

## تعیین محدوده‌های بیوکلیماتیک شهر مشهد بر مبنای داده‌های ساعتی

رضا اسماعیلی: استادیار اقلیم‌شناسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد مشهد، مشهد، ایران \*

مجید منتظری: استادیار اقلیم‌شناسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد نجف آباد، نجف آباد، ایران

وصول: ۱۳۹۰/۴/۱۹ پذیرش: ۱۳۹۰/۱۱/۲۳، صص ۲۳۰-۲۱۵

### چکیده

شاخص زیست اقلیم دمای معادل فیزیولوژیک (PET) جزء شاخص‌های ترموفیزیولوژیک است که از معادله بیلان حرارتی بدن انسان مشتق می‌گردد. این شاخص از پرکاربردترین‌ها در زمینه ارزیابی‌های زیست اقلیم محسوب می‌گردد. در تحقیق حاضر محدوده‌های بیوکلیماتیک شهر مشهد برای ساعات 12,09 و 21 UTC (با مطابق ۰۹:۳۰، ۱۵:۳۰ و ۲۱:۳۰ به وقت محلی) و بر اساس داده‌های اقلیمی دوره ۲۰ ساله (۱۳۸۷-۱۳۶۸) مورد ارزیابی قرار گرفته است. علاوه بر ارزیابی زیست اقلیمی (آسایش اقلیمی، استرس گرمایی و سرمایی) فراوانی وقوع پدیده‌های فیزیکی (مثل بارش، یخبندان، طوفان و...) و زیبا شناختی (شامل ابرناکی، شرایط آفتاب) که بر آسایش اقلیمی تاثیر گذارند نیز محاسبه شده است. بر اساس نتایج بدست آمده، دوره آسایش اقلیمی ساعات ۹:۳۰ و ۱۵:۳۰ شهر مشهد در دو بازه زمانی واقع شده است دوره اول در ابتدای فصل بهار و دوره دوم آن در اوایل فصل پائیز واقع شده است که دوره اول آن طولانی تر است. دوره آسایش ساعت ۲۱:۳۰ بصورت پیوسته در تیر و مرداده ماه واقع شده است. در مجموع تعداد روزهای همراه با آسایش ( $PET < 23$ ) برای ساعات ۰۹:۳۰، ۱۵:۳۰ و ۲۱:۳۰، به ترتیب ۴۶، ۳۸ و ۵۹ روز به دست آورده شده است. تعداد روزهای همراه با تنش سرمایی ( $PET < 18$ ) در ساعات مطالعه شده بترتیب، ۱۸۸، ۱۶۹ و ۳۰۶ روز می باشد. بیشترین تنش‌های گرمایی ( $PET > 23$ ) در ساعت ۱۵:۳۰ (۵۰ روز) و بعد از آن ساعت ۹:۳۰ (۱۳۹ روز) اتفاق می افتد. ساعت ۲۱:۳۰ فاقد تنش‌های گرمایی است.

واژه‌های کلیدی: دمای معادل فیزیولوژیک، اقلیم آسایشی، بیوکلیماتیک، معادله بیلان حرارتی، زیست اقلیم شهر مشهد

### مقدمه

فعالیت‌های علمی و تخصصی در این زمینه طی دهه‌های اخیر، علم زیست اقلیم‌شناسی انسانی را به وجود آورده است. این علم شاخه جدیدی از علم اقلیم‌شناسی است که از همکاری علوم زیست‌شناسی انسانی و اقلیم‌شناسی کاربردی تشکیل و توسعه یافته است (اسماعیلی و همکاران، ۲۰۰۴، ۱۳۹۰). هدف از این علم ارزیابی تاثیرات هوا و اقلیم بر روی موجودات زنده بخصوص انسان است (کاویانی، ۱۳۷۲: ۷۵).

انسان‌ها از گذشته دور علاقمند به دستیابی به اطلاعاتی در زمینه تاثیر اقلیم بر جسم و روان خود بودند، بقراط در ۲۵ قرن قبل از میلاد، هیپوکراتیس در ۲۵۰۰ سال پیش (Matzarakis, 2007, 140) و جرجانی و ابن سینا بترتیب در قرون ۱۰ و ۱۱ هجری مطالعاتی را در این زمینه صورت داده‌اند.

(استیدمن<sup>۳</sup>، ۱۹۷۹) است که غالباً تجربی و اثبات نشده‌اند. دسته دوم شاخص‌های ترکیبی و بیوکلیماتیکی مثل شاخص اولگی<sup>۴</sup> (۱۹۷۳) ترجونگ<sup>۵</sup> (۱۹۶۸) و شاخص<sup>۶</sup> TCI (۱۹۸۵) هستند که تعداد بیشتری از متغیرهای اقلیمی را لحاظ می‌کنند. در نهایت دسته سوم شاخص‌های دما- فیزیولوژیک<sup>۷</sup> که از معادله انرژی بدن انسان مشتق می‌شوند و به عنوان کاملترین شاخص‌ها شناخته می‌شوند (اسماعیلی، ۱۳۹۰، ۳۴). از جمله معروفترین این دسته از شاخص‌ها می‌توان به PET<sup>۸</sup> و PMV<sup>۹</sup> (Hoppe, 1999) (Matzarakis and mayer 1997) (Gagge<sup>۱۰</sup>، (Matzarakis et al, 1999) (VDI, 1998) Dear, 2003) Out\_SET و set al., 1986) SET (Spangolo and

علاوه بر ضرورت بکارگیری شاخص‌های جامع و کامل در زیست اقلیم شناسی استفاده از مقیاس زمانی ریز (مثل روزانه یا ساعتی) دارای اهمیت ویژه‌ای در بکارگیری بهتر نتایج می‌باشد. بررسی منابع علمی در ایران نشان می‌دهد علی‌رغم فراوانی تحقیقات در این زمینه، غالب تحقیقات صورت گرفته شده با استفاده از شاخص‌های قدیمی و ترکیبی مثل اولگی و گیونی (کسمایی، ۱۳۶۹) ترجونگ (کاوایی، ۱۳۷۲) TCI (فرج زاده و علی آبادی، ۱۳۸۸) و غیره است که در

بکارگیری اطلاعات زیست اقلیم در زمینه‌های علوم کاربردی از قبیل، معماری و طراحی شهری (K. at al, 2010, 319) (Gulyas at al, 2005, 1713) (Vanos Hwang at al, 2011, 5) بهداشت و سلامت (Thorsson, 2004, 149) (Jendritzky and Lin and (Tinz, 2009), گردشگری و تفریح (Matzarakis, 2011, 492) (matzarakis, 2011, 492) (Lin. at al, 2010, 319) (Shiue & Matzarakis, 2010, 54.) Moreno and (Amelung, 2009, 550) و غیره بسیار مورد تقاضا و توجه است. دستیابی به این اطلاعات در جهت برنامه ریزی صحیح و مطابق با محیط جوی است که در جهت رسیدن به توسعه پایدار صورت می‌گیرد.

اصولاً زیست اقلیم شناسی اثر پیچیده و توأمان متغیرهای آب و هوایی را بر بدن انسان به شکلی ساده و در قالب شاخص‌های زیست اقلیمی ارائه می‌دهد. این شاخص‌ها غالباً به صورت عددی بیان می‌گردند تا برای عموم قابل درک باشند و علاوه بر آن امکان مقایسه مکان‌های مختلف از دیدگاه زیست اقلیمی فراهم گردد (De freitas, 2001, 4).

در طی عمر چند دهه ای علم نوین زیست اقلیم شناسی انسانی بالغ بر ۲۰۰ شاخص ارائه شده است که به طور کلی می‌توان آنها را در سه دسته طبقه‌بندی کرد (اسماعیلی، ۱۳۹۰، ۳۴). دسته اول، شاخص‌های اولیه تجربی مثل شاخص عدم آسایش (تام<sup>۱</sup> ۱۹۵۹) سوز باد (سیپل<sup>۲</sup>، ۱۹۴۵) و دمای محسوس

3 -Steadman

4 -Olgay

5 - Terjung

6 - Tourism Climate Index

7 - Thermo-Physiological

8 -Physiological Equivalent Temperature

9 -predict Mean Vote

10 -Standard Effective Temperature

1 -Thom

2 - Siple

(Cicenko, 1960, مدل هیدکس و استیدکس<sup>۳</sup> de Freitas, 1985, 1990, مدل کلیما-میکل<sup>۴</sup> (Jendritzky, 1990), ممی<sup>۵</sup> (Hoppe, 1984), منکس<sup>۶</sup> (Blazejczyk, 1994) اشاره کرد. در این میان مدل MEMI<sup>۷</sup> که توسط فانگر<sup>۸</sup> در سال ۱۹۷۲ ابداع و تشریح شد بسیار مورد اقبال واقع شده است. این مدل برای تعیین مقادیر واقعی شارهای حرارتی و دماهای بدن انسان در یک محیط معین با فرض اینکه اتلاف حرارتی پوست با حرارت تولید شده توسط خون و حرارات منتقل شده از مرکز بدن به سطح پوست برابر باشد مورد استفاده قرار می‌گیرد. فانگر بر اساس این مدل، شاخص‌های حرارتی متوسط آراء پیش بینی شده (pmv) و پیش بینی درصد افراد ناراضی<sup>۹</sup> (ppd) را جهت کمک به مهندسين تهویه هوا در شرایط آب و هوای داخل اتاق (محیط بسته) ارائه کرد. دو دهه بعد جیندرتزکی<sup>۱۰</sup> و همکارانش (۱۹۹۰) موفق شدند، روش پیچیده فانگر را با اختصاص متغیرهای مناسب برای شرایط بیرون نیز تنظیم کنند (Thomson et al:2008,164). مدل MEMI جزء مدل‌های موازنه حرارتی ترمو- فیزیولوژیک است که به عنوان اساسی جهت بدست آوردن شاخص‌های PMV, PET محسوب می‌گردد. جزئیات مدل MEMI بر مبنای معادله بیلان انرژی بدن انسان استوار است و معادله آن به شرح ذیل است (Hoppe;1999,72):

مقیاس زمانی ماهانه صورت گرفته است. از جمله که فعالیت‌هایی که در مقیاس زمانی روزانه و با استفاده از شاخص‌های جدید صورت گرفته می‌توان به تحقیقاتی ذوالفقاری (۱۳۸۷) اسماعیلی و همکاران (۱۳۸۹) و (اسماعیلی و همکاران، ۱۳۹۰) اشاره کرد. و تنها تحقیق صورت گرفته شده در مقیاس ساعتی مربوط به رساله پاینده (۱۳۸۴) است. هدف از تحقیق حاضر تعیین محدوده‌های بیوکلیماتیک شهر مشهد (به عنوان دومین کلان شهر ایران و پایتخت مذهبی کشور) با استفاده از شاخص ترموفیزیولوژیک دمای معادل فیزیولوژیک در مقیاس زمانی ساعتی است.

## روش شناسی

### مدل بیلان انرژی بدن انسان

به استثناء عنصر گرمایی عمدتاً پاسخ انسان به اقلیم موضوعی احساسی است (دی فرتیاس: ۱۶، ۲۰۰۱) و به همین دلیل اکثر محققان اقلیم آسایشی، در گذشته روی عنصر گرمایی تاکید بیشتری داشتند. اما امروزه عقیده بر این است در ارزیابی‌های زیست اقلیم شناسی باید اثر توأم همه عناصر اقلیمی و اجزاء حرارتی محیط دخالت داده شوند. یک چنین دیدگاه‌هایی منجر به ارائه و توسعه مدل‌های بیلان انرژی بدن انسان گردید. که از اوایل دهه ۱۹۶۰، در ارزیابی آسایش حرارتی بدن انسان بیش از پیش مورد توجه قرار گرفتند. از جمله مهمترین مدل‌های که برای شرایط بیرون ارائه شده‌اند می‌توان به مدل براون و جیلسپی<sup>۱</sup> (۱۹۸۶)، مدل بودیکو<sup>۲</sup> (Budyko,

3 -HEBIDEX and STEBIDEX

4 -Klima-Michel

5 -MEMI

6 -MENEX

7 - Munich Energy Balance Model for Individuals

8 -Fanger

9 - Predicted Percentage Dissatisfied

10 -Jendritzky

1 - Brone and Gillespie

2 - Budyko

معادله (۱)

$$M + W + R + C + E_D + E_{RE} + E_{SW} + S = 0$$

در این معادله:

$M$  = نرخ سوخت و ساز بدن  $W$  = خروجی کار  
 فیزیکی  $R$  = تابش خالص بدن  $C$  = جریان حرارت  
 همرفتی  $E_D$  = جریان حرارت نهان تبخیری آب از  
 پوست  $E_{RE}$  = مجموع جریان‌های حرارتی موثر در  
 گرمایش و تبخیر و تعرق و  $E_{SW}$  = جریان هوای موثر در  
 تبخیر و تعرق بدن می‌باشد. در این معادله واحد همه  
 عبارات بر حسب وات بوده و معمولاً مثبت  $M$  و  $W$ ،  
 $E_D$  و  $E_{SW}$  اغلب منفی است. اگر بدن انسان در حال  
 کسب انرژی باشد معادله تماماً مثبت و اگر در حال از  
 دست دادن انرژی باشد معادله منفی خواهد  
 بود. معادله فوق توسط متغیرهای آب و هواشناسی  
 زیر کتترل می‌شود (VID, 1998, 18) (HOPPE, 1999, 74).

- درجه حرارت هوا:  $E_{RE}, C$ - رطوبت هوا:  $E_D, E_{RE}, E_{SW}$ - سرعت باد:  $E_{SW}, C$ - متوسط دمای تابشی:  $R$ 

دسترسی به متغیرهای درجه حرارت، رطوبت  
 نسبی هوا و سرعت باد به آسانی در دسترس می‌باشد،  
 اما میانگین دمای تابشی ( $T_{mrt}$ ) که یکی از مهمترین  
 متغیرهای ورودی در محاسبه بیلان انرژی بدن انسان  
 است، در ایستگاه‌های هواشناسی ثبت نشده و جهت  
 محاسبه آن باید خصوصیات مربوط به سطوح تابشی،  
 عامل منظر و شرایط بدن انسان (نشسته یا ایستاده) مد  
 نظر قرار گیرد. برای محاسبه ( $T_{mrt}$ ) کل محیط بدن

انسان به  $n$  سطح همدمای  $T_i = (1 + 1/n)$  و ضریب  
 انتشار ( $a_k$ ) تقسیم می‌شود که برای هر نسبت زاویه ای  
 جسم (فاکتورهای زاویه ای) ( $F_i$ ) به عنوان فاکتورهای  
 وزنی استفاده می‌شوند. تابش موج بلند  
 ( $E_i = a_k \cdot \sigma \cdot T_i^4$ ) و تابش موج کوتاه پراکنده ( $D_i$ ) از  
 هر یک از  $n$  سطح ساطع می‌شود (Fanger,  
 1972, 122; Jendritzky et al. 1990, 315). این نتایج  
 در داخل معادله ای به شکل زیر جهت محاسبه ( $T_{mrt}$ )  
 استفاده می‌شود

معادله (۲)

$$T_{mrt} = \left[ \frac{1}{\sigma} \sum_{i=1}^n \left( E_i + a_k \frac{D_i}{r_p} \right) F_i \right]^{0.25}$$

در این معادله:

 $E_i$  = تابش طول موج بلند $\sigma$  = ضریب استفان بولتزمن برابر با

$$5.67 \times 10^{-8} \text{ W/M}^2/\text{K}^4$$

 $E_p$  = ضریب انتشار بدن انسان (مقدار استاندارد

برابر ۰/۹۷ می‌باشد)

 $D_i$  = مجموع تابش خورشیدی پخش شده و تابش

جهانی انعکاسی

 $a_k$  = ضریب جذب امواج کوتاه تابیده شده به

سطح بدن انسان (مقدار استاندارد برابر ۰/۷ می‌باشد)

در صورتی که تابش مستقیم وجود داشته باشد

معادله  $T_{mrt}$  به  $T_{mrt}^*$  (معادله ۳) تبدیل می‌شود:

معادله (۳)

$$T_{mrt}^* = \left[ T_{mrt}^4 + \frac{E_p a_k D_i}{\sigma} \right]^{0.25}$$

در معادله فوق<sup>۱</sup>

\* I - شدت تابش خورشیدی در یک سطح عمود بر جهت تابش دریافتی

$f_p =$  تابعی از جهت تابش دریافتی و وضع بدن انسان می باشد. دامنه  $f_p$  از ۰/۳۰۸ برای زاویه صفر تا ۰/۰۸۲ برای ۹۰ درجه ارتفاع خورشیدی تغییر می کند. مشکل اساسی در رابطه با عامل زاویه  $f_p$  است. در صورت وجود سطوح بزرگتر و بدون حضور موانع افقی، تعیین کمیت  $f_p$  آسانتر است و در این صورت زاویه برخورد را می توان ۰/۵ در نظر گرفت.

محاسبه شاخص دمای معادل فیزیولوژیک

محاسبه متوسط دمای تابشی یکی از مولفه‌های اساس جهت حل معادله MEMI و دستیابی به شاخص PET می باشد با توجه به پیچیده و وقت گیر بودن محاسبات ماتزارکیس استاد موسسه هواشناسی دانشکده فرایبورگ در سال ۲۰۰۱ مدل نرم افزاری ریمن<sup>۱</sup> را ارائه کرد که قابلیت برآورد متوسط دمای تابشی در حد قابل قبولی در محیط‌های ساده و محیط‌های ویژه شهری داشت (Matzarakis at al, 2007, 56). یکی از مهمترین خروجی این مدل شاخص دمای معادل فیزیولوژیک (PET) است که از جامع ترین و پرکاربردترین شاخص‌ها، جهت ارزیابی شرایط زیست اقلیمی محسوب می گردد. (Matzarakis:2007, 146). مزیت اصلی این شاخص، ارائه برحسب واحد سلسیوس بوده که نتایج حاصل را برای استفاده کنندگان و برنامه‌ریزان بخش‌های مختلف که ممکن است آشنایی با اصطلاحات زیست اقلیمی

نداشته باشند، قابل درک می‌کند. در جدول (۱) آستانه‌های عددی طبقه بندی این شاخص همراه با وضعیت توصیفی شرایط فیزیولوژیکی و حساسیت گرمایی آورده شده است. مدل ریمن جهت انجام محاسبات نیازمند چهار دسته از داده‌های می باشد، دسته اول، داده‌های موقعیتی شامل طول، عرض و ارتفاع محل، دسته دوم داده‌های اقلیمی شامل درجه حرارت، رطوبت نسبی، فشار بخار آب، سرعت باد و ابرناکی، دسته سوم مشخصات فردی شامل قد، وزن و جنسیت می باشد که بطور پیش فرض قد- ۱۷۵ سانتیمتر، وزن ۷۵ کیلوگرم و نوع جنسیت مرد در نظر گرفته شده است. و در نهایت داده‌های ترموفیزیولوژیکی، شامل میزان فعالیت و نوع پوشش که بصورت پیش فرض میزان فعالیت ۴ کیلومتر بر ساعت و ارزش نارسایی لباس ۰/۹ کیلو در نظر گرفته می شود (Matzarakis, 2001). بنابراین امکان تنظیمات مختلف برای گروه‌های خاص (مثل گروه سنی خاص یا نوع فعالیت و پوشش‌های مختلف) نیز وجود دارد که به فراخور نیاز کاربران می تواند تنظیم گردد. ارزیابی صورت گرفته شده برای ساعت‌های ۶- ۱۲ و ۱۶ UTC می باشد که مطابق با ۰۹:۳۰، ۱۵:۳۰ و ۲۱:۳۰ به وقت محلی است. متغیرهای اقلیمی (دسته دوم داده‌ها) بر اساس مقادیر میانگین گیری شده برای دوره آماری ۲۰ ساله ۱۳۸۷-۱۳۶۸ از سازمان هواشناسی خراسان رضوی اخذ گردید. علاوه بر آن فراوانی وقوع پدیده‌های حدی و اقلیمی که بر آسایش اقلیمی و تجربه انسان از محیط آب و هوایی

تاثیر گذار است در مقیاس زمانی ماهانه محاسبه و ارائه شده است.

#### جدول ۱- مقادیر آستانه شاخص PET در درجات مختلف

##### حساسیت انسان

PET °C	حساسیت گرمایی	درجه تنش فیزیولوژیکی
۴	بسیار سرد	تنش سرمایی بسیار زیاد
۸	سرد	تنش سرمایی زیاد
۱۳	خنک	تنش سرمایی متوسط
۱۸	کمی خنک	تنش سرمایی اندک
۲۳	آسایش	بدون تنش
۲۹	کمی گرم	تنش گرمایی اندک
۳۵	گرم	تنش گرمایی متوسط
۴۱	داغ	تنش گرمایی زیاد
	بسیار داغ	تنش گرمایی بسیار زیاد

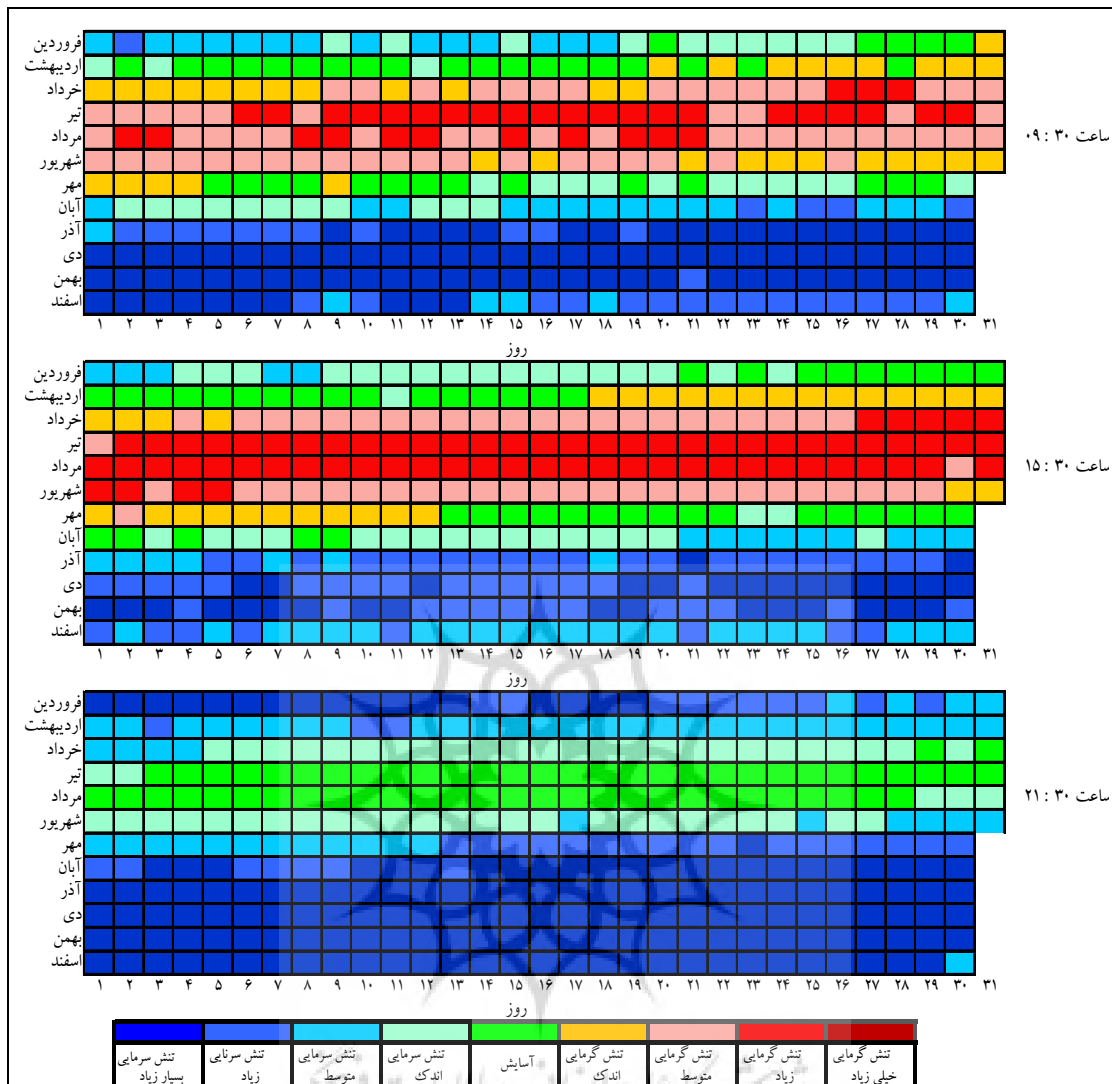
(Matzarakis at al;1999,78)

#### یافته‌های پژوهش

##### ارزیابی ساعتی

بسیاری از استفاده کنندگان و برنامه ریزان محیطی خواهان دسترسی به اطلاعات اقلیمی و زیست اقلیمی در مقیاس زمانی ریز (مثل ساعتی) هستند تا بتوانند شرایط زیست اقلیم را برای ساعات فعالیت خود بررسی کنند. به طور مثال اکثر فعالیت‌های اداری و

آمور آموزشی در صبح‌ها صورت می‌گیرد یا غالب فعالیت‌های و مسابقات ورزشی، امور خرید و گردشگری در بعد از ظهرها و یا ساعات اولیه شب صورت می‌گیرد. بنابراین، دسترسی به اطلاعات زیست اقلیم در طی این ساعات بسیار اهمیت دارد. علاوه بر آن ارقام میانگین فاقد معنای فیزیولوژیکی هستند و ممکن است ارقام بدست آمده از میانگین اصلا در محیط جوی رخ نداده باشد که مورد ارزیابی قرار گیرد. در تحلیل صورت گرفته شده ساعات ارزیابی شده به نمایندگی از بخش‌ها زمانی صبح (ساعت ۰۹:۳۰)، عصر (ساعت ۱۵:۳۰) و سر شب (ساعت ۲۱:۳۰) در نظر گرفته شده است. نتایج خروجی از مدل ریمن بر اساس طبقات تنش‌های فیزیولوژیک شاخص PET (جدول ۱) به صورت ماتریسی مشتمل بر ۳۶۵ سلول که نشان دهنده کل طول سال ارائه شده است. این شیوه ابتکاری ارائه نتایج، تحلیل و ارزیابی شرایط زیست اقلیم طول سال را بسیار آسان می‌کند (شکل ۱).



شکل ۱- طبقه‌بندی شاخص PET بر اساس تنش‌های فیزیولوژیک در ساعات ۰۹:۳۰، ۱۵:۳۰ و ۲۱:۳۰ برای دوره

#### آمار ۱۳۸۷-۱۳۶۸ شهر مشهد

پرفشار حاره‌ای (STHP) قرار می‌گیرد که باعث پایداری و خشکی هوا می‌گردد (علیچانی، ۱۳۸۱). شدیدترین تنش‌های گرمایی ( $PET > 35$ ) که احساس حرارتی داغ را به همراه دارد مربوط به ساعت ۱۵:۳۰ دقیقه است که از اواخر خرداد شروع و تا اوایل شهریور ادامه دارد (۶۹ روز از سال) دلیل وقوع چنین تنش‌های گرمایی بالایی را باید پرتوافکنی شدید خورشید به دلیل زاویه نسبتاً عمود و آسمان صاف

طبق شکل ۱ شرایط زیست اقلیم در روزهای اولیه فروردین ماه همراه با تنش‌های سرمایی است هرچند شرایط در بعد از ظهرها بدلیل درجه حرارت‌های بالاتر کمی متعادل تر و نزدیک به شرایط آسایش کامل است. با افزایش درجه حرارت هوا وجود تنش‌های گرمایی ( $PET > 23$ ) نیز آغاز می‌گردد اواسط اردیبهشت ماه را باید شروع تنش‌های گرمای در شهر مشهد دانست. طی دوره گرم سال کل ایران زیر منطقه

خشک به شمال شرق ایران در طی فصل سرد سال (علیجانی، ۱۳۸۱) را می‌توان باعث وجود تنش‌های سرماییه در این دوره دانست که محدودیت‌های زیست اقلیمی را به وجود می‌آورد. شدیدترین و طولانی‌ترین تنش‌های سرماییه (احساس حرارتی سرد و خیلی سرد) در بین ساعات بررسی شده مربوط به ساعت ۲۱:۳۰ است. طبق شکل ۲، ۴۴ درصد از شب‌های سال احساس حرارتی بسیار سرد در شهر مشهد حاکم است که بر اساس ماتریس روزانه شرایط (شکل ۱) این تنش‌ها در دو دوره توزیع شده است دوره اول در ابتدای سال تا تقریباً ۱۹ فروردین ماه و دوره دوم از ابتدای آبان شروع و تا آخر سال ادامه دارد. به استثناء دهه اول فروردین ماه، تنش‌های سرماییه در بخش زمانی صبح و عصرها در ۷ ماه اول سال دیده نمی‌شوند.

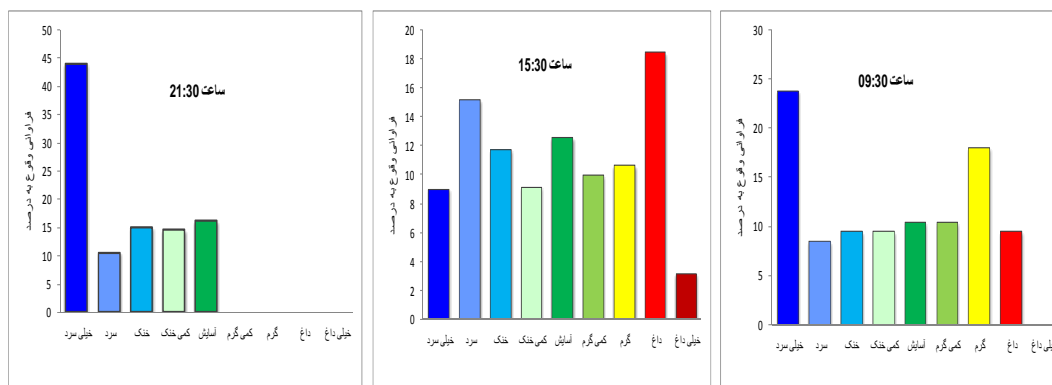
طبق شکل ۲ فراوانی غالب زیست اقلیمی شهر مشهد در صبح‌ها احساس حرارتی خیلی سرد با ۲۴ درصد و بعد از آن احساس گرم (۲۰ درصد) است. اما به طور مشخص احساس حرارتی داغ (با فراوانی ۱۹ درصد) در ساعات بعد از ظهر غالب است. همچنین تنها شرایط خیلی داغ در این ساعات رخ می‌دهد اگرچه شرایط احساس حرارتی داغ در ماتریس روزانه (شکل ۱) بدلیل معدل گیری دوره ۲۰ ساله دیده نمی‌شود اما در شکل ۲ که بر اساس فراوانی وقوع در کل روزهای دوره محاسبه شده است ۲۳ درصد را نشان می‌دهد.

دانست که باعث ثبت دماهای حداکثری همراه با فشار بخار آب پایین در این ساعات می‌گردد. تنش‌های گرمایی (متوسط و زیاد) در صبح‌ها به صورت پراکنده در تیر و مرداد ماه (۲۹ روز از سال) وجود دارد. اما در شب‌ها بدلیل عدم وجود تابش خورشیدی که بشدت متوسط دمای تابشی را بالا می‌برد (Hoppe and Mayer, 1999, 79) تنش‌های گرمایی در هیچ یک از روزهای سال دیده نمی‌شود. روزهای همراه با آسایش کامل اقلیمی ( $18 < PET < 23$ ) صبح‌ها (ساعت ۱۵:۳۰) و بعد از ظهرها (ساعت ۱۵:۳۰) در دو بازه زمانی واقع شده است دوره اول آن در اوایل فصل بهار و به طور متوسط از دهه دوم فروردین ماه آغاز و تا ۲۰ اردیبهشت ماه تداوم دارد.

تعداد روزهای همراه با آسایش اقلیمی طی این دوره بترتیب ۲۴ و ۲۵ روز برای صبح‌ها و عصرها بدست آورده شده است. دوره دوم آسایش اقلیمی بعد از سپری شدن فصل گرم سال و به صورت پراکنده در طی مهر ماه اتفاق می‌افتد تعداد این روزها برای صبح‌ها ۱۴ و برای عصرها ۲۱ روز می‌باشد که نسبت به دوره ابتدای سال کوتاهتر است. اما شرایط در ساعات ۲۱:۳۰ کاملاً متفاوت است. دوره آسایش اقلیمی به صورت یک دوره ممتد ۵۹ روز در طی ماه‌های تیر و مرداد ماه اتفاق می‌افتد.

با نزدیک شدن به فصل سرد سال تنش‌های سرماییه ( $PET < 18$ ) ظاهر می‌گردند. نفوذ زبانه‌های پرفشار ترمو دینامیکی سیبری و ریزش هوای سرد و

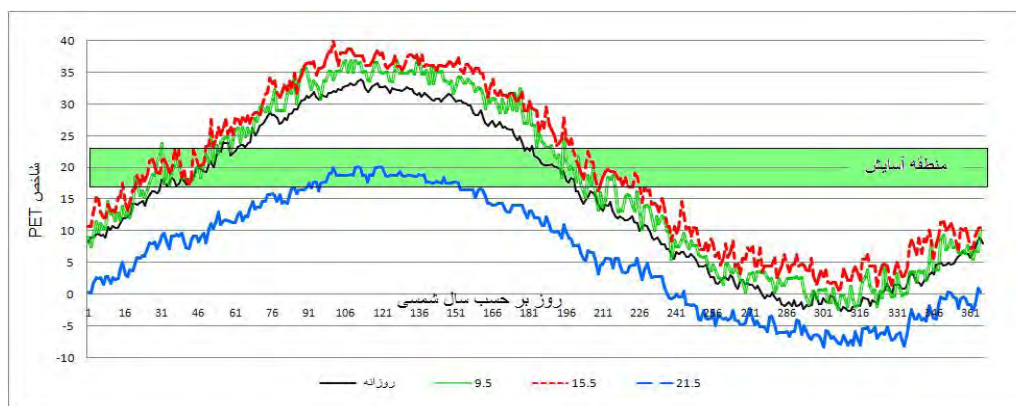




شکل ۲ - فراوانی وقوع شاخص PET بر اساس طبقه بندی احساس حرارتی در ساعات ۰۹:۳۰، ۱۵:۳۰ و ۲۱:۳۰ برای دوره آماری ۱۳۸۷-۱۳۶۸ شهر مشهد

گرمایی نیز شروع می‌شوند. بالاترین تنش‌های گرمایی مربوط به منحنی ساعات ۱۵:۳۰ بعد از ظهرهاست و در زیر آن بترتیب منحنی ساعات ۰۹:۳۰ و سپس میانگین روزانه و در نهایت منحنی ساعت ۲۱:۳۰ قرار دارد بیشترین اختلاف این منحنی با ساعات دیگر در فصل گرم سال دیده می‌شود. بنظر می‌رسد به دلیل دخالت داده دماهای حداقلی و حداکثری منحنی روزانه شرایطی شبیه به منحنی ساعت ۰۹:۳۰ دارد. به استثناء منحنی ساعت ۲۱:۳۰ بر قرار ی شرایط آسایش به عنوان یک دوره کوتاه و زود گذر در عبور از فصل سرد به دوره گرم سال و بالعکس حادث می‌شود. به تبعیت از روند تغییرات درجه حرارت هوا نقطه اوج منحنی PET در تیر ماه و نقطه کمینه آن در دی ماه واقع شده است یک چنین الگویی در منحنی سالانه درجه حرارت کشور نیز دیده می‌شود (مسعودیان و کاویانی، ۱۳۸۷).

در شکل ۳ روند تغییرات شاخص PET در ساعات ۰۹:۳۰، ۱۵:۳۰، ۲۱:۳۰ و همچنین میانگین شبانه روزی آن نشان داده شده است. بر طبق جدول ۱ محدوده عددی ۱۸ الی ۲۳ درجه سانتیگراد شاخص به عنوان منطقه آسایش (بدون تنش) است که به صورت‌های‌ایلیت نشان داده شده است. به طور مشخص روند تغییرات شاخص PET در طول سال حالتی نوسانی دارد که نقطه اوج آن که همراه با مقادیر بالای شاخص (اعداد بالای ۳۵ درجه) و احساس حرارتی گرم و داغ است از اواسط ماه خرداد شروع و تا اواسط شهریور ماه ادامه دارد. نقطه کمینه این منحنی در اواسط دی ماه قرار دارد. اگر چه چند روز اول فروردین ماه همراه با تنش‌های سرمایایی است و نمودار شاخص PET در زیر منطقه آسایش است اما از اواسط فروردین تا تقریباً تا اوایل خرداد ماه در منطقه آسایش قرار دارد. با گرمتر شدن هوا تنش‌های



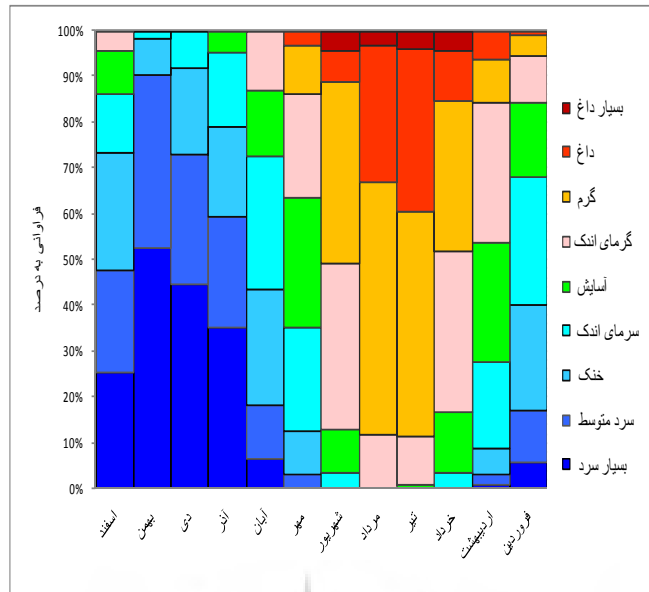
شکل ۳ - روند تغییرات شاخص PET برای ساعات ۰۹:۳۰، ۱۵:۳۰ و ۲۱:۳۰ وضعیت آسایش اقلیمی

با رنگ سبز نشان داده شده است ( $18 < PET < 23$ )

#### فراوانی وقوع پدیده‌های موثر بر آسایش اقلیمی

اگر چه اطلاعات منفرد اقلیمی (از قبیل درجه حرارت، رطوبت نسبی، سرعت باد و غیره) و یا اثر ترکیبی پارامترهای جوی از قبیل آسایش حرارتی و شاخص‌های زیست اقلیمی بسیار مورد توجه و استفاده کنندگان اطلاعات زیست اقلیمی می باشد، اما کماکان در ارزیابی سیستماتیک اثر جو و پارامترهای آن بر انسان دارای محدودیت‌هایی هستند. ازینرو لازم است همراه با اطلاعات زیست اقلیمی، اطلاعات تکمیلی دیگری همچون مولفه‌های فیزیکی و زیبا شناختی نیز در نظر گرفته شوند تا به ارزیابی جامعی از شرایط زیست اقلیمی دست یابیم (De Freitas, 1990). شکل ۴ فراوانی وقوع هر یک از طبقات احساس حرارتی شاخص PET (جدول ۱) و توزیع آنها را در مقیاس ماهیانه نشان می دهد. طبق این شکل تنش‌های سرمایی و یژگی غالب شهر مشهد است. علاوه بر آن بر فراوانی وقوع هر یک از

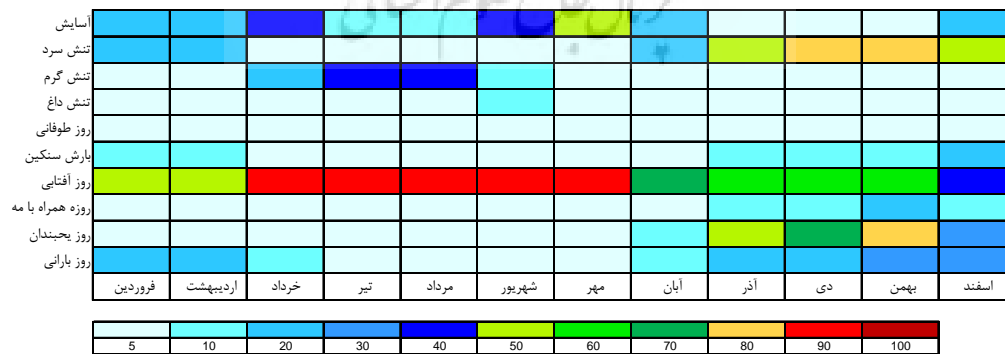
مولفه‌های حرارتی (شامل آسایش دمایی، استرس سرمایی و گرمایی) و مولفه‌های زیبا شناختی از قبیل ابرناکی و مه همچنین مولفه‌های فیزیکی از قبیل سرعت باد، بارندگی و یخبندان بر اساس آستانه‌های تعریف شده در جدول ۲ محاسبه و نتایج آن در شکل ۵ نشان داده شده است. همه محاسبات در محیط اکسل ۲۰۰۷ و در مقیاس زمانی ماهیانه صورت گرفته است. یکی از مهمترین بخش‌هایی که شدیداً به شرایط اقلیمی و جوی وابسته است و نیاز مبرم به اطلاعات جامع زیست اقلیم دارد بخش گردشگری است. با توجه به این که مشهد یکی از قطب‌های گردشگری کشور محسوب می‌گردد این اطلاعات می تواند مورد استفاده برنامه‌ریزان و دست اندرکاران این بخش قرار گیرد. و براساس فراوانی و احتمال وقوع هر یک از پدیده، تمهیدات لازم در نظر گرفته شود (به طور مثال احتمال مواجه شدن با بارندگی، یخبندان یا تنش‌های فیزیولوژیکی).



شکل ۴- دیاگرام فراوانی وقوع طبقات احساس حرارتی شاخص PET بر حسب مقاس زمانی ماهانه شهر مشهد دوره آماری ۱۳۸۷-۱۳۶۸

جدول ۲- پدیده‌های تاثیر گذار بر آسایش اقلیمی و آستانه‌های هر کدام (Matzarakis,2007)

محقق	تعاریف	مؤلفه
Matzarakis ,2007	$18\text{ }^{\circ}\text{C} < \text{PET} < 29\text{ }^{\circ}\text{C}$	آسایش اقلیمی
Matzarakis ,2007	$\text{PET} < 8\text{ }^{\circ}\text{C}$	استرس سرمایی
Matzarakis and Mayer, 1996	$\text{PET} > 35\text{ }^{\circ}\text{C}$	استرس گرمایی
Matzarakis and Mayer, 1996	$\text{PET} > 41\text{ }^{\circ}\text{C}$	روز داغ
Besancenot,1990, Gomez martin, 2004	Wind speed > 8 m/s	روز طوفانی
Matzarakis ,2007	Precipitation > 5 mm	روز مرطوب
Gomez martin, 2004	Sky cover < 5/8	روز آفتابی
Matzarakis ,2007	Relative humidity >93 %	روز همراه با مه
Matzarakis ,2007	Precipitation > 1 mm	روز بارانی



شکل ۵- احتمال وقوع پدیده‌های موثر بر آسایش اقلیمی شهر مشهد برای دوره ۱۳۸۷-۱۳۶۸

## - نتیجه‌گیری

طی سال حالتی گوسی دارد در ابتدای سال منحنی‌های PET در زیر منطقه آسایش قرار دارد (دارای تنش سرمایی) تقریباً از اواسط فروردین تا اویط خرداد ماه در منطقه آسایش اقلیمی قرار می‌گیرد. تقریباً او خرداد ماه تنش‌های گرمایی آغاز می‌گردد. بالاترین تنش‌های گرمایی ( $PET > 41$ ) در بعد از ظهرهای تیر ماه رخ می‌دهد. با کاسته شدن از گرمای هوا منحنی شاخص PET حالتی نزولی به خود می‌گیرد و بعد از عبور از منطقه آسایش تقریباً از اواسط آبان ماه تنش‌های سرمایی آغاز می‌گردد که تا انتهای سال تداوم دارد. کمترین مقادیر شاخص در منحنی سالانه (شکل ۳) در طی ساعات بررسی شده مربوط به ساعت ۲۱:۳۰ است که با اختلاف ۵ الی ۱۰ درجه سانتیگرادی در زیر بقیه منحنی‌ها قرار دارد. بیشترین این اختلاف مربوط به فصل تابستان است. با توجه به تداوم و شدت تنش‌های سرمایی در طی فصل سرد سال به نظرمی رسد عمده‌ترین محدودیت زیست اقلیمی شهر مشهد طی ساعات بررسی شده، وجود تنش‌های سرمایی بسیار زیاد و طولانی است. همچنین وجود تنش‌های گرمایی طی ماه‌های تیر و مرداد که در بعداز ظهرها احساس حرارتی داغ و گاهاً بسیار داغ را به وجود می‌آورد عمده‌ترین محدودیت زیست اقلیم دوره گرم سال است. همچنین بررسی احتمال وقوع پدیده موثر بر آسایش اقلیمی نشان می‌دهد بیشترین احتمال روزهای آسایش در مهر ماه واقع شده است (با احتمال ۵۰ درصد) و کمترین آن مربوط به آذر، دی و بهمن ماه (احتمال ۵ درصد) است. بیشترین احتمال وقوع استرس سرمایی ( $PET < 8$ ) با احتمال ۸۰ درصد

بر این اساس نتایج به دست آمده، دوره آسایش اقلیمی شهر مشهد در دو بازه زمانی مجزا از همدیگر قرار دارد دوره اول در ابتدای فصل بهار و دوره دوم آن در انتهای دوره گرم و همزمان با آغاز دوره سرد می‌باشد که تعداد روزهای آسایش در دوره اول بیشتر است. در طی ساعات بررسی شده بیشترین فراوانی وقوع شرایط همراه با آسایش شهر مشهد، با ۵۹ روز از کل سال مربوط به ساعت ۲۱:۳۰ است که بر خلاف ساعات صبح و عصر به صورت پیوسته در طی ماه‌های تیر و مرداد رخ می‌دهد. نکته قابل توجه تفاوت فاحش در شرایط زیست اقلیمی در فصل گرم سال (ماه‌های خرداد، تیر، مرداد و شهریور) است، در شرایطی که نتایج ارزیابی شرایط صبح‌ها و به خصوص عصرها را همراه با تنش‌های گرمایی زیاد نشان می‌دهد، ساعات سر شب (۲۱:۳۰) طی این مدت در بهترین شرایط زیست اقلیم قرار دارد. همچنین تعداد روزهای همراه با آسایش برای ساعت‌های ۰۹:۳۰ و ۱۵:۳۰ بترتیب ۳۸ و ۴۶ روز بدست آورده شده است. بیشترین تنش‌های سرمایی با ۴۴ درصد فراوانی (۱۶۰ روز) مربوط به ساعت ۲۱:۳۰ شب می‌باشد و رتبه دوم با ۲۴ درصد (۸۷ روز) مربوط به ساعت ۰۹:۳۰ صبح است. بدلیل وقوع دماهای حداکثری در بعد از ظهرها بیشترین تنش‌های گرمایی با ۱۹ درصد فراوانی (۶۹ روز) در این زمان از روز رخ می‌دهد. همچنین تنها شرایط خیلی داغ (با فراوانی ۳۲ درصد) در طی این ساعت از روز اتفاق می‌افتد. روند تغییرات منحنی‌های شاخص PET در

اقلیم شناسی دانشگاه اصفهان، به راهنمای دکتر کاویانی و دکتر غیور ذوالفقاری، حسن، (۱۳۸۶)، تعیین تقویم زمانی مناسب گردشگری در تبریز با استفاده از شاخص‌های PET و PMV، پژوهش‌های جغرافیایی، شماره ۶۲ صص ۱۲۹-۱۴۱

فرج‌زاده، منوچهر، احمد آبادی، علی، (۱۳۸۹)، ارزیابی و پهنه بندی اقلیم گردشگری ایران با استفاده از شاخص اقلیم گردشگری TCI، پژوهش‌های جغرافیایی طبیعی، شماره ۷۱ صص ۴۲-۳۱

علیجانی، بهلول، (۱۳۸۱)، آب و هوای ایران، انتشارات پیام نور، چاپ پنجم کاویانی، محمد رضا، (۱۳۷۲)، بررسی نقشه زیست اقلیم انسانی ایران، فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، شماره ۲۷

کسمایی، مرتضی، (۱۳۶۹)، اقلیم و معماری، نشر خاک، اصفهان، فصل دوم صص ۱۵-۱۳.

مسعودیان، ابوالفضل، کاویانی، محمد رضا، (۱۳۸۷)، اقلیم شناسی ایران، انتشارات دانشگاه اصفهان

Blazejczyk K (1994) New climatological-and-physiological model of the human heat balance outdoor (MENEX) and its applications in bioclimatological studies in different scales. [in:] Blazejczyk K, Krawczyk B, Bioclimatic research of the human heat balance. Zeszyty IGiPZ PAN, 28 pp. 27-58.

Brown R D, Gillespie T J (1986) Estimating outdoor thermal comfort using a cylindrical radiation thermometer and an energy budget model. Int J Biometeorol, 30, 1: 43-52.

مربوط به دی و بهمن ماه است. در مقابل احتمال وقوع استرس گرمایی ( $PET > 35$ ) با ۴۰ درصد مربوط به تیر و مرداد ماه می باشد. طبق نتایج ارائه شده در شکل ۵، طی ۵ ماه از سال (خرداد تا مهر) به احتمال ۹۰ درصد روزها همراه با شرایط آفتابی خواهد بود. بیشترین احتمال وقوع یخبندان مربوط به بهمن ماه با احتمال ۸۰ درصد است. وبالاترین احتمال وقوع بارندگی با ۳۰ درصد مربوط به ماه‌های بهمن و اسفند است.

#### منابع

اسماعیلی، رضا، ۱۳۹۰، پهنه بندی اقلیم آسایشی کشور با استفاده از شاخص دمای معادل فیزیولوژیک، رساله دکتری اقلیم شناسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد نجف آباد، به راهنمایی دکتر گندمکار و دکتر منتظری

اسماعیلی، رضا، گندمکار، امیر، حبیبی نوخندان، مجید، ۱۳۹۰، ارزیابی اقلیم آسایشی چند شهر اصلی کشور با استفاده از شاخص دمای معادل فیزیولوژیک، مجله پژوهش‌های جغرافیایی طبیعی، شماره ۷۵، بهار ۱۳۹۰

اسماعیلی، رضا، صابر حقیقت، اکرم، ملبوسی، شراره، ۱۳۸۹، ارزیابی شرایط اقلیم آسایشی بندر چابهار در جهت توسعه گردشگری، مجموعه مقالات چهارمین کنگره جغرافیدانان جهان اسلام، بهار ۱۳۸۹، زاهدان، ۱۵۶-۱۶۴.

پاینده، نصرالله، (۱۳۸۴)، پهنه بندی دمای مؤثر در سطح کشور با تاکید بر جغرافیایی نظامی، رساله دکتری

- Komponente im Bioklima des Menschen, ARL Hannover, 114, pp. 7-69.
- Jendritzky, G Birger Tinz(2009), The thermal environment of the human being on the global scale, Global Health Action 2009. 2009 Gerd Jendritzky and Birger Tinz. This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution-Noncommercial 3.0 Unported License
- Lin ,Tzu-Ping and Andreas Matzarakis (2011), Tourism climate information based on human thermal perception in Taiwan and Eastern China, Journal of Tourism Management, 32 (2011) 492-500
- Lin, T. P and Richard de Dearb and Ruey-Lung Hwangc. (2010). Effect of thermal adaptation on seasonal outdoor thermal comfort. INTERNATIONAL JOURNAL OF CLIMATOLOGY Int. J. Climatol. (2010) Published online in Wiley InterScience
- Matzarakis, A., 2007: Assessment method for climate and tourism based on daily data. In: A. Matzarakis, C. R. de Freitas, D. Scott (Eds.), Developments in Tourism Climatology, 52-58
- Matzarakis, A. (2001).Climate and Bioclimatic Information for the Tourism in Greece. Proceedings of the 1st International workshop on climate, tourism and recreation. International society of biometeorology, commission on climate, tourism and recreation. 171-182
- Matzarakis, A., Mayer, H., & Iziomon, M. G. (1999). Applications of a universal thermal index: physiological equivalent temperature. International Journal of Biometeorology, 43, 76e84
- Matzarakis, A., Rutz, F., Mayer, H., (2007) Modelling radiation fluxes in simple and complex environments—application of the RayMan model. International Journal of Biometeorology 51, 323-334.
- Mieczkowski, Z. (1985). The tourism climate index: a method for evaluating world climates for tourism. The Canadian Geographer, 29, 220e233.
- Budyko M I, Cicenko G V (1960) Climatic factors of thermal sensations in humans. (in Russian), Izv AN SSR, Geogr, 3: 3-11.
- de Freitas, C.R. (2001) Theory, concepts and methods in climate tourism research. Proceedings of the first international workshop on climate, tourism and recreation. (Ed.) A. Matzarakis and C.R. de Freitas. International Society of Biometeorology, Commission on Climate Tourism and Recreation. 3-20
- de Freitas C R (1985) Assessment of human bioclimate based on thermal response. Int J Biometeorol, 29: 97-119.
- Fanger, P. O. (1972). Thermal comfort. New York: McGraw Hill.
- Gagge, A. P., Fobelets, A. P., & Berglund, L. G. (1986). A standard predictive index of human response to the thermal environment. ASHRAE Transactions, 92,709e731.
- Gulya sa, Agnes , Ja nos Ungera, Andreas Matzarakis(2006), Assessment of the microclimatic and human comfort conditions in a complex urban environment: Modelling and measurements, journal of Building and Environment 41 (2006) 1713–1722
- Höppe P (1984) Die Energiebilanz des Menschen. Wiss Mitt Met Inst Univ Munchen, 49.
- Hoppe P (1999) The Physiological Equivalent Temperature—a Universal Index for the Biometeorological Assessment of the Thermal Environment. Int. J. Biometeorology. 43:71-75.
- Hwang, Ruey-Lung, Tzu-Ping Lin b, Andreas Matzarakis(2010) Seasonal effects of urban street shading on long-term outdoor thermal comfort , journal of Building and Environment, doi:10.1016/j.buildenv.2010.10.017
- Jendritzky G (1990) Bioklimatische Bewertungsgrundlage der Räume am Beispiel von mesoskaligen Bioklimakarten, [in:] Schirmer H (ed), Methodik zur räumlichen Bewertung der thermischen

- Thom EC (1959) The discomfort Index. *Weatherwise* 12:57-60
- VDI (1998) Methods for the human-biometeorological assessment of climate and air hygiene for urban and regional planning. Part I: Climate. VDI guideline 3787. Part 2. Beuth, Berlin
- Thomson, Madeleine C. Garcia-Herrera Ricardo, Beniston Martin (2008) Seasonal forecasts, climatic change and human health: health and climate, Springer Science + Business Media B.V, 232 pages
- Thorsson, Sofia, Maria Lindqvist, Sven Lindqvist (2004), Thermal bioclimatic conditions and patterns of behaviour in an urban park in Göteborg, Sweden, *International Journal of Biometeorology*, 48:149-156
- Vanos, Jennifer K & Jon S. Warland & Terry J. Gillespie, Natasha A. Kenny (2010), Review of the physiology of human thermal comfort while exercising in urban landscapes and implications for bioclimatic design, *International Journal of Biometeorology*, 54:319-334
- VDI. (1998). Methods for the human biometeorological evaluation of climate and air quality for the urban and regional planning. Part I: Climate. VDI guideline 3787. Part 2. Berlin: Beuth.
- Moreno, Alvaro and Amelung, Bas (2009) 'Climate Change and Tourist Comfort on Europe's Beaches in Summer: A Reassessment', *Coastal Management*, 37: 6, 550 — 568, First published on: 01 November 2009 (iFirst)
- Nielsen B, Kassow K, Aschengreen F E (1988) Heat balance during exercise in the sun. *Europ J Appl Physiol*, 58: 189-196.
- Olgyai, V. (1973), *Design with climate*, Princeton university press., p.185
- Siple PA, Passel CF (1945) Measurements of dry atmospheric cooling in subfreezing temperatures. *Proc Am Philos Soc* 89:177-199
- Shiue, Ivy and Andreas Matzarakis, Estimation of the tourism climate in the Hunter Region, Australia, in the early twenty-first century, *International journal of biometeorology* DOI 10.1007/s00484-010-0369-2
- Spagnolo J, de Dear R (2003) A field study of thermal comfort in outdoor and semi-outdoor environments in subtropical Sydney Australia. *Building and Environment*; 38:721-38.
- Steadman, R. G. (1979). The assessment of sultriness. Part I. A temperature humidity index based on human physiology and clothing science. *Journal of Applied Meteorology*, 18, 861-873
- Terjung, W.H. (1968). World Patterns of the Monthly Comfort Index. *International journal of biometeorology*, vol., 12, n. 2, pp. 119-123, 141.

## The Determine of the Mashad Bioclimatic Condition Base on Hourly Data

**R. Esmaili, M. Montazeri**

Received: July 10, 2011/ Accepted: February 12, 2012, 55-59 P

### Extended Abstract

#### 1-Introduction

Humans have been aware that weather and climate affect health and well being. Hippocrates, 2,500 years ago, wrote about regional differences of climate and their relationship to states of the health (matzarakis, 2007).

In the several decades past, heat balance models of the human body have become more and more accepted in the assessment of thermal comfort. The basis for these models is the human energy balance equation. One of the first and still very popular heat balance models is the comfort equation defined by Fanger (1972).

Bioclimatology data applied to the planning for architect, health and medical, exercise and tourism and vacations Climate-comforting

conditions usually are expressed by indexes which a series of meteorological, human and environmental factors have been played a role in, and the possibility of comparison among different places is provided by several thermal indices such as Predicted Mean Vote (PMV), Physiologically Equivalent Temperature (PET) and Standard Effective Temperature (SET\*) may be calculated for the assessment of human bioclimate in a physiologically relevant manner as shown in several applications (Matzarakis et al., 1999; Blazejczyk, Matzarakis, 2007;

etc). All indices have the known grades of thermal perception for human beings and physiological stress (Höppe, 1999). PET is defined as a certain air temperature related to fixed standard indoor conditions at which the heat balance of the human body is maintained with core and skin temperature equal to those under the conditions being assessed.

---

#### Author(s)

**R. Esmaili** (✉)  
Assistant Professor of Climatology, Islamic Azad University,  
Mashhad, Iran  
e-mail: R.Esmaili.n@gmail.com

**M. Montazeri**  
Assistant Professor of Climatology, Islamic Azad University,  
Najafabad, Iran



.In this research, PET index has used for hourly bioclimatology assessment (06, 12 and 16 UTC) in the Mashhad city. This city is the second population city and religious capital in Iran that located to the north east in Iran.

## 2- Methodology

In this research, great and population Mashhad city have been selected for investigations comfortable climatic condition. We have used from The PET index in scale hourly time (06, 12 and 16 UTC) from 20 years period (1988-2007).

The pet index derived the Munich energy balance model for individuals” (MEMI) (Höppe 1993) is such a thermo-physiological heat balance model. It is the basis for the calculation of the physiologically equivalent temperature (PET).

In detail the MEMI model is based on the energy balance equation (9.1) for the human body:

$$M + W + R + C + E_D + E_{Re} + E_{Sw} + S = 0$$

The individual heat flows in Eq. 9.1, are controlled by the following meteorological parameters (Verein Deutscher Ingenieure 1998; Höppe 1999):

– Air temperature:  $C$ ,  $E_{Re}$  – Air humidity:  $E_D$ ,  $E_{Re}$ ,  $E_{Sw}$  – Wind velocity:  $C$ ,  $E_{Sw}$  – Mean radiant temperature:  $R$

Thermo-physiological parameters are required in addition:

– Heat resistance of clothing (clo units)  
– Activity of humans (in Watt)

The following assumptions are made for the indoor reference climate:

– Mean radiant temperature equals air temperature ( $T_{mrt} = T_a$ ).  
2– Air velocity (wind speed) is fixed at  $v = 0.1$  m/s.  
3– Water vapor pressure is set to 12 hPa (approximately equivalent to a relative humidity of 50% at  $T_a = 20^\circ\text{C}$ ).

In this research, the calculations of PET index have been done using Reymen 2.1 software. Addition of Bioclimatic assessment (climate comfort, heat stress and cold stress) calculated frequency physical event (contain precipitation, frost, storm ...) and aesthetic event (cloudy, sunshine and ...) that effect on the comfort climate

## 3- Discussion

According to the obtained result, bioclimatic condition in Mashhad is very deferent in the through year. Though Mashhad experienced extreme cold stress during the winter season, never the less in the June and July was very heat stress.

Comfortable climate period for 9:30 and 15:30 local time in Mashhad is short and located in the second separated period in the early spring and autumn .however; the first period is longer than the second period.

During to the hours study, the most of the comfortable climate condition has been done with 59 frequency in to 21:30 hour.

In addition, the number of comfortable climate calculated for 9:30, ,15:30 and 21:30 local time respectively is 38, 46 , 59 days . the

most of the cold stress frequency recorded with 44 percent (160 day) in the 21:30 hour and 9:30 with 24 percent of frequency that is located to the second grade.

And the lowest month index in annual curve is occurred on 21:30 hour that is located in the below of curves (9:30, 15:30 and daily curves). This deferent is great in summer season (approximate 10 °C).

#### 4- Conclusions

According to the obtained results of this research, the comfortable climate period in Mashhad for 09:30 and 15:30 local time is short and located in the second separated period in the early spring and autumn.

totally of the comfortable climate days ( $18 < PET < 23$ ) – calculated for 09:30 ,15:30 and 21:30 local time respectively 38 , 46 and 59 day.

Also the number of cold stress ( $PET < 18$ ) for hours studied ,calculated respectively 169,188 and 305 day and finally number of heat stress obtained 139,150 and 0 days.

**Key word:** physiologic equivalent temperature index, comfortable climate , bioclimatic, human energy balance equations , Mashhad bioclimatic

#### References

Blazejczyk K (1994) new climatological-and-physiological model of the human heat balance outdoor (MENEX) and its applications in bioclimatological studies in different scales. [in:] Blazejczyk K, Krawczyk B, Bioclimatic research of the human

heat balance. Zeszyty IGiPZ PAN, 28 pp. 27-58.

Brown R D, Gillespie T J (1986) Estimating outdoor thermal comfort using a cylindrical radiation thermometer and an energy budget model. *Int J Biometeorol*, 30, 1: 43-52.

Budyko M I, Cicenko G V (1960) Climatic factors of thermal sensations in humans. (In Russian), *Izv AN SSR, Geogr*, 3: 3-11.

De Freitas, C.R. (2001) Theory, concepts and methods in climate tourism research. Proceedings of the first international workshop on climate, tourism and recreation. (Ed.) A. Matzarakis and C.R. de Freitas. International Society of Biometeorology, Commission on Climate Tourism and Recreation. 3-20

de Freitas C R (1985) Assessment of human bioclimate based on thermal response. *Int J Biometeorol*, 29: 97-119.

Fanger, P. O. (1972). Thermal comfort. New York: McGraw Hill.

Gagge, A. P., Fobelets, A. P., & Berglund, L. G. (1986). A standard predictive index of human response to the thermal environment. *ASHRAE Transactions*, 92,709e731.

Gulya sa, Agnes, Ja nos Ungera, Andreas Matzarakis(2006), Assessment of the microclimatic and human comfort conditions in a complex urban environment: Modelling and measurements, *journal of Building and Environment* 41 (2006) 1713–1722

- Hoppe P (1984) Die Energiebilanz des Menschen. Wiss Mitt Met Inst Univ Munchen, 49.
- Hoppe P (1999) The Physiological Equivalent Temperature—a Universal Index for the Biometeorological Assessment of the Thermal Environment. *Int. J. Biometeorology*. 43:71-75.
- Hwang, Ruey-Lung, Tzu-Ping Lin b, Andreas Matzarakis(2010) Seasonal effects of urban street shading on long-term outdoor thermal comfort , *journal of Building and Environment*, doi:10.1016/j.buildenv.2010.10.017
- Jendritzky G (1990) Bioklimatische Bewertungsgrundlage der Räume am Beispiel von mesoskaligen Bioklimakarten, [in:] Schirmer H (ed), *Methodik zur räumlichen Bewertung der thermischen Komponente im Bioklima des Menschen*, ARL Hannover, 114, pp. 7-69.
- Jendritzky, G Birger Tinz (2009), The thermal environment of the human being on the global scale, *Global Health Action* 2009. 2009 Gerd Jendritzky and Birger Tinz. This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution-Noncommercial 3.0 Unported License
- Lin ,Tzu-Ping and Andreas Matzarakis (2011), Tourism climate information based on human thermal perception in Taiwan and Eastern China, *Journal of Tourism Management*, 32 (2011) 492-500
- Lin, T. P and Richard de Dearb and Ruey-Lung Hwangc. (2010). Effect of thermal adaptation on seasonal outdoor thermal comfort. *INTERNATIONAL JOURNAL OF CLIMATOLOGY Int. J. Climatol.* (2010) Published online in Wiley InterScience
- Matzarakis, A., 2007: Assessment method for climate and tourism based on daily data. In: A. Matzarakis, C. R. de Freitas, D. Scott (Eds.), *Developments in Tourism Climatology*, 52-58
- Matzarakis, A. (2001). Climate and Bioclimatic Information for the Tourism in Greece. *Proceedings of the 1st International workshop on climate, tourism and recreation. International society of biometeorology, commission on climate, tourism and recreation.* 171-182
- Matzarakis, A., Mayer, H., & Iziomon, M. G. (1999). Applications of a universal thermal index: physiological equivalent temperature. *International Journal of Biometeorology*, 43, 76e84
- Matzarakis, A., Rutz, F., Mayer, H., (2007) Modelling radiation fluxes in simple and complex environments—application of the RayMan model. *International Journal of Biometeorology* 51, 323-334.
- Mieczkowski, Z. (1985). The tourism climate index: a method for evaluating world climates for tourism. *The Canadian Geographer*, 29, 220e233.

- Moreno, Alvaro and Amelung, Bas (2009) 'Climate Change and Tourist Comfort on Europe's Beaches in Summer: A Reassessment', *Coastal Management*, 37: 6, 550 — 568, First published on: 01 November 2009 (iFirst)
- Nielsen B, Kassow K, Aschengreen F E (1988) Heat balance during exercise in the sun. *Europ J Appl Physiol*, 58: 189-196.
- Olgay, v, 1973, design with climate, Princeton university press., p.185
- Siple PA, Passel CF (1945) Measurements of dry atmospheric cooling in subfreezing temperatures. *Proc Am Philos Soc* 89:177–199
- Shiue, Ivy and Andreas Matzarakis, Estimation of the tourism climate in the Hunter Region, Australia, in the early twenty-first century, *International journal of biometeorology* DOI 10.1007/s00484-010-0369-2
- Spagnolo J, de Dear R (2003) A field study of thermal comfort in outdoor and semi-outdoor environments in subtropical Sydney Australia. *Building and Environment*; 38:721–38.
- Steadman, R. G. (1979). The assessment of sultriness. Part I. A temperature humidity index based on human physiology and clothing science. *Journal of Applied Meteorology*, 18, 861e873
- Terjung, W.H. 1968., World Patterns of the Monthly Comfort Index. *International journal of biometeorology*, vol., 12, n. 2, pp .119 –123, 141.
- Thom EC (1959) The discomfort Index. *Weatherwise* 12:57–60
- VDI (1998) Methods for the human-biometeorological assessment of climate and air hygiene for urban and regional planning. Part I: Climate. VDI guideline 3787. Part 2. Beuth, Berlin
- Thomson, Madeleine C. Garcia-Herrera Ricardo, Beniston Martin (2008) Seasonal forecasts, climatic change and human health: health and climate, Springer Science + Business Media B.V., 232 pages
- Thorsson, Sofia, Maria Lindqvist, Sven Lindqvist (2004), Thermal bioclimatic conditions and patterns of behaviour in an urban park in Göteborg, Sweden, *International Journal of Biometeorology*, 48:149–156
- Vanos, Jennifer K & Jon S. Warland & Terry J. Gillespie, Natasha A. Kenny (2010), Review of the physiology of human thermal comfort while exercising in urban landscapes and implications for bioclimatic design, *International Journal of Biometeorology*, 54:319–334
- VDI. (1998). Methods for the human biometeorological evaluation of climate and air quality for the urban and regional planning. Part I: Climate. VDI guideline 3787. Part 2. Berlin: Beuth.