نشریه تحلیل فضایی مخاطرات محیطی، سال سوم، شماره ۱، بهار۱۳۹۵

صفحات ۱۴- ۱

اثر تغییر اقلیم بر امواج گرمایی سواحل شمالی خلیج‌فارس

گلاله مولودی، کارشناسی ارشد برنامه ریزی آمایش سرزمین، گروه جغرافیا، دانشکده علوم انسانی، دانشگاه هرمزگان.

اسداله خورانی[1]، دانشیار اقلیم شناسی، گروه جغرافیا، دانشکده علوم انسانی، دانشگاه هرمزگان.

عباس مرادی، استادیار ژئومرفولوژی، گروه جغرافیا، دانشکده علوم انسانی، دانشگاه هرمزگان.

دریافت مقاله: ۱۳۹۴/۰۷/۰۵ پذیرش نهایی: ۱۳۹۴/۱۲/۲۳

چکیده

هدف از این پژوهش شناسایی امواج گرمایی سواحل شمالی خلیج‌فارس و مقایسه‌ی شرایط پایه و آینده است. برای نیل به این هدف از آمار روزانه‌ی میانگین دمای بیشینه‌ی ۳۵ سال آماری (از ۱۹۸۰ تا ۲۰۱۴) ایستگاه‌های آبادان، بوشهر، بندرعباس، بندرلنگه و کیش استفاده شده است؛ همچنین برای پیش‌بینی امواج گرمایی در آینده از داده‌های دمای بیشینه‌ی چهار مدل از سری مدل‌های CMIP۵ (شامل CanESM۲، MPI-ESM-MR، CSIRO-Mk۳-۶-۰ و CMCC-CESM) طبق RCP۸.۵ برای دوره ۲۰۴۰ تا ۲۰۷۴ استفاده شده است. برای ریزگردانی خروجی مدل‌های اقلیمی مورد نظر از روش شبکه‌های عصبی مصنوعی و برای شناسایی امواج گرمایی، از شاخص فومیاکی (فوجیبه) استفاده شده و با استفاده از برنامه‌نویسی در محیط نرم‌افزار متلب روزهایی را که (دست کم به مدت ۲ روز) دمای آن‌ها بالاتر از ۲+ انحراف معیار بود به عنوان موج گرمایی شناسایی شدند. نتایج پژوهش نشان می‌دهد که امواج گرمایی کوتاه‌مدت رخداد بیش‌تری دارند. امواج گرمایی در دوره‌ی پایه دارای روند افزایشی معنی‌دار (بجز ایستگاه بوشهر) امّا ضعیف بوده‌اند به‌طوری که فراوانی آن در سال‌های اخیر، بیش‌تر شده است. در دوره‌ی ۲۰۴۰ تا ۲۰۷۴ فراوانی امواج گرمایی دارای روند کاهشی معنی‌دار امّا معمولاً با ضرایب تعیین اندک است. هر چند برای ایستگاه کیش در دوره‌ی ۲۰۴۰ تا ۲۰۷۴ فراوانی امواج گرمایی پیش‌بینی شده با چهار مدل، نسبت به دورهٔ پایه افزایش نشان می‌دهد امّا برای بقیّه‌ی ایستگاه‌های مورد مطالعه، در دو مدل افزایش و در دو مدل کاهش نشان داده‌اند. با استفاده از آزمون دانکن در سطح ۰/۰۵، مشخص شد که بین امواج گرمایی داده‌های پایه و آینده هیچ‌گونه تفاوت معنی‌داری وجود ندارد.

واژگان کلیدی: تغییر اقلیم، RCP۸.۵، امواج گرمایی، خلیج‌فارس

[1] - نویسنده مسئول: Email: khoorani@hormozgan.ac.ir

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-04]

[DOI: 10.18869/acadpub.jsaeh.3.1.1]

مقدمه

روند گرمایش جهانی، یکی از مهم‌ترین تغییرات آب و هوایی سده کنونی است که پژوهشگران در مقیاس‌های منطقه‌ای و سیاره‌ای به آن پرداخته‌اند (IPCC, ۲۰۰۷:۲۸). به طوری که تغییرات اقلیم و گرمایش جهانی و پیامد آن بر زندگی و فرایند توسعه در جوامع انسانی، به بزرگ‌ترین مسئله جامعه جهانی تبدیل شده است. تغییرات اقلیم باعث فراوانی رخداد پدیده‌های فرین مانند طوفان، سیل، امواج گرمایی[۱]، یخبندان و غیره شده که در این ارتباط نیز مدل‌های اقلیمی افزایش دماهای حدّی را در آینده پیش‌بینی می‌کنند (Raisanen et al,۲۰۰٤). هیأت بین‌الدول تغییر اقلیم (IPCC)[۲] سناریوهای مختلفی را برای پیش‌یابی چگونگی ادامه روند افزایش گازهای گلخانه‌ای ارائه کرده است که بر مبنای سناریوهای مختلف، تا پایان قرن ۲۱ میلادی غلظت دی‌اکسیدکربن دو برابر خواهد شد (Grubler,۲۰۰۷ ; Hoogwijk, ۲۰۰٥). در این خصوص روش‌های مختلفی جهت پیش‌بینی اقلیم آینده وجود دارد که جامع‌ترین آن‌ها مدل‌های گردش عمومی (GCM)[۳] می‌باشند. هدف این مدل‌ها شبیه‌سازی همه ویژگی‌های سه‌بعدی آب و هوا است (Hoogwijk, ۲۰۰۹). مدل‌های گردش عمومی هیچ‌گاه نمی‌توانند مستقیماً برای پیش‌بینی-های منطقه‌ای استفاده شوند. آن‌ها نیازمند ریزمقیاس‌گردانی[۴] هستند تا با اعمال رفتارهای محلی در آن‌ها پیش‌بینی‌هایشان در مقیاس محلی بهبود یابند. خروجی مدل‌های گردش عمومی را می‌توان به دو صورت دینامیک[۵] و آماری[٦] ریزمقیاس کرد (Murphy, ۱۹۹۹).

موج‌های گرمایی مهم‌ترین بلایای جوّی بوده و بررسی میزان مرگ‌ومیر سالانه‌ی ناشی از مخاطرات اقلیمی نشان می‌دهد که امواج گرمایی باعث بیش‌ترین میزان مرگ‌ومیر نسبت به دیگر رخدادهای اقلیمی می‌شوند (NOAA, ۲۰۰۷). کاهش پیامدهای ناشی از امواج گرمایی درگرو شناسایی امواج گرمایی، پیش‌بینی آنها، کشف راه‌هایی برای کاهش تأثیرات آزاردهندهٔ آن‌ها بر روی سلامت عمومی و شناسایی مناطق آسیب‌پذیر در ارتباط با امواج گرمایی است (Kovats and Koppe, ۲۰۰٤)؛ بنابراین، امروزه یکی از مهم‌ترین نگرانی‌ها از مخاطرات اقلیمی، رخداد امواج گرمایی است که به‌طور گسترده بر جوامع انسانی تأثیرگذار است. رخداد و شدّت موج‌های گرمایی در سال‌های اخیر در بخش‌هایی از جهان افزایش یافته است (Ding, et al, ۲۰۱۰). موج گرمایی فرانسه در تابستان ۲۰۰۳ و همچنین موج گرمای تابستان ۲۰۱۰ قسمت‌های وسیعی از نیمکره‌ی شمالی همچون روسیه، قزاقستان، ایران، چین، شمال آفریقا و بخش‌هایی از اروپا را تحت پوشش خود قرار داد(Schar, et al, ۲۰۰٤). رخداد خشکسالی و آتش‌سوزی در جنگل‌های غرب روسیه و رخداد سیلاب بی‌سابقه در بخش‌های گسترده‌ای از پاکستان را می‌توان از مهم‌ترین پیامدهای موج گرمایی شدید در سال ۲۰۱۰ نام برد (Mokhov, ۲۰۰۹)؛ و یا امواج گرمایی ژوئن ۱۹۹۸ در جنوب شرق آسیا (Kripalani and Kulkarani, ۱۹۹۸) و موج گسترده و شدید ژوئیه ۱۹۹۵ در شیکاگو که باعث مرگ‌ومیر تعداد زیادی از انسان‌ها گردید (Karl and Knigh, ۱۹۹۷). به علت افزایش گرمای جهانی در چند دهه اخیر در زمینه موج گرمایی در شرایط تغییر اقلیم مطالعاتی در نقاط مختلف جهان انجام شده است: رسو[۷] و همکاران در سال ۲۰۱۴ به

۱-Heat wave
۲- Intergovernmental Panel on Climate Change
۳-General Circulation Model
٤-Downscaling
٥-Dynamical Downscaling
٦-Statistical Downscaling
۷- Russo

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-04]
[DOI: 10.18869/acadpub.jsaeh.3.1.1]

بررسی مقیاس امواج گرمایی در آب و هوای 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، ۱۹۹۱ تا ۲۰۰۱ و از ۲۰۰۲ تا ۲۰۱۲ مورد بررسی قرار دادند؛ و از خروجی‌های مدل‌های ترکیبی چندگانه از مدل پروژه‌های CMIP۵ تحت RCP[۱]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، امریکای شمالی، امریکای جنوبی، افریقا و اندونزی، هر دو سال یک بار امواجی را مشابه با موج گرمایی تابستان ۲۰۱۰ روسیه پیش‌بینی می‌کند (Russo,۲۰۱٤). در پژوهش دیگری میزان مرگ‌ومیر ناشی از موج گرمایی در کشور کره جنوبی پیش‌بینی شد. در این مطالعه برای استخراج میزان مرگ‌ومیر در اثر امواج گرمایی با استفاده از داده‌های مشاهده‌ای از سال ۱۹۹۴ تا سال ۲۰۱۲ از روش تجزیه‌وتحلیل رگرسیونی بر روی داده‌های سری زمانی از RCP ٤.۵ و RCP ۸.۵ تا سال ۲۰۶۰ استفاده شده است. نتایج آن‌ها نشان می‌دهد که میزان مرگ‌ومیر در RCP٤.۵ حدود ۵ برابر بیش‌تر و با RCP ۸.۵ میزان ۷/۲ برابر بیش‌تر از دوره‌ی پایه خواهد شد (Kim et al,۲۰۱۵). همچنین در پژوهشی دیگر مرگ‌ومیر ناشی از امواج گرمایی در شیکاگو مورد بررسی قرار گرفت. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد اگر موج گرمایی مشابه موج گرمایی ۲۰۰۳ اروپا در سال‌های آینده در شیکاگو رخ دهد فقط در چند هفته میزان مرگ‌ومیر سالانه‌ی ناشی از گرما به بیش از ده برابر می‌رسد (Hayhoe et al, ۲۰۱۰). در ایران شرایط بسیار حسّاس و شکننده است زیرا که اکثر مناطق ایران بخصوص مناطق جنوب آن طبیعتی ذاتاً خشک دارند، بنابراین گسترش امواج گرما، تداوم خشک‌سالی‌ها را در اکثر مناطق شدّت بخشیده و پیامدهای ناگواری را ایجاد خواهد نمود. درزمینهٔ موج گرمایی در ایران مطالعات کمی صورت گرفته است. اسمعیل نژاد و همکاران (۱۳۹۲) با روش فومیاکی به شناسایی امواج گرمایی پرداختند نتایج پژوهش آنان نشان داد که موج گرمایی کوتاه‌مدت رخداد بیش‌تری داشته است. در شمال و شمال غرب، مرکز ایران و سواحل جنوبی رخداد موج گرما بیش‌تر بوده است. همچنین امواج گرما در دوره آماری روند افزایشی داشته و در سال‌های اخیر، پر رخداد تر بوده‌اند (اسمعیل نژاد و همکاران، ۱۳۹۲).

این مطالعه با هدف استخراج و تحلیل تغییرات امواج گرمایی هم در دوره پایه و هم برای آینده (۲۰۴۰ تا ۲۰۷۴) در سواحل شمالی خلیج فارس با استفاده از سری مدلهای پروژهٔ CMIP۵ و سناریو RCP۸.۵ انجام شده است.

داده‌ها و روش کار

ایستگاه‌های مورد مطالعه در این پژوهش در محدوه عرض جغرافیایی ۲۶ تا ۳۰ و طول جغرافیایی از ۴۸ درجه تا ۵۶ درجه واقع شده است. نوار ساحلی آن در استان‌های هرمزگان، بوشهر و خوزستان قرار دارد و ایستگاه‌های سینوپتیکی انتخاب شده این محدوده شامل ایستگاه‌های کیش، بندرعباس، بندرلنگه، بوشهر و آبادان می‌باشد.

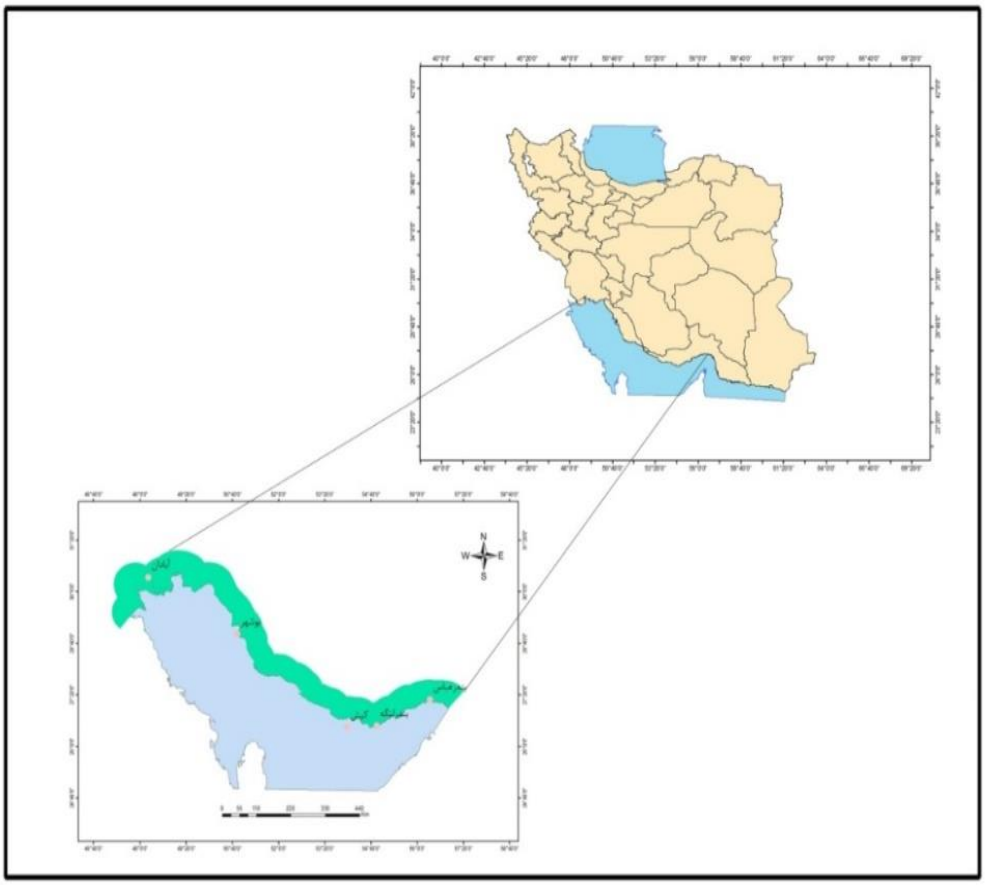
[۱] -Representative Concentration Pathways

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-04]

[DOI: 10.18869/acadpub.jsaeh.3.1.1]

جدول۱: مختصات جغرافیایی ایستگاه‌های مورد مطالعه

ایستگاه / مختصات	آبادان	بوشهر	بندرعباس	بندرلنگه	کیش
عرض‌جغرافیایی	۳۰°۲۲' N	۲۸°۵۵' N	۲۷°۱۵' N	۲۶°۳۵' N	۲۶°۲۹' N
طول جغرافیایی	۴۸°۲۰' E	۵۰°۵۳' E	۵۶°۱۵' E	۵۴°۵۸' E	۵۳°۵۴' E
ارتفاع (متر)	۶/۶	۹	۱۰	۲۲/۷	۳۰



شکل۱: موقعیّت ایستگاه‌های مورد مطالعه

داده‌های مورد استفاده برای دوره‌ی پایه از سال ۱۹۸۰ تا ۲۰۱۴ و برای داده‌های آینده دوره زمانی ۲۰۴۰ تا ۲۰۷۴ می‌باشد. در این پژوهش برای داده‌های آینده از ۴ مدل اقلیمی از پروژه CMIP۵ با RCP۸.۵ استفاده شده که در جدول (۲) آورده شده است. انتخاب RCP۸.۵ به دلیل مطالعه تغییرات امواج گرمایی در بیشترین شرایط انتشار گازهای گلخانه‌ای وگرمایش ناشی از آنها بوده است.

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-04]

[DOI: 10.18869/acadpub.jsaeh.3.1.1]

جدول ۲: مدل‌های اقلیمی مورد بررسی

ردیف	نام مدل به‌صورت اختصار	نام مرکز مدل‌سازی	کشور
۱	CanESM۲[۱]	مرکز کانادایی سیستم زمین	کانادا
۲	MPI-ESM-MR[۲]	مؤسسه هواشناسی ماکس پلانگ	آلمان
۳	CSIRO-Mk۳-۶-۰[۳]	سازمان پژوهشی‌های علمی و صنعتی دارای منافع مشترک	استرالیا
۴	CMCC-CESM[۴]	مدل سیستم کربن زمینی	ایتالیا

در این مطالعه جهت ریزگردانی داده‌های مدل‌های اقلیمی از متداول‌ترین نوع شبکه عصبی مصنوعی به نام شبکه پیش‌خورد از نوع پرسپترون چندلایه (MLP's) استفاده شده است. این نوع شبکه دارای پرسپترون چندلایه با یک‌لایه ورودی، یک‌لایه مخفی و یک‌لایه خروجی است. مجموعه داده‌های آموزشی شبکه شامل ۹۴۹۷ زوج داده‌های ورودی و خروجی است که داده‌های ورودی از یک پارامتر تشکیل شده‌اند. این داده‌های آموزش به دو زیر داده‌های آموزش و داده‌های تست تقسیم‌بندی می‌شوند. مطابق جدول(۳) برای آموزش شبکه عصبی مصنوعی، داده‌های آموزش شامل ۷۳٪ و داده‌های تست شامل ۲۷٪ داده‌ها بوده‌اند.

جدول۳: توزیع داده‌های آموزشی درشبکه عصبی مورد استفاده

تقسیم‌بندی	داده‌های آموزش	داده‌های تست
تعداد	(٪۷۳)۷۳۰۵	(٪۲۷)۲۱۹۱
سال	۱۹۸۰ تا ۲۰۰۰	۲۰۰۰ تا ۲۰۰۵

طبق رابطه زیر ریشه میانگین مربعات خطاها (RMSE) برای خروجی‌های تولید شده شبکه به ازای دو مجموعه تست و آموزش محاسبه شد:

$$\mathrm{RMSE}=\sqrt{\frac{1}{N}\sum_{n=1}^{N}\left(q^{*}_{\mathrm{target}}-q^{*}_{\mathrm{output}}\right)^{2}}$$

که در آن N مجموعه داده‌ها می‌باشد $\mathbf{q^{*}_{target}}$ مقادیر بی‌بعد در مجموعه هدف بوده و q^{*}_{output} مقادیر بی‌بعد محاسبه شده توسط شبکه عصبی می‌باشد (کیانی، ۱۳۸۹: ۶۶-۶۵).

برای شناسایی امواج گرمایی در سواحل شمالی خلیج فارس، از داده‌های دمای حداکثر روزانه از سال ۱۹۸۰ تا ۲۰۱۴ و برای سال‌های آینده از داده‌های دمای حداکثر روزانه برای سال‌های ۲۰۴۰ تا ۲۰۷۴ با استفاده از شاخص بهنجار شده‌ی دما (فومیاکی) استفاده شده است که با استفاده از این شاخص می‌توان دماهای فرین گرم را شناسایی کرد (Fujibe and et al,۲۰۰۷:٦٥، مسعودیان و دارند، ۱۳۹۰ و اسمعیل نژاد، ۱۳۹۲). برای محاسبه این نمایه

۱۰- Canadian Earth System Model
۱۱- Max-Planck-Institut für Meteorologie
۱۲- Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization
۱۳- CMCC Carbon Earth System Model

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-04]
[DOI: 10.18869/acadpub.jsaeh.3.1.1]

نخست میانگین بلندمدت دما برای هریک از روزهای سال محاسبه شده تا انحراف دمای هر روز خاص نسبت به میانگین بلندمدت مبنای داوری درباره گرمی آن روز قرار گیرد. میانگین بلندمدت دماهای هر روز با رابطه زیر به دست می‌آید:

رابطه (۱) $T(i,j) = \sum_{n=۱۹۸۰}^{۲۰۱٤} \mathrm{T(i,j,n)/N}$

در این رابطه i دمای روز jام و سال Nام است. جهت محاسبه میانگین روزانه هر کدام از روزهای مورد نظر در ماه بخصوص، از مقادیر ۳۵ روز مربوط به ۳۵ سال میانگین گرفته شد. برای از بین بردن نوفه‌های موجود در میانگین بلندمدت، فیلتر میانگین متحرک ۹ روزه سه بار بر روی این داده‌ها اجرا شد. در نتیجه تأثیر عوامل زود گذر محلی بر نوسان دما حذف شد. سپس به کمک رابطه زیر انحراف دما برای هریک از روزهای آماری مورد بررسی نسبت به میانگین بلندمدت محاسبه شد.

رابطه (۲) $\Delta T\mathrm{=(i,j,n)=T(i,j,n)-T(I,j)}$

در اینجا $\mathbf{\Delta T}\mathrm{=(I,j,n)}$ انحراف دمای روز i ام، ماه jام و سال nام نسبت به میانگین بلندمدت دمای همان روز تقویمی است. شدت انحراف دما یا ΔT بستگی به تغییرات روز به روز دما دارد و بر حسب فصل و منطقه متفاوت خواهد بود. برای آن‌که مقادیر انحراف دمای زمان‌های مختلف در یک نقطه جغرافیایی و مکان‌های مختلف در یک زمان معین با یکدیگر قابل مقایسه باشند لازم است این مقادیر مطلق انحراف دما به کمک پراش دما استانداردسازی شوند. همانند تغییرات روز به روز، پراش ΔT در ۳۱ روز برای هر روز تقویمی طبق رابطه (۳) به دست می‌آید. سپس میانگین متحرک ۹ روزه سه بار انجام می‌شود (Fujibe, and et al,۲۰۰۷:٦٥، مسعودیان و دارند، ۱۳۹۰: ۱۷۳ و اسمعیل نژاد، ۱۳۹۲، ۴۳).

رابطه (۳)

$$\overline{\sigma^{۲}(\imath,\jmath)} = \sum_{n=۱۹۸۰}^{۲۰۱٤} \sum_{j-۱٦}^{j+۱٦} \left[\Delta T\left(i,j^{\prime},n\right) - \Delta T\left(i,j^{\prime}\right)\right]^{۲} \div ۳۱\mathrm{N}$$

$$\overline{\sigma^{۲}(\imath,\jmath)} = \sum_{n=۲۰٤۰}^{۲۰۷٤} \sum_{j-۱٦}^{j+۱٦} \left[\Delta T\left(i,j^{\prime},n\right) - \Delta T\left(i,j^{\prime}\right)\right]^{۲} \div ۳۱N$$

رابطه (۴)

$$\overline{\Delta T(\imath,\jmath)} = \sum_{n=۱۹۸۰}^{۲۰۱٤} \sum_{j^{\prime}=j-۱٦}^{j+۱٦} T\left(i,j^{\prime},n\right) \div ۳۱N$$

$$\overline{\Delta T(\imath,\jmath)} = \sum_{n=۲۰٤۰}^{۲۰۷٤} \sum_{j^{\prime}=j-۱٦}^{j+۱٦} T\left(i,j^{\prime},n\right) \div ۳۱N$$

سرانجام نمایه فومیاکی یا انحراف دمای نرمال شده (NTD)[۱] از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$x(i,j,n)=\Delta T(i,j,n) \div \overline{\sigma(\imath,\jmath)}$$

$$\overline{\sigma(\imath,\jmath)} = \sqrt{\overline{\sigma^{۲} \times (\imath,\jmath)}}$$

۱٤- Normalized Thermal Deviation

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-04]

[DOI: 10.18869/acadpub.jsaeh.3.1.1]

بعد از محاسبه شاخص فومیاکی روزهایی که ضریب NTD آن‌ها بالاتر از ۲ بود و حداقل ۲ روز تداوم داشت از ماتریس NTD جدا شد و بنام امواج گرمایی معرفی گردید.

شرح و تفسیر نتایج

نتایج و اطلاعات مربوط به ریزگردانی داده‌های مدل‌های اقلیمی توسط شبکه عصبی برای هر یک از مدل‌های مورد استفاده در جدول (۴) آورده شده است.

جدول ۴: نتایج ریزگردانی مدل‌های اقلیمی با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی

مدل‌های اقلیمی	تعداد گره		RMSE					میانگین کلی RMSE
	تابع سیگموئید	تابع خطی	آبادان	بوشهر	بندرعباس	لنگه	کیش	
CanESM۲	۵	۱	۹.۶۲۰۸	۶.۱۳۵۷	۴.۸۵۱۶	۴.۷۲۶۸	۴.۵۲۵۷	٥.٩٧٢١
MPI-ESM-MR	۵	۱	۹.۲۹۹۸	۷.۰۸۲۸	۳.۹۱۸۴	۴.۹۸۶	۴.۲۹۰۱	٥.٩١٥٤
CSIRO-MK۳-٦-۰	۱۵	۱	۸.۷۶۲۲	۵.۶۰۴۹	۳.۶۴۱۸	۳.۳۹۱۱	۳.۵۷۲۱	٤.٩٩٤٤
CMCC-CESM	۱۰	۱	۹.۲۰۵۰	۵.۸۴۴۰	۳.۹۲۴۵	۴.۷۲۴۸	۳.۸۵۸۱	٥.٥١١٢

بیشترین دقّت ریزگردانی مربوط به مدل استرالیایی CSIRO-MK۳-٦-۰ با میزان خطای جذر میانگین مربعات ۴/۹۹ برای همه ایستگاه‌ها (به صورت میانگین)، و کمترین دقّت با میزان ۵/۹۷ مربوط به مدل کانادایی CanESM۲ بوده است.

بیش‌ترین امواج گرمایی استخراج شده برای داده‌های پایه، مربوط به ایستگاه آبادان می‌باشد. شدّت امواج گرمایی در سال ۲۰۱۰ بسیار زیاد بوده به طوری که امواج گرمایی تمام ایستگاه‌ها در این سال دارای بیش‌ترین رخداد بوده‌اند. امواج گرمایی داده‌های پایه از نظر آماری بجز برای ایستگاه بوشهر دارای روند افزایشی معنی‌داری (حداقل در سطح ۹۵ درصد) بوده‌اند. امّا این روند جز برای بندر لنگه که دارای ضریب تعیین ۰/۵۸ بوده است، برای سایر ایستگاه‌ها، ضعیف و دارای ضریب تعیین کمتر از ۰/۲۳ بوده‌اند. همچنین به طور کلّی می‌توان دورهٔ مورد نظر را به دو بخش (۱۹۸۰ تا ۱۹۹۷ و دوره بعد از آن) تقسیم کرد (شکل ۲). به گونه‌ای که بر اساس آزمون آماری T مستقل، میانگین رخداد امواج گرمایی برای تمام ایستگاه‌ها در این دو دوره از نظر آماری دارای تفاوت معنی‌داری بوده و این رقم برای دوره اول ۸/۶۵ و برای دوره بعد ۱۴/۹ بوده است. فراوانی ماهانه امواج گرمایی، نشان می‌دهد که فصل تابستان به‌ویژه ماه‌های تیر و مرداد دارای بیش‌ترین موج گرمایی است. به طور کلّی از نظر فصلی امواج گرمایی برای داده‌های پایه دارای شرایطی فصلی بوده و دو بیشینه برای فوریه تا آوریل و ژوئیه تا سپتامبر قابل تشخیص است (شکل ۳). فراوانی امواج گرمایی از ۲ روز تا ۲۹ روز نشان می‌دهد که موج‌های گرمایی کوتاه‌مدت بیش‌ترین فراوانی را دارند.

شکل ۲ سری زمانی امواج گرمایی را برای ایستگاه‌های مورد بررسی، براساس مدل‌های انتخاب شده بر مبنای RCP۸.۵، و برای داده‌های پایه نشان می‌دهد. با توجّه به مدل CanESM۲ بیش‌ترین فراوانی امواج گرمایی برای دورهٔ

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-04]
[DOI: 10.18869/acadpub.jsaeh.3.1.1]

آینده به ترتیب برای ایستگاه‌های بندرعباس، آبادان و کیش و کم‌ترین موج گرمایی را به ترتیب برای ایستگاه‌های بوشهر و بندرلنگه استخراج شده است. براساس پیش‌بینی‌های انجام شده برای ۲۰۴۰ تا ۲۰۷۴ با این مدل سری زمانی فراوانی امواج گرمایی برای تمام ایستگاه‌ها دارای روند کاهشی معنی‌دار خواهند بود. این روند کاهشی در ایستگاه‌های بندرعباس و کیش به ترتیب دارای شدیدترین (۰/۷۸) و ضعیف‌ترین (۰/۲۷) میزان ضریب تعیین است. با وجود کاهشی بودن روندهای استخراج شده، در مجموع فراوانی امواج پیش بینی شده با این مدل برای تمام ایستگاه‌ها از امواج استخراج شده برای داده‌های پایه بیشتر است. در مقیاس ماهانه، نیز بیش‌ترین امواج گرمایی برای ماه ژوئیه، استخراج شده است. در این میان بیش‌ترین رخدادها را موج‌های گرمایی کوتاه‌مدت از ۲ تا ۱۱ روز تشکیل داده و موج های گرمایی ۲ روزه و ۵ روزه، دارای بیش‌ترین فراوانی هستند.

فراوانی امواج گرمایی پیش‌بینی شده با توجّه به مدل MPI-ESM-MR بجز برای ایستگاه بندر لنگه (روند افزایشی غیرمعنی‌دار) برای سایر ایستگاه‌ها دارای روند کاهشی معنی‌دار است. این روندها جز برای ایستگاه کیش (۰/۵۴) دارای ضرایب تعیین بسیار ناچیزی (کمتر از ۰/۱۵) هستند. بیش‌ترین موج گرمایی به دست آمده در مدل MPI-ESM-MR برای دوره‌ی آینده، مربوط به ایستگاه‌های کیش و بوشهر و کمترین موج گرمایی مربوط به ایستگاه بندرعباس است. همچنان فراوانی امواج گرمایی پیش‌بینی شده از دورهٔ پایه بیشتر است و بیش‌ترین موج گرمایی استخراج شده در این مدل به ترتیب مربوط به ماه‌های مارس، اوت و ماه ژوئیه و کم‌ترین آن در ماه نوامبر است (شکل ۳). بیش‌ترین رخداد امواج گرمایی در این مدل را موج‌های گرمایی کوتاه‌مدت تشکیل می‌دهند که در همه ایستگاه‌ها امواج ۲ روزه فراوانی بیش‌تری را نسبت به دیگر روزها دارند.

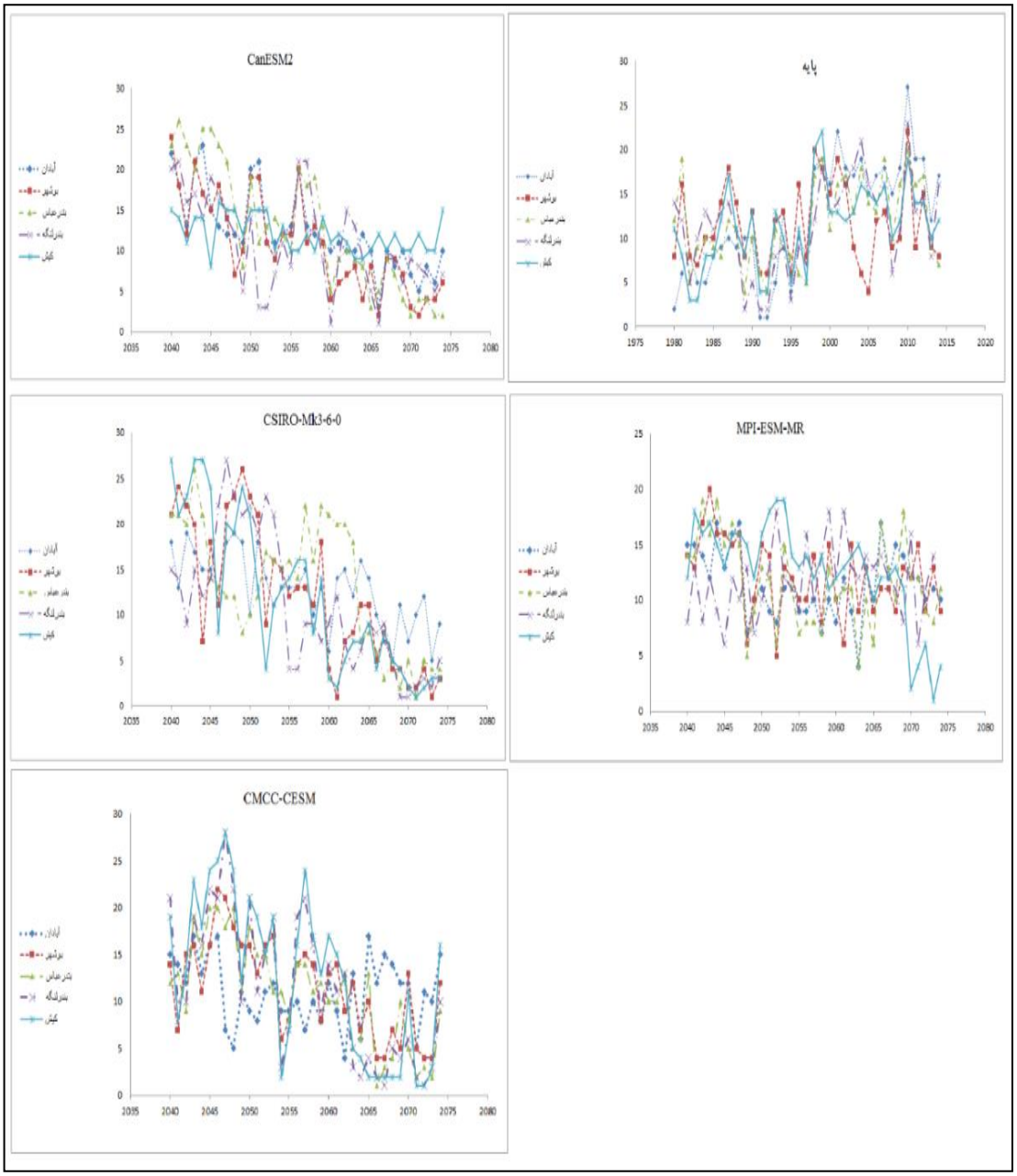
برای فروانی‌های پیش‌بینی شده براساس مدل CSIRO-Mk۳-٦-۰ در تمام ایستگاه‌ها روندهای کاهشی معنی‌دار حاکم بوده و بالاترین ضریب تعیین این روندها مربوط به ایستگاه کیش (۰/۷۴) و کمترین آن مربوط به ایستگاه بندرعباس (۰/۴۵) است. با توجّه به اینکه فراوانی امواج گرمایی پیش‌بینی شده با این مدل از ۲۰۴۰ تا اواسط دورهٔ مورد نظر (۲۰۶۰) اعداد بزرگی را نمایش می‌دهد، با وجود روندهای کاهشی حاکم در تمام ایستگاه‌ها در مجموع تعداد کلّ امواج استخراج شده ایستگاه‌ها از داده‌های پایه بیشتر است. بیش‌ترین امواج گرمایی پیش‌بینی شده مربوط به ایستگاه‌های بندرعباس، آبادان و بوشهر و کم‌ترین موج گرمایی مربوطه به ایستگاه بندرلنگه است. با توجّه به این مدل هم ماه اوت و سپس ماه سپتامبر دارای بیش‌ترین موج گرمایی و کم‌ترین میزان در ماه آوریل خواهد بود (شکل ۳). در واقع امواج گرمایی دورهٔ گرم سال بیش‌ترین میزان را به خود اختصاص داده‌اند و بیش‌ترین رخداد امواج گرمایی در این مدل موج‌های گرمایی کوتاه‌مدت می‌باشند.

روند امواج گرمایی استخراج شده با داده‌های پیش بینی شده با مدل CMCC-CESM نیز بجز برای ایستگاه آبادان در سایر ایستگاه‌ها کاهشی ومعنی‌دار بوده است. بالاترین ضریب تعیین این روندها برای ایستگاه بندرعباس (۰/۵۶) و پایین‌ترین آن برای ایستگاه بوشهر (۰/۴) استخراج شده است. مدل CMCC-CESM تنها مدلی است که تعداد امواج پیش‌بینی شده با داده‌های آن از دوره پایه کمتر است. بیش‌ترین موج گرمایی استخراج شده با این مدل مربوط به ماه ژوئیه و کم‌ترین آن در ماه فوریه می‌باشد (شکل ۳). بیش‌ترین رخداد امواج گرمایی در این مدل موج‌های گرمایی کوتاه‌مدت هستندکه موج‌های دو روزه بیش‌ترین سهم را در بین امواج‌های دیگر به خود اختصاص داده است.

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-04]

[DOI: 10.18869/acadpub.jsaeh.3.1.1]

برای شناسایی تفاوت بین فراوانی امواج گرمایی در دورهٔ پایه و آینده از آزمون دانکن استفاده شده و براساس این آزمون در سطح ۰/۰۵، مشخص شد که بین امواج گرمایی داده‌های پایه و آینده هیچ‌گونه تفاوت معنی‌داری وجود ندارد.



شکل۲: امواج گرمایی استخراج شده سالانه در داده‌های پایه و آینده

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-04]

[DOI: 10.18869/acadpub.jsaeh.3.1.1]



شکل۳: امواج گرمایی استخراج شده ماهانه در داده پایه و آینده

تغییرات سالانه امواج گرمایی در دوره‌ی آینده نسبت به دوره‌ی پایه (جدول ۵) به این صورت است که فراوانی امواج گرمایی در دوره آینده برای ایستگاه‌های آبادان و بندرعباس در مدل‌های CanESM۲ و CSIRO-Mk۳-۶-۰، ایستگاه بوشهر در مدل‌های MPI-ESM-MR و CSIRO-Mk۳-۶-۰ و ایستگاه بندرلنگه MPI-ESM-MR و CMCC-CESM نسبت به دوره پایه افزایش نشان می‌دهد امّا ایستگاه کیش در تمام مدلهای مورد بررسی با افزایش فراوانی امواج گرمایی در سال‌های آینده روبه‌رو است.

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-04]

[DOI: 10.18869/acadpub.jsaeh.3.1.1]

جدول ۵: مقایسه امواج گرمایی استخراج شده در داده‌های آینده و پایه

مدل‌های آینده و پایه	آبادان	بوشهر	بندرعباس	بندرلنگه	کیش
CanESM۲	۴۳۴	۳۷۶	۴۴۱	۳۸۰	۴۲۱
MPI-ESM-MR	۴۰۱	۴۲۳	۴۰۵	۴۱۴	۴۴۲
CSIRO-Mk۳-۶-۰	۴۴۸	۴۲۰	۴۵۷	۳۸۸	۴۱۵
CMCC-CESM	۳۸۷	۴۰۶	۳۸۲	۴۰۱	۴۴۲
پایه	۴۳۰	۴۰۷	۴۱۰	۴۰۰	۳۹۹

تغییرات فصلی خروجی مدل‌های اقلیمی در مقایسه با داده‌های پایه در جدول۶ آورده شده است. در ایستگاه آبادان فصل پاییز و زمستان دارای تغییرات زیادی است و میزان امواج گرمایی در سال‌های آینده در این دو فصل از دوره‌ی پایه بیشتر خواهد شد. در ایستگاه بوشهر امواج گرمایی فصل بهار دارای تغییرات زیادی است و بعد از فصل بهار امواج گرمایی فصل تابستان و زمستان بیش‌تر از دوره‌ی پایه خواهد بود. در ایستگاه بندرعباس در همه فصول به جزء فصل تابستان میزان امواج گرمایی بیش‌تر از دوره‌ی پایه خواهد شد. در ایستگاه بندرلنگه نیز امواج گرمایی فقط در فصل زمستان کاهش را نشان می‌دهد و در بقیه‌ی فصول امواج گرمایی نسبت به دوره‌ی پایه افزایش را نشان می‌دهد و در نهایت ایستگاه کیش در تمام فصول سال امواج گرمایی نسبت به دوره‌ی پایه بیش‌تر خواهد شد.

جدول ۶: تغییرات امواج گرمایی استخراج شده ایستگاه‌های سواحل شمالی خلیج‌فارس در مدل‌های تغییر اقلیم نسبت به امواج گرمایی دوره‌ی پایه

ایستگاه	فصل	درصد امواج گرمایی از کل داده‌های پایه	درصد امواج گرمایی از کل داده‌های آینده
آبادان	بهار	۳۰.۴۳	۲۴.۰۲
	تابستان	۲۹.۱۹	۲۷.۸۷
	پاییز	۱۷.۳۹	۲۲.۶۱
	زمستان	۲۲.۹۸	۲۵.۴۸
بوشهر	بهار	۲۱.۴۲	۲۴.۲۳
	تابستان	۲۵	۲۶.۲۱
	پاییز	۲۸.۵۷	۲۴.۸۲
	زمستان	۲۴	۲۵.۳۲
بندرعباس	بهار	۲۱.۷۳	۲۴.۷
	تابستان	۲۶.۸۱	۲۷.۰۱
	پاییز	۲۵.۸۱	۲۵.۱۷
	زمستان	۲۴.۱	۲۴.۶۳
بندرلنگه	بهار	۲۳.۵۵	۲۳.۷۴
	تابستان	۲۳.۳۳	۲۹.۸۲
	پاییز	۲۳.۷۴	۲۵.۸۱
	زمستان	۲۵.۱۷	۲۰.۸
کیش	بهار	۲۴.۲۷	۲۴.۸
	تابستان	۲۵.۵۳	۲۸.۳۲
	پاییز	۲۳.۳۵	۲۵.۲۱
	زمستان	۲۳.۱	۲۳.۸

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-04]

[DOI: 10.18869/acadpub.jsaeh.3.1.1]

نتیجه‌گیری

در این پژوهش پس از ریزگردانی داده‌های مدل‌های اقلیمی، موج‌های گرمایی سواحل خلیج فارس در دو دورهٔ ۳۵ ساله برای دوره‌های پایه و آینده مورد بررسی و شناسایی قرار گرفته است. در داده‌های پایه از سال ۱۹۸۰ تا ۲۰۱۴ بر فراوانی امواج گرمایی در منطقهٔ مورد مطالعه افزوده شده و در تمامی ایستگاه‌های مورد بررسی، روند افزایشی با ضرایب تعیین پایین ملاحظه شده است. همچنین تفاوت معنی‌داری بین میانگین تعداد امواج گرمایی بخش اول داده‌های پایه (۱۹۸۴ تا ۱۹۹۷) و بخش دوم آن (۱۹۹۷ تا ۲۰۱۴) ملاحظه شده و میانگین دوره دوّم از دروهٔ اول بیشتر است. به عبارت دیگر در سالهای اخیر رخداد امواج گرمایی بیشتر شده است. این یافته‌ها، نتایج کارهای اسمعیل نژاد و همکاران (۱۳۹۲)، قویدل (۱۳۹۴) و عزیزی (۱۳۹۱) را تأیید می‌کند.

بر خلاف داده‌های پایه روند سری‌های زمانی و فراوانی امواج گرمایی در آینده برای تمام ایستگاه‌ها و تمام مدلها (بجز دو مورد) کاهشی و معنی‌دار است. امّا همانند داده‌های پایه ضرایب تعیین این روندها بجز در موارد معدودی ناچیز است. در مجموع بجز در مدل CMCC-CESM در سایر مدلها، فراوانی امواج گرمایی استخراج شده برای ۳۵ سال آینده از ۳۵ سال پایه بیشتر است. این افزایش فراوانی امواج گرمایی در آینده نسبت به دوره پایه در تأیید نتایج کارهای روسو (۲۰۱۴)، دینگ و همکاران (۲۰۱۰) و کینگ و همکاران (۲۰۱۵) است. شاخص فومیاکی فوجیبه در استخراج امواج گرمایی به نوعی بر انحراف دما از میانگین زمانی بلند مدّت همان زمان و همان مکان خاص استوار است و تقویّت پرفشار جنب حارّه‌ای در اثر افزایش گازهای گلخانه‌ای (Li, et al, ۲۰۱۲; Li, et al, ۲۰۱۱) و استقرار طولانی مدّت‌تر و شدیدتر آن می‌تواند با وجود گرمایش بیشتر و فراگیرتر، این انحراف از میانگین را کاهش دهد. البتّه در این زمینه مطالعات بیشتر با مدلها و سناریوهای بیشتر توصیه می‌شود.

منابع

اسمعیل نژاد، مرتضی؛ محمود خسروی، بهلول علیجانی و سید ابوالفضل مسعودیان. ۱۳۹۲. شناسایی امواج گرمایی ایران. *فصلنامه جغرافیا و توسعه*، **۳۳**: ۳۱-۵۴.

درگاهیان، فاطمه و محسن رضایی. ۱۳۹۳. بررسی شرایط سینوپتیکی و بیو کلیماتولوژی شاخص گرما با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی در ایستگاههای ساحلی و دریایی جنوب و اثرات آن بر روی سلامت انسان. *فصلنامه علمی پژوهشی اطلاعات جغرافیایی*، **۹۱**: ۵۴-۴۳.

عزیزی، قاسم. ۱۳۸۳. *تغییر اقلیم*. نشر قومس، تهران.

عزیزی، قاسم؛ علی اکبر شمسی‌پور و مرتضی میری. ۱۳۹۱. واکاوی همدیدی ارتباط آتش‌سوزی‌های ماه ژوئیه ۲۰۱۰ روسیه و سیل پاکستان. *جغرافیا و توسعه*، **۲۹**، زمستان ۱۳۹۱: ۱۴۴-۱۳۱.

قویدل‌رحیمی، یوسف. ۱۳۹۴. تحلیلی از مخاطره اقلیمی امواج ابر گرم سال ۱۳۸۹ استان خوزستان. *جغرافیا و برنامه ریزی*، **۵۱**: ۳۰۹-۲۸۹.

کیانی، کورش. ۱۳۸۹. *روشی نوین از کاربرد شبکه‌های عصبی مصنوعی در پیش‌بینی جریان ناشی از موج عبور روی موج‌شکن مستغرق*. پایان نامه برای دریافت درجه کارشناسی‌ارشد در رشته مهندسی عمران گرایش سازهای دریایی، دانشگاه هرمزگان، دانشکده فنی.

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-04]

[DOI: 10.18869/acadpub.jsaeh.3.1.1]

مسعودیان، سید ابوالفضل و محمد دارند. ۱۳۹۰. تحلیل همدید سرماهای فرین. *جغرافیا و توسعه*، **۲۲**: ۱۸۵-۱۶۵.

Fujibe, F., Yamazaki, N., Kobayashi, K., and Nakamigawa, H. ۲۰۰۷. long-term changes of temperature extremes and day-to-day variability in Japan, papers in Meterology and Geophysics, ۵۸. ۶۳-۷۲.

Grübler, A., O'Neill, B., Riahi, K., Chirkov, V., Goujon, A., Kolp, P., ... and Slentoe, E. ۲۰۰۷. Regional, national, and spatially explicit scenarios of demographic and economic change based on SRES. Technological Forecasting and Social Change, ۷۴(۷). ۹۸۰-۱۰۲۹.

Hayhoe, K., Sheridan, S., Kalkstein, L., and Greene, S. ۲۰۱۰. Climate change, heat waves, and mortality projections for Chicago. Journal of Great Lakes Research, ۳۶. ۶۵-۷۳.

Hoogwijk, M., Faaij, A., de Vries, B., and Turkenburg, W. ۲۰۰۹. Exploration of regional and global cost–supply curves of biomass energy from short-rotation crops at abandoned cropland and rest land under four IPCC SRES land-use scenarios. Biomass and Bioenergy, ۳۳(۱). ۲۶-۴۳.

Hoogwijk, M., Faaij, A., Eickhout, B., de Vries, B., and Turkenburg, W. ۲۰۰۵. Potential of biomass energy out to ۲۱۰۰, for four IPCC SRES land-use scenarios. Biomass and Bioenergy, ۲۹(۴). ۲۲۵-۲۵۷.

IPCC, ۲۰۰۷: Summary for Policymakers. Climate Change ۲۰۰۷: The Physical Science Basis. Solomon, S., Qin, D., Manning, M., Chen, Z., Marquis, M., Averyt, K.

Karl, T. R., and Knight, R. W. ۱۹۹۷. The ۱۹۹۵ Chicago heat wave: How likely is a recurrence?, Bulletin of the American Meteorological Society, ۷۸(۶). ۱۱۰۷-۱۱۱۹.

Kim, D. W., Deo, R. C., Chung, J. H., and Lee, J. S. ۲۰۱۶. Projection of heat wave mortality related to climate change in Korea. Natural Hazards, ۸۰(۱). ۶۲۳-۶۳۷.

Koppe, C., Kovats, S., Jendritzky, G., and Menne, B. ۲۰۰۴. Heat-waves: risks and responses. Health and Global Environmental Change Series, no. ۲. World Health Organizatios.

Kripalani, R. H., and Kulkarni, A. ۱۹۹۸. The relationship between some large-scale atmospheric parameters and rainfall over Southeast Asia: A comparison with features over India. Theoretical and Applied Climatology, ۵۹(۱). ۱-۱۱.

Li, W., Li, L., Ting, M., and Liu, Y. ۲۰۱۲. Intensification of Northern Hemisphere subtropical highs in a warming climate. NATURE GEOSCIENCE, VOL ۵. ۸۳۰-۸۳۴.

Li, W., Li, L., Fu, R., Deng, Y., Wang, H. ۲۰۱۱. Changes to the North Atlantic Subtropical High and Its Role in the Intensification of Summer Rainfall Variability in the Southeastern United States. Journal of Climate, ۲۴(۵). ۱۴۹۹-۱۵۰۶.

Mokhov, I. I., and Chernokulsky, A. V. ۲۰۱۰. Regional model assessments of forest fire risks in the Asian part of Russia under climate change. Geography and Natural Resources, ۳۱(۲). ۱۶۵-۱۶۹.

Murphy, J. ۱۹۹۹. An evaluation of statistical and dynamical techniques for downscaling local climate. Journal of Climate, ۱۲(۸). ۲۲۵۶-۲۲۸۴.

NOAA (۲۰۰۷). Natural Hazard Statistics. National Oceanic and Atmospheric Administration.

Räisänen, J., Hansson, U., Ullerstig, A., Döscher, R., Graham, L. P., Jones, C., ... and Willén, U. ۲۰۰۴. European climate in the late twenty-first century: regional simulations with two driving global models and two forcing scenarios. Climate dynamics, ۲۲(۱). ۱۳-۳۱.

Russo, S., Dosio, A., Graversen, R. G., Sillmann, J., Carrao, H., Dunbar, M. B., ... and Vogt, J. V. ۲۰۱۴. Magnitude of extreme heat waves in present climate and their projection in a warming world. Journal of Geophysical Research: Atmospheres, ۱۱۹(۲۲). ۱۲۵۰۰-۱۲۵۱۲.

Schär, C., Vidale, P. L., Lüthi, D., Frei, C., Häberli, C., Liniger, M. A., and Appenzeller, C. ۲۰۰۴. The role of increasing temperature variability in European summer heatwaves. Nature, ۴۲۷(۶۹۷۲). ۳۳۲-۳۳۶.

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-04]

[DOI: 10.18869/acadpub.jsaeh.3.1.1]

Ding, T., Qian, W., and Yan, Z. ۲۰۱۰. Changes in hot days and heat waves in China during ۱۹٦۱–۲۰۰۷. International Journal of Climatology, ۳۰(۱۰). ۱٤٥۲-۱٤٦۲.

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-04]

[DOI: 10.18869/acadpub.jsaeh.3.1.1]