



Understanding the spatial patterns of temperature hazards in Qazvin Province

Mansoureh Kouhi^a, Ebrahim Asadi Oskouei^{a*}

^a Assistant Professor, RIMAS, Climatological Research Institute, Mashhad, Iran.

Received: 1 August 2023

Revised: 20 November 2023

Accepted: 4 December 2023

Abstract

Climate change has significant negative impacts on various human activities. With the anticipated intensification of climate hazards due to these changes, it is essential to develop climate-resilient sectors to mitigate associated risks. Effective climate risk management requires strategies that identify patterns of climate hazards to support informed decision-making. Policymakers, researchers, and the general public can benefit from climate-related hazard atlases, which provide critical information to better understand risks and implement measures to reduce the impacts of these hazards on human health, agriculture, and other sectors.

Qazvin Province, located in northwestern Iran, is particularly vulnerable to atmospheric and climate-related hazards such as frost, drought, heat waves, cold waves, dust storms, air pollution, and flooding. The occurrence of such climate disasters in Qazvin underscores the importance of disaster risk reduction and climate adaptation measures. This study utilized daily maximum and minimum temperature data from the ERA5-Land dataset for the period 1991–2020. The ERA5-Land dataset, with a spatial resolution of 0.1 degrees and a temporal resolution of 1 hour, served as the foundation for analyzing temperature extremes. The Climpect project was employed to calculate climate-related hazard indices and demonstrate their spatial patterns across Qazvin Province. Additionally, composite maps of extreme events, land use, and population distribution were generated to aid in interpreting the results. The spatial analysis revealed that the northeastern region of Qazvin Province is a frequent hazard zone, experiencing a high number of icy days annually, ranging from 100 to 130 days. In contrast, the central part of the province registers the highest temperatures, with an annual average exceeding 50 hot days.

The multi-hazard map demonstrated that the central part of Qazvin Province is simultaneously affected by multiple climate-related hazards. This area, characterized by concentrated population and economic activities, faces amplified climate-related socioeconomic risks, highlighting the urgent need for targeted adaptation and risk reduction strategies.

Keywords: Climate Change Impacts, Climate Hazard Assessment, Disaster Risk Reduction, Climate Adaptation Strategies, Multi-Hazard Mapping, Socioeconomic Vulnerability.

*.Corresponding author: Ebrahim Asadi Oskouei Email: e.asadi.o@gmail.com Tel:+989113312757

How to cite this Article: Kouhi, M., & Asadi Oskouei, E. (2024). Understanding the spatial patterns of temperature hazards in Qazvin Province. *Journal of Geography and Environmental Hazards*, 13(3), 280-309.





شناخت الگوهای مکانی مخاطرات دمایی استان قزوین

منصوره کوهی^۱ - استادیار، پژوهشگاه هواشناسی و علوم جو، پژوهشکده اقلیم شناسی، مشهد، ایران.

ابراهیم اسعدی اسکویی^۱ - استادیار، پژوهشگاه هواشناسی و علوم جو، پژوهشکده اقلیم شناسی، مشهد، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۵/۱۰ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۸/۲۹ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۹/۱۳

چکیده

مخاطرات اقلیمی به‌ویژه انواع دمایی آن، دارای اثرات منفی بر بخش‌های مختلف فعالیت‌های بشر هستند. از آنجایی که انتظار می‌رود تغییرات اقلیمی منجر به تشدید فراوانی، شدت و مدت مخاطرات اقلیمی شود؛ لذا ضروری است استراتژی‌هایی همچون استخراج الگوهای مخاطرات اقلیمی به‌منظور افزایش تاب‌آوری مراکز جمعیتی، صنعتی و کشاورزی در برابر تغییر اقلیم و افزایش رخدادهای فرین و سازگاری با این رویدادها، مدنظر تصمیم‌گیران، برنامه‌ریزان و سیاست‌گذاران قرار گیرد. استان قزوین با توجه به موقعیت جغرافیایی، وسعت کم، توپوگرافی خاص و شرایط اقلیمی متنوع، هر ساله شاهد وقوع پدیده‌های مخرب جوی در فصول مختلف می‌باشد که خسارات جانی و مالی زیادی را در بخش‌های مختلف همچون کشاورزی به همراه داشته است.

در این پژوهش، داده‌های شبکه‌ای دمای بازتحلیل ERA5-Land با قدرت تفکیک مکانی ۹ کیلومتر طی دوره ۱۹۹۱-۲۰۲۰ برای بررسی توزیع مکانی نمایه‌های مرتبط با مخاطرات اقلیمی دمایی سرد و گرم شامل روزهای یخبندان (FD)، روزهای یخی (ID)، شب‌های حاره‌ای (TR)، نمایه طول دوره گرما (WSDI) و سرما (CSDI) و روزهایی با دمای بیشینه بیش از ۳۵ °C (TXge35) استفاده و نقشه مخاطرات چندگانه تهیه شد. بررسی‌ها نشان داد منطقه مرکزی استان قزوین در معرض چندین نوع خطر (FD, CSDI, TXge35 و TR) به‌طور هم‌زمان قرار دارد که با توجه به تراکم جمعیت شهری و روستایی و تمرکز فعالیت‌های اقتصادی در این ناحیه، انتظار می‌رود ریسک‌های اقتصادی-اجتماعی مرتبط با مخاطرات اقلیمی در این ناحیه شدت یابد.

کلیدواژه‌ها: تأثیرات تغییر اقلیم، ارزیابی مخاطرات اقلیمی، کاهش خطر بلایا، راهبردهای سازگاری با اقلیم، نقشه‌برداری چندمخاطره‌ای، آسیب‌پذیری اجتماعی-اقتصادی.

۱- مقدمه

از ۴۰ بلای طبیعی در دنیا، ۳۱ مورد آن در ایران اتفاق می‌افتد؛ به طوری که طی سال‌های ۲۰۱۹-۱۹۷۰ در پایگاه داده رویدادهای اضطراری مرکز تحقیقات اپیدمیولوژی بلایای طبیعی (CRED¹, 2018)، ۹۳ مورد گزارش بلایای جوی از ایران ثبت شده است که به طور متوسط ۶۰۰۰ نفر تلفات جانی و ۳۳ میلیارد دلار خسارت اقتصادی به همراه داشته است. این امر به دلیل قرارگیری کشور در عرض‌های میانی است که از وقوع مخاطرات جوی بی‌نصیب نخواهد بود. در این بین، استان قزوین با توجه به موقعیت جغرافیایی، توپوگرافی خاص و شرایط اقلیمی متنوع، همواره با مخاطرات محیطی همچون زلزله، سیل، خشکسالی و یخبندان (Soltani, Alaedini, Shamspour & Ahmadi Marzaleh, 2021) روبرو بوده که زمان رخداد هر کدام، خسارات عمده‌ای به بخش‌های شهری، کشاورزی، صنعت و ... وارد آمده است (شکل ۱).

فرین‌های سرد و گرم جزو مهم‌ترین مخاطرات مرتبط با اقلیم برای بسیاری از فعالیت‌های بشری از جمله سلامت، کشاورزی، حمل‌ونقل و انرژی محسوب می‌شوند. فرین‌هایی دمایی در هر دو انتهای نمودار توزیع دما به عنوان عوامل ریسک سلامت جهانی هستند (Lancet, 2021). به عنوان مثال در سال ۲۰۱۹، ۱/۷ میلیون مرگ‌ومیر در سراسر جهان به دلیل دماهای غیرعادی رخ داد و ۳۵۶۰۰۰ از این مرگ‌ومیرها مرتبط با دماهای بالا بوده‌اند. فرین‌های سرد و گرم می‌توانند منجر به اثراتی مانند افزایش یا کاهش عوارض و مرگ‌ومیر، تشدید بیماری‌های زمینه‌ای و اثرات بر تولید کشاورزی و در نتیجه کاهش رشد اقتصادی گردند (Burke, Hsiang & Miguel, 2015).

¹ Centre for Research on the Epidemiology of Disasters

در زمینه علم مدیریت خطرپذیری^۱ سه تعریف مخاطره، بلیه و خطرپذیری یا ریسک وجود دارد. دانشمندان در زمینه مدیریت خطرپذیری بر طبقه‌بندی الگوهای مکانی و زمانی و علل مخاطرات متمرکز هستند (Shi, 2019). بر اساس تعریف آژانس بین‌المللی ملل متحد در کاهش بلایا^۲ (UNISDR)، مخاطره^۳ عبارت است از فرآیند یا پدیده طبیعی که ممکن است (به‌طور بالقوه) اثرات منفی بر اقتصاد، جامعه و اکولوژی داشته باشند که شامل هم عوامل طبیعی و هم عوامل انسانی (مرتبط با عوامل طبیعی) می‌باشد. مخاطرات، منشأ بلایا^۴ محسوب می‌شوند. این رویدادها برای توسعه جوامع انسانی مخرب هستند (Shi, 2019). بلایا، نتایج مستقیم یا غیرمستقیم مخاطرات محسوب می‌شوند. اثرات بلایا عبارت است از تلفات انسانی، تخریب اموال، تخریب منابع و محیط‌زیست، آسیب‌های زیست‌محیطی، برهم زدن نظم اجتماعی و تهدیدهایی برای عملکرد عادی خطوط حیاتی و خطوط تولید. خطرپذیری یا ریسک به‌صورت احتمال خسارات ناشی از بلیه در دوره زمانی آینده در یک منطقه تعریف شده است.

اگرچه نمی‌توان از رخداد بلایا به‌ویژه انواع طبیعی آن جلوگیری کرد اما با ارزیابی و برنامه‌ریزی می‌توان اثرات مخرب و صدمات ناشی از این رویدادها را کاهش داد. در این راستا، مدیریت بلایا به دلیل پیامدهای اقتصادی و اجتماعی، یکی از امیدبخش‌ترین زمینه‌های پژوهشی در این زمینه محسوب می‌شود (Kaur & Sood, 2019).

از آنجایی که مدیریت مخاطرات و بلایا به‌طور مستقیم به ترسیم نقشه بستگی دارد (Siteva & Marinova, 2021)؛ بنابراین نخستین گام جهت تعدیل اثرات مخاطرات جوی، شناسایی توزیع فضایی آن است. تاکنون تحقیقات فراوانی در زمینه نحوه توزیع مکانی بلایای جوی صورت گرفته که در ادامه به برخی از موارد داخلی و برون‌مرزی اشاره می‌شود. تحقیق نظام‌مند درباره بلایای طبیعی با پژوهش‌های گیلبرت وایت (۱۹۴۵-۱۹۹۳) آغاز شد. در ادامه کارهایی در سطح منطقه، کشور یا محل خاص انجام شده است که از آن جمله می‌توان به پژوهش‌های استرلینگ (Easterling, 1989) در پهنه‌بندی مناطق مختلف امریکا برای وقوع

¹ Risk

² The United Nations International Strategy for Disaster Reduction

³ Hazard

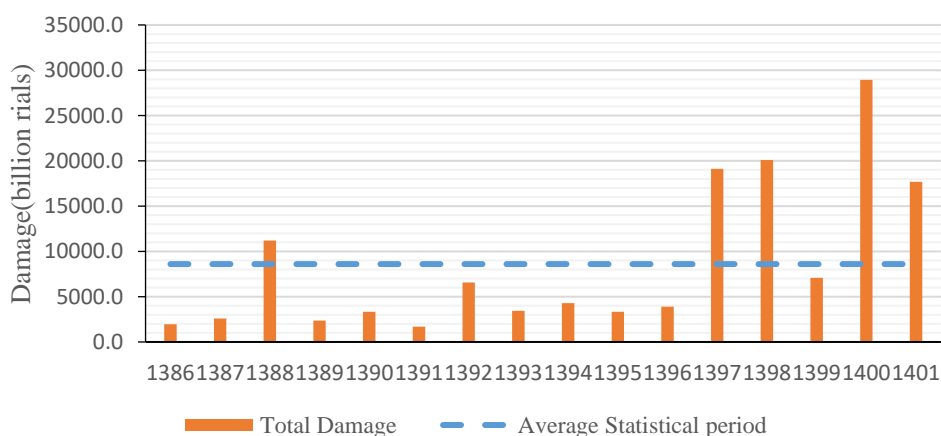
⁴ Disaster

توفان تندری، کاپریو (Caprio, 1999) در تحلیل مکانی یخبندان و نحوه تهیه و تحلیل نقشه‌های آن، انگلستان در Englestedler (2001) در پهنه‌بندی مکانی فراوانی وقوع گردوغبارهای جهان، اتکین و بورن (Etkin & Brun, 2001) در بررسی توزیع مکانی بارش تگرگ در کانادا، آل مرجانی و همکاران (El Morjani, Ebener, Boos, 2001) در بررسی توزیع فضایی ۵ مخاطره طبیعی (سیل، زمین‌لرزه، سرعت باد، گرما و زمین‌لرزه) و تهیه اطلس ریسک مخاطرات از منظر سازمان بهداشت جهانی، ویچ و همکاران (Wypych, Ustrnul & Henek, 2014) در تصویرسازی مخاطرات هواشناسی در راستای مقابله با بلایای جوی و ارائه الگوریتم‌های علمی برای محاسبه احتمال وقوع هر یک از پدیده‌های مخرب اشاره کرد. در پژوهشی جامع، شی و کاسپرسون (Shi & Kasperson, 2015) اقدام به انتشار کتاب خود با عنوان "اطلس جهانی ریسک بلایای طبیعی" نمودند. این اطلس با استفاده از بانک داده‌های بلایا، داده‌های مخاطرات، داده‌های شبکه‌ای دما و بارش بازتحلیل و مشاهداتی، میزان در معرض قرارگیری، داده‌های محیطی و نقشه پایه از مراکز مختلف داده جهان تهیه شد. سیتوا و مارینوا (Siteva & Marinova, 2021) در پژوهش خود، کاربرد نقشه‌برداری اطلس و فرآیند ایجاد "اطلس بلایای طبیعی مهم، در سراسر جهان، برای سال ۲۰۱۹" را مورد بحث قرار دادند. نسخه‌ی تحت وب اطلس مخاطرات اقلیمی و آسیب‌پذیری هند برای ۱۳ رویداد فرین جوی شامل موج سرد، موج گرما، سیل، رعدوبرق، بارش برف، طوفان گردوغبار، طوفان تگرگ، رعدوبرق، مه، باد شدید، بارندگی شدید، خشکسالی و طوفان نیز ارائه شده است.^۱

در ایران نیز تلاش‌هایی به منظور بررسی توزیع مکانی مخاطرات انجام شده است از آن جمله می‌توان به تهیه نقشه توزیع مکانی و زمانی گردوخاک، بررسی علل وقوع آن و مدل‌سازی آن توسط هلالی و همکاران (Helali, Asadi Oskouei, Hosseinzadeh, Kouhi & Mohammadi, 2023) اشاره کرد. مفیدی و همکاران (Mofidi, Hosseinzadeh & Mohammadyarian, 2013) با استفاده از داده‌های ۱۷ ایستگاه همدید سازمان هواشناسی کشور در مقیاس روزانه و ماهانه برای یک دوره ۳۸ ساله (۱۹۷۱-۲۰۰۸)، تعداد ۱۳ مخاطره جوی مهم در محدوده خراسان بزرگ را مورد بررسی قرار دادند و نقشه‌های فراوانی وقوع به تفکیک در سه دسته

¹ <https://www.imdpune.gov.in/hazardatlas/index.html>

مخاطرات دمایی، مخاطرات مرتبط با دید و مخاطرات بارشی را تهیه نمودند. در نهایت با ترکیب نتایج حاصل از بررسی تمامی مخاطرات، نقشه جامع مخاطرات جوی برای این منطقه ارائه گردید. تحلیل مکانی و زمانی بلایای جوی به طور خاص به عنوان مثال حمل و نقل جاده‌ای کشور نیز انجام شده است (Vazife dost & Laleh, 2013). در این پژوهش، فراوانی وقوع پدیده‌های جوی مؤثر بر حمل و نقل جاده‌ای در سطح بزرگراه‌ها و جاده‌های اصلی کل کشور شامل: بارش سنگین (بارش‌های شدیدتر از ۳۰ میلی‌متر و صدک ۹۰ ام بارش-ها)، یخبندان (آغاز، پایان، طول دوره و فراوانی وقوع یخبندان)، طوفان تندری (سمت و سرعت و فراوانی وقوع بادهای شدید)، طوفان‌های گردوغبار (پدیده گردوغبار و ضخامت نوری آئروسول)، مه (میدان دید کمتر از ۱ کیلومتر و درصد فراوانی وقوع ابرهای کوتاه)، سیل (ضریب سیل خیزی حوضه) و برف و بهمن (درصد فراوانی وقوع بارش برف) با استفاده از داده‌های هواشناسی جمع‌آوری شده از ایستگاه‌های همدید و ماهواره‌های هواشناسی مورد بررسی قرار گرفت. تحلیل مکانی اطلاعات و پهنه‌بندی عوامل مخاطره‌آمیز جوی با استفاده از روش‌های درون‌یابی در محیط نرم‌افزار ARCGIS صورت پذیرفت و در پایان بزرگراه‌ها و راه‌های اصلی کشور از منظر وقوع بلاهای جوی و درجه خطرپذیری آن‌ها طبقه‌بندی گردید. از دیگر پژوهش‌های انجام شده می‌توان به پهنه‌بندی درجه خطرپذیری رخداد پدیده‌های اقلیمی مه و طوفان‌های گردوغبار در شبکه جاده‌ای کشور با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای (Behyar, 2015) اشاره کرد.



شکل ۱- میزان خسارات ناشی از مخاطرات جوی و اقلیمی استان قزوین برای دوره ۱۳۸۶-۱۴۰۱

Fig.1. The damages caused by weather and climate disasters in Qazvin Province for the period 2007-2022

برای استان قزوین، به طور کلی، بیشترین خسارت ناشی از مخاطرات جوی و اقلیمی به رویدادهای مربوط به سرما و یخبندان اختصاص دارد که در حدود ۶۴ درصد از میزان خسارات کل را شامل می‌شود. هلالی و همکاران (Helali, Oskouei, Hosseini, Saeidi & Modirian, 2022) نیز در بررسی تغییرات سرمازدگی و یخبندان در ایستگاه‌های منتخب ایران نشان دادند که منطقه قزوین از ریسک بالایی برای این نوع مخاطرات برخوردار است. به عنوان نمونه وقوع سرمازدگی در روزهای پایانی سال ۱۴۰۰ در سطح ۶ هزار و ۸۵۰ هکتار از باغات این استان، منجر به خسارت مالی (بیش از به میزان ۲۳۷ میلیارد ریال) شد. خشکسالی نیز در سال ۱۴۰۱ به ۲۰۲ هزار هکتار از اراضی زراعی این استان خسارات عمده‌ای وارد نمود. در کل، میزان خسارت ناشی از خشکسالی، طوفان و سایر بلایا تا نیمه اول این سال حدود ۸۴ درصد کل میزان خسارت ناشی از حوادث غیرمترقبه را شامل شد.

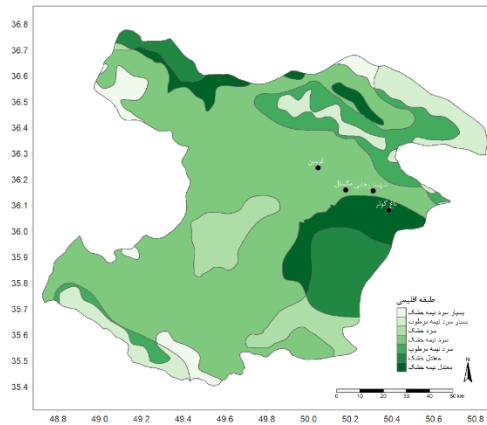
با توجه به اینکه در طراحی برنامه آمایش سرزمین که نقشه راه توسعه کشور و استان‌ها را مشخص می‌کند، پارامترهای جوی و اقلیمی نقش به‌سزایی دارند و آگاهی از پهنه‌بندی تاریخیچه‌ای بلایای جوی هر استان و منطقه، می‌تواند ظرفیت‌های توسعه هر صنعت را در آن منطقه تعیین کند. بر این اساس، هدف از این پژوهش، معرفی الگویی از توزیع مکانی برخی مخاطرات دمایی استان و مقایسه و سطح بندی مخاطرات از لحاظ فراوانی، شدت، مساحت و جمعیت تحت تأثیر و همچنین ارائه نقشه یکپارچه مخاطرات دمایی استان می‌باشد.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- منطقه مورد مطالعه

استان قزوین در حوضه مرکزی ایران در دامنه جنوبی رشته کوه‌های البرز مرکزی بین $43^{\circ} 48'$ تا $52^{\circ} 50'$ طول جغرافیایی و $24^{\circ} 35'$ تا $48^{\circ} 36'$ عرض جغرافیایی قرار دارد که با استان‌های مازندران، گیلان (شمال)، زنجان و همدان (غرب)، مرکزی (جنوب) و البرز (شرق) محدود می‌باشد. مساحت این استان، ۱۵۶۲۶ کیلومتر مربع است که از ۶ شهرستان، ۱۹ بخش، ۲۵ شهر و ۴۶ دهستان تشکیل شده و دارای اقلیم متنوعی در

طیف خشک و نیمه خشک، سرد و معتدل، نیمه مرطوب تا مرطوب است که کاملاً از وضعیت پستی و بلندی تبعیت می‌نماید (شکل ۲).



شکل ۲- طبقه بندی اقلیمی استان قزوین و پراکنش ایستگاه‌های پراکنش مکانی ایستگاه‌ها

Fig.2. Climate classification of Qazvin Province and the spatial distribution of stations
(Asadi Oskouei et al., 2022)

۲-۲- داده‌های ایستگاهی

در بین ۴۴ ایستگاه اقلیم‌شناسی و همدیدی با توجه به دوره‌های آماری کوتاه مدت اکثر ایستگاه‌ها، تنها دو ایستگاه همدید قزوین و ۳ ایستگاه اقلیم‌شناسی مگسال، شهید رجایی و باغ کوثر دارای دوره آماری پوشش دهنده دوره نرمال ۱۹۹۱-۲۰۲۰ می‌باشند (شکل ۲). بررسی‌ها نشان داد داده‌های مفقود زیادی موجود برای این ایستگاه‌ها وجود دارد که عملاً محاسبه نمایه‌های مرتبط با مخاطرات اقلیمی را با مشکل روبرو خواهد کرد.

۲-۳- داده‌های شبکه‌ای

با وجود آنکه شبکه‌های ایستگاه‌های هواشناسی و داده‌های دیدبانی قابل اعتمادتر از سایر مجموعه داده‌های اقلیمی هستند و استفاده از آنها در هر بررسی و ارزیابی مرتبط با این متغیرها ضروری است اما این داده‌ها در اکثر مناطق، دارای پوشش مکانی کم، سهم زیاد داده‌های مفقود، دوره کوتاه آماری (ایستگاه‌های تازه

تأسیس) و کیفیت پایین هستند؛ بنابراین استفاده از آن‌ها بسیار محدود بوده و نیاز به ترکیب با سایر اطلاعات نظیر داده‌های ماهواره‌ای و بازتحلیل شده دارند. عدم پوشش مکانی کافی ایستگاه‌هایی با دوره کامل آماری دلیلی دیگر بر لزوم استفاده از سایر منابع داده محسوب می‌شود. به این دلایل، رشد فزاینده‌ای در استفاده از سایر مجموعه داده‌های دیگر اقلیمی همچون ماهواره^۱ و بازتحلیل^۲ به وجود آمده است (Arce & Uribe, 2015). در این پژوهش از محصول مقیاس گاهی شده ERA5 نیز استفاده خواهد شد. طی ماه مارس ۲۰۱۷، ECMWF اقدام به ارایه‌ی پیشرفته‌ترین محصول بازتحلیل خود با نام ERA5 نمود. این محصول به‌عنوان پیشرفته‌ترین محصول بازتحلیل برای دوره آماری ۱۹۵۰ تاکنون ارائه شده است. چنین مجموعه داده‌هایی محصول توسعه ابزار محاسباتی، روش‌های داده‌گوازی^۳، مدل‌های پیش‌بینی عددی وضع هوا (NWP) و بهبود داده‌های مشاهداتی برداشت شده از جو و سطح زمین به کمک روش‌های سنجش از دور، کیفیت داده‌های بازتحلیل می‌باشند. پایگاه داده‌های ERA5 نسبت به مشابه قدیمی‌تر خود (ERA-Interim) از سامانه داده‌گوازی چهاربعدی پیشرفته‌تر و منابع داده بیشتری بهره گرفته و دارای قدرت تفکیک مکانی حدود ۳۰ کیلومتر و قدرت تفکیک زمانی ۱ ساعته است و متغیرهای جوی را در ۱۳۷ تراز فشاری متفاوت در اختیار کاربران قرار می‌دهد (Tarek, Brissette & Arsenault, 2020). ERA5-Land محصول مقیاس‌گاهی شده ERA5 است که دارای قدرت تفکیک مکانی ۹ کیلومتر ($0/08^{\circ} \times 0/08^{\circ}$) بوده و در سال ۲۰۱۹ منتشر شده است (Burkart et al., 2021).

داده‌های شبکه‌ای ERA5-Land در برآورد روند دما از کارایی خوبی دارند به‌عنوان مثال ایلماز (Yilmaz, 2023) در پژوهش خود نشان داد تفاوت قابل ملاحظه‌ای بین روند دمای محاسبه شده با استفاده از داده‌های این محصول برای دوره ۱۹۵۱-۲۰۲۰ با داده‌های ایستگاهی ترکیه (۵۴۰ ایستگاه) وجود ندارد. در پژوهشی دیگر، از این محصول به‌منظور برآورد روند گرمایشی منطقه‌ای و جهانی استفاده شد (Wang, Hessen, Samset & Stordal, 2022). همچنین در منطقه کوهستانی کیوالین^۴ طی دوره ۱۹۸۰-۲۰۱۸ نشان داده شد این

1. Satellite

2. Reanalysis

3 Data Assimilation

4 Qilian

مجموعه داده دارای عملکرد مناسبی در شبیه‌سازی دما می‌باشد (Huai, Wang, Sun, Wang & Zhang, 2021). بررسی سام خانینانی و محمدی (Sam Khaniani & Mohammadi, 2022) نشان داده است که طی دوره ۲۰۱۹-۱۹۹۹، داده‌های دمای ۲ متری ERA5-Land دارای ضریب همبستگی بیش از ۹۴ درصد با مشاهدات ایستگاهی در سراسر ایران بوده است. بسیاری از پژوهشگران این داده‌ها را در مطالعات مختلف از قبیل برآورد ضرایب خشکسالی (Xue, Wu & Jiang, 2019)، تبخیر (Trambauer et al., 2014)، بررسی روند دمای سطح زمین (Wang et al., 2022)، رطوبت خاک و بارش (Cao, Gruber, Zheng & Li, 2020; Chen et al., 2021)، نیاز سرمایی پسته (Asadi Oskouei, Kouzegaran, Kouhi, Hokmabadi & Eslami, 2023) بکار برده‌اند. با توجه به موارد فوق، در این پژوهش، به‌منظور برآورد نمایه‌های مرتبط با مخاطرات اقلیمی و با توجه به کارایی مناسب داده‌های دمای پنج‌مین نسل از داده‌های بازتحلیل^۱ (ERA5-Land) مرکز اروپایی پیش‌بینی میان مدت وضع هوا^۲ (ECMWF) (Azizi Mobaser, Rasoulzadeh, Rahmati, Shayeghi & Bakhtar, 2021; Shokri Koochak, Akhond Ali & Sharifi, 2019; Arabi Yazdi, Sanaei Nejad & Mofidi, 2020; Sam Khaniani & Mohammadi, 2022)، از این داده استفاده شد.

متغیر دمای کمینه و بیشینه از سایت بانک داده‌های اقلیمی کوپرنیک^۳ در قالب فایل به فرمت NCDF^۴ در مقیاس زمانی ساعتی بارگذاری و با کدنویسی در نرم‌افزار R برای استان قزوین برش داده شد و نمایه‌های حدی دمایی در هر نقطه شبکه استان (حدود ۱۶۰ نقطه) برای دوره ۱۹۹۱-۲۰۲۰ محاسبه شد. لایه‌های اطلاعات مکانی مربوط به تراکم جمعیت (سال ۱۳۹۵) و کاربری اراضی از اطلاعات سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی استان قزوین به دست آمد.

^۱ The fifth generation of European ReAnalysis (ERA5)

^۲ The European Centre for Medium-Range Weather Forecasts

^۳ <https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!/dataset/reanalysis-era5-land?tab=overview>

^۴ Network Common Data Form

۲-۴- نمایه‌های مرتبط با مخاطرات دمایی

مخاطره اقلیمی رویدادی فیزیکی، پدیده یا فعالیت انسانی و به‌طور بالقوه مخرب مرتبط با اقلیم است که ممکن است منجر به خسارت جانی و مالی، اختلال در امور اجتماعی و اقتصادی یا تخریب محیط‌زیست گردد (UNDRR¹, 2020).

به‌منظور تعیین به‌عنوان مثال بارش‌های شدید و فرین و یا دما تعاریفی مورد استفاده قرار گرفته که عبارتند از: ۱- نمایه آستانه مطلق یا آستانه اختیاری، ۲- نمایه مساحت منحنی هم بارش خاص، ۳- نمایه آستانه‌ی درصدی و ۴- نمایه پایه صدک. نمایه پایه صدک که در حال حاضر رایج‌ترین روش محاسبه و تعیین بارش و دمای فرین محسوب می‌شود. با این وجود، در برخی از پژوهش‌های انجام شده، آستانه‌های حدی متفاوت برای بارش‌های شدید در نظر گرفته‌اند (Karl, Nicholls & Ghazi, 1999; Mohanty & Mohapatra, 2007) که البته در نواحی مختلف متفاوت می‌باشد (Mofidi, Zarrin & Janbaz Ghobadi, 2008; Alijani, O'Brien, & Yarnal, 2008).

هیات بین‌الدول تغییر اقلیم² (IPCC, 2021) در گزارش ششم خود در مورد نمایه‌های مخاطرات مرتبط با اقلیم، مفهوم ۲۸ محرک اثر اقلیمی را در شش دسته: (۱) گرما و سرما، (۲) مرطوب و خشک، (۳) باد، (۴) برف و یخ، (۵) ساحل و (۶) اقیانوسی معرفی کرده است. آژانس محیطی اروپا³ (Crespi et al., 2020) با تاکید بر فصل دوازدهم گزارش ششم IPCC و بررسی منابع دیگری همچون پروژه INDECIS⁴، ETCCDI⁵، راهنمای خشکسالی سازمان هواشناسی جهانی و دیگر اسناد، ۸۲ نمایه مخاطرات مرتبط با اقلیم را انتخاب کردند که در این انتخاب، میزان دسترسی به داده‌های مورد نیاز از بانک‌های داده موجود مدنظر قرار داشت. در مرحله دوم با توجه به معیارهای اولویت‌بندی همچون محدوده جغرافیایی، امکان‌پذیری محاسبات، دسترسی به داده (پایگاه داده کوپرنیک⁶، اطلس IPCC، CDS⁶ و ...) و ارتباط نمایه با برنامه‌ریزی‌های سازگاری، در نهایت ۳۲ نمایه انتخاب شد. به‌منظور بررسی اثرات تغییر اقلیم در اروپا، این نمایه‌ها در شش دسته

¹ UN Office for Disaster Risk Reduction

² Intergovernmental panel of Climate Change

³ European Environment Agency

⁴ Expert Team on Climate Change Detection and Indices

⁵ Copernicus Climate Change Service

⁶ C3S Climate Data Store

اصلی (دمایی، بارش، باد، برف و یخ، ساحلی، اقیانوس‌های آزاد) قرار گرفتند. با در نظر گرفتن این گزارش، در این پژوهش از نمایه‌های تعریف شده پروژه Climpect استفاده خواهد شد. این پروژه، به منظور برآورد نیاز بخش‌های متأثر از مخاطرات جوی و اقلیمی، توسط گروه تخصصی سازمان هواشناسی جهانی در زمینه نمایه‌های اقلیمی ویژه هر بخش^۱ (ET-SCI) با همکاری متخصصان مربوطه پیشنهاد شده است. در این پروژه، ۶۳ نمایه معرفی شده است که در بخش مدیریت بلایای جوی و اقلیمی مرتبط با متغیرهای دما و بارش قابل استفاده هستند (Maes et al., 2022). تعریف نمایه‌های مورد استفاده در این مقاله در جدول ۱ آورده شده است. برای اطلاعات بیشتر به <https://climpect-sci.org/indices/#index-ID> مراجعه شود.

جدول ۱- نمایه‌های فرین دمایی مورد استفاده در این پژوهش

Table 1 – Extreme temperature indices used in this study

Definition	تعریف	Index	نمایه
$TN_{ij} < 0^{\circ}C$	مجموع سالانه تعداد روزهایی با $TN_{ij} < 0^{\circ}C$		روزهای یخبندان
Annual total number of days with $TN_{ij} < 0^{\circ}C$	(TN دمای کمینه بر حسب درجه سلسیوس، i روز و j سال)	Frost Day(FD)	
$TX_{ij} < 0^{\circ}C$	مجموع سالانه تعداد روزهایی با $TX_{ij} < 0^{\circ}C$		روزهای یخی
Annual total number of days with $TX_{ij} < 0^{\circ}C$	(TX دمای بیشینه بر حسب درجه سلسیوس، i روز و j سال)	Ice Days (ID)	
$TN_{ij} > 20^{\circ}C$	مجموع سالانه تعداد روزهایی با $TN_{ij} > 20^{\circ}C$		شب‌های حاره‌ای
Annual total number of days with $TN_{ij} > 20^{\circ}C$	(TN دمای کمینه بر حسب درجه سلسیوس، i روز و j سال)	Tropical Nights (TR)	
	شش روز متوالی که $TX_{ij} > TX_{in90}$ که در آن TX دمای بیشینه، i روز و j سال است و TX_{in90} صدک نودم دوره پایه		نمایه طول دوره گرما
Six consecutive days where $TX_{ij} > TX_{in90}$		Warm Spell Duration Index(WSDI)	
	شش روز متوالی که $TN_{ij} < TN_{in10}$ که در آن TN دمای کمینه، i روز و j سال است و TN_{in10} صدک دهم دوره پایه		نمایه طول دوره سرما
Six consecutive days where $TN_{ij} < TN_{in10}$		Cold Spell Duration Index (CSDI)	
	مجموع سالانه تعداد روزهایی با $TX_{ij} \geq 35^{\circ}C$ (TX دمای بیشینه بر حسب درجه سلسیوس، i روز و j سال)		نمایه TX_{ge35}
Annual total number of days with $TX_{ij} \geq 35^{\circ}C$		TX_{ge3} Index	

۲-۵- شاخص‌های ارزیابی

در این مقاله، برای ارزیابی داده‌های بازتحلیل شده دما با داده‌های دیدبانی از چند شاخص رایج ارزیابی شامل ضریب همبستگی پیرسون^۲ (r) (Salahi, Goudarzi & Hosseini, 2016)، مجذور میانگین مربعات خطا^۳

^۱ Expert Team on Sector-Specific Climate Indices (ET-SCI)

^۲ Pearson Correlation Coefficient

^۳ Root Mean Square Error

(RMSE) (Ma & Iqbal, 1984; Willmott & Matsuura, 2006)، ضریب کارایی نش-ساتکلیف^۱ (NSC)، شاخص اریبی^۲ (BIAS)، میانگین مطلق خطا^۳ (MAE) و ضریب کلینگ-گوپتا^۴ (KGE) استفاده شد. ضریب همبستگی پیرسون (r) (رابطه ۱) به درجه همبستگی خطی مربوط و دامنه آن بین -۱ تا ۱ می‌باشد.

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})(R_i - \bar{R})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2 (R_i - \bar{R})^2}} \quad \text{رابطه ۱:}$$

MAE با میانگین بزرگی خطا ارتباط دارد (رابطه ۲) و RMSE به انحراف معیار داده‌های مرجع (رابطه ۳). زمانی که مقادیر بهینه MAE و RMSE صفر شوند نشان دهنده یک تناسب کامل بین مجموعه داده‌های دیدبانی و است.

$$MAE = n^{(-1)} \sum_{i=1}^n |R_i - O_i| \quad \text{رابطه ۲:}$$

$$RMSE = \sqrt{(n^{(-1)} \sum_{i=1}^n (R_i - O_i)^2)} \quad \text{رابطه ۳:}$$

ضریب کارایی نش-ساتکلیف به منظور مقایسه داده‌های بازتحلیل با مقادیر دیدبانی طبق رابطه **Error!** **Reference source not found.** محاسبه می‌شود که در آن

$$NS = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - R_i)^2}{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2} \quad \text{رابطه ۴:}$$

n تعداد نمونه‌ها، O_i دمای دیدبانی در روز i ام، R_i دمای به دست آمده از داده‌های بازتحلیل در روز i ام و \bar{O} و \bar{R} مقادیر متوسط O_i و R_i در n ماه می‌باشد. ضریب نش-ساتکلیف می‌تواند از $-\infty$ تا ۱ باشد. این ضریب مقادیر نسبی واریانس باقیمانده‌ها را نسبت به واریانس مقادیر دیدبانی دما تعیین می‌کند. اگر $NS \leq 0/5$ شبیه‌سازی غیر قابل اعتماد، اگر $0/5 < NS \leq 0/65$ شبیه‌سازی قابل قبول و $NS \leq 0/75 < 0/65$ شبیه‌سازی خوب و اگر $NS < 0/75$ شبیه‌سازی خیلی خوب به حساب می‌آید (Poméon, Jackisch & Diekkruiger, 2017).

1 Nash-SuttclifE Coefficiency

2 Bias Index

3 Mean Absolute Error

4 Kling-Gupta efficiency

شاخص کلینگ-گوپتا (KGE) برای اولین بار توسط گوپتا و همکاران (Gupta, Kling, Yilmaz & Martinez, 2009) به کار رفت (رابطه ۵). KGE به عنوان ترکیبی از ضریب همبستگی پیرسون، اریبی و تغییرپذیری تعریف می‌شود. محدوده KGE از $-\infty$ تا یک است که در آن ۱ نشان دهنده بهترین برازش داده‌ها و ۰ نشان دهنده بدترین تناسب است. مقادیر بیشتر از $۰/۶$ قابل قبول می‌باشد (Tarek et al., 2020).

$$KGE = 1 - \sqrt{((r - 1)^2 + (\beta - 1)^2 + (\gamma - 1)^2)} \quad \text{رابطه ۵:}$$

r مؤلفه همبستگی می‌باشد، $\beta = \left(\frac{\mu_r}{\mu_o}\right)$ مؤلفه اریبی و $\gamma = \frac{(\partial r \mu_r)}{(\partial o \mu_r)}$ مؤلفه تغییرپذیری می‌باشند. μ_o و μ_r به ترتیب میانگین داده‌های بازتحلیل و دیدبانی و ∂r و ∂o انحراف معیار داده‌های بازتحلیل و دیدبانی هستند.

۳- نتایج و بحث

۳-۱- ارزیابی داده‌های شبکه‌ای

۳-۱-۱- ارزیابی داده‌های روزانه دما ERA-Land

با هدف ارزیابی توانمندی پایگاه داده بازتحلیل ERA5-Land، داده‌های ماهانه دمای کمینه و دمای بیشینه از مقادیر روزانه ایستگاهی در ایستگاه همدید قزوین و سه ایستگاه اقلیم شناسی نیروگاه شهید رجایی، مگسال و باغ کوثر (به دلیل تکمیل بودن نسبی دوره آماری) استخراج و سری زمانی سه متغیر برای دوره ۲۰۲۰-۱۹۹۱ با مقادیر نقطه شبکه متناظر در لایه‌های رقومی دمای ERA5-Land مقایسه شد.

جدول ۲- معیارهای آماری محاسبه شده بین مقادیر دمای کمینه ماهانه ایستگاهی و ERA5-Land

Table 2 - Statistical criteria calculated between the observed and ERA5-Land monthly minimum temperature

KGE	NSE	RMSE	r	MAE	نام ایستگاه Station Name
0.92	0.95	1.6	0.98	0.2	نیروگاه شهید رجایی Shahid Rajaei Power Plant
0.77	0.92	2	0.98	1.4	مگسال Magsal
0.71	0.89	2.47	0.99	1.99	باغ کوثر Qusar Garden
0.88	0.97	1.2	0.99	0.73	قزوین Qazvin

با توجه به مقادیر ME و RMSE (جدول ۲)، داده‌های شبکه‌ای ERA5-Land در دو ایستگاه نیروگاه و قزوین دارای عملکرد بهتری در برآورد دمای کمینه نسبت به دو ایستگاه دیگر بوده‌اند. با توجه به مقدار NSE بیش از ۰/۷۵، می‌توان نتیجه گرفت که دمای کمینه توسط ERA5-Land خیلی خوب برآورد شده است (Poméon et al., 2017). در شاخص KGE مقادیر بیش از ۰/۶ قابل قبول است که همان‌طور که مشاهده می‌شود، مقادیر در چهار ایستگاه بیش از این مقدار به دست آمد (بهترین نتیجه در ایستگاه نیروگاه شهید رجایی).

در جدول ۳ نتایج ارزیابی مقادیر شبکه‌ای دمای بیشینه پایگاه داده بازتحلیل ERA5-Land در مقایسه با چهار ایستگاه آورده شده است. بر اساس معیارهای به کار رفته، بهترین نتایج در ایستگاه قزوین به دست آمده است.

جدول ۳- معیارهای آماری محاسبه شده بین مقادیر دمای بیشینه ماهانه ایستگاهی و ERA5-Land

Table 3 - Statistical criteria calculated between the observed and ERA5-Land monthly maximum temperature

KGE	NSE	RMSE	r	MAE	نام ایستگاه Station Name
0.84	0.87	3.6	0.99	-3.5	نیروگاه شهید رجایی Shahid Rajaei Power Plant
0.91	0.95	2.2	0.99	-2.1	مگسال Magsal
0.93	0.97	1.8	0.99	-1.5	باغ کوثر Qusar Garden
0.98	0.99	0.79	0.99	0.11	قزوین Qazvin

۲-۳- اثرات و اندازه گیری مخاطرات مرتبط با دما

از سال ۱۳۹۸ تا کنون بیش از ۳۷ مورد سرمازدگی و یخبندان در استان قزوین ثبت شده است (سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی استان قزوین، ۱۴۰۱) و بر اساس آمار ۱۶ ساله (۱۴۰۲-۱۳۸۶) مربوط به مخاطرات اقلیمی استان قزوین، سرما و یخبندان و برف حدود ۶۴٪ از خسارات ناشی از مخاطرات جوی و اقلیمی را به خود اختصاص می‌دهد. به‌منظور بررسی نحوه توزیع مخاطرات سرمای در سطح استان، نمایه تعداد روزهای یخی (ID) برای داده‌های شبکه‌ای محاسبه و نقشه توزیع مکانی آن ترسیم شد (شکل ۴). با استفاده از لایه‌های

رقومی جمعیت استان (به تفکیک شهری و روستایی) و کاربری اراضی (به تفکیک دیم، آبی، تاکستان، باغ و مناطق مسکونی) و با کاربرد توابع مربوطه در بسته نرم‌افزاری Raster (Hijmans et al., 2023) در محیط R، مقدار جمعیت یا مساحت هر نوع از کاربری اراضی در هر طبقه از لایه رقومی طبقه‌بندی شده‌ی نمایه ID، استخراج و درصد آن از کل جمعیت یا کل مساحت کاربری مدنظر محاسبه شد که نتایج در جدول ۴ آورده شده است. نتایج نشان داد از کل مساحت استان، حدود ۸۳ درصد به‌طور میانگین تا ۴۰ روز رخداد روزهای یخی را تجربه می‌کنند. حدود ۹۸/۱ درصد جمعیت شهری و ۷۲/۱ درصد جمعیت روستایی به‌طور میانگین تا ۲۰ روز در سال در معرض این رخداد قرار می‌گیرند (مرکز استان) (جدول ۴). فراوانی روزهای یخی در دوره‌های بازگشت ۱۰۰ ساله، تا ۱۵۰ روز در سال به دست آمد (شکل ۵). مرکز استان که در میانگین ۳۰ ساله دارای رخداد حداکثر ۲۰ روز ID است در دوره بازگشت ۱۰۰ ساله، شاهد افزایش فراوانی این نمایه تا ۵۰ روز در سال خواهد بود.

بیشترین مساحت استان برای روزهای یخبندان (FD) به میزان حدود ۳۶ درصد در طبقه ۹۰-۱۱۰ روز فراوانی این نمایه قرار می‌گیرد که بیشترین درصد جمعیت روستایی را نیز شامل می‌شود. بیشترین درصد جمعیت شهری، شاهد میانگین ۱۱۰-۱۳۰ روز رخداد این نمایه طی سال هستند. در دوره بازگشت ۱۰۰ ساله، فراوانی تا حدود ۱۸۰ روز نیز افزایش می‌یابد و پهنه‌های وسیعی از استان تا حدود ۱۵۰ روز رخداد آن را تجربه خواهند کرد. بیشترین درصد مساحت کشت دیم در بازه فراوانی سالانه ۹۰-۱۱۰ روزه این نمایه قرار می‌گیرد (نقشه‌ها و جدول‌ها آورده نشده است).

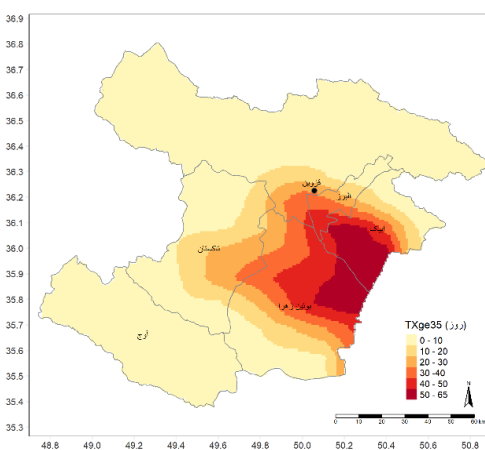
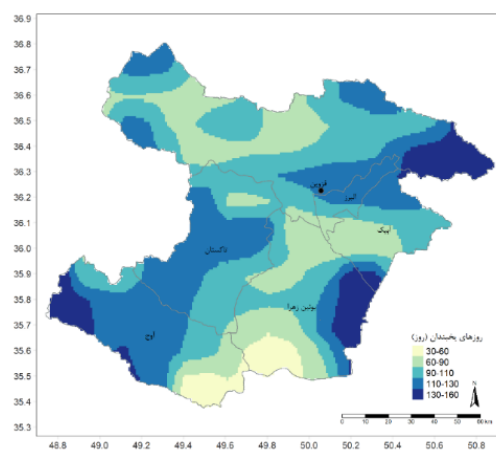
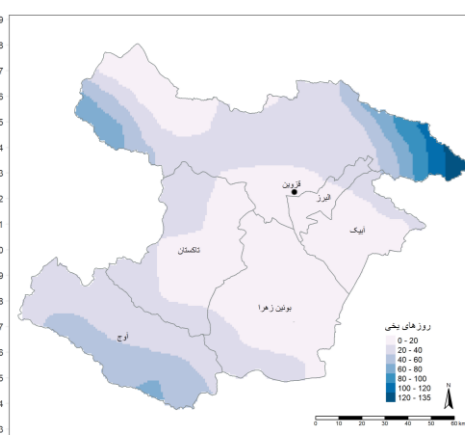
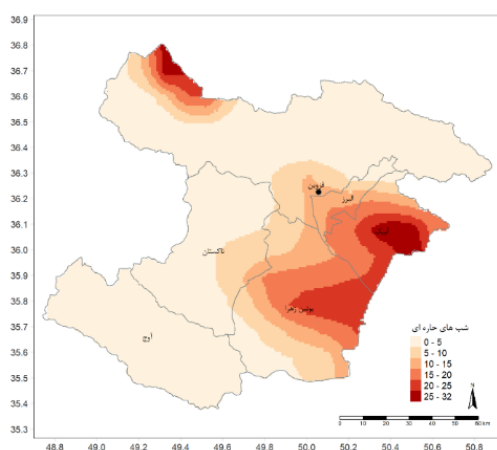
نمایه طول دوره گرما (WSDI) این نمایه تعداد روزهایی را در سال محاسبه می‌کند که حداقل ۶ روز متوالی دمای بیشینه بیش از صدک ۹۰ ام این متغیر طی دوره پایه باشد. بررسی توزیع مکانی این نمایه نشان می‌دهد بیشترین طول دوره گرما در طبقه ۹-۱۱ روز، در گوشه جنوب غربی و طبقه ۷-۹ روز، در نواحی مرکزی رخ می‌دهد. بیشترین مساحت استان به میزان ۶۱/۶ درصد در طبقه ۷-۹ روز این نمایه قرار دارند. میانگین مکانی این نمایه ۶/۸ روز با انحراف معیار ۱/۵ به دست آمد.

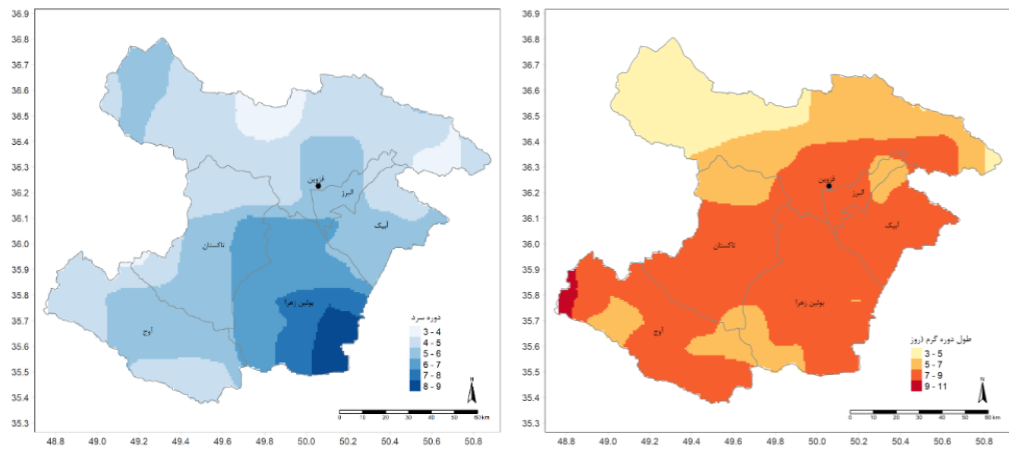
جدول ۴- درصد مساحت استان، جمعیت شهری و روستایی، مناطق مسکونی، کشت دیم، آبی، باغ و تاکستان استان

در طبقات مختلف ID

Table 4 - Percentage of Qazvin province's area, urban and rural population, residential areas, rainfed and irrigated cultivation, orchards, and grapes in different ID categories

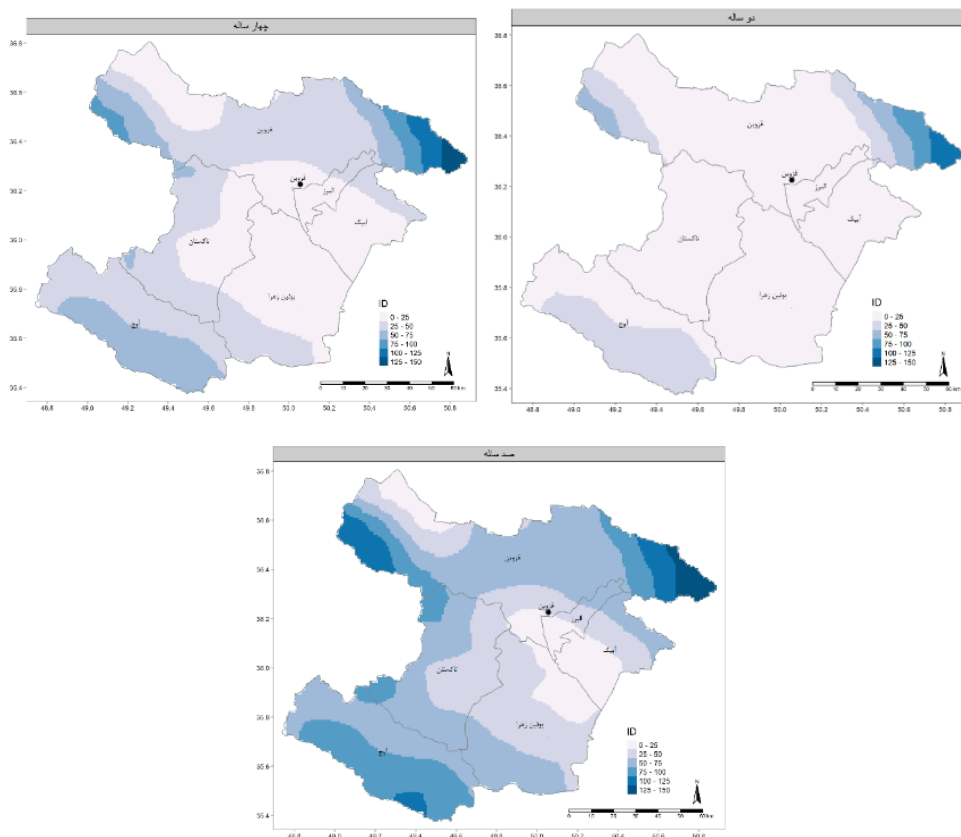
جمعیت شهری Urban population	جمعیت روستایی Rural population	مناطق مسکونی Residential areas	تاکستان Graps	باغ Orchard	کشت دیم Rainfed	کشت آبی Hydroponics	درصد از کل مساحت Frequency%	بازه طبقه (به روز) Class(day)	طبقه Class
98.1	72.1	80.8	80.2	57.3	33.4	91.6	42	0-20	1
1.1	21	14.4	17.2	30.4	53.6	6.4	41	20-40	2
0.8	4.6	2.8	2.1	7.3	10.7	0.6	10.8	40-60	3
0	1.5	0	0.3	2.6	1.9	0.9	3.4	60-80	4
0	0.7	1.6	0	1.7	0.1	0.3	1.4	80-100	5
0	0.2	0.4	0	0.3	0.09	0.04	0.9	100-120	6
0	0.05	0	0	0.2	0.04	0	0.6	120-130	7





شکل ۴- توزیع مکانی مخاطرات دمایی استان قزوین (۱۹۹۱-۲۰۲۰)

Fig. 4. Spatial distribution of temperature hazards in Qazvin province (1991-2020)



شکل ۵- توزیع مکانی طبقات روزهای یخی در دوره‌های بازگشت متفاوت در استان قزوین

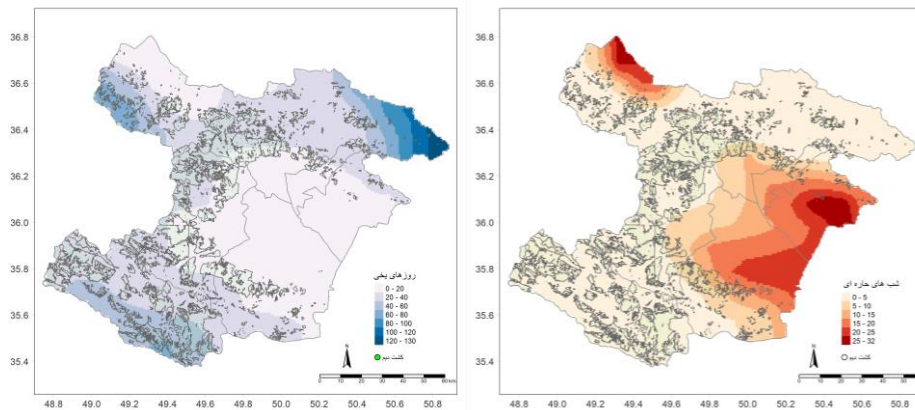
Fig. 5. Spatial distribution of ice day classes in different return periods in Qazvin Province

نمایه مدت دوره سرد سال (CSDI) به رغم تعریف آن (شش روز متوالی که $TN_{ij} < TN_{in10}$ که در آن TN دمای کمینه، i روز و j سال است و TN_{in10} صدک دهم دوره پایه)، در میانگین سالانه ممکن است کمتر از ۶ روز باشد که این بدان معناست که دوره سرد در برخی سالها و نه در تمام آنها رخ داده است. بیشترین درصد مساحت استان در دو طبقه ۴-۵ و ۵-۶ روز این نمایه (مجموعاً حدود ۷۳ درصد) قرار می‌گیرد. بیشترین درصد جمعیت شهری به میزان ۶۸/۲ درصد در طبقه ۵-۶ روز آن قرار دارند. دوره بازگشت ۱۰۰ ساله این نمایه نسبت به بیشینه مقدار میانگین سالانه آن افزایش چشمگیری نشان می‌دهد (۶۰ روز) که نشان دهنده مخاطره‌آمیزتر بودن آن در این دوره بازگشت است. کمترین درصد مساحت استان با کاربری کشاورزی در بازه فراوانی ۸-۹ روزه این نمایه قرار داد. بیشترین درصد مساحت کشت دیم استان به‌طور میانگین با دوره سرد ۴-۵ روزه روبرو بوده است.

محاسبات انجام شده برای نمایه شب‌های حاره‌ای (TR) نشان داد بیش از ۶۱ درصد استان (تمامی نواحی بجز مرکز شرق استان) و بیشترین درصد جمعیت روستایی به‌طور میانگین کمتر از ۵ شب طی سال شاهد دمای کمینه بیش از ۲۰ درجه سلسیوس هستند. بیشترین جمعیت شهری در بازه ۱۰-۱۵ روز قرار دارند. مناطق کشت دیم استان که به نوعی پتانسیل اقلیمی این استان را در زراعت دیم محصولات نشان می‌دهد دارای بیشترین مساحت (۸۲/۲ درصد) در فراوانی کمتر از ۵ روز رخداد این نمایه است. قابلیت کشت آبی در تمامی طبقات این نمایه مشاهده می‌شود ولی بیشترین درصد مساحت کشت آبی، در طبقه ۵-۱۰ روز آن قرار دارد. به نظر می‌رسد تاکنون آنها از جمله کاربری اراضی هستند که درصد مساحت آنها نسبت به افزایش فراوانی این نمایه روند کاهشی نشان می‌دهد.

برای نمایه TX_{ge35} که به‌صورت تعداد روزهایی با شرط $TX \geq 35^{\circ}C$ (TX دمای بیشینه روزانه) تعریف می‌شود بیشترین درصد مساحت استان و همچنین بالاترین تراکم جمعیت شهری در طبقه ۰-۱۰ روزه این نمایه قرار می‌گیرند. جمعیت روستایی دارای بالاترین درصد جمعیتی در طبقه ۲۰-۳۰ روز (۵۳/۶٪) است. دو شهرستان آبیک و بوئین زهرا شاهد بیشترین تعداد نمایه TX_{ge35} تا میانگین ۶۵ روز در سال بوده‌اند. بیشترین دمای بیشینه ثبت شده در ایستگاه آبیک ۴/۴ و در ایستگاه بوئین زهرا ۶/۴ درجه سلسیوس بوده است. در

دوره‌های بازگشت ۴ و ۱۰۰ ساله، این استان فراوانی‌هایی از چنین روزهایی را به میزان ۸۰ روز شاهد خواهد بود. همان‌طور که در مورد سایر نمایه‌های فرین دمایی ذکر شد، بیشترین مساحت کشت دیم در مناطقی با فراوانی کمتر این نمایه قرار دارند. در مورد این نمایه نیز، ۷۵٪ درصد اراضی کشت دیم در طبقه ۰-۱۰ روز رخداد این نمایه قرار می‌گیرند. در شکل ۶، همپوشانی طبقات مختلف میانگین سالانه نمایه‌های دمایی روزهای یخی، شب‌های حاره‌ای و TXge35 با پهنه‌هایی با کاربری کشت دیم به دست آمده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود پتانسیل اقلیمی کشت دیم این استان توسط این نمایه‌ها تعیین شده است.



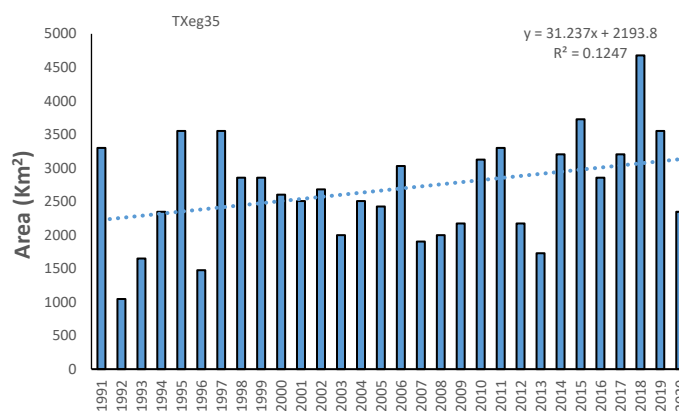
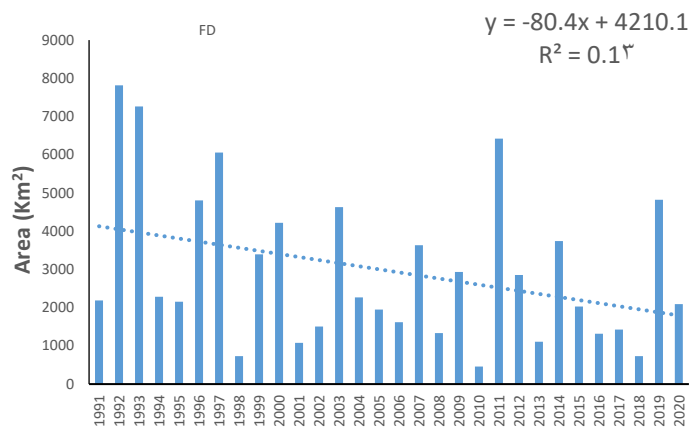
شکل ۶- همپوشانی طبقات مختلف میانگین سالانه نمایه‌های فرین دمایی با پهنه‌هایی با کاربری کشت دیم استان

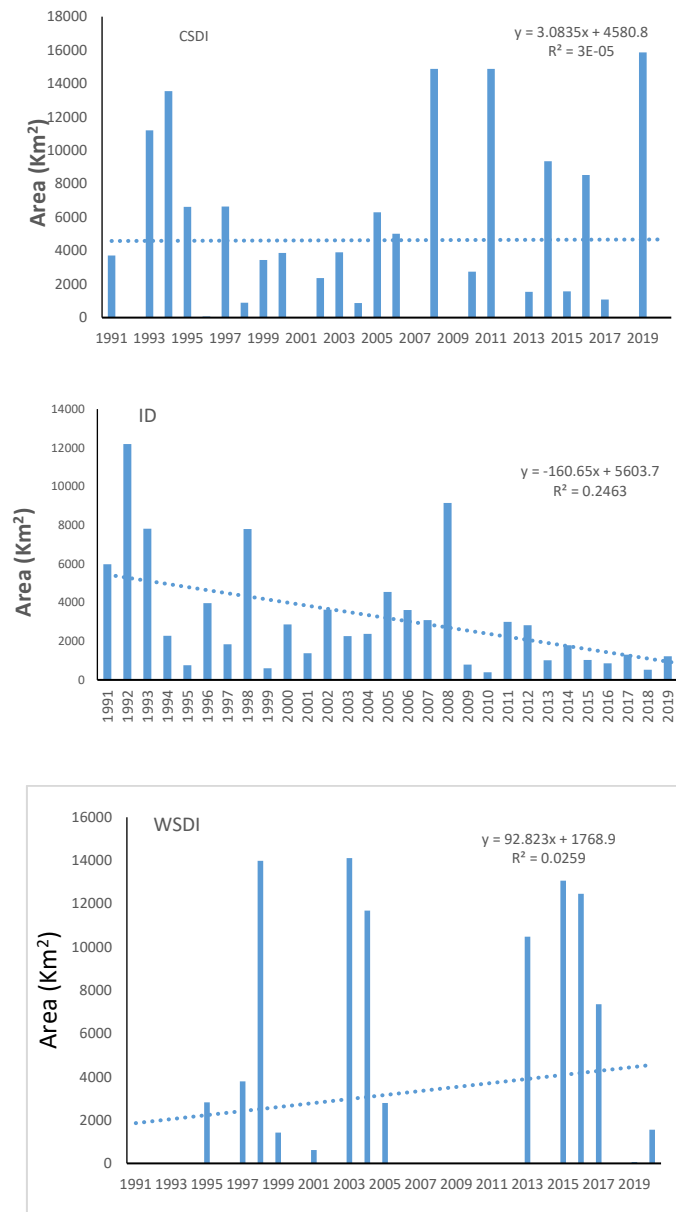
قزوین

Fig. 6. Overlap of different classes of annual average of extreme temperature indices with areas used for rainfed agriculture in Qazvin province

در شکل ۷، تغییرات مساحت مناطق مخاطره‌آمیز برای هر نمایه طی دوره ۱۹۹۱-۲۰۲۰ به دست آمده است. پهنه‌های مخاطره‌آمیز بر اساس آستانه نسبی (حداقل یک انحراف معیار بیش از میانگین مکانی) تعیین شد. میانگین و انحراف مکانی هر نمایه در سطح استان با استفاده از توابع مربوطه در بسته‌های نرم‌افزاری R محاسبه شد. به‌عنوان مثال، منطقه مخاطره‌آمیز برای نمایه روزهای یخی، اشاره به مناطقی دارد که تعداد روزهای یخی آن بیش از ۴۶ روز در سال می‌باشد. همان‌طور که مشاهده می‌شود به‌رغم وجود نوسانات طی این دوره ۳۰ ساله، میانگین مساحت TXge35 طی دهه ۱۹۹۰ به میزان ۲۵۲۳ کیلومتر مربع به مقدار ۳۰۷۶

کیلومتر مربع در دهه ۲۰۲۰ افزایش یافته است. در مورد نمایه WSDI، نیز روند افزایشی در مساحت استان که متأثر از مقادیر مخاطره‌آمیز این نمایه هستند (تعداد روزهایی بیش از ۸/۳ روز) مشاهده شد.





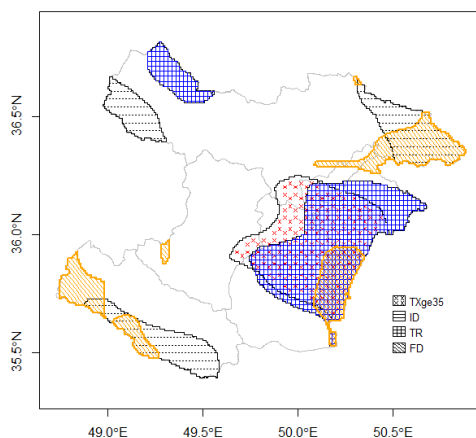
شکل ۷- مساحت متأثر از مخاطرات دمایی در استان قزوین از سال ۱۹۹۰ تا ۲۰۲۰ میلادی

Fig. 7. Area affected by temperature hazards in Qazvin Province from 1990 to 2020

در عوض، این استان در نمایه‌های مرتبط با مخاطرات دمایی سرد مانند ID و FD، شاهد کاهش مساحت پهنه‌های متأثر از مقادیر مخاطره‌آمیز بوده است؛ به طوری که مساحت این مناطق برای نمایه ID، دارای روند

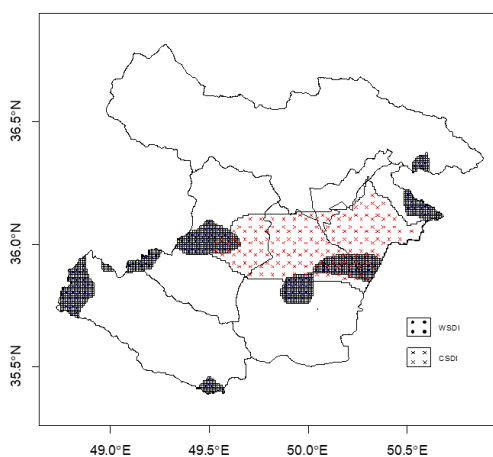
کاهش معنی دار در سطح $0/05$ ($P\text{-value}=0/01$) با مقدار $Z=-2/5$ من-کندال بوده است که در آن میانگین از مقدار حدود ۴۶۱۱ کیلومتر مربع در دهه ۱۹۹۰ به مقدار حدود ۱۶۰۳ در دهه ۲۰۲۰ کاهش یافته است.

به منظور ارائه یک الگوی فضایی یکپارچه از مخاطرات اقلیمی در استان، نقشه جامع بلایا با ترکیب چند نمایه مرتبط با مخاطرات اقلیمی تهیه شد. همان طور که ذکر شد پهنه‌های مخاطره‌آمیز بر اساس آستانه نسبی (حداقل یک انحراف معیار بیش از میانگین مکانی هر نمایه) از لایه رستری مخاطرات دمایی مورد بررسی در این مقاله، استخراج شد. سپس با ترکیب لایه‌های رقومی جدید مربوط به پهنه‌های مخاطره‌آمیز برای نمایه‌های مدنظر، الگوی فضایی ترکیبی این مخاطرات به دست آمد. همان طور که در شکل ۸ مشاهده می‌شود استان قزوین در تمامی جهات جغرافیایی از نوع خاصی از مخاطرات متأثر است. مناطق مرتفع استان، مستعد رخداد بیش از آستانه تعیین شده روزهای یخی و روزهای یخبندان است. در حالی که در مناطق پست مرکزی، تعداد روزهایی با دمای بیشینه بیش از ۳۵ درجه سلسیوس به فراوانی و بیش از آستانه تعیین شده رخ می‌دهد. نمایه شب‌های حاره‌ای به صورت مخاطره‌آمیز، در قسمت مرکزی و نواحی شمال غربی استان از فراوانی بالاتری برخوردار است. در شکل ۹، نقشه مناطق مخاطره‌آمیز برای دو نمایه مرتبط با طول یک دوره (گرم و سرد) ترسیم شده است که نشان می‌دهد از نظر مقادیر مخاطره‌آمیز نمایه دوره سرد مرکز استان و برای نمایه دوره گرم، مناطق متفاوت در نواحی مرزی شرقی و غربی استان در معرض رخداد مخاطره‌آمیز قرار دارند. همان طور که مشاهده می‌شود در مجموع، منطقه مرکزی استان در معرض چندین نوع خطر به طور هم‌زمان قرار دارد که با توجه به تراکم جمعیت شهری و روستایی و تمرکز فعالیت‌های اقتصادی در این ناحیه، انتظار می‌رود ریسک‌های اقتصادی-اجتماعی مرتبط با مخاطرات اقلیمی در این ناحیه شدت یابد.



شکل ۸- نقشه مخاطرات چندگانه دمایی در استان قزوین طی دوره ۱۹۹۱-۲۰۲۰

Fig. 8. Multiple temperature hazards map of Qazvin Province during the period 1991-2020



شکل ۹- نقشه ترکیبی دو مخاطره طول دوره سرد (CSDI) و گرم (WSDI) در استان قزوین طی دوره ۱۹۹۱-۲۰۲۰

۱۹۹۱

Fig. 9. Composite map of cold spell duration index (CSDI) and warm spell duration index (WSDI) in Qazvin Province during the period 1991-2020

۴- نتیجه‌گیری

مخاطرات جوی و اقلیمی دارای اثرات منفی بر بخش‌های مختلف فعالیت‌های بشر هستند. مدیریت بلایای جوی به‌طور مستقیم با نقشه بلایا مرتبط است زیرا واضح‌ترین راه برای انتقال اطلاعات در مورد یک فاجعه، قبل، حین و بعد از وقوع آن، ترسیم نقشه آن است. در این مقاله تلاش شد تا توزیع مکانی مخاطرات اقلیمی

دمایی استان قزوین طی دوره ۱۹۹۱-۲۰۲۰ در قالب نقشه‌های دوره بازگشت، درصد مساحت متأثر از رویداد و فراوانی رخداد آن ارائه گردد. در این راستا، تعدادی از نمایه‌های معرفی شده در پروژه Climpack انتخاب و با استفاده از بانک داده دمای روزانه ERA5-Land در مقیاس سالانه برای نقطه شبکه‌های پوشش‌دهنده‌ی استان قزوین محاسبه شد. نقشه جامع حاصل از ترکیب چند مخاطره نشان داد برای استان قزوین بخش مرکزی آن در معرض انواع بیشتری از مخاطرات قرار دارد. روند مساحت تحت تأثیر نمایه‌های مرتبط با مخاطرات دمایی گرم در این استان افزایشی و برای برخی از این نمایه‌های دمایی سرد معنی‌دار بوده است. گلیان و همکاران (Golian, Mazdiyasnı & AghaKouchak, 2015) نیز در پژوهش خود نشان دادند که نواحی شمالی، شمال غربی و مرکزی ایران روند خشک شدن معنی‌داری را در سطح اطمینان ۹۵ درصد تجربه کرده‌اند. فتحیان و همکاران (Fathian et al., 2020) و قیامی شمامی و همکاران (Ghiami-Shamami, Sabziparvar & Shinoda, 2019) در پژوهش خود نشان دادند که ایستگاه قزوین به ترتیب طی دوره ۱۹۸۱-۲۰۱۲ و ۱۹۶۱-۲۰۱۲ در نمایه‌های حدی مرتبط با دمای بیشینه (CDD, CSDI, WSDR) دارای روند افزایشی معنی‌دار بوده و در سایر نمایه‌ها نیز روند افزایشی مشاهده شد.

از آنجایی که انتظار می‌رود تغییر اقلیم منجر به تشدید فراوانی، شدت و مدت مخاطرات جوی و اقلیمی شود لذا ضروری است استراتژی‌هایی در خصوص افزایش تاب‌آوری مراکز جمعیتی، صنعتی و کشاورزی در برابر اثرات مخرب تغییر اقلیم از جمله افزایش رخدادهای فرین ناشی از آن، مدنظر قرار گرفته و سیاست‌گذاری‌ها در تمامی بخش‌های مرتبط با فعالیت انسان، در جهت سازگاری با این رویدادها (قابلیت جذب و بازیابی مجدد از اثرات منفی ناشی از این مخاطرات)، مدنظر تصمیم‌گیران قرار گیرد. در این راستا، نیاز است تا جهت اتخاذ تصمیم‌هایی در خصوص احداث صنایع جدید، توسعه کشاورزی، توسعه شهری و یا روستایی همچنین توسعه حمل‌ونقل به الگوهای مخاطرات اقلیمی و بازه‌های احتمالی هر مخاطره (دوره‌های بازگشت) در هر منطقه استناد و بر اساس آن تصمیمات لازم اتخاذ گردد.

سپاسگزاری

این مقاله مستخرج از طرح پژوهشی "اطلس مخاطرات جوی استان قزوین" می باشد که با حمایت سازمان مدیریت و برنامه ریزی استان قزوین، اداره کل هواشناسی این استان و توسط پژوهشگاه هواشناسی و علوم جو انجام گرفته است. از حمایت های انجام شده تشکر و قدردانی می شود.

References

- Alijani, B., O'Brien, J., & Yarnal, B. (2008). Spatial analysis of precipitation intensity and concentration in Iran. *Theoretical and Applied climatology*, 94, 107-124. [In Persian] <https://doi.org/10.1007/s00704-007-0344-y>
- Arabi Yazdi, A., Sanaei Nejad, S. H., & Mofidi, A. (2020). Evaluation of Grid reanalysis products of the European Centre for Medium Range Weather Forecasts (ECMWF datasets) in Different Climatic Regions of Iran. *Journal of Climate Research*, 1398(38), 63-76. [In Persian] https://clima.irimo.ir/article_113320.html
- Arce, C., & Uribe, E. (2015). Managing Vulnerability and Boosting Productivity in Agriculture through Weather Risk Mapping, World Bank Group Report, Number 92400.
- Asadi Oskouei, E., Delsouz Khaki, B., Kouzegaran, S., Navidi, M. N., Haghghatd, M., Davatgar, N., & Lopez-Baeza, E. (2022). Mapping Climate Zones of Iran Using Hybrid Interpolation Methods. *Remote Sensing*, 14(11), 2632. <https://doi.org/10.3390/rs14112632>
- Asadi Oskouei, E., Kouzegaran, S., Kouhi, M., Hokmabadi, H., & Eslami, M. (2023). Spatial Distribution of the Probability of Satisfying the Chill Requirements of Pistachio in Iran Using ERA5-Land Reanalysis Data. *Nivar*, 47(120-121), 137-152. [In Persian] <https://doi.org/10.30467/NIVAR.2023.416976.1263>
- Azizi Mobaser, J., Rasoulzadeh, A., Rahmati, A., Shayeghi, A., & Bakhtar, A. (2021). Evaluating the Performance of Era-5 Re-Analysis Data in Estimating Daily and Monthly Precipitation, Case Study; Ardabil Province. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 51(11), 2937-2951. [In Persian] <https://doi.org/10.22059/ijswr.2020.302176.668600>
- Azizi, G., Safarrad, T., Mohammadi, H., & Faraji Sabokbar, H. (2016). Evaluation and Comparison of Reanalysis Precipitation Data in Iran. *Physical Geography Research*, 48(1), 33-49. [In Persian] <https://doi.org/10.22059/jphgr.2016.57026>
- Behyar, M. (2015). Spatial Analysis and Zoning Climatic Hazards of Threshold Rainfall Indicator in Road Network of Iran Using GIS. *Nivar*, 39(90-91), 37-44. [In Persian] <https://doi.org/10.30467/nivar.2015.15688>
- Burkart, K. G., Brauer, M., Aravkin, A. Y., Godwin, W. W., Hay, S. I., He, J., ... & Stanaway, J. D. (2021). Estimating the cause-specific relative risks of non-optimal temperature on daily mortality: a two-part modelling approach applied to the Global Burden of Disease Study. *The Lancet*, 398(10301), 685-697. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(21\)01700-1](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(21)01700-1)

- Burke, M., Hsiang, S. M., & Miguel, E. (2015). Global non-linear effect of temperature on economic production. *Nature*, 527(7577), 235-239. <https://doi.org/10.1038/nature15725>
- Cao, B., Gruber, S., Zheng, D., & Li, X. (2020). The ERA5-Land soil temperature bias in permafrost regions. *The Cryosphere*, 14(8), 2581-2595. <https://doi.org/10.5194/tc-14-2581-2020>.
- Caprio, J. M., & Quamme, H. A. (1999). Weather conditions associated with apple production in the Okanagan Valley of British Columbia. *Canadian Journal of Plant Science*, 79(1), 129-137. <https://doi.org/10.4141/P98-028>
- Chen, Y., Sharma, S., Zhou, X., Yang, K., Li, X., Niu, X., & Khadka, N. (2021). Spatial performance of multiple reanalysis precipitation datasets on the southern slope of central Himalaya. *Atmospheric Research*, 250, 105365. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2020.10536>
- CRED. (2018). Natural disasters 2017, Brussels.
- Crespi, A., Terzi, S., Cocuccioni, S., Zebisch, M., Berckmans, J., & Füssel, H. M. (2020). Climate-related hazard indices for Europe. *European Environment Agency, European Topic Centre Climate Change Impacts, Vulnerability and Adaptation*.
- Easterling, D. R. (1989). Regionalization of thunderstorm rainfall in the contiguous United States. *International Journal of Climatology*, 9(6), 567-579. <https://doi.org/10.1002/joc.3370090603>
- El Morjani, Z. E. A., Ebener, S., Boos, J., Abdel Ghaffar, E., & Musani, A. (2007). Modelling the spatial distribution of five natural hazards in the context of the WHO/EMRO Atlas of Disaster Risk as a step towards the reduction of the health impact related to disasters. *International Journal of Health Geographics*, 6, 1-28. <https://doi.org/10.1186/1476-072X-6-8>
- Engelstädter, S. (2001). *Dust storm frequencies and their relationship to land surface conditions*. Doctoral dissertation, Friedrich-Schiller-Universität Jena. <https://hdl.handle.net/21.11116/0000-0009-D2E6-6>
- Etkin, D., & Brun, S. E. (1999). A note on Canada's hail climatology: 1977–1993. *International Journal of Climatology: A Journal of the Royal Meteorological Society*, 19(12), 1357-1373. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1097-0088\(199910\)19:12%3C1357::AID-JOC422%3E3.0.CO;2-B](https://doi.org/10.1002/(SICI)1097-0088(199910)19:12%3C1357::AID-JOC422%3E3.0.CO;2-B)
- Fathian, F., Ghadami, M., Haghighi, P., Amini, M., Naderi, S., & Ghaedi, Z. (2020). Assessment of changes in climate extremes of temperature and precipitation over Iran. *Theoretical and Applied Climatology*, 141, 1119-1133. <https://doi.org/10.1007/s00704-020-03269-2>
- Ghiami-Shamami, F., Sabziparvar, A. A., & Shinoda, S. (2019). Long-term comparison of the climate extremes variability in different climate types located in coastal and inland regions of Iran. *Theoretical and Applied Climatology*, 136, 875-897. <https://doi.org/10.1007/s00704-018-2523-4>
- Golian, S., Mazdiyasi, O., & AghaKouchak, A. (2015). Trends in meteorological and agricultural droughts in Iran. *Theoretical and Applied Climatology*, 119, 679-688. <https://doi.org/10.1007/s00704-014-1139-6>
- Gupta, H. V., Kling, H., Yilmaz, K. K., & Martinez, G. F. (2009). Decomposition of the mean squared error and NSE performance criteria: Implications for improving hydrological

- modelling. *Journal of Hydrology*, 377(1-2), 80-91. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2009.08.003>
- Helali, J., Asadi Oskouei, E., Hosseinzadeh, T., Kouhi, M., & Mohammadi, S. M. (2023). Spatio-temporal analysis of seasonal and annual trends of dust storm days in arid climates of Iran. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 54(3), 513-531. [In Persian] <https://doi.org/10.22059/ijswr.2023.355469.669454>
- Helali, J., Oskouei, E. A., Hosseini, S. A., Saeidi, V., & Modirian, R. (2022). Projection of changes in late spring frost based on CMIP6 models and SSP scenarios over cold regions of Iran. *Theoretical and Applied Climatology*, 149(3), 1405-1418. <https://doi.org/10.1007/s00704-022-04124-2>
- Hijmans, R. J., Van Etten, J., Cheng, J., Mattiuzzi, M., Sumner, M., Greenberg, J. A., ... & Hijmans, M. R. J. (2023). Package 'raster'. *R package*, 734, 473. <http://www.maths.bristol.ac.uk/R/web/packages/raster/raster.pdf>
- Huai, B., Wang, J., Sun, W., Wang, Y., & Zhang, W. (2021). Evaluation of the near-surface climate of the recent global atmospheric reanalysis for Qilian Mountains, Qinghai-Tibet Plateau. *Atmospheric Research*, 250, 105401. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2020.105401>
- IPCC. (2021). *Climate Change 2021-The Physical Science Basis*. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Intergovernmental Panel on Climate Change, Geneva Understanding the spatial patterns of temperature hazards in Qazvin province. https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC_AR6_WGI_SummaryVolume.pdf
- Karl, T. R., Nicholls, N., & Ghazi, A. (1999). Clivar/GCOS/WMO workshop on indices and indicators for climate extremes: workshop summary. *Weather and climate extremes*, Springer. https://doi.org/10.1007/978-94-015-9265-9_2
- Kaur, A., & Sood, S. K. (2019). Analytical mapping of research on disaster management, types and role of ICT during 2011–2018. *Environmental Hazards*, 18(3), 266-285. <https://doi.org/10.1080/17477891.2019.1567457>
- Lancet. (2021). Health in a world of extreme heat. *Lancet (London, England)*, 398(10301), 641. [https://doi.org/10.1016/s0140-6736\(21\)01860-2](https://doi.org/10.1016/s0140-6736(21)01860-2)
- Ma, C. C. Y., & Iqbal, M. (1984). Statistical comparison of solar radiation correlations Monthly average global and diffuse radiation on horizontal surfaces. *Solar Energy*, 33(2), 143-148. [https://doi.org/10.1016/0038-092X\(84\)90231-7](https://doi.org/10.1016/0038-092X(84)90231-7)
- Maes, M. J., Gonzales-Hishinuma, A., Hašič, I., Hoffmann, C., Banquet, A., Veneri, P., ... & Quadrelli, R. (2022). Monitoring exposure to climate-related hazards: Indicator methodology and key results, *OECD. Environment Working Papers*, 201, OECD Publishing, Paris. <https://doi.org/10.1787/19970900>
- Mofidi, A., Hosseinzadeh, S., & Mohammadyarian, M. (2013). Atmospheric Hazards Zonation in the Northeastern of Iran. *Journal of Geography and Environmental Hazards*, 2(2), 1-16. [In Persian] <https://doi.org/10.22067/geo.v0i0.23110>

- Mofidi, A., Zarrin, A., & Janbaz Ghobadi, G. (2008). Determining the synoptic pattern of autumn heavy and extreme precipitations on the southern coast of the Caspian Sea. *Journal of the Earth and Space Physics*, 33(3), 131-154. [In Persian] <https://dorl.net/dor/20.1001.1.2538371.1386.33.3.10.7>
- Mohanty, U. C., & Mohapatra, M. (2007). Prediction of occurrence and quantity of daily summer monsoon precipitation over Orissa (India). *Meteorological Applications: A journal of Forecasting, Practical Applications, Training Techniques and Modelling*, 14(1), 95-103. <https://doi.org/10.1002/met.9>
- Poméon, T., Jackisch, D., & Diekkrüger, B. (2017). Evaluating the performance of remotely sensed and reanalysed precipitation data over West Africa using HBV light. *Journal of Hydrology*, 547, 222-235. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2017.01.055>
- Salahi, B., Goudarzi, M., & Hosseini, S. A. (2016). Predicting the temperature and precipitation changes during the 2050s in Urmia Lake Basin. *Watershed Engineering and Management*, 8(4), 425-438. [In Persian] <https://doi.org/10.22092/ijwmse.2016.107179>
- Sam Khaniani, A., & Mohammadi, A. (2022). Comparison of ERA5-Land reanalysis data with surface observations over Iran. *Iranian Journal of Geophysics*, 16(1), 195-212. [In Persian] <https://doi.org/10.30499/ijg.2022.313494.1376>
- Shi, P. (2019). *Disaster risk science*. Springer.
- Shi, P., & Kasperson, R. (2015). *World atlas of natural disaster risk*. Springer.
- Shokri Koochak, S., Akhond Ali, A. M., & Sharifi, M. R. (2019). Introduction and comparison of the performance of two global reanalysis databases in estimating daily maximum, minimum, and average air temperatures (case study: Helleh River basin). *Iranian Journal of Geophysics*, 13(3), 53-68. [In Persian] <https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.20080336.1398.13.3.4.4>
- Siteva, D., & Marinova, S. (2021). Design of an Atlas of Significant Natural Disasters. In *Proceedings of the ICA* (Vol. 4). Göttingen, Germany: Copernicus Publications. <https://doi.org/10.5194/ica-proc-4-100-2021>
- Soltani, A., Alaedini, F., Shamspour, N., & Ahmadi Marzaleh, M. (2021). Hazard Assessment of Iran Provinces based on the Health Ministry Tool in 2019. *Iranian Red Crescent Medical Journal*, 23(1), e204. <https://doi.org/10.32592/ircmj.2021.23.1.204>
- Tarek, M., Brissette, F. P., & Arsenault, R. (2020). Evaluation of the ERA5 reanalysis as a potential reference dataset for hydrological modelling over North America. *Hydrology and Earth System Sciences*, 24(5), 2527-2544. <https://doi.org/10.5194/hess-24-2527-2020>
- Trambauer, P., Dutra, E., Maskey, S., Werner, M., Pappenberger, F., Van Beek, L. P. H., & Uhlenbrook, S. (2014). Comparison of different evaporation estimates over the African continent. *Hydrology and Earth System Sciences*, 18(1), 193-212. <https://doi.org/10.5194/hess-18-193-2014>
- UNDRR. (2020). Hazard definition & classification review: Technical report, United Nations Office for Disaster Risk Reduction, New York and Geneva. <https://www.undrr.org/quick/12955>
- UNISDR. (2004). Living with risk: A global review of disaster reduction initiatives. United Nations Office for Disaster Risk Reduction, New York and Geneva. <https://www.undrr.org/quick/10883>

- Vazife dost , M., & Laleh syah, M. (2013). Analysis of the spatial and temporal climatic disasters affecting the road. *Journal of Transportation Research*, 10(3). [In Persian] https://www.trijournal.ir/article_11499.html?
- Wang, Y. R., Hessen, D. O., Samset, B. H., & Stordal, F. (2022). Evaluating global and regional land warming trends in the past decades with both MODIS and ERA5-Land land surface temperature data. *Remote Sensing of Environment*, 280, 113181. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2022.113181>
- Willmott, C. J., & Matsuura, K. (2006). On the use of dimensioned measures of error to evaluate the performance of spatial interpolators. *International Journal of Geographical Information Science*, 20(1), 89-102. <https://doi.org/10.1080/13658810500286976>
- Wypych, A., Ustrnul, Z., & Henek, E. (2014). Meteorological hazards-visualization system for national protection against extreme hazards for Poland. *Meteorology Hydrology and Water Management. Research and Operational Applications*, 2(1), 37-42. <https://doi.org/10.26491/mhwm/28306>
- Xue, C., Wu, H., & Jiang, X. (2019). Temporal and spatial change monitoring of drought grade based on ERA5 analysis data and BFAST method in the belt and road area during 1989–2017. *Advances in Meteorology*, 2019(1), 4053718. <https://doi.org/10.1155/2019/4053718>
- Yilmaz, M. (2023). Accuracy assessment of temperature trends from ERA5 and ERA5-Land. *Science of The Total Environment*, 856, 159182. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.159182>