

## پهنه بندی زیست اقلیم انسانی ایران

رضا اسماعیلی\*

دکتری اقلیم‌شناسی، باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان، واحد مشهد، دانشگاه آزاد اسلامی، مشهد، ایران

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۳/۶/۲۶

تاریخ وصول مقاله: ۱۳۹۰/۱۲/۱۵

### چکیده

در تحقیق حاضر با استفاده از شاخص دمای معادل فیزیولوژیک (PET)، که جزء جامع‌ترین و پرکاربردترین شاخص‌های زیست اقلیم انسانی است، سطح کشور در مقیاس ماهانه پهنه‌بندی شد. با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی<sup>۱</sup> (GIS)، مقادیر محاسبه شده PET برای ۱۰۱ ایستگاه کشور با داده‌های محیطی (ارتفاع، طول و عرض جغرافیایی) ترکیب و نقشه‌های زیست اقلیم انسانی تهیه شد. براساس نقشه‌های ترسیم شده مقادیر شاخص PET از شمال به جنوب و از غرب به شرق کشور افزایش می‌یابد اما نقش ارتفاعات در شکل دهی شرایط زیست اقلیمی بسیار پررنگتر از طول و عرض جغرافیایی است. از حیث مساحتی که در منطقه آسایش اقلیمی قرار دارد مهر ماه ۳۲ درصد از مساحت در رتبه اول قرار گرفته است و مطلوبترین شرایط زیست اقلیمی را داراست. در همین ارتباط در دی ماه ۹۳ درصد از سطح کشور دارای تنش‌های گرمایی است و بعد از آن تیر ماه با تنش‌های گرمایی که در ۸۵ درصد از سطح کشور وجود دارد، بدترین شرایط زیست اقلیمی را دارا است. بیشترین و کمترین ضریب تغییرات مکانی زیست اقلیمی کشور بترتیب مربوط به دی و تیر ماه است. بر اساس ۳۶۵ نقشه روزانه زیست اقلیم انسانی، متوسط دمای معادل فیزیولوژیک سالانه کشور ۱۸/۲ درجه سانتیگراد است. روند تغییرات سالانه PET نشان داد بازه زمانی آسایش اقلیمی در کشور کوتاه و به صورت دو دوره مجزا در ابتدا و انتهای فصل سرد سال واقع شده است. نتایج حاصل از این تحقیق می‌تواند در برنامه ریزی‌های محیطی، امور گردشگری و تورگردانی، ساخت و ساز و مسکن، بهینه‌سازی مصرف انرژی، پزشکی و سلامت، ورزشی و ... به کار گرفته شود.

**واژگان کلیدی:** دمای معادل فیزیولوژیک (PET)، زیست اقلیم انسانی ایران، آسایش اقلیمی، سیستم اطلاعات

جغرافیایی (GIS)، پهنه بندی

\*. E-mail: r.esmaili.n@gmail.com

1. Geographical Information System

## مقدمه

علم زیست اقلیم شناسی انسانی<sup>۱</sup> شاخه جدیدی از علم اقلیم شناسی است که از همکاری علوم زیست شناسی انسانی و اقلیم شناسی کاربردی تشکیل و توسعه یافته است. هدف از این علم ارزیابی تأثیرات هوا و اقلیم بر روی موجودات زنده بخصوص انسان می باشد (کاویانی، ۱۳۷۲).

اصولاً زیست اقلیم شناسی انسانی اثر پیچیده و توأمان متغیرهای آب و هوایی را بر بدن انسان به شکلی ساده و در قالب شاخص های زیست اقلیمی ارائه می کند. این شاخص ها غالباً به صورت عددی بیان می گردند تا برای عموم قابل درک باشند و علاوه بر آن امکان مقایسه مکان های مختلف از دیدگاه زیست اقلیمی فراهم گردد (De freitas, 2001).

تاکنون بالغ بر ۲۰۰ شاخص زیست اقلیمی ارائه شده است که از این میان شاخص های ترموفیزیولوژیک<sup>۲</sup> که از معادله بیلان انرژی بدن انسان مشتق می شوند از مقبولیت بیشتری برخوردارند. شاخص دمای معادل فیزیولوژیک<sup>۳</sup> (PET) که از مدل بیلان انرژی<sup>۴</sup> (MEMI) حاصل می گردد، به صورت گسترده ای در ارزیابی های زیست اقلیم انسانی بکار گرفته می شود. این شاخص در سال ۱۹۹۹ توسط هپ (Hoppe, 1999) به عنوان یک شاخص جهانی جهت مطالعات زیست اقلیمی معرفی گردید که به دلیل جامعیت، توجه بسیاری از محققان و کاربران اطلاعات اقلیم شناسی انسانی را به خود جلب کرد. ماتزاراکیس (Matzarakis, 2001) مدل نرم افزاری ریمن<sup>۵</sup> را ارائه کرد که کار محاسبه پیچیده و وقت-وقت گیر معادلات بیلان انرژی را ساده کرد و با قابلیت محاسبه متوسط دمای تابشی<sup>۶</sup> امکان محاسبه شاخص های ترموفیزیولوژیک<sup>۷</sup> SET<sup>۸</sup>، PET<sup>۹</sup>، PMV<sup>۱۰</sup> را فراهم کرد.

در همین رابطه پهنه بندی زیست اقلیم انسانی یونان با استفاده از شاخص PET در مقیاس ماهانه صورت گرفت (Matzarakis, 2001). در تحقیقی دیگر گلیاسا و ماتزاراکیس (Gulyasa and Matzarakis, 2009) با استفاده از شاخص PET پهنه بندی کشور مجارستان را انجام دادند. جیندرتزکی و تینز (Jendritzky and Tinz, 2009) نقشه زیست اقلیم انسانی را در مقیاس جهانی و با استفاده از شاخص های ترموفیزیولوژیک PMV و PT (بر گرفته از شاخص PET) تهیه کردند.

تامسون و همکاران (Thomson et al., 2008) با استفاده از شاخص PET به ارزیابی اثر تغییر اقلیم بر روی سلامتی و آسایش اقلیمی در مقیاس جهانی پرداخته است. در تحقیقاتی دیگر وضعیت زیست اقلیم انسانی محیط شهری دارالسلام تانزانیا (Ndetto & Matzarakis, 2013) و والنسیای اسپانیا (Gomez et al., 2008) توسط شاخص PET مورد بررسی قرار گرفت.

در ارتباط با تحقیقات زیست اقلیم انسانی در ایران کسمایی (۱۳۶۹) با استفاده از شاخص های اولگی<sup>۹</sup> و گیونی<sup>۱۰</sup> سطح ایران را پهنه بندی کرد. کاویانی (۱۳۷۲) با استفاده از شاخص ترجونک<sup>۱۱</sup> نقشه بیوکلیماتیک ایران را تهیه کرد. فرج زاده و احمد آبادی (۱۳۸۹) با استفاده از شاخص TCI<sup>۱۲</sup> شریط آب و هوای ایران را برای گردشگران بررسی کردند. اما محدود مطالعاتی که با استفاده از نسل نوین شاخص های زیست اقلیمی (ترموفیزیولوژیک) صورت گرفته است به صورت مطالعات موردی است. در همین ارتباط ذوالفقاری (۱۳۸۷) با استفاده از شاخص PET و PMV شهر تبریز را مورد مطالعه قرار داد. فرج زاده و- ماتزاراکیس (Farajzadeh & Matzarakis, 2012) وضعیت زیست اقلیم انسانی دریاچه ارومیه را مطالعه کردند.

1. Human Bioclimatology
3. Physiologic Equivalent Temperature
5. Rayman
7. Predict Mean Vote
9. Olgay
11. Terjung

2. Thermo physiologic
4. Munich Energy Balance Model for Individuals
6. Mean Radiant Temperature
8. Standard Effect Temperature
10. Givoni
12. Tourism climate index

بدن انسان استوار است و معادله آن به شرح ذیل است  
(Hoppe, 1999):

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

معادله - (۱)

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 جریان های حرارتی موثر در گرمایش و تبخیر و تعرق و  $E_{Sw}$  = جریان هوای موثر در تبخیر و تعرق بدن می‌باشد. PET (بر حسب درجه سانتیگراد) در میان خروجی های مدل MEMI از جامع ترین و پرکاربردترین شاخص ها جهت ارزیابی شرایط زیست اقلیم انسانی محسوب می‌شود (Matzarakis, 2007). هنگام حل کردن معادله انرژی بدن انسان، می توان وضعیت گرمایی بدن را برای ترکیب معینی از متغیرهای اقلیمی، فعالیت و نوع پوشش (که توسط شماره های تابشی، دماهای بدن و نرخ تعرق تعیین می‌شود) برآورد نمود. در تعریف این شاخص برای موقعیت بیرون از منزل می‌توان گشت دمایی است که در طی آن در یک اتاق نمونه بیلان حرارتی بدن (نرخ سوخت و ساز با کار سبک ۸۰ وات بر نرخ سوخت و ساز پایه و ارزش نارسایی لباس در حد ۰/۹ کلو) با دمای محیط پوست و دمای مرکزی بدن در شرایط بیرون از منزل در تعادل باشد (Hoppe, 1999; Matzarakis, 2007; VDI. 1998).

این شاخص واحد گسترده و شناخته شده‌ای به نام درجه سانتیگراد دارد و نتایج حاصل از آن برای کاربرانی از قبیل طراحان، برنامه ریزان، گردشگران و حتی عموم مردم که با اصطلاحات زیست اقلیم شناسی انسانی آشنا نیستند، بسیار آسان و قابل درک می‌باشد. آستانه‌های عددی همراه با درجات مختلف حساسیت دمایی و تنش های فیزیولوژیکی شاخص PET در جدول ۱ آورده شده است.

اسماعیلی و منتظری (۱۳۹۲) وضعیت بیوکلیماتیک مشهد را در مقیاس ساعتی بررسی کردند. در تحقیقی دیگر با استفاده از شاخص PET، نقشه زیست اقلیم انسانی خراسان رضوی تهیه شد (اسماعیلی و همکاران، ۱۳۹۰). با توجه به تحقیقات صورت گرفته شده مشخص می‌شود که کل ایران به صورت فضایی مورد ارزیابی قرار نگرفته است، لذا هدف از این تحقیق پهنه بندی زیست اقلیم انسانی ایران و شناخت ویژگی های فضایی آن در مقیاس ماهیانه است.

### شاخص زیست اقلیم شناسی انسانی

امروزه عقیده بر این است که جهت ارزیابی تاثیرات آب و هوا بر بدن انسان باید اثرات تلفیقی همه پارامتر های اقلیمی و اجزاء حرارتی محیط در نظر گرفته شود (Buttner, 1938). یک چنین دیدگاهی منجر به ارائه و توسعه مدل‌های بیلان انرژی بدن انسان گردید که از دهه ۱۹۶۰ در ارزیابی آسایش حرارتی انسان بیش از پیش پذیرفته شد. این مدل ها شماره های تابشی (امواج کوتاه و بلند) بین بدن انسان و محیط را با استفاده از عوامل تجربی متعدد محاسبه می‌کنند. داده های خروجی این مدل ها، شاخص های زیست اقلیمی مختلفی هستند که دامنه تنش های فیزیولوژیک را به صورت کمی در می‌آورند (Hoppe, 1999; Matzarakis et al, 1999; Spagnolo and De Dear, 2003; Fanger, 1972; Jendritzky & Tinz, 2009) اولین مدل بیلان حرارتی را فانگر در سال ۱۹۷۲ (Fanger, 1972) ابداع و تشریح کرد. دو دهه بعد جندرتزکی و همکارانش موفق شدند روش پیچیده فانگر را با اختصاص متغیرهای مناسب برای شرایط بیرون نیز تنظیم کنند که امروزه تحت عنوان MEMI (مدل بیلان انرژی برای افراد) شناخته می‌شود (Thomson et al., 2008). مدل MEMI یکی از مدل های بیلان انرژی ترموفیزیولوژیک است که مبنای بدست آوردن شاخص های PMV و PET محسوب می‌شود. این مدل بر مبنای معادله بیلان حرارتی

جدول ۱- مقادیر آستانه شاخص PET در درجات مختلف

حساسیت انسان (Matzarakis et al., 1999)

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

## داده‌ها و روش‌ها

در تحقیق حاضر از ۱۰۱ ایستگاه همدیدی که دارای بیشترین دوره آماری مشترک بودند، استفاده شده است. موقعیت مکانی این ایستگاه‌ها در شکل ۱-الف نشان داده شده است. داده‌های روزانه متغیرهای درجه حرارت (سانتیگراد)، رطوبت نسبی (درصد)، سرعت باد (متر بر ثانیه)، ابرناکی (اکتا) و فشار بخار آب (هکتوپاسکال) برای دوره آماری ۱۹۸۸ الی ۲۰۰۷ (۲۰ ساله) از سازمان هواشناسی کشور اخذ شد. بعد از بر طرف کردن خلاهای آماری، داده‌های جمع آوری شده بر اساس تقویم شمسی مرتب شدند.

با استفاده از مدل نرم افزاری ریمن ۱/۲ (Matzarakis, 2001) شاخص زیست اقلیمی PET در مقیاس روزانه برای ۱۰۱ ایستگاه محاسبه و بر اساس مقادیر روزانه، متوسط هر ماه بدست آورده شد. مدل ریمن جهت محاسبه شاخص PET به چهار دسته متغیر نیازمند است (اسماعیلی و همکاران، ۱۳۸۹) که به شرح زیر وارد مدل شدند:

۱- دسته اول شامل متغیرهای موقعیتی شامل: طول، عرض و ارتفاع می‌باشد. این دسته از اطلاعات برای هر ایستگاه یک بار به مدل وارد می‌گردد.

۲- دسته دوم متغیرهای اقلیمی شامل: درجه حرارت هوا بر حسب سانتی‌گراد، فشار بخار آب بر حسب هکتوپاسکال، رطوبت نسبی بر حسب درصد، سرعت باد بر حسب متر بر ثانیه و میزان ابرناکی بر حسب اکتا می‌باشد.

۳- دسته سوم متغیرهای فردی شامل ویژگی‌های فیزیولوژیک موثر شامل: قد، وزن، سن و جنسیت می‌باشد (بطور پیش فرض قد ۱۷۵ سانتیمتر، وزن ۷۵ کیلوگرم، سن ۳۵ سال و نوع جنسیت مرد به مدل وارد شده است).

۴- دسته چهارم متغیرهای مربوط به نوع پوشش و فعالیت می‌باشد (بطور پیش فرض ارزش نارسایی لباس ۰/۹ کلو و میزان فعالیت ۴ کیلومتر بر ساعت در نظر گرفته شده است).

متأسفانه عدم دسترسی به داده‌های شبکه‌ای تولید شده موثق یکی از مشکلات عمده در تحلیل فضایی متغیرهای اقلیمی در ایران است که استفاده از شبکه ایستگاه‌های

از ۴۱۲۰ نقطه گره‌گاهی تشکیل شده است. در نهایت نقشه-های رستری تولید شده بر حسب درجه تنش فیزیولوژیک (جدول ۱) کلاس بندی و ارائه شدند.

### یافته‌های تحقیق

مقادیر ضریب تبیین ( $R^2$ ) بالا همراه با میزای خطای کم (ریشه میانگین مربعات خطاها) بیانگر دقت بالای معادلات بکار گرفته شده می‌باشد. طبق بررسی‌های آماری صورت گرفته شده (جدول ۲) معادلات در سطح ۹۹ درصد معنادار است. کمترین میزان خطا مربوط به ماه‌های سرد سال می‌باشد. طی فصل گرم سال بدلیل اینکه تمامی ایران تحت سیطره پر فشار جنب حاره ای قرار دارد، از نقش عواملی همچون عرض و ارتفاع کاسته می‌شود و به همین دلیل نسبت به ماه‌های دیگر سال از ضریب تبیین کمتری برخوردار است.

شاخص PET دارای مقیاس درجه بندی ۹ طبقه‌ای ایست (جدول ۱) که مقادیر ۱۸ الی ۲۳ درجه سانتیگراد آن بیانگر شرایط بدون تنش یا آسایش و مقادیر بالاتر از ۲۳ درجه، تنش‌های گرمایی و کمتر از ۱۸ درجه تنش‌هایی سرمایی را نشان می‌دهد. طبق شکل ۱- الف در فروردین ماه شرایط بسیار متفاوتی را از لحاظ زیست اقلیمی شاهد هستیم. در حالیکه در نواحی مرتفع واقع در عرض بالاتر از عرض ۳۶ درجه تنش‌هایی سرمایی زیاد و بسیار زیاد وجود دارد، در سواحل خلیج فارس و بخصوص جنوب شرقی کشور تنش‌های گرمایی حاکم است. به طور مشخص قلمروهای زیست اقلیمی در طی این ماه از آرایش ناهمواریها تبعیت می‌کند، به گونه‌ای که مقادیر کم شاخص که بیانگر تنش‌های سرمایی است، منطبق بر ارتفاعات زاگرس، البرز و ارتفاعات پراکنده خراسان و کرمان می‌باشد. تقریباً یک سوم از سطح کشور برخوردار از تنش‌های سرمایی اندک است (۳۳/۲ درصد). ۱۹ درصد از مساحت

همدیدی کم تراکم و ناهمگن را اجتناب ناپذیر می‌کند. در تحقیق حاضر استفاده از روش‌های معمول درون‌یابی (kriging, Spline, IDW) به دلیل خطای زیاد تولید شده مورد استفاده قرار نگرفت. از این‌رو بعد از بررسی‌های آماری و با توجه روابط معنادار که بین مقادیر شاخص زیست اقلیمی (PET) ایستگاه‌ها و عوامل محیطی (طول، عرض و ارتفاع) وجود داشت، از روش رگرسیون چند متغیره جهت تولید نقشه‌ها استفاده شد. در حقیقت روش رگرسیون یک مدل ریاضی-آماری است که توصیف همبستگی بین دو یا چندین متغیر را بیان می‌کند. معادله کلی آن به شرح زیر است:

$$PET = \text{معادله (۲)}$$

$$a_0 + a_1X + a_2Y + a_3Z$$

با توجه به این معادله می‌توان مقادیر متغیر تابع (PET) را با استفاده از مقادیر مستقل (X, Y, Z) تخمین زد. اسوینسون و همکاران (Svenson et al., 2003) شاخص PET را تابعی از ارتفاع، نوع کاربری اراضی و فاصله تا ساحل در نظر گرفتند و با استفاده از این روش نقشه زیست اقلیمی گوتنبرگ سوئد را تهیه کردند. در تحقیقاتی دیگر ارتفاع، طول و عرض جغرافیایی به عنوان عوامل مستقل در تهیه نقشه زیست اقلیم انسانی لهستان (Blazejczyk & Matzarakis, 2007) و مجارستان (Gulyasa & Matzarakis, 2009) در نظر گرفته شد. بررسی‌های آماری و استخراج معادلات در محیط نرم افزار Minitab 16 انجام شد. اعمال معادلات رگرسیونی و ترسیم نقشه‌ها در محیط نرم افزار Arc GIS 9.3 و با استفاده از تابع Raster Calculator صورت گرفت. بدیهی است جهت ترسیم نقشه‌های مدنظر در محیط GIS می‌بایست در معادله به جای عوامل مستقل شناسایی شده (ارتفاع از سطح دریا و طول و عرض جغرافیایی)، نقشه سلولی آنها دخالت داده شود که این امر مستلزم برخورداری از سیستم تصویر و یاخته‌هایی با ابعاد یکسان است. که در این تحقیق ابعاد یاخته‌های ۲۰ × ۲۰ کیلومتر در نظر گرفته شده است. بنابراین با توجه به ابعاد یاخته‌ها و مساحت سطح کشور، هر نقشه

کشور در شرایط آسایش قرار دارد (شکل ۴) که عمدتاً در نواحی کم ارتفاع بخصوص در نواحی مرکزی و شرق کشور واقع شده است.

جدول ۲- مقادیر ضریب تبیین و مقدار خطای ایجاد شده برای معادلات رگرسیونی هر ماه

ماه	R <sup>2</sup>	RMSE	ماه	R <sup>2</sup>	RMSE
فروردین	۸۳/۲	۲/۵	مهر	۷۹/۷	۳/۲
اردیبهشت	۸۱/۴	۳/۰۵	آبان	۸۵/۹	۲/۵
خرداد	۶۷/۶	۳/۶	آذر	۸۸/۵	۲/۲
تیر	۶۲/۷	۳/۹	دی	۸۷/۶	۲/۳
مرداد	۶۵/۴	۳/۸	بهمن	۸۷/۵	۲/۵
شهریور	۷۳	۳/۴	اسفند	۸۶/۱	۲/۶

جازموریان و مناطق پست دشت لوت را در بر می گیرد - (شکل ۱- ج). سواحل شمالی کشور که مقصد اغلب گردشگران است دارای تنش های گرمایی متوسط (رشت، انزلی و بابلسر) و یا اندک (رامسر و نوشهر) است. رطوبت و درجه حرارت زیاد (حالت شرحی) همراه با ارتفاع کم دلیل وجود شرایط نامطلوب زیست اقلیمی این منطقه می باشد. بیشترین سطح کشور (۳۵ درصد از مساحت) را تنش های گرمایی متوسط فرا گرفته است (شکل ۴).

در تیر ماه در هیچ نقطه ای از سطح کشور تنش های سرمای وجود ندارد (شکل ۱- د). به جز محدوده بسیار کوچکی از ارتفاعات البرز (۱/۱۳ درصد از مساحت) که در منطقه آسایش قرار دارد، بقیه کشور را تنش های گرمایی فرا گرفته است. به دلیل تنش های گرمایی که با شدت و گستره بسیار زیاد در کشور وجود دارد، تیرماه را باید بدترین شرایط زیست اقلیمی کشور دانست. مناطقی از دشت خوزستان، نوار باریکی از سواحل جنوبی همراه با دشت لوت، چاله جازموریان و دشت زابل دارای تنش هایی گرمایی بسیار زیاد است (احساس حرارتی بسیار داغ). شاید بتوان وجود تنش های گرمایی زیاد را در مناطق مرکزی به شدت تابش خورشیدی و در نوار ساحلی به حالت شرحی نسبت داد.

با شدت گرفتن تابش های خورشیدی در اردیبهشت ماه، تنش های گرمایی زیاد ( $PET > 41$ ) در نوار ساحلی دریای عمان که دارای عرض جغرافیایی پایین تری است، ظهور پیدا می کند. محدوده نفوذ تنش های گرمایی متوسط ( $29 < PET < 35$ ) که احساس حرارتی گرم را به همراه دارد وسیع تر شده و تقریباً از عرض ۳۰ درجه به پایین را در بر می گیرد. تنش های سرمای متوسط ( $PET < 13$ ) و زیاد ( $PET < 8$ ) به نوک قله کوهها در عرض های بالا عقب نشینی می کنند. اما در منطقه غرب و شمال غرب کشور به دلیل وجود توده های کوهستانی و همچنین عرض بالاتر، تنش های سرمای اندک هنوز وجه غالب زیست اقلیمی است (شکل ۱- ب). وسعت مناطق دارای شرایط آسایش ( $18 < PET < 23$ ) نسبت به فروردین ماه گسترش می یابد (۲۵ درصد از مساحت) و نواحی پایکوهی زاگرس و البرز و به خصوص شمال شرق کشور در این محدوده (آسایش اقلیمی) قرار دارند (شکل ۴).

خرداد ماه را باید دوره اتمام تنش های سرمای در کشور دانست. وسعت منطقه بدون تنش (آسایش) نسبت به اردیبهشت ماه کاسته می شود. تنش های گرمایی زیاد که احساس حرارتی داغ را تداعی می کند، نسبت به اردیبهشت ماه گسترش یافته و تمامی نوار سواحل جنوبی همراه با چاله

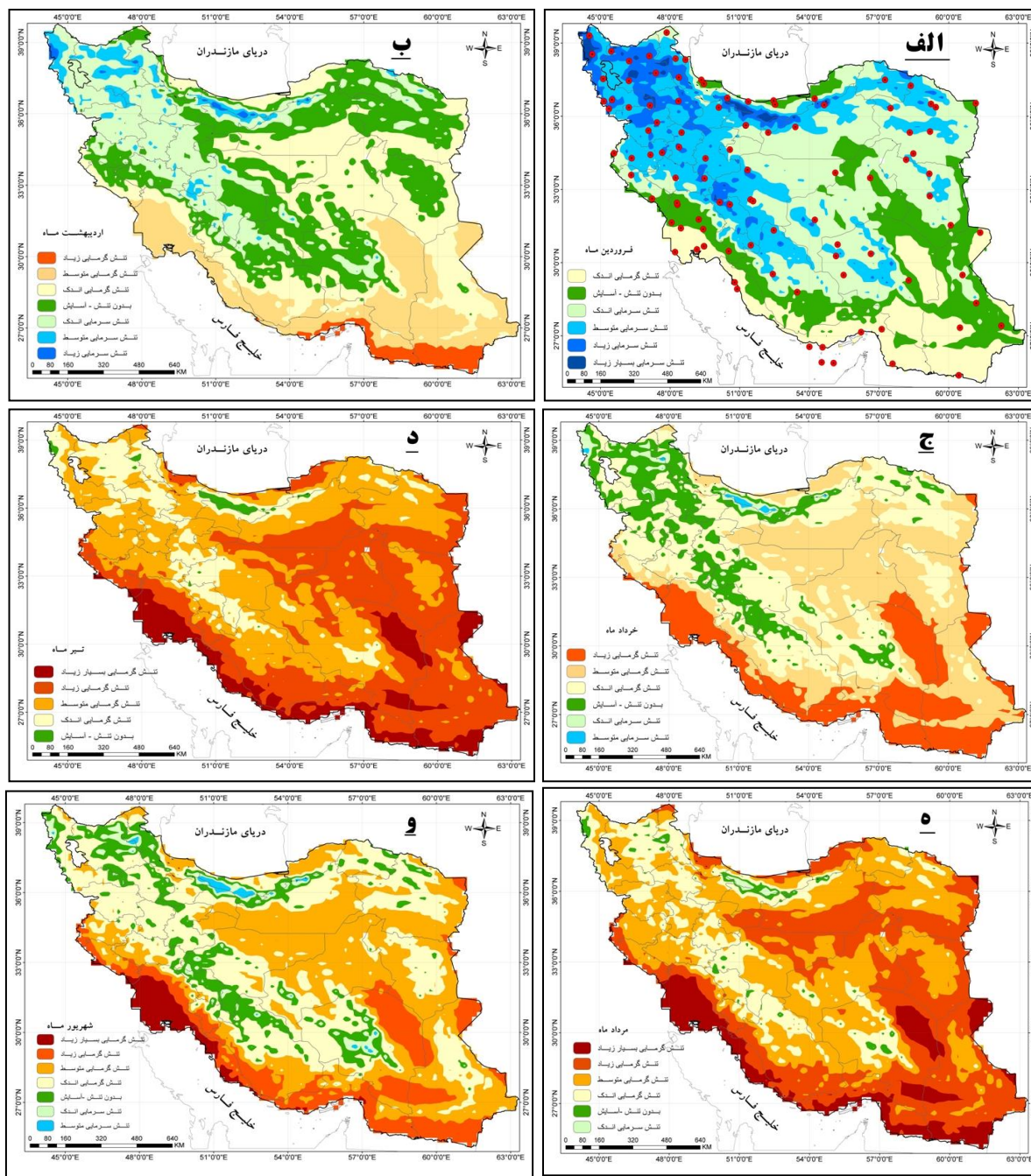
۴). در طی این ماه شرایط زیست اقلیمی بسیار متنوع است (۷ طبقه شاخص PET) در حالیکه در ارتفاعات البرز تنش های سرمایی زیاد وجود دارد، سواحل دریای عمان و تنگه هرمز تنش های گرمایی زیاد را تجربه می کند (شکل ۳-ز). با کاهش تدریجی درجه حرارت هوا، تنش های سرمایی مناطق وسیعی از شمال غرب کشور را که دارای عرض و ارتفاع بالاتری است، در بر گرفته و منطبق بر ارتفاعات زاگرس و البرز گسترش می یابد. تنش های گرمایی تنها در سواحل جنوبی کشور دیده می شود. از وسعت منطقه آسایش نسبت به مهر ماه کاسته شده است. به طور کلی تنش های سرمایی از آبان ماه وجه غالب زیست اقلیم کشور است. سواحل شمالی کشور بدلیل مجاورت با دریا و تاثیر تعدیل کننده رطوبت هوا و همچنین ارتفاع کمتر از مناطق مجاور و هم عرض خود، دارای شرایط متعادل تری است. آبان ماه را باید زمان آغاز تنش های سرمایی بسیار زیاد (PET < 4) در کشور دانست.

بر اساس نقشه زیست اقلیمی آذر ماه در هیچ نقطه ای از سطح کشور تنش های گرمایی (PET > 23) وجود ندارد. تنها ۵ درصد از مساحت کشور که شامل سواحل جنوب شرقی است دارای آسایش اقلیمی است. تنش های سرمایی بسیار زیاد (PET < 4) در ۳۳/۶ درصد از سطح کشور و تنش های سرمایی متوسط (8 < PET < 4) در ۲۴/۵ درصد، به شکل گسترده ای منطبق بر ارتفاعات البرز و زاگرس وجه غالب زیست اقلیم کشور است. در آذر ماه در سطح کشور ۵ طبقه زیست اقلیمی مشاهده می شود که از تنوع کمتری نسبت به ماه های گرم سال برخوردار است و حاکی از فراگیر بودن تنش های سرمایی در کشور می باشد. نکته قابل توجه دیگر وجود شرایط کاملاً متفاوت زیست اقلیمی بین سواحل جنوبی با بقیه کشور است به طوریکه در زمانی که تنش های سرمایی بسیار شدید اکثر کشور را فرا گرفته است، آسایش اقلیمی در سواحل جنوبی کشور وجود دارد (شکل ۳-ط).

در مرداد از وسعت تنش هایی گرمایی زیاد نسبت به تیر ماه تا حدودی کاسته می شود. تنش های گرمایی زیاد همانند تیر ماه در مناطق وسیعی از مناطق پایکوهی جنوب زاگرس، شرق و جنوب شرق کشور همراه با دشت کویر و سواحل شمالی کشور وجود دارد. تنش های گرمایی متوسط که احساس حرارتی گرم را تداعی می کند با ۳۵/۷ درصد از مساحت، بیشترین گسترش را در سطح کشور دارد (شکل ۴). وسعت منطقه آسایش یا بدون تنش نسبت به تیر ماه کمی گسترش یافته است و به صورت مناطقی جدا از هم (شکل ۱-ه) منطبق بر قلال دماوند، زرد کوه، سهند، ارتفاعات هزار و لاله زار در کرمان و کوه های سلماس در آذربایجان غربی دیده می شود.

با کاسته شدن از شدت تابش خورشیدی در اواخر فصل گرم سال، از شدت تنش های گرمایی نیز کاسته می شود به طوریکه در نقشه زیست اقلیم شهریور ماه، در عرض های بالای ۳۰ درجه تنش های گرمایی زیاد و بسیار زیاد (PET > ۳۵) دیده نمی شود. تنش های گرمایی بسیار زیاد (PET > ۴۱) تنها در دشت خوزستان و نوار باریکی از سواحل استان بوشهر وجود دارد. همانند مرداد ماه تنش های گرمایی متوسط با ۳۵/۶ درصد از مساحت کشور بیشترین گسترش را دارند (شکل ۴). مناطق دارای آسایش اقلیمی نسبت به مرداد ماه گسترش بیشتری یافته است (۱۱ درصد از مساحت). طبق نقشه زیست اقلیم شهریور ماه تنش های سرمایی در طی این ماه به صورت لکه هایی پراکنده منطبق بر راس قلال دماوند، سهند و هزار ظهور پیدا می کنند (شکل ۱-و).

وسعت منطقه آسایش در مهر ماه به گسترده ترین حالت خود در طول سال می رسد (۳۲/۲ درصد از مساحت) و به همین دلیل می توان این ماه را به عنوان مطلوبترین شرایط زیست اقلیمی ایران معرفی کرد. بعد از قلمرو بدون تنش، منطقه تنش های گرمایی و سرمایی اندک به ترتیب با ۲۴ و ۲۲/۸ درصد بیشترین مساحت کشور را در بر دارند (شکل -



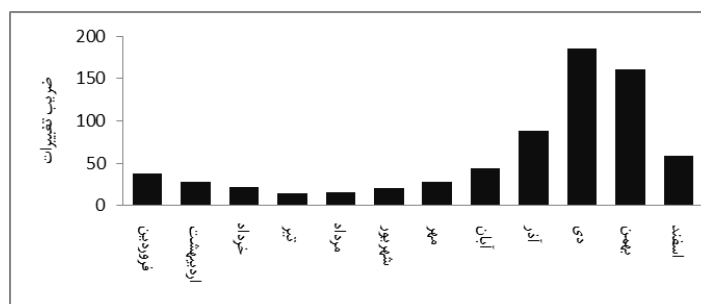
شکل ۱ - پهنه بندی زیست اقلیم انسانی فروردین (الف)، اردیبهشت (ب)، خرداد (ج)، تیر (د)، مرداد (ه) و شهریور (و) بر اساس درجه تشنه شاخص PET



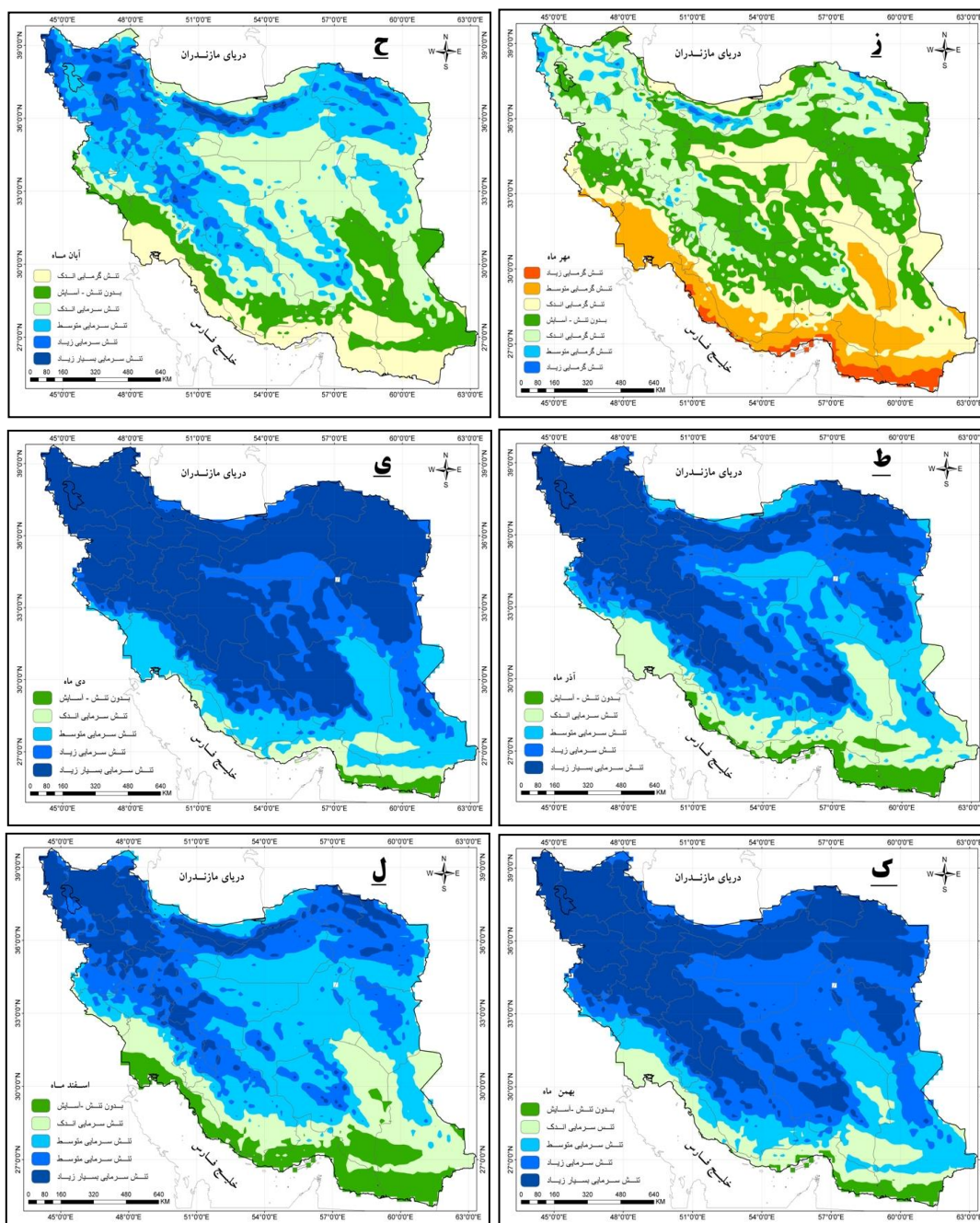
با افزایش ارتفاع خورشید و به طبع آن افزایش نسبی درجه حرارت در نیمه جنوبی کشور، محدوده آسایش اقلیمی و تنش‌های سرمایی اندک به سمت عرض‌های بالا گسترش می‌یابد. در اسفند شرایط آسایش اقلیمی (بدون تنش) نسبت به ماه‌های قبل گسترده‌تر می‌گردد (۱۰/۶ درصد از مساحت) و به موازات نوار ساحلی از بندر چابهار در شرق تا اهواز در جنوب غرب کشیده شده است (شکل ۳- ل). تنش‌های سرمایی متوسط ( $8 < PET < 13$ ) با ۳۳ درصد از مساحت کشور وجه غالب زیست اقلیم اسفند ماه است. تنش‌های سرمایی زیاد ( $4 < PET < 8$ ) از این حیث در رتبه دوم قرار دارد (شکل ۴).

شکل ۲ ضریب تغییرات مکانی شاخص زیست اقلیمی PET را طی ماه‌های مختلف نشان می‌دهد. بر طبق این شکل تیرماه با ۴/۹ درصد دارای کمترین تغییرات مکانی شاخص PET در سطح کشور می‌باشد که بیانگر حاکمیت تنش‌های گرمایی در سراسر کشور است. اما با نزدیک شدن به فصل سرد سال تفاوت‌های مکانی شاخص زیست اقلیمی روندی افزایشی پیدا می‌کند به طوری که در دی ماه مقدار این تغییرات حتی به ۱۸۵ درصد می‌رسد. به نظر می‌رسد تناوب توده‌های هوای و روی به کشور و همچنین پرنگتر بودن نقش زاویه تابش در فصل سرد سال دلیل ضریب بالای تغییرات می‌باشد. مسعودیان (۱۳۹۰) مقادیر کمینه و بیشینه ضریب تغییرات مکانی دمای ایران را بترتیب در مرداد و دی ماه گزارش داده است.

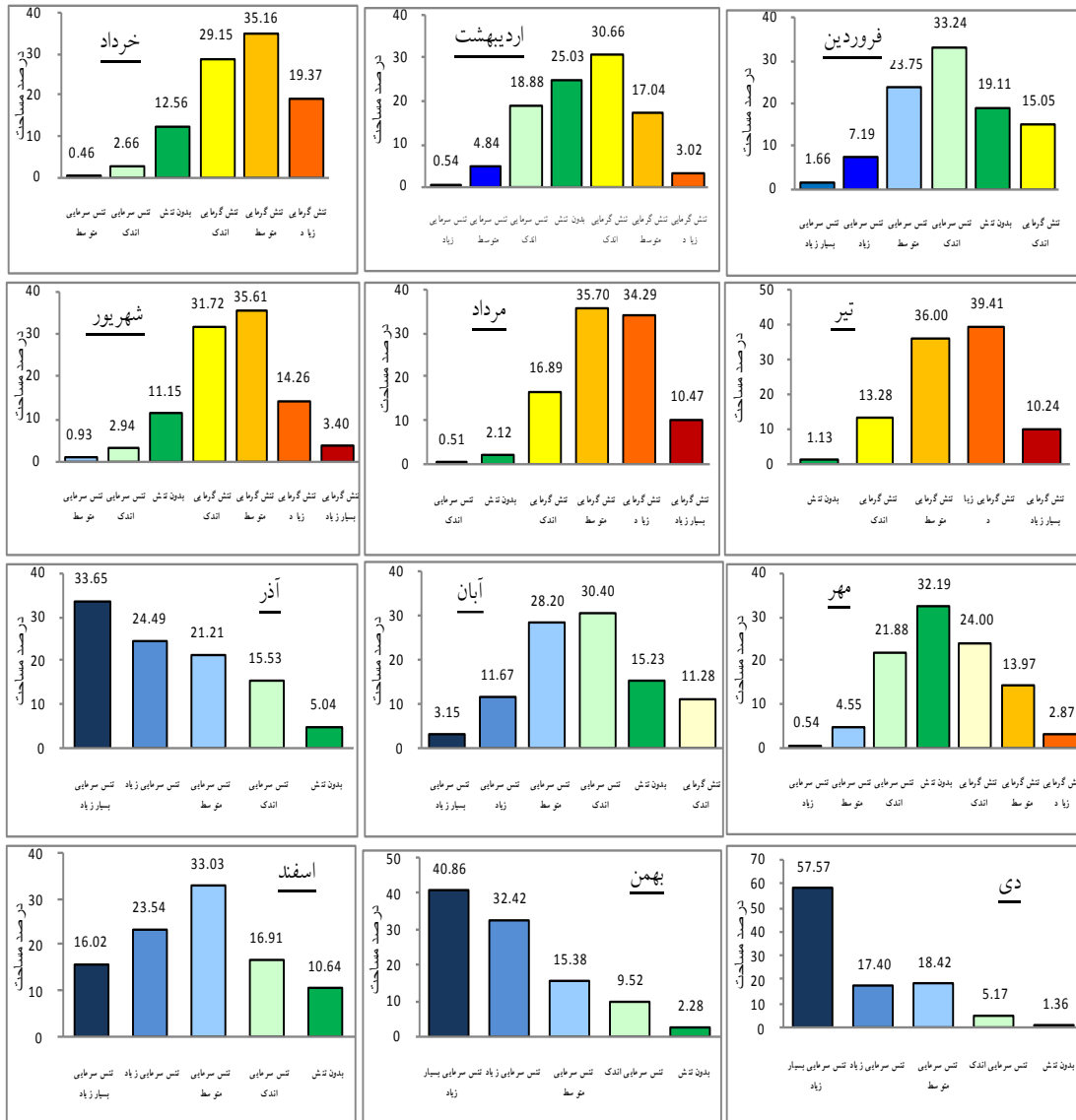
پر فشار سیبری از میانه مهر تا اواسط فروردین بر آسیا حاکم است. این سامانه به سبب گستردگی زیاد از بازیگران اصلی اقلیم آسیا در نیمه سرد سال است (علیچانی، ۱۳۸۱) اوج فعالیت این سامانه در فصل زمستان بوده و سردی و خشکی هوا از ویژگی اصلی آن است که وسعت و شدت زیاد تنش‌های سرمایی ماه‌های سرد سال را می‌توان به آن نسبت داد. در دی ماه تنش‌های سرمایی به شدیدترین و گسترده‌ترین حالت خود می‌رسد به طوری که ۵۷/۶ درصد از مساحت سطح کشور را تنش‌های سرمایی بسیار زیاد ( $PET < 4$ ) فرا گرفته است (شکل ۴). طبق شکل ۳- ی از عرض ۳۳ درجه به بالا تمامی سطح کشور دارای تنش‌های سرمایی زیاد و بسیار زیاد است (۹۲/۸ درصد از مساحت). نوار باریکی از منتهی الیه جنوب شرقی کشور تا جاسک از شرایط آسایش اقلیمی (بدون تنش) برخوردار است هر چند نسبت به آذر ماه محدودتر شده است. به نظر می‌رسد سواحل جنوب شرقی کشور بدلیل عرض جغرافیایی پایین و همچنین مجاورت با آب‌های آزاد اقیانوسی از شرایط مطلوب زیست اقلیمی برخوردار است. در مجموع دی ماه را باید از لحاظ تنش‌های سرمایی بدترین حالت زیست اقلیم کشور دانست. هر چند از شدت و وسعت تنش‌های سرمایی در بهمن ماه نسبت به دی ماه کاسته می‌شود، اما با توجه به اینکه تنش‌های سرمایی بسیار زیاد (احساس حرارتی بسیار سرد) ۴۰ درصد از مساحت کشور را در بر دارند، همچنان وجه غالب زیست اقلیم کشور می‌باشد. نسبت به دی ماه پهنه‌های دارای تنش سرمایی بسیار زیاد ( $PET < 4$ ) به سمت ارتفاعات بالاتر در زاگرس و البرز عقب نشینی می‌کنند.



شکل ۲ - ضریب تغییرات مکانی شاخص PET در ایران



شکل- ۳ پهنه‌بندی زیست اقلیم انسانی مهر (ز)، آبان (ح)، آذر (ط)، دی (ی)، بهمن (ک) و اسفند (ل) بر اساس درجه تنش شاخص PET



شکل ۴- درصد مساحت هر یک از طبقات شاخص PET برای ماه‌های مختلف سال

عنوان یک دوره کوتاه و زود گذر در عبور از فصل سرد سال 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 بهمن ماه واقع شده است. یک چنین الگویی در منحنی سالانه درجه حرارت کشور نیز دیده می‌شود (مسعودیان، ۱۳۹۰).

شکل ۵ روند تغییرات روزانه شاخص PET را برای کل سطح کشور نشان می‌دهد. بر اساس این نمودار قرارگیری در منطقه آسایش اقلیمی ( $18 < PET < 23$ ) در دو بازه زمانی مجزا صورت می‌گیرد. مرحله اول ابتدای دوره گرم سال و دوره دوم آن در ابتدای شروع فصل سرد سال واقع شده است. بنظر می‌رسد مهیا شدن شرایط آسایش اقلیمی به



شکل ۵- روند تغییرات شاخص PET در طول سال، محدوده آسایش اقلیمی ( $18 < PET < 23$ ) به صورت رنگی مشخص شده است

### نتیجه گیری

درصد در رتبه دوم و خرداد و شهریور با ۵۴ درصد در رتبه های بعدی قرار دارند. تنش های سرمایی ( $PET < 13$ ) در دی ماه وجه غالب زیست اقلیم ایران است. در طی این ماه ۹۳ درصد از مساحت کشور را تنش های سرمایی فراگرفته است. ماه های بهمن و آذر به ترتیب با ۸۸ و ۸۰ درصد در رتبه دوم و سوم قرار دارند. تفاوت های زیاد ارتفاعی بین مناطق مختلف کشور به همراه ۱۵ درجه اختلاف عرض جغرافیایی باعث شکل گیری شرایط متنوع و بعضاً متضاد زیست اقلیمی در کشور شده است، به طوریکه در یک زمان واحد مثل اردیبهشت ماه در نواحی مرتفع رشته کوه های البرز و شمال غرب کشور تنش های سرمایی زیاد، و همزمان ساکنین سواحل جنوب شرقی کشور تنش های گرمایی بسیار زیاد را تجربه می کنند. یک چنین شرایط متفاوتی با شدت و ضعف مختلف در تمامی ماه های سال در کشور دیده می شود که می تواند به عنوان یک پتانسیل در برخی از زمینه های کاربردی از جمله گردشگری و توریسم مورد استفاده قرار گیرد.

بررسی ضریب تغییرات مکانی شاخص زیست اقلیمی PET طی ماه های مختلف نشان داد تیرماه با ضریب تغییرات ۴/۹ درصد دارای کمترین تغییرات مکانی در سطح کشور می باشد که بیانگر حاکمیت تنش های گرمایی در سراسر کشور است. با نزدیک شدن به فصل سرد سال تفاوت های مکانی شاخص زیست اقلیمی روندی افزایشی

نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد توزیع مکانی شاخص زیست اقلیمی (دمای معادل فیزیولوژیک) در سطح کشور از سطوح ارتفاعی و آرایش ناهمواریها تبعیت می کند. بر این اساس مقادیر پایین شاخص PET که تنش های سرمایی را تداعی می کند، منطبق بر مناطق مرتفع و کوهستانی و بالعکس تنش های گرمایی در مناطق پست و کم ارتفاع به وقوع می پیوندد. تفاوت های قابل توجه شرایط زیست اقلیمی در توده های کوهستانی استان کرمان، یزد و سیستان و بلوچستان با نواحی اطراف خود و یا نواحی پست و کم ارتفاع سواحل شمالی و بخصوص دشت مغان و جلگه سرخس که در عرض های بالای کشور قرار دارد مویید این مساله است که نقش ارتفاع در توزیع مکانی شرایط زیست اقلیم کشور بسیار پررنگتر از عواملی همچون طول و عرض جغرافیایی است.

نتایج حاصل از تحلیل نقشه های زیست اقلیمی ماهانه نشان داد از حیث مساحتی که در منطقه آسایش قرار دارد مهر ماه در رتبه اول قرار دارد و مطلوبترین شرایط زیست اقلیمی را داراست، اردیبهشت و فروردین ماه در رتبه های دوم و سوم و تیر و دی ماه از این لحاظ در رتبه آخر قرار دارند. بیشترین تنش های گرمایی ( $PET > 29$ ) در تیر ماه حادث می شود. به طوریکه طی این ماه ۸۵ درصد از سطح کشور دارای تنش های گرمایی است. ماه های مرداد با ۸۰

9. Farajzadeh, M. and A. Ahmad abadi, 2010, Assessment and mapping of Iranian tourism climate using Tourism Climate Index (TCI), *Journal of geographical research*, issue 71, PP. 31-42.
10. Gómez, F., C. Pérez, , Valcuende, A. and A, Matzarakis, 2013, Research on ecological design to enhance comfort in open spaces of a city (Valencia, Spain). Utility of the physiological equivalent temperature (PET). *Ecological Engineering* 57.PP. 27-39.
11. Gulyasa, A., and A. Matzarakis, 2009, Seasonal and Spatial Distribution of Physiologically Equivalent Temperature (PET) Index in Hungary, *Quarterly Journal of the Hungarian Meteorological Service*, Vol. 113, No. 3, PP. 221-231
12. Hoppe, P., 1999, the Physiological Equivalent Temperature-a Universal Index for the Biometeorological Assessment of the Thermal Environment. *Int. J. Biometeorology*. 43. PP. 71-75.
13. Jendritzky, G., and B. 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
14. Kasmaie , M., 1990, Climate and architecture , Nashre Khak publications, Esfahan
15. Kaviani,MR., 1993. The study and zonation map of human bioclimatic of Iran. *Geographical research quarterly*. No. 48, PP. 47-65.
16. Massodian,A., 2011, Climate of Iran, Shariatoos publications, first printing.
17. 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. PP.171-182
18. 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
19. Matzarakis, A., H. Mayer, and G. Iziomon, 1999, Applications of a universal thermal

پیدا می‌کند به طوریکه در دی ماه مقدار این تغییرات حتی به ۱۸۵ درصد می‌رسد. همچنین بررسی روند تغییرات روزانه شاخص PET نشان داد محدوده آسایش اقلیمی (بدون تنش) ایران به صورت دو دوره کوتاه مدت مجزا از همدیگر در ابتدا و انتهای دوره گرم سال واقع شده است.

## منابع

1. Blazejczyk, K. and A. Matzarakis, 2007, Assessment of bioclimatic differentiation of Poland based on the human heat balance. *Journal of Geographic Polonica*, vol. 80 No. 1, p. 63-82
2. Buttner, k .1938, *Physikalische Bioklimatologie*, Akademische Verlagsgesellschaft.
3. 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. p.3-20
4. Esmaili, r., A.Gandomkar, and M. Habibi Nokhandan , 2011, Assessment of Comfortable Climate in Several Main Iranian Tourism Cities Using Physiologic Equivalence Temperature Index , *Physical Geographical research quarterly*, issue 75, PP.47-61.
5. Esmaili, r., A. Gandomkar and M. Montazeri, 2011, The Zoning of Comfortable Climate using PET index in Khorasan Razavi province , *Journal of climate research*, issue 1, PP.101-114.
6. Esmaili, R. and M. Montazeri, 2013, The Determine of the Mashhad Bioclimatic Condition Base on Hourly Data, *Geography and Environmental Planning Journal*, Vol. 49, No.1, PP.45-59
7. Fanger, P. O., 1972, *Thermal comfort*. New York: McGraw Hill.
8. Farajzadeh, H. and A. Matzarakis, 2012, Evaluation of thermal comfort conditions in Ourmieh Lake, Iran, *International Journal of Theoretical and Applied climatology*, 107.PP. 451-459

- International Journal of Biometeorology, 48.pp.102-112
23. Thomson, M., G. Herrera Ricardo and M. Beniston, 2008, Seasonal forecasts, climatic change and human health: health and climate, Springer Science, Business Media B.V., 232
  24. 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
  25. Zoufaghari, H., 2008, Determination of Suitable Calendar for Tourism in Tabriz with using the Thermo-physiological Indices (PET and PMV). Physica Geographical research quarterly, 39 (62). PP.129-141
  - index: physiological equivalent temperature. International Journal of Biometeorology, 43, PP.76-84
  20. Ndetto, E, L, and A. Matzarakis, 2013, Basic analysis of climate and urban human bioclimatic of Dar es Salaam, Tanzania. Theoretical and Applied Climatology 114, PP.213-226.
  21. Spagnolo, J., and R. De Dear, 2003, A field study of thermal comfort in outdoor and semi-outdoor environments in subtropical Sydney Australia. Building and Environment; 38, PP.721-38.
  22. Svenson, M., S. Thorsson and S. Lindqvist, 2003, A Geographical Information System Model for Creating Bioclimatology maps – Examples from a high – mid latitude city,