

پژوهش‌های جغرافیایی - شماره ۶۲، زمستان ۱۳۸۶

صص ۱۲۹ - ۱۴۱

## تعیین تقویم زمانی مناسب برای گردش در تبریز با استفاده از شاخص های دمای معادل فیزیولوژی (PET) و متوسط نظرسنجی پیش بینی شده (PMV)

حسن ذوالفقاری\* - استادیار گروه جغرافیای دانشگاه رازی کرمانشاه

دریافت مقاله: ۱۳۸۳/۱۱/۲۱ تائید مقاله: ۱۳۸۶/۲/۲۶

### چکیده

شاخص های رقومی متعددی برای مطالعه زیست هواشناسی و زیست اقلیم شناسی از طرف دانشمندان پیشنهاد شده است که امروزه در مطالعات آب و هواشناسی توریسم نیز مورد استفاده قرار میگیرد. از آن میان شاخص های ترکیبی دما- فیزیولوژی که مبتنی بر بیلان انرژی بدن انسان می باشند از اعتبار بیشتری برخوردار هستند. در این مطالعه با استفاده از شاخص های دمای معادل فیزیولوژی (PET) و متوسط نظرسنجی پیش بینی شده (PMV) زمان مناسب گردشگری در شهر تبریز مورد بررسی قرار گرفته است. نتیجه مطالعه که از طریق مدل Ray Man انجام گرفته است نشان میدهد که دوره آسایش اقلیمی در این شهر بسیار محدود است. به طوریکه دوره آسایش اقلیمی فقط به مدت ۴۵ روز از اوایل خرداد تا اواسط تیر ماه بطول می انجامد و این در حالی است که دوره تنش گرما ۸۰ روز از حوالی ۱۰ تیر ماه تا ۲۰ شهریور و دوره تنش سرما با درجات مختلف به مدت ۲۴۰ روز از حوالی ۱۵ مهر ماه تا پایان اردیبهشت ماه طول می کشد. بدیهی است توجه لازم به این موضوع برکارآمدی و موفقیت برنامه های توسعه توریسم در این شهر موثر خواهد بود

**کلید واژه ها:** شاخص دما - فیزیولوژی، آسایش حرارتی، مدل بیلان انرژی انسان، آب و هواشناسی توریسم، تبریز.

### مقدمه

صنعت توریسم یکی از مهمترین بخش های اقتصادی جهان است که در سالهای اخیر رشد فزاینده ای یافته است. این صنعت با بیش از ۷۶۰ میلیون گردشگر و حدود ۶۲۲ میلیارد دلار درآمد در سال ۲۰۰۴ (حسین زاده و حیدری، ۱۳۸۲، ۲۳) و بیش از ۷۰۰ میلیارد دلار درآمد در سال ۲۰۰۶ حدود ۱۰ درصد تولید ناخالص جهان را به خود اختصاص داده است. سازمان جهانی توریسم هم چنین پیش بینی کرده است که تا سال ۲۰۲۰ میلادی، جمعیت توریست های جهان به یک میلیارد نفر و درآمد حاصله به ۱/۶ میلیارد دلار بالغ شود (W. T. O; 2006).

عوامل زیادی برصنعت توریسم تاثیر می گذارند که یکی از مهمترین آن ها آب و هواست. همراه با موقعیت جغرافیایی، توپوگرافی، چشم انداز، پوشش گیاهی و جانوران، آب و هوا به عنوان یکی از مهمترین منابع پایه محلی در توسعه صنعت گردشگری نقش ایفا می کند. بدین ترتیب می توان گفت که آب و هوا دارای خصیصه یک ثروت عظیم طبیعی است که با تأثیر گذاری بر منابع محیطی، طول مدت و کیفیت توریسم، سلامتی گردشگران و حتی تجارب شخصی گردشگران را نیز کنترل می کند(اسکات و همکاران، ۲۰۰۴، ۶۰).

برای پیش برد این شاخه علمی، تلاش های زیادی از طرف محققان به عمل آمده است. تعیین شاخص های رقومی مناسب برای ارزیابی اثرات مرکب عناصر اقلیمی برگردشگران و تعیین محیط آسایش از جمله این موارد می باشد. بسیاری از محققان در ارزیابی محیط آسایش، مولفه حرارتی را مهمتر از بقیه مؤلفه ها می دانند. آن ها بر این اساس شاخص های متعددی را طراحی و ارائه نموده اند که امروزه در مطالعات مربوط به زیست هواشناسی انسانی و زیست اقلیم انسانی به طور گسترده مورد استفاده قرار می گیرند. شاخص های آب و هوایی توریسم را به طور کلی می توان به سه دسته شاخص های اولیه، شاخص های زیست اقلیمی و ترکیبی تقسیم نمود(اسکینر و دودیر، ۲۰۰۱، ۱۰۲). شاخص های اولیه که استنتاجی هستند فاقد ارتباط لازم بین فاکتورهای اقلیمی و فیزیولوژیک می باشند. شاخص های زیست اقلیمی و ترکیبی تعداد بیشتری از عوامل را در بر می گیرند. این شاخص ها معمولاً اثر مرکب عوامل را در نظر می گیرند. شاخص های مرتبط با فیزیولوژی انسانی که از معادله بیلان انرژی بدن انسان مشتق گردیده اند امروزه اعتبار بیشتری در مطالعات زیست اقلیم انسانی هم چنین آب و هواشناسی توریسم کسب نموده اند(ماتزاراکیس، ۲۰۰۱، ۴۵).

تبریز یکی از بزرگ ترین و پر جمعیت ترین شهرهای ایران است که گاهی به عنوان یکی از قطب های تجاری و اقتصادی نیز مطرح می باشد. بدیهی است که گردشگری نیز به عنوان یکی از مهمترین فعالیت های اقتصادی، می بایستی مد نظر مسئولین و برنامه ریزان شهری باشد. با توجه به شرایط اقلیمی شمال غرب کشور و از جمله شهر تبریز، به طور سنتی معمولاً دوره گرم سال برای گردشگری در این شهر انتخاب می شود. برف، یخبندان، سوز و سرمای دوره سرد سال معمولاً مانع اصلی برای گردش در این شهر بشمار می رود. در این مطالعه سعی بر این است که با استفاده از دو شاخص مبتنی بر بیلان انرژی انسانی، شرایط محیط حرارتی این شهر در طول سال مورد بررسی قرار گیرد. نتایج این مطالعه می تواند در تنظیم برنامه های زمانی برای اجرای تورهای گردشگری و هم چنین برنامه ریزی های لازم برای بالا بردن کمیت و کیفیت خدمات گردشگری توسط سازمان ها و نهادهای مسئول مورد استفاده قرار گیرد.

#### روش ها و داده ها

شاخص های مرتبط با فیزیولوژی انسان که از معادله بیلان انرژی بدن انسان مشتق گردیده اند امروزه در مطالعات زیست اقلیم انسانی جایگاه ویژه ای دارند. شاخص های معروفی در این زمینه پیشنهاد شده است که شاخص دمای معادل فیزیولوژیک (Physiological Equivalent Temperature) و متوسط نظرسنجی پیش بینی شده (Predicted Mean Vote) که به ترتیب به شاخص های (PET) و (PMV) معروف هستند اهمیت بیشتری یافته اند.

اگرچه این شاخص ها اساساً برای اهداف گردشگری طراحی نشده اند ولی با بعضی تغییرات و تعدیل ها امروزه مهمترین شاخص ها در مطالعات آب و هواشناسی توریسم به شمار می روند (ماتزاراکیس، ۲۰۰۱، ۴۵).

اوایل سال ۱۹۳۸ میلادی، باتنر (Buttner) در ارزیابی تاثیر حرارتی محیط بر روی بدن انسان، اثرات مرکب تمام پارامترهای حرارتی را مورد توجه قرار داد. او اعتقاد داشت اگر کسی بخواهد تاثیر آب و هوا را بر روی ارگانیسم انسان مطالعه نماید باید تمام اجزاء حرارتی محیط را مورد ارزیابی قرار دهد. این دیدگاه منجر به مدل سازی بیلان حرارتی انسان گردید که در قالب معادله زیر قابل ارائه گردید:

$$M + W + R + C + E_D + E_{RE} + E_{SW} + S = 0 \quad (1)$$

در معادله فوق که واحد همه عبارتها وات بر متر مربع ( $w/m^2$ ) می باشد:

$$M = \text{نرخ سوخت و ساز بدن}$$

$$W = \text{خروجی کار فیزیکی}$$

$$R = \text{تابش خالص بدن}$$

$$C = \text{جریان حرارت همرفتی}$$

$$E_D = \text{جریان حرارت نهان تبخیری آب در پوست}$$

$$E_{RE} = \text{مجموع جریان های حرارتی موثر در گرمایش و تبخیر و تعرق}$$

$$E_{SW} = \text{جریان هوای موثر در تبخیر و تعرق بدن}$$

$$S = \text{جریان حرارت ذخیره شده جهت سرمایش و گرمایش توده بدن}$$

بدیهی است اگر بدن در حال کسب انرژی باشد عبارتهای معادله تماماً مثبت و اگر در حال از دست دادن انرژی باشد عبارتهای معادله منفی خواهد بود. M معمولاً مثبت بوده ولی  $E_D, W$  و  $E_{SW}$  در اغلب موارد منفی هستند.

شاخص دمای معادل فیزیولوژیک و شاخص نظر متوسط پیش بینی شده از جمله مهمترین شاخص های فیزیولوژی-دما محسوب می شوند که علاوه بر مطالعات مربوط به برنامه ریزی شهری و منطقه ای بویژه در تعیین مولفه حرارتی میکروکلیمایهای شهری، در مطالعات مربوط به آب و هواشناسی توریسم نیز جهت بررسی محیط های آسایش اقلیمی برای گردشگران کاربرد وسیعی پیدا کرده اند. شاخص PMV از طریق معادله زیر قابل محاسبه است:

$$PMV = (0.303 e^{-0.036M} + 0.028)[(M-W) - H - E_c - C_{rec} - E_{rec}] \quad (2)$$

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

$$E_c = 3.05 \times 10^{-3} [5733 - 6.99 \times (M-W) - P_a] + 0.42 (M-W - 58.15) \quad (4)$$

$$C_{rec} = 0.0014 M (34 - T_a) \quad (5)$$

$$E_{rec} = 1.72 \times 10^{-5} M (5867 - P_a) \quad (6)$$

H مستقیماً قابل اندازه گیری بوده و از طریق معادله زیر نیز قابل محاسبه است:

$$H = K_{cl} = t_{sk} - t_{cl} / I_{cl} \quad (7)$$

## در معادلات فوق:

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

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

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

$$E_c = \text{تبادل حرارت تبخیری در سطح پوست موقعی که در حالت حرارتی خنثی قرار دارد (w/m}^2\text{)}$$

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

$$M = \text{نرخ سوخت و ساز بدن (w/m}^2\text{)}$$

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

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

$$W = \text{نیروی مکانیکی موثر (w/m}^2\text{)}$$

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

$$H = \text{تلفات حرارت خشک بصورت همرفت، هدایت و تابش (w/m}^2\text{)}$$

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

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

مقیاس PMV نوعی تقسیم بندی احساس حرارتی ۷ درجه ای است که دامنه آن از ۳/۵- (سرد) تا ۳/۵+ (گرم) تغییر می کند. صفر در این مقیاس نشانگر احساس حرارتی خنثی است (جدول ۱). برای محاسبه راحت تر و سریع تر این شاخص، نرم افزارهایی هم طراحی شده است که نرم افزار Ray Man یکی از آن هاست. در ادامه همین نوشته در باره نرم افزار مذکور توضیح داده خواهد شد.

جدول ۱ مقادیر آستانه شاخص های PET و PMV در درجات مختلف حساسیت انسان

PMV	PET(°C)	حساسیت حرارتی	درجه تنش فیزیولوژیک
		خیلی سرد	تنش سرمای بسیار شدید
-۳/۵	۴	سرد	تنش سرمای شدید
-۲/۵	۸	خنک	تنش سرمای متوسط
-۱/۵	۱۳	کمی خنک	تنش سرمای اندک
-۰/۵	۱۸	راحت	بدون تنش سرما
۰/۵	۲۳	کمی گرم	تنش گرمای اندک
۱/۵	۲۹	گرم	تنش گرمای متوسط
۲/۵	۳۵	خیلی گرم	تنش گرمای شدید
۳/۵	۴۱	داغ	تنش گرمای بسیار شدید

منبع: (ماتزاراکیس و همکاران، ۱۹۹۹)

شاخص PPD (Predicted Percentage of Dissatisfied) نیز برای پیش بینی در صد افراد ناراضی از محیط حرارتی تعیین شده بر مبنای شاخص PMV شکل گرفته است. در شاخص مذکور درصد افرادی که بر

اساس شاخص PMV نظر ۲-، ۳- یا کمتر ۲+ و ۳+ یا بیشتر را داده اند بصورت درصد بیان می شود. شاخص PPD از طریق رابطه زیر قابل محاسبه است:

$$PPD=100 - 95 e^{-(0.03353PMV^4+0.2179PMV^2)} \quad (8)$$

شاخص دمای معادل فیزیولوژیک یا PET نیز یکی دیگر از شاخص های معروف دما- فیزیولوژیک است که از معادله بیلان انرژی بدن انسان مشتق شده است. در تعریف این شاخص برای موقعیت بیرون از منزل می توان گفت دمایی است که طی آن در یک اتاق نمونه بیلان حرارتی بدن انسان (نرخ سوخت و ساز با کار سبک ۸۰ وات بر نرخ سوخت و ساز پایه اضافه می شود، ارزش نارسانایی لباس در حد ۰/۹ کلو) با دمای پوست و دمای مرکزی بدن انسان در شرایط بیرون از منزل، در تعادل می باشد. واحد نارسانایی لباس را کلو می گویند. مقاومت گرمایی یک کلو معادل ۰/۱۵۵ وات بر درجه سانتی گراد در مترمربع است. برای یک شخص در حالت ایستاده و لباس معمولی منزل، آسایش حرارتی مطلوب در یک دمای معادل فیزیولوژیک حدود ۲۰ درجه سانتی گراد حاصل می شود. در مقادیر بالای این شاخص، تنش گرما و در مقادیر پایین آن تنش سرما وجود خواهد داشت. برای فعالیت های مختلف و پوششهای لباس متفاوت، مقادیر دمای معادل فیزیولوژی نیز تغییر خواهد کرد. در شرایط کار سبک تر و پوشش لباس نازک تر، مقادیر PET افزایش یافته و در شرایط کار سنگین تر و پوشش لباس ضخیم تر، مقادیر این شاخص کاهش می یابد. در تبادل حرارت بدن انسان با محیط اطراف، لباس عامل موثری بشمار می رود چرا که لباس مثل لفافی نارسانا قسمتی از بدن را می پوشاند و از تماس سطح بدن با محیط اطراف می کاهد. در جدول ۲ ارزش نارسانایی لباس های مختلف ارائه شده است.

جدول ۲ ارزش نارسانایی پوشاک مختلف

ردیف	مجموعه پوشاک	ارزش نارسانایی به کلو
۱	برهنه	۰
۲	شلوار کوتاه	۰/۱
۳	لباس زیر نازک پنبه ای و آستین کوتاه، شلوار بلند، نازک و جوراب پنبه ای	۰/۳۵
۴	مثل بالا+پیراهن آستین کوتاه بقیه باز	۰/۵
۵	شلوار سبک، جلیقه، پیراهن آستین بلند و کت	۱
۶	مثل بالا+پالتوی پنبه ای	۱/۵
۷	لباس مخصوص مناطق قطبی	۳/۵

منبع: (رازجویان، ۱۳۶۷)

برای محاسبه PET، تمام عناصر هواشناسی موثر در بیلان انرژی انسان در یک ارتفاع مناسب زیست اقلیم شناسی مثل ارتفاع ۱/۵ متری از سطح زمین اندازه گیری می شود. پارامترهای موثر مثل دمای هوا، فشار بخار، سرعت باد، دمای تابش متوسط محیط اطراف، بسته به موضوع مورد مطالعه اندازه گیری و یا از طریق مدل های رقومی محاسبه می شوند. دو مدل کاربردی معروف که برای بررسی دمای معادل فیزیولوژیک و متوسط نظرسنجی پیش بینی شده مورد استفاده قرار می گیرند در زیر توضیح داده شده است.

## مدل MEMI

مدل PMV دارای یک وجه فیزیکی و یک وجه دما-فیزیولوژیک می باشد که بر اساس تمام پارامترهای هواشناسی شکل گرفته است. بهر حال آن فقط برای تعیین یک شاخص آسایش مورد استفاده قرار می گیرد. آنرا نمی توان برای تعیین مقادیر واقعی شارهای حرارتی و یا دماهای بدن انسان در یک محیط معین مورد استفاده قرار داد. مدل MEMI که مخفف مدل بیلان انرژی برای افراد می باشد (Munich Energy Balance Model for individuals) این مشکل را با این فرض که اتلاف حرارت محسوس از پوست برابر با حرارت تولید شده توسط خون و حرارت منتقل شده از مرکز به سطح پوست می باشد حل نموده است. در این زمینه روابط ریاضی زیر به طور معمول مورد استفاده قرار می گیرد:

$$H+C+R+E_p+E_{sr}+E_{lr}+E_{sw}+E_f=S \quad (9) \quad \text{نرخ جریان خون}$$

$$Q_b = (6/3+75 (t_c-36/6))/(1+0/5 (34-t_{sk})) \quad (10) \quad \text{نرخ تعرق}$$

$$S_w = 8/4710^{-5} ((1t_{sk}+0/9t_c)-35/6) \text{kg/sm}^2 \quad (11) \quad \text{تولید حرارت}$$

$$H = M (1-\eta) \quad (12) \quad \text{شار حرارت همرفتی}$$

$$C = A_{sk} f_{cl} (T_a - T_{sk}) \quad (13) \quad \text{شار حرارتی تابشی}$$

$$R = A_{sk} f_{cl} f_{eff} \epsilon \delta (t_r^4 - T_{sk}^4) \quad (14) \quad \text{انتشار بخار آب}$$

$$E_D = m r (P_a - P_{vsk}) \quad (15) \quad \text{اتلاف حرارت بوسیله تعرق}$$

$$E_{sr} = r_{tm} C_p (T_a - T_r) \quad (16) \quad \text{اتلاف حرارت پنهانی بوسیله تعرق}$$

$$E_{lr} = r_{tm} r (P_a - P_{vr})/P_a \quad (17) \quad \text{اتلاف حرارت بوسیله تبخیر}$$

$$E_{sw} = S_w r \quad (18) \quad \text{یا برای زن}$$

$$E_{sw} = A_{sk} r hc 0/622/Pa(P_a - P_{vsk}) \quad (19) \quad \text{حرارت افزوده یا تلف شده از طریق غذا یا آشامیدنی ها}$$

$$E_f = m f c_f (T_f - T_c) \quad (20) \quad \text{حرارت منتقل شده از مرکز به پوست}$$

$$Q_b = \rho_b C_b (T_{sk} - T_c) \quad (21) \quad \text{حرارت وارد شده از پوست به محیط}$$

$$= (T_{sk} - T_{cl})/I_{cl} \quad (22)$$

## در معادلات فوق

$$M = \text{نرخ سوخت و ساز (وات بر متر مربع)}, \quad S = \text{حرارت خالص ذخیره شده در هسته}$$

$$\eta = \text{کارایی مکانیکی}, \quad A_{sk} = \text{سطح پوست بر حسب متر مربع}$$

$$f_{cl} * f_{eff} = \text{نسبت مساحت شخص پوشیده به مساحت بدون پوشش}, \quad T_{sk} = \text{دمای پوست}$$

$$T_a = \text{دمای هوا به درجه سانتی گراد}, \quad T_r = \text{دمای تابش متوسط به درجه سانتی گراد}$$

$$T_{cl} = \text{دمای سطح لباس به درجه سانتی گراد}, \quad P_a = \text{فشار بخار جزئی به پاسکال}$$

$$P_{vr} = \text{فشار بخار اشباع در دمای پوست}, \quad hc = \text{ضریب انتقال حرارت همرفتی w/k}$$

$$C_p, C_f, C_b = \text{گرمای ویژه هوا، غذا و خون به ترتیب}, \quad r_{tm} = \text{جرم هوای تعریقی در هر ثانیه}$$

$$m_f = \text{معادل غذا در واحد وات}, \quad \delta = \text{ضریب ثابت استفان بولتزمن}$$

$$\epsilon = \text{قابلیت انتشار پوست}, \quad r = \text{حرارت نهانی تبخیر}$$

$$\rho_b = \text{چگالی خون}, \quad C_b = \text{حرارت ویژه خون}$$

$$I_{cl} = \text{مقاومت لباس در برابر انتقال حرارت},$$

با توجه به اینکه یکی از خروجیهای این مدل، PET می باشد بنابراین می توان گفت که با حل معادلاتی از این قبیل امکان محاسبه و ارزیابی هر نوع ترکیبی از پارامترهای اقلیمی، فعالیت فیزیکی و نوع پوشش لباس وجود دارد. از این رو می توان گفت که مدل MEMI، مبنای مناسبی برای ارزیابی جزء حرارتی اقلیم یک محیط بشمار میرود. مثالی از محاسبه و کمی سازی پارامترهای مورد استفاده در این مدل برای شرایط اقلیمی گرم و آفتابی تابستان در جدول ۳ ارائه شده است. همان طوریکه ملاحظه می شود دمای هوا ۳۰ درجه سانتی گراد می باشد در حالی که با لحاظ نمودن تمام شرایط دما- فیزیولوژیک و پوشش، دمای معادل فیزیولوژیک به ۴۳ درجه سانتی گراد بالغ گردیده است.

جدول ۳ بیان حرارتی MEMI برای شرایط گرم و آفتاب

پارامترهای بدن	پارامترهای فیزیولوژیک	پارامترهای هواشناسی
قد=۱/۸۰ متر	تولید حرارت داخلی=۲۵۸ وات	Ta=30(oC)
وزن=۷۵ کیلوگرم	دمای متوسط پوست=۳۶/۱ (oC)	Tmrt=60(oC)
سن=۳۵ سال	دمای هسته ای بدن=۳۷/۵ (oC)	RH=50%
لباس=۰/۹ کلو	رطوبت بدن=۵۳٪	V=1m/s
فعالیت=۴ کیلومتر در ساعت	تلفات آب=۵۲۵ گرم در ساعت	PET=43 (oC)
	تلفات حرارتی تعرق=۲۷ وات	
	تعرق نامحسوس=۱۱ وات	
	همرفت=۱۴۳ وات	
	تابش خالص=۲۴۰ وات	

### متوسط دمای تابشی محیط<sup>۱</sup>

برای محاسبه شاخص های حرارتی، تهیه داده های هواشناسی مثل دمای هوا، رطوبت هوا و سرعت باد به سادگی امکان پذیر است ولی بعضی از داده ها مثل محاسبه متوسط دمای تابشی محیط (T<sub>mrt</sub>) که یکی از مهمترین پارامترهای ورودی هواشناسی در محاسبه بیان انرژی بدن انسان در شرایط گرم تابستان است به سادگی در دسترس نمی باشند. با توجه به اینکه دمای متوسط تابشی بیشترین تاثیر را بر شاخص های مهم دما-فیزیولوژیک مثل PMV و PET دارد، نحوه محاسبه آن در زیر توضیح داده میشود:

برای محاسبه T<sub>mrt</sub>، خصوصیات مربوط به ابعاد سطوح تابشی و عامل منظر آسمان از یک سو و شرایط بدن انسان (نحوه نشستن و یا ایستادن) از دیگر سو باید معلوم شود. اطراف انسان بصورت n سطح حرارتی با درجه حرارت های T<sub>i</sub>=(i=1,n) و ضرایب انتشار ε<sub>i</sub> و زاویه برخورد اشعه F<sub>i</sub>، نیز باید معلوم شود:

$$E_i = \epsilon_i \cdot \delta \cdot T_{si}^4 \quad (23)$$

در معادله فوق:

$$\delta = \text{ضریب ثابت استفان بولتزمن برابر با } 5.67 \times 10^{-8} \text{ w/m}^2/\text{k}^4$$

<sup>1</sup> Mean Radiant Temperature.

$T^i =$  دمای سطح  $i$  ام است

تابش طول موج کوتاه پخش شده ( $D_i$ ) نیز از هر سطحی در محیط اطراف منتشر می شود و بدین ترتیب از معادله زیر می توان برای محاسبه  $T_{mrt}$  استفاده نمود:

$$T_{mrt} = [1/6 \sum (E_i + a_k - D_i / \epsilon_p) F_i]^{0.25} \quad (24)$$

در معادله فوق:

$\epsilon_p =$  ضریب انتشار بدن انسان (مقدار استاندارد برابر ۰/۹۷ می باشد)

$D_i =$  مجموع تابش خورشیدی پخش شده و تابش جهانی انعکاسی

$a_k =$  ضریب جذب امواج کوتاه بازتابیده سطح بدن انسان (استاندارد برابر با ۰/۷)

اگر تابش مستقیم نیز وجود داشته باشد معادله بصورت زیر در می آید:

$$T_{mrt} = [T_{mrt}^4 + f_p a_k I^* / (\epsilon_p * \delta)]^{0.25} \quad (25)$$

در معادله فوق:

$I^* =$  شدت تابش خورشید در یک سطح عمود بر جهت تابش دریافتی و  $f_p$  نیز تابعی از جهت تابش دریافتی و وضع بدن انسان است.

در کاربردهای عملی زیست اقلیم شناسی به طور معمول تعیین این عامل برای شخصی که در حال گردش و قدم زدن است کفایت می کند. دامنه  $f_p$  از ۰/۳۰۸ برای زاویه صفر تا ۰/۰۸۲ برای ۹۰ درجه ارتفاع خورشیدی تغییر میکند. مشکل اساسی در رابطه با تعیین عامل زاویه  $F_i$  است. در صورت وجود سطوح بزرگتر و بدون حضور موانع افقی، تعیین کمیت  $F_i$  آسانتر است و در این صورت زاویه برخورد را می توان ۰/۵ در نظر گرفت.

روش های متفاوتی برای برآورد شارهای تابشی پیشنهاد شده است. برآورد شارهای تابشی بر اساس پارامترهای هواشناسی مثل دمای هوا، رطوبت هوا، میزان ابرناکی آسمان، شفافیت هوا و روز و سال نیز از طرف محققان پیشنهاد شده است. بدیهی است ضریب انعکاس محیط اطراف، زاویه انعکاس تابش، هم چنین خصوصیات ژئومتری ساختمان، پوشش گیاهی و غیره نیز نباید از نظر دور بماند (ماتزاراکیس، ۲۰۰۱، ۱۲).

مدل Man Ray که توسط دکتر آندریاس ماتزاراکیس (۲۰۰۲) برای محاسبه شارهای تابشی به ویژه در بین ساختمان های شهری طراحی شده است یکی از روش های مناسب برای محاسبه متوسط دمای تابشی و در نهایت برای محاسبه PMV و PET مورد استفاده قرار می گیرد. این مدل که از طریق پایگاه اینترنتی <http://www.mif.uni-freiburg.de/rayman> در اختیار محققان می باشد با رایانه های شخصی و در محیط ویندوز قابل نصب و اجراست. مدل مذکور دارای یک پنجره برای ورود داده های عوارض شهری مثل ساختمان ها، درختان خزان کننده و همیشه سبز است. عامل مربوط به منظر آسمان نیز از جمله قابلیت های مهم این مدل می باشد. مقدار ابرناکی آسمان و تاثیر آن بر شارهای تابشی نیز در مدل لحاظ گردیده است. در این مدل، نقش سایه اندازی پدیده های طبیعی و مصنوعی نیز از نظر دور نمانده است. هم چنین محاسبه متوسط های ساعتی، روزانه، طول مدت تابش آفتاب، شارهای تابشی طول موج بلند و کوتاه بدون حضور و با حضور عوارض توپوگرافی با این مدل امکان پذیر می باشد. خروجی نهایی مدل، متوسط دمای تابشی محیط است که در مدل بیان انرژی بدن انسان مورد نیاز است. این جزء مهمترین مولفه در محاسبه شاخص های دما-فیزیولوژیک PMV



و PET می باشد که در تخصص های مختلف از جمله در آب و هواشناسی توریسم کاربردهای فراوانی یافته است.

همان طوری که اشاره شد شاخص های دما-فیزیولوژیک PMV و PET از طریق روش ها و معادلات گوناگونی قابل محاسبه و بررسی میباشند. به لحاظ پیچیدگی و گستردگی معادلات مربوطه، محققان در تخصص های مختلف، مدل ها و نرم افزارهای مناسب رایانه ای برای محاسبه این شاخص های کاربردی طراحی و ارائه نموده اند. یکی از مهمترین این مدل های محاسباتی مدل Ray Man است که در این مطالعه نیز مورد استفاده قرار گرفته است.

متغیرهای مورد نیاز در این مدل برای تعیین شاخص های PMV و PET به چهار دسته تقسیم میشوند:

(۱) متغیرهای موقعیتی شامل طول و عرض جغرافیایی و ارتفاع. موقعیت و ارتفاع شهر تبریز بصورت ۳۸ درجه و ۵ دقیقه عرض جغرافیایی، ۴۶ درجه و ۱۷ دقیقه طول جغرافیایی و ۱۳۶۱ متر ارتفاع از سطح دریا وارد گردید.

(۲) متغیرهای هواشناسی شامل دمای هوای خشک بر حسب درجه سانتی گراد، فشار بخار بر حسب هکتو پاسکال، رطوبت نسبی بر حسب درصد، سرعت باد بر حسب متر بر ثانیه و میزان ابر ناکی آسمان بر حسب اکتا مورد استفاده قرار گرفت. در همین رابطه لازم به ذکر است که میانگین های ۱۰ ساله داده های هواشناسی (۱۹۸۶-۱۹۹۵) بصورت سری های زمانی ساعت ۱۵ به وقت محلی در مدل وارد گردید. در بررسی آسایش حرارتی از میانگین های درجه حرارت روزانه، میانگین درجه حرارت کمینه مطلق روزانه و میانگین درجه حرارت بیشینه مطلق روزانه استفاده میشود. با توجه به اینکه تبریز در ناحیه سردسیری کشور واقع شده است استفاده از میانگین کمینه مطلق درجه حرارت روزانه مناسب تشخیص داده نشد چرا که در این صورت تقریباً "تمام روزهای سال در محدوده روزهای عدم آسایش حرارتی قرار می گرفت. در همان روزهایی که با معیار کمینه دمای روزانه، وضعیت عدم آسایش حرارتی حاکم است با تغییر معیار کمینه مطلق دما به بیشینه مطلق دما حداقل طی ساعاتی از روز شرایط آسایش حرارتی حاکم میشود. پس از بررسی چندین متغیر مختلف در این رابطه، استفاده از معیار بیشینه مطلق دما که در ساعت ۱۵ به وقت محلی ثبت می شود برای این مطالعه مناسب تشخیص داده شد. بدیهی است در مناطق اقلیمی دیگر محقق می تواند با بررسی وضعیت آب و هوایی حاکم بر محیط، متغیر مناسب را انتخاب و مورد استفاده قرار دهد. به طور مثال در مناطق گرمسیری انتخاب دمای کمینه مطلق که معمولاً در ساعت ۶ صبح به وقت محلی ثبت می شود مناسب تر خواهد بود.

(۳) دسته سوم از متغیرها شامل متغیرهای فردی به عنوان ویژگی های فیزیولوژیک موثر در مدل می باشند. در این رابطه می بایست ویژگی های فردی مثل قد، وزن، سن و جنسیت وارد مدل شود.

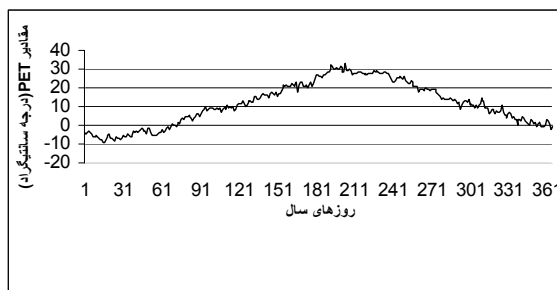
(۴) متغیرهای دسته چهارم شامل نوع پوشش و فعالیت می باشند. پوشش بر حسب کلوو فعالیت بر حسب وات مشخص می شود.

با توجه به اینکه داده های فیزیولوژیک، پوشش و نوع فعالیت بسیار متفاوت و متغیر هستند بنابراین طبق توصیه مدل و نظر محقق می توان مواردی را بصورت میانگین یا حالت استاندارد در نظر گرفت. به طور مثال در مورد قد، وزن و سن می توان میانگین متعارف این متغیرها را در جامعه لحاظ نمود. در مورد پوشش رقم ۹/، کلو (جدول ۲) و فعالیت متوسطی مثل رانندگی با ۸۰ وات را می توان برای یکی از جنس های مرد یا زن در نظر گرفت. گفتنی است که تفاوت بسیار ناچیزی در این زمینه بین زن و مرد وجود دارد که در بسیاری از موارد قابل چشم پوشی است.

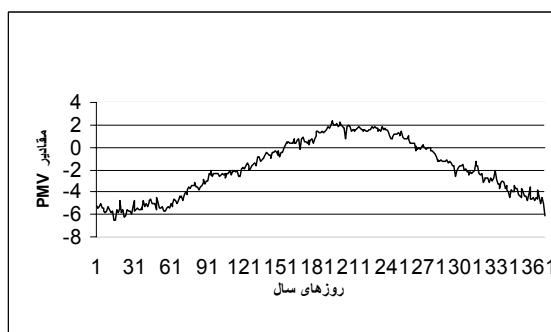
بعد از تعریف متغیرها و وارد نمودن آن ها به مدل، خروجی مدل بصورت مقادیر محاسبه شده برای هر کدام از شاخص های دما- فیزیولوژیک PMV و PET بدست آمد که در قالب یک ماتریس با ۳۶۵ ستون و ۲ سطر ارائه گردید. ستون های ماتریس تعداد روزهای سال و سطرها آن ها مربوط به شاخص دمای معادل فیزیولوژیک یعنی PET و شاخص نظر پیش بینی شده یعنی PMV اختصاص یافته بود. (با توجه به طولانی بودن ماتریس ها و عدم احساس ضرورت، ماتریس های مذکور در این جا ارائه نشده اند).

### نتایج و بحث

به طوری که در بخش داده ها و روش ها اشاره شد خروجی نهایی نرم افزار Man Ray بصورت یک ماتریس با ابعاد ۳۶۵ در ۲ ارائه شده است که در ترسیم نموداری تغییرات شاخص های مورد مطالعه استفاده گردیده اند. اشکال ۱ و ۲ بر همین اساس با استفاده از قابلیت های ترسیمی نرم افزار Excel ترسیم شده است.



شکل ۱ تغییرات مقادیر PET در طول سال در تبریز



شکل ۲ تغییرات مقادیر PMV در طول سال در تبریز

شکل ۱ متوسط تغییرات PET را در طول سال در تبریز نشان می دهد. بر اساس آستانه های جدول ۲، مقادیر PET کمتر از ۴ درجه سانتی گراد نشانگر تنش سرمای بسیار شدید می باشد. بر همین اساس تا روز ۸۷ (تقویم میلادی) مطابق با ۱۰ فروردین ماه، در ساعت ۱۵ تنش سرمای بسیار شدید در تبریز حکم فرماست. تنش سرما با درجات مختلف از بسیار شدید تا تنش سرمای اندک تا اواخر ماه مه (مطابق با ۱۰ خرداد ماه) تداوم می یابد. بدیهی است اگر ملاک بررسی ساعات قبل از ظهر و حتی ظهر قرار می گرفت تقویم زمانی مذکور تغییر می کرد. به هر حال تنش سرما در تبریز بر اساس شاخص دمای معادل فیزیولوژیک از اوایل ژوئن، ۱۱ خرداد به بعد در ساعت ۱۵ به طور کامل حذف می شود. همان طوری که شکل ۱ نیز نشان می دهد از اول خرداد ماه به بعد آسایش حرارتی در تبریز حاکم می شود. بر اساس تقسیم بندی جدول ۱ موقعی که دمای معادل فیزیولوژیک بین ۱۸ تا ۲۳ درجه سانتی گراد می باشد وضعیت حرارتی محیط بدون تنش حرارتی است یعنی آسایش حرارتی وجود دارد. این وضعیت در تبریز تا ۱۰ تیر ماه تداوم می یابد. از این تاریخ به بعد آسایش حرارتی جای خود را به شرایط گرمتر می دهد، یعنی بتدریج شرایط تنش گرما ایجاد می شود و این شرایط ابتدا با تنش گرمای اندک که حدوداً ۲۰ تیر ماه ادامه می یابد آغاز گردیده و سپس تنش گرمای متوسط که تا ۱۵ مرداد ماه تداوم پیدا می کند. بعد از این تاریخ به تدریج شرایط گرما کاهش یافته و مجدداً دوره تنش حرارتی اندک تا ۲۰ شهریور طول می کشد. دوره آسایش حرارتی تا ۱۵ مهر ماه در تبریز وجود دارد. از این تاریخ به بعد نیز بتدریج شرایط سرما در این شهر حاکم می شود به طوری که تقریباً از ۱۰ آذر ماه به بعد شرایط تنش سرمای بسیار شدید در تبریز دیده می شود که به مدت ۴ ماه از اوایل آذر ماه تا اواخر اسفند ماه بطول می انجامد.

شکل ۲ مقادیر متوسط PMV را برای هر کدام از روزهای سال که با استفاده از نرم افزار Ray Man محاسبه شده است نشان می دهد. طبق آستانه های تعریف شده در جدول ۲ اگر مقدار این شاخص بین ۰/۵- و ۰/۵+ باشد شرایط آسایش حرارتی حاکم است و اگر مقادیر شاخص بین ۳/۵- و ۳/۵+ باشد تنش سرمای شدید برای حالت منفی و تنش گرمای شدید برای حالت مثبت وجود دارد. بر اساس همین تقسیم بندیها در طول سال شرایط متفاوتی در تبریز حاکم است به طوری که تا اوایل خرداد ماه شرایط حرارتی سرد با درجات متفاوت از سرمای اندک تا سرمای بسیار شدید حاکمیت دارد. آسایش حرارتی بعد از ۵ خرداد تا ۱۰ تیر ماه یعنی حدود ۳۵ روز در این شهر وجود دارد. از ۱۰ تیر ماه به بعد تنش گرما بصورت تنش گرمای اندک تا متوسط مشاهده می شود. بنابراین بر اساس شاخص متوسط نظر پیش بینی شده، مشکل اصلی در تبریز از نظر مولفه حرارتی تنش سرمای بسیار شدیدی است که از حدود ۱۰ آذر ماه تا حوالی ۱۰ فروردین ماه به مدت بیش از ۱۲۰ روز تداوم دارد.

### نتیجه گیری

بررسی محیط حرارتی شهر تبریز با استفاده از شاخص های دما - فیزیولوژیک PET و PMV با هدف تعیین مناسب ترین زمان برای گردشگری در تبریز، نشان می دهد که:

- ۱- بر اساس آستانه های تعیین شده در جدول ۱، شرایط آسایش حرارتی طبق شاخص PET بین ۱۸ تا ۲۳ درجه سانتی گراد محقق می شود. این شرایط در تبریز از اوایل خرداد ماه تا حدود ۱۰ تیر ماه به مدت

حدود ۴۰ روز تداوم می یابد. از ۱۵ مهر ماه تا پایان اردیبهشت ماه با درجات متفاوت از اندک تا بسیار شدید تنش های سرما در این شهر حاکمیت دارد. از ۱۰ تیرماه تا ۲۰ شهریور ماه نیز تنش گرمای اندک تا متوسط وجود دارد. این وضعیت بر اساس شاخص PMV نیز با اختلاف بسیار ناچیزی از نظر زمانی مصداق می یابد. می توان نتیجه گرفت که یک فرد در حالت عادی با سوخت و ساز ۸۰ وات (کار سبک مثل رانندگی) و ۰/۹ کلو لباس (لباس سبک شامل پیراهن آستین بلند، شلوار، جوراب، زیرپوش و کفش) در تبریز حدود ۳۵ تا ۴۰ روز از نظر حرارتی احساس آسایش می کند. در بقیه ایام سال درجات متفاوتی از تنش های سرما (عمدتاً) و تنش های گرما (به مقدار کمتر) را تجربه می کند. بدیهی است ایجاد محیط حرارتی راحت در فضای آزاد در تبریز در بیشتر ایام سال فقط از طریق انتخاب نوع پوشش لباس متناسب و تغییر نوع فعالیت امکان پذیر است.

۲- مشکل اصلی از نظر آب و هواشناسی توریسم در تبریز حاکمیت دوره طولانی و تنش زای سرماست به طوری که جاذبه این شهر را در این دوره طولانی برای اهداف توریستی کاهش می دهد. از این رو لازم است که سازمان ایرانگردی و جهانگردی و دیگر نهادها و ارگان های ذیربط به ویژه مجریان تورهای گردشگری از داخل و خارج، دقت و حساسیت بیشتری روی زمان برگزاری تورها و جذب گردشگر نموده و در تبلیغات خود به عنوان یک مولفه بسیار مهم جایگاه ویژه ای به این امر اختصاص دهند تا گردشگران داخلی و خارجی در یک محیط حرارتی راحت در این شهر از جاذبه های فرهنگی و تاریخی آن دیدن نمایند.

#### منابع

- ۱- حسین زاده دلیر، کریم و حیدری چیا، رحیم (۱۳۸۲)، توریسم در ایران، چالش ها و امیدها. مجله جغرافیا و توسعه ناحیه ای شماره ۱ صفحات ۲۳-۴۹، دانشگاه فردوسی مشهد.
- ۲- رازجویان، محمود (۱۳۶۷)، آسایش بوسیله معماری هم ساز با اقلیم. انتشارات دانشگاه شهید بهشتی، تهران.
- ۳- ذوالفقاری، حسن (۱۳۷۸)، تحلیلی بر نقش آب و هواشناسی در توسعه صنعت توریسم. مجموع مقالات دهمین کنگره جغرافیدانان ایران. دانشگاه امام حسین (ع)، تهران.
- ۴- محلاتی، صلاح الدین (۱۳۸۰)، درآمدی بر جهانگردی. انتشارات دانشگاه شهید بهشتی. تهران.
- ۵- مرادی، فرشاد (۱۳۸۲)، تعیین درجه آسایش و ویژگی های معماری اقلیمی در استان کرمانشاه. پایان نامه کارشناسی ارشد جغرافیا. دانشگاه رازی کرمانشاه.
- ۶- معاونی، آرزیتا (۱۳۸۰)، تعیین و بررسی شاخص آسایش آب و هوایی در ۱۱ ایستگاه غرب کشور. پایان نامه کارشناسی ارشد جغرافیا. دانشگاه رازی کرمانشاه.

7- Hoppe P (1999) The Physiological Equivalent Temperature-a Universal Index for the Biometeorological Assessment of the Thermal Environment. Int. J. Biometeorology. 43:71-75.

- 8- Matzarakis A (1995) Human- Biometeorological Assessment of the Climate in Greece. Ph.D. thesis. University of Thessaloniki.
- 9- Matzarakis, A. (2001). Climate and Bioclimatic Information for the Tourism in Greece. Proceedings of the 1<sup>st</sup> International workshop on climate, tourism and recreation. International society of biometeorology, commission on climate, tourism and recreation
- 10- Matzarakis A, Mayer H (1997) Heat Stress in Greece. Int. J. Biometeorology. 41:34-39.
- 11- Matzarakis A, Mayer H and Iziomon M G (1999) Applications of a Universal Thermal Index: Physiological Equivalent Temperature. Int. J. Biometeorology. 43:78-84
- 12- Matzarakis A and Mayer H (1996) Another Kind of Environmental Stress: Thermal Stress. WHO news 18:7-10
- 13- Mayer H and Matzarakis A (1998) Human- Biometeorological Assessment of Urban Microclimates Thermal Component. Research Center for Urban Safety and Security. Kobe University, Special Report PP:155-168.
- 14- Scott D, Johnes B and Mac Boyle G (2004) Climate, Tourism and Recreation: A bibliography. University of Waterloo Canada.
- 15- Simpson J R and McPherson E G (1998) Simulation of the Tree Shade Impacts on Residential Energy Use of Space Conditioning in Sacramento. Atmos. Environ PP: 32:69-74
- 16- Skinner, C. J and De Dear, R (2001). Climate and Tourism. an Australian Perspective. Proceedings of the 1<sup>st</sup> International Workshop on Climate, Tourism and Recreation. International Society of Biometeorology, Commission on Climate, Tourism and Recreation
- 17- Thorsson S, Lindquist M and Lindquist S (2003) Thermal Bioclimatic Conditions and Patterns of Behaviour in an Urban Uark in Goteborg Sweden. Int J Biometeorol 48:149-156
- 18- World Tourist Organization (2006) Tourism 2020 Vision. WTO Publication Unit, World Tourism Organization. Madrid, Spain.