



## بررسی پیش‌بینی نوسانات امواج گرمایی در ایستگاه جلفا با استفاده از مدل‌های اقلیمی تحت سناریو rcp8.5

فرحناز خرم‌آبادی<sup>۱\*</sup>، سیدمحمد حسینی<sup>۲</sup>، علی پناهی<sup>۳</sup>، ناهیدبافنده<sup>۴</sup>

<sup>۱</sup>دانش‌آموخته کارشناسی‌ارشد اقلیم‌شناسی شهری، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

آستادیار اقلیم‌شناسی، دانشگاه سیدجمال‌الدین اسدآبادی، اسدآباد، ایران

آستادیار گروه جغرافیا، واحد تبریز، دانشگاه آزاد اسلامی، تبریز، ایران

<sup>۴</sup>دانش‌آموخته کارشناسی‌ارشد ژئومورفولوژی در برنامه‌ریزی محیطی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۲/۴؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۴/۲۲

### چکیده

افزایش گرمایش جهانی به عنوان یکی از مسائل عمده جهانی در قرن حاضر مطرح است. به همین دلیل بررسی و ارزیابی روند آن برای انسان اهمیت دارد، از این رو شبیه‌سازی این متغیر اقلیمی برای درک آینده بشر می‌تواند راهگشا باشد. روش‌های مختلفی برای شبیه‌سازی و پیش‌بینی امواج گرمایی وجود دارد که معتبرترین آن‌ها استفاده از مدل گردش عمومی جو و GCM می‌باشد. از جمله پرکاربردترین مدل‌ها جهت ریز مقیاس کردن داده‌های GCM، مدل آماری LARS-WG می‌باشد. در تحقیق حاضر، میزان کارایی این مدل جهت ریز مقیاس نمایی امواج گرمایی در ایستگاه جلفا مورد ارزیابی قرار گرفت. برای نیل به این هدف از آماری روزانه‌ی میانگین دمای بیشینه‌ی بالای ۳۵ سانتی‌گراد درجه در دوره آماری معین استفاده شده است. و همچنین برای پیش‌بینی امواج گرمایی در سال‌های آینده از داده‌های دمای بیشینه‌ی مدل‌های (CMCC-CMS، CESM-CAM، MPI-ESM، CAN-ESM) تحت سناریو RCP8.5 برای دوره آتی ۲۰۲۲ تا ۲۰۶۵ انجام گرفت. دلیل انتخاب RCP8.5 به علت مطالعه تغییرات امواج گرمایی در بیش‌ترین شرایط انتشار گازهای گلخانه‌ای و گرمایش ناشی از آن‌ها می‌باشد. نتایج نشان داد امواج گرمایی در دوره آتی (۲۰۱۱-۲۰۰۵) نسبت به دوره پایه دارای توزیع نرمال می‌باشد؛ بنابراین این نتایج عملکرد بسیار خوب مدل LARS-WG را در شبیه‌سازی امواج گرمایی نشان می‌دهد. امواج گرمایی ایستگاه جلفا در دوره‌های پایه (۱۹۹۰-۲۰۲۰)، دارای بی‌نظمی و تغییرپذیری شدید رخدادهای سالانه امواج گرمایی، حکایت از تغییرپذیری شدید میانگین دمای سالانه و تنوع عوامل تأثیرگذار بر دمای منطقه دارد. از طرفی دیگر بر اساس پیش‌بینی مدل‌های اقلیمی MPI-ESM، CESM-CAM و CMCC-CAM دمای امواج گرمایی سالانه‌ی که در دوره گرم به‌سوی گرمای بیشتر پیش می‌روند.

**واژه‌های کلیدی:** ایستگاه جلفا، امواج گرمایی، گرمایش جهانی، GCM، LARS-WG

### مقدمه

تغییر آب‌وهوا یکی از پیچیده‌ترین چالش‌هایی است که بشر در حال حاضر با آن مواجه بوده است و در نیز با این تغییر اقلیم برخورد خواهد کرد. گزارش‌ها هیئت بین‌الدول تغییر اقلیم نشان می‌دهد که دمای زمین تا سال ۲۱۰۰ در مقایسه با سال ۱۹۹۰ حدود ۱/۴ تا ۵/۸ درجه سلسیوس افزایش خواهد یافت

گزارش هیات بین‌الدول تغییر اقلیم<sup>۲</sup>، (۲۰۰۱: ۱۳)، به‌عبارت دیگر گرمایش جهانی و تغییر اقلیم این روزها به یکی از موضوعات بحث‌برانگیز تبدیل شده است که اثر بحرانی بر سلامت افراد داشته و زندگی بشر را تهدید می‌کند. در دهه‌های اخیر، توجه ویژه‌ای به موضوع تغییر اقلیم و اثرات آن از منظرهای مختلف شده است (علیجانی و همکاران، ۱۳۹۰: ۱۰۲). افزایش

میانگین دمایی می‌تواند منجر به پیدایش روزهای گرم‌تر و موج‌های گرمایی طولانی‌تر و مکرر شود. این امر به نوبه خود می‌تواند باعث افزایش بیماری‌های مرتبط با گرما و همچون گرما زدگی، کرامپ گرمایی، ضعف گرمایی و غیره و حتی در موارد پیشرفته باعث مرگ شود (حیدری و همکاران، ۱۳۹۵: ۳۰). این اثرات احتمالاً در نواحی مختلف و بر اساس حساسیت پذیری افراد جامعه، مقدار و طول مدت مواجهه و همچنین توانایی افراد در برقراری سازش با تغییرات دمایی متفاوت خواهد بود. چنانچه افزایش دمایی همراه با افزایش رطوبت محیط برای چندین روز متوالی اتفاق بیفتد (موج گرمایی) یا دمای شب هنگام کاهش محسوس پیدا نکند، مواجهه با گرمای فوق‌العاده کشنده خواهد بود (حیدری و همکاران، ۱۳۹۸: ۳۶). در پژوهش حاضر سعی بر آن است که امواج گرمایی ایستگاه جلفا در سال‌های پایه و در سال‌های آینده تحت شرایط اقلیم مورد بررسی قرار گیرد. نتایج این پژوهش می‌تواند در زمینه مطالعات و برنامه‌ریزی آمایش سرزمین و همچنین در زمینه‌های کشاورزی و بهداشت مناسب باشد. وجود موج گرمایی که یکی از مهم‌ترین بلایای آب‌وهوایی است، تأثیرات منفی بر موجودات زنده و اکوسیستم‌های طبیعی می‌گذارد؛ بنابراین با شناخت رفتار زمانی و مکانی امواج گرمایی می‌توان هشدارها و اقدامات لازم و ضروری را در مواقع بحرانی صادر و انجام نمود و برنامه‌ریزی‌های آمایشی مناطق می‌تواند با اطلاع از این مخاطره اقلیمی پیشرفت بهتری داشته باشد و از تخریب محیط‌زیست جلوگیری نماید. آگاهی از اثرات امواج گرمایی روی انسان می‌تواند نقش مؤثری در جلوگیری از مرگ‌ومیر داشته باشد. موج‌های گرمایی مهم‌ترین بلایای جوی بوده و بررسی میزان مرگ‌ومیر سالانه ناشی از مخاطرات اقلیمی نشان می‌دهد که امواج گرمایی باعث بیش‌ترین میزان مرگ‌ومیر نسبت به دیگر رخدادهای اقلیمی می‌شوند (نوا، ۲۰۰۷). کاهش پیامدهای ناشی از امواج گرمایی، پیش‌بینی آن‌ها، کشف راه‌هایی برای کاهش تأثیرات آزاردهنده آن‌ها بر روی سلامت عمومی و شناسایی مناطق

آسیب‌پذیر در ارتباط با امواج گرمایی است (کواتس و کوپه<sup>۱</sup>، ۲۰۰۴)؛ بنابراین، امروزه یکی از مهم‌ترین نگرانی‌ها از مخاطرات اقلیمی، رخداد امواج گرمایی است که به‌طور گسترده بر جوامع انسانی تأثیرگذار است. رخداد و شدت موج‌های گرمایی در سال‌های اخیر در بخش‌هایی از جهان افزایش یافته است (دینگ<sup>۲</sup> و همکاران، ۲۰۱۰: ۱۸). در سال‌های اخیر، جهت شناخت تغییرات آب‌وهوا و پیامدهای آن در دهه‌ها و قرن‌های بعد، استفاده از مدل‌های جفت شده جوی- اقیانوسی مورد توجه قرار گرفته است. این مدل‌ها ابزار شناخته شده‌ای برای مطالعه اقلیم آینده هستند (ایکسو<sup>۳</sup>، ۱۹۹۹: ۲۳۰) و قادرند متغیرهای اقلیمی را برای دوره طولانی با استفاده از سناریوهای مختلف مدل‌سازی نمایند (عباسی و همکاران، ۱۳۸۹: ۲۱۸). معتبرترین وسیله برای شبیه‌سازی واکنش اقلیم جهانی به غلظت گازهای گلخانه‌ای، مدل‌های جهانی اقلیم (GCM<sup>۴</sup>) هستند (گزارش هیات بین‌الدول تغییر اقلیم، ۲۰۰۱: ۱۹). این مدل‌ها سناریوهای اقلیمی (از جمله داده‌های بارش و دما) آینده را برای سراسر کره زمین شبیه‌سازی می‌کنند. مدل‌های GCM متعددی وجود دارد که در کشورهای مختلف در نقاط مختلف جهان تولید و اجرا شده‌اند. به دلیل تفاوت ساختار این مدل‌ها، عموماً پیش‌بینی‌های آن‌ها حتی برای یک سناریوی انتشار یکسان متفاوت است. در نتیجه از جمله مهم‌ترین عوامل عدم قطعیت در پیش‌بینی آثار تغییر اقلیم، تفاوت پیش‌بینی‌های مدل‌های GCM مختلف است (کی<sup>۵</sup> و همکاران، ۲۰۰۹: ۹۲). هدف این مدل‌ها شبیه‌سازی همه ویژگی‌های سه‌بعدی آب‌وهوا است (هوگوویک و همکاران، ۲۰۰۰: ۷). مدل‌های گردش عمومی هیچ‌گاه نمی‌توانند مستقیماً برای پیش‌بینی‌های منطقه‌ای استفاده شوند. آن‌ها نیازمند ریزمقیاس گردانی هستند تا با اعمال رفتارهای محلی در آن‌ها پیش‌بینی‌هایشان در مقیاس محلی بهبود یابند. خروجی مدل‌های

1. Koppe & Kovats
2. Ding et al.
3. Xu
4. General climate Model
5. Kay et al.

روش‌ها روند افزایش عمومی در میانگین درجه روزانه را نشان می‌دهد.

پونگرآش<sup>۵</sup> و همکاران (۲۰۱۳:۱۱۵) در تجزیه و تحلیل تغییرات پیش‌بینی در بروز موج گرما در مجارستان، کوان<sup>۶</sup> و همکاران (۲۰۱۴: ۵۸۵۱) در استرالیا، روسو<sup>۷</sup> و همکاران (۲۰۱۶: ۱) در آفریقا با استفاده از شاخص روزانه بزرگی موج گرما (HWMID)، یان<sup>۸</sup> و همکاران (۲۰۱۷: ۳۷۹) در بررسی زمانی- مکانی امواج گرما در چین، همگی به این نتیجه رسیدند که دماهای بیشینه در دهه‌های اخیر افزایش پیدا کرده و امواج گرمایی، شدیدتر، طولانی‌تر و بیشتر شده‌اند و نیز، امواج گرمایی شدیدتری در آینده اتفاق خواهد افتاد؛ و همچنین در ایران (صادقی و همکاران، ۱۳۹۴)، اسماعیل نژاد (۱۳۹۱)، علیجانی و همکاران (۱۳۹۱)، دارند (۱۳۹۳)، منتظری (۱۳۹۰)، قویدل رحیمی (۱۳۹۰) نیز پژوهش‌هایی را بر روی تغییرات رفتار امواج گرمایی و دما انجام داده‌اند. مطالعات حاکی از آن بود که مطالعه امواج گرمایی از دیدگاه تغییرات اقلیمی در نوسانات و فراوانی برای دوره آینده در ایستگاه جلفا مورد توجه قرار نگرفته است. در این پژوهش حاضر سعی بر آن است به مقایسه دوره آماری مشاهداتی امواج گرمایی با آمار دوره پایه GCM پرداخته شود تا شدت و فراوانی امواج گرمایی در دوره‌ای پایه و آینده (۲۰۱۰-۲۰۶۰) تحت شرایط تغییر اقلیم مورد بررسی قرار می‌گیرد.

### منطقه مورد بررسی

ایستگاه جلفا، مرکز شهرستان جلفا در کنار رود ارس در ۳۸ درجه و ۵۶ دقیقه عرض شمالی و ۴۵ درجه و ۳۸ دقیقه طول شرقی از نصف‌النهار گرینویچ قرار گرفته و فاصله آن از تهران تقریباً ۸۰۰ کیلومتر است. وسعت شهرستان جلفا در حدود ۱۱۰۰ کیلومترمربع است. آخرین تقسیمات کشوری نشان می‌دهد که از وسعت ۱۰۴۶/۱ کیلومترمربعی آن

گردش عمومی را می‌توان به دو صورت دینامیک و آماری ریزمقیاس کرد (مورفی<sup>۱</sup>، ۱۹۹۹: ۸).

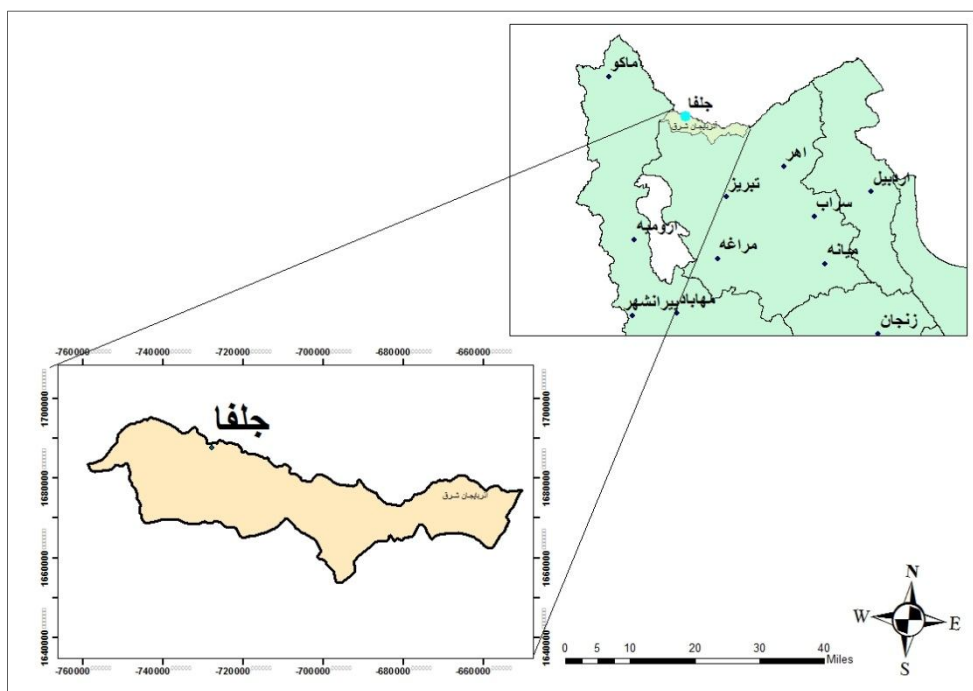
در کشور هلند (جی‌گارسن و همکاران، ۲۰۰۵) به بررسی اثرات موج گرمای تابستان ۲۰۰۳ بر مرگ‌ومیر در کشور هلند پرداخته و نتیجه گرفتند که بین ۱۴۰۰ تا ۲۲۰۰ مرگ‌ومیر در تابستان سال ۲۰۰۳ مرتبط با موج گرما مورد نظرشان بوده است. کارترین<sup>۲</sup> هایو و همکاران، ۲۰۱۰، در پژوهش خود به بررسی رخداد تغییر اقلیم، امواج گرمایی و رخداد مرگ‌ومیر در شیکاگو پرداختند. نتایج آن‌ها نشان داد که در قرن پیشرو تغییرات اقلیمی منجر به افزایش در میزان میانگین درجه حرارت و نیز افزایش دماهای فرین گرما خواهد شد، به گونه‌ای که فراوانی شدت و تداوم امواج گرمایی شدیدتر خواهد شد. رسو<sup>۳</sup> و همکاران در سال ۲۰۱۴ به بررسی مقیاس امواج گرمایی در آب‌وهوای کنونی و الگوی آن در گرمایش جهانی پرداختند. شدیدترین موج گرمای که در جهان رخ داده است را در سه مقطع زمانی از ۱۹۸۰ تا ۱۹۹۰، ۱۹۹۰ تا ۲۰۰۱ و از ۲۰۰۲ تا ۲۰۱۲ مورد بررسی قرار دادند؛ و از خروجی‌های مدل‌های ترکیبی چندگانه از مدل پروژه‌های CMIP5 تحت RCP های مختلف استفاده کرده‌اند. 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 آمریکا شمالی، آمریکا جنوبی، آفریقا و اندونزی، هر دو سال یک‌بار امواجی را مشابه با موج گرمایی تابستان ۲۰۱۰ روسیه پیش‌بینی می‌کند. حسام و همکاران<sup>۴</sup>، در سال ۲۰۱۴ در پژوهشی تحت عنوان " استفاده از sdsms و lars-wg برای شبیه‌سازی و ریزمقیاس‌نمایی بارش و دما" به مدل ریزمقیاس‌نمایی آماری برای تولید متغیرهای هواشناسی بارزش استفاده کردند. نتایج نشان داد اگرچه هردوی این دو مدل نتایج یکسانی ارائه نمی‌دهند ولی هردوی این

1. Murphy
2. Katharine
3. Russo
4. Hassan et al

5. Pongracz and el at
6. Cowan
7. Russo
8. Yan

بخش سیه‌رود به سه دهستان و ۲۸ آبادی است (ادراکی و همکاران، ۱۳۹۹: ۱۸۴).

۵۶۳/۵ کیلومترمربع متعلق به بخش مرکزی با ۲ دهستان و ۱۴ آبادی و ۵۴۳/۶ کیلومترمربع متعلق به



شکل ۱- نقشه موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

تحت بررسی، از شاخص‌های ضریب همبستگی پیرسون ( $r$ )، خطای مطلق (MEA)، مجذور میانگین مربعات خطا (RMSE)، ضریب تعیین ( $R^2$ ) و از آزمون‌های اسمیرنوف و آماره  $p$ -value و رسم نمودار استفاده گردید.

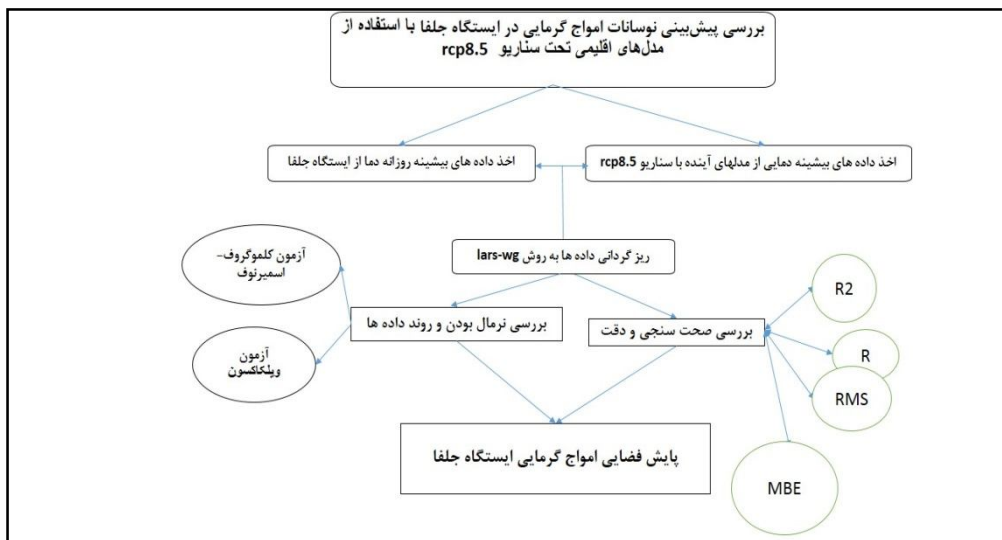
**مدل‌های مورد استفاده در پژوهش:** مدل‌ها برنامه‌های کامپیوتری پیچیده‌ای هستند که رفتار جو، اقیانوس‌ها، سطوح زمین، ابرها و دیگر اجزای کلیدی آب‌وهوا را شبیه‌سازی می‌کنند مدل‌ها شرایط آینده را در مقیاس‌های زمانی و مکانی مختلف در سطح جهان ترسیم می‌کنند. در این پژوهش برای داده‌های آینده از ۴ مدل تغییر اقلیم پروژه CMIP5 با سناریو RCP8.5 استفاده خواهد شد؛ که در جدول نام مدل‌ها آورده شده است. دلیل انتخاب RCP8.5 به علت مطالعه تغییرات امواج گرمایی در بیش‌ترین شرایط انتشار گازهای گلخانه‌ای و گرمایش ناشی از آن‌ها می‌باشد.

### مواد روش تحقیق

با توجه به روندنمای (۲)، در مرحله اول داده‌های هواشناسی موردنیاز از سازمان هواشناسی استان آذربایجان شرقی اخذ شد. پس از آماده‌سازی و کنترل کیفی داده‌ها، متغیرها به صورت روزانه وارد مدل LARS-WG شدند. در این پژوهش توانایی مدل LARS-WG در شبیه‌سازی داده‌های مشاهده‌شده در ایستگاه جلفا مورد ارزیابی قرار گرفت. این فرایند به سه مرحله تقسیم می‌شود که شامل تجزیه و تحلیل مکانی، اعتبارسنجی مدل و تولید داده‌های مصنوعی آب‌وهوا است. در ادامه این مطالعه از همه مدل‌های GCM در دسترس که شرایط استفاده در این مطالعه را داشته مورد استفاده قرار گرفته است. ارزیابی اعتبارسنجی GCM، مدل‌هایی انتخاب شده است که خروجی آن‌ها در دوره هم‌زمان با دوره مشاهداتی برای هر چهار سناریوی انتشار و برای منطقه مورد مطالعه در دسترس باشد (جدول ۲). جهت ارزیابی توانایی کلی چهار مدل در شبیه‌سازی داده‌های مشاهداتی در دوره

از این مدل‌ها در مقیاس ماهانه در دوره پایه ۱۹۵۱ - ۲۰۰۵ و برای دوره آینده در بازه زمانی ۲۰۱۱ تا ۲۰۶۵ مورد استفاده قرار گرفت.

بر این مبنا چهار مدل GCM سایت <http://www.ipcc-data.org> به صورت فایل \*.nc دریافت شدند و سپس آمار از فایل‌های \*.nc از طریق نرم‌افزار ARCMAP استخراج شد. خروجی‌های هریک



شکل ۲- روندنما روش تحقیق

جدول ۲- مدل‌های تغییر اقلیم با RCP8.5

کشور	شرح	نام مدل به صورت اختصار	ردیف
کانادا	مرکز کانادایی برای تجزیه و تحلیل‌های آب‌وهوایی	CanESM2	۱
آلمان	مدل سیستم زمین در حال اجرا در شبکه رزولوشن مختلط	MPI-ESM-MR	۲
استرالیا	سازمان پژوهشی‌های علمی و صنعتی دارای منافع مشترک در همکاری با مرکز تغییرات آب‌وهوایی کوئینزلند	CSIPO-MK3-6-0	۳
ایتالیا	مدل سیستم کربن زمینی	CMCC-CESM	۴

شبه‌سازی‌ها در ماه‌های دوره گرم سال مقایسه خواهد شد.

$$MSE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (o_i - s_i)^2}{\sum_{i=1}^N (o_i - \bar{o})^2} \quad (3)$$

$$MAE = 1/n \sum_{i=1}^n (s_i - o_i) \quad (4)$$

$$RMSE = \left[ \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (s_i - o_i)^2 \right]^{1/2} \quad (5)$$

$$R^2 = \left[ \frac{\frac{1}{2} \sum_{i=1}^N (s_i - \bar{s}) - (o_i - \bar{o})}{\sigma_s \sigma_o} \right]^2 \quad (6)$$

$$R = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n \left( \frac{X_i - \bar{X}}{SX} \right) \left( \frac{Y_i - \bar{Y}}{SY} \right) \quad (7)$$

که در آن:  $O_i$  داده‌های دوره‌ی پایه،  $S_i$  داده‌های برآورده شده و واریانس است. مقادیر  $MAE$  و  $RMSE$  معرف دقت در بسیاری از روش‌های آماری است. هرچه این مقادیر به صفر نزدیک‌تر باشد، نشان‌دهنده دقت بالای مدل و مقدار صفر، نشان‌دهنده عدم

ارزیابی و اعتبار سنجی امواج گرمایی شبه‌سازی‌شده با داده‌های مشاهداتی، اساس مقایسه‌ها، استفاده از شاخص‌های آماری ضریب تبیین ( $R^2$ )، مجذور میانگین مربعات خطا ( $RMSE$ )، میانگین انحراف خطا ( $MBE$ ) و میانگین خطای مطلق ( $MAE$ )، امواج گرمایی است. بدین ترتیب، ارزیابی مدل LARRS-WG و ۴ مدل تغییر اقلیم CMIP5 با سناریو RCP8.5 از طریق مقایسه داده‌های روزانه واقعی سال‌های ۱۹۹۰-۲۰۲۱ به منزله دوره پایه و داده‌های تولیدشده برای همین بازه زمانی به منزله دوره آینده انجام می‌شود. سپس، مقایسه‌ها در مقیاس ماهانه و سالانه نیز تکرار می‌شود. در این مرحله، پارامتر دمایی پیش‌بینی به صورت تجمعی محاسبه و دقت

### نتایج و بحث

**ارزیابی و اعتبار سنجی امواج گرمایی ایستگاه جلفا:** در این مرحله با هدف ارزیابی صحت داده‌های هواشناسی ایستگاه جلفا و هر کدام از مدل‌های GCM، ابتدا صحت داده‌های خروجی LARS در دوره آینده (۲۰۱۱-۲۰۶۵) و پایه (۱۹۹۰-۲۰۲۰) مورد ارزیابی قرار گرفتند.

معیار ضریب تعیین (R2) به‌تنهایی نمی‌تواند بیانگر عملکرد یک مدل در شبیه‌سازی داده‌ها باشد؛ زیرا حالات زیادی وجود دارد که داده‌های شبیه‌سازی شده به‌خوبی می‌تواند الگوی رفتاری داده‌های مشاهداتی را برآورد کند و اختلاف زیادی بین داده‌های شبیه‌سازی شده و مشاهداتی وجود دارد؛ بنابراین معمولاً از معیارهای دیگر که بیانگر وضعیت اختلاف بین داده‌های شبیه‌سازی شده و مشاهداتی است، استفاده می‌شوند. بدین منظور استفاده از اعتبار سنجی امواج گرمایی با محاسبه ضریب همبستگی (p value)، میانگین مجذور انحرافات (MSD)، میانگین مطلق انحرافات (MAD) و میانگین مطلق درصد خطا (MAPE) که نشان‌دهنده دقت بالای در پیش‌بینی و تشخیص بین (امواج گرمایی آبی در طول زمان) تحت سناریو RCP8.5 به همراه چهار مدل موردنظر با استفاده از روش ریزمقیاس نمایی -LARS WG به‌ترتیب در جدول (۳) آورده شده است.

با بررسی میزان تغییرات معنی‌داری شاخص‌های موردنظر میانگین امواج گرمایی دوره پایه (ماه‌های ژوئن، آگوست و سپتامبر) در ایستگاه جلفا مشخص شد میزان تغییرات موج گرمایی افزایشی معنی‌دار را نشان می‌دهد که بیان‌کننده گرم شدن هوا می‌باشد، بدین معنی که در ایستگاه جلفا از طول فصل بهار کاسته شده و بر طول فصل تابستان افزوده گردیده است. واضح است افزایش میزان امواج گرمایی در ایستگاه مورد مطالعه سبب افزایش مصرف انرژی برای سرمایش و کاهش مصرف انرژی برای گرمایش خواهد گردید که این امر استفاده بیش از حد از وسایل سرمازا در فصل بهار و ضرورت توجه به مسائلی از قبیل شرایط آسایش دمایی انسان در طراحی و ساخت

وجود خطا در برآورد مدل است. R2 بیانگر ارتباط داده‌های دوره‌ی پایه و برآورد شده است (پناهی و خرم‌آبادی، ۱۳۹۸: ۱۵۰).

**بررسی توزیع نرمال امواج گرمایی از طریق آزمون کلموگروف-اسمیرنوف:** آزمون کلموگروف-اسمیرنوف یکی دیگر از آزمون‌هایی است که جهت سنجش تبعیت توزیع یک نمونه از توزیع خاص استفاده می‌شود. آماره این آزمون بیشترین اختلاف بین فرکانس‌های مورد انتظار و واقعی (به‌صورت قدر مطلق) اندازه‌گیری شده در دسته‌های مختلف می‌باشد.

$$D = \text{MAX} |F(X) - F^{\wedge}(X)| \quad (8)$$

که در آن فرکانس نسبی تجمعی واقعی و  $F^{\wedge}$  فرکانس نسبی تجمعی مورد انتظار است. این آزمون بر اساس حداکثر فاصله و اختلاف عمودی بین EDF و منحنی تابع توزیع تجمعی نرمال (وقتی فرض صفر این است که تابع توزیع تجمعی مربوط به توزیع نرمال است) طراحی شده است (علیجانی و افشار منش، ۱۳۹۴: ۸۰).

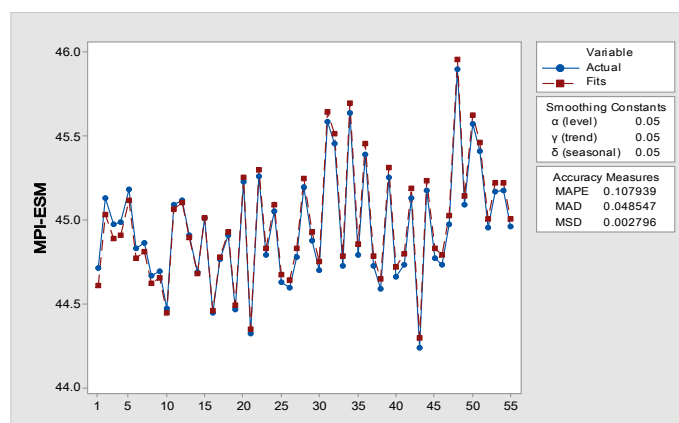
**تغییرات میانگین امواج گرمایی از طریق آزمون ویلکاکسون:** در صورت غیر نرمال نبودن داده‌ها از این آزمون استفاده خواهد شد. آزمون ویلکاکسون از آزمون‌های آماری نا پارامتری است که برای ارزیابی همانندی دو نمونه وابسته با مقیاس رتبه‌ای به کار می‌رود. همان آزمون علامت زوجی است که در آن اختلاف نسبی تفاوت از میانگین لحاظ می‌شود (اصغری، ۱۳۹۳). مقایسه‌ی زوجی در دو گروه مستقل از یکدیگر گاهی اوقات می‌تواند بر اساس تفاضل‌های زوجی بر طبق مقادیر عددی آن‌ها بدون توجه به علامت‌ها، مرتب‌شده و سپس برای تشکیل آماره‌ی آزمون، رتبه‌های مربوط به مشاهدات مثبت با یکدیگر جمع شوند، این شیوه اساس آزمون رتبه‌ای علامت‌دار ویلکاکسون است.  $H_0$ : متغیر وابسته در دو گروه تفاوت معنی‌داری ندارد و  $H_1$ : میزان متغیر وابسته در دو گروه تفاوت معنی‌داری دارد (مهدوی و طاهرخانی، ۱۳۸۳: ۳۰۰).

میانگین شاخص‌های موردنظر امواج گرمایی نیز در بیشتر ماه‌های مورد مطالعه در دوره آتی نسبت به دوره مشاهداتی تغییر را نشان می‌دهد. البته این تغییرات در ماه‌های مدل‌های مورد مطالعه مختلف اقلیمی منظم نیست. ولی در نهایت شاخص ضریب تعیین متوسط امواج گرمایی در ماه جولای این را بیان می‌کند که مدل‌های اقلیمی موردنظر توانایی بهتری در شبیه‌سازی امواج گرمایی در ماه جولای در مقایسه با دیگر ماه‌های مورد مطالعه دارند.

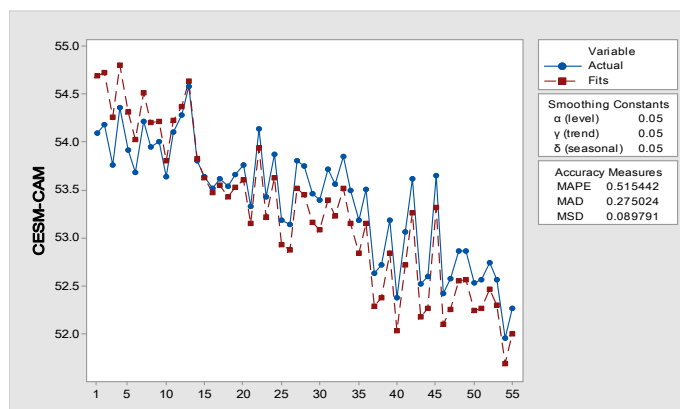
از نتایج مقایسه مقادیر میانگین سالانه شاخص امواج گرمایی پیش‌بینی‌شده مدل‌های (CMCC-CMS، MPI-ESM، و CESM-CAM) و داده‌های مشاهده‌شده مؤید آن است که کارایی مدل‌های مذکور برای شبیه‌سازی داده‌های امواج گرمایی موفقیت‌آمیز بوده است. همچنین نشان‌دهنده این است که عملکرد LARS-WG در شبیه‌سازی امواج گرمایی قابل قبول است.

ساختمان‌ها، مسائل کشاورزی، گردشگری و... را می‌طلبد.

میانگین ماهانه امواج گرمایی در ماه‌های دوره گرم سال مورد مطالعه تغییر (مقادیر p-Value کوچک‌تر از ۰/۰۵) افزایشی را نشان می‌دهد. معنی‌دار بودن اختلاف بین میانگین شاخص‌های موردنظر در دوره آتی مدل‌ها با در نظر گرفتن مدل‌های موردنظر تحت سناریو rcp8.5 با داده‌های دوره مشاهداتی، توانایی مدل LARS-WG را در شبیه‌سازی امواج گرمایی نشان می‌دهد. هر کدام از مدل‌های موردنظر به خصوص CESM-CAM و CMCC-CMS، MPI-ESM در ماه جولای به خوبی توانستند امواج گرمایی در منطقه را مدل‌سازی نمایند؛ اما در خصوص داده‌های مشاهداتی و مدل‌های مورد بررسی در ماه‌های ژوئن، جولای، آگوست و سپتامبر دلیل مقادیر نسبتاً بالای شاخص MAPE می‌تواند مربوط به تغییرپذیری بالای امواج گرمایی می‌باشد.



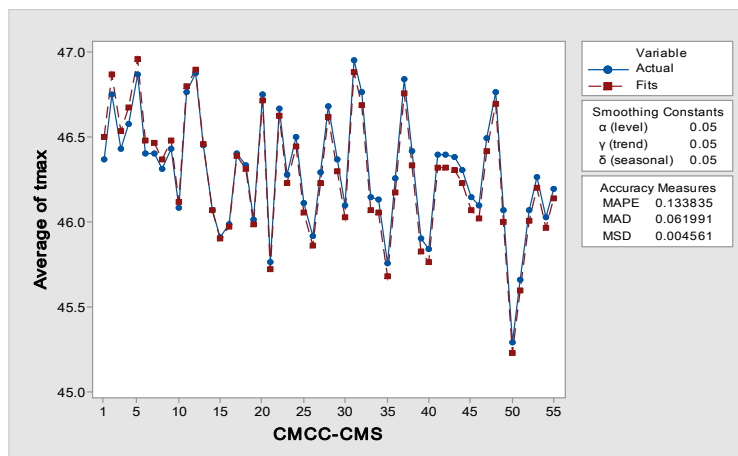
نمودار ۸- اعتبار سنجی امواج گرمایی سالانه مدل MPI-ESM



نمودار ۹- اعتبار سنجی امواج گرمایی سالانه مدل CESM-CAM

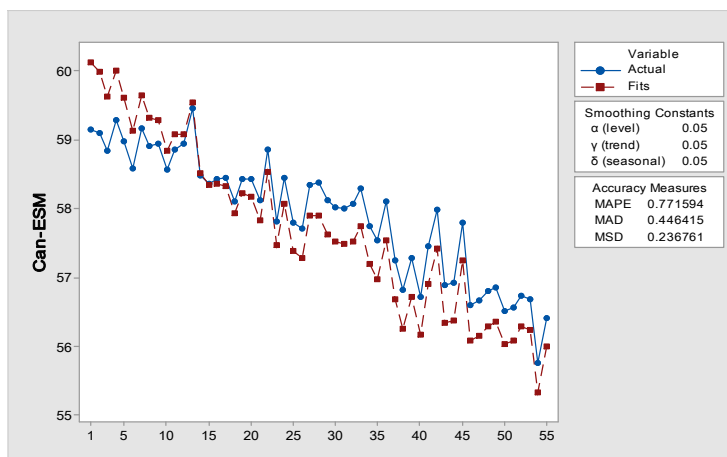
جدول ۳- اعتبارسنجی ارزیابی مدل‌های اقلیمی آینده نسبت به پایه با استفاده از آماره‌های واسنجی در ایستگاه جلفا

شاخص					ماه	نام مدل
MAPE	MAD	MSD	R2	R-(p value)		
۰/۱۸۱	۰/۰۶	۰/۰۰	۰/۰۲	۰/۰۰	ژوئن	پایه
۰/۹۴۷	۰/۳۵۶	۰/۱۶۱	۰/۳۲۵	۰/۰۰	جولای	
۰/۴۴۲	۰/۱۶۶	۰/۰۳۴	۰/۰۸	۰/۰۰	اگوست	
۰/۲۴۳	۰/۰۹	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۰	سپتامبر	
۰/۵۲۰	۰/۱۹۴	۰/۰۴	۰/۰۰۲	۰/۰۰	سالانه	
۱/۱۹۰	۰/۵۱۳	۰/۳۱۱	۰/۵۹۴	۰/۰۰	ژوئن	MPI-ESM
۰/۲۶۵	۰/۱۲۶	۰/۰۱	۰/۰۷	۰/۰۱	جولای	
۰/۱۸۷۰	۰/۴۱۰	۰/۲۰۱	۰/۶۰۲	۰/۰۰	اگوست	
۰/۵۹۷	۰/۲۴۵	۰/۰۷	۰/۳۵۸	۰/۰۰	سپتامبر	
۰/۱۰۷	۰/۰۴	۰/۰۰۲	۰/۰۴	۰/۰۰	سالانه	
۱/۰۲	۰/۴۶	۰/۲۵۶	۰/۵۶۷	۰/۰۰	ژوئن	CMCC-CMS
۰/۰۲	۰/۰۱	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۲	جولای	
۰/۷۷۰	۰/۳۷۵	۰/۱۶۷	۰/۵۷۲	۰/۰۰	اگوست	
۰/۸۶۹	۰/۳۵۸	۰/۱۵۲	۰/۴۷۴	۰/۰۰	سپتامبر	
۰/۱۳۳	۰/۰۶	۰/۰۰	۰/۰۱	۰/۰۱	سالانه	
۰/۱۸۴	۰/۱۱۸	۰/۰۱	۰/۰۹	۰/۰۰	ژوئن	Can-ESM
۰/۳۸۵	۰/۲۴۶	۰/۰۷	۰/۲۸۸	۰/۰۰	جولای	
۱/۲۴۰	۰/۷۱۵	۰/۶۱۰	۰/۸۵۵	۰/۰۰	اگوست	
۲/۱۵۵	۰/۹۷۲	۱/۱۲۷	۰/۹۱۷	۰/۰۰	سپتامبر	
۰/۷۷	۰/۴۴۶	۰/۲۳۶	۰/۸۴	۰/۰۰	سالانه	
۰/۶۹۷	۰/۳۹۷	۰/۱۸۷	۰/۵۴۱	۰/۰۰	ژوئن	CESM-CAM
۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	جولای	
۲/۳۰۱	۱/۲۶۴	۱/۹۲۰	۰/۹۴۱	۰/۰۰	اگوست	
۰/۵۹۷	۰/۲۴۱	۰/۰۷	۰/۳۴۲	۰/۰۰	سپتامبر	
۰/۵۱۵	۰/۲۷۵	۰/۰۸	۰/۰۰	۰/۰۰	سالانه	

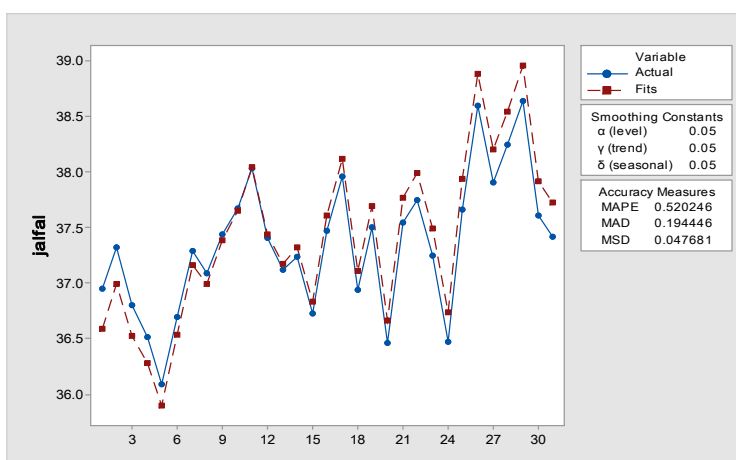


نمودار ۱۰- اعتبارسنجی امواج گرمایی سالانه مدل





نمودار ۱۱- اعتبار سنجی امواج گرمایی سالانه مدل Can-ESM



نمودار ۱۲- اعتبار سنجی امواج گرمایی سالانه مشاهده‌شده در ایستگاه جلفا

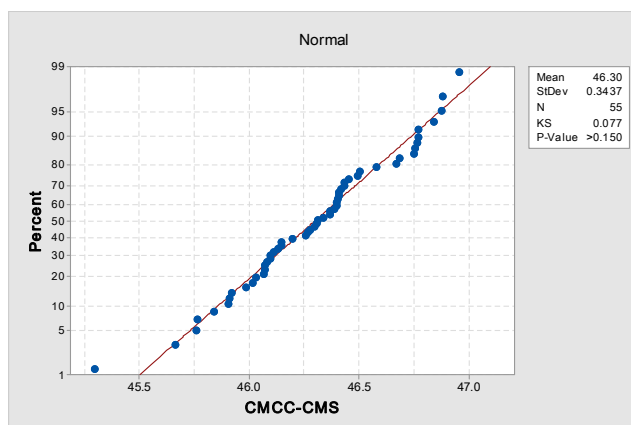
دوره‌ی گرم پایه مورد تأیید قرار نگرفته است، پس فرض صفر رد نمی‌شود. به این دلیل مقدار P-Value امواج گرمایی در دوره پایه در ایستگاه جلفا کوچک‌تر از ۰/۰۵ شده پس دلیلی بر رد صفر  $H_0$  وجود ندارد و امواج گرمایی در دوره پایه از توزیع نرمال برخوردار نیستند؛ بنابراین در ادامه از آزمون نا پارامتریک ویلکاکسون می‌شود. لذا با بررسی نرمال بودن امواج گرمایی مدل‌های موردنظر در این پژوهش برای دوره آینده (۲۰۱۱-۲۰۶۵) مقدار p-value کوچک‌تر از ۵ صدم نمی‌باشد به این معنی است امواج گرمایی در دوره گرم برای سال‌های آینده (۲۰۱۱-۲۰۶۵) دارای توزیع نرمال می‌باشد؛ و مورد تأیید آزمون کلموگروف-اسمیرنوف قرار گرفته است.

**بررسی توزیع نرمال امواج گرمایی در ایستگاه جلفا:** آزمون کلموگروف-اسمیرنوف برای انتخاب مناسب‌ترین توزیع برای برازش داده‌های امواج گرمایی با نرم‌افزار مینی تب انجام گرفت. فرض صفر آزمون کلموگراف-اسمیرنوف این است که امواج گرمایی مدل‌های مورد مطالعه از توزیع پیشنهادی پیروی می‌نمایند؛ بنابراین هرچه مقدار سطح معنی‌داری بیش‌تر باشد، نشان از تمایل بیش‌تر برای پذیرش فرض صفر می‌باشد. جدول (۱) مقادیر p-value مربوط به آزمون کلموگروف-اسمیرنوف برای سری‌های امواج گرمایی پایه (۱۹۹۰-۲۰۲۰) و دوره آتی (۲۰۱۱-۲۰۶۵) نشان می‌دهد (نمودارهای ۳ تا ۷).

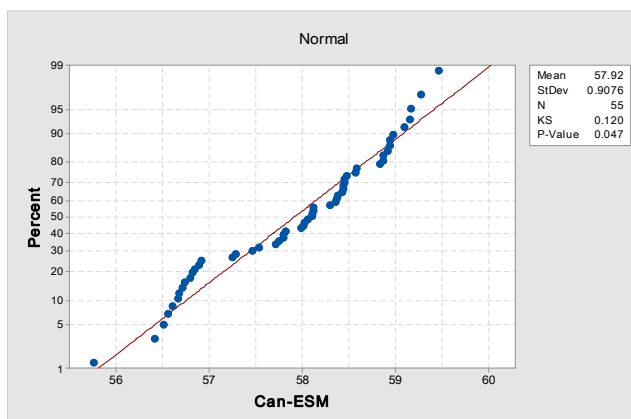
توزیع نرمال امواج گرمایی ایستگاه جلفا در ماه‌های

جدول ۱- بررسی مقایسه نرمال بودن امواج گرمایی دوره پایه و آینده از طریق آزمون کلموگروف-اسیرنوف ایستگاه جلفا

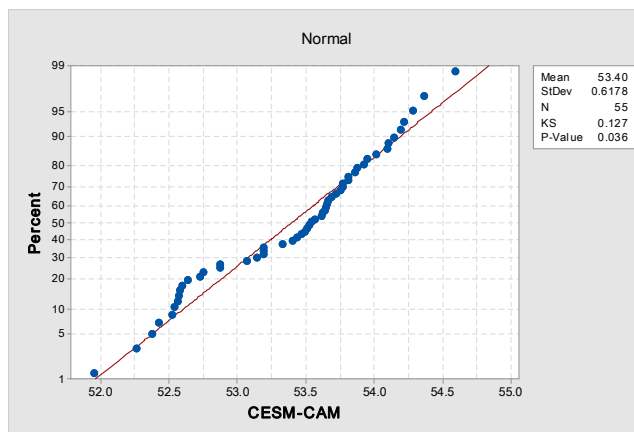
Can-ESM		CESM-CAM		MPI-ESM		CMCC-CMS		پایه		ماه	ایستگاه
p value	KS	p value	KS	p value	KS	p value	KS	p value	KS		
۰/۱۵۰	۰/۰۸۲	۰/۱۵۰	۰/۱۰۱	۰/۱۵۰	۰/۰۹۳	۰/۱۵۰	۰/۰۵۶	۰/۰۱	۰/۱۱۶	ژوئن	جلفا
۰/۱۵۰	۰/۰۶۱	۰/۱۵۰	۰/۰۹۶	۰/۱۵۰	۰/۱۰۳	۰/۱۵۰	۰/۰۸۱	۰/۰۱	۰/۱۳۹	جولای	
۰/۱۵۰	۰/۱۰۱	۰/۱۵۰	۰/۱۰۱	۰/۱۵۰	۰/۰۷۶	۰/۱۵۰	۰/۰۶۰	۰/۰۱	۰/۰۹۶	آگوست	
۰/۱۵۰	۰/۰۸۹	۰/۱۵۰	۰/۰۷۱	۰/۱۵۰	۰/۰۶۳	۰/۱۵۰	۰/۰۶۹	۰/۰۱	۰/۱۷۶	سپتامبر	
۰/۰۴۷	۰/۱۲	۰/۰۳۶	۰/۱۲۷	۰/۱۵۰	۰/۰۳۹	۰/۱۵۰	۰/۰۷۷	۰/۰۱	۰/۱۳۹	سالانه	



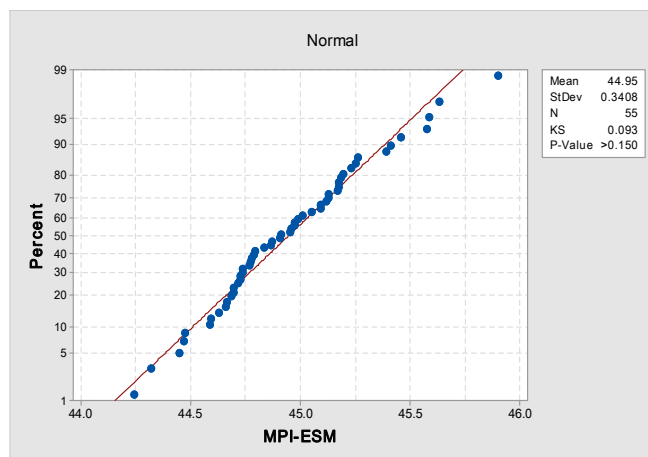
نمودار ۳- توزیع نرمال امواج گرمایی سالانه مدل CMCC-CMS



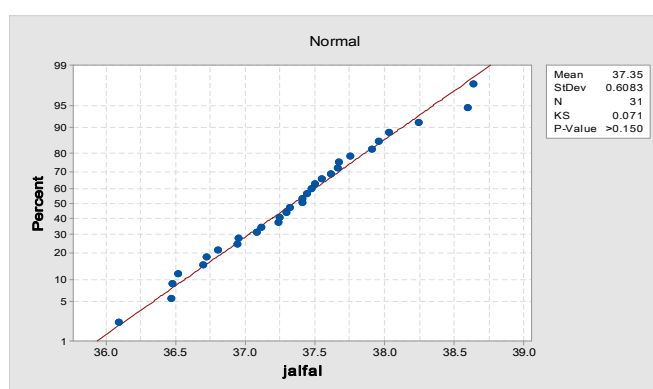
نمودار ۴- توزیع نرمال امواج گرمایی سالانه مدل Can-ESM



نمودار ۵- توزیع نرمال امواج گرمایی سالانه مدل CESM-CAM



نمودار ۶- توزیع نرمال امواج گرمایی سالانه مدل MPI-ESM



نمودار ۷- توزیع نرمال امواج گرمایی سالانه پایه

داده‌های شبیه‌سازی شده و مشاهداتی وجود ندارد؛ بنابراین بین میانگین امواج گرمایی تولیدشده توسط مدل LARS-WG و داده‌های مشاهداتی، هیچ اختلاف معنی‌داری وجود ندارد و مدل‌های موردنظر توانسته‌اند، با دقت قابل قبولی، امواج گرمایی را شبیه‌سازی کنند.

بیشترین افزایش تغییرات میانگین ماهانه امواج گرمایی مربوط به ماه‌های جولای و آگوست به ترتیب با میزان ۰/۵۷۸ و ۰/۶۷۶ سانتی‌گراد نسبت دیگر ماه‌های (ژوئن، سپتامبر) می‌باشد؛ بنابراین در ماه جولای ایستگاه جلفا حدود ۰/۱۸۲ درصد اختلاف بین میانگین حداقل و حداکثر موج گرمایی می‌باشد در دوره آتی این میزان حدود ۰/۳۹۶ درصد نیز افزایش می‌یابد؛ و همچنین مجموع اختلاف میانگین موج گرمایی در ماه آگوست در دوره پایه (۰/۱۶۸) نسبت به دوره آتی (۰/۵۰۸) می‌باشد.

زمانی که وقتی میزان تغییر میانگین در حفاصل اطمینان ۹۵ درصد بین حد پایین و بالا قرار بگیرد، بدین معنی است که معیار تغییرات میانگین در سطح

#### تغییرات میانگین امواج گرمایی در ایستگاه جلفا:

برای آشکارسازی رخداد امواج گرمایی و تشخیص تغییر در امواج گرمایی، از آزمون مقایسه میانگین‌ها برای سری‌های زمانی امواج گرمایی در مقیاس زمانی ماهانه استفاده شد. نتایج این آزمون به‌طور مجزا برای سری داده‌های تاریخی و سری داده‌های تولیدشده برای دوره آینده تحت سناری RCP8.5 مطابق جدول (۲) می‌باشد. نتایج تمامی مدل‌های ذکرشده در سطح معنی‌داری ۹۵٪ قابل‌اطمینان می‌باشد و همین معیارها مبنایی برای تولید امواج گرم در دوره آتی هستند.

بر اساس جدول (۲) توانمندی چهار مدل در مدل‌سازی حداقل و حداکثر میانگین امواج گرمایی در این ایستگاه کاملاً با امواج گرمایی دیدبانی‌شده مطابقت دارد. مقادیر ارائه‌شده در جدول (۲) مقدار P-Value حاصل از به‌کارگیری آزمون ویلکاکسون کمتر از ۰/۰۵ باشد فرض صفر رد شده و بدان معناست که در سطح ۵ درصد، اختلاف معنی‌داری بین میانگین‌های

بدون موج واقع شود، در ماه‌های اوت و جولای است؛ اما اصلی‌ترین احتمال این حالت‌ها که می‌تواند مشکلاتی همراه داشته باشد، وجود پیوسته موج گرمایی به صورت چند روز پی‌درپی در ایستگاه جلفا می‌باشد. تداوم بلندمدت موج گرمایی باعث تغییر چندروزه در اقلیم موردنظر، باعث زیان رساندن به سلامت انسان‌ها، اختلال در صنایع، افزایش تبخیر و تعرق و به‌طور کلی، اختلال در زیست محیط ایستگاه جلفا خواهد شد. بنابراین افزایش فراوانی، استمرار زمانی بیشتر و فزونی شدت امواج گرمایی یکی از نشانه‌های گرمایش جهانی و تغییر اقلیم بر اثر فزونی یافتن گازهای گلخانه‌ای محسوب می‌شود که این مسئله در خصوص ایستگاه جلفا نیز صادق است.

۹۵ درصد معنی‌دار خواهد بود؛ به عبارت دیگر میانگین امواج گرمایی در طی دهه‌های آینده روند افزایشی خواهد داشت. این روند افزایش برای برخی ماه (تیر و آگوست) مقادیر بالاتر و برای برخی ماه (ژوئن و سپتامبر) مقادیر کمتری را نشان می‌دهد. بیشترین میزان افزایش امواج گرمایی مربوط به مدل Can-ESM در ماه (ژوئن و جولای) می‌باشد. بررسی توزیع فراوانی امواج گرمایی نیز نشان می‌دهد که ماه جولای، از بالاترین فراوانی ماهانه برخوردار بوده است به طوری که در مجموع ۳۶/۱۸ درصد موج‌های گرمایی کوتاه‌مدت و بلندمدت در جولای دیده شده است. ماه آگوست در مقام دوم قرار دارد؛ و همچنین، بیشترین احتمال اینکه پس از یک روز همراه با موج، یک روز

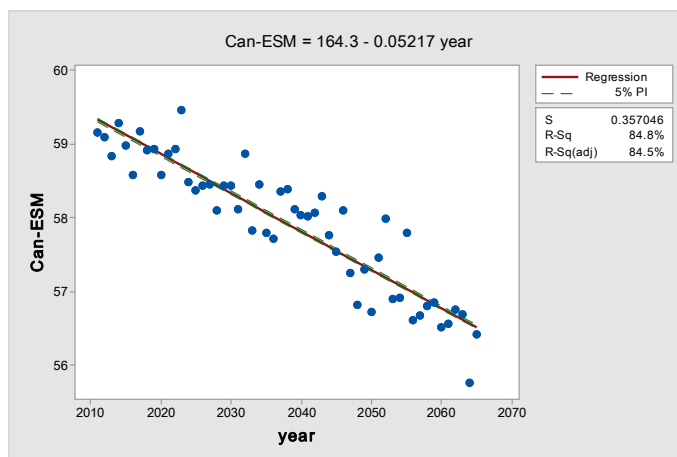
جدول ۲- مقایسه میزان تغییر میانگین امواج گرمایی در دوره آینده (RCP\_8.5) نسبت به دوره پایه در ایستگاه جلفا

P-value	آزمون Z	حداصول اطمینان ۹۵ درصد		اختلاف میانگین	انحراف معیار	میانگین	تعداد فراوانی	ماه	مدل
		کران بالا	کران پایین						
۰/۰۰	-۴/۸۶۰	۳۷/۰۳۰	۳۶/۴۶۰	۰/۱۴۰	۰/۷۷	۳۶/۷۴۵	۲۵۷	ژوئن	پایه
۰/۰۰	-۴/۸۶۰	۳۷/۷۸۸	۳۷/۰۴۶	۰/۱۸۲	۱/۰۱۱	۳۷/۴۱۷	۵۴۷	جولای	
۰/۰۰	-۴/۸۶۰	۳۷/۹۸۱	۳۷/۲۹۶	۰/۱۶۸	۰/۹۳۴	۳۷/۶۳۸	۵۳۸	آگوست	
۰/۰۰	-۴/۷۸۲	۳۶/۹۳۳	۳۶/۰۸۸	۰/۲۰۷	۱/۱۳۲	۳۶/۵۱۰	۱۴۴	سپتامبر	
۰/۰۰	-۴/۸۶	۳۷/۵۷	37/12	۰/۱۰۹	۰/۶۰۸	۳۷/۳۴	۱۵۰۸	سالانه	
۰/۰۰	-۵/۷۴۹	۵۷/۲۴۱	۵۶/۶۹۶	۰/۱۳۶	۱/۰۰۸	۵۶/۹۶۸	۱۶۵۰	ژوئن	CESM-CAM
۰/۰۰	-۶/۴۵۱	۶۱/۰۸۵	۶۰/۱۶۹	۰/۰۹۸	۰/۷۲۸	۶۰/۸۸	۱۶۷۴	جولای	
۰/۰۰	-۹/۴۵۹	۵۵/۹۱۵	۵۴/۵۹۴	۰/۳۲۹	۲/۴۴	۵۵/۲۵	۱۷۰۵	آگوست	
۰/۰۰	-۴/۴۶۴	۴۱/۷۳۹	۴۰/۳۰۳	۰/۰۹۹	۰/۷۳۹	۴۰/۵۰۳	۱۳۲۰	سپتامبر	
۰/۰۰	-۶/۴۵۱	۴۶/۳۹۴	۴۶/۲۰۸	۰/۰۴۶	۰/۳۴۳	۴۶/۳۰	۶۳۴۹	سالانه	CMCC-CMS
۰/۰۰	-۶/۴۵۱	۴۵/۷۶۹	۴۵/۱۴۷	۰/۱۵۵	۱/۱۴۹	۴۵/۴۵۸	۶۴۵۹	ژوئن	
۰/۰۰	-۶/۴۵۱	۵۰/۰۲۸	۴۹/۶۸۴	۰/۰۸۵	۰/۶۳۷	۴۹/۸۵۶	۱۷۰۵	جولای	
۰/۰۰	-۶/۴۵۱	۵۰/۰۲۸	۴۹/۶۸۴	۰/۰۸۵۹	۰/۶۳۷	۴۹/۶۸۸	۱۷۰۵	آگوست	
۰/۰۰	-۶/۴۵۱	۴۱/۴۶۲	۴۰/۹۴۲	۰/۱۳۰	۰/۹۶۲	۴۱/۲۰۲	۱۴۰۱	سپتامبر	
۰/۰۰	-۶/۴۵۱	۴۶/۳۹	۴۶/۲۰۸	۰/۰۴۶	۰/۳۴۳	۴۶/۳۰	۱۱۲۷۰	سالانه	Can-ESM
۰/۰۰	-۶/۴۵۱	۶۴/۳۵۲	۶۳/۹۶۳	۰/۰۹۷	۰/۷۱۹	۶۴/۱۵۸	۱۶۲۰	ژوئن	
۰/۰۰	-۶/۴۵۱	۶۴/۴۵۹	۶۳/۹۹۵	۰/۱۱۶	۰/۸۵۸	۶۴/۲۲۷	۱۷۰۵	جولای	
۰/۰۰	-۶/۴۵۱	۵۸/۲۱۵	۵۷/۴۴۰	۰/۱۹۳	۱/۴۳۲	۵۷/۸۲۷	۱۷۰۵	آگوست	
۰/۰۰	-۶/۴۵۱	۴۵/۷۷۳	۴۴/۷۷۱	۰/۲۵۰	۱/۸۵۴	۴۵/۲۷۲	۱۶۵۰	سپتامبر	
۰/۰۰	-۶/۴۵۱	۵۸/۱۶۸	۵۷/۶۷۷	۰/۱۲۲	۰/۹۰۷	۵۷/۹۲۲	۳۳۵۵	سالانه	MPI-ESM
۰/۰۰	-۶/۱۱۲	۴۳/۴۶۱	۴۲/۷۹۴	۰/۱۶۶	۱/۲۳۳	۴۳/۱۲۸	۱۶۳۳	ژوئن	
۰/۰۰	-۶/۴۵۱	۴۷/۷۱۵	۴۷/۳۲۵	۰/۰۹۷	۰/۷۲۱	۴۷/۵۲۰	۱۶۷۴	جولای	
۰/۰۰	-۷/۲۸۱	۴۷/۵۰۱	۴۶/۹۷۱	۰/۱۳۲	۰/۹۸۱	۴۷/۲۳۶	۱۶۷۴	آگوست	
۰/۰۰	-۶/۴۵۱	۴۱/۳۴۷	۴۰/۹۳۳	۰/۱۰۳	۰/۷۶۵	۴۱/۱۴۰	۱۳۹۷	سپتامبر	
۰/۰۰	451/6-	۴۵/۰۴۱	۴۴/۸۵	۰/۴۵۹	۰/۳۴۰	۴۴/۹۴	۶۳۷۸	سالانه	

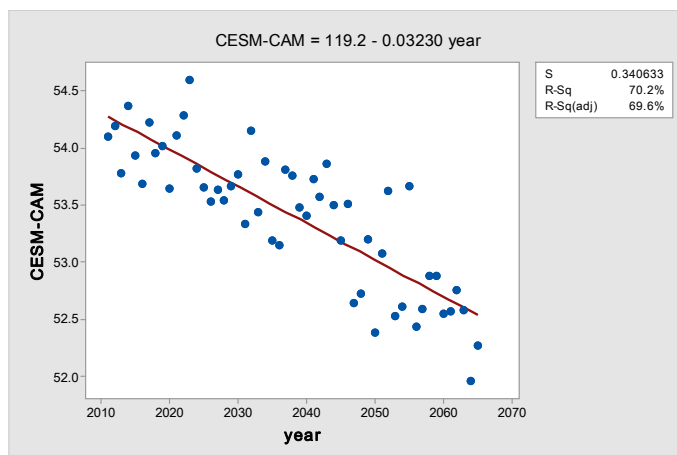
**بررسی روند سالانه امواج گرمایی ایستگاه جلفا:**

در نمودار (۱۷)، امواج گرمایی ایستگاه جلفا در دوره‌های پایه (۱۹۹۰-۲۰۲۰)، بی‌نظمی و تغییرپذیری شدید رخدادهای سالانه امواج گرمایی، حکایت از تغییرپذیری شدید میانگین دمای سالانه و تنوع عوامل تأثیرگذار بر دمای منطقه دارد که تفاوت‌های آشکار در دماهای حدی را در ایستگاه جلفا چنین به نمایش گذارده است؛ بنابراین بر اساس پیش‌بینی مدل‌های اقلیمی MPI-ESM, CESM-CAM و CMCC-CAM دمای امواج گرمای سالانه‌ی که در دوره گرم با توجه به روند نمودار مربوطه به‌سوی گرمای بیشتر پیش می‌روند؛ و از طرفی دیگر نقاط اوج و حضیض تغییرات زمانی وقوع امواج گرمایی در بازه‌ی زمانی ۵۵ ساله آینده واضح و مشخص است. بنابراین سری زمانی

رخداد امواج در بازه‌ی زمانی مورد مطالعه افت‌وخیزهای نسبتاً شدید بسیاری را هم در کوتاه‌مدت و هم در بلندمدت تجربه کرده است که نشانگر وجود روند و نوسان در سری زمانی امواج گرمایی است شکل (۱۳)، در (۱۶، ۱۴ و ۱۵). و همچنین بر اساس شکل (۱۳)، در دوره آینده (۲۰۱۱-۲۰۶۵) برای مدل Can-ESM به گونه‌ای است که در سال‌های اول میزان امواج گرمایی زیاد می‌باشد اما رفته‌رفته از میزان امواج گرمایی در سال‌های پایانی مورد مطالعه کاسته می‌شود. میزان بالای  $R^2$  (ضریب تعیین) ۸۴ درصد و نشان‌دهنده روند کاهشی معنی‌دار می‌باشد. چراکه با توجه به مقادیر  $R^2$  که در حد ۴۰ درصد قابل قبول و بالاتر از ۷۰ درصد به معنی عدم دقت خروجی مدل است.



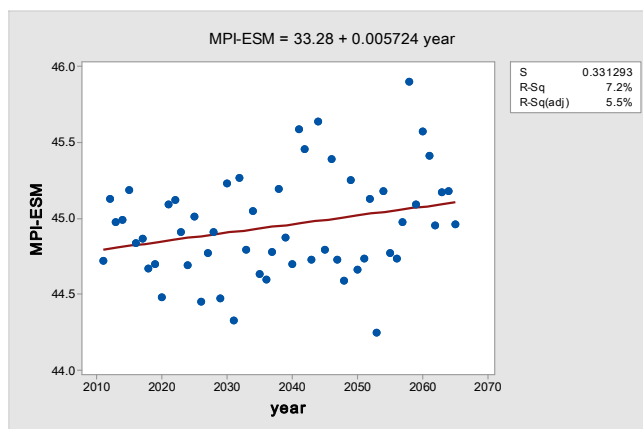
نمودار ۱۳- امواج گرمایی سالانه دوره آینده مدل Can-ESM



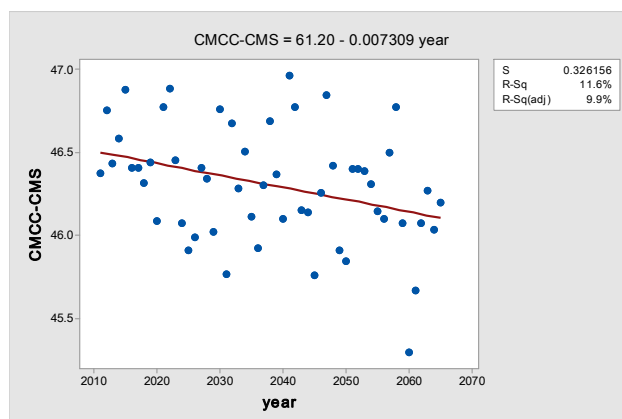
نمودار ۱۴- امواج گرمایی سالانه دوره آینده مدل CESM-CAM

لحاظ ویژگی‌های اقلیمی به فصل تابستان شباهت زیادی پیدا خواهد کرد و این امر می‌تواند تبعات نامناسبی به لحاظ زیست‌محیطی، اجتماعی، اقتصادی و بسیاری از مسائل دیگر برای این منطقه به دنبال داشته باشد.

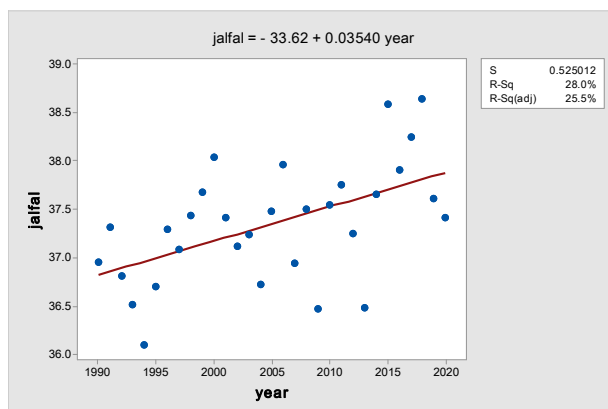
با توجه به پردازش مدل‌های مذکور، روند دمایی جهانی به سمت گرمایش را به نوعی تأیید می‌کند. با این تحلیل، در سال‌های آتی دمای این ایستگاه روند مثبت گرفته و در نتیجه گرمایش را به همراه خواهد داشت و احتمال جابه‌جایی فصول در این ایستگاه‌ها در سال‌های آینده وجود دارد. به‌مرور زمان فصل بهار به



نمودار ۱۵- امواج گرمایی سالانه دوره آینده مدل MPI-ESM



نمودار ۱۶- امواج گرمایی سالانه دوره آینده مدل CMCC-CMS



نمودار ۱۷- امواج گرمایی سالانه پایه در ایستگاه جلفا

### نتیجه‌گیری

وجود موج گرمایی که یکی از مهم‌ترین بلایایی آب‌وهوایی است، تأثیرات منفی بر موجودات زنده و اکوسیستم‌های طبیعی می‌گذارد، بنابراین با شناخت رفتار زمانی و مکانی امواج گرمایی می‌توان هشدارها و اقدامات لازم و ضروری را در مواقع بحرانی صادر و انجام نمود و برنامه‌ریزی‌های آمایشی مناطق می‌تواند با اطلاع از این مخاطره اقلیمی پیشرفت بهتری داشته باشد و از تخریب محیط‌زیست جلوگیری نماید. در این پژوهش داده‌های هواشناسی تهیه شده از سازمان هواشناسی و کنترل کیفی داده‌ها از مدل GCM استفاده شد از شاخص‌های ضریب همبستگی پیرسون (r)، خطای مطلق (MEA)، مجذور میانگین مربعات خطا (RMSE)، ضریب تعیین (R2) و از آزمون‌های اسمیرنوف و آماره p-value و رسم نمودار استفاده گردید. جهت محاسبه نوسانات امواج گرمایی ایستگاه جلفا در اثر تغییرات اقلیمی ابتدا با استفاده از مدل‌های (CESM-CAM، CMCC-CMS، CAN-ESM، MPI-ESM) به‌عنوان مدل منتخب AOGCM و سناریوی انتشار RCP8.5 از سری سناریوهای گزارش پنجم هیئت بین‌الدول تغییر اقلیم و مدل ریز مقیاس‌سازی آماری LARS-WG برای دوره آینده (۲۰۶۵-۲۰۱۱) امواج گرمایی منطقه شبیه‌سازی شد. دلیل انتخاب RCP8.5 به علت مطالعه تغییرات امواج گرمایی در بیش‌ترین شرایط انتشار گازهای گلخانه‌ای و گرمایش ناشی از آن‌ها می‌باشد. در این پژوهش از نرم‌افزارهای spss، excel، lars-wg، MINITAB و ARCMAP استفاده شده است.

نتایج این تحقیق نشان داد بیشترین افزایش تغییرات میانگین ماهانه امواج گرمایی مربوط به ماه‌های جولای و آگوست به ترتیب با میزان ۰/۵۷۸ و ۰/۶۷۶ سانتی‌گراد نسبت دیگر ماه‌های (ژوئن،

سپتامبر) می‌باشد؛ به عبارت دیگر میزان امواج گرمایی در فصل تابستان به خصوص (جولای و آگوست) براساس مدل‌های MPI-ESM، CMCC-CMS و CESM-CAM تحت سناریو rcp8.5 در دوره آتی (۲۰۱۱-۲۰۶۵) نسبت به دوره پایه (۱۹۸۵-۲۰۲۰) افزایش یافته است و همچنین داده‌های پیش‌بینی شده امواج گرمایی با داده‌های پایه همبستگی بالا و معنی‌داری در سطح اطمینان ۹۵ درصد دارند. می‌توان نتیجه گرفت به دلیل افزایش دمای هوای بالای ۳۵ درجه سانتیگراد، این دما خارج از تحمل درختان بوده و همچنین با افزایش دوره موج گرمایی باعث بروز خزان زودرس این درختان می‌شود. بدین منظور درخت به دلیل دمای زیاد هوا، تعدادی از برگ‌هایش می‌ریزد تا میزان تبخیر و تعرق را متناسب با دما پایین بیاورد و با کاهش دما مجدداً شروع به بازتولید برگ‌های جدید می‌کند. تغییر اقلیم و افزایش دما باعث شده تا برخی از گونه‌های درختان و گل‌های فصلی از سیستم سازگاری فاصله بگیرند. بررسی میزان تغییرات معنی‌داری شاخص‌های موردنظر میانگین امواج گرمایی دوره پایه (ماه‌های ژوئن، آگوست و سپتامبر) در ایستگاه جلفا مشخص شد میزان تغییرات موج گرمایی افزایشی معنی‌دار را نشان می‌دهد که بیان‌کننده گرم شدن هوا می‌باشد، بدین معنی که در ایستگاه جلفا از طول فصل بهار کاسته شده و بر طول فصل تابستان افزوده گردیده است. واضح است افزایش میزان امواج گرمایی در ایستگاه مورد مطالعه سبب افزایش مصرف انرژی برای سرمایش و کاهش مصرف انرژی برای گرمایش خواهد گردید که این امر استفاده بیش‌ازحد از وسایل سرمازا در فصل بهار و ضرورت توجه به مسائلی از قبیل شرایط آسایش دمایی انسان در طراحی و ساخت ساختمان‌ها، مسائل کشاورزی، گردشگری و ... را می‌طلبد.

### منابع

۱. ادراکی، مریم؛ برنا، رضا؛ فتاحی، ابراهیم؛ مهدوی، مسعود؛ (۱۳۹۹). بررسی تأثیر عناصر اقلیمی در معماری شهری (مطالعه موردی: شهر جلفا)، نگرش‌های نو در جغرافیای انسانی، فصلنامه علمی-پژوهشی، شماره چهارم، صص ۱۸۰-۲۰۲.
۲. اسماعیل‌نژاد، (۱۳۹۱). شناسایی امواج گرمایی ایران، جغرافیا و توسعه، شماره ۳۳، صص ۳۹-۵۴.

۳. پناهی، علی؛ خرم‌آبادی، فرحناز؛ (۱۳۹۸). ارزیابی دقت داده‌های CSIRO و مدل LARS-WG در شبیه‌سازی متغیرهای اقلیمی استان آذربایجان شرقی، مجله دگرگونی‌ها و مخاطرات آب و هوایی، شماره ۲، صص ۱۶۰-۱۴۰.
۴. حیدری، حمیدرضا؛ گلبابایی، فریده؛ ارسنگ جنگ، شهرام؛ شمسی‌پور، علی‌اکبر؛ (۱۳۹۵). اعتبارسنجی شاخص Humidex در ارزیابی استرس گرمایی مشاغل روباز در نواحی بیابانی و نیمه بیابانی کشور ایران، فصلنامه بهداشت و ایمنی کار، شماره ۳، صص ۴۱-۳۰.
۵. حیدری، حمیدرضا؛ گلبابایی، فریده؛ شمسی‌پور، علی‌اکبر، رحیمی فروشانی، عباس (۱۳۹۸). بررسی روند تغییرات دمایی در دهه‌های آتی با تأکید بر استرس‌های گرمایی در محیط‌های روباز کشور، نشریه علمی پژوهشی، نشریه سلامت کار ایران، شماره ۲، صص ۴۷-۳۶.
۶. دارند، محمد؛ (۱۳۹۲). شناسایی و تحلیل زمانی- مکانی امواج گرمایی ایران-زمین، جغرافیا و توسعه، شماره ۳۵، صفحه ۱۸۰-۱۶۷.
۷. صادقی، سلیمان؛ دوستان، رضا؛ صانعی، معصومه؛ (۱۳۹۴). تحلیل فضایی- زمانی امواج گرمایی خراسان رضوی، فصلنامه جغرافیایی سرزمین، علمی پژوهشی، شماره ۴۷، صص ۳۲-۱۷.
۸. طاهر خانی، مهدی و مسعود مهدوی. (۱۳۸۳). کاربرد آمار در جغرافیا. انتشارات گومز، صص: ۳۰۱-۳۰.
۹. عباسی، فاطمه، ملیوسی، شراره؛ بابائیان، ایمان؛ اثمري، مرتضی؛ برهانی، رضا، (۱۳۸۹). پیش‌بینی تغییرات اقلیمی خراسان جنوبی در دوره ۲۰۳۹-۲۰۱۰ میلادی با استفاده از ریزمقیاس نمایی آماری مدل ECHO-G، نشریه آب‌و‌خاک، شماره ۲، صص ۲۱۸-۲۳۳.
۱۰. علیجانی، بهلول؛ (۱۳۹۰). تحلیل فضایی دماها و بارش‌های بحرانی روزانه در ایران، تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، شماره ۲۰، صص ۳۰-۹.
۱۱. علیجانی، بهلول؛ محمودی، پیمان؛ سلیقه، محمد؛ ریگی چاهی، اله بخش؛ (۱۳۹۰). بررسی تغییرات کمینه‌ها و بیشینه‌های سالانه دما در ایران، فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، شماره سوم، صص ۱۲۲-۱۰۲.
۱۲. علیجانی، بهلول؛ حمیده، افشار منش. (۱۳۹۴). تجزیه و تحلیل آماری مقادیر طولانی مدت بارش جهت برازش توزیع آماری مناسب (مطالعه مورد ایران).
- فصل‌نامه جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری چشم‌اندازه زاگرس، دوره هفتم، ۲۵: ۷۶-۹۶.
۱۳. قویدل رحیمی، یوسف؛ (۱۳۹۰). شناسایی طبقه‌بندی و تحلیل سینوپتیک موج ابر گرم تابستان ۱۳۸۹ ایران، مطالعات جغرافیایی مناطق خشک، شماره ۳، صص ۸۵-۱۰۰.
۱۴. منتظری، مجید؛ مهدیه، مرجان (۱۳۹۰). تحلیل همدید فرین استان اصفهان؛ مجموعه مقالات همایش ملی بوم‌های بیابانی، گردشگری و هنرهای محیطی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد نجف‌آباد، صفحه ۱۵۵-۱۷۷.
15. Ding, T., Qian, W., and Yan, Z. (2010). Changes in hot days and heat waves in China during 9269-9007. *International Journal of Climatology*, 68(18). 9220-9260.
16. Hassan, A., Shamsudin, S., Harun, S. (2014). Application of SDSM and LARSWG for simulating and downscaling of rainfall and temperature.
17. Hoogwijk, M., Faaij, A., Eickhout, B., de Vries, B., and Turkenburg, W. (2000). Potential of biomass energy out to 09::, for four IPCC SRES land-use scenarios. *Biomass and Bioenergy*, 96(7). 002-027
18. Intergovernmental Panel on Climate Change., (2001). "Climate change 2001: The scientific basis", contribution of working group i to the third assessment report, Cambridge, Cambridge University Press
19. IPCC, (2001). Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the third assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. UK: Cambridge University Press.
20. J Garson, C Harsens, J de Beer. (2005). The effect of the summer 2003 heat wave on mortality in the netherlands, urosurveillance.
21. Katharine Hayhoe, Scott Sheridan, Laurence Kalkstein, Scott Greene (2010). Climate change, heat waves, and mortality projections for Chicago, *Journal of Great Lakes Research*, 36, 65-73. Christophe Cassou, Laurent Terray(2005). Tropical Atlantic Influence on European Heat



- Waves in Hungary, *Advances in Geosciences*, 35: 115–122.
27. Russo, S., Dosio, A., Graversen, R. G., Sillmann, J., Carrao, H., Dunbar, M.B., ... and Vogt, J.V. (2009). Magnitude of extreme heat waves in present climate and their projection in a warming world. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 116(99). 902-902.
  28. Russo, S., Sillmann, J., Fischer, E.M. (2015). Top Ten European Heatwaves since 1950 and Their Occurrence in the Coming Decades, *Environmental Research Letters*, 10(12): 1- 15.
  29. Xu, C.Y. (1999). "From GCMs to river flow: a review of downscaling methods and hydrologic modelling approaches", *Prog Phys Geogr*, 23 (2): 229–249.
  30. Yan ,Y., Qu, J., Hao, X., and Yue, S. (2017). Characterizing Spatial-Temporal Changes of Heat Waves in China using Center of Gravity Analysis, *Physical Geography*, 38(4): 379-391.
  - Waves, *Journal of Climate*, 18, 2805-2811.
  22. Cowan, T., Purich, A., Perkins, S., Pezza, A., Boschat, G., Sadler, K., (2014), More Frequent, Longer, and Hotter Heat Waves for Australia in the Twenty-First Century, *Journal of Climate*, 27: 5851-587
  23. Kay, A.L., Davies, H.N., Bell, V.A. and Jones, R.G. (2009). Comparison of uncertainty sources for climate change impacts: flood frequency in England. *Climatic Change*, 92: 41-63.
  24. Koppe, C., Kovats, S., Jendritzky, G., and Menne, B. (2002), Heat-waves: risks and responses. *Health and Global Environmental Change Series*, no. 0. World Health Organizatios.
  25. Murphy, J. 1999. An evaluation of statistical and dynamical techniques for downscaling local climate. *Journal of Climate*, 19(5). 0026-002.
  26. Pongracz, R., Bartholy, J., and Bartha, E.B. (2013), Analysis of Projected Changes in The Occurrence of Heat

