

## شبیه‌سازی آستانه دمایی موج گرما طی دوره گرم سال در ایران براساس سناریوهای RCP در بازه زمانی (2016-2045)

فرشته رضایی\*؛ محمود احمدی<sup>۱</sup>، علیرضا شکیبا<sup>۲</sup>

۱- گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران

۲- گروه سنجش از دور، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران

پذیرش مقاله: ۱۳۹۷/۱۱/۱۷

تأیید نهایی مقاله: ۱۳۹۸/۴/۸

### چکیده

امواج گرمایی به عنوان یک پدیده حدی همراه با گرمایش جهانی می‌تواند بخش‌های مختلف را متاثر سازد. ضرورت شناسایی این پدیده در شرایط تغییر اقلیم باعث شد که در این مقاله به شبیه‌سازی آستانه دمایی منجر به موج گرما در مناطق مختلف کشور پرداخته شود. جهت رسیدن به این هدف ابتدا دمای حداکثر روزانه ۹۰ ایستگاه در دوره گرم سال برای ۳۰ سال آینده (۲۰۴۵-۲۰۱۶) از طریق مدل گردش عمومی جو CanEsm2 تحت ۳ سناریوی RCP 2.6، RCP 4.5 و RCP 8.5 و مدل ریزمقیاس نمایی آماری SDSM شبیه‌سازی شد. سپس براساس ۳ شاخص جهانی (صدک ۹۵، بالدی، سازمان هواشناسی جهانی (WMO)) آستانه دمایی موج گرما در مناطق مختلف تعیین گردید. نتایج نشان داد که مقادیر آستانه دمایی در زمان‌ها و مکان‌های مختلف کشور یکسان نمی‌باشد و از دامنه‌های متفاوتی برخوردار است. براساس سناریوی مختلف RCP 2.6، RCP 4.5 و RCP 8.5 طی سال‌های آتی، حد پایین آستانه دمایی در فصل بهار نسبت به وضع موجود تقریباً ۵ درجه افزایش یافته است. علاوه بر این مرز پهنه‌های آستانه دمایی نیز تغییر محسوسی می‌یابد. به طوری که پهنه‌های دارای آستانه بالا به سمت عرض‌های متوسط و بالا پیشروی می‌کنند. در فصل تابستان نیز هر چند حد بالا و پایین آستانه دمایی نسبت به شرایط موجود تغییر نمی‌کند. اما نکته‌ی قابل توجه این است که در شرایط حاضر در تابستان قسمت زیادی از کشور دارای آستانه بین  $40^{\circ}$  -  $35^{\circ}$  سلسیوس است ولی در ۳۰ ساله آینده با توجه به افزایش دما، این رنج به  $45^{\circ}$  -  $40^{\circ}$  سلسیوس می‌رسد و تقریباً ۷۰ درصد کشور آستانه بالای ۴۰ درجه را تجربه می‌کند. از لحاظ مکانی نیز آستانه دمایی در فصل بهار از تفاوت مکانی بیشتر و در تابستان تقریباً از یکنواختی نسبی برخوردار است که علت این یکنواختی را می‌توان به وجود پرفشار جنب حاره‌ای آזור نسبت داد. همچنین نتایج نشان می‌دهد که از میان مناطق مختلف کشور، استان خوزستان در دوره گرم سال بالاترین آستانه دمایی را به خود اختصاص داده است. بررسی تغییرات آستانه دمایی نیز نشان داد که عرض‌های متوسط و بالا در دوره گرم سال در سال‌های آتی نسبت به وضع موجود، بالاترین تغییرات و افزایش را در مقدار آستانه دمایی خواهند داشت.

واژه‌های کلیدی: آستانه دمایی، سناریوهای تغییر اقلیم، موج گرما، SDSM-CanEsm2.

## مقدمه

در قرن ۲۱ تغییرات آب و هوایی به‌عنوان یکی از بزرگترین تهدیدهای زیست محیطی در جهان به شمار می‌رود (IPCC, 2013). تغییرات آب و هوایی، پتانسیل لازم برای تغییر شدت و فرکانس رویدادهای شدید (فرین) را دارد. مطالعات نشان داده‌اند که تغییر اقلیم می‌تواند موجب رویدادهای فرین بیشتری شود و برآورد شده است که تغییرات در پدیده‌های شدید (فرین) آب و هوایی مانند امواج گرما، طوفان‌های شدید زمستانی و تابستانی، روزهای گرم و سرد و شب‌های گرم و سرد نسبت به تغییرات در میانگین آب و هوا، تاثیرات منفی بیشتری بر روی جامعه‌ی انسانی و محیط طبیعی می‌گذارد (Ashiq and et al, 2010; Mastrandrea and et al, 2011). در نتیجه، در چند سال اخیر رویدادهای فرین بیشتر مورد توجه دانشمندان واقع شده است (Sanchez and et al, 2004). براساس گزارش پنجم IPCC و تحقیقات جهانی، مدت زمان و فرکانس دوره گرما، به‌ویژه امواج گرما از اواسط قرن ۲۰م افزایش یافته و موجب تاثیرات چشمگیر همراه با عواقب غیر قابل پیش‌بینی شده است (IPCC, 2013; Jinghong and et al, 2015; Keggenhoff and et al, 2015; Rusticucci and et al, 2015). موج گرما یک پدیده هواشناسی است که آستانه‌ی دمایی آن می‌تواند متاثر از ویژگی‌های مکانی هر منطقه باشد. به‌طوری که در هر منطقه جغرافیایی براساس ویژگی‌های محیطی و اقلیمی آن، می‌توان آستانه‌ی دمایی معینی برای موج گرما تعریف کرد (اسمعیل نژاد و همکاران، ۱۳۹۲). این پدیده اغلب با بلایای متعدد موثر بر جامعه از نظر سلامت و مرگ و میر، کیفیت آب، محصولات کشاورزی، صنعت خرده فروشی، خدمات اکوسیستم، گردشگری و ... همراه هستند (Gulacha and et al, 2014). در واقع تکنیک‌های ریز مقیاس به منظور اتصال قدرت

Mulungu, 2017; Liu and et al, 2015 رحیمی و همکاران، ۱۳۹۳؛ اسدی و مسعودیان، ۱۳۹۳). همان‌طور که در سال ۲۰۱۰ در روسیه، بر اثر این پدیده ۵۴۰۰۰ نفر جان خود را از دست دادند (Wolf and McGregor, 2013). با توجه به اهمیت این مسئله، امروزه شناسایی، تحلیل تغییرات و پیش‌بینی وقوع امواج گرمایی اهمیت زیادی یافته است. شناسایی و پیش‌بینی پدیده‌های فرین بویژه امواج گرما، از جمله اطلاعاتی است که برای ارزیابی تاثیر تغییر اقلیم بر انسان و محیط طبیعی، برنامه‌ریزی دراز مدت در سطوح ملی و منطقه‌ای و همچنین برای استراتژی‌های کاهش خطرات و انطباق با آن حیاتی و لازم می‌باشد (Samadi and et al, 2011). در حال حاضر، مدل‌های گردش عمومی جو (GCM) با سناریوهای مختلف یک رویکرد رایج برای پیش‌بینی تغییر اقلیم، در سطوح جهانی و قاره‌ای می‌باشد (Fowler and et al, 2007; Gu and et al, 2012). این مدل‌ها قادر به شبیه‌سازی متغیرهای آب و هوا در دو مقیاس جهانی و منطقه‌ای بوده و می‌توانند تغییر و تاثیر آنها را بر پدیده‌های مختلف آب و هوایی بیان نمایند (Gonzalez and et al, 2010; Samadi and et al, 2011; Jing and et al, 2015; Zhang and et al, 2016). به علت قدرت تفکیک مکانی بزرگ (100 – 500 km) و عدم توانایی این مدل‌ها در بررسی ویژگی‌های محلی یک منطقه، دو مجموعه تکنیک ریز مقیاس نمای برای غلبه بر این مشکلات در دو دهه‌ی گذشته، توسعه داده شد. تا خروجی‌های این مدل‌ها در سطح محلی (0 – 50 km) یا منطقه‌ای (50–50 km) مورد استفاده قرار گیرد (Mahmood and Babel, 2014). در واقع تکنیک‌های ریز مقیاس به منظور اتصال قدرت

های CMIP تحت RCP های مختلف استفاده کردند. نتایج پژوهش آنها نشان می‌دهد که در دهه‌های اخیر در سطح جهانی، مناطق متأثر از امواج گرمایی افزایش یافته است. و در آینده نیز برای مناطقی مانند جنوب اروپا، آمریکای شمالی، آمریکای جنوبی، آفریقا و اندونزی هر دو سال یک بار امواجی را مشابه با موج گرمایی تابستان ۲۰۱۰ روسیه پیش‌بینی می‌کنند. مولودی و همکاران (۱۳۹۵) نیز در مقاله‌ای تحت عنوان اثر تغییر اقلیم بر امواج گرمایی سواحل شمالی خلیج فارس، به شناسایی امواج گرمایی سواحل شمالی خلیج فارس و مقایسه شرایط پایه و آینده پرداختند. آنها براساس سری مدل‌های CMIP5 و طبق RCP8.5 به این نتیجه رسیدند که امواج گرمایی کوتاه مدت رخداد بیشتری دارند. و امواج گرمایی در دوره‌ی پایه دارای روند افزایشی معنی‌دار اما ضعیف بوده‌اند. همچنین مشخص شد که در این منطقه بین امواج گرمایی داده‌های پایه و آینده هیچ‌گونه تفاوت معنی‌داری وجود ندارد. با توجه به اثرات منفی امواج گرمایی بر روی جامعه‌ی انسانی و محیط طبیعی و ضرورت شناسایی این پدیده حدی در طی سال‌های آتی در این پژوهش سعی گردید با استفاده از سناریوهای جدید RCP و مدل SDSM شرایط اقلیمی آینده ایران از لحاظ آستانه دمایی موج گرما مورد بررسی قرار گیرد.

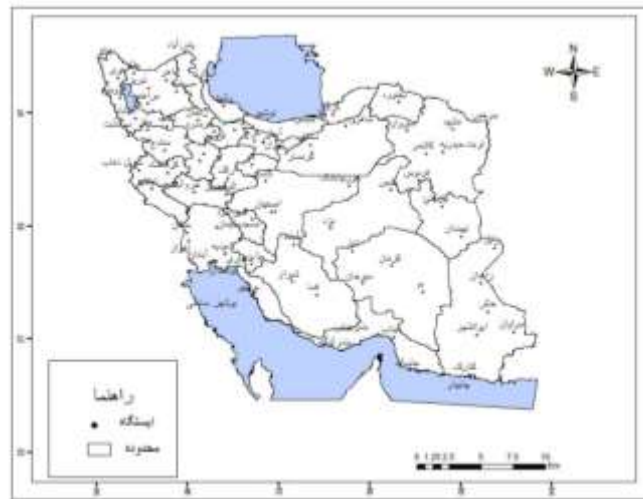
#### منطقه مورد مطالعه

ایران با موقعیت جغرافیایی بین ۲۵ تا ۴۰ درجه عرض شمالی و ۴۴ تا ۶۳ درجه طول شرقی، از جمله مناطقی است که در کمربند خشک و نیمه‌خشک دنیا واقع شده است، بنابراین روند تغییرات دمای آن نه تنها از سایر مناطق مستثناء نیست بلکه چشمگیرتر است. بررسی‌ها نشان داده-

تفکیک مکانی و زمانی بین آن چه که طراحان آب و هوا قادر به ارائه هستند و آنچه که ارزیاب‌ها نیاز دارند، استفاده می‌شود (Singh and et al, 2005). ریز مقیاس نمایی به دو صورت آماری و دینامیکی می‌باشد (Clark and et al, 2000). هر دو روش در ارزیابی اثرات تغییرات آب و هوایی ناشی از افزایش غلظت گازهای گلخانه‌ای و همچنین در پیش‌بینی عناصر هواشناسی و آب و هوا مانند دما، بارش و غیره نقش مهمی ایفا می‌کنند. ولی روش‌های ریز مقیاس آماری مزایای بیش از روش‌های دینامیکی دارند، بویژه در شرایطی که هزینه کم و ارزیابی سریع تغییرات اقلیمی محلی مورد نیاز باشد (Bardosy and Plate, 1992). امروزه از میان مدل‌های مختلف ریز مقیاس نمایی آماری، مدل ریز مقیاس نمایی (SDSM) جهت ارزیابی تغییر اقلیم، به‌طور گسترده‌ای در سراسر جهان مورد استفاده قرار گرفته است. بیشتر مطالعات انجام گرفته در مورد موج گرما مربوط به شناسایی و جابجایی مکانی آن در شرایط موجود یا بررسی اثرات آن بر روی سلامت، مرگ و میر و ... می‌باشد (Diaz and et al, 2006; Lowe and et al, 2011; Pascal, 2011). براتی و موسوی، ۱۳۸۴؛ اسمعیل نژاد و همکاران، ۱۳۹۲؛ دارند، ۱۳۹۳). ولی در زمینه رخداد این پدیده در شرایط تغییر اقلیم در سال‌های آتی در نقاط مختلف جهان مطالعات محدودی صورت گرفته است از جمله این مطالعات می‌توان به کار تحقیقی رسو و همکاران (۲۰۱۴) اشاره کرد که به بررسی مقیاس امواج گرمایی در آب و هوای کنونی و الگوی آن در گرمایش جهانی پرداختند. آنها شدیدترین موج گرمایی که در جهان رخ داده است را در سه مقطع زمانی (۱۹۹۰-۱۹۸۰، ۲۰۰۱ - ۱۹۹۱، ۲۰۱۲ - ۲۰۰۲) مورد بررسی قرار دادند. و از خروجی مدل‌های ترکیبی چندگانه از مدل پروژه-

شده و دوره سرد سال به نفع دوره گرم سال کاهش یافته است (مسعودیان، ۱۳۹۱). طبیعتاً این تغییرات خود بر روی پدیده‌های فرین دمایی به ویژه موج گرما و ویژگی‌های آن اثرات انکار ناپذیری می‌گذارد (شکل ۱).

اند که طی دهه‌های گذشته از تعداد روزهای سرد کشور کاسته شده و بر تعداد روزهای گرم آن افزوده شده است. از این گذشته، افزایش تعداد روزهای گرم در نیمه سرد سال بیشتر بوده و به بیان دیگر ایران در دهه‌های اخیر دچار تغییر فصل



شکل ۱: موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌های مورد مطالعه

قبل آن می‌باشد، به‌عنوان ایستگاه‌های مورد مطالعه انتخاب شدند. از این رو تعداد سال‌هایی که هر یک از ایستگاه‌ها از قبل از سال ۱۹۸۶ تا سال ۲۰۰۵ داده داشتند، به‌عنوان دوره پایه برای ایستگاه انتخاب شد. سپس برای استخراج آستانه دمایی در شرایط موجود و آینده از شاخص‌های مختلف جهانی (صدک ۹۵، بالدی، WMO) استفاده گردید.

#### مدل CanESM2 و سناریوهای RCP

مدل CanESM2 یک مدل جامع و جفت شده و چهارمین نسل از مدل‌های گردش عمومی جفت شده (CGCM4) است و جزء سری مدل‌های CMIP5 و گزارش پنجم (AR5) هیئت بین‌الدول تغییر اقلیم (IPCC) می‌باشد (Arora and et al, 2011). در گزارش پنجم دقت شبیه‌سازی و وضوح مکانی مدل‌ها نسبت به گزارش پیشین افزایش

#### مواد و روش‌ها

در این تحقیق جهت تعیین آستانه دمایی موج گرما در دوره گرم سال در شرایط موجود (۲۰۱۵ - ۱۹۸۶)، داده‌های دمای حداکثر روزانه ۹۰ ایستگاه (شکل ۱) از سازمان هواشناسی اخذ گردید. در مرحله بعد به منظور شبیه‌سازی آستانه دمایی موج گرما طی سال‌های آتی (۲۰۴۵ - ۲۰۱۶)، دمای حداکثر روزانه ایستگاه‌های مذکور در دوره گرم سال برای ۳۰ سال آینده (۲۰۴۵ - ۲۰۱۶) از طریق مدل گردش عمومی جو CanEsm2 تحت ۳ سناریوی RCP 2.6, RCP 4.5 و RCP 8.5 و مدل ریزمقیاس نمایی آماری SDSM برآورد گردید. معیار انتخاب ایستگاه‌های مورد مطالعه، داشتن حداقل ۲۰ سال هم‌پوشانی با دوره تاریخی مدل‌های اقلیم جهانی بوده است. لذا ایستگاه‌هایی که سال تاسیس آن‌ها ۱۹۸۶ و ما

در سطح جهان شناخته شده است. عملکرد و ساختار مدل SDSM در چهار مرحله خلاصه می-شود: انتخاب متغیرهای پیش‌بینی کننده به نام متغیر مستقل، واسنجی مدل، ارزیابی مدل و تولید سناریوهای آتی (Wilby and et al, 2014). جهت اجرای این مدل ۳ نوع داده به‌عنوان فایل‌های ورودی مورد نیاز است: دسته‌ی اول داده‌های دمای حداکثر روزانه که از سازمان هواشناسی اخذ گردید و دسته دوم، داده‌های NCEP، که شامل داده‌های روزانه ۲۶ متغیر پیش‌بینی کننده می-باشد (جدول ۱) و دسته سوم داده‌های بزرگ مقیاس مدل‌های گردش عمومی جو هستند.

یافته است. در این گزارش، در سناریوهای RCP، محدوده وسیع‌تر و مستدل‌تری از خط سیرهای تولید گازهای گلخانه‌ای (GHGs) نسبت به سناریوهای SRES در AR4 ارزیابی شده است. سناریوهای RCP شامل یک سناریوی کاهش‌ی سخت - گیرانه (RCP 2.6)، دو سناریوی حد واسط (RCP 4.5 و RCP 6) و یک سناریوی بدبینانه (RCP 8.5) با تولید گازهای گلخانه‌ای بسیار بالا می‌باشند (IPCC, 2014).

#### مدل ریزمقیاس نمایی SDSM

مدل SDSM یک ابزار رگرسیون بنیان چندگانه است که امروزه به‌عنوان پرکاربردترین مدل ریز مقیاس نمایی آماری و بهترین مولد داده شرطی

جدول ۱: فهرست داده‌های NCEP

متغیر پیش‌بینی کننده		متغیر پیش‌بینی کننده	
واگرایی تراز 500hp	ncepp5zhgl.dat	میانگین فشار سطح دریا	ncepmslpgl.dat
سرعت باد تراز 850hp	ncepp8_fgl.dat	سرعت باد سطح	ncepp1_fgl.dat
باد مداری تراز 850hp	ncepp8_ugl.dat	باد مداری سطح	ncepp1_ugl.dat
باد نصف النهاری تراز 850hp	ncepp8_vgl.dat	باد نصف النهاری	ncepp1_vgl.dat
تاوایی تراز 850 hp	ncepp8_zgl.dat	تاوایی سطح	ncepp1_zgl.dat
ارتفاع ژئوپتانسیلی تراز 850 hp	ncepp850gl.dat	جهت باد سطح	ncepp1thgl.dat
جهت باد 850 hp	ncepp8thgl.dat	واگرایی سطح	ncepp1zhgl.dat
واگرایی تراز 850hp	ncepp8zhgl.dat	سرعت باد تراز 500hp	ncepp5_fgl.dat
رطوبت ویژه سطح	nceppcpgl.dat	باد مداری تراز 500hp	ncepp5_ugl.dat
رطوبت ویژه تراز 500hp	nceps500gl.dat	باد نصف النهاری تراز 500hp	ncepp5_vgl.dat
رطوبت ویژه تراز 850hp	nceps850gl.dat	تاوایی تراز 500hp	ncepp5_zgl.dat
رطوبت نسبی	ncepshumgl.dat	ارتفاع ژئوپتانسیلی تراز 500hp	ncepp500gl.dat
میانگین دمای تراز ۲ متر	Nceptempgl.dat	جهت باد تراز 500hp	Ncepp5thgl.dat

نیروی جریان هوا در سطح زمین و ... و متغیرهای وابسته ایستگاهی نظیر دما استوار است. انتخاب متغیرهای مستقلی که ارتباط منطقی و مناسبی با متغیرهای وابسته داشته باشند از اهمیت خاصی برخوردار است. به عبارتی متغیرهای حائز اهمیت هستند که دارای بالاترین ضریب همبستگی باشند (رضائی و همکاران، ۱۳۹۵). در نتیجه با بررسی‌های صورت گرفته در

#### اجرای مدل ریز مقیاس نمایی SDSM

در این تحقیق پس از پردازش و مرتب سازی داده‌ها مشاهداتی، تهیه داده‌های NCEP و داده‌های مدل CanESM2 تحت سناریوهای RCP 2.6، RCP 4.5 و RCP 8.5، مدل SDSM اجرا گردید. از آنجائی که اساس کار مدل‌های ریزمقیاس نمایی آماری مانند مدل SDSM بر پایه ارتباط بین متغیرهای مستقل جوی (فشار سطح دریا،

این پژوهش، دمای حداکثر روزانه همه ایستگاه-کننده NCEP با ۴ متغیر همبستگی قوی و بالای ۰/۷ را داشته‌اند (جدول ۲).

جدول ۲: پیش‌بینی کننده‌های منتخب دمای حداکثر روزانه

متغیر	پیش‌بینی کننده های منتخب	پیش‌بینی کننده های منتخب
دمای حداکثر روزانه	ncepmslpgl.dat	میانگین فشار سطح دریا
	ncepp500gl.dat	ارتفاع ژئوپتانسیلی تراز hp ۵۰۰
	ncepshumgl.dat	رطوبت نسبی
	nceptempgl.dat	میانگین دمای تراز ۲ متر

برای تعیین آستانه دمایی جهت استخراج امواج گرمایی براساس شاخص بالدی، ابتدا میانگین و انحراف معیار داده‌های دمای حداکثر روزانه هر ایستگاه به صورت جداگانه به کمک روابط ۱ و ۲ محاسبه شد:

$$M = \frac{\sum Xi}{n} \quad \text{رابطه (۱)}$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (Xi - m)^2}{n}} \quad \text{رابطه (۲)}$$

در این رابطه  $m$  میانگین داده‌ها و  $Xi$  دمای حداکثر ایستگاه‌ها و  $n$  تعداد روز است. و در رابطه ۲،  $\sigma$  انحراف معیار دمای حداکثر روزانه ایستگاه-هاست که برای کل روزهای آماری محاسبه شده

است. سپس این رابطه  $T_{mean \max \text{ daily}} + 1.5 \text{ sd}_{\max \text{ daily}}$  به صورت نقطه‌ای برای هر ایستگاه محاسبه گردید و یک آستانه بدست آمد. و در نهایت روزهای که آمار دمای حداکثر آنها مساوی یا بیشتر از آستانه موردنظر باشد و چند روز متوالی ادامه داشته باشد به‌عنوان روزهای گرم و دارای موج گرم انتخاب شدند.

ب- شاخص صدک ۹۵: زمانی که دمای حداکثر روزانه هر ایستگاه مساوی و بزرگتر از صدک ۹۵ داده‌های روزانه آن ایستگاه باشد و حداقل ۲ روز تداوم داشته باشد، موج گرم تعریف می‌کند.

جهت ارزیابی توانایی مدل نیز داده‌های دمای حداکثر مشاهداتی و مدل‌سازی شده برای دوره پایه مورد مقایسه قرار گرفت. و خروجی آن نشان داد که داده‌های مشاهداتی و مدل برای دوره پایه صرف نظر از اختلاف بسیار جزئی که با هم دارند، کاملاً بر هم منطبق هستند (شکل ۲) و این امر مناسب بودن مدل جهت شبه‌سازی داده‌های دمای حداکثر روزانه در سال‌های آتی را نشان می‌دهد. با توجه به تعداد زیاد ایستگاه‌های مورد مطالعه، در اینجا به تعداد محدودی از این ایستگاه‌ها اشاره شده است. در نهایت براساس سناریوهای مختلف، مقدار دمای حداکثر روزانه برای ۹۰ ایستگاه طی دوره آماری ۲۰۴۵-۲۰۱۶ شبه‌سازی گردید.

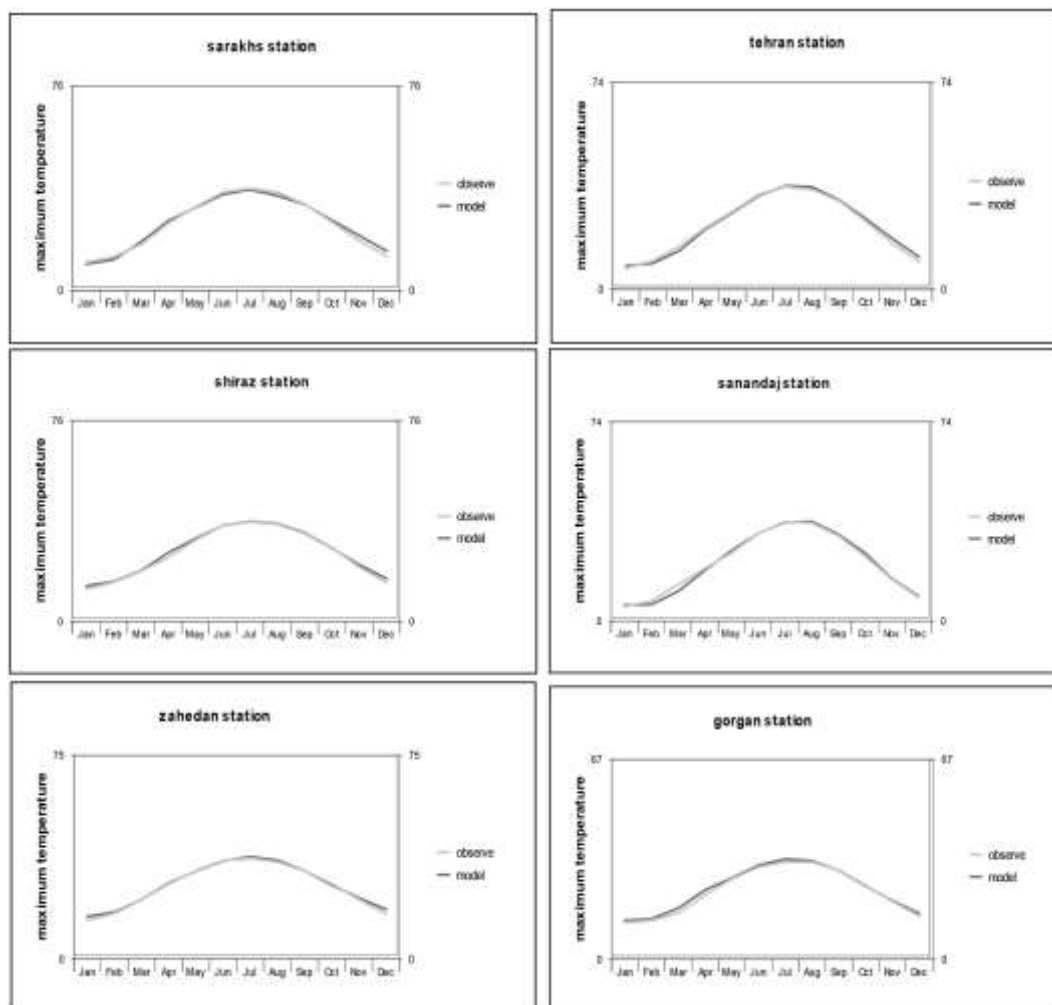
### روش‌های تعیین آستانه دمایی

جهت تعیین آستانه دمایی موج گرما طی دوره گرم سال در شرایط موجود و آینده، از ۳ شاخص جهانی (صدک ۹۵، بالدی، سازمان هواشناسی جهانی (WMO)) استفاده گردید که در ادامه اشاره خواهد شد. لازم به ذکر است که چون خروجی شاخص فومیکی (NTD) به صورت ضریب می‌باشد جهت تعیین آستانه از این شاخص استفاده نگردید.

الف- شاخص بالدی:  $T_{\max \text{ daily}} \geq T_{\text{mean max}} + 1.5 \text{ sd}_{\max \text{ daily}}$

رستری<sup>۲</sup> با مقادیر عرض و طول جغرافیایی، مدل ارتفاعی<sup>۳</sup> ایران با دقت ۹۰ متر و همچنین از مقدار همبستگی بین آستانه دمایی با ۳ عامل ارتفاع، عرض و طول جغرافیایی استفاده گردید. سپس به تحلیل مکانی تغییرات آینده آستانه دمایی و مقایسه آن با شرایط پایه براساس سناریوی مختلف RCP 2.6، RCP 4.5 و RCP 8.5 پرداخته شد. لازم به ذکر است نتایج این تحقیق تنها تابع عرض، طول جغرافیایی و ارتفاع می‌باشد در حالی- که پارامترهای دیگری مانند توده‌های هوا، رطوبت، جهت دامنه‌ها و تغییر کاربری اراضی نیز می‌تواند در تعیین آستانه دمایی نقش مهمی داشته باشند.

پ-شاخص سازمان هواشناسی جهانی: موج گرما را بر این مبنا تعریف می‌کند که دمای حداکثر روزانه یک ایستگاه برای ۵ روز متوالی به میزان ۵ درجه سانتیگراد بالاتر از میانگین بلندمدت باشد. بعد از تعیین آستانه نهایی برای هر ایستگاه در طی دوره گرم سال در شرایط موجود و آینده براساس شاخص‌های جهانی، در محیط ArcGIS با استفاده از روش ترکیبی IDW<sup>۱</sup> و رگرسیون با در نظر گرفتن عرض جغرافیایی، طول جغرافیایی و ارتفاع (به‌عنوان ۳ عامل مهم و تاثیرگذار در مقدار آستانه دمایی موج گرما)، آستانه دمایی برای کل کشور درونیابی شد. جهت انجام این کار از لایه



شکل ۲: مقایسه دمای حداکثر مشاهداتی و مدل‌سازی شده برای دوره پایه

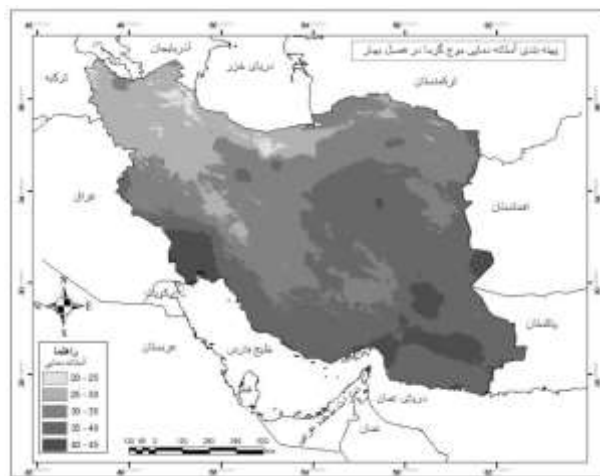
## نتایج

## تعیین آستانه دمایی موج گرما در دوره گرم سال در شرایط موجود و آینده

## - فصل بهار

براساس شکل ۳ آستانه دمایی در فصل بهار بین  $45^{\circ}$  -  $20^{\circ}$  سلسیوس متغیر است. کمترین آستانه ( $25^{\circ}$  -  $20^{\circ}$  سلسیوس) مربوط به قسمت‌های بسیار کوچکی از شمال غرب و شمال کشور

می‌شود و بیشترین آستانه ( $45^{\circ}$  -  $40^{\circ}$  سلسیوس) مربوط به قسمت‌های از استان خوزستان و جنوب شرق می‌باشد. بیشترین مساحت کشور در این فصل به ترتیب دارای آستانه‌های  $40^{\circ}$  -  $35^{\circ}$ ،  $35^{\circ}$  -  $30^{\circ}$  و  $30^{\circ}$  -  $25^{\circ}$  سلسیوس می‌باشد (شکل ۳).

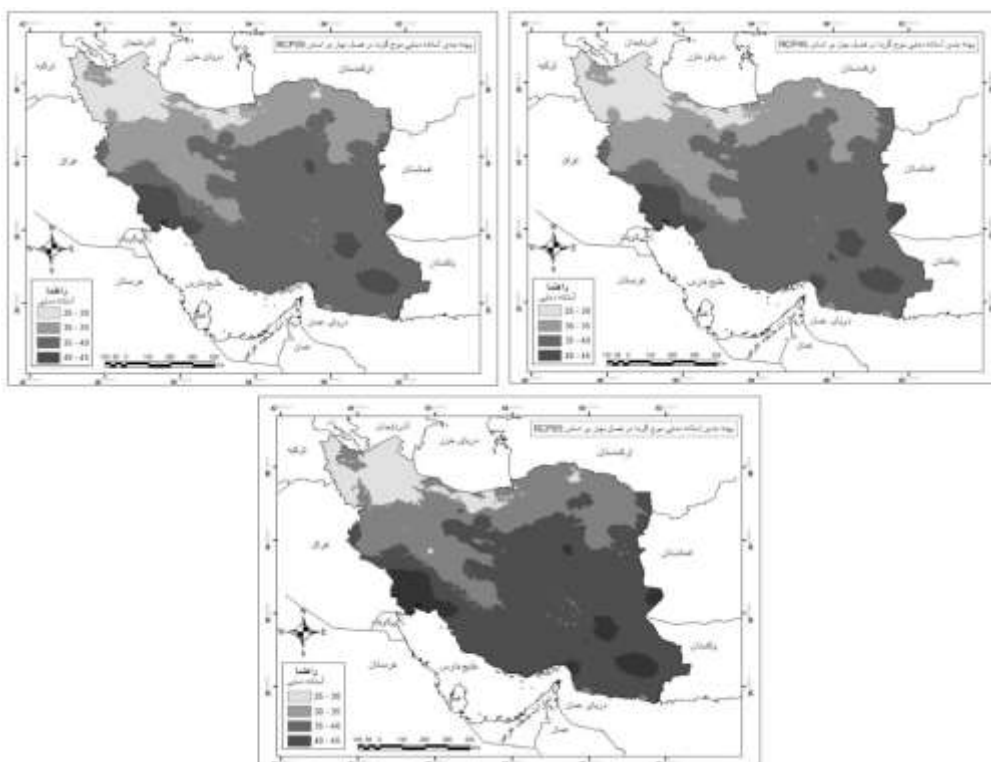


شکل ۳: پهنه‌بندی آستانه دمایی موج گرما در فصل بهار طی دوره مورد مطالعه (۲۰۱۵ - ۱۹۸۶)

تعلق دارد. به‌طور کلی در این فصل آستانه دمایی از تفاوت مکانی زیادی برخوردار است زیرا در این فصل هنوز بادهای غربی و سیستم‌های متعدد گرم و سرد در ایران حاکم هستند (علیچانی، ۱۳۹۱) و از جهتی عوامل محلی مانند ارتفاع و عرض جغرافیایی نقش مهمی در مقدار آستانه دمایی دارند (منتظری و مسعودیان، ۱۳۸۹؛ اعتمادیان و دوستان، ۱۳۹۶). براساس شکل‌های ۴ و ۵ هر ۳ سناریو به نحو تقریباً یکسان و با اختلاف بسیار جزئی، افزایش آستانه دمایی  $40^{\circ}$  -  $35^{\circ}$  سلسیوس و تغییر پهنه‌های دمایی نسبت به شرایط موجود را در سراسر کشور نشان می‌دهند (شکل ۴).

براساس RCP های مختلف، در فصل بهار حد پایین آستانه دمایی طی ۳۰ سال آینده ( $2045$  -  $2016$ ) نسبت به وضع موجود، تقریباً ۵ درجه افزایش یافته است علاوه بر این مرز پهنه‌های آستانه دمایی نیز تغییر محسوسی می‌یابد. به طوری که پهنه‌های دارای آستانه بالا به سمت عرض‌های متوسط و بالا در حال پیشروی است. در شکل ۴ مشاهده می‌شود که در سال‌های آتی قسمت اعظم کشور (بالای ۵۰ درصد) دارای آستانه  $40^{\circ}$  -  $35^{\circ}$  سلسیوس می‌باشد، این امر خود نشان دهنده افزایش دما است که می‌تواند باعث آسیب‌پذیری مناطق در زمینه‌های مختلف شود. از لحاظ مکانی نیز بالاترین آستانه همانند وضع موجود به قسمت‌های از استان خوزستان

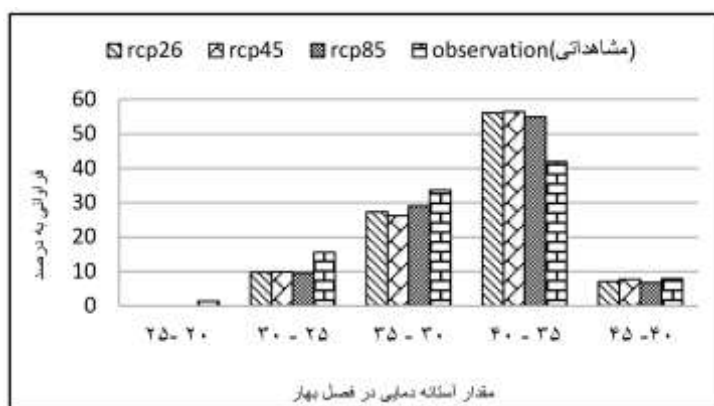




شکل ۴: پهنه‌بندی آستانه دمایی موج گرما در فصل بهار طی ۳۰ سال آینده (۲۰۱۶-۲۰۴۵)

۳۵ درجه تقریباً با ۵۵ درصد دارای بالاترین مساحت می‌باشد. همچنین مقایسه‌ی مقادیر آستانه دمایی موج گرما در شرایط موجود و آینده نشان داد که دامنه دمایی ۲۵ - ۲۰ درجه در سال‌های آتی وجود نخواهد داشت و این خود نشان دهنده یک نوع جهش افزایشی در آستانه دمایی در ۳۰ سال آینده می‌باشد (شکل ۵).

با محاسبه میزان درصدی که هرکدام از مقادیر آستانه دمایی در فصل بهار، از مساحت کشور به خود اختصاص می‌دهند مشخص گردید که در شرایط موجود به ترتیب دامنه ۴۰ - ۳۵ درجه با ۴۳ درصد و دامنه ۳۵ - ۳۰ درجه با ۳۳ درصد بالاترین مساحت را به خود اختصاص داده‌اند ولی در آینده براساس RCPهای مختلف دامنه ۴۰ -

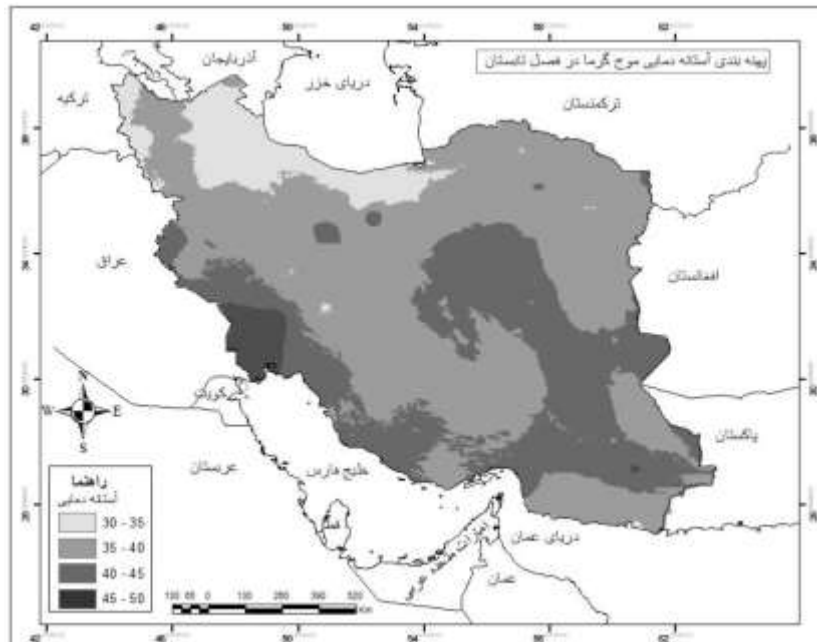


شکل ۵: فراوانی مقادیر آستانه دمایی در فصل بهار

## فصل تابستان

همان‌طور که شکل ۶ نشان می‌دهد در فصل تابستان آستانه دمایی کشور بین  $30^{\circ}$  -  $50^{\circ}$  سلسیوس متغیر است. کمترین مقدار مربوط به قسمت‌های از شمال و شمال غرب ( $30^{\circ}$  -  $35^{\circ}$  سلسیوس) و بیشترین مربوط به استان خوزستان

( $45^{\circ}$  -  $50^{\circ}$  سلسیوس) می‌باشد. در این فصل قسمت بسیار زیادی از مساحت کشور (تقریباً ۶۰ درصد) دارای آستانه دمای بین  $40^{\circ}$  -  $35^{\circ}$  سلسیوس است.



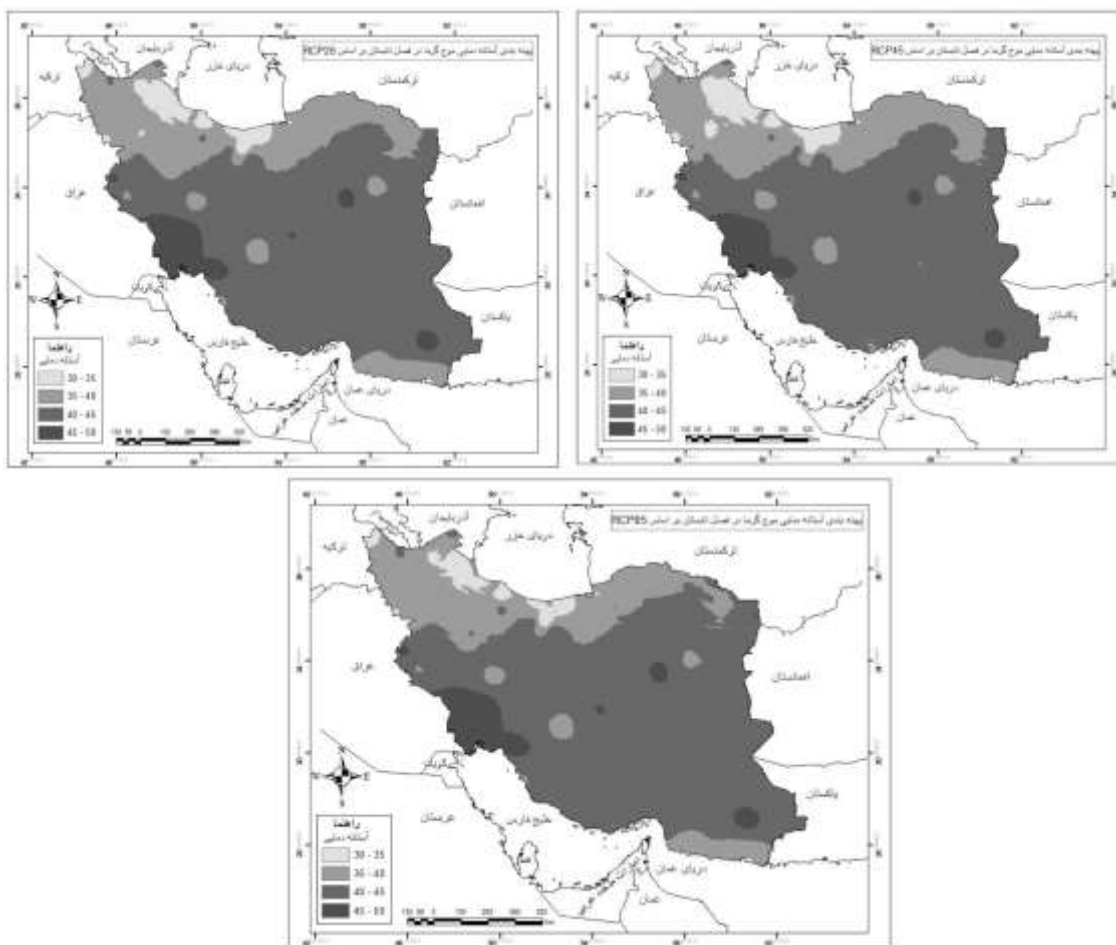
شکل ۶: پهنه‌بندی آستانه دمایی موج گرما در فصل تابستان طی دوره مورد مطالعه (۲۰۱۵ - ۱۹۸۶)

براساس سناریوهای RCP، در سال‌های آتی هر چند آستانه دمایی در فصل تابستان نسبت به شرایط موجود تغییر نمی‌کند و در همان رنج قرار دارد ولی نکته‌ی قابل توجه این است که در حال حاضر در تابستان قسمت اعظم از کشور دارای آستانه بین  $40^{\circ}$  -  $35^{\circ}$  سلسیوس است ولی در  $30^{\circ}$  -  $45^{\circ}$  ساله آینده با توجه به افزایش دما، این رنج به  $45^{\circ}$  -  $40^{\circ}$  درجه می‌رسد. به عبارتی هرچند حد پایین و حد بالا مقادیر آستانه دمایی در آینده نسبت به شرایط موجود تغییر نمی‌کند ولی با توجه به گرمایش جهانی، مقادیر آستانه دمایی در کشور بالا می‌رود و تقریباً ۷۰ درصد کشور آستانه بالای  $40^{\circ}$  درجه را تجربه می‌کند. همان‌طور که شکل ۷

خود تاییدی بر این امر می‌باشد. از لحاظ مکانی نیز هر ۳ سناریو نشان دهنده گسترش آستانه  $45^{\circ}$  -  $40^{\circ}$  در اکثر مناطق کشور و کاهش آستانه  $35^{\circ}$  -  $30^{\circ}$  و محدود شدن آن به قسمت‌های بسیار کوچکی از شمال و شمال غرب می‌باشد. و همچنین مشخص گردید که از میان مناطق مختلف، استان خوزستان همانند وضع موجود بالاترین آستانه ( $45^{\circ}$  -  $50^{\circ}$  درجه) را به خود اختصاص داده است. علاوه بر موارد ذکر شده، براساس سناریوهای مختلف پهنه‌های دمایی که مقادیر آستانه دمایی بالا را دارا می‌باشند در حال پیشروی به سمت عرض‌های بالا هستند. به‌طور کلی آستانه دمایی در تابستان نسبت به فصل بهار

در همه جا عامل کنترل کننده دما، تابش خورشید می‌باشد (علیچانی، ۱۳۹۱). از جهتی وجود این پدیده باعث می‌شود که نقش عوامل محلی مانند ارتفاعات و عرض جغرافیایی در مقدار آستانه دمایی در دوره گرم سال محسوس نباشد و تقریباً همه جای ایران به دلیل قرارگیری در زیر نفوذ هوای پایدار پرفشار جنب حاره‌ای و آسمان صاف، دماهای نسبتاً بالا را تجربه کند.

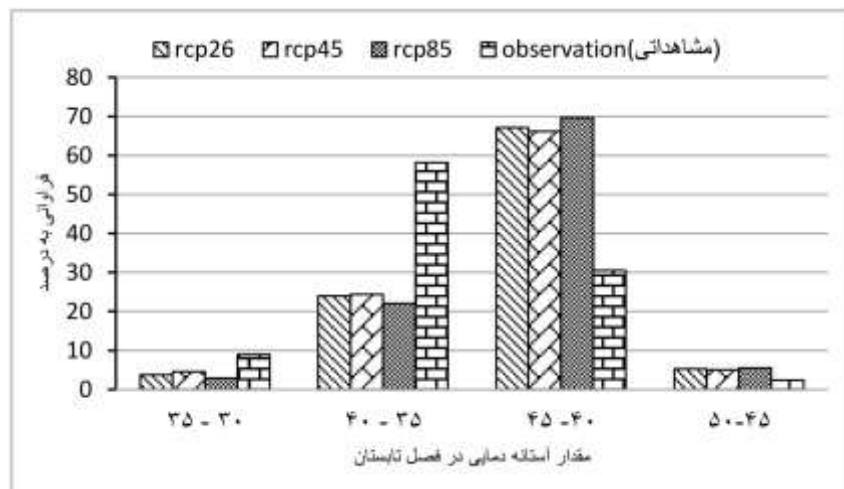
از یکنواختی نسبی برخوردار است، یکی از علل این یکنواختی را می‌توان استقرار پرفشار جنب حاره در فصل گرم دانست که تمام ایران را از جنوب کوه‌های البرز تحت استیلای خود در می‌آورد و مانع ورود توده‌های هوا از بیرون می‌گردد. در واقع در این زمان به دلیل نزول دائمی هوا، هیچ نوع حرکت صعودی انجام نمی‌گیرد و تمام ایران از آسمان صاف و بدون ابر برخوردار است و



شکل ۷: پهنه‌بندی آستانه دمایی موج گرما در فصل تابستان طی ۳۰ سال آینده (۲۰۱۶-۲۰۴۵)

دامنه ۴۵ - ۴۰ درجه با ۷۰ درصد در آینده بیشترین مساحت کشور را به خود اختصاص می‌دهند (شکل ۸).

با بررسی فراوانی مقادیر آستانه دمایی در فصل تابستان مشخص گردید که دامنه ۴۰ - ۳۵ درجه سلسیوس تقریباً با ۶۰ درصد در شرایط موجود و



شکل ۸: فراوانی مقادیر آستانه دمایی در فصل تابستان

در دوره گرم سال بر اساس RCP های مختلف در اکثر ایستگاه‌های مورد مطالعه سیر افزایشی در مقدار آستانه دمایی دیده می‌شود به طوری که تنها در تعداد محدودی از ایستگاه‌های سواحل جنوبی و همچنین تعدادی ایستگاه پراکنده در دیگر نقاط کشور، آستانه دمایی موج گرما کاهش می‌یابد. اما در بعضی از مکان‌ها مانند استان خراسان رضوی در مناطق مختلف آن نوع تغییرات متفاوت می‌باشد به طوری که هر دو نوع تغییر (کاهش و افزایش) در آن دیده می‌شود. این تفاوت تغییرات در یک محدوده ممکن است به علت ماهیت منطقه یا به دلیل خطا مدل و ... باشد که خود نیاز به مطالعه و بررسی دقیق دارد. نکته بسیار مهم در این تصاویر، تغییرات و افزایش زیاد مقدار آستانه دمایی طی دوره گرم سال در ایستگاه‌های واقع شده در عرض‌های متوسط و بالا نسبت به شرایط موجود می‌باشد به طوری که این تغییرات در بهار به ۴-۲ و در تابستان به ۶-۴ درجه سلسیوس می‌رسد. براساس خروجی مدل‌های اقلیمی جهانی و منطقه‌ای و گزارش IPCC مناطقی که در عرض‌های متوسط و بالا قرار دارند بیشترین افزایش دما را تجربه خواهند کرد (IPCC, 2013).

با توجه به مطالب گفته شده مقدار آستانه‌ی دمایی موج گرما تحت تاثیر ویژگی‌های مکانی و زمانی هر منطقه می‌تواند متفاوت باشد. در نتیجه استفاده از یک دمای واحد به عنوان آستانه در یک کشور بزرگ مناسب نمی‌باشد (Kent and et al, 2014; Anderson and Bell, 2009). و از سوی هر چند مقادیر آستانه دمایی در برخی از نقاط ساحلی در بهار و تابستان نسبت به سایر مناطق کشور از رنج کمتری برخوردار است. ولی افزایش یک درجه‌ی این آستانه در این نواحی می‌تواند برابری کند با چند درجه افزایش آن در نواحی داخلی ایران و حتی می‌تواند آنها را در یک ردیف قرار دهد. زیرا رطوبت نسبی بالای این مناطق می‌تواند از لحاظ زیستی و آسایش شرایط بسیار دشواری را تحمیل کند.

#### تغییرات آستانه دمایی در ۳۰ سال آینده

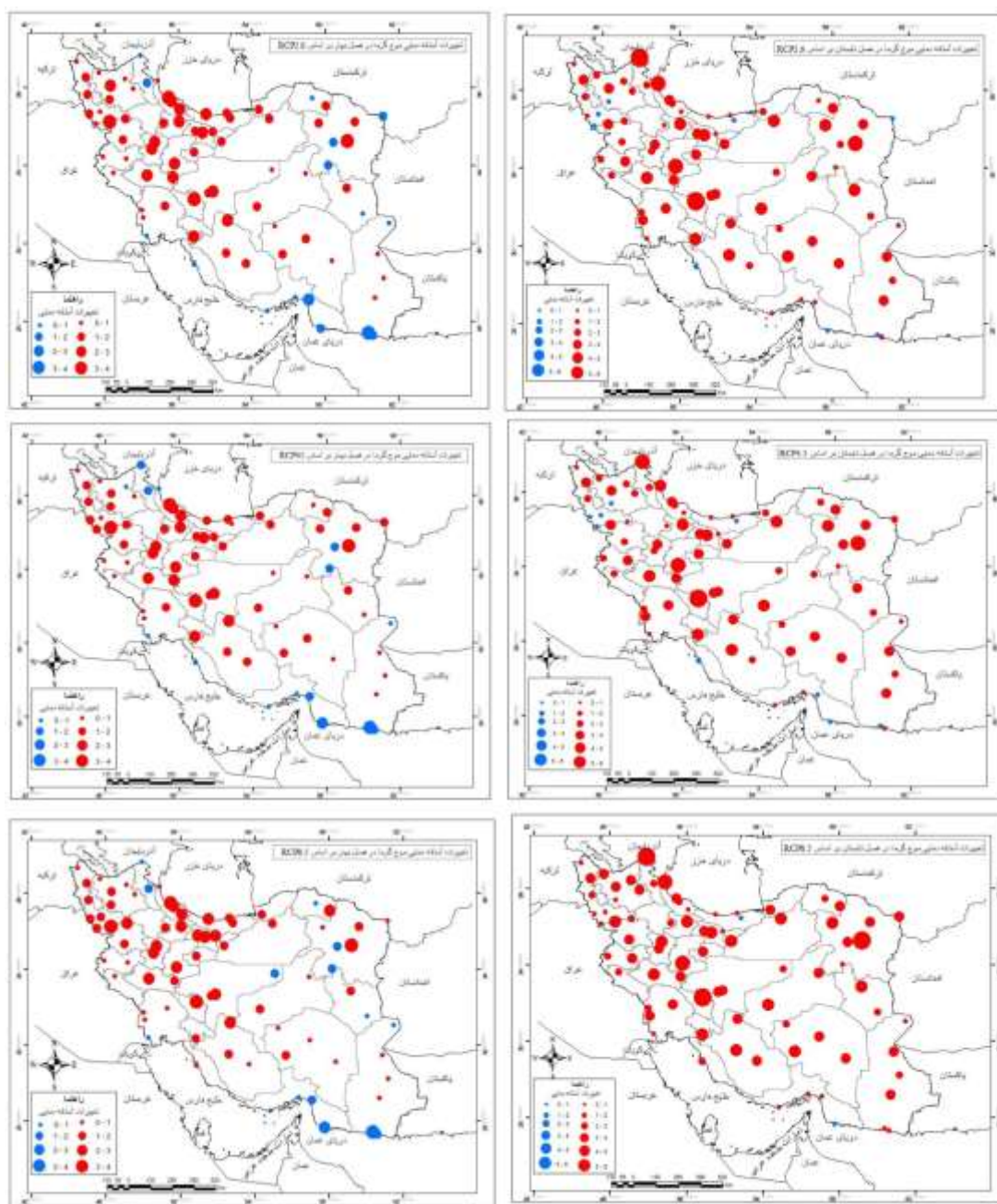
تغییرات مقادیر آستانه دمایی طی ۳۰ سال آینده (۲۰۴۵ - ۲۰۱۶) در فصل بهار و تابستان نسبت به وضع موجود در ایستگاه‌های مورد مطالعه در شکل ۹ دیده می‌شود. در این تصاویر رنگ قرمز علامت بالا رفتن آستانه دمایی و رنگ آبی علامت کاهش آن می‌باشد. همان‌طور که مشاهده می‌شود

طبیعتاً این افزایش دما بر روی بالا رفتن مقادیر آستانه دمایی این مناطق اثرات انکارناپذیری می‌گذارد (شکل ۹).

### نتیجه‌گیری

امروزه امواج گرمایی به‌عنوان یک مخاطره رایج در جهان بر محیط زیست، بخش‌های اجتماعی-اقتصادی و از جمله منابع آب، کشاورزی و امنیت غذایی، سلامت انسان، اکوسیستم‌های زمینی و تنوع زیستی (گوناگونی زیستی) و مناطق ساحلی تاثیر می‌گذارد (Gulacha and Mulungu, 2017). از سویی انتظار می‌رود که این پدیده حدی با تغییر آب و هوا و گرمایش جهانی، فراوان‌تر و شدیدتر و پرتداوم‌تر از گذشته رخ دهد. بنابراین بررسی و پیش‌بینی زمان رخداد این پدیده و ویژگی‌های آن امری بسیار ضروری است. مطالعه آستانه دمایی موج گرما به‌عنوان یکی از راه‌های شناخت این پدیده، در شرایط موجود و سال‌های آتی نشان داد که مقادیر آستانه دمایی در دوره گرم سال در زمان‌ها و در مکان‌های مختلف کشور یکسان نمی‌باشد و از رنج‌های متفاوتی برخوردار است. در شرایط موجود آستانه دمایی در فصل بهار بین  $45^{\circ}$  -  $20^{\circ}$  و در فصل تابستان بین  $50^{\circ}$  -  $30^{\circ}$  سلسیوس متغیر است. براساس سناریوی مختلف (RCP 8.5, RCP 4.5, RCP 2.6) طی سال‌های آتی (۲۰۴۵-۲۰۱۶)، حد پایین آستانه دمایی در فصل بهار نسبت به وضع موجود تقریباً ۵ درجه افزایش یافته است و علاوه بر این مرز پهنه‌های دمایی تغییر محسوس می‌یابد. به‌طوری که پهنه‌های دارای آستانه بالا به سمت عرض‌های بالا و متوسط پیشروی می‌کنند. در فصل تابستان نیز هر چند حد پایین و بالای آستانه دمایی نسبت

به وضع موجود تغییر نمی‌کند اما نکته‌ی قابل توجه این است که در حال حاضر در تابستان قسمت اعظم از کشور دارای آستانه بین  $40^{\circ}$  -  $35^{\circ}$  سلسیوس است ولی در ۳۰ ساله آینده با توجه به افزایش دما، این رنج به  $45^{\circ}$  -  $40^{\circ}$  درجه می‌رسد. به‌طوری‌که تقریباً ۷۰ درصد کشور آستانه بالای ۴۰ درجه را تجربه می‌کند. از لحاظ مکانی نیز آستانه دمایی در فصل بهار از تفاوت مکانی بیشتر و در تابستان تقریباً از یکنواختی نسبی برخوردار است که علت آن را می‌توان وجود پرفشار جنب حاره دانست که تمام ایران را تا جنوب کوه‌های البرز تحت استیلای خود در می‌آورد و از جهتی وجود این پدیده باعث می‌شود که نقش عوامل محلی مانند ارتفاعات، عرض جغرافیایی در مقدار آستانه دمایی چندان محسوس نباشد. همچنین نتایج نشان می‌دهد که بالاترین آستانه دمایی موج گرما در دوره گرم سال مربوط به استان خوزستان و کمترین آستانه مربوط به قسمت‌های از نوار شمالی و شمال غرب کشور می‌باشد. بررسی تغییرات آستانه دمایی نیز نشان داد که ایستگاه‌های واقع در عرض‌های متوسط و بالا در دوره گرم سال در سال‌های آتی نسبت به وضع موجود، بالاترین تغییرات و افزایش را در مقدار آستانه دمایی خواهند داشت. این تغییرات در بهار به ۴ - ۲ درجه و در تابستان به ۶ - ۴ درجه سلسیوس می‌رسد. نتایج این تحقیق حاصل اجرای یکی از مدل‌های گردش عمومی جو می‌باشد و ممکن است سایر مدل‌ها نتایج دیگری را نشان دهند. بنابراین جهت رسیدن به نتایج دقیق‌تر در این زمینه، می‌توان مدل‌های دیگر را اجرا و نتایج آنها را با هم مقایسه کرد.



شکل ۹: تغییرات آستانه دمایی موج گرما در دوره گرم سال طی ۳۰ سال آینده (۲۰۱۶ - ۲۰۴۵)

پانوشت

Inverse Distance Weighting  
2-Raster

3-Dem

منابع

ایران، فصلنامه جغرافیا و توسعه، شماره ۳۳، ص ۳۹-۵۴.

اسمعیل نژاد، م.، خسروی، م.، علیجانی، ب. و مسعودیان، س.ا.، ۱۳۹۲. شناسایی امواج گرمایی

- علیجانی، ب.، ۱۳۹۱. آب و هوای ایران، انتشارات پیام نور، تهران، ص ۱-۲۲۱.
- قویدل رحیمی، ی.، سپه وند، ر. و فرج زاده اصل، منوچهر.، ۱۳۹۳. شناسایی و تحلیل همید امواج گرمایی فرین غرب ایران، پژوهشهای دانش زمین، شماره ۱۸، ص ۱-۱۰.
- منتظری، م. و مسعودیان، س.ا.، ۱۳۸۹. شناسایی الگوهای فرارفت دمایی ایران در سال‌های سرد، پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، شماره ۷۴، ص ۷۹-۹۴.
- مسعودیان، س.ا.، ۱۳۹۱. آب و هوای ایران، انتشارات شریعه توس، اصفهان، ۲۶۴ ص.
- مولودی، گ.، خورانی، ا. و مرادی، ع.، ۱۳۹۵. اثر تغییر اقلیم بر امواج گرمایی سواحل شمالی خلیج فارس، نشریه تحلیل فضایی مخاطرات محیطی، شماره ۱، ص ۱-۱۴.
- Anderson, B.G. and Bell, M.L., 2009. Weather-Related Mortality: how heat, cold, and heat wave affect mortality in the United States: *Epidemiology*, v. 20(2), p. 205-213. doi:10.1097/EDE.0b013e318190ee08.
- Ashiq, M., Zhao, C., Ni, J. and Akhtar, M., 2010. GIS-based high-resolution spatial interpolation of precipitation in mountain–plain areas of Upper Pakistan for regional climate change impact studies: *Theoretical and Applied Climatology*, v. 99, p. 239-253.
- Arora, V.K., Scinocca, J.F., Boer, G.J., Christian, J.R., Denman, K.L., Flato, G.M., Kharin, V.V., Lee, W.G. and Merryfield, W.J., 2011. Carbon emission limits required to satisfy future representative concentration pathways of greenhouse gases: *Geophysical Research Letters*, v. 38(5), p. 1-6.
- اسدی، ا. و مسعودیان، س.ا.، ۱۳۹۳. بررسی همید گرمای فرین ایران بر پایه الگوهای ضخامت جو، پژوهشهای دانش زمین، شماره ۱۷، ص ۶۳-۷۵.
- اعتمادیان، ا. و دوستان، ر.، ۱۳۹۶. تحلیل فضایی امواج گرمایی ایران، نشریه تحلیل فضایی مخاطرات محیطی، شماره ۱، ص ۱۷-۳۲.
- براتی، غ. و موسوی، ش.، ۱۳۸۴. جابجایی مکانی موج‌های زمستانی گرما در ایران، فصلنامه جغرافیا و توسعه، شماره ۵، ص ۴۱-۵۲.
- دارند، م.، ۱۳۹۳. شناسایی و تحلیل زمانی - مکانی امواج گرمایی ایران زمین، فصلنامه جغرافیا و توسعه شماره ۳۵، ص ۱۶۷-۱۸۰.
- رضائی، م.، نهتانی، م.، مقدم نیا، ع.، آبکار، ع. و رضائی، م.، ۱۳۹۵. پیش‌بینی بلندمدت بارش با استفاده از مدل ریز مقیاس نمایی آماری، نشریه آب و خاک، شماره ۱، ص ۱۱۵-۱۲۷.
- Bardosy, A. and Plate, E.J., 1992. Space-time model of daily rainfall using atmospheric circulation patterns: *Water Resources Research*, v. 28(5), p. 1247-1259.
- Clark, C.O., Cole, J.E. and Webster, P.J., 2000. Indian ocean SST and Indian summer rainfall: Predictive relationships and their decadal variability: *Journal of Climate*, v. 13, p. 2503-2519.
- Diaz, J., Cristina, L. and Aurelio, T., 2006. A Critical comment on heat Wave response plans: *European Journal of publication health*, v. 16, p. 600-617.
- Fowler, H.J., Blenkinsop, S. and Tebaldi, C., 2007. Linking climate change modelling to impacts studies: recent advances in downscaling techniques for hydrological modelling: *International Journal of Climatology*, v.

- 27(12), p. 1547-1578. <http://dx.doi.org/10.1002/Joc.1556>.
- Gonzalez, P., Neilson, R.P., Lenihan, J.M. and Drapek, R.J., 2010. Global patterns in the vulner ability of ecosystems to vegetation shifts due to climate change: *Global Ecology and Biogeography*, v. 19(6), p. 755-768.
- Gu, H., Wang, G., Yu, Z. and Mei, R., 2012. Assessing future climate changes and extreme indicators in east and south Asia using the RegCM4 regional climate model: *Climatic Change*, v. 114 (2), p. 301-317. <http://dx.doi.org/10.1007/s10584-012-0411-y>.
- Gulacha, M.M. and Mulungu, D.M., 2017. Generation of climate change scenarios for precipitation and temperature at local scales using SDSM in Wami-Ruvu River Basin: *Physics and Chemistry of the Earth*, v. 100, p. 62-72.
- IPCC, 2013. *Climate Change 2013: The Physical Science Basis, Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovern-mental Panel on Climate Change Intergovernmental Panel on Climate Change* Cambridge, United Kingdom and New York, USA.
- IPCC, 2014. *Climate Change 2014: Synthesis Report, Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.))*, IPCC, Geneva, Switzerland, 151 p.
- Jing, Z., Dan, H., Xie, Y., Yong, L., Yang, Y., Hu, S., Guo, H., Lei, Z. and Rui, Z., 2015. Integrated SWAT model and statistical downscaling for estimating streamflow response to climate change in the Lake Dianchi watershed, China: *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, v. 29(4), p. 1193-1210.
- Jinghong, G., Yunzong, S., Qiyong, L., Maigeng, Z., Yaogui, L. and Liping, L., 2015. Impact of extreme high temperature on mortality and regional level definition of heat wave: A multi-city study in China: *Science of the Total Environment*, v. 505, p. 535-544.
- Kent, S., McClure, L., Zaitchik, B., Smith, T. and Gohlke, J., 2014. Heat wave and health outcomes in Alabama(USA): the importance of heat wave definition: *Environ Health Perspect*, v. 122, p.151-158.
- Keggenhoff, I., Elizbarashvili, M. and King, L., 2015. Heat wave events over Georgia since1961, *Climatology, Changes and Severity: Climate*, v. 3, p. 308-328.
- Lowe, D., Ebi, K.L. and Forsberg, B., 2011. Heatwave early warning systems and adaptation advice to reduce human health consequences of heatwaves: *Int J Environ Res Public Health*, v. 8, p. 4623-4648.
- Liu, G., Zhang, L., He, B., Jin, X., Zhang, Q., Razafindrabe, B. and You, H., 2015. Temporal changes in extreme high temperature, heat waves and relevant disasters in Nanjing metropolitan region, China: *Natural Hazards*, v. 76, p. 1415-1430. DOI 10.1007/s11069-014-1556-y.
- Mastrandrea, M.D., Tebaldi, C., Snyder, C.W. and Schneider, S.H., 2011. Current and future impacts of extreme events in California: *Climate Change Center*, p. 10943-10970. <http://dx.doi.org/10.1007/s10584-011-0311-6>.
- Mahmood, R. and Babel, M.S., 2014. Future changes in extreme temperature events using the statistical downscaling model (SDSM) in the trans-boundary region of the Jhelum river basin:



- Weather and Climate Extremes, v. 5(6), p. 56-66.
- Pascal, M., 2011. Title An Analysis of the Mortality Risks Associated with Heat and Heat Waves in Ireland, to Assist in Planning for Climate Change: Doctoral Thesis, Dublin Institute of Technology.
- Rusticucci, M., Kyselý, G. and Lhotka, O., 2015. Long-term variability of heat waves in Argentina and recurrence probability of the severe 2008 heat wave in Buenos Aires: Theoretical and Applied Climatology, v. 124, p. 679-689. DOI: 10.1007/s00704-015-1445-7.
- Singh, A.K., Zehe, E. and Bardossy, A., 2005. Downscaling Atmospheric Circulation for Monsoon Rainfall Forecasting in Anascatchment, India: Regional Hydrological Impacts of Climatic Change—Hydroclimatic Variability, p. 291 -298.
- Samadi, S., Ehteramian, K. and Sari Sarraf, B., 2011. SDSM ability in simulate predictors for climate detecting over Khorasan province: Procedia Social and Behavioral Sciences, v. 19, p. 741-749.
- Sanchez, E., Gallardo, C., Gaertner, M.A., Arribas, A. and Castro, M., 2004. Future climate extreme events in the Mediterranean simulated by a regional climate model: a first approach: Global and Planetary Change, v. 44(1-4), p. 163-180.
- Wolf, T. and McGregor, G., 2013. The Development of A Heat Wave Vulnerability Index for London, United Kingdom, Weather and Climate Extremes, v. 1, p. 59-68.
- Wilby, R.L., Dawson, C.W., Murphy, C., Connor, P .O. and Hawkin, S.E., 2014. the statitital Down Scaling Model – Decision Centric (SDSM-DC): conceptual basis and applications: Climate Research, v. 61(3), p. 251-268.
- Zhang, Y., You, Q., Chen, C. and Ge, J., 2016. Impacts of climate change on streamflows under RCP scenarios: A case study in Xin River Basin, China: Atmospheric Research, v. 178(179), p. 521-534.