Semnan University

Climate and Ecosystem
of Arid and Semi-arid Regions
https://ceasr.semnan.ac.ir

Research Article

Frequency Analysis of Cold Waves Occurrence in Semnan Province

Azadeh Soltani[1], Soghra Poodineh[2], Maryam Raeesi[3], Ali Asghar Zolfaghari[4]*, Seyed Hasan Kaboli[5]

1-PhD student, Department of Arid and Semi-arid Regions, Faculty of Desert Studies, Semnan University, Semnan, Iran
2-PhD student, Department of Arid and Semi-arid Regions, Faculty of Desert Studies, Semnan University, Semnan, Iran
3-PhD student, Department of Arid and Semi-arid Regions, Faculty of Desert Studies, Semnan University, Semnan, Iran
*4-*Associate Professor, Department of Arid and Semi-arid Regions, Faculty of Desert Studies, Semnan University, Semnan, Iran*
5-Assistant Professor, Department of Arid and Semi-arid Regions, Faculty of Desert Studies, Semnan University, Semnan, Iran

ARTICLEINFO

Article type:
Research full paper

Article history:
Received:26 november 2023
Revised: 19 december 2023
Accepted: 4 february 2024

Keywords:
Cold waves, Wave duration, Z index, Semnan province.

EXTENDED ABSTRACT

Background and Objectives: Cold waves are natural phenomena normally occurring in winter and autumn seasons. They likely cause significant damage to agricultural crops and garden yields. Accordingly, both monitoring and prediction of cold waves occurrence are essential for planning and managing the associated risks beneficially.

Materials and Methods: This study aims at analyzing cold waves data in Semnan province, enhancing a better understanding of this phenomenon, and suggesting practical solutions for effective management. To meet this target, the minimum daily temperature data were analyzed from 1980 to 2020. To identify the cold waves, the standardized minimum temperature (Z-index) was calculated during the same period in Semnan province.

Results: Our findings revealed that the highest occurrences of cold waves occurred in Semnan city with a fairly long-term duration (In 2007, there were two cold waves lasting 3 and 7 days, and in 2016 there was a cold wave lasting 6 days). Moreover, Shahmirzad, Shahrood and Miamey stations recorded the lowest minimum temperature (-16.4 ˚C, -14.2 ˚C, -14.2 ˚C) in November 2016, respectively.

Conclusion: Results demonstrate that the cold waves occur with 10-year return period. Subsequently, developing applicable management plans are essential to reduce cold waves exposures and damages.

Cite this article as: Soltani, A., Poodineh, S., Raees, M., Zolfaghari, A., & Kaboli, H.S. (2023). Frequency analysis of cold waves occurrence in Semnan province. Climate and Ecosystem of Arid and Semi-arid Regions, 1(1), 167-183.
© 2024 Published by Semnan University Press.

https://doi.org/10.22075/ceasr.2024.32405.1023

مقاله پژوهشی

تحلیل فراوانی وقوع موج سرما در استان سمنان

آزاده سلطانی ایدغمیشی[۱]، صغری پودینه[۲]، مریم رئیسی[۳]، علی‌اصغر ذوالفقاری*[۴]، سید حسن کابلی[۵]

[۱]دانشجوی مقطع دکتری مدیریت و کنترل مناطق بیابانی، دانشکده کویر شناسی، دانشگاه سمنان
[۲]دانشجوی مقطع دکتری مدیریت و کنترل مناطق بیابانی، دانشکده کویر شناسی، دانشگاه سمنان، ایران
[۳]دانشجوی مقطع دکتری مدیریت و کنترل مناطق بیابانی، دانشکده کویر شناسی، دانشگاه سمنان، ایران
[۴]*دانشیار گروه مدیریت و کنترل مناطق بیابانی، دانشکده کویر شناسی، دانشگاه سمنان، ایران
[۵]استادیار گروه مدیریت و کنترل مناطق بیابانی، دانشکده کویر شناسی، دانشگاه سمنان، ایران
*نویسنده مسئول: azolfaghari@semnan.ac.ir

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
مقاله کامل علمی- پژوهشی
تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۹/۰۵
تاریخ ویرایش: ۱۴۰۲/۰۹/۲۸
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۱/۱۵

واژه‌های کلیدی:
امواج سرما، دوام موج، شاخص Z ، استان سمنان

چکیده مبسوط

سابقه و هدف: امواج سرما به‌عنوان یکی از پدیده‌های طبیعی و پیچیده در اقلیم‌های سرد شناخته می‌شوند. این پدیده با کاهش ناگهانی دما همراه است و معمولاً در فصل‌های زمستان و پاییز اتفاق می‌افتد. رخ دادن این پدیده گاه باعث نابودی کامل محصولات کشاورزی و باغبانی خواهد شد. پایش و پیش‌بینی رخداد موج سرما اهمیت فراوانی در برنامه‌ریزی جهت مدیریت صحیح در مقابله با این مخاطره دارد.

مواد و روش‌ها: هدف از این مطالعه، بررسی و تحلیل داده‌های مربوط به امواج سرما در استان سمنان، شناخت بهتر این پدیده و ارائه راهکارهایی برای مدیریت صحیح آن است. بدین منظور، کمینه دمای روزانه در دوره آماری ۱۹۸۰ تا ۲۰۲۰ بررسی و تحلیل شد و سپس دمای حداقل استاندارد شده (Z) تعیین گردید تا بر اساس آن، امواج سرمایی رخ داده طی این دوره در سطح استان استخراج گردد.

یافته‌ها: نتایج نشان داد که شهرستان سمنان دارای بیشترین تجربه وقوع موج سرما با دوام زیاد بوده است (سال ۱۳۸٦، دو موج سرما با دوام ۳ و ۷ روزه و در سال ۱۳۹۵ یک موج سرما با دوام ٦ روز). دمای سردترین روز سال طی رخداد موج سرما مربوط به ایستگاه شهمیرزاد (۱٦/٤- درجه سلسیوس) و پس از آن ایستگاه‌های شاهرود و میامی با حداقل دمای مشابه (۱٤/۲- درجه سلسیوس) در آذر ماه سال ۱۳۹۵ بوده است.

نتیجه‌گیری: با توجه به یافته‌های تحقیق می‌توان نتیجه گرفت که وقوع موج سرما در استان سمنان تقریباً با یک دوره بازگشت ده ساله بدیهی است و اتخاذ برنامه‌های صحیح مدیریتی برای کاهش خسارات ناشی از این مخاطره بسیار ضروری است.

استناد: سلطانی، الف.، پودینه، ص.، رئیسی، م.، ذوالفقاری، ع.ا. و کابلی، س.ح. (۱۴۰۲). تحلیل فراوانی وقوع موج سرما در استان سمنان. اقلیم و بوم‌سازگان مناطق خشک و نیمه‌خشک، ۱(۱)، ۱۸۳-۱٦۷.

ناشر: دانشگاه سمنان

Doi: https://doi.org/10.22075/ceasr.2024.32405.1023

۱- مقدمه

رویدادهای حدی مانند امواج سرما از اهمیت زیادی برخوردار می‌باشند، زیرا آشکارسازی تغییرات اقلیمی در چند سال اخیر نشان‌دهنده تأثیرات اقتصادی، اجتماعی و خسارات مالی مربوط به این رویدادها می‌باشد (Laino and Iglesias , 2023). یکی از نشانه‌های مهم تغییرات اقلیمی، تغییر در رفتار و فراوانی رویدادهای حدی مانند امواج سرما است. ایران به عنوان کشوری که در منطقه جنب‌حاره واقع شده و این ویژگی ذاتی آن باعث شده که مخاطرات محیطی، از جمله امواج سرما، در ابعاد مختلف، برنامه‌ریزی‌های توسعه‌ای کشور را تحت تأثیر قرار دهند (Zittis et al., 2022). در طول تاریخ، برخی مناطق در ایران با سرماهای شدید روبرو شده‌اند که موجب فلج زندگی مردم شهر و روستا شده است. به‌طور کلی، امواج سرما به عنوان رویدادهای حدی مخرب برای نواحی مختلف کشور به حساب می‌آیند (Hedayati Zadeh et al., 2015).

امواج سرما به‌عنوان یکی از پدیده‌های طبیعی و پیچیده در اقلیم‌های سرد شناخته می‌شوند. این پدیده‌ها با کاهش ناگهانی دما همراه هستند و معمولاً در فصل‌های زمستان و پاییز اتفاق می‌افتند (Parliari et al., 2022). امواج سرمایی به عنوان تغییرات ناگهانی و بدون هشدار در دما، تأثیرات قابل توجهی بر وضعیت جوی و مناطق جغرافیایی دارند. یکی از ویژگی‌های مهم این امواج، همراهی با بارش‌های برف یا باران سنگین است که می‌توانند به محیط‌زیست، کشاورزی و اقتصاد مناطق، خسارت‌های اقتصادی و اجتماعی وارد کنند. به عنوان مثال، بارش برفی فراگیر می‌تواند باعث بسته شدن جاده‌ها، تأخیر در ترافیک، قطع برق و گرمایش و افزایش هزینه‌های شهری شود. همچنین، باران‌های سنگین می‌توانند ایجاد طوفان‌ها، سیلاب‌ها و آب‌گرفتگی رودخانه‌ها را تسریع کنند و خسارت‌های جدی به مزارع و زمین‌های کشاورزی وارد کنند (Casson et al., 2019).

خطرات امواج سرما، ناشی از تغییرات در پارامتر دما هستند که معمولاً در فصل‌های پاییز و زمستان خسارت‌هایی ایجاد می‌کنند و در تابستان، به‌ویژه در مناطق گرمسیر، مطبوع هستند. تحقیقات اخیر نشان می‌دهد که تغییرات اقلیمی باعث کاهش در فراوانی، شدت، وسعت و دوام امواج سرمایی در اکثر نقاط جهان شده است (Quesada et al., 2023). آمار نشان می‌دهد که ۸۹ کشور جهان با مخاطرات امواج گرمایی و ۳٤ کشور به صورت مداوم با امواج سرمایی روبرو بوده و در سال‌های مختلف تحت تأثیرات خطرات دمایی قرار گرفته‌اند (World Bank, 2010). هیچ تعریف یکسانی از امواج سرمایی وجود ندارد که به میزان عمومی پذیرفته شود؛ زیرا دماهای یکسان می‌توانند در مناطق و زمان‌های مختلف تأثیرات متنوع و پیامدهای متفاوتی بر جوامع ایجاد کنند. بسیاری از تعاریف به دلیل تک‌بعدی بودن یا مثال زدن از ویژگی‌های آماری دماهای کمینه مانند میانگین و انحراف معیار، استوار بودن، و حداقل آستانه‌های مطلق یا بر چهارمین صدک توزیع احتمال دمای کمینه تأکید دارند (Huang et al., 2023). در این زمینه، پایگاه‌های اطلاعاتی و ارزیابی تغییرات آب‌وهوایی اتحادیه اروپا (ECAD) امواج سرمایی یا دوره‌های گرمایی را به عنوان یک دوره متوالی حداقل شش روزه تعریف می‌کنند که در آن کمینه دمای روزانه حداقل به صدک ۱۰ دوره بلندمدت ۱۹۹۱-۱۹٦۰ رسیده یا پایین‌تر از آن قرار می‌گیرد (ECAD, 2010).

شاخص دوام دوره سرما، که توسط هیأت بین‌الدول تغییرات آب‌وهوایی(IPCC) توصیه شده است، یکی از شاخص‌های پُرکاربرد در تحلیل امواج سرمایی محسوب می‌شود. اگر دمای کمینه روزانه برای دوره آماری پایه ۱۹۹۰-۱۹٦۱، حداقل ۵ درجه سلسیوس کمتر از میانگین بلندمدت روزانه دما باشد و این وضعیت برای ۵ روز یا بیشتر ادامه یابد، موج سرما اتفاق می‌افتد (IPCC[1], 2013). با این حال، با توجه به نادر بودن امواج سرمایی از نظر احتمال و زمان‌بندی و کاهش فراوانی آن‌ها در سال‌های اخیر، ویژگی کمیابی آن‌ها را تشدید کرده است.

[1]- Intergovernmental Panel on Climate Change

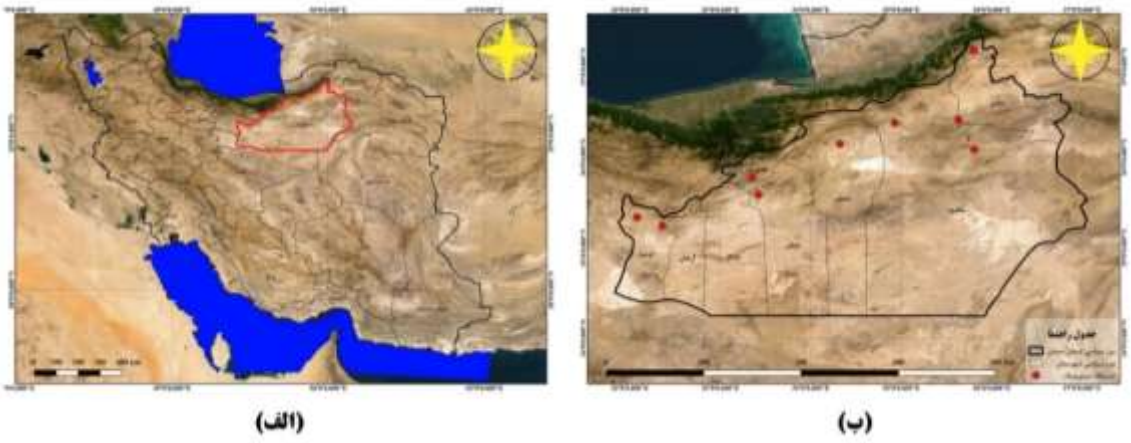
امواج سرمایی به‌عنوان یکی از پدیده‌های جذاب و چالشی در علم اقلیم‌شناسی و محیط‌زیست شناخته می‌شوند. برای مطالعه و درک بهتر این پدیده‌ها و مدیریت بهینه تأثیرات آنها، نیاز به تحلیل دقیق و بررسی عمیق تاریخچه و وقوع امواج سرمای در مناطق مختلف داریم (Subramanian et al., 2023). تدابیر پیش‌گیرانه و اطلاع‌رسانی به جامعه نیز می‌تواند در کاهش خسارات احتمالی ناشی از این پدیده‌ها مؤثر باشد. همچنین، این مطالعات می‌توانند به محققان و مسئولان کمک کنند تا برنامه‌های اقدامی مؤثر برای مقابله با امواج سرما را تدوین کنند و مناطق را برای مواجهه با این تغییرات طبیعی آماده کنند. تکنولوژی‌های پیشرفته مانند پیش‌بینی هواشناسی و سیستم‌های هشداردهنده نیز می‌توانند به مردم و مسئولین در اطلاع‌رسانی و اخذ تدابیر پیش‌گیرانه کمک کنند (Budhathoki et al., 2020). در یک تحقیق، Hedayatizadeh و همکاران (۲۰۱۵) دمای حداقل روزانه در پنج ایستگاه هواشناسی در کرمانشاه را مورد بررسی قرار دادند. آن‌ها تحلیل کردند که توزیع زمانی و مکانی سال‌های حدی سرد در طول ۲۰ سال آماری (۲۰۰۹-۱۹۸۹) در کرمانشاه چگونه بوده و تغییرات در فراوانی، شدت و دوام امواج سرما در این دوره به چه شکلی رخ داده است. برای روزهای انتخاب شده، اطلاعات روزانه فشار سطح زمین و ارتفاع تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال را در نظر گرفتند. نتایج نشان داد که ریزش هوای سرد شمال اروپا باعث نفوذ موج سرما به استان کرمانشاه شده است. علاوه بر این، حضور یک سیستم بندالی در سطوح میانی جو روی ایران و هماهنگی آن با سطح زمین، پرفشار سیبری را به طور مستقیم به منطقه منتقل کرده و با تداوم این سیستم‌ها در استان کرمانشاه، موج سرما را به وجود آورده است. ریزش مستقیم هوای سیبری به استان کرمانشاه از جمله پدیده‌های نادر در این منطقه محسوب می‌شود. Sobhani و Rouhi (۲۰۱۹) جهت بررسی موج سرمایی سال ۱۳۹۸ در خرم‌آباد، به تحلیل آماری و همدیدی امواج سرما پرداختند و به این نتیجه رسیدند که دلیل اصلی حاکم بر وقوع موج سرما، الگوی پُرفشار سیبری بوده است.مدل‌سازی و توسعه مدل‌ها نیز یکی از روش‌های مفید در پیش‌بینی وقوع امواج سرمایی است. با هدف توسعه روشی برای مدل‌سازی احتمالات مشترک رویدادهای سرد شدید و باد ضعیف در اروپا، مطالعه‌ای انجام شد که نتایج آن تنوع فضایی و درون‌فصلی موج سرما را تأکید می‌کند، که نشان‌دهنده نیاز به تجزیه و تحلیل هر ماه به طور جداگانه در سطح شبکه است (Tedesco et al., 2023).

استان سمنان، به دلیل همجواری گسترده با پهنه کویر مرکزی و مسائل و تبعات ناشی از آن در بخش وسیعی از جنوب استان از یک سو و مجاورت با مناطق جنگلی استان‌های مازندران و گلستان در نوار حاشیه شمالی از سوی دیگر، دارای تفاوت در اقلیم و به تبع آن تعدد و تنوع وقوع مخاطرات اقلیمی به‌ویژه سیل، خشکسالی و سرمازدگی می‌باشد. مطالعه پارامترهای اقلیمی، در بازه زمانی طولانی‌مدت جهت کشف ویژگی‌ها و آثار آنها، در شرایط اقلیمی دوره‌های گذشته و پیش‌آگاهی از تغییرات آنها در آینده امری ضروری است. تأثیرات رویداد امواج سرمایی در استان سمنان به عنوان یک مسئله اساسی در زمینه‌های هواشناسی و کشاورزی اهمیت دارد. این امواج سرمایی، با تأثیرات منفی بر محصولات کشاورزی و سایر فعالیت‌های اقتصادی، مهم هستند. خسارات جدی به محصولات کشاورزی، تأثیرات ناگهانی بر صنایع مرتبط با کشاورزی، تأثیرات منفی بر سلامتی افراد، به‌خصوص گروه‌های ضعیف، مشکلات حمل و نقل و افزایش مصرف انرژی برای گرمایش از جمله نتایج این امواج است. بررسی دقیق این تأثیرات در استان می‌تواند به برنامه‌ریزی مناسب و توسعه استراتژی‌های افزایش مقاومت در برابر این تهدیدات منجر شود. هدف از این مطالعه بررسی و تحلیل داده‌های مربوط به امواج سرما در استان سمنان، به‌منظور شناخت بهتر این پدیده و مدیریت صحیح آن است.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱ منطقه پژوهش

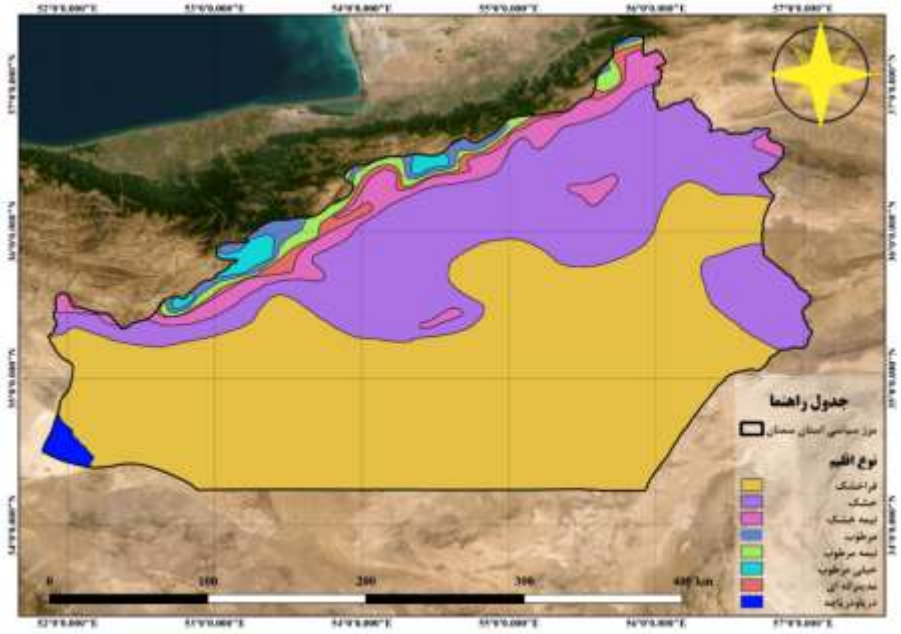
استان سمنان در دامنه‌ی سلسله جبال البرز واقع شده (شکل ۱) و ارتفاع آن از شمال به جنوب کاهش می‌یابد و به دشت کویر ختم می‌شود. بر اساس آخرین تقسیمات کشوری، استان سمنان دارای ۸ شهرستان (آرادان، دامغان، سرخه، سمنان، شاهرود، گرمسار، مهدیشهر، و میامی)، ۱۵ بخش، ۲۱ شهر و ۳۱ دهستان است. مساحت این استان معادل ۹۷،٤۸۷ کیلومتر مربع است. مختصات جغرافیایی این استان عبارتند از طول جغرافیایی ′۵۰ °۵۱ تا ′۳ °۵۷ شرقی و عرض جغرافیایی ′۱٤ °۳٤ تا ′۱۹ °۳۷ شمالی.



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی منطقه پژوهش:

الف) استان سمنان در کشور ب) تقسیمات سیاسی و موقعیت ایستگاه‌های سینوپتیک استان سمنان

Fig. 1. Location map of the study area: a) Semnan province in Iran and b) Political divisions and geographical location of synoptic stations in Semnan province



شکل ۲. طبقه‌بندی پهنه‌های اقلیمی استان سمنان

Fig. 2. Classification of climatic zones of Semnan province

آب‌وهوای استان سمنان، به طور کلی تحت تأثیر جریان‌های هوایی گرم و خشک دشت کویر قرار دارد. ولی عواملی چون دوری از دریا، جهت و امتداد کوه‌ها، ارتفاعات، و وزش بادها نیز در آب‌وهوای این استان مؤثر می‌باشند. در این استان، سه نوع آب‌وهوا را می‌توان مشاهده کرد. قسمت شمالی استان شامل شاهرود، دامغان، مهدیشهر و شهمیرزاد دارای آب‌وهوای نسبتاً سرد و خشک در زمستان و معتدل در تابستان می‌باشد. قسمت جنوبی استان شامل گرمسار و جنوب شهرستان سمنان، آب‌وهوای کویری و نسبتاً گرم و خشک در تابستان و سرد و خشک در زمستان دارد. شمال شرقی استان (دشت میامی و حسین‌آباد کالپوش) دارای آب‌وهوای نسبتاً سرد و خشک است (Valian et al., 2021). در استان سمنان، نزولات جوی بسیار کم و غالباً به صورت باران و در فصول سرد، به‌ندرت به‌صورت برف نازل می‌شود. متوسط بارندگی سالانه استان حدود ۱۴۵ میلی‌متر اندازه‌گیری شده است. با توجه به این که میزان رطوبت نسبی با بارندگی نسبت مستقیم دارد، لذا میزان رطوبت از غرب به شرق استان و از شمال به جنوب به تدریج کاهش می‌یابد. به طوری که رطوبت نسبی هوا در شاهرود ۴۹ درصد و در گرمسار ۴۱ درصد است. در میان شهرستان‌های استان، شاهرود با ۱۶۱/۱ میلی‌متر بارش سالانه بیشترین و دامغان با ۱۲۱/۲ میلی‌متر، کمترین میزان بارندگی را دارند. همچنین، متوسط تعداد روزهای یخبندان در طول سال در حدود ۴۸ روز می‌باشد (Management and Planning Organization of Iran, 2021). در شکل ۲، پهنه‌های اقلیمی استان سمنان نشان داده شده است.

۲-۲ تعیین موج سرما

به منظور شناسایی امواج سرمایی در سطح استان سمنان، از داده‌های دمای حداقل روزانه ایستگاه‌های سینوپتیک در این استان طی دوره آماری ۲۰۲۰-۱۹۸۰ استفاده شد. ایستگاه‌ها شامل ایستگاه‌های سینوپتیک سمنان، گرمسار، دامغان، شاهرود، میامی و شهمیرزاد بود. جدول ۲، لیست ایستگاه‌های سینوپتیک و مشخصات آنها را نشان می‌دهد.

جدول ۱. لیست ایستگاه‌های سینوپتیک و مشخصات آن‌ها

Table 1. Synoptic stations and their characteristics

ایستگاه Station	طول Longitude	عرض Latitude	ارتفاع Elevation	سال تأسیس Establish	شروع دوره Start
سمنان Semnan	53.25.18	35.35.16	1121	1965	1992
شاهرود Shahrood	54.55.45	36.22.48	1322	1951	1990
گرمسار Garmsar	52.21.35	35.14.35	885	1986	1988
دامغان Damghan	54.19.21	36.08.59	1154	1988	1988
شهمیرزاد Shahmirzad	53.21.12	35.46.31	1957	1995	2010
میامی Miamey	55.37.59	36.24.50	1083	1998	2000

شاخص نمره Z استاندارد شده دمای حداقل، طی دوره آماری ۲۰۲۰-۱۹۸۰ محاسبه شد و بر اساس طبقه بندی داده‌های Z ، کلاس ابرسرما و تاریخ وقوع و دوام هر رخداد گزارش شد. در این مطالعه، برای تفکیک و طبقه‌بندی امواج سرمایی، از روش نمرات استاندارد شده به شرح معادله (۱) استفاده شده است:

$$Z = (T_{min_i} - \bar{T}_{min})/SD \quad (۱)$$

که در آن، Z دمای حداقل استاندارد شده، T_{min_i} دمای حداقل روزانه هر یک از ماه‌های سرد سال (سلسیوس)، $\bar{T}_{min}$ میانگین بلندمدت دماهای حداقل روزانه در ماه مورد نظر در منطقه طی دوره ٤٠ ساله (سلسیوس) و SD انحراف معیار بلندمدت داده‌ها می‌باشد.

بر اساس ارقام دمایی صفر و زیر صفر درجه سلسیوس حداقل دمای ایستگاه‌ها در مقیاس زمانی روزانه، میانگین حداقل دماهای شهرستان‌های استان سمنان در شش ماه دوم سال (فصول پائیز و زمستان) با استفاده از شاخص Z استاندارد گردید.

جدول ۲، طبقات امواج سرمایی برمبنای شاخص نمرات استاندارد شده دمای حداقل را نشان می‌دهد. بر اساس این جدول، نمره استاندارد Z معادل ۳- مبنای تعریف موج ابرسرد است. به‌عبارت بهتر، برای شناسایی امواج سرما، آستانه عددی ۳- به عنوان شدت آستانه شروع موج ابرسرد و آستانه تکرار یک روزه یا بیش از دو روز به‌عنوان آستانه زمانی (دوام موج) وقوع امواج سرمایی در هر شهرستان مدنظر قرار گرفته و بر مبنای شدت وقوع و فراوانی روزهای هر موج، طبقه‌بندی امواج سرمایی انجام شده است. پس از تنظیم سری زمانی داده‌های حداقل استاندارد شده در استان سمنان به تفکیک هر شهرستان، با توجه به جدول ۲، ویژگی‌های امواج در کلاس ابرسرد طبقه‌بندی شد.

جدول ۲. طبقات امواج سرمایی بر مبنای شاخص نمرات استاندارد شده دمای حداقل (Ghavidel Rahimi et al., 2016)

Table 2. Stratification of cold waves based on the standardized minimum temperature index

ردیف Row	طبقه‌بندی موج سرما Cold wave classification	شدت براساس شاخص Z Intensity based on Z-index
1	سرد ضعیف Weak cold	-0.99- -0.5
2	سرد متوسط Moderate cold	-1.99 - -1
3	بسیار سرد Very cold	-2.99 - -2
4	ابرسرد Extremely cold	-3>

در ادامه، به منظور بررسی تغییرپذیری مکانی حداقل دما در سطح استان، پس از بررسی کلاس‌های سرما و مشاهده ابرسرما، نقشه دمای سطح زمین بر اساس داده‌های بازتحلیل شده ERA5-Land در روزهای مورد نظر تهیه و هیستوگرام تغییرات دما در آن روزها مورد ارزیابی قرار گرفت.

۳- نتایج و بحث

بر اساس جدول ۳، مقادیر میانگین حداقل دماهای روزانه طی دوره آماری ۱۹۸۰ تا ۲۰۱۷ در شهرستان سمنان از ٦/۳۵- تا ۱۱- درجه سلسیوس متغیر است و کمترین مقدار حداقل دما طی این دوره ۱۲/٦- درجه ثبت شده است. بر اساس نتایج، در ماه‌های آذر، دی و بهمن، رخداد امواج ابرسرد به‌وقوع پیوسته است. همچنین، بیشترین دوام طول موج سرما در کلاس ابرسرد در شهرستان سمنان در دی‌ماه سال ۱۳۸٦ و به‌مدت ۷ روز و پس از آن در آذرماه سال ۱۳۹۵ به‌مدت ٦ روز بوده است. لازم به ذکر است که شاخص آماری Z برای تمامی رخدادها کمتر از ۳- محاسبه شد.

با توجه به جدول ٤، مقادیر سردترین روز امواج سرمایی کلاس ابرسرد در شهرستان شاهرود از ١١/٦- تا ١٤/٢- درجه سلسیوس متغیر است. طی دوره آماری مدنظر، طول مدت موج سرمایی ابرسرد در آذرماه سال ١٣٩٥، ٦ روز بوده که سردترین روز آن با دمای حداقل ١١/٠٥- درجه سلسیوس ثبت شده بود.

در استان سمنان، در روزهای آغازین آذرماه سال ١٣٩٥، تمامی شهرستان‌های سمنان، شاهرود، میامی، شهمیرزاد، گرمسار و دامغان دارای رخداد موج سرما با کلاس ابرسرد بوده که از این میان، شهرستان سمنان با دوام موج ٦ روز، شاهرود و میامی ٤ روز، شهمیرزاد و گرمسار ٢ روز و شهرستان دامغان ٣ روز بوده‌است. دمای سردترین روز سال طی موج سرما بر اساس آمار ایستگاه شهمیرزاد از همه کمتر (١٦/٤- درجه سلسیوس) و پس از آن ایستگاه‌های شاهرود و میامی حداقل دمایی مشابه و برابر با ١٤/٢- درجه سلسیوس را به ثبت رسانده‌اند (جداول ٥ تا ٨).

جدول ۳. مشخصات امواج سرمایی کلاس ابرسرد در شهرستان سمنان

Table 3. Characteristics of extremely-cold class cold waves in Semnan township

شماره موج Wave number	سردترین روز Coldest day: روز Day	ماه Month	سال Year	دمای سردترین روز (°C) Lowest daily temperature (°C)	دوام موج (روز) Duration of the cold wave (Day)	میانگین دماهای حداقل در طول رخداد موج سرما (°C) Average minimum temperatures during the cold wave event (°C)	شاخص Z Z-index
1	25	Jan.	1980	-10	1	-	-3.09
2	12	Jan.	1983	-10.6	1	-	-3.28
3	5	Jan.	1989	-9.8	1	-	-3.01
4	29	Dec.	2006	-8	1	-	-3.02
5	9	Jan.	2008				-3.28
6	10	Jan.	2008	-11.6	3	-11	-3.59
7	11	Jan.	2008				-3.34
8	14	Jan.	2008				-3.09
9	15	Jan.	2008				-3.09
10	16	Jan.	2008				-3.91
11	17	Jan.	2008	-12.6	7	-10.45	-3.15
12	18	Jan.	2008				-3.28
13	19	Jan.	2008				-3.21
14	20	Jan.	2008				-3.09
15	22	Jan.	2008	-9.8	1	-	-3.02
16	23	Nov.	2016				-3.58
17	24	Nov.	2016				-3.39
18	25	Nov.	2016	-7.6	6	-6.35	-3.28
19	25	Nov.	2016				-3.90
20	26	Nov.	2016				-3.15
21	27	Nov.	2016				-3.10

جدول ٤. مشخصات امواج سرمایی کلاس ابرسرد در شهرستان شاهرود

Table 4. Characteristics of extremely-cold class cold waves in Shahrood township

شماره موج Wave number	سردترین روز Coldest day: روز Day	ماه Month	سال Year	دمای سردترین روز (°C) Lowest daily temperature (°C)	دوام موج (روز) Duration of the cold wave (Day)	میانگین دماهای حداقل در طول رخداد موج سرما (°C) Average minimum temperatures during the cold wave event (°C)	شاخص Z Z-index
1	19	Feb.	1982	-12.4	1	-	-3.19
2	27	Jan	1983	-11.6	1	-	-3.08
3	8	Jan.	2008	-11.8	1	-	-3.14
4	3	Feb.	2014	-13.6	1	-	-3.52
5	24	Nov.	2016	-14.2	4	-11.50	-4.01
6	25	Nov.	2016				-4.98
7	26	Nov.	2016				-4.01
8	27	Nov.	2016				-3.52

جدول ٥. مشخصات امواج سرمایی کلاس ابرسرد در شهرستان میامی

Table 5. Characteristics of extremely-cold class cold waves in Miamey township

شماره موج Wave number	سردترین روز Coldest day: روز Day	ماه Month	سال Year	دمای سردترین روز (°C) Lowest daily temperature (°C)	دوام موج (روز) Duration of the cold wave (Day)	میانگین دماهای حداقل در طول رخداد موج سرما (°C) Average minimum temperatures during the cold wave event (°C)	شاخص Z Z-index
1	24	Nov.	2016	-14.2	4	-12.25	-4.09
2	25	Nov.	2016				-3.40
3	26	Nov.	2016				-3.72
4	27	Nov.	2016				-3.35

جدول ٦. مشخصات امواج سرمایی کلاس ابرسرد در ایستگاه شهمیرزاد

Table 6. Characteristics of extremely-cold class cold waves based on the Shahmirzad station

شماره موج Wave number	سردترین روز Coldest day: روز Day	ماه Month	سال Year	دمای سردترین روز (°C) Lowest daily temperature (°C)	دوام موج (روز) Duration of the cold wave (Day)	میانگین دماهای حداقل در طول رخداد موج سرما (°C) Average minimum temperatures during the cold wave event (°C)	شاخص Z Z-index
1	26	Nov.	2011	-11.2	1	-	-3.09
2	24	Nov.	2016	-16.4	2	-13.13	-3.24
3	25	Nov.	2016				-4.40

جدول ۷. مشخصات امواج سرمایی کلاس ابرسرد در شهرستان گرمسار

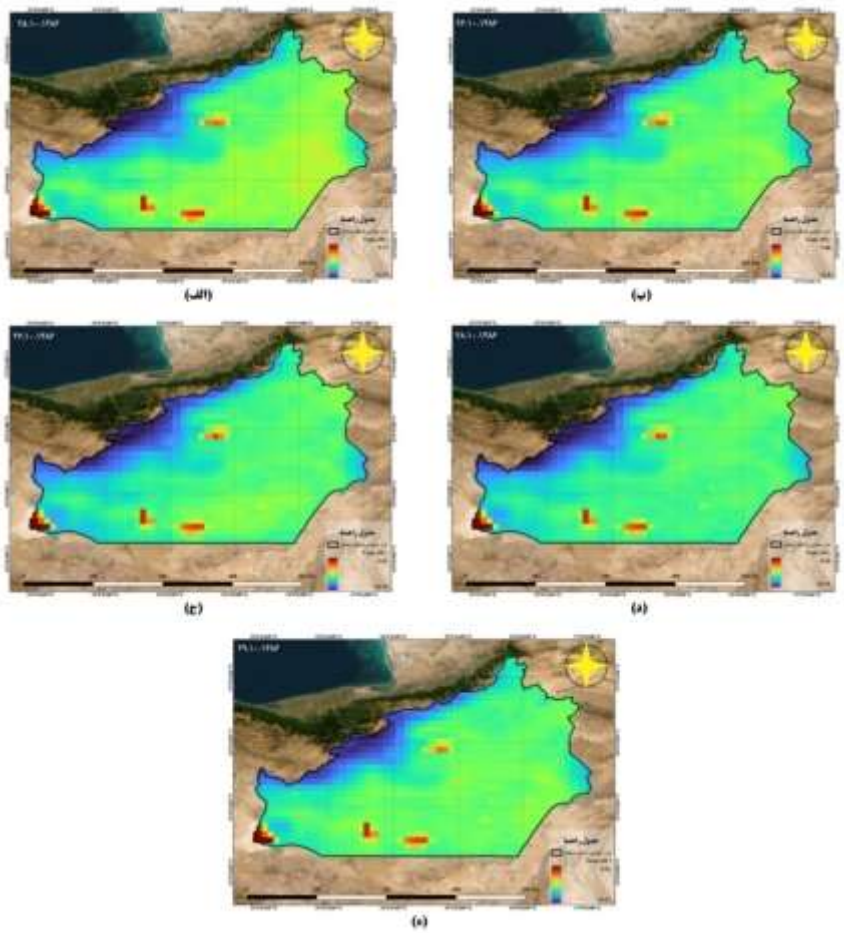
Table 7. Characteristics of extremely-cold class cold waves in Garmsar downship

شماره موج Wave number	سردترین روز Coldest day			دمای سردترین روز (°C) Lowest daily temperature (°C)	دوام موج (روز) Duration of the cold wave (Day)	میانگین دماهای حداقل در طول رخداد موج سرما (°C) Average minimum temperatures during the cold wave event (°C)	شاخص Z Z-index
	روز Day	ماه Month	سال Year				
1	11	Feb.	2008	-11.2	1	-	-3.23
2	15	Jan.	2008				-3.16
3	16	Jan.	2008				-3.39
4	17	Jan.	2008	-12.6	5	-12	-3.16
5	18	Jan.	2008				-3.22
6	19	Jan.	2008				-3.16
7	25	Nov.	2016	-7.4	2	-6.8	-3.37
8	26	Nov.	2016				-3.07

جدول ۸. مشخصات امواج سرمایی کلاس ابرسرد در شهرستان دامغان

Table 8. Characteristics of extremely-cold class cold waves in Damghan township

شماره موج Wave number	سردترین روز Coldest day			دمای سردترین روز (°C) Lowest daily temperature (°C)	دوام موج (روز) Duration of the cold wave (Day)	میانگین دماهای حداقل در طول رخداد موج سرما (°C) Average minimum temperatures during the cold wave event (°C)	شاخص Z Z-index
	روز Day	ماه Month	سال Year				
1	9	Jan.	2008	-11.6	1	-	-3.05
2	15	Jan.	2008	-12	1	-	-3.18
3	5	Feb.	2008	-11	1	-	-3.21
4	25	Nov.	2016				-3.47
5	26	Nov.	2016	-10.8	3	-9.2	-3.86
6	27	Nov.	2016				-3.07



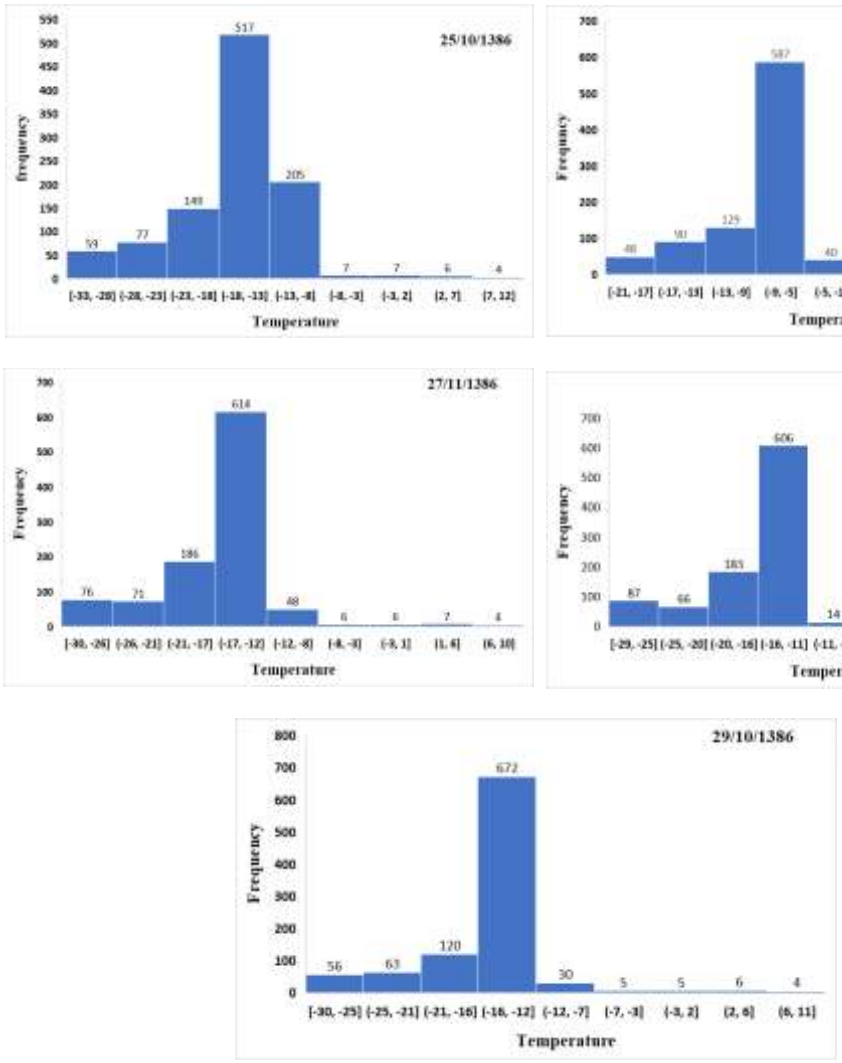
شکل ۳. متوسط دمای سطح زمین استخراج شده از تصاویر ERA5-Land در دی‌ماه سال ۱۳۸٦

(الف:۱۳۸٦/۱۰/۲۵)،(ب:۱۳۸٦/۱۰/۲٦)،(ج:۱۳۸٦/۱۰/۲۷)،(د:۱۳۸٦/۱۰/۲۸)،(ه:۱۳۸٦/۱۰/۲۹)

Fig. 3. Average temperature of land surface extracted from ERA5-Land images in January 2008 (a: 1/15/2008), (b: 1/16/2008), (c: 1/17/2008), (d: 1/18/2008), (e: 1/19/2008).

پس از تعیین کلاس‌های ابرسرد در سطح استان سمنان، به بررسی داده‌های شبکه‌ای جهت صحت‌سنجی آمار کسب شده پرداخته شد. بدین منظور، از داده‌های بازتحلیل شده ERA5-Land استفاده شد و نقشه‌های خروجی آن برای روزهای مشخص در سال‌های ۱۳۸٦ و ۱۳۹۵ در شکل‌های ۳ و ۵ نمایش داده شده است. هیستوگرام تغییرات دمای کمینه سطح زمین نیز به منظور بررسی دقیق فراوانی کلاس‌های دمای کمینه تهیه شد (شکل‌های ٤ و ٦).

شکل ۳، کمینه دمای سطح زمین را در روزهای ۲۵ تا ۲۹ دی ماه سال ۱۳۸٦ نشان می‌دهد. تصویر رستری مذکور از پروداکت ERA5-Land استخراج شده است. براساس این نقشه‌ها، در روزهای ۲۵ تا ۲۹ دی ماه سال ۱۳۸٦ به طور متوالی حداقل دمای روزانه به طور میانگین از ۲۹- درجه سلسیوس تا ۹ درجه سلسیوس تغییرات داشته است. حداقل دمای ثبت شده مربوط به بخش‌های شمالی و غربی استان سمنان بوده که تا ۳۲- درجه سلسیوس نیز رسیده است.



شکل ٤. هیستوگرام تغییرات کمینه دما در روزهای ۱۳۸٦/۱۰/۲۵ تا ۱۳۸٦/۱۰/۲۹

Fig .4. Histogram of minimum temperature changes in 1/15/2008 to 1/19/2008

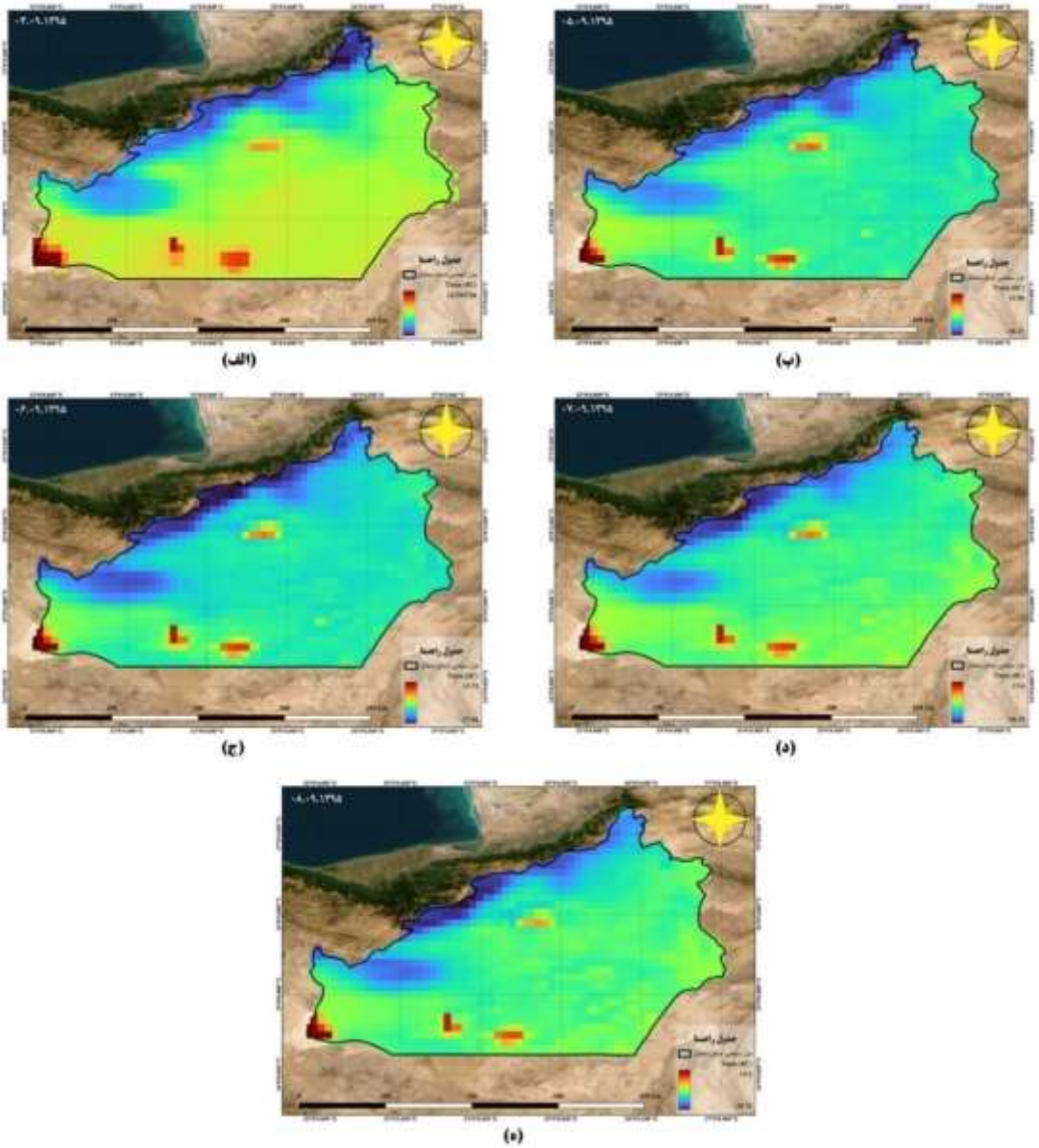
هیستوگرام تغییرات کمینه دما در روزهای مذکور در شکل ٤ نمایش داده شده که بر اساس آن در روزهای ۲۵ تا ۲۹ دی‌ماه ۱۳۸٦ به‌ترتیب در کل استان، نوسان حداقل دما (۱۳- تا ۱۸-)، (۵- تا ۹-)، (۱۲- تا ۱۷-)، (۱۱- تا ۱٦-) و (۱۲- تا ۱٦-) بوده است.

شکل ۵، متوسط دمای سطح زمین در روزهای ٤ تا ۸ آذرماه سال ۱۳۹۵ را نشان می‌دهد. تصویر رستری مذکور نیز از پروداکت ERA5-Land استخراج شده است. براساس این نقشه‌ها، در بخش‌های شمالی و شمال‌شرقی استان سمنان، حداقل دمای ثبت‌شده تا حدود ۳۰- درجه سلسیوس نیز رسیده است.

در شکل ٦، هیستوگرام تغییرات کمینه دما در روزهای مذکور در آذرماه ۱۳۹۵ نمایش داده شده است که بر اساس آن، به‌ترتیب در کل استان، حداقل دما (۲- تا ٦-)، (۱۰- تا ۱۵-)، (۱۲- تا ۱۷-)، (٦- تا ۱۱-) و (٦- تا ۱۱-) نوسان داشته است.

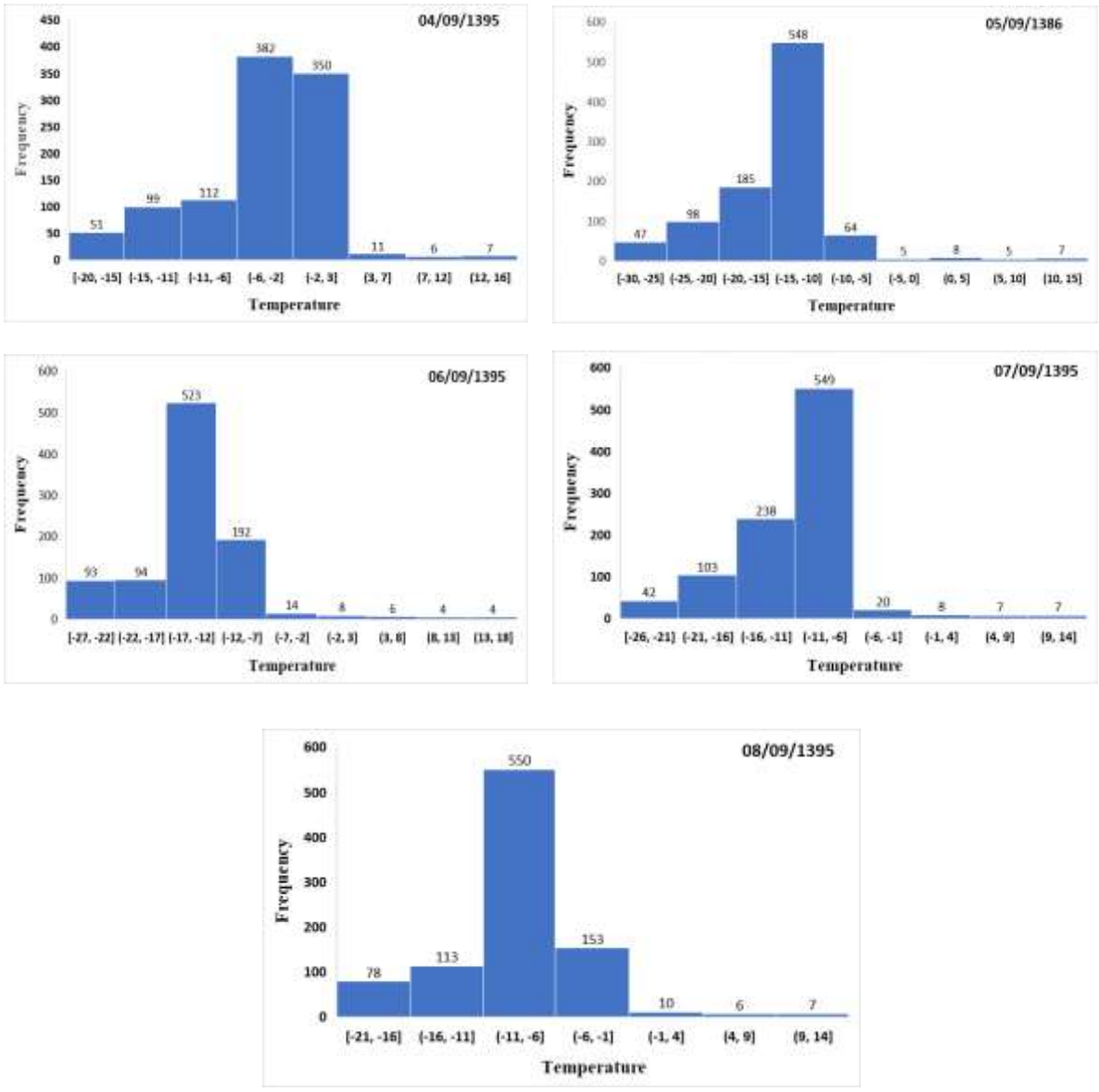
در سال ۱۳۸٦، یخبندان و سرمای شدید، مناطق وسیعی از کشورمان را تحت تأثیر قرار داده است. در سال ۲۰۱۲، Omidvar و Ebrahimi در مطالعه‌ای، به بررسی علل سرمای شدید در ایران مرکزی در سال ۲۰۰۷ پرداخته‌اند. در این تحقیق، مشخص شد که فعالیت دو توده هوای جبهه‌ای و همچنین ناوه عمیق کم فشار باعث بارش برف و باران و همچنین سرمای بسیار

شدید در ایران و منطقه مورد مطالعه آنها شده است. در مطالعه Azizi و همکاران (۲۰۰۹)، به بررسی و تحلیل امواج سرما در سراسر ایران پرداخته شد. در این پژوهش مشخص شد که در ۱۵ ایستگاه از ۲۱ ایستگاه منتخب، ناهنجاری دما در مقایسه با میانگین درازمدت دمای حداقل مشاهده شده است که میزان آن ۵- درجه بوده است. در این مطالعه، علت این موضوع را به فرارفت شدید هوای سرد که از مناطق قطبی و شمال منطقه سرد سیبری وارد کشور شده است، نسبت داده‌اند.



شکل ۵. متوسط دمای سطح زمین استخراج شده از تصاویر ERA5-Land در آذرماه سال ۱۳۹۵

Fig. 5. Average temperature of the earth's surface extracted from ERA5-Land images in December 2016



شکل ٦. هیستوگرام تغییرات کمینه دما در روزهای ۱۳۹۵/۰۹/۰٤ تا ۱۳۹۵/۰۹/۰۸

Fig. 6. Histogram of minimum temperature changes in 11/25/2016 to 11/29/2016

٤- نتیجه‌گیری

نتایج تحلیل دماهای کمینه نشان می‌دهد که امواج سرما در استان سمنان به طور متوسط هر چند سال یک‌بار در فصل زمستان اتفاق می‌افتند و شدت وقوع آنها متغیر است. در بین شهرستان‌های استان، شهرستان سمنان دارای بیشترین تعداد موج سرما بوده است به‌طوری که در سال ۱۳۸٦، شاهد دو موج سرما با تداوم ۳ و ۷ روزه و در سال ۱۳۹۵، یک موج سرما با دوام ٦ روزه را شاهد بوده است. شهرستان شاهرود نیز در سال ۱۳۹۵ یک موج سرما با دوام ٤ روزه را سپری کرده است. شهرستان میامی نیز یک موج سرما با دوام ٤ روز در سال ۱۳۹۵ را تجربه کرده است. با توجه به میزان وقوع موج سرما در سال‌های ۱۳۸٦ و ۱۳۹۵ در بیشتر استان‌های کشور در این دو سال، شهرهای استان سمنان نیز ار این قاعده مستثنا نبوده و تحت تأثیر این موج سرما قرار گرفته‌اند. شهرستان سمنان به دلیل داشتن اقلیم گرم و خشک و عدم وجود رطوبت کافی، برای کاهش اثر سرمای منتقل شده همراه با ورود امواج سرمایی، یخبندان‌های بیشتری را تجربه می‌کند. شهرستان‌های شاهرود، میامی و

شهمیرزاد نیز در مناطق شمالی و شمال شرقی استان واقع شده‌اند. به دلیل ارتفاع زیاد و اقلیم سرد و خشک، تجربه این رخداد را تا دمای -۱۶ درجه داشته‌اند.

سرماهای شدید زمستانی و آثار ناشی از آنها، تحقیقات بسیاری را به‌دنبال داشته است تا راهکارهایی برای مقابله با این پدیده و کاهش خسارات ناشی از آن ارائه دهند. اصلاح ارقام، استفاده از پوشش‌های محافظ، کاشت در دامنه‌های شیب‌دار، تدابیر در دسترس برای دفع اثرات سرما، و به‌کارگیری سیستم‌های گرمایشی مانند بخاری و تولید دود از جمله اقداماتی هستند که می‌توانند تا حدودی مقاومت ارقام گیاهی را به سرماهای شدید افزایش دهند. با این حال، گاهی اوقات، امواج سرمایی، به‌ویژه امواج ابرسرد، قابلیت تحمل نخواهند داشت و ممکن است باعث آسیب جدی به گونه‌های گیاهی شده و موجب ریشه‌کنی آن‌ها شوند. امروزه، یکی از راهکارهای مفید برای مقابله با این تهدیدات، آگاهی از ورود امواج سرمایی به منطقه و فراهم کردن ابزار و تجهیزات لازم برای کاهش تأثیرات آنها است. در استان سمنان نیز به منظور کاهش خسارات ناشی از وقوع امواج سرمایی و یخبندان در گیاهان باغی و زراعی، مجموعه‌ای از اقدامات از جمله فرهنگ‌سازی و آموزش باغداران و کشاورزان، (تهیه بروشورهای آموزشی توسط مرکز تحقیقات کشاورزی، آموزش و ترویج استان)، تولید ارقام هیبریدی با مقاومت به سرمای زیر صفر درجه و توان تحمل سرما تا دو ساعت (مرکز تحقیقات کشاورزی، آموزش و ترویج استان) تا ۱۵۰۰ گونه هیبرید مقاوم به سرما، ایجاد سایه‌بان به طول ۱۰۰۰ متر در باغ‌های زردآلو توسط مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان در سال ۱۳۹۸ می‌باشد برای مدیریت و کاهش تأثیرات منفی امواج سرما در استان سمنان، اقداماتی از جمله آموزش و اطلاع‌رسانی به جامعه، ایمنی در برابر سرما و بهبود سیستم‌های گرمایشی و انرژی ضروری است. همچنین، استفاده از مدل‌های پیش‌بینی برای تنظیم و برنامه‌ریزی بهبود تدابیر پیش‌گیرانه نیز توصیه می‌شود.

۵- سپاسگزاری

بدین‌وسیله از استانداری استان سمنان (اداره کل مدیریت بحران) و اداره کل هواشناسی استان سمنان کمال تشکر و قدردانی به‌عمل می‌آید.

٦- داده‌ها و اطلاعات

مبنای داده‌ها و اطلاعات مقاله حاضر اداره کل هواشناسی استان سمنان و داده‌های بازتحلیل شده ERA5-Land است.

۷- تعارض منافع

در این مقاله، تعارض منافعی وجود ندارد و این مسأله مورد تأیید همه نویسندگان است.

۸- مشارکت نویسندگان

مشارکت نویسندگان در این مقاله به شرح زیر است:

آزاده سلطانی: مشارکت در جمع آوری داده‌های اولیه، نگارش و ویرایش نهایی مقاله

صغری پودینه: تهیه متن اولیه مقاله و ویرایش نهایی مقاله

مریم رئیسی: مشارکت در جمع آوری و تحلیل آماری داده‌ها و مشارکت در تهیه متن اولیه و ویرایش نهایی مقاله

علی‌اصغر ذوالفقاری: تحلیل‌های آماری داده‌های اقلیمی ، استخراج داده‌های بازتحلیل شده ERA5-Land و مشارکت در ویرایش نهایی مقاله

سید حسن کابلی: مشارکت در تحلیل اطلاعات و تفسیر و تحلیل آماری داده‌های مقاله

۹- اصول اخلاقی

نویسندگان، اصول اخلاقی را در انجام و انتشار این اثر علمی رعایت نموده‌اند و این موضوع مورد تأیید همه آنها می‌باشد.

۱۰- حمایت مالی

این مقاله حاصل نتایج بخشی از پروژه تدوین سند کاهش خطر حوادث و سوانح استان سمنان می‌باشد که تحت حمایت مالی استانداری (اداره کل مدیریت بحران استان) به انجام رسیده است.

۱۱- مراجع

[1] Azizi, G., Akbari, T., Davoodi, M., & Akbari, M. (2009). Homogeneous analysis of the severe cold wave of December 2008 in Iran. Natural Geographical Researches, No. 70, 1-19.

[2] Budhathoki, N. K., Paton, D., Lassa, J. A., Bhatta, G. D., & Zander, K. K. (2020). Heat, cold, and floods: Exploring farmers' motivations to adapt to extreme weather events in the Terai region of Nepal. *Natural Hazards*, 103, 3213-3237.

[3] Casson, N. J., Contosta, A. R., Burakowski, E. A., Campbell, J. L., Crandall, M. S., Creed, I. F., & Nelson, S. J. (2019). Winter weather whiplash: Impacts of meteorological events misaligned with natural and human systems in seasonally snow-covered regions. *Earth's Future*, 7(12), 1434-1450.

[4] *ECAD (IN THE COURTS OF ESCAMBIA COUNTY, FIRST JUDICIAL CIRCUIT, STATE OF FLORIDA ADMINISTRATIVE DIRECTIVE ECAD 2010-06)*. Www.Firstjudicialcircuit.org. https://www.firstjudicialcircuit.org/sites/default/files/document_library/ECAD2010-06.pdf

[5] Ghavidel Rahimi, Y., Farajzadeh Asl, M., & *Motalebizadeh*, S. (2016). Analyzing the statistical and synoptic characteristics of cold waves in the north-west region of Iran. *Journal of Applied Researches in Geographical Sciences*, 16(40), 29-46.

[6] Hedayati Zadeh, M., Alijani, B., & Yousefi, F. (2015). Synoptic analysis of cold waves in Kermanshah province. In: International Conference on Novel Research in Agricultural and Environmental Sciences.

[7] W. T. K., Masselot, P., Bou-Zeid, E., Fatichi, S., Paschalis, A., Sun, T., ... & Manoli, G. (2023). Economic valuation of temperature-related mortality attributed to urban heat islands in European cities. *Nature Communications*, 14(1), 7438.

[8] IPCC. (2013). Climate change 2013: The physical science basis. Working Group I Contribution to the IPCC 5th Assessment Report. http:// www. climatechange2013.org/images/uploads/WGIAR5_ WGI-12Doc2b_FinalDraft_All.pdf. Accessed 10 March 2023.

[9] Laino, E., & Iglesias, G. (2023), Extreme climate change hazards and impacts on European coastal cities: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 184, 113587.

[10] *Management and planning organization of iran*. Https://www.Mporg.ir/Home.

[11] Omidvar, K., & Ebrahimi, A. (2012). The analysis of cold wave severity between 6 to 15 January 2008 in central provinces of Iran (Isfahan, Kerman &Yazd provinces). *Geography and Environmental Planning*, 23(1), 81-98.

[12] Parliari, D., Giannaros, C., & Keppas, S. (2022). Assessment of heat and cold waves phenomena and impacts on environment. In: Extremes in Atmospheric Processes and Phenomenon: Assessment, Impacts and Mitigation (pp. 141-167). Singapore: Springer Nature Singapore.

[13] Quesada, B., Vautard, R., & Yiou, P. (2023). Cold waves still matter: Characteristics and associated climatic signals in Europe. *Climatic Change*, 176(6), 70.

[14] Sobhani, B., & Rouhi, F. (2021). Statistical analysis and homogeneous waves of cold in Khorramabad on February 12, 2020. In: Proceedings of the First National Conference on Community-Based Research in Agriculture, Natural Resources, and Environment, Hamedan. Retrieved from [URL: https://civilica.com/doc/1265345].

[15] Subramanian, A., Nagarajan, A. M., Vinod, S., Chakraborty, S., Sivagami, K., Theodore, T., & Mangesh, V. L. (2023). Long-term impacts of climate change on coastal and transitional eco-systems in India: An overview of its current status, future projections, solutions, and policies. *RSC Advances*, 13(18), 12204-12228.

[16] Tedesco, P., Lenkoski, A., Bloomfield, H. C., & Sillmann, J. (2023). Gaussian copula modeling of extreme cold and weak-wind events over Europe conditioned on winter weather regimes. *Environmental Research Letters*, 18(3), 034008.

[17] Valian, T., Mofidi Shemirani, S. M., & Mahdavi Zarandi, M. (2021). Explaining the physical features of wind catchers in the architecture of Semnan. *Indigenous City and Architecture*, 12, 99-126.

[18] World Bank. (2010). The World Bank Annual Report 2010: Year in Review. World Bank Annual Report. © Washington, DC. http://hdl.handle.net/10986/5906 License

[19] Zittis, G., Almazroui, M., Alpert, P., Ciais, P., Cramer, W., Dahdal, Y., Fnais, M., Francis, D., Hadjinicolaou, P., Howari, F., & Jrrar, A. (2022). Climate change and weather extremes in the Eastern Mediterranean and Middle East. *Reviews of Geophysics*, 60(3), e2021RG000762.