{تبادل حرارت تبخیری در سطح پوست (W/m}^2\text{)}$$

H = تلفات حرارت خشک به صورت همرفت، هدایت و تابش (w/m<sup>2</sup>)

$$P_a = \text{رطوبت، فشار بخار جزئی هوا (پاسکال)}$$

$$T_a = \text{دمای هوا (درجه سانتی گراد)}$$

مقیاس PMV نوعی تقسیم‌بندی احساس حرارتی ۷ درجه‌ای است که دامنه آن از کمتر از -۳/۵ (خیلی سرد) تا +۳/۵ (داغ) تغییر می‌کند (جدول ۳). صفر در این مقیاس نشانگر احساس حرارتی خنثی است (جدول ۳). برای محاسبه راحت‌تر و سریع‌تر این شاخص، نرم‌افزارهایی هم طراحی شده است که نرم‌افزار Ray Man یکی از آن‌هاست (ماتزاراکیس و همکاران، ۲۰۰۷). شایان ذکر است که جهت محاسبه شاخص PMV از ۴ دسته داده و متغیر استفاده می‌شود:

۱. متغیرهای موقعیتی شامل طول و عرض جغرافیایی و

دماهای بیشینه  $T_{max}$  (کمینه  $T_{min}$ ) که برای حداقل شش روز متوالی در بالاتر (پایین‌تر) از صدک نودم (صدک دهم) قرار داشته باشند، نسبت داده می‌شود (هیوت و همکاران، ۲۰۰۰؛ هاجت و همکاران، ۲۰۰۲؛ بنیستون و دیاز، ۲۰۰۴؛ گوسلینگ و همکاران، ۲۰۰۷). پس با این ایده سه محدوده در قالب آستانه صدک‌های ۴۰ تا ۶۰ به‌عنوان نماینده ۲۰ درصد مرکزی داده‌ها، آستانه صدک‌های ۲۵ تا ۷۵ درصد به‌عنوان ۵۰ درصد غالب مرکزی و در نهایت آستانه صدک‌های ۱۰ تا ۹۰ به‌عنوان ۸۰ درصد مرکزی داده‌های مورد مطالعه انتخاب و این محدوده‌ها به‌عنوان آستانه‌های دمای پایه جدید به منظور محاسبه HDD و CDD معرفی گردیدند (رابطه ۹). بنابراین در ادامه این صدک‌ها به اختصار و به ترتیب با عناوین  $P_{20}$ ،  $P_{50}$  و  $P_{80}$  معرفی می‌شوند. این مطلب را نباید فراموش کرد که فرض بر این است که همان‌طور که آستانه واحدی در جهان برای پایش خشکسالی یا امواج گرمایی و سرمایی وجود ندارد و هر ایستگاه مطابق رفتار و الگوی آب‌وهوایی خود این آستانه‌ها را تعریف می‌کند، پس در خصوص آستانه‌های دمای آسایش نیز باید با در نظر گرفتن رفتار آب‌وهوایی هر ایستگاه و رخداد فراوانی‌ها این آستانه‌های جدید، تعریف شود.

$$L_p = (n+1) \frac{s}{100} \quad (9)$$

در معادله ۹،  $L_p$  معادل رتبه آستانه برای صدک‌های ۱۰، ۲۵، ۴۰، ۶۰، ۷۵ و ۹۰ درصد،  $n$  معادل تعداد نمونه‌ها و  $s$  معادل صدک‌هاست. در تکمیل مباحث پیشین باید به این نکته اشاره کرد که به غیر از انتخاب دمای پایه بر اساس هر شاخص حرارتی به‌صورت جداگانه، در گام آخر با ترکیب سه شاخص بیوکلیمایی به‌طوری که روزهایی که در هر سه شاخص در محدوده آسایش بودند، مقادیر دماهای آن‌ها انتخاب و بر اساس روش صدک‌ها، دماهای پایه جدیدی معرفی گردیدند و نتایج سایر روش‌ها با یکدیگر مقایسه شد که در ادامه تمام این یافته‌ها ارائه شده‌اند.

به مطالعه نگارندگان، پژوهشی در خصوص بازنگری این محدوده برای مناطق مختلف ایران انجام نگرفته است و در تمام کارها مقادیر و آستانه‌های مرسوم که در قسمت مقدمه بیان شد، استفاده می‌شود. بنابراین روش کار در این تحقیق جهت تعیین و بازنگری در دمای پایه بر این اصل استوار بوده که بر اساس هر یک از شاخص‌های حرارتی و فیزیولوژیک-دما، پس از خروجی گرفتن از هر کدام از این مدل‌ها، روزهای واقع در محدوده آسایش مشخص شد. پس در این روش، ترکیب دما-رطوبت در شاخص THI، ترکیب دما - باد در شاخص CPI و ترکیب دما، باد، ابرناکی و رطوبت نسبی برای شاخص PMV در تعیین و پایش روزهای دارای آسایش آب‌وهوایی تأثیرگذار بوده‌اند. بنابراین بر مبنای این روش، روزهایی به‌عنوان آسایش شناخته شده‌اند که نقش یک یا چند مؤلفه آب‌وهوایی در ترکیب با دما برای آن‌ها لحاظ شده است. سپس به‌طور جداگانه برای هر شاخص زیست اقلیمی، فقط دمای روزهایی که در محدوده آسایش قرار داشتند انتخاب شد. اما علی‌رغم اینکه اگرچه تمام این مقادیر دمایی غربالش شده در محدوده آسایش قرار داشتند، ولی روش کار بر این اصل استوار نبود که از طیف داده‌های دمایی مستخرج‌شده، حداقل و حداکثر دما به ترتیب به‌عنوان دمای پایه جهت محاسبه HDD و CDD معرفی گردند. در گام بعدی به‌منظور کالیبره‌نمودن این طیف دمایی، از روش صدک‌ها استفاده شد. در مجموع در مطالعات آب‌وهوایی برای مشخص کردن و پایش برخی پدیده‌ها نظیر خشک‌سالی و حتی برخی رخداد‌های بیوکلیمایی نظیر امواج گرم و سرد و ... از روش صدک‌ها استفاده شده که کاربرد مرسوم در این مطالعات دارد. هیئت بین دول تغییر اقلیم جهت پایش برخی از رخداد‌های فرین آب‌وهوایی به تعاریفی استناد می‌کند که مبنای روش‌شناسی آن‌ها بر اساس روش صدک‌هاست که به‌عنوان نمونه می‌توان به کارهای (زانگ و همکاران، ۲۰۰۵؛ رحیم‌زاده و همکاران، ۲۰۰۹) اشاره کرد. به‌عنوان نمونه در این مطالعات موج گرمایی (سرمایی) به رخداد

## ۳. یافته‌ها

## ۳-۱. پایش فراوانی طبقات مختلف بیوکلیمایی بر مبنای شاخص‌های مطالعاتی

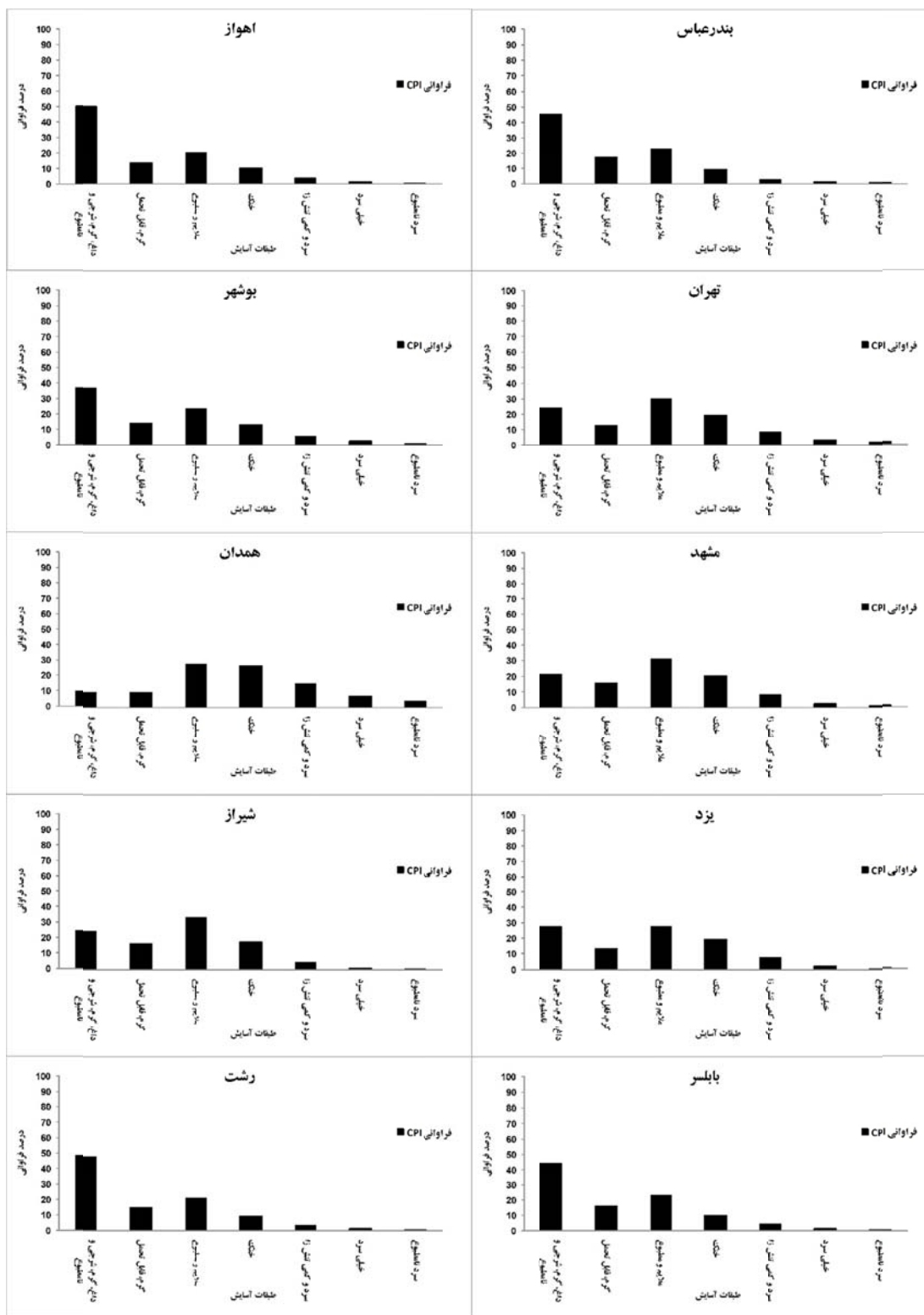
در این قسمت، درصد فراوانی طبقات مختلف شاخص‌های آسایش حرارتی مورد واسنجی قرار گرفته است. با توجه به شکل‌های ۱ تا ۳ مشخص می‌شود که بر مبنای دو روش THI و CPI، چولگی فراوانی‌ها یا تمرکز بیشتر فراوانی‌های غالب ایستگاه‌ها متعلق به طبقات گرم تا داغ است و اختصاص فراوانی‌ها به رخدادهای سرد تا خیلی سرد بسیار ناچیز است. حال اگر به خروجی‌های روش PMV دقت گردد، دیده می‌شود که به غیر از یکی دو ایستگاه برای اکثر شهرها تفاوت کمی از لحاظ توزیع فراوانی شرایط خیلی سرد تا داغ وجود دارد. حتی برای اهواز و همدان بر خلاف دو روش THI و CPI، بیشینه درصد رخدادهای زیست اقلیمی مربوط به حدی‌ترین وضعیت سرما یعنی طبقه خیلی سرد بوده که در دو شاخص فوق این شرایط دیده نشده است. به هرحال بر مبنای روش CPI، اهواز با ۵۰/۳ درصد و رشت با ۴۸/۷ درصد بیشینه‌ترین فراوانی مربوط به طبقه گرم، داغ، شرجی و نامطبوع را تجربه کرده‌اند (شکل ۱) در صورتی که خروجی‌های THI نشان می‌دهد که بندرعباس و بوشهر به ترتیب با ۱۷/۷ و ۵/۷ درصد بیشینه فراوانی طبقه داغ را به خود اختصاص داده‌اند (شکل ۲). نتایج روش PMV با THI در انتخاب ایستگاه‌هایی که بیشترین فراوانی طبقه داغ را داشته‌اند یکسان عمل کرده است اما تفاوت در اینجاست که برای بندرعباس این درصد برابر با ۲۵/۸ و برای بوشهر ۱۶/۲ درصد است که این مقادیر در مقایسه با شاخص THI تفاوت قابل تأملی دارد (شکل ۳). از مهم‌ترین بخش‌های این قسمت اشاره به درصد فراوانی‌ها برای طبقه آسایش اقلیمی است. خروجی‌های شاخص THI نشان می‌دهد که این طبقه حرارتی از حداقل ۱۸/۸ درصد برای

اهواز تا حداکثر ۲۶/۶ درصد برای همدان متغیر بوده و برای شاخص CPI نوسانات از حداکثر به میزان ۳۳/۶ درصد برای شیراز و حداقل ۲۰/۴ درصد برای اهواز نوسان نشان می‌دهد. در مورد روش PMV نیز تهران با ۱۱/۴ درصد و بندرعباس با ۱۵/۲ درصد کمینه و بیشینه فراوانی طبقه آسایش حرارتی را به خود اختصاص داده‌اند. پس در روش THI دامنه نوسانات فراوانی محدوده طبقه آسایش ایستگاه‌های مطالعاتی بیشتر از دو روش دیگر و برای PMV حداقل دامنه نوسان دیده می‌شود (شکل‌های ۱ تا ۳).

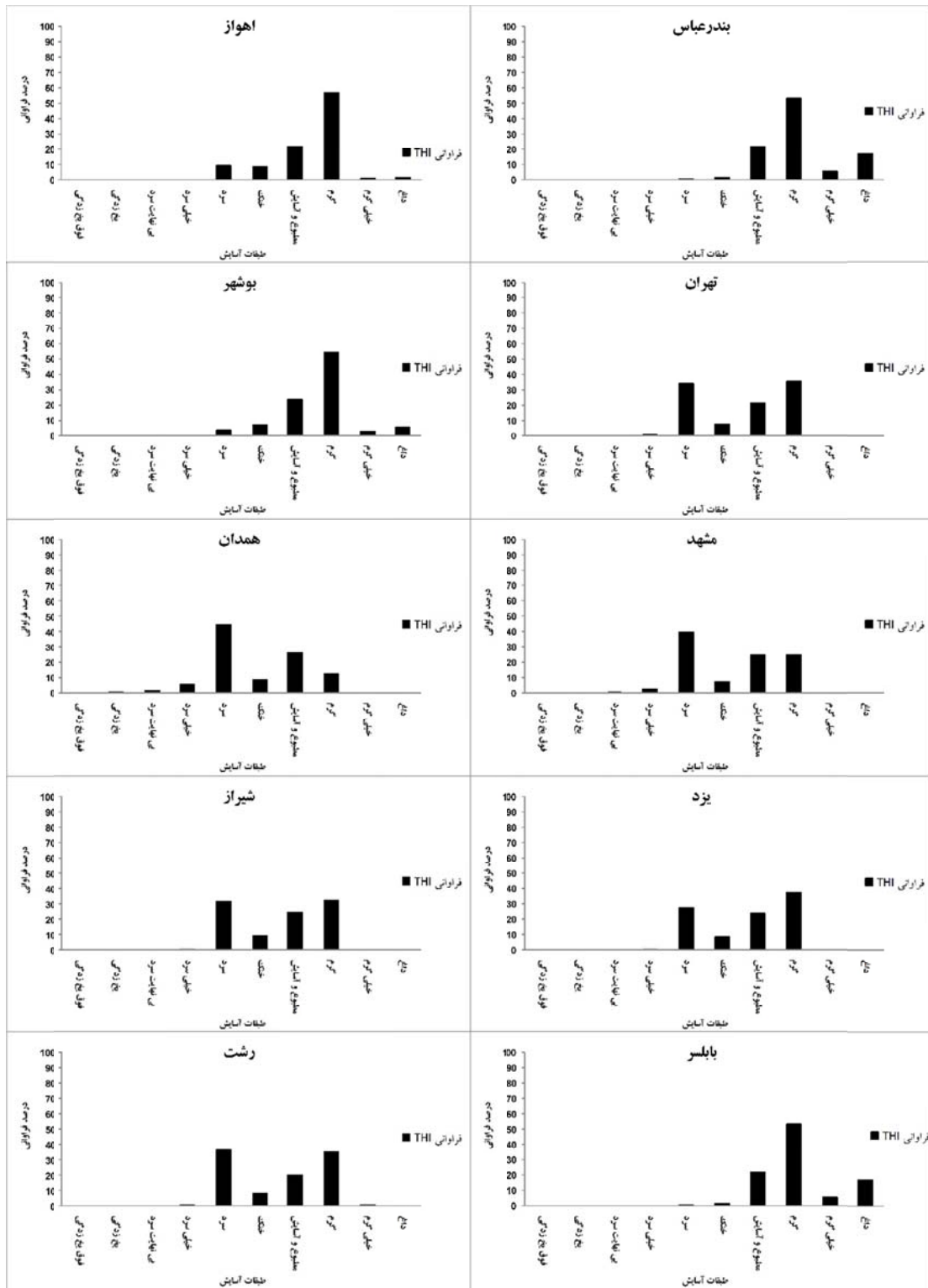
## ۳-۲. مقایسه آستانه‌های مؤلفه‌های اقلیمی در شرایط رخداد طبقه آسایش

در این بخش از تحقیق مقایسه‌ای بین شاخص‌های مختلف به منظور واکاوی آستانه‌های مؤلفه‌های اقلیمی در زمان رخداد شرایط آسایش انجام گرفته که نتایج در جدول‌های ۴ و ۵ ارائه گردیده است. لازم به توضیح است که در ابتدا با در نظر گرفتن هر کدام از شاخص‌ها به‌طور جداگانه، روزهایی که در طبقه آسایش قرار داشتند انتخاب شدند. یکی از نکات جالب توجه ارزیابی آستانه‌های کمینه و بیشینه دما در زمان‌هایی است که شرایط آسایش حرارتی رخ داده است. اما این خروجی صرفاً به مؤلفه دما منحصر نشده است، بلکه همزمان با آن تغییرات آستانه‌های کمینه و بیشینه سایر مؤلفه‌های رطوبت نسبی، باد و ابرناکی نیز ارزیابی شده است. بعد از آنکه این مرحله برای تمام شاخص‌های زیست اقلیمی انجام پذیرفت، در قسمتی دیگر از این بخش روزهایی که در هر سه شاخص بیوکلیمایی به‌طور مشترک در طبقه آسایش قرار داشتند نیز انتخاب شد و سپس بر اساس این مجموعه جدید، بیشینه و کمینه دما به همراه سایر مؤلفه‌های آب‌وهوایی که همزمان با آن‌ها رخ داده‌اند، ارزیابی شد (جدول ۵).

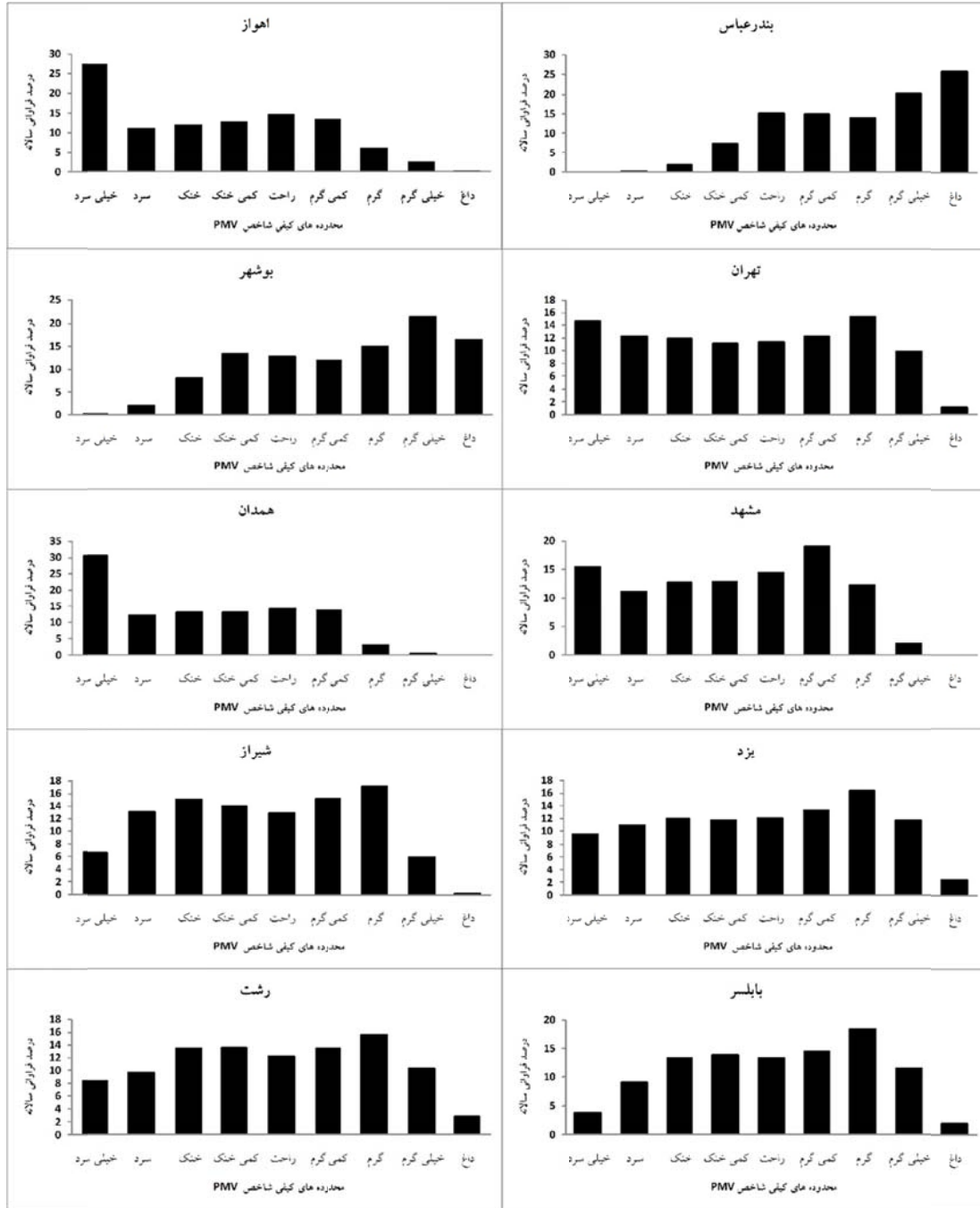




شکل ۱. درصد فراوانی مختلف طبقات آسایش حرارتی شاخص بیکر برای ایستگاه‌های مطالعاتی.



شکل ۲. درصد فراوانی طبقات مختلف آسایش حرارتی شاخص دما-رطوبت برای ایستگاه‌های مطالعاتی.



شکل ۳. درصد فراوانی طبقات مختلف آسایش حرارتی شاخص PMV برای ایستگاه‌های مطالعاتی.

این موضوع، برای اهواز در این شرایط در مقایسه با سایر ایستگاه‌ها بیشینه سرعت باد به مقدار ۷/۸ متر بر ثانیه در نظر گرفته شده است اما برای مشهد و همدان شرایط آرام و بدون باد ملاک رخداد آسایش است. با وجود اینکه در شاخص بیکر مدل‌سازی با استفاده از دما و سرعت باد

همان‌طور که این مقادیر برای شاخص بیکر نشان می‌دهد، در زمان‌هایی که دمای کمینه کمتر از ۹- درجه برای هر دو ایستگاه همدان و مشهد بوده و از طرف دیگر حتی تاریخی که مقدار دما برای ایستگاه اهواز بیش از ۴۲ درجه سانتی‌گراد است، شرایط آسایش رخ داده است. علی‌رغم

می‌دهند. به‌عنوان نمونه در اهواز سرعت باد ۶ متر بر ثانیه در ترکیب با دمای بیشینه ۲۴/۵ درجه سانتی‌گراد می‌تواند تأمین‌کننده آسایش باشد. ولی همچنان برای تهران دمای ۳۵ درجه سانتی‌گراد با سرعت باد ۷ متر بر ثانیه تأمین‌کننده شرایط آسایش بوده است. اگرچه برای تهران در این شرایط، رطوبت نسبی کمتر از ۲۰/۴ درصد از رخدادهای شرایط شرجی ممانعت می‌کند ولی پتانسیل رخدادهای گرمابادهای همچنان وجود دارد. نکته قابل تأمل اینکه در تمام حالت‌هایی که کمترین دمای رخدادهای آسایش وجود دارد ابرناکی آسمان بیشتر از شرایطی است که بیشینه دمای رخدادهای آسایش رخ داده است. این مطلب روشن است که وجود آسمان ابرناک می‌تواند از اتلاف انرژی زمین‌تاب جلوگیری کرده و پایین بودن دما را در جهت تأمین آسایش تا حدودی جبران نماید. در کل اگرچه با ملاک قرار دادن کمینه و بیشینه دما در زمان رخدادهای آسایش، شاخص THI در قیاس با CPI آستانه دمای پایه مطلوب‌تری را نشان می‌دهد ولی همچنان ضعف‌هایی برای ایستگاه‌هایی مثل تهران دیده می‌شود (جدول ۴).

در ادامه شاخص PMV دمایی را ملاک آسایش قرار می‌دهد که در ترکیب با سه مؤلفه سرعت باد، رطوبت نسبی و ابرناکی آسمان مورد ارزیابی قرار گیرد. در این شاخص، به غیر از اهواز، دماهای بیشینه سایر ایستگاه‌ها در هنگام وقوع وضعیت آسایش در محدوده ۲۵ درجه سانتی‌گراد قرار داشته که آستانه قابل قبولی است ولی کمینه دما در این شرایط بین ۵/۱ درجه سانتی‌گراد برای اهواز تا ۱۱/۷۵ درجه سانتی‌گراد برای بندرعباس قرار گرفته‌اند که بدون در نظر گرفتن تأثیر سایر مؤلفه‌های اقلیمی نمی‌توانند ملاک مناسبی برای تعیین شرایط آسایش باشند. برای شاخص PMV ترکیب ابرناکی با سایر مؤلفه‌ها جهت تأمین وضعیت آسایش، نتایج متفاوتی را نشان می‌دهد. در اکثر ایستگاه‌های مناطق خشک در زمانی که کمینه دمای آسایش به وقوع پیوسته است بالا بودن ابرناکی در قیاس با ایامی که بیشینه دمای آسایش وجود دارد، دیده می‌شود اما برای نواحی مرطوب

انجام می‌گیرد، ولی با در نظر گرفتن رطوبت نسبی دیده می‌شود که در زمان رخداد دمایی به مقدار ۴۲/۷ درجه سانتی‌گراد رطوبت نسبی باید در کمینه مقدار خود که در این شرایط ۸/۶ درصد بوده است، در رخنمون شرایط آسایش تأثیرگذار باشد، اما برای همدان رطوبت نسبی ۸۷ درصد و مشهد ۷۴ درصد تقویت‌کننده شرایط آسایش بوده است. اگرچه در شاخص بیکر رابطه دما و سرعت باد در استحصال شرایط آسایش برای ایام سرد سال که کمینه دما را دارند نتایج قابل قبولی ارائه می‌دهد ولی برای ایام گرم و بیشینه دما نتایج کمی با ابهام همراه می‌باشد. مثلاً در این شاخص فرض رخدادهای آسایش در دمای زیاد با سرعت بالای باد همراه بوده، همانند آن چیزی که برای اهواز ملاحظه گردید. حال آنکه در دمای زیاد، وقوع بادهای سریع می‌تواند در تولید گرمابادهای که به‌عنوان عوامل بازدارنده آسایش باشند نیز نقش آفرینی کند. در مجموع همان‌طور که خروجی‌ها برای شاخص بیکر نشان می‌دهند دامنه بیشینه و کمینه دما در زمان رخدادهای آسایش برای تمام ایستگاه‌های مطالعاتی از نوسان زیادی برخوردار بوده و در نظر گرفتن این آستانه‌های دمایی به‌عنوان دمای پایه آسایش منطقی به نظر نمی‌رسد. خروجی‌ها برای شاخص THI نشان‌دهنده ارتباط مستقیم بین رطوبت نسبی و دماست. جالب توجه اینکه برای این شاخص کمینه و بیشینه دمای آسایش به ترتیب با مقادیر ۴- و ۳۵ درجه سانتی‌گراد برای تهران استحصال گردیده است. وجود رابطه معکوس بین دما و رطوبت نسبی در فراهم شدن شرایط آسایش اقلیمی از بدیهیات این روش است، به گونه‌ای که برای تهران در کمینه دمای رخ داده، میزان رطوبت نسبی ۶۹/۹ درصد و برای بیشینه دما ۲۰/۴ درصد می‌باشد.

قابل تأمل است که در شرایط وجود رطوبت نسبی ۹۶/۱ درصد اهواز، وجود دمای ۱۵/۰۵ درجه سانتی‌گراد می‌تواند تأمین شرایط آسایش را به دنبال داشته باشد. در این شاخص آستانه مؤلفه‌های دما و رطوبت نسبی به‌گونه‌ای است که رابطه مطلوب‌تری را با باد نشان

از ۱۵ تا ۲۵ درجه نوسان دارد که نسبت به سایر شاخص به صورت مجزا، نتایج جالب توجهی را ارائه می‌دهد. اما شایان ذکر است که این دامنه‌ها برای حدی‌ترین شرایط آسایش در نظر گرفته شده است و نمی‌تواند نماینده مناسبی برای یک وضعیت غالب آسایش اقلیمی در نظر گرفت و بهتر است این محدوده‌ها دوباره اصلاح شوند.

ساحلی جنوب تفاوتی از لحاظ ابرناکی برای این دو ایام دیده نشده ولی برای سواحل شمالی در هنگام وقوع بیشینه دمای آسایش، میزان ابرناکی بیشتر از زمانی است که کمینه دمای آسایش وجود دارد (جدول ۵). با در نظر گرفتن ترکیب شاخص‌ها در یک جمع‌بندی دیده می‌شود که دامنه آسایش دمایی برای اکثر ایستگاه‌ها

جدول ۴. بیشینه و کمینه دما (سانتیگراد) در زمان رخداد آسایش اقلیمی به همراه وضعیت همزمان آن در ترکیب با سایر مؤلفه‌های دمای متوسط (درجه سانتیگراد)، رطوبت نسبی (درصد)، ابرناکی (اکتا) و سرعت باد (متر بر ثانیه) برای دو شاخص بیکر و دما-رطوبت.

شاخص	ایستگاهها	متوسط دما	رطوبت نسبی	سرعت باد	ابرناکی	دامنه‌ها	شاخص	ایستگاهها	متوسط دما	رطوبت نسبی	سرعت باد	ابرناکی	دامنه‌ها
شاخص بیکر	اهواز	۴/۵	۴۸/۲	۱	۰	بیشینه	دما-رطوبت	اهواز	۱۵/۰۵	۹۶/۱	۰/۹	۷	بیشینه
		۴۲/۷	۸/۶	۷/۸	۲	کمینه			۲۴/۵	۱۶/۲	۶	۰	کمینه
	بندرعباس	۱۰	۶۱/۴	۱/۹	۰	بیشینه		بندرعباس	۱۵/۱	۸۴	۰/۸	۳	بیشینه
		۴۱	۳۳/۳	۸	۰	کمینه			۲۴	۱۸/۱	۵/۹	۱	کمینه
	بوشهر	۷/۱	۶۸/۸	۱/۴	۰	بیشینه		بوشهر	۱۵/۱	۷۰/۹	۱/۹	۲	بیشینه
		۳۸/۵	۴۸/۴	۶/۶	۰	کمینه			۲۲/۳	۳۴/۳	۹/۴	۳	کمینه
	بابلسر	۰/۵	۸۰/۶	۰/۵	۰	بیشینه		بابلسر	۱۵/۰۵	۸۹/۵	۰/۱	۲	بیشینه
		۳۰/۶	۷۴/۸	۴/۵	۱	کمینه			۲۱/۴	۵۹/۳	۴/۳	۰	کمینه
	رشت	-۶	۹۸/۲	۰	۳	بیشینه		رشت	۱۵/۰۵	۸۵/۵	۰/۱	۶	بیشینه
		۲۹/۹	۵۶/۱	۴/۵	۰	کمینه			۲۳/۱	۱۶	۱۱/۱	۵	کمینه
	همدان	-۹/۵	۸۶/۹	۰	۴	بیشینه		همدان	۱۵/۱۵	۵۹/۴	۴	۶	بیشینه
		۳۰	۲۳/۱	۶	۵	کمینه			۲۵	۱۱	۳/۵	۰	کمینه
	مشهد	-۹/۵	۷۴/۱	۰	۰	بیشینه		مشهد	۱۵/۱	۷۶/۱	۰/۸	۴	بیشینه
		۳۳/۲	۱۵	۷	۰	کمینه			۲۴/۴	۱۱	۳/۸	۰	کمینه
	یزد	-۴/۵۵	۷۷/۸	۰	۳	بیشینه		یزد	۱۵/۲	۴۹	۱/۱	۲	بیشینه
		۳۷/۵	۸/۵	۷	۳	کمینه			۲۵/۵	۶/۳	۳/۵	۰	کمینه
	شیراز	-۱/۸	۶۵/۳	۰	۲	بیشینه		شیراز	۱۵/۱	۷۷/۵	۲	۸	بیشینه
		۳۳/۶	۲۲/۳	۵/۸	۴	کمینه			۲۵	۵/۸	۲/۳	۰	کمینه
	تهران	-۴/۲	۶۸	۰	۱	بیشینه		تهران	-۴	۶۹/۶	۰/۳	۳	بیشینه
		۳۷/۵	۱۶/۳	۷	۶	کمینه			۳۵/۵	۲۰/۴	۷	۶	کمینه

جدول ۵. پیشینه و کمیته دما در زمان رخداد آسایش اقلیمی به همراه وضعیت همزمان آن در ترکیب با سایر مؤلفه‌های دمای متوسط (درجه سانتیگراد)، رطوبت نسبی (درصد)، ابرناکی (اکتا) و سرعت باد (متر بر ثانیه) برای شاخص PMV و ترکیب شاخص‌های بیوکلیمایی.

شاخص	ایستگاه‌ها	دما متوسط	رطوبت نسبی	سرعت باد	ابرناکی	دامنه‌ها	شاخص	ایستگاه‌ها	دما متوسط	رطوبت نسبی	سرعت باد	ابرناکی	دامنه‌ها
شاخص PMV	اهواز	۵/۱	۷۳/۳	۱/۳	۰	پیشینه	ترکیب شاخص‌ها	اهواز	۱۵/۱	۷۱/۳	۱/۵	۲	پیشینه
		۴۰/۹	۱۶/۹	۱۰	۰	کمیته			۲۳/۵	۱۷/۴	۴/۶	۰	کمیته
	بندرعباس	۱۱/۷۵	۵۵/۸	۰/۳	۴	پیشینه		بندرعباس	۱۶	۳۶/۶	۱/۶	۸	پیشینه
		۲۵/۲۵	۱۷/۳	۱۵/۳	۴	کمیته			۲۴	۲۰/۲	۴/۴	۵	کمیته
	بوشهر	۹/۵	۶۱/۵	۰/۳	۱	پیشینه		بوشهر	۱۵/۶	۸۵/۴	۱/۶	۱	پیشینه
		۲۴/۹	۵۸/۴	۱۹/۸	۱	کمیته			۲۲	۴۹	۳	۰	کمیته
	بابلسر	۵/۹	۸۶/۸	۰	۰	پیشینه		بابلسر	۱۵/۵	۸۰/۳	۱/۶	۵	پیشینه
		۲۴/۳	۹۵/۵	۸/۱	۸	کمیته			۲۱/۱	۶۳/۱	۴	۱	کمیته
	رشت	۵/۷	۸۹/۷	۰	۱	پیشینه		رشت	۱۵/۳	۷۹/۹	۱/۵	۲	پیشینه
		۲۵	۱۵/۲	۶	۷	کمیته			۲۲/۴	۳۰/۱	۳/۹	۵	کمیته
	همدان	۶	۶۴/۴	۰	۰	پیشینه		همدان	۱۵/۲۵	۷۹/۸	۱/۵	۶	پیشینه
		۲۵/۳	۳۲/۸	۱۰/۸	۰	کمیته			۲۴	۱۸/۴	۴/۸	۰	کمیته
	مشهد	۵/۵	۸۳/۴	۰/۴	۸	پیشینه		مشهد	۱۵/۴	۶۲/۵	۱/۵	۵	پیشینه
		۲۵/۴	۱۸/۸	۱۱/۸	۰	کمیته			۲۳/۹	۱۷/۱	۴/۵	۰	کمیته
	یزد	۶/۲	۷۳/۶	۰/۵	۷	پیشینه		یزد	۱۵/۸	۵۹/۹	۱/۶	۵	پیشینه
		۲۵/۹	۱۱/۴	۱۰/۴	۱	کمیته			۲۴/۵	۱۲/۴	۴/۳	۱	کمیته
	شیراز	۷	۸۷/۶	۰/۵	۸	پیشینه		شیراز	۱۵/۱	۷۷/۵	۲	۸	پیشینه
		۲۵/۳	۱۶/۵	۹/۹	۰	کمیته			۲۴/۴	۱۲/۳	۴/۵	۰	کمیته
	تهران	۷/۶	۵۷	۰/۴	۴	پیشینه		تهران	۱۵/۴	۷۲/۸	۱/۵	۷	پیشینه
		۲۵/۵	۱۰/۹	۸/۶	۳	کمیته			۲۴/۵	۱۶/۱	۴/۹	۰	کمیته

### ۳-۳. مقایسه دمای پایه آسایش حرارتی مدل‌سازی شده از روش‌های مختلف

بر اساس یافته‌های بخش ۲-۳ مشخص گردید که اگرچه نوسان دامنه دمایی در زمان رخداد شرایط آسایش اقلیمی برای اکثر این روش‌ها بسیار زیاد است، ولی این مقادیر دمایی با توجه به هر کدام از شاخص‌های بیوکلیمایی و در ترکیب با سایر مؤلفه‌های اقلیمی در رخنمون شرایط آسایش تأثیرگذار بوده‌اند. اما با توجه به دامنه زیاد این آستانه‌های دمایی که با استانداردهای موجود ۱۸ تا ۲۲ یا ۱۸ تا ۲۴ درجه سانتی‌گراد بسیار فاصله داشته است، جهت فیلترکردن یا کاهش دامنه دمایی روزهای همزمان با رخداد آسایش اقلیمی، از روش صدک‌ها استفاده شد. به نوعی در قسمت قبل حدی‌ترین شرایط دمایی جهت تأمین شرایط آسایش در نظر گرفته شده است که در صورت عدم در نظر گرفتن این مقادیر دمایی در ترکیب با دیگر مؤلفه‌های آب‌وهوایی نمی‌تواند توجیه‌کننده شرایط

آسایش باشد. به هر حال برای فاصله گرفتن از حالت‌های فرین و مینا قراردادن فراوانی رخدادهای آسایش، پیشنهاد می‌گردد بر اساس کاربردهای خاص، هریک از آستانه‌های  $P_{20}$ ،  $P_{50}$  یا  $P_{80}$  مورد استفاده قرار گیرد. یافته‌های این بخش برای شاخص بیکر نشان می‌دهد که دامنه دمای پایه منتخب یا به عبارتی آستانه‌های آسایش از وسعت زیادی برخوردار است. نمونه آن برای همدان است که دمای صفر به‌عنوان آستانه محاسبه HDD و  $HDD$  و  $24/5$  درجه برای سرمایه‌ش و خنک‌کنندگی انتخاب شده است. از طرف دیگر نه تنها با اتکا بر این روش دامنه و پهنای آسایش وسیع است، بلکه مقادیر دمای پایه نیز از استانداردهای موجود بسیار فاصله دارد. مؤید این واقعیت تعیین دمای پایه بیش از ۳۰ درجه برای ایستگاه‌های آبادان، بندرعباس و بوشهر جهت محاسبه CDD یا دماهای بین ۰ تا ۶ درجه برای ایستگاه‌های همدان، مشهد، تهران، بابلسر، شیراز و یزد جهت محاسبه HDD و بر مبنای  $P_{80}$

به‌خوبی بین ایستگاه‌های مرطوب، نیمه‌خشک و خشک تفاوت‌ها را به‌خوبی نشان دهد. به‌عنوان نمونه این واقعیت انکارپذیر نیست که رطوبت بالا با دمای پایین در ایام سرد سال شرایط مناسب‌تری را در مقایسه با رطوبت کم و دمای پایین از لحاظ آسایش اقلیمی به ارمغان می‌آورد. به‌عبارت دیگر در ایستگاه‌های مرطوب ماهیت دمای پایه HDD باید کمتر از ایستگاه‌های خشک و نیمه‌خشک باشد. پس در ایستگاه‌هایی نظیر بندرعباس، بوشهر، اهواز، بابلسر و رشت باید دمای پایه جهت محاسبه HDD کمی کمتر از سایر ایستگاه‌ها باشد. حال آنکه دیده می‌شود در شهرهای خشک و نیمه‌خشک مشهد یا شیراز در قیاس با بندرعباس یا تهران در مقایسه با سایر ایستگاه‌های مرطوب، دمای پایه HDD کمتری مدل‌سازی شده است (جدول ۶).

است؛ البته این تفاوت‌ها فقط منحصر به P۸۰ نیست بلکه این وضعیت برای P۲۰ و P۵۰ نیز وجود دارد (جدول ۶). بر مبنای شاخص THI یا دما-رطوبت، دامنه نوسان دمای پایه در مقایسه با CPI کاهش قابل ملاحظه‌ای را نشان می‌دهد. به هر حال یکی از ضعف‌های استفاده از شاخص THI، فاصله زیاد دامنه آسایش شهر تهران از استانداردهای موجود است. به‌طوری که با توجه به P۲۰، P۵۰ و P۸۰ به ترتیب این دامنه برای گرمایش و سرمایش شامل ۱۳/۴ تا ۱۶/۲ درجه سانتی‌گراد، ۱۱/۴ تا ۱۸/۵ درجه و در نهایت ۹/۵ تا ۲۰/۵ درجه سانتی‌گراد مدل‌سازی شده است. همچنین با استفاده از P۵۰، آستانه مدل‌سازی شده جهت محاسبه HDD شهر بابلسر نیز از استانداردهای موجود فاصله زیادی دارد (جدول ۶). از جمله ضعف‌های دیگر شاخص THI این است که این شاخص نتوانسته است

جدول ۶. دمای پایه (درجه سانتیگراد) مدل‌سازی شده با استفاده از شاخص THI و CPI.

نوع مدل‌سازی	ردیف	ایستگاه‌ها	P۲۰		P۵۰		P۸۰	
			دمای پایه		دمای پایه		دمای پایه	
			HDD	CDD	HDD	CDD	HDD	CDD
مدل‌سازی بر اساس شاخص بیکر	۱	اهواز	۱۷	۲۳	۱۴/۱	۳۰/۳	۱۱/۲	۳۶/۰۵
	۲	بندرعباس	۲۲	۲۶/۵	۲۰	۳۰/۸	۱۷/۳	۳۳/۵
	۳	بوشهر	۱۹/۵	۲۵	۱۶/۶۵	۲۹/۵	۱۴	۳۲/۵
	۴	بابلسر	۱۰	۱۳/۲	۸	۱۸/۵	۶	۲۵/۴
	۵	رشت	۹/۵	۱۳/۲۵	۷/۵	۱۷	۵	۲۱/۹
	۶	همدان	۱۱	۱۶/۵	۵/۹	۲۰/۵	۰	۲۴/۵
	۷	مشهد	۱۰/۵	۱۶/۸	۶/۵	۲۱/۵	۱/۵	۲۶/۱
	۸	یزد	۱۴/۲	۲۰/۹	۱۰	۲۶/۵	۵/۸	۳۰/۵
	۹	شیراز	۱۱/۹۵	۱۷	۹	۲۱	۶	۲۶/۵
	۱۰	تهران	۱۱/۲	۱۷/۵	۷/۶	۲۲/۸	۳/۹	۲۸/۵
نوع مدل‌سازی	ردیف	ایستگاه‌ها	P۲۰		P۵۰		P۸۰	
			دمای پایه		دمای پایه		دمای پایه	
			HDD	CDD	HDD	CDD	HDD	CDD
مدل‌سازی بر اساس ترکیب دما-رطوبت	۱	اهواز	۱۷/۲	۱۸/۲	۱۶/۵	۱۹	۱۵/۶	۱۹/۱
	۲	بندرعباس	۱۸/۵	۱۹/۵	۱۷/۵	۲۰/۲	۱۶/۵	۲۱
	۳	بوشهر	۱۷/۵	۱۸/۵	۱۶/۵	۱۹/۵	۱۵/۷۵	۲۰/۵
	۴	بابلسر	۱۷	۱۷/۸	۱۲/۲	۱۸/۵	۱۵/۵	۱۹
	۵	رشت	۱۷/۵	۱۸/۵	۱۶/۵	۱۹/۵	۱۵/۵	۲۰/۲
	۶	همدان	۱۸/۵	۲۰/۵	۱۷/۵	۲۱/۵	۱۶	۲۲/۹
	۷	مشهد	۱۷/۷	۱۹	۱۶/۶	۲۰	۱۵/۹	۲۱
	۸	یزد	۱۸/۱	۱۹/۵	۱۷	۲۰/۵	۱۶	۲۱/۵
	۹	شیراز	۱۸	۱۹/۳	۱۷	۲۰/۲	۱۶	۲۱/۴
	۱۰	تهران	۱۳/۴	۱۶/۲	۱۱/۴	۱۸/۵	۹/۵	۲۰/۵

شاخص PMV دارای دو تفاوت ساختاری عمده با دو روش پیشین است. یکی آنکه دارای دو وجه فیزیکی و دیگری دما- فیزیولوژیک بوده و از طرف دیگر جزء شاخص‌های پیچیده‌ای است که متغیرهای بیشتری را جهت محاسبه به کار می‌گیرد. یافته‌ها برای این شاخص نشان می‌دهد که دامنه دمای پایه برای PMV در مقایسه با CPI نوسان کمتری دارد و همپوشانی بیشتری با روش THI دارد. ضعف این روش نیز در مدل‌سازی دمای پایه جهت محاسبه HDD به خصوص برای صدک  $PA_{80}$  و شهرهای اهواز، بابلسر، رشت و مشهد است. همان‌گونه که از جدول ۷ ملاحظه می‌گردد، آستانه‌های دمایی تهران به استانداردهای موجود نزدیک‌تر شده و ضعف روش THI در آن دیده نمی‌شود. همچنین از طرف دیگر در مقایسه بین روش PMV با THI دیده می‌شود که ایستگاه‌هایی نظیر بابلسر، رشت و اهواز آستانه‌های دمایی کمتری را برای محاسبه هر دو مؤلفه HDD و CDD پیشنهاد می‌کند. برای مثال این اصل که وجود رطوبت بالا با دمای پایین در ایام گرم سال شرایط مطلوب‌تری از لحاظ آسایش اقلیمی مهیا می‌کند، برای ایستگاه‌های ساحلی بابلسر و رشت و همچنین اهواز دیده می‌شود. به‌منظور آنکه در این ایستگاه‌ها با توجه به رطوبت بالای دما در ایام گرم سال، آستانه دمایی کمتری جهت محاسبه CDD مدل‌سازی شده است که این با واقعیت این مناطق همخوانی دارد (جدول ۷).

همان‌طور که ملاحظه شد هرکدام از شاخص‌های بیوکلیمایی در مدل‌سازی دمای پایه، ضعف‌ها و قوت‌هایی به همراه داشت. پس سعی گردید تا با ترکیب نتایج هر سه شاخص ضعف‌های موجود برطرف شود. برای این منظور در ابتدا روزهایی که به وسیله هر سه شاخص به‌عنوان روز آسایش شناخته می‌شوند، انتخاب گردید. در گام بعد ایامی که در هر سه شاخص به‌صورت مشترک در طبقه آسایش قرار داشتند، به‌صورت مجموعه‌ای دیگر استخراج

شدند. از این مرحله به بعد شبیه گام‌های پیشین بوده که قبلاً توضیح داده شده است. به‌گونه‌ای که برای این روزهای جدید استحصال شده، رخداد دماهای همزمان با آن‌ها در مجموعه‌ای جدید مهیا گردیدند. سپس با استفاده از مؤلفه‌های  $P_{20}$ ،  $P_{50}$  و  $PA_{80}$  دماهای پایه HDD و CDD محاسبه و ارائه شدند. در جدول ۶ خروجی‌های این قسمت آورده شده‌اند. اگر به دامنه آسایش دمایی هر کدام از صدک‌های پیشنهادی دقت گردد، به‌طور واضح استنتاج می‌شود که در هیچ‌یک از ایستگاه‌ها این پهنای این دامنه بیش از ۵ درجه سانتی‌گراد نیست که بیشترین آن با توجه به  $PA_{80}$  دامنه‌ای از حداقل  $1/18$  تا  $8/22$  درجه سانتی‌گراد که معادل باند آسایشی به پهنای  $7/4$  درجه سانتی‌گراد است، برای تهران مدل‌سازی شده است (جدول ۷). از طرف دیگر کمینه دمای پایه برای محاسبه HDD بر حسب هر سه صدک  $P_{20}$ ،  $P_{50}$  و  $PA_{80}$  به ترتیب با مقادیر  $3/18$ ،  $5/17$  و  $5/16$  برای رشت و بابلسر و بیشینه مقدار CDD برای هر سه صدک پیشنهادی به ترتیب با مقادیر  $5/21$ ،  $5/22$  و  $2/23$  برای یزد محاسبه شده که این مقادیر نسبت به دماهای پایه مرسوم همپوشانی مناسبی دارند. از دیگر نقاط قوت مدل‌سازی اخیر اینکه در تمام شهرهای ساحلی شمالی و جنوبی به دلیل وجود رطوبت بالا، دمای پایه پیشنهادی برای محاسبه HDD، عدد کوچک‌تری را در مقایسه با سایر ایستگاه‌های خشک و نیمه‌خشک نشان می‌دهد. همچنین با عنایت به این موضوع که شهرهای ساحلی به دلیل داشتن رطوبت بالا، میزان آسایش آن‌ها در ایام گرم سال در دماهای کمتری رخ می‌دهد، می‌توان در مقایسه بین این شهرها با ایستگاه‌های خشک و نیمه‌خشک ملاحظه کرد که آستانه CDD برای شهرهای ساحلی از مقدار عددی کوچک‌تری برخوردار است (جدول ۷). بنابراین نتایج مدل‌سازی ترکیبی به‌طور شایسته‌ای توانسته است که ضعف سایر روش‌ها را که جداگانه اجرا شدند، برطرف کند.



جدول ۷. دمای پایه (درجه سانتیگراد) مدل‌سازی شده با استفاده از شاخص PMV و ترکیب کردن تمام شاخص‌ها.

نوع مدل‌سازی	ردیف	ایستگاه‌ها	P <sub>۲۰</sub>		P <sub>۵۰</sub>		P <sub>۸۰</sub>	
			دمای پایه		دمای پایه		دمای پایه	
			HDD	CDD	HDD	CDD	HDD	CDD
مدل‌سازی بر اساس شاخص PMV	۱	اهواز	۱۷	۱۹	۱۵/۱	۲۰/۲	۱۱/۱	۲۱/۸
	۲	بندرعباس	۱۹/۵	۲۰/۵	۱۹	۲۱/۳	۱۷/۵	۲۲/۲
	۳	بوشهر	۱۹/۰۵	۲۰/۵	۱۸/۰۵	۲۱/۱	۱۶/۲۵	۲۲/۳
	۴	بابلسر	۱۵	۱۷/۱	۱۲/۵	۱۸/۹	۱۰	۲۰/۶
	۵	رشت	۱۶	۱۸	۱۳/۵	۱۹/۵	۱۰/۶	۲۱
	۶	همدان	۱۹/۵	۲۱	۱۸	۲۲	۱۵/۳۵	۲۳
	۷	مشهد	۱۸/۱	19.9	۱۵/۹	۲۰/۹	۱۱	۲۲/۱
	۸	یزد	۱۹/۵	۲۱	۱۷/۸	۲۱/۹	۱۳/۳	۲۳
	۹	شیراز	۱۹	۲۰/۳	۱۷/۹	۲۱/۲	۱۵	۲۲/۴
	۱۰	تهران	۱۹/۵	۲۱	۱۸/۵	۲۱/۶	۱۶/۱	۲۲/۸
نوع مدل‌سازی	ردیف	ایستگاه‌ها	P <sub>۲۰</sub>		P <sub>۵۰</sub>		P <sub>۸۰</sub>	
			دمای پایه		دمای پایه		دمای پایه	
			HDD	CDD	HDD	CDD	HDD	CDD
مدل‌سازی بر اساس ترکیب روش‌ها	۱	اهواز	۱۹	۲۰	۱۸/۳	۲۰/۵	۱۷/۲	۲۱/۵
	۲	بندرعباس	۱۹/۵	۲۰	۱۹	۲۰/۵	۱۸/۵	۲۱/۱
	۳	بوشهر	۱۹	۱۹/۶۵	۱۸/۵	۲۰	۱۸	۲۰/۸
	۴	بابلسر	۱۸/۳	۱۹	۱۷/۷	۱۹/۵	۱۶/۵	۲۰/۲
	۵	رشت	۱۸/۳	۱۹/۲	۱۷/۵	۲۰	۱۶/۹	۲۰/۳
	۶	همدان	۲۰	۲۱	۱۹	۲۲	۱۸	۲۲/۸
	۷	مشهد	۱۹/۷	۲۰/۶	۱۹	۲۱/۵	۱۸	۲۲/۱
	۸	یزد	۲۰/۵	۲۱/۵	۲۰	۲۲/۵	۱۹	۲۳/۲
	۹	شیراز	۲۰	۲۱	۱۹/۵	۲۲	۱۸/۵	۲۳
	۱۰	تهران	۲۰/۱	۲۱	۱۹/۵	۲۱/۸	۱۸/۱	۲۲/۸

۴. بحث و نتیجه‌گیری

جمله شاخص‌های مرتبط با فیزیولوژی انسانی است که از معادله بیلان انرژی بدن انسان مشتق گردیده است، پس انتظار است که درک واقعی انسان را نسبت به شرایط بیوکلیمایی محیط به صورت مناسب‌تری پایش نماید (هاو، ۱۹۹۹). همان‌طور که نتایج نشان دادند چولگی توزیع فراوانی رخدادهای بیوکلیمایی برای دو شاخص THI و CPI به سمت طبقات گرم تا داغ است، حال آنکه نتایج توزیع فراوانی‌ها برای PMV فقط برای طبقات گرم و داغ متمرکز نشده است و برای آستانه‌های سرد تا خیلی سرد نیز درصد قابل توجهی از رخدادهای طبقه‌بندی شده‌اند. از جمله یافته‌های این پژوهش تعیین درصد فراوانی رخدادهای برای طبقه آسایش اقلیمی بوده است. نوسان این

در تحقیق حاضر دمایی به‌عنوان دمای پایه آسایش معرفی گردید که در تقابل و تأثیرپذیری از سایر مؤلفه‌های آب‌وهوایی تأثیرگذار بر آسایش حرارتی نقش‌آفرین بوده‌اند. به‌طوری که در شاخص بیکر عامل خنک‌کنندگی باد نقش اساسی در تأمین آسایش دارد و در شاخص THI ترکیب دو مؤلفه دما و رطوبت در رخنمون شرایط متفاوت بیوکلیمایی نقش‌آفرین بوده‌اند. جدای از این دو شاخص ساده که فاقد ارتباط لازم بین فاکتورهای اقلیمی و فیزیولوژیک بودند، از شاخص ترکیبی PMV که از متغیرهای بیشتری بهره می‌گیرد، استفاده شد. مزیت روش PMV در مقایسه با دو روش قبل این است که PMV از

فراوانی‌ها با استفاده از شاخص THI از حداقل ۱۸/۸ درصد برای اهواز تا حداکثر ۲۶/۶ درصد برای همدان متغیر است و برای شاخص CPI از حداکثر به میزان ۳۳/۶ درصد برای شیراز و حداقل ۲۰/۴ درصد برای اهواز و در نهایت خروجی‌های PMV نشان می‌دهد که تهران با ۱۱/۴ درصد و بندرعباس با ۱۵/۲ درصد کمینه و بیشینه فراوانی طبقه آسایش حرارتی را تجربه کرده‌اند. پس در روش THI دامنه نوسانات فراوانی طبقات آسایش برای ایستگاه‌های مطالعاتی بیشتر از دو روش دیگر و برای PMV حداقل دامنه نوسان دیده می‌شود. در ادامه با استفاده از شاخص‌های مختلف بیوکلیمایی مقادیر دمای پایه برای محاسبه HDD و CDD مدل‌سازی گردید. ضعف اصلی شاخص بیکر در تعیین باند و پهنای وسیع دامنه آسایش دمایی بوده که جدای از آن مقادیر دمای پایه نسبت به استانداردهای موجود اختلاف فاحشی را نشان می‌دهند. در خصوص شاخص THI اگرچه دامنه محدود آسایش در مقایسه با CPI کاهش می‌یابد اما فاصله زیاد دامنه آسایش شهر تهران و بابل‌سر از استانداردهای موجود به‌عنوان ضعف‌های این شاخص شناسایی گردیدند. در خصوص شاخص PMV ذکر این مطلب قابل توجه است که دامنه آسایش دمایی آن در مقایسه با CPI نوسان کمی دارد و همپوشانی بیشتری با روش THI دارد. همچنان از نقاط قوت آن مدل‌سازی دمای پایه آسایش تهران نزدیک به استانداردهای موجود است، اما نقاط ضعف این مدل‌سازی نیز در خصوص تعیین دمای پایه جهت محاسبه HDD به خصوص برای ۸۰P و شهرهای اهواز، بابل‌سر، رشت و مشهد است. همان‌طور که ملاحظه گردید هرکدام از شاخص‌های بیوکلیمایی در مدل‌سازی دمای پایه، ضعف‌ها و قوت‌هایی به همراه داشتند که در این تحقیق سعی گردید که با ترکیب نتایج هر سه شاخص ضعف‌های موجود برطرف گردد؛ بنابراین نتایج شاخص ترکیبی نشان داد که نه تنها دامنه نوسانات و از طرف دیگر مقادیر دمای پایه مدل‌سازی‌شده با استانداردهای مرسوم ۱۸ تا ۲۲ یا ۱۸ تا

۲۴ همخوانی مطلوبی داشته باشد، همچنین مقادیر به‌دست آمده از این مدل‌سازی توانسته است تأثیر شرایط آب‌وهوایی هر منطقه را نیز در این مدل‌سازی اعمال کند و نتایج واقعی‌تری را ارائه دهد. به‌عنوان مثال برای تمام شهرهای ساحلی شمالی و جنوبی به‌دلیل وجود رطوبت بالا، دمای پایه پیشنهادی برای محاسبه HDD(CDD) ایام سرد(گرم) سال مقدار کوچک‌تری را در مقایسه با سایر ایستگاه‌های خشک و نیمه‌خشک نشان می‌دهد. به‌هرحال مدل ترکیبی با توجه به اینکه از شاخص‌های مختلف و مؤلفه‌های آب‌وهوایی بیشتری استفاده کرده است، به‌طور شایسته‌ای توانسته ضعف سایر روش‌ها را که جداگانه اجرا گردیدند، برطرف و نقاط قوت را تقویت کند و نتایج واقع‌بینانه‌تری ارائه دهد. به‌هرحال اگرچه مشابه این مطالعه برای ایران انجام نگرفته است اما پژوهش‌های فراوانی در راستای واسنجی شرایط زیست اقلیمی مناطق مختلف کشور با استفاده از شاخص‌های متنوع زیست اقلیمی اجرا شده است که یافته‌های آن‌ها تأییدی بر نتایج این مقاله است. همان‌گونه که نتایج تحقیق حاضر نشان می‌دهد، همدان به‌عنوان نماینده ایستگاه‌های غرب و شمال غرب ایران، به دلیل تجربه شرایط غالب زیست اقلیمی سرد و خیلی سرد در ایام سال، جهت تأمین آسایش حرارتی ساختمان‌ها نیازمند تأمین انرژی حرارتی بالا در گام اول به‌وسیله گرمایش مکانیکی و در درجه بعد گرمایش خورشیدی است. مشابه این نتیجه برای شمال غرب کشور توسط ساربانقلی و اصل بناب (۱۳۹۲) به دست آمد. آن‌ها در پژوهش خود به این خروجی دست یافتند که فراوانی تنش‌های سرمایی در طی سال به‌ویژه برای اواسط پاییز تا اواخر زمستان، موجب می‌شود تا استفاده بهینه‌ای از انرژی تجدیدپذیر آفتاب در گرمایش ساختمان لحاظ شود. اما در مناطق گرم و مرطوب سواحل جنوبی کشور مهم‌ترین عوامل بازدارنده آسایش، وجود رطوبت بالا، تابش و دمای زیاد است. همان‌گونه که مقادیر PMV برای این ایستگاه‌ها نشان می‌دهد مخصوصاً در ایام گرم سال غالب رخدادهای زیست اقلیمی شامل شرایط خیلی گرم یا داغ

است. بنابراین نویسنده بر خود لازم می‌داند که صمیمانه از حمایت‌های مالی و معنوی دانشگاه گلستان و معاونت پژوهشی تقدیر و تشکر کند. همچنین نویسنده بر خود لازم می‌داند که از زحمات دو داور گرامی در ارزیابی مقاله حاضر و ارائه پیشنهادهای سازنده که هدف آن ارتقای سطحی علمی مقاله بوده است، کمال تشکر را داشته باشد.

### مراجع

- خلیلی، ع.، ۱۳۸۳، تدوین یک سامانه جدید پهنه بندی اقلیمی از دیدگاه نیازهای گرمایش- سرمایش محیط و اعمال آن برگستره ایران، مجله تحقیقات جغرافیایی، شماره ۴، ۵-۱۴.
- خلیلی، ع.، ۱۳۷۸، تحلیل سه بعدی درجه - روزهای گرمایش و سرمایش در گستره ایران، فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، شماره ۵۴، ۴۴-۵۷.
- زرمجویان، م.، ۱۳۷۶، آسایش بوسیله از معماری همساز با اقلیم، انتشارات دانشگاه شهید بهشتی، ص ۲۸۵.
- ریاضی، ج.، ۱۳۶۵، اقلیم و آسایش در ساختمان، گزارش مرکز تحقیقات و مسکن و شهرسازی، تهران.
- رمضانی، ب.، ابراهیمی، ه.، ۱۳۸۸، شناخت شرایط مطلوب آسایش بیوکلیماتیک انسانی نوار ساحلی غرب مازندران با روش بیکر، فصلنامه پژوهشی جغرافیا، ۸۸، ۵۷-۷۰.
- کسمایی، م.، ۱۳۷۸، اقلیم و معماری. تهران: انتشارات نشر، ۲۳۰.
- طاووسی، ت.، عطایی، ه.، کاظمی، آ.، ۱۳۷۸، اقلیم و معماری مدارس نوساز اصفهان، جغرافیا و توسعه، ۱۱، ۹۳-۱۰۵.
- ساربانقلی، ح.، اصل بناب، ه.، ۱۳۹۲، معماری همساز با اقلیم دهستان منطقه آذربایجان شرقی با تعیین مناسب ترین شاخص RayMan، فصلنامه جغرافیای سرزمین، ۳۸، ۵۳-۶۲.
- لشکری، ح.، داوری، ر.، ۱۳۸۳، تحلیل شرایط بیوکلیمایی است. بنابراین استفاده از تهویه کن مکانیکی در درجه اول و در مرحله بعد استفاده از تهویه طبیعی باد و عایق کردن ساختمان‌ها از نفوذ شدت تابش و گرما می‌تواند در کاهش تقاضای انرژی خنک‌کنندگی تأثیرگذار باشد. به عبارت دیگر یافته‌های این تحقیق نشان می‌دهند که غالب انرژی مورد نیاز برای نواحی غرب و شمال غرب کشور انرژی گرمایشی بوده؛ حال آنکه در سواحل جنوبی این انرژی از نوع خنک‌کنندگی است. در یک مطالعه مشخص گردید که جهت تأمین آسایش حرارتی برای پهنه‌های مختلف ایران، بیشینه نیاز انرژی برای نواحی ساحلی جنوب کشور انرژی سرمایشی است، اما برای غرب، شمال غرب ایران انرژی گرمایشی است (روشن و همکاران، ۲۰۱۲). همچنین در مطالعات دیگری همانند (روشن و همکاران، ۲۰۱۰؛ اسماعیلی و فلاح قالمهری، ۲۰۱۴؛ روشن و همکاران، ۲۰۱۵؛ مختاری و انوری، ۲۰۱۵) نتایج مشابهی نظیر تحقیق حاضر حاصل شده است که مؤید اعتبار یافته‌های این پژوهش می‌باشد. در آخر با توجه به اینکه در کشور ما کمتر پژوهش‌هایی در راستای تحقیق حاضر انجام پذیرفته است، مطالعه در این شاخه علمی در ابتدای راه است؛ پس پیشنهاد می‌گردد که در خصوص بازنگری دمای پایه آسایش از سایر شاخص‌های حرارتی و فیزیولوژیک نظیر UTCI، PET، SET، PT یا نمودارهای سایکرومتریک و اولگی استفاده گردیده و نتایج روش‌های مختلف در جهت مدل‌سازی و اصلاح دمای پایه آسایش، مقایسه و واکاوی شود؛ بنابراین انتظار می‌رود که برآیند این فرایند بتواند به انتخاب مناسبی از دمای پایه برای مناطق مختلف کشور منجر شود.

### تشکر و قدردانی

شایان ذکر است که مقاله حاضر مستخرج از پروژه تحقیقاتی تحت عنوان «پیشنهاد دمای پایه جدید برای محاسبه میزان تقاضای انرژی بر مبنای شاخص‌های آسایش حرارتی و دما- فیزیولوژیک» است که با حمایت مالی معاونت پژوهشی دانشگاه گلستان صورت گرفته

دمایی جهت طراحی مسکن همساز با اقلیم؛  
مطالعه موردی: ایستگاه سینوپتیک مهرآباد  
تهران، فصلنامه اطلاعات جغرافیایی (سپهر)، ۲۱، ۸۹،  
۸۱-۹۳

- Beniston, M. and Diaz, H. F., 2004, The 2003 heat wave as an example of summers in a greenhouse climate? Observations and climate model simulations for Basel, Switzerland. *Global Planet Change*, 44, 38-55.
- Becker, F., 1972, *Bioclimatische Reizstufen Fur eine Raumburteilung Zur Erholung* Bd 76, Hannover.
- Cvitan, L. and Jurković, R. S., 2015, Secular trends in monthly heating and cooling demands in Croatia, *Theoretical and Applied Climatology*, DOI 10.1007/s00704-015-1534-7.
- Dombayc, Ö., 2009, Degree-days maps of Turkey for various base temperatures, *Energy*, 34(11), 1807-1812
- Esmaili, R. and Fallah Ghalhari, G., 2014, An Assessment of Bioclimatic Conditions for Tourists - A Case Study of Mashhad, Iran, *Atmospheric and Climate Sciences*, 4, 137-146.
- Fanger, P. O., 1970, *Thermal Comfort*. Copenhagen: Danish Technical Press.
- Gosling, S. n., Bryce, E. K., Grady Dixon, P., Gabriel, K. M. A., Gosling, E. Y., Hanes, J. M., Hondula, D. M., Liang, L., Lean, P. A., Muthers, S., Nascimento, S. T., Petralli, M., Vanos, J. K., Wanka, E. R. and Mahillon, V., A., 2014, glossary for biometeorology, *Int J Biometeorol*, 58, 277-308.
- Ghanghermeh, A. A., Roshan, Gh. R., Orosa, A. J., Calvo-Rolle, J. L. and Costa, A. M., 2013, New Climatic Indicators for Improving Urban Sprawl: A Case Study of Tehran City, *Entropy*, 15, 999-1013
- Givoni, G., 1992, *Comfort, climate analysis and building design guidelines* *Energy and Buildings*, 18, 1, 11-23.
- Givoni, B., 1976, *Man, climate and Architecture*, 2nd Edition, Applied science publishers, London.
- Lam, J. C., Tsang, C. L., Yang, L., Li, D. H. W., 2005, Weather data analysis and design implications for different climatic zones in China, *Build Environ* 40, 277-296.
- Gosling, S. N., McGregor, G. R. and Pa'ldy, A., 2007, Climate change and heat-related mortality in six cities. Part I: Model construction and validation, *International Journal of Biometeorology*, 51, 66-80.
- Hajat, S., Kovats, R. S., Atkinson, R. W. and Haines, A., 2002, Impact of hot temperatures

- انسانی استان آذربایجان غربی به روش بیکر، فصلنامه جغرافیایی سرزمین، ۳، ۵۰-۳۴.
- میرموسوی، س.ح.، شفیعی، ش.، تقی زاده، ز.، ۱۳۹۳، ارزیابی و برآورد درجه روز و شاخص سازگاری on death in London: A time series approach. *J. Epidemiol. Community Health*. 56, 110-121.
- Huth, R., Kysely, J. and Pokorna, L., 2000, AGCM simulation of heatwaves, dry spells, and their relationships to circulation. *Climate Change*, 46, 213-222.
- Jeong, J. H. and Kim, D. H., 2013, An Outdoor Comfort Index Framework Based on GIS for Supporting Optimal Environment, *International Journal of Software Engineering and Its Applications*, 7(6), 211-220.
- Jiang, F., Li, X., Wei, B., Hu, R. and Li, Z., 2009, Observed trends of heating and cooling degree-days in Xinjiang Province, China, *Theor Appl Climatol*, 97, 349-360.
- Höppe, P. R., 1999, The physiological equivalent temperature—a universal index for the biometeorological assessment of the thermal environment, *Int J Biometeorol*, 43, 71-75.
- Matzarakis, A. and Rutz, F., 2007, RayMan: a tool for tourism and applied climatology, *Dev. Tourism Climatol*, 9, 129-138.
- Matzarakis, A., Rutz, F. and Mayer, H., 2007, Modelling Radiation fluxes in simple and complex environments – Application of the RayMan model, *International Journal of Biometeorology*, 51, 323-334.
- Mather, J. R. 1974, *climatology: Fundamentals and Applications*, New York, McGraw-Hill.
- Orosa, J., Costa, A., Fernandez, A. and Roshan, Gh., 2014, Effect of climate change on outdoor thermal comfort in humid climates, *J Environ Health Sci Eng*, 12, 46, 1-9.
- Mehrabi, M., Kaabi-Nejadian, A. and Khalaji Asadi, M., 2011, Providing a Heating Degree Days (HDDs) Atlas across Iran Entire Zones, *World renewable energy congress 2011-Sweden*, 8-13 may 2011, Linkoping.
- Mokhtari, M. and Anvari, M., 2015, A Comparative study of tourism comforting climate in Iran (case study in the Markazi province and southern Kharasan province of Iran) with TCI model in GIS environment, *Journal of Novel Applied Sciences*, 4-2, 151-156.
- Olgay, V., 1967, Bioclimatic Orientation Method for Buildings, *Int J Biometeor*, 11(2), 163-174.
- Roshan, Gh. R., Mirkatouli, G., Shakoore, A. and Mohammad-Nejad, V., 2010, Studying Wind Chill Index as a Climatic Index Effective on the Health of Athletes and Tourists Interested

- in Winter Sports, *Asian J Sports Med*, 1(2), 108–116,
- Roshan, Gh. R. Orosa, J. A and Nasrabadi, T., 2012, Simulation of climate change impact on energy consumption in buildings, case study of Iran, *Energy Policy*, 49,731-739.
- Roshan, GH., Yousefi, R. and Fitchett, J. M., 2015, Long-term trends in tourism climate index scores for 40 stations across Iran: the role of climate change and influence on tourism sustainability, *Int J Biometeorol*, doi:10.1007/s00484-015-1003-0.
- Rahimzadeh, F., Asgari, A. and Fattahi, E., 2009, Variability of extreme temperature and precipitation in Iran during Recent decades, *International Journal of Climatology*, 29(3), 329 - 343
- Taghavi, F., 2010, Linkage between Climate Change and Extreme Events in Iran, *Journal of the Earth & Space Physics*, 36(2),33-43
- Yildiz, Z. and Sosaoglu, B., 2007, Spatial distributions of heating, cooling, and industrial degree-days in Turkey, *Theor Appl Climatol*, 90, 249–261.
- Zhang, X., Aguilar, E., Sensoy, S., Melkonyan, H., Tagiyeva, H., Ahmed, N., Kutaladze, N., Rahimzadeh, F., Taghipou, A., Hantosh, T.H., Albert, P., Semawi, M., Karam Ali, M., Al-Shabibi, M., Al-Oulan, Z., Zatar, T., Khelet, I., Hamoud, S., Sagir, R., Demircan, M., Eken, M., Adiguzel, M., Alexander, L., Peterson, T. and Wallis, T., 2005, Trends in Middle East climate extreme indices from 1950 to 2003, *Journal of geophysical research*, 110, D22104, doi:10.1029/2005JD006181.

## Suggestion a new base temperature for calculating the amount of energy demand based on thermal comfort indices and temperature – Physiologic

Roshan, Gh.\*

*Assistant Professor, Department of Geography, Golestan University, Gorgan, Iran*

*(Received: 17 Jan 2016, Accepted: 14 Jun 2016)*

### Summary

One of the today's world issues is saving energy that is not renewable and the use of natural energy not only can make the living environment a comfortable atmosphere but it also greatly reduces the energy consumption. Determining the extent of thermal comfort and the perfect base and in other words, the perfect base temperature to calculate the energy demand for cooling and heating can have a crucial role in energy saving, sustainable development and land use planning. In this paper, it was assumed that the base comfort temperature for each area similar to other climatology phenomena are affected by climatology patterns and behaviors of that area by sticking to a global standard temperature cannot justify regional and station conditions. The crucial point in this study is not only determining bioclimatic climatic comfort but also comfort temperature threshold was modified. In other words, the methodology of this work is such that it does not only search to identify base temperature outside the comfort zone, but in this zone base temperature values have been modified according to the regional climate patterns. In this study, a temperature was introduced as the base temperatures that have played roles in interacting and being influenced by other climatic factors affecting thermal comfort. The main goal of this study is to review and modify the proper base temperature for calculating heating and cooling energies. To determine the new temperature thresholds for providing climate comfort conditions 3 thermal comfort indices of Biker, THI and a temperature-physiological index entitled Predicted Mean Vote have been used. Each of these indicators is presented below. But it should be noted that all climatic data used in the study are daily data from 1960 to 2010 that include wind speed, daily temperature, relative humidity and cloudiness. It must be noted that reconstruction of missing data was performed by linear regression and the results were confirmed after validation of reconstructed data. The monitoring data are being random and their homogeneity were investigated by using run-test and drawing histograms. Importantly, since Iran has different climatic diversity, 10 stations representing different climatic conditions were selected and analyzed. The method of this study to determine and review base temperature that was based on the principle that according to each of the heat and physiological-temperature indices, after gaining the output of each of these models, days in comfort zones were determined. Then separately for each bioclimatic index, the temperatures of days in comfort zone were selected. But despite that all these screened thermal temperatures are in the comfort zone, the methodology was not based on this principle that from the range of extracted thermal temperatures, the minimum and maximum temperatures are introduced as base temperature for calculating HDD and CDD respectively. In the next step, for calibrating this temperature range, percentile method was used. In the following, using various bioclimatic indicators, base temperature values were modeled to calculate HDD and CDD. The main weakness of Biker index was in determining the band and the wide width of thermal comfort range that apart from the base temperature values, it has shown a significant difference compared to the existing standards. About the THI index, although the range of comfort zone reduces comparing to CPI but the long distance of comfort range of Tehran and Babolsar from the existing standards have been identified as the weaknesses of this index. Considering PMV index, it is noteworthy that the range of thermal comfort had little sway compared to the CPI. And it had greater overlap with THI method. One of its strengths is modeling of Tehran's base temperature which is close to the existing standards. But the weaknesses of this modeling is in determining the base temperature for calculating HDD specifically for 80P and Ahvaz, Babolsar, Rasht, Mashhad. As it was seen, any of the bioclimatic indicators had weaknesses and strengths in modeling of base temperature. This study tried to eliminate these weaknesses by combining the results of all three indicators. The results of combined indices showed that not only the range of fluctuations and on the other hand the values of modeled base temperature are consistent with traditional standards of 18 to 22 or 18 to 24, but also the derived values of this modeling have been able to apply the impact of weather condition of each area in this modeling and provide more realistic results.

**Keywords:** Thermal comfort index, base temperature, climatic variability, energy demand, cooling and heating degree day.