

بررسی مخاطرات دما در استان کرمانشاه با تأکید بر یخبندان و امواج سرمای

جمال پرویز - دانشجوی دکتری تخصصی آب‌وهواشناسی، گروه جغرافیا، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران
رضا برنا* - دانشیار گروه جغرافیا، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران
فریده اسدیان - استادیار گروه جغرافیا، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۴/۱۹

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۸/۱۵

چکیده

هدف از این مطالعه بررسی شاخص‌های حدی دما در استان کرمانشاه است. برای این منظور، از داده‌های روزانه دمای ۱۹ ایستگاه سینوپتیکی از بدو تأسیس تا ۲۰۱۸ و نمایه‌های حدی دما استفاده شده است. با بررسی‌های انجام‌شده، مشخص شد شاخص‌های یخبندان و امواج سرمای بالاترین همبستگی را با سایر شاخص‌ها دارند. از این رو، شاخص‌های یادشده شاخص‌های نماینده در نظر گرفته شد و بررسی روند و نیز الگوی خودهمبستگی فضایی برای این شاخص‌ها انجام گردید. برای بررسی روند از روش من-کندال و برای الگوی خودهمبستگی فضایی از شاخص فضایی G^* بهره گرفته شد. نتایج نشان داد شاخص یخبندان در نواحی مرتفع شرقی در تداوم‌های ۱ تا ۶ روزه فراوانی بیشینه داشته و در نواحی کم‌ارتفاع جنوب غربی روند افزایشی دارد. شاخص امواج سرمای نیز در نواحی شرقی بیشترین فراوانی را در همه تداوم‌ها داشته و در قسمت‌هایی از استان روند افزایشی را نشان می‌دهد. نتایج الگوی خودهمبستگی فضایی شاخص G^* نشان داد که الگوی خودهمبستگی فضایی مثبت امواج سرمای و یخبندان نیز بیشتر در نواحی مرتفع شرقی استان مشاهده شده است. الگوی خودهمبستگی فضایی منفی بیشتر در نیمه غربی استان یعنی نواحی مرزی عراق تشکیل شده است که این امر بیانگر نقش توزیع ارتفاعات زاگرس در تشکیل الگوی خودهمبستگی فضایی یخبندان در سطح استان است.

واژگان کلیدی: الگوی فضایی، دمای حداقل، دمای حداکثر، شاخص‌های حدی، من-کندال، *ReIimDex*

مقدمه

به طور کلی، عامل اصلی ایجاد تفاوت‌های دمایی در نقاط مختلف زمین متفاوت بودن زاویه تابش خورشید در عرض‌های جغرافیایی مختلف است، اما اگر این عامل را تنها عامل مؤثر در تغییرات دمایی بپذیریم، تغییرات دما در طول یک سال و در سال‌های مختلف سیر منظمی خواهد داشت. در صورتی که در طبیعت چنین نیست و عواملی مانند توپوگرافی منطقه، جهت دامنه‌ها، پوشش خاک، دوری یا نزدیکی به پهنه‌های آبی، و سامانه‌های جوی منطقه‌ای و سیاره‌ای این نظم را برهم می‌زنند (لشکری، ۱۳۸۷: ۲). دما، به‌عنوان شاخصی از شدت گرما، یکی از عناصر اساسی شناخت هواست و نظر به دریافت نامنظم انرژی خورشید زمین دستخوش تغییرات بسیار است که خود سبب تغییرات گسترده دیگری در سایر عناصر هواشناسی می‌شود (کمالی، ۱۳۸۱: ۳۰). یکی از پدیده‌های مهم آب‌وهوایی که در طی دوره سرد سال در بیشتر مناطق کشور بروز می‌کند پدیده سرما و یخبندان است (مدیری و همکاران، ۱۳۹۱: ۸). یخبندان با پایین آمدن دما و نزول آن به آستانه بحرانی مشخص شروع می‌شود و با تأثیراتی که در سطح زمین ایجاد می‌کند زندگی انسان‌ها و همچنین فعالیت‌های عمرانی و رشد بازدهی محصولات زراعی را تحت تأثیر قرار می‌دهد. در ایران، در فصل سرد سال با ورود

توده‌های هوای سرد شمالی، شمال غربی و غربی، مناطق مختلف ایران دماهای پایینی را تجربه می‌کنند. ارتفاع زیاد، عرض جغرافیایی بالا، قرارگیری در محل ورود سامانه‌های سرد و توپوگرافی محل، زمینه‌ساز یخبندان‌های شدید در این مناطق است (فرج‌زاده و حسینی، ۱۳۸۹: ۶۶). با توجه به وضعیت جغرافیایی کشور و ارتفاع نسبتاً بالای بیشتر مناطق آن از سطح دریا و ورود جبهه‌های متفاوت به این سرزمین، وقوع سرما و یخبندان هر ساله بیشتر نقاط کشور را دربر می‌گیرد و خسارات زیادی به بار می‌آورد. با توجه به گردش عمومی جو در نیم کره شمالی، موقعیت ایران به گونه‌ای است که در دوره سرد سال از توده‌های هوایی گوناگون تأثیر می‌پذیرد (امام‌هادی و علیجانی، ۱۳۸۳: ۳۵). به طور کلی، در بررسی علل بروز سرما و یخبندان‌ها به دو نوع از آن می‌توان اشاره کرد (عزیزی، ۱۳۸۳: ۱۰۰): ۱. سرما و یخبندانی که ریشه در داخل منطقه دارد و به طور عمده به دلیل تابش موج بلند در شب‌های صاف و همراه با بیلان منفی تابش زمین در هوای پایدار بروز می‌کند (سرما و یخبندان تابشی)؛ ۲. سرمای ناشی از عبور یا هجوم هوای سرد یا متحرکی که منشأ آن به طور عمده در خارج از منطقه است (سرما یا یخبندان فرارفتی). نتایج تحقیقات در مناطق مختلف جهان و از جمله ایران نشان داده‌اند که امواج سرمایی و یخبندان بر حسب شدت وقوع می‌توانند موجب بروز خسارت‌های جانی و مالی فراوان از جمله آسیب به شبکه‌های انتقال انرژی، افزایش وقوع تصادفات رانندگی، افزایش مرگ‌ومیر در اثر بیماری‌های واگیر و غیر واگیر و افزایش مصرف سوخت در مناطق مختلف شوند (لشکری و همکاران، ۱۳۹۴: ۷۵). در سال‌های اخیر، با افزایش تدریجی دمای هوا از تعداد یخبندان و امواج سرمایی به صورت نسبی کاسته شده است؛ اما برخی از این امواج قدرت زیادی داشته‌اند و خسارات بیشتری ایجاد می‌کنند. یکی از حالت‌های ویژه دمایی که در آن مقادیر فرین دمای حداقل مشاهده می‌شود موج سرماست. سرماهای فرین، به علت شدت و رخداد ناگهانی، تأثیر بسزایی بر زیست‌بوم‌ها و جوامع بشری دارند (مسعودیان و دارند، ۱۳۹۲: ۱۷۳). احتمال وقوع امواج سرمایی در تمام طول سال وجود دارد و در هر فصلی مشکلات و خسارات خاص خود را ایجاد می‌کنند. این امواج در فصل زمستان، به دلیل کم‌بودن زاویه تابش خورشید و سردتر بودن هوا، با قدرت بیشتری عمل می‌کنند و نه تنها حیات همه موجودات زنده را با خطر مواجه می‌کنند، بلکه نقش مهم و تعیین‌کننده‌ای در مسائل اقتصادی، زیست‌محیطی، و عمرانی مانند جاده‌سازی، سدسازی، و پل‌سازی دارند (هژبرپور و علیجانی، ۱۳۸۶: ۱) و می‌توانند باعث ایجاد خسارت به بخش‌های مختلف شوند. شدت و ضعف امواج سرمایی تابع عوامل و الگوهای همدید و پوششی پیچیده‌ای است که برخی از آن‌ها کمتر بررسی و شناسایی شده‌اند و تحلیل آن‌ها با استفاده از روش همدید می‌تواند ویژگی‌هایی مانند منشأ، مسیر، شدت، و فراوانی سامانه‌های فشار را شناسایی و به شناخت بنیادی عوامل پدیدآورنده و ویژگی‌های آن‌ها کمک مؤثری کند (جهان‌بخش و همکاران، ۱۳۹۰: ۳) و در افزایش شناخت ما از موج‌های سرمایی زمستانی مؤثر باشد.

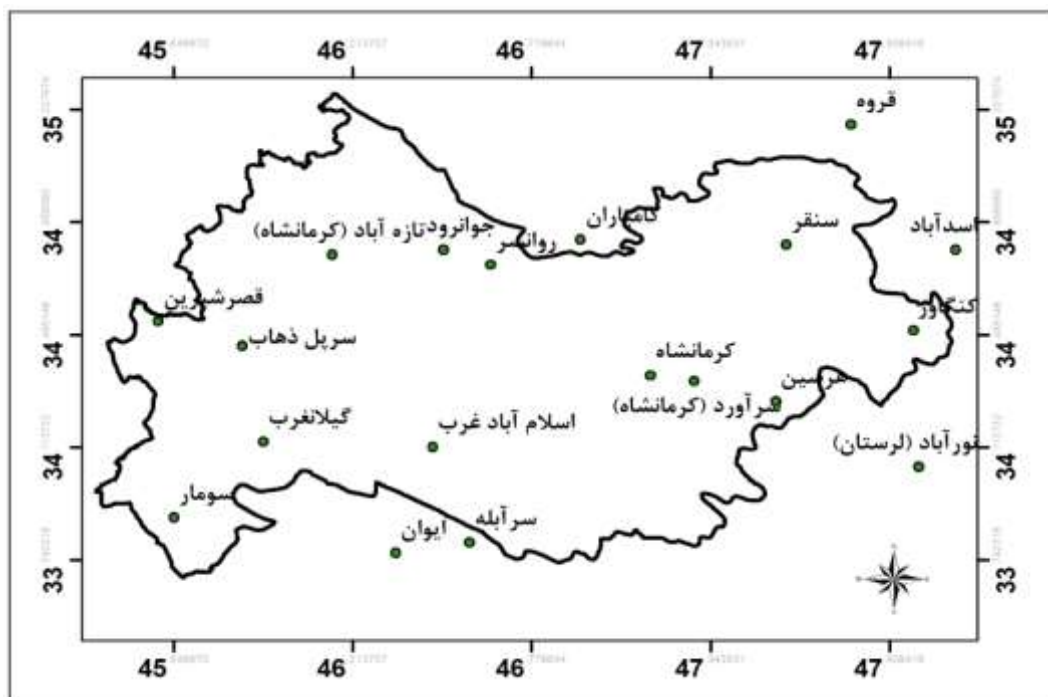
نتایج مطالعات انجام‌شده در ایران و سایر نقاط جهان نشان می‌دهد سامانه‌های پُرفشار سطح زمین به همراه ناوه‌های تراز میانی جو و همچنین سامانه‌های بندالی از اصلی‌ترین عوامل ایجاد امواج سرمایی در نواحی مورد مطالعه بوده‌اند. شدت و ضعف موج‌های سرمایی رخ داده تابعی از نحوه آرایش این سامانه‌ها در سطح زمین و تراز میانی جو بوده است. قدرتمندترین موج‌های سرمایی در نتیجه استقرار ناوه تراز میانی جو و نفوذ پُرفشار سطح زمین به منطقه مورد مطالعه رخ داده است (عزیزی، ۱۳۸۳: ۱۰؛ کیم و بایون، ۲۰۱۶: ۶۶۳). برای مثال، استقرار پُرفشار بر روی سرزمین‌های همسایه‌های شمالی از شمال دریای سیاه تا شمال دریای خزر موجب فرارفت هوای سرد از طریق جریان‌ات ورودی از قسمت‌های شمالی کشور است (کریمی و همکاران، ۱۳۹۹). همچنین، نتایج تحقیقات نشان داده است که شاخص‌های پیوند از دور مانند AO، NAO، و PNA در نحوه آرایش سامانه‌های ایجادکننده امواج سرمایی مؤثرند و طی فازهای مختلف خود

موجب کاهش یا افزایش شدت تأثیرگذاری این سامانه‌ها می‌شوند (مولر و همکاران، ۲۰۰۰: ۱۶۱۹؛ پاپینائو، ۲۰۰۱: ۱۵۷۷؛ قویدل و خوشحال، ۱۳۸۹: ۱۹۳؛ قویدل و همکاران، ۱۳۹۵: ۵۴؛ محمودی و همکاران، ۱۳۹۴: ۱۸۶). بنابراین، می‌توان نتیجه گرفت که در غالب موارد با نفوذ سامانه‌های پرفشار که با هوایی سرد و سنگین همراهاند و همراهی آن‌ها با استقرار ناوه تراز میانی جو، شرایط جهت ریزش هوای سرد و ایجاد موج سرما مساعد می‌شود؛ هرچند منشأ هوای سرد و نحوه آرایش سامانه‌های جوی در سطح زمین و نحوه فعل و انفعالات آن‌ها با سامانه‌های سطوح میانی جو در قدرت و میزان پوشش موج‌های سرمای نفوذی به‌ک منطقه تأثیر دارد.

استان کرمانشاه‌کی از استان‌های کوهستانی است و کشاورزی این منطقه متأثر از دماهای حدی آن دچار خساراتی می‌شود. از این رو، شناخت رفتار دماهای حدی اهمیت ویژه‌ای برای این استان دارد. بنابراین، در این مطالعه، سعی شده است به بررسی شاخص‌های حدی دما در استان کرمانشاه پرداخته شود.

داده‌ها و روش

در تحقیق حاضر از داده‌های دمای ۱۹ ایستگاه سینوپتیک از بدو تأسیس تا ۲۰۱۸ استفاده شده است. از این تعداد ایستگاه‌ها ۱۴ ایستگاه در داخل محدوده استان و ۵ ایستگاه در محدوده خارج از استان بوده‌اند. زیرا استفاده از ایستگاه‌های خارج از محدوده استان میزان خطای میان‌یابی را کاهش می‌دهد. شکل ۱ پراکنش ایستگاه‌های مورد مطالعه و جدول ۱ دوره آماری هر ایستگاه را نشان می‌دهد. استان کرمانشاه با مساحت ۲۴۴۳۵ کیلومتر مربع در غرب کشور و در امتداد کوه‌های زاگرس واقع شده است.



شکل ۱. پراکنش ایستگاه‌های مورد استفاده

جدول ۱. دوره آماری ایستگاه‌های مورد مطالعه

ایستگاه	پایان طول دوره آماری	آغاز طول دوره آماری	طول دوره آماری
روانسر	۲۰۱۹	۱۹۸۷	۳۳
سر پل ذهاب	۲۰۱۹	۱۹۸۷	۳۳
کرمانشاه	۲۰۱۹	۱۹۸۷	۳۳
اسلام‌آباد غرب	۲۰۱۹	۱۹۸۷	۳۳
جوانرود	۲۰۱۹	۲۰۰۶	۱۴
تازه‌آباد (کرمانشاه)	۲۰۱۹	۲۰۰۸	۱۲
سنقر	۲۰۱۹	۲۰۰۵	۱۵
سومار	۲۰۱۹	۲۰۰۸	۱۲
هرسین	۲۰۱۹	۲۰۰۸	۱۲
قصر شیرین	۲۰۱۹	۲۰۰۵	۱۵
گیلان غرب	۲۰۱۹	۲۰۰۵	۱۵
سرآرود (کرمانشاه)	۲۰۱۹	۱۹۸۹	۳۱

در این مطالعه، برای بررسی روند نمایه‌های حدی اقلیمی، از شاخص‌های دمایی که توسط تیم کارشناسی ETCCDM تعریف شده استفاده شد. این شاخص‌ها توسط نرم‌افزار RclimDex برآورد می‌شوند. این نرم‌افزار توسط بخش تحقیقات اقلیمی هواشناسی کانادا در محیط نرم‌افزار R 1.84 تهیه شده است که منوط به نصب و راه‌اندازی زبان برنامه‌نویسی است. در این نرم‌افزار، قبل از محاسبه شاخص‌ها، داده‌ها توسط نرم‌افزار کنترل کیفی می‌شوند و اطلاعات نادرست مانند بارندگی منفی یا بزرگ‌تر یا مساوی بودن دمای حداقل از حداکثر بازمینی می‌شوند و داده‌های پرت بررسی می‌شوند. سپس، شاخص‌های اقلیمی با استفاده از داده‌های روزانه محاسبه می‌شوند. مشخصات این شاخص‌ها در جدول ۲ دیده می‌شود. این شاخص‌های حدی شامل پنج دسته از جمله شاخص‌های حدی مبتنی بر صدک‌ها، شاخص‌های حدی مطلق، شاخص‌های حدی استان‌ها، شاخص‌های حدی دوره‌ای، و سایر شاخص‌ها مانند دامنه تغییرات‌اند. بعد از برآورد شاخص‌های حدی، به‌منظور جلوگیری از حجم کار، شاخص‌هایی بررسی شدند که بیشترین ضریب همبستگی را با دیگر شاخص‌های حدی داشتند. در ادامه، به‌منظور بررسی روند تغییرات شاخص‌های حدی دما از آزمون من-کندال استفاده شده است. من-کندال یک آزمون ناپارامتری است که بر اساس رتبه داده‌ها اقدام به محاسبه روند می‌کند.

یکی از شاخه‌های جالب و در حال رشد آمار فضایی مربوط به خودهمبستگی فضایی است. خودهمبستگی به رابطه بین مقادیر باقی‌مانده در طول خط رگرسیون مربوط می‌شود. خودهمبستگی قوی زمانی رخ می‌دهد که مقادیر باقی‌مانده شدیداً با هم در ارتباط باشند. به عبارت دیگر، تغییراتشان به‌صورتی سیستماتیک رخ دهند. به‌منظور بررسی الگوی فضایی نمایه‌های حدی از تحلیل لکه‌های داغ^۱ - آماره G^* استفاده شده است. نمایه یادشده میزان همبستگی را که ناشی از تمرکز نقاط موزون (یا پهنه‌ای که به‌وسیله نقاط موزون باشد) و همه نقاط موزونی که در داخل شعاع فاصله d از نقطه موزون مبدأ باشد اندازه‌گیری می‌کند. آزمون خودهمبستگی فضایی معیار مناسبی برای ارزیابی وابستگی نقاط به‌شمار می‌آید. آرد و گتیس در سال ۱۹۹۲ آماره G^* را شاخصی برای اندازه‌گیری ارتباط فضایی در حالت‌های متعدد پیشنهاد کردند. این روش الگوی توزیع عوارض در فضا را با ملاحظه هم‌زمان موقعیت مکانی و خصیصه ارزیابی می‌کند. نتایج حاصل از این تحلیل نشان می‌دهد که آیا عوارض به‌صورت تصادفی، پراکنده، یا خوشه‌ای در فضا توزیع شده‌اند؟ اگر

1. Hot Spot

مقدار G^* مثبت باشد، به معنای آن است که عارضه مورد نظر توسط عوارض مشابه خود محاصره شده است. بنابراین، عارضه مورد نظر بخشی از آن خوشه است. اگر مقدار G^* منفی باشد، به معنای آن است که عارضه مورد نظر توسط عوارضی که اصلاً مشابهتی با آن ندارند محاصره شده است (علی‌آبادی و داداشی رودباری، ۱۳۹۴: ۹۷). برای آشنایی بیشتر با این شاخص، به آرد و گتیس (۱۹۹۵) مراجعه شود.

جدول ۲. شاخص‌های حدی دما توصیه‌شده توسط گروه کارشناسی CCL/CLIVAR

شاخص حدی دما	مفهوم	یکا
CSDI	طول مدت سرما، تعداد روزهایی که حداقل شش روز متوالی دمای حداقل کمتر از صدک دهم باشد.	روز
DTR	دامنه تغییرات شبانه‌روزی دما	سانتی‌گراد
FD	تعداد روزهای یخبندان (دمای حداقل روزانه کمتر از صفر)	روز
GSL	طول فصل رویش	روز
ID	تعداد روزهای یخی (دمای حداکثر روزانه کمتر از صفر)	روز
SU25	تعداد روزهای تابستانی (دمای حداکثر روزانه بیشتر از ۲۵ درجه)	روز
Tmaxmean	میانگین بیشینه دمای حداکثر	روز
Tminmean	میانگین کمینه دمای حداقل	روز
TN10P	شب‌های سرد، درصد روزهایی که دمای حداقل کمتر از صدک ۱۰ باشد	روز
TN90P	شب‌های گرم، درصد روزهایی که دمای حداقل بیشتر از صدک ۹۰ باشد	روز
TNn	کمینه ماهانه دمای حداقل روزانه	سانتی‌گراد
TNx	بیشینه ماهانه دمای حداقل روزانه	سانتی‌گراد
TR20	تعداد شب‌های حاره‌ای (دمای حداقل روزانه بیشتر از ۲۰ درجه)	روز
TX10P	روزهای سرد، درصد روزهایی که دمای حداکثر کمتر از صدک ۱۰ باشد	روز
TX90P	روزهای گرم، درصد روزهایی که دمای حداکثر بیشتر از صدک ۹۰ باشد	روز
TXn	کمینه ماهانه دمای حداکثر روزانه	سانتی‌گراد
TXx	بیشینه ماهانه دمای حداکثر روزانه	سانتی‌گراد
WSDI	طول مدت گرما، تعداد روزهایی که حداقل شش روز متوالی دمای حداکثر بیشتر از صدک ۹۰ باشد	روز
IC	یخبندان (دمای کمینه کمتر از صفر و دو روز متوالی)	روز
CW	امواج سرمای (نمره استاندارد کمینه دما کمتر از ۱/۲- باشد)	روز

نتایج و بحث

مهم‌ترین شاخص‌های حدی دما برای ایستگاه‌های استان کرمانشاه در جدول ۳ نمایش داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، بیشینه هر یک از شاخص‌ها در جدول ۳ با رنگ خاکستری مشخص شده است. برای مثال، شاخص CSDI در ایستگاه قصر شیرین بیشترین مقدار را دارد. به طوری که میانگین رخداد شاخص حدی CSDI در این ایستگاه به ۷/۶۲ روز رسیده است. کمترین مقدار این شاخص با مقدار ۰/۵۸ روز در ایستگاه سنقر دیده می‌شود. بیشینه تعداد رخداد شاخص IC مربوط به ایستگاه اسلام‌آباد غرب است. بیشترین تعداد روزهای گرم (TX10P) در ایستگاه قصر شیرین رخ داده است. بیشترین طول مدت گرما (WSDI) نیز در ایستگاه کرمانشاه ثبت شده است. امواج سرمای (CW) در ایستگاه سنقر به بالاترین حد خود یعنی ۴۴/۵ روز رسیده است. در ادامه، به منظور جلوگیری از حجم کار، شاخص‌هایی بررسی شدند که بیشترین ضریب همبستگی را با سایر شاخص‌ها داشته‌اند. جدول ۴ ضریب همبستگی به‌دست‌آمده برای شاخص‌های مورد بررسی را نشان می‌دهد. همان‌طور که دیده می‌شود، شاخص‌های CW و IC بالاترین ضریب همبستگی را در میان شاخص‌ها دارند. به همین دلیل، توزیع مکانی دو شاخص یادشده مفصل بررسی شده است.

جدول ۳. شاخص‌های حدی دمای توصیه‌شده توسط کارگروه کارشناسی CCL/CLIVAR

شاخص حدی دما	اسلام‌آباد	قصر شیرین	گیلان غرب	جوانرود	کنگاور	یکا
CSDI	۴,۰۶	۷,۶۲	۲,۶۹	۱,۱	۴,۵۵	روز
DTR	۱۷,۲۴	۱۴,۰۰	۱۲,۶۹	۱۲,۸	۱۷,۱۰	سانتی‌گراد
FD	۹۹,۹۷	۳,۹۲	۹,۱۵	۴۳,۴	۹۷,۳۲	روز
GSL	۲۹۳,۴۳	۳۶۲,۵۴	۳۶۰,۹۲	۳۳۳,۵	۲۸۷,۲۰	روز
ID	۲,۲۳	*	-۰,۸	۲,۵	۷,۵۳	روز
SU25	۱۶۲,۸۰	۲۲۱,۶۲	۱۹۸,۹۲	۱۶۷,۳	۱۵۷,۲۷	روز
TN10P	۱۰,۲۲	۱۳,۵۰	۱۱,۷۰	۱۱,۷	۹,۹۸	روز
TN90P	۱۰,۲۸	۱۰,۹۱	۱۱,۲۱	۱۱,۲	۱۰,۲۹	روز
TNn	-۱۶,۴۰	-۱,۸۲	-۵,۳۱	-۹,۹	-۱۷,۷۸	سانتی‌گراد
TNx	۲۱,۵۴	۳۲,۶۹	۳۱,۰۲	۲۷,۰	۲۲,۲۴	سانتی‌گراد
TR20	۵,۳۹	۱۳۴,۹۲	۱۱۳,۳۸	۶۳,۱	۶,۱۶	روز
TX10P	۱۰,۵۱	۱۲,۳۳	۱۱,۷۷	۱۱,۷	۱۰,۸۰	روز
TX90P	۸,۶۵	۱۱,۵۱	۱۱,۵۷	۱۰,۹	۸,۶۰	روز
TXn	-۱,۲۵	۶,۱۰	۳,۵۰	-۱,۱	-۳,۸۳	سانتی‌گراد
TXx	۴۰,۳۹	۴۷,۸۸	۴۵,۲۲	۴۱,۲	۳۹,۹۹	سانتی‌گراد
WSDI	۴,۶۳	۵,۳۱	۵,۷۷	۵,۳	۵,۷۰	روز
IC	۹۸,۱۶	۵,۱۰	۸,۵۷	۴۱,۱۵	۹۵,۶۹	روز
CW	۲۵,۴۱	۴,۳۰	۱,۶۰	۷,۶۲	۳۰,۶۹	روز

ادامه جدول ۳. شاخص‌های حدی دمای توصیه‌شده توسط کارگروه کارشناسی CCL/CLIVAR

شاخص	کرمانشاه	روانسر	سنقر	سرآورد	سرپل ذهاب	یکا
CSDI	۴/۸۶	۳/۰۰	۰/۵۸	۵/۲۲	۵/۱۰	روز
DTR	۱۶/۶۵	۱۳/۴۲	۱۶/۰۳	۷/۰۰	۱۶/۰۶	سانتی‌گراد
FD	۸۰/۷۴	۶۳/۶۲	۸۳/۵۰	۳۰/۴۱	۱۴/۴۳	روز
GSL	۳۰۷/۶۳	۳۰۷/۰۰	۲۹۴/۵۰	۵/۱۲	۳۶۰/۱۷	روز
ID	۳/۴۵	۵/۲۵	۴/۱۷	۴۲/۴۲	۰/۰۰	روز
SU25	۱۶۴/۱۴	۱۵۹/۵۰	۱۶۱/۷۵	*	۲۰۷/۳۷	روز
TN10P	۹/۲۶	۱۰/۳۵	۱۱/۰۶	*	۱۱/۰۲	روز
TN90P	۹/۸۰	۱۰/۲۱	۱۱/۰۳	*	۷/۷۶	روز
TNn	-۱۳/۴۲	-۱۲/۸۳	-۱۴/۵۴	-۱۳/۱۸	-۳/۸۳	سانتی‌گراد
TNx	۲۴/۲۸	۲۹/۲۵	۲۴/۸۸	۲۷/۸۷	۳۰/۵۹	سانتی‌گراد
TR20	۹/۷۷	۴۱/۷۲	۱۴/۸۳	۲۰/۲۲	۶۹/۶۷	روز
TX10P	۹/۵۴	۱۰/۹۷	۱۱/۶۵	*	۱۰/۹۴	روز
TX90P	۹/۱۴	۸/۴۵	۱۰/۸۷	*	۸/۴۹	روز
TXn	-۱/۲۱	-۲/۶۳	-۲/۴۸	-۱/۷۴	۶/۱۲	سانتی‌گراد
TXx	۴۱/۹۵	۴۰/۳۰	۴۰/۶۰	۴۱/۵۰	۴۶/۵۱	سانتی‌گراد
WSDI	۷/۷۳	۵/۲۹	۷/۳۳	*	۳/۷۷	روز
IC	۷۸/۹۸	۶۱/۰۶	۹۷/۰۰	۷۱/۹۰	۱۴/۲۷	روز
CW	۳۸/۳۲	۱۲/۸۷	۴۴/۵۰	۱۹/۶۷	۲/۶۷	روز

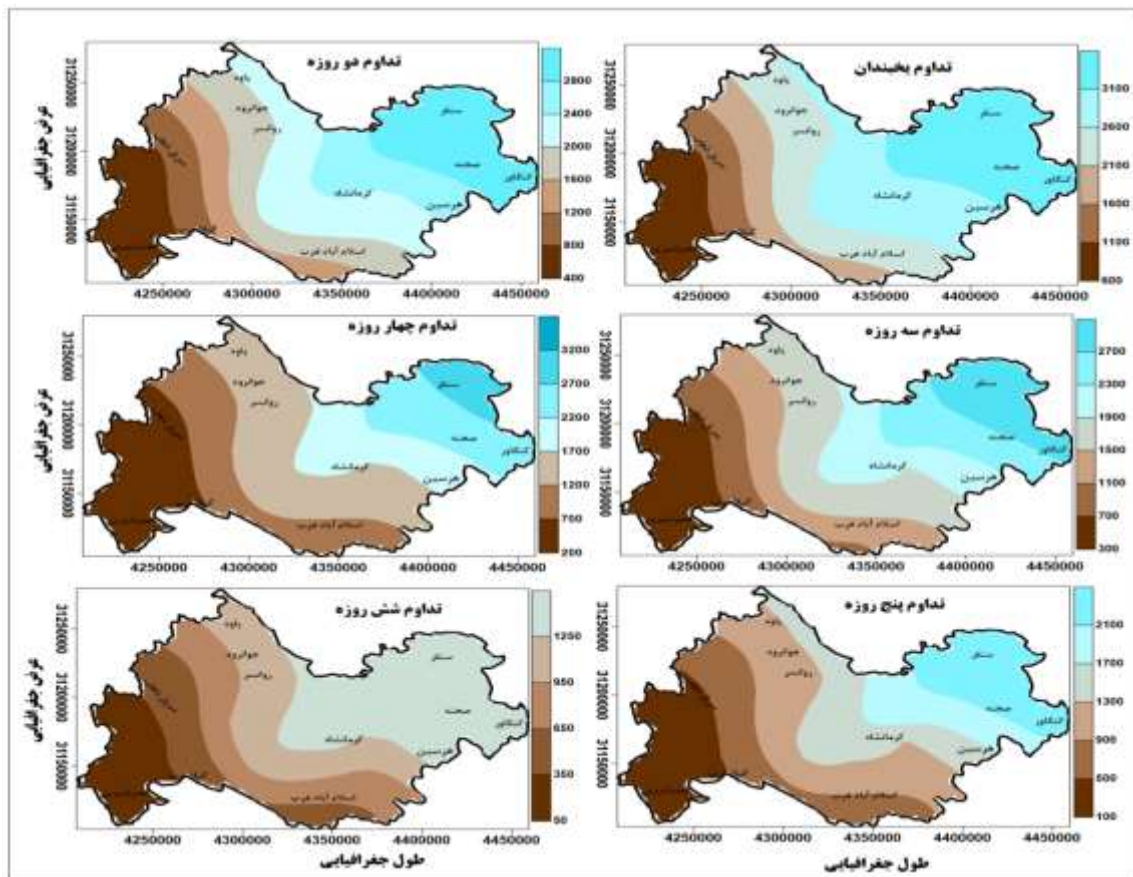
جدول ۴. ضریب همبستگی شاخص‌های حدی دما با دیگر شاخص‌ها

IC	CW	TXx	GSL	ID	DTR	TNx	TR20	TN10P	TN90P
-۰/۸۷	-۰/۷۶	-۰/۶۵	-۰/۶۲	-۰/۴۳	-۰/۳۲	-۰/۴۱	-۰/۳۱	-۰/۴۷	-۰/۳۶
TNn	FD	TX90P	TX10P	Tmaxmean	Tminmean	SU25	WSDI	CSDI	TXn
-۰/۳۷	-۰/۴۵	-۰/۵۴	-۰/۲۸	-۰/۲۹	-۰/۴۸۱	-۰/۶۱	-۰/۵۸	-۰/۶۴	-۰/۵۲

توزیع مکانی یخبندان‌های استان کرمانشاه

شکل ۲ توزیع مکانی تداوم‌های مختلف یخبندان‌های کرمانشاه را نشان می‌دهد. همان‌طور که از نتایج مشخص است، بخش‌های شرقی کرمانشاه بیشترین فراوانی یخبندان‌های یک‌روزه (۲۶۰۰-۳۱۰۰) روز را نشان می‌دهد. سردی هوا در این ناحیه از یک سو متأثر از ارتفاع زیاد و از سوی دیگر متأثر از عرض بالای جغرافیایی همراه با خشکی جو است. بخش‌های غربی استان کمترین فراوانی یخبندان‌های یک‌روزه (۶۰۰-۲۱۰۰) روز را داشته است. این نواحی به دلیل کاهش ارتفاع دارای آب و هوای گرم‌اند. بنابراین، اهمیت نقش ارتفاعات در فراوانی روزهای یخبندان به‌خوبی مشخص می‌شود.

فراوانی روزهای یخبندان با تداوم‌های دوروزه در بخش‌های شرقی و شمال شرقی استان بیشتر بوده است. بخش‌های مرکزی و غربی محدوده کمترین فراوانی یخبندان با تداوم دوروزه را نشان می‌دهد. نسبت به فراوانی یخبندان با تداوم‌های یک‌روزه، گستره و فراوانی آن کاهش پیدا کرده است.

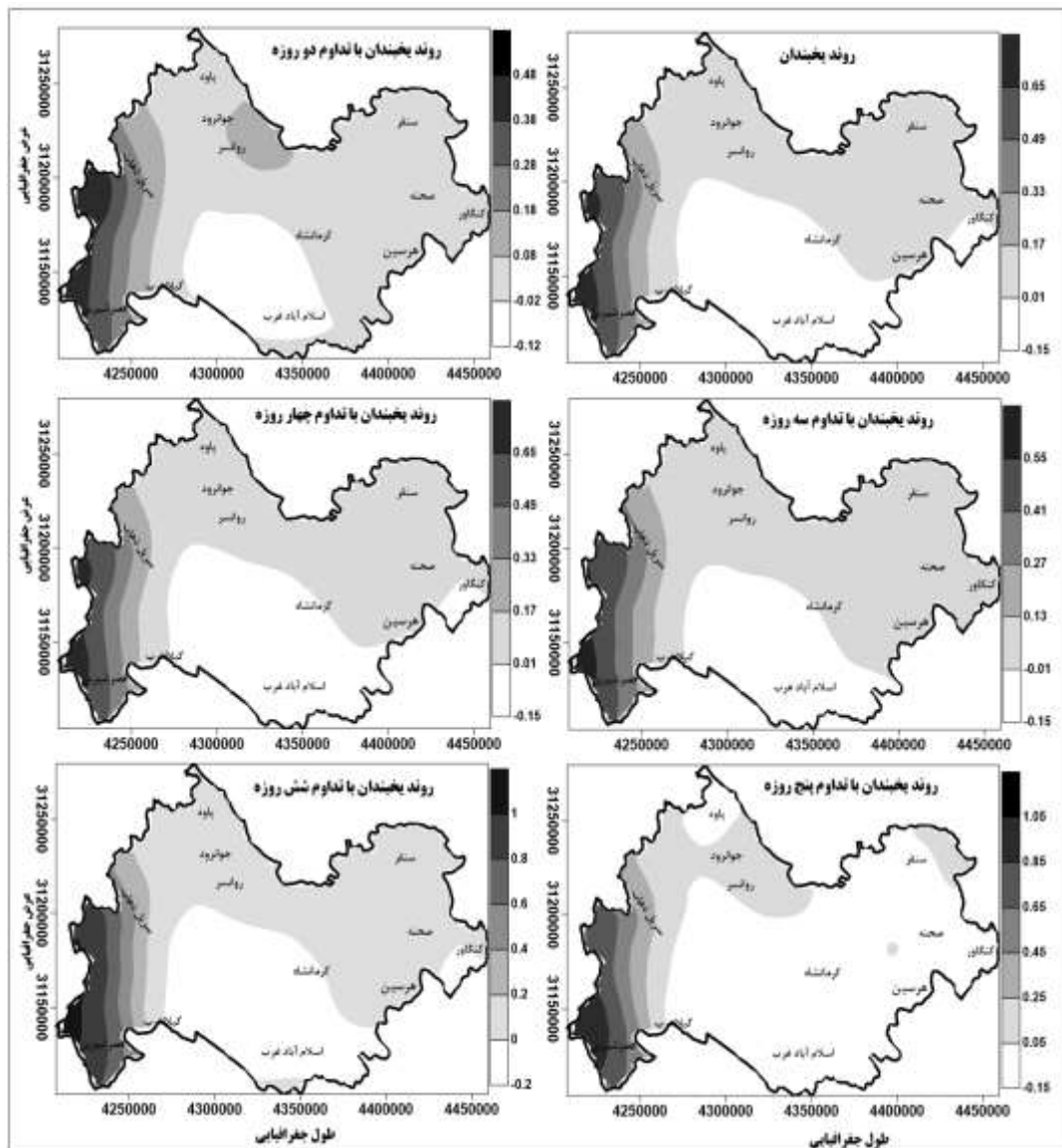


شکل ۲. توزیع مکانی تداوم یخبندان‌های کرمانشاه

بر اساس شکل ۲، فراوانی روزهای یخبندان با تداوم‌های سه‌روزه در ایستگاه‌های سنقر، صحنه، و کنگاور مشاهده می‌شود که بین ۲۳۰۰ تا ۲۷۰۰ روز است. کمترین فراوانی روزهای با تداوم‌های سه‌روزه بین ۳۰۰ - ۱۹۰۰ روز است که بخش‌های مرکزی و شرقی محدوده مورد مطالعه را دربر می‌گیرد. تعداد این روزها از شرق به غرب استان به دلیل کاهش ارتفاع کمتر شده است. بیشترین فراوانی روزهای یخبندان با تداوم‌های چهارروزه در بخش شمال شرقی استان قرار دارد و

ایستگاه‌های سنقر، صحنه، و کنگاور را شامل می‌شود. بخش‌های مرکزی، جنوبی، و غربی استان کمترین شمار روزهای یخبندان با تداوم‌های چهارروزه را شامل می‌شوند. فراوانی این روزها نسبت به تداوم‌های سه‌روزه بیشتر است، ولی گستره کمتری از محدوده مطالعاتی را دربر می‌گیرد. بیشینه روزهای یخبندان با تداوم‌های پنج‌روزه بیش از ۲۱۰۰ روز است. کمینه شمار روزهای یخبندان با تداوم‌های پنج‌روزه بین ۱۰۰ تا ۱۳۰۰ روز است. شمار روزهای یخبندان با تداوم‌های شش‌روزه نسبت به تداوم‌های قبلی کمتر است و گستره کوچک‌تری را در بر می‌گیرد. بیشینه این روزها بیش از ۱۲۵۰ روز است. به‌نظر می‌رسد عامل ارتفاع در افزایش یا کاهش یخبندان‌های استان نقش مهم‌تری ایفا می‌کند. بنابراین، به‌طور کلی، همان‌طور که انتظار می‌رفت، با افزایش ارتفاع بر تعداد روزهای یخبندان افزوده شده است. با توجه به ارتباط قوی بین تعداد روزهای یخبندان و دما و ارتباط قوی دما با ارتفاع، الگوی مکانی تعداد روزهای یخبندان در استان کرمانشاه منطبق بر ارتفاعات است.

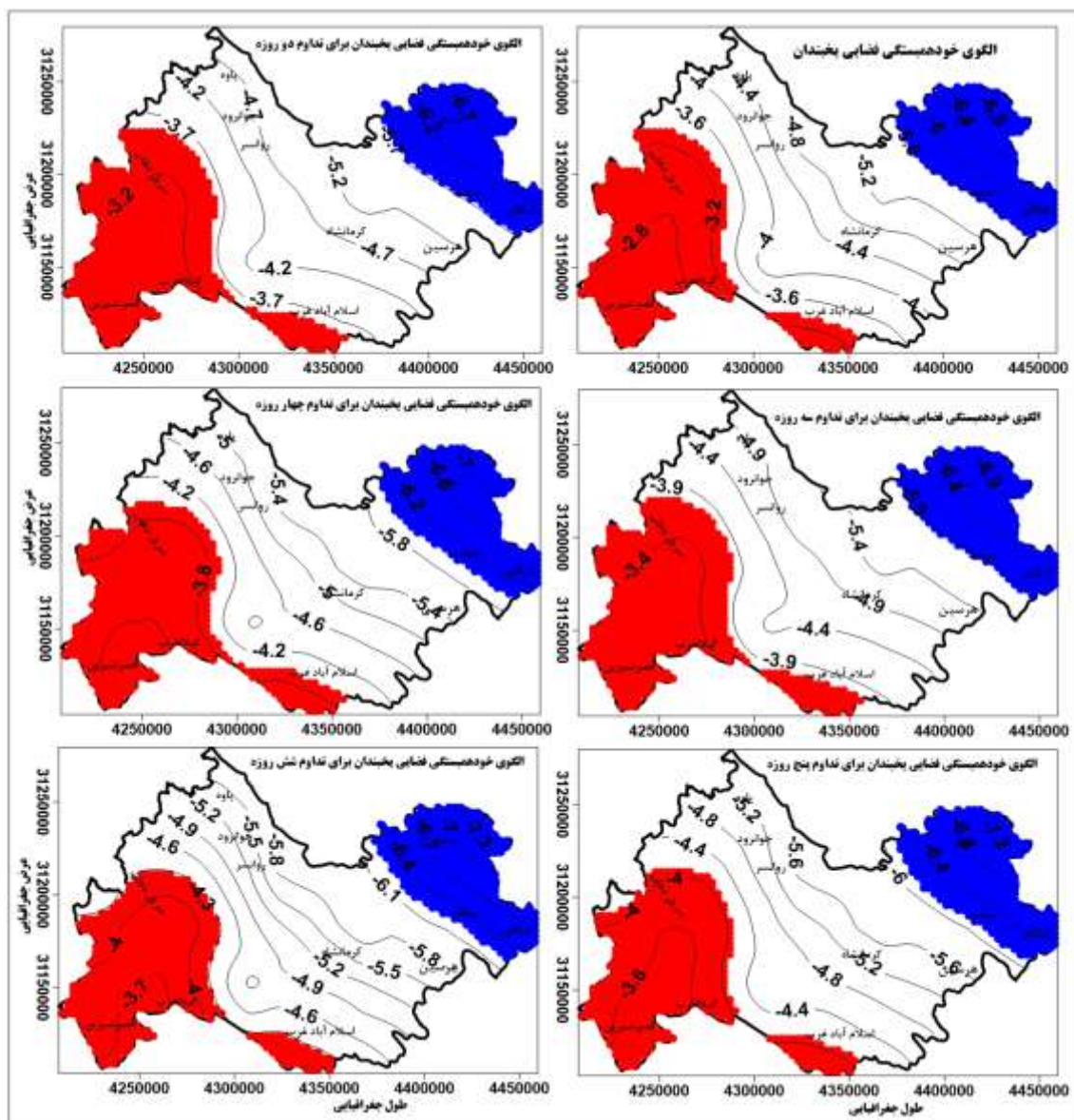
به‌منظور بررسی و تحلیل دقیق‌تر یخبندان‌ها، توزیع مکانی روند یخبندان‌ها طی دوره آماری محاسبه شد. شکل ۳ روند یخبندان‌ها را بر اساس روش من-کندال نشان می‌دهد. نواحی با تغییرات مثبت گویای افزایش روزهای یخبندان طی دوره آماری و نواحی با تغییرات منفی گویای کاهش روزهای یخبندان است. روند کاهشی بخش‌های جنوبی استان را شامل می‌شود. بیشترین روند افزایشی در بخش‌های غربی و جنوب غربی بین ۰/۴ تا ۰/۶ دیده می‌شود. بررسی‌ها نشان می‌دهد روند افزایشی یخبندان با تداوم‌های دوروزه در بیشتر مناطق استان مشاهده می‌شود. بخش‌هایی از جنوب استان روند کاهشی روزهای یخبندان با تداوم‌های دوروزه را نشان می‌دهد. نتایج تحلیل روند در طول دوره آماری نشان داد که بخش کوچکی از غرب و جنوب غرب استان بیشترین روند افزایشی یخبندان با تداوم‌های سه‌روزه را نشان می‌دهد. در یخبندان‌هایی با تداوم چهار و نه نیز جنوب استان روند کاهشی دارد و بیشترین روند افزایشی در غرب استان قابل مشاهده است. در یخبندان‌هایی با تداوم پنج‌روزه در سطح وسیعی از استان در قسمت‌های جنوبی و شرقی روند کاهشی حاکم است. بنابراین، فقط در بخش‌های غرب و شمال غرب استان روند افزایشی یخبندان مشاهده می‌شود. روند تغییرات یخبندان با تداوم‌های شش‌روزه بیانگر روند منفی و کاهشی یخبندان در بخش‌های جنوبی و مرکزی استان است. روند مثبت در بخش جنوب غربی استان مشاهده می‌شود. در بخش‌های شمالی و شرقی استان هیچ‌گونه روندی در یخبندان‌هایی با تداوم شش‌روزه مشاهده نمی‌شود.



شکل ۳. توزیع مکانی روند یخبندان کرمانشاه برای تداوم‌های مختلف

همان طور که پیش‌تر ذکر شد، به‌منظور بررسی تحلیل فضایی یخبندان‌های استان کرمانشاه طی دوره مورد بررسی از تحلیل فضایی لکه‌های داغ بهره گرفته شده است. همان طور که در شکل ۴ مشخص است، خودهمبستگی فضایی مثبت یخبندان‌ها برای تداوم‌های مختلف مربوط به شرق و شمال شرق است. خودهمبستگی فضایی منفی یخبندان برای تداوم‌های مختلف بیشتر در جنوب و جنوب غرب محدوده مورد مطالعه قرار دارد. بیشینه یخبندان‌ها در قسمت کوهستانی و مناطقی با ارتفاع زیاد قرار دارد. کمترین میانگین دما نیز مربوط به بخش‌های شرقی و شمال شرقی استان است. همان طور که در شکل ۲ نیز مشخص است، بیشترین فراوانی یخبندان‌ها با تداوم‌های مختلف مربوط به این نواحی است. میانگین کمینه دما در یخبندان‌های مختلف، به‌جز تداوم پنج و شش روزه، اختلاف معنی‌داری با هم ندارند. توزیع فضایی میانگین کمینه دما نشان‌دهنده افزایش آن از شمال شرق به جنوب غرب استان است. بنابراین، روند عمومی کاهش دمای کمینه از جنوب غرب به شمال شرق است. یافته‌های پژوهش نشان داد که بیشینه یخبندان با تداوم‌های مختلف منطبق

با نواحی مرتفع استان است و بیانگر این موضوع است که یخبندان‌های استان بیشتر از شرایط و عوامل محلی به‌ویژه ناهمواری‌های منطقه تأثیر می‌پذیرد که این نتایج با نتایج پژوهش فرج‌زاده و حسینی (۱۳۸۹) و میرموسوی و حسین بابایی (۱۳۹۰) همخوانی دارد.



شکل ۴. توزیع مکانی میانگین و الگوی خودهمبستگی فضایی یخبندان استان کرمانشاه برای تداوم‌های مختلف

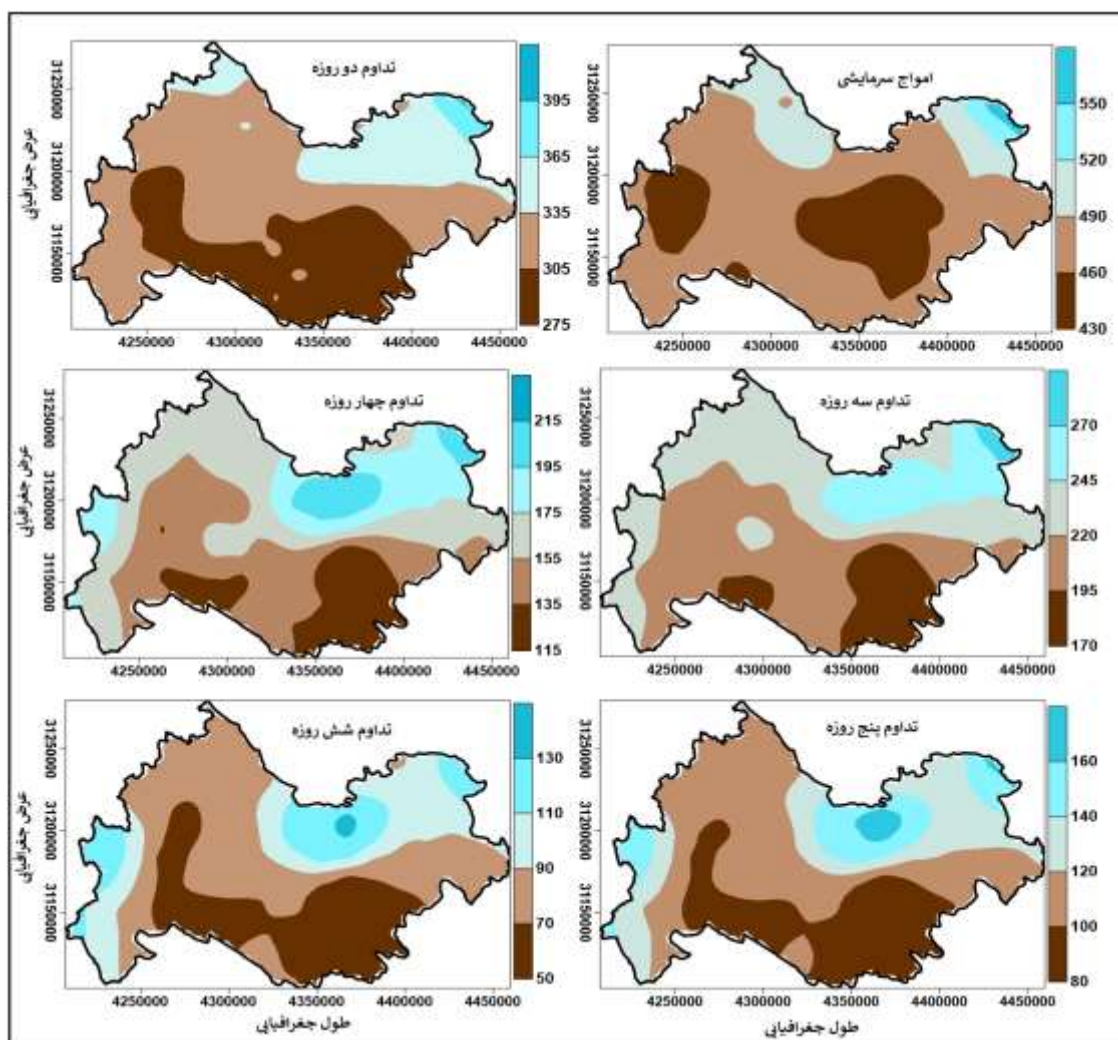
امواج سرمایی

همان‌طور که در جدول ۲ نیز آمده است، امواج سرمایی روزهایی را شامل می‌شود که نمره استاندارد کمینه دما کمتر از $-1/2$ باشد. شکل ۵ توزیع مکانی امواج سرمایی برای تداوم‌های مختلف را نشان می‌دهد. فراوانی نسبی امواج سرمایی با تداوم یک‌روزه بین ۴۳۰ تا ۵۵۰ روز است. بیشینه این فراوانی‌ها (۵۲۰-۵۵۰ روز) در شمال شرق استان و کمینه آن

(۴۳۰-۴۶۰ روز) در بخش‌های مرکزی، غربی، و جنوبی قرار دارد. میانگین شمار امواج سرمای با تداوم دوازده روزه بین ۲۷۵ تا ۳۹۵ روز است که بیشینه این امواج در بخش شمال شرقی محدوده مورد مطالعه قرار دارد. در بخش‌های مرکزی، غربی، و به‌ویژه بخش جنوبی استان کمترین فراوانی امواج سرمای با تداوم دوازده روزه مشاهده شده است. فراوانی امواج سرمای با تداوم دوازده روزه نسبت به امواج سرمای با تداوم یک‌روزه کاهش یافته، ولی مناطق گسترده‌تری از شمال شرق استان را نسبت به تداوم یک‌روزه دربر گرفته است. بخش‌های مرکزی و جنوبی استان دارای کمینه امواج سرمای با تداوم سه‌روزه‌اند. میانگین شمار فراوانی این مناطق ۱۷۰ تا ۱۹۵ روز است. بخش‌های شمالی و به‌ویژه شمال شرق منطقه بیشینه امواج سرمای دارد. نتایج بررسی‌ها نشان داد که فراوانی امواج سرمای با تداوم چهارروزه بین ۱۱۵ تا ۲۱۵ روز است. بیشترین فراوانی امواج سرمای (۱۷۵-۲۱۵ روز) در بخش شمالی، شمال شرقی، و بخش کوچکی از غرب استان قرار دارد. بخش‌های مرکزی، جنوبی، و شمال غربی دارای کمینه فراوانی امواج سرمای (۱۱۵-۱۵۵ روز) می‌باشند. بیشترین فراوانی امواج سرمای با تداوم پنج‌روزه (۱۴۰-۱۶۰ روز) در بخش‌های کوچکی از شمال، شمال شرق، و غرب استان قرار دارد. کمینه این امواج (۸۰-۱۲۰ روز) بخش‌های جنوبی و مرکزی استان را شامل می‌شود.

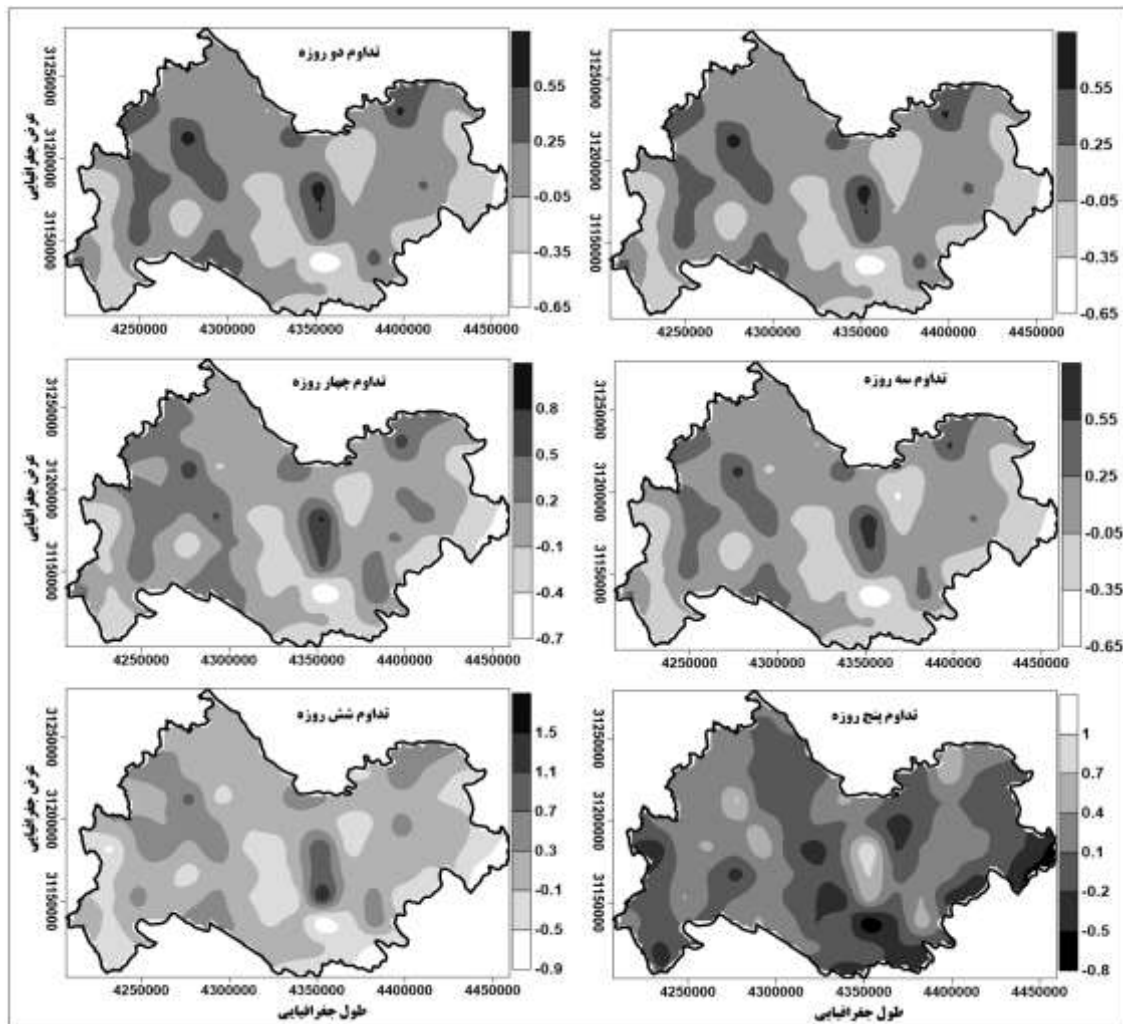
گستره بیشینه فراوانی امواج سرمای با تداوم‌های شش‌روزه نیز مانند امواج سرمای با تداوم پنج‌روزه است. با این تفاوت که فراوانی آن کاهش یافته و ۵۰ تا ۱۳۰ روز را شامل می‌شود. به‌منظور تحلیل دقیق‌تر، روند امواج سرمای با تداوم‌های مختلف محاسبه شد که نتایج آن در شکل ۶ نمایش داده شده است. نواحی با تغییرات مثبت گویای افزایش امواج سرمای و نواحی با تغییرات منفی گویای کاهش امواج سرمای طی دوره آماری است. این نتایج بیانگر این است که در تداوم یک‌روزه، بیشترین روند منفی در بخش‌های شمال شرقی، جنوبی، و بخش‌های مرکزی محدوده مشاهده می‌شود. بخش‌های غربی استان و همچنین بخش‌هایی از مرکز و شرق محدوده مورد مطالعه روند افزایشی امواج سرمای را نشان می‌دهند. نتایج تحلیل روند در امواج سرمای با تداوم دوازده روزه نشان می‌دهد که بخش‌های گسترده‌ای از محدوده دارای روند مثبت است. بخش‌های جنوبی و بخش کوچکی از شمال شرق استان روند منفی و کاهشی امواج سرمای با تداوم دوازده روزه را نشان می‌دهد. در امواج سرمای با تداوم دوازده روزه بخش‌های گسترده‌تری از محدوده روند افزایشی و مثبت را نشان می‌دهند. این در حالی است که در امواج سرمای با تداوم یک‌روزه بخش‌های بیشتری از استان روند منفی و کاهشی را نشان می‌داد. توزیع فضایی امواج سرمای با تداوم سه‌روزه مانند تداوم قبلی بیانگر روند کاهشی در جنوب و بخش کوچکی از شمال شرق است. در سایر بخش‌های استان روند مثبت و افزایشی دیده می‌شود. توزیع فضایی روند امواج سرمای با تداوم‌های چهارروزه بر اساس روش من-کندال در شکل ۶ ترسیم شده است. بر اساس تحلیل‌های صورت‌گرفته همانند تداوم‌های قبلی بخش جنوبی، مرکزی، و شمال شرقی محدوده مورد مطالعه دارای روند کاهشی و سایر بخش‌های استان و به‌ویژه بخش غربی روند افزایشی امواج سرمای را نشان می‌دهد. بر اساس تحلیل‌های صورت‌گرفته، در امواج سرمای با تداوم پنج‌روزه نسبت به تداوم قبلی بخش‌های بیشتری از محدوده روند منفی را نشان می‌دهند. در این تداوم، علاوه بر بخش‌های جنوبی و مرکزی، بخش‌هایی از شمال استان نیز روند کاهشی را نشان می‌دهد. بخش‌های غربی محدوده مورد مطالعه همچنان روند مثبت را نشان می‌دهند. در این تداوم نیز مانند تداوم‌های قبلی بخش‌های غربی استان روند مثبت و افزایشی در امواج سرمای را نشان می‌دهند. روند تغییرات امواج سرمای با تداوم شش روزه نشانگر روند منفی در بخش‌های شرقی، جنوبی، مرکزی، و بخش کوچکی از شمال استان است. در این تداوم، نسبت به تداوم‌های قبلی بخش‌های بیشتری از استان روند کاهشی امواج سرمای را نشان می‌دهد. بخش شمال شرقی محدوده، که در تداوم‌های قبلی روند منفی را نشان می‌داد، کمی به سمت شرق جابه‌جا شده است و در بخش‌های

شرقی روند کاهشی دیده می‌شود. بخش‌های جنوب غربی استان نیز در تداوم‌های قبلی بیانگر روند مثبت و افزایشی امواج سرما بود، اما در این تداوم بخش جنوب غربی استان روند منفی و کاهشی امواج سرمایگی را نشان می‌دهد. بخش‌های شمال غربی و غرب استان بیانگر روند افزایشی امواج سرمایگی در این تداوم است. استان کرمانشاه از نظر زمین‌ریخت‌شناسی از دو بخش تشکیل شده است: بخش اول منطقه‌ای کوهستانی و مرتفع با بلندی‌های تاقدیسی و دشت‌های ناودیسی که عمده سطح استان را شامل می‌شود؛ بخش دوم، که قصر شیرین، سرپل‌ذهاب، و سومار را شامل می‌شود، فضایی است که از کوه‌های فرسایش‌یافته و اراضی به نسبت مسطح واقع بین کوه‌ها تشکیل شده است. به طور کلی، می‌توان گفت در نواحی کوهستانی استان کرمانشاه امواج سرمایگی با تداوم‌های مختلف دارای روند منفی و کاهشی است. درواقع، در مناطق کوهستانی استان با کاهش امواج سرمایگی روبه‌رو هستیم ولی در نواحی پست و کم‌ارتفاع، که منطبق بر نواحی مرزی از ازگله تا قصر شیرین، سرپل‌ذهاب، گیلان‌غرب، و سومار است، بیشترین روند مثبت و افزایشی امواج سرمایگی در تداوم‌های مختلف مشاهده می‌شود.

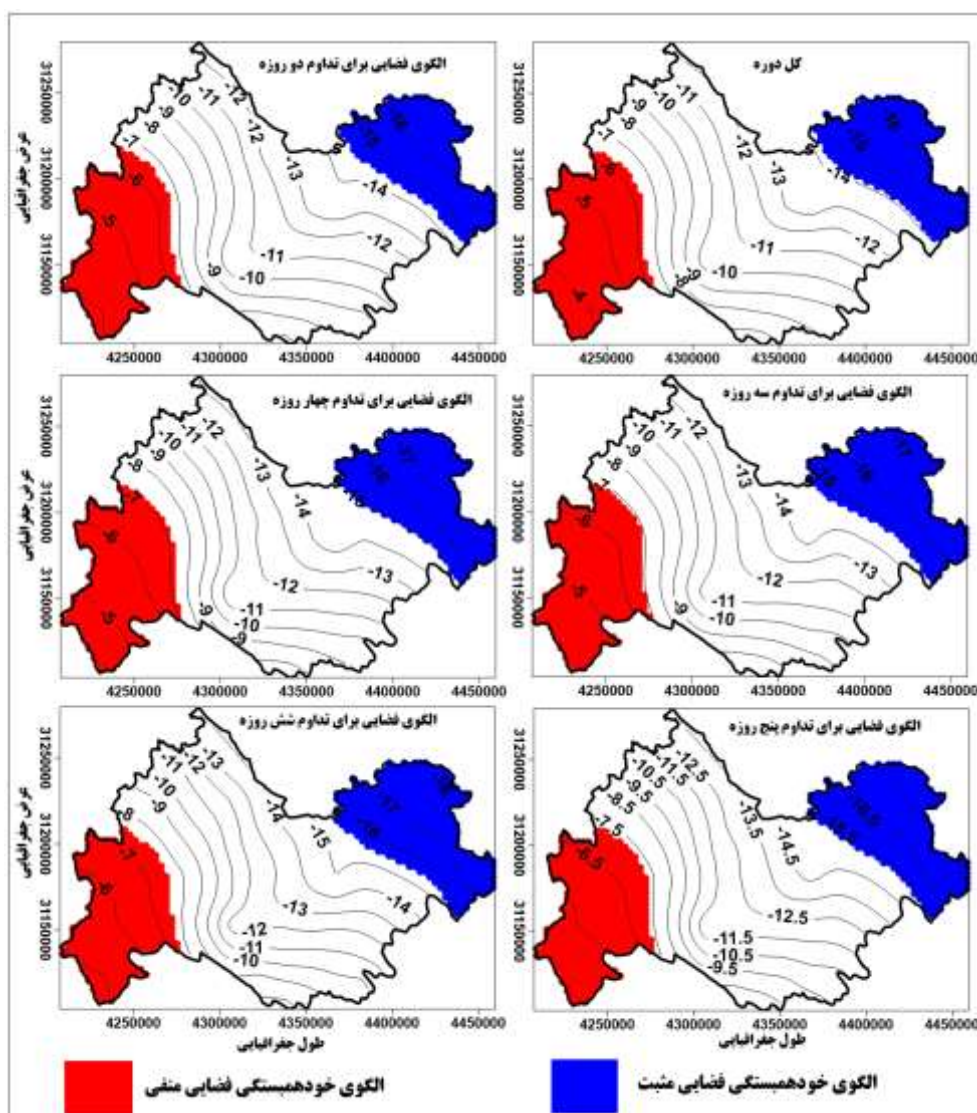


شکل ۵. توزیع مکانی تداوم امواج سرمایگی استان کرمانشاه

همان طور که در شکل ۷ مشخص است، الگوی خودهمبستگی فضایی مثبت امواج سرمای در تداوم‌های مختلف در شرق و شمال شرق محدوده مورد مطالعه قرار گرفته‌اند. در تداوم‌های سه‌روزه و بیشتر، مساحت بخش خودهمبستگی فضایی مثبت اندکی بیشتر شده است. تجمع ارتفاعات منطقه در شمال شرق آن نقش اساسی در ایجاد هسته‌های امواج سرمای داشته است. با سیطره و گسترش امواج سرمای در شمال شرق استان، دمای این منطقه کاهش قابل توجهی را نشان می‌دهد. میانگین دما در تداوم‌های یک و دو روزه بین -۱۵ تا -۱۶ درجه سانتی‌گراد است. با افزایش تداوم امواج سرمای، میانگین دما نیز کاهش یافته و در تداوم‌های سه‌روزه و بالاتر میانگین دما به -۱۷ درجه سانتی‌گراد و حتی در تداوم شش‌روزه به -۱۸ درجه سانتی‌گراد نیز رسیده است. همان طور که مشاهده می‌شود، بیشینه امواج سرمای در همه تداوم‌ها منطبق بر پیکربندی ناهمواری‌ها و شرایط توپوگرافی منطقه است. نواحی دارای خودهمبستگی منفی بر اساس تحلیل‌های خودهمبستگی فضایی در همه تداوم‌ها مربوط به قسمت جنوب غربی منطقه مورد مطالعه است. این قسمت از استان نواحی کم‌ارتفاع را شامل می‌شود.



شکل ۶. توزیع مکانی روند امواج سرمای استان کرمانشاه برای تداوم‌های مختلف



شکل ۷. توزیع مکانی میانگین و الگوی خودهمبستگی فضایی امواج سرمای استان کرمانشاه برای تداوم‌های مختلف

نتیجه‌گیری

امواج سرما و یخبندان‌ها یکی از مهم‌ترین پدیده‌های مورد مطالعه در اقلیم‌شناسی است. یکی از راه‌های مطالعه این نوع پدیده‌ها استفاده از نمایه‌های حدی دماست. در این مطالعه، به بررسی نمایه‌های حدی دما در استان کرمانشاه پرداخته شده است. برای این منظور از داده‌های روزانه دمای ۱۹ ایستگاه استفاده شد. با محاسبه ۱۸ شاخص حدی دما و محاسبه همبستگی میان شاخص‌ها، شاخص‌های یخبندان (IC) و امواج سرمای (CW) به‌عنوان شاخص‌های نماینده انتخاب و بررسی شدند.

نتایج بررسی‌ها نشان می‌دهد بخش‌های شرقی و شمال‌شرقی کرمانشاه از بیشترین تداوم‌های فراوانی یخبندان برخوردار بوده است. سردی هوا در این ناحیه از یک سو متأثر از ارتفاع زیاد و از سوی دیگر متأثر از عرض بالای جغرافیایی همراه با خشکی جو است. کمترین فراوانی یخبندان‌ها مربوط به بخش‌های غربی استان است. این نواحی، به

دلیل کاهش ارتفاع، دارای آب و هوای گرم‌تری می‌باشند. به‌نظر می‌رسد عامل ارتفاع در افزایش یا کاهش یخبندان‌های استان نقش مهمی ایفا می‌کند. یافته‌های پژوهش نشان داد که یخبندان‌های استان بیشتر از شرایط و عوامل محلی به‌ویژه ناهمواری‌های منطقه تأثیر می‌پذیرد. بر اساس نتایج تحلیل روند، به‌جز بخش‌های کوچکی از غرب و جنوب غرب استان، که روند مثبت و افزایشی داشته، بخش‌های مرکزی، شمالی، و شرقی محدوده روند منفی و کاهشی یخبندان را در تداوم‌های مختلف نشان می‌دهد. نتایج حاصل از تحلیل فضایی نشان داد که خودهمبستگی فضایی مثبت یخبندان‌ها با تداوم‌های مختلف بیشتر مربوط به شرق و شمال شرق است و مناطق جنوب و جنوب غرب استان خودهمبستگی فضایی منفی برای تداوم‌های مختلف را نشان می‌دهد. کمترین میانگین دما نیز مربوط به بخش‌های شرقی و شمال شرقی استان است. میانگین کمینه دما در یخبندان‌های مختلف به‌جز تداوم پنج و شش روزه اختلاف معنی‌داری با هم ندارند. توزیع فضایی میانگین کمینه دما نشان‌دهنده افزایش آن از شمال شرق به جنوب غرب استان است.

نتایج بررسی توزیع مکانی امواج سرمای نیز بیانگر این است که در تداوم‌های مختلف بیشینه فراوانی‌ها در شمال شرق استان، مناطق مرتفع و کوهستانی و کمینه آن در بخش‌های مرکزی، غربی، و جنوبی محدوده، که کوه‌های فرسایش‌یافته و مناطق پست استان قرار دارد، مشاهده می‌شود. واکاوی توزیع فضایی روند امواج سرمای نیز بیانگر این است که در نواحی کوهستانی استان امواج سرمای با تداوم‌های مختلف دارای روند منفی و کاهشی است. درواقع، در مناطق کوهستانی استان با کاهش امواج سرمای و در نواحی پست و کم‌ارتفاع با افزایش امواج سرمای روبه‌رو هستیم.

نتایج تحلیل خودهمبستگی فضایی امواج سرمای نیز نشان داد که هسته‌های امواج سرمای در تداوم‌های مختلف در شرق و شمال شرق محدوده مورد مطالعه قرار گرفته‌اند. تجمع ارتفاعات منطقه در شمال شرق آن نقش اساسی در ایجاد هسته‌های امواج سرمای داشته است. با سیطره و گسترش امواج سرمای در شمال شرق استان، دمای این منطقه کاهش محسوس را نشان می‌دهد. نواحی دارای خودهمبستگی منفی بر اساس تحلیل‌های خودهمبستگی فضایی در همه تداوم‌ها مربوط به قسمت جنوب غربی منطقه مورد مطالعه، یعنی نواحی پست و کم‌ارتفاع منطقه، است.

با توجه به نتایج حاصل از این پژوهش، پیشنهاد می‌شود در مناطق مستعد امواج سرمای استان فعالیت‌های حساس به امواج سرمای با تمهیدات بیشتری انجام گیرد تا حتی‌المقدور خسارت‌های ناشی از این پدیده به حداقل کاهش یابد.

منابع

- امام‌هادی، ب. و علیجانی، ب. (۱۳۸۳). توده‌های هوای مؤثر بر ایران در دوره سرد سال، *مجله تحقیقات جغرافیایی*، ش ۶۲۸، صص ۳۴-۵۳.
- جهان‌بخش، س.؛ رضایی، س.؛ قاسمی، ا. و تدینی، م. (۱۳۹۰). تحلیل سینوپتیکی یخبندان‌های بهاره تبریز (مطالعه موردی: سرمای بهار ۱۳۸۲ و ۱۳۸۳)، *تحقیقات جغرافیایی*، س ۲۶، ش ۳، صص ۱-۲۴.
- عزیزی، ق. (۱۳۸۳). ارزیابی سینوپتیکی یخبندان‌های بهاری در نیمه غرب ایران، *فصل‌نامه علوم جغرافیایی*، ش ۲، صص ۹۹-۱۱۵.
- علی‌آبادی، ک. و داداشی رودباری، ع. (۱۳۹۴). بررسی تغییرات الگوهای خودهمبستگی فضایی دمای بیشینه ایران، *فصل‌نامه مطالعات جغرافیایی مناطق خشک*، دوره ۶، ش ۲۱، صص ۸۶-۱۰۴.
- علیجانی، ب.؛ محمودی، پ.؛ ریگی چاهی، ا. و خسروی، پ. (۱۳۸۹). بررسی تداوم روزهای یخبندان در ایران با استفاده از مدل زنجیره مارکوف، *پژوهش‌های جغرافیای طبیعی*، ش ۷۳، صص ۱-۲۰.
- فرج‌زاده، م. و حسینی، س. (۱۳۸۹). تحلیل و پهنه‌بندی زمانی-مکانی یخبندان در ایران، *مجله جغرافیا و توسعه ناحیه‌ای*، ش ۱۵، صص ۶۵-۹۰.
- قوبدل رحیمی، ی. و خوشحال دستجردی، ج. (۱۳۸۹). جستاری پیرامون سختی اقلیم زمستانی تبریز و ارتباط آن با نوسانات شمالگان، *فصل‌نامه مدرس علوم انسانی*، ش ۱، صص ۱۷۹-۱۹۶.
- قوبدل رحیمی، ی.؛ فرج‌زاده اصل، م. و حاتمی‌کیا، م. (۱۳۹۵). نوسان شمالگان و نقش آن در تغییرپذیری دماهای کمینه منطقه شمال شرق ایران، *نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی*، ش ۴۲، صص ۴۱-۵۸.
- کریمی، م.؛ احدی، ن.؛ محمدمرادیان، م. و رفعتی، س. (۱۳۹۹). واکاوی رخداد و الگوهای هم‌دید موج‌های سرمای ایران، *پژوهش‌های جغرافیای طبیعی*، ش ۵۲، صص ۱۶۵-۱۷۷.
- کمالی، غ. (۱۳۸۱). سرماهای زیان‌بخش در بخش کشاورزی ایران در قالب معیارهای احتمالاتی، *فصل‌نامه تحقیقات جغرافیایی*، ش ۶۳-۶۴، صص ۳۰-۴۴.
- لشکری، ح. (۱۳۸۷). تحلیل سینوپتیکی موج سرمای فراگیر ۱۳۸۲ در ایران، *پژوهش‌های جغرافیای طبیعی*، ش ۶۶، صص ۱-۱۸.
- لشکری، ح.؛ پژوه، ف.؛ بیتار، م. و جعفری، ف. (۱۳۹۴). واکاوی هم‌دید موج‌های سرمای بهاره استان آذربایجان غربی در سال‌های ۱۳۸۲ و ۱۳۸۴، *نشریه تحلیل فضایی مخاطرات محیطی*، ش ۱، صص ۷۵-۹۱.
- محمودی، پ.؛ خسروی، م.؛ مسعودیان، ا. و علیجانی، ب. (۱۳۹۴). رابطه بین الگوهای پیوند از دور و یخبندان‌های فراگیر، *جغرافیا و توسعه*، ش ۴۰، صص ۱۷۵-۱۹۴.
- مدیری، م.؛ علی بخشی، ز.؛ خوش‌اخلاق، ف. و حنفی، ع. (۱۳۹۱). شناسایی سامانه‌های هم‌دید مؤثر در رخداد یخبندان‌های متوسط و شدید تهران، *فصل‌نامه سپهر*، ش ۸۴، صص ۷-۲۰.
- مسعودیان، ا. و دارند، م. (۱۳۹۲). ارتباط دو الگوی دریای شمال-خزر (Ncp) و شرق اروپا-شمال شرق ایران (Enei) با بسامد رخداد سرماهای فرین دوره سرد سال ایران، *فیزیک زمین و فضا*، دوره ۳۹، ش ۲، صص ۱۷۱-۱۸۶.

- میرموسوی، س. ح. و حسین بابایی، م. (۱۳۹۰). مطالعه توزیع زمانی- مکانی احتمال وقوع یخبندان در استان زنجان، *جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی*، ش ۴۳، صص ۱۶۷-۱۸۴.
- هژریور، ق. و علیجانی، ب. (۱۳۸۶). تحلیل همدید یخبندان‌های استان اردبیل، *جغرافیا و توسعه*، ش ۱۰، صص ۸۹-۱۰۶.
- Aliabadi, K. and Dadashi Rudbari, A. (1995). Investigation of changes in spatial autocorrelation patterns of Iran's maximum temperature. *Journal of Geographical Studies of Arid Areas*. No. 6(21): 10-87.
- Alijani, B.; Mahmoudi, P.; Rigi Chahi, A. and Khosravi, P. (2010). Investigation of the continuation of glacial days in Iran using the Markov chain model, *Natural Geography Research*. No. 73, PP. 1-20.
- Azizi, GH. (2004). Synoptic evaluation of pervasive glaciers in the western half of Iran. *Teacher of Humanities Quarterly*. No. 1. PP. 99-115.
- Azizi, GH. (2004). Synoptic evaluation of spring glaciers in the western half of Iran, *Quarterly Journal of Teacher of Geographical Sciences*, No. 2, PP. 99-115.
- Farajzadeh, M. and Hosseini, S. (2010). Analysis and temporal-spatial zonation of glaciation in Iran. *Journal of Geography and Regional Development*. No. 15, PP. 65-90.
- Ghavidel Rahimi, U and Khoshhal, D. (2010). A study on the harshness of Tabriz winter climate and its relationship with fluctuations in the north. *Quarterly Journal of Teacher of Humanities*. No. 1, PP. 179-196.
- Ghavidel, R.; Farajzadeh Asl, M. and Hatami Kia, M. (2016). Arctic oscillation and its role in the variability of minimum temperatures in the northeastern region of Iran. *Journal of Applied Research in Geographical Sciences*. No. 42, PP. 41-58.
- Hojbarpour, GH. and Alijani, B. (2007). Synoptic Analysis of Glaciers in Ardabil Province. *Geography and Development*. No. 10, PP. 89-106.
- Imam Hadi, B. and Alijani, B. (2004). Air masses affecting Iran in the cold period of the year. *Journal of Geographical Research*. No. 628, PP. 34-53.
- Jahanbakhsh, S.; Rezaei, S.; Ghasemi, A. and Tadayyoni, M. (2011). Synoptic Analysis of Tabriz Spring Frosts (Case Study: Spring Cold 2003 and 2004), *Geographical Research*. Vol. 26, No. 3, PP. 1-24.
- Kamali, Gh. (2002). Harmful colds in Iran's agricultural sector in the form of possible criteria. *Geographical Research Quarterly*. No. 63-64, PP. 30-44.
- Kim, J.A. and Byun, H.R. (2016). Spatiotemporal variability of the latest frosts in Korean Peninsula and causes of atmospheric circulation. *Meteorology and Atmospheric Physics*. 128(5): 663-675.
- Lashkari, H. (2008). Synoptic analysis of the pervasive cold wave of 2003 in Iran. *Natural Geography Research*. No. 66, PP. 18-1.
- Lashkari, H.; Pajooh, Farshad; Bitar, Mohammad and Jafari, Farzaneh (2015). Synoptic analysis of spring cold waves in West Azerbaijan province in 2003 and 2005. *Journal of Spatial Analysis of Environmental Hazards*. No. 1, PP. 75-91.
- Mahmoudi, P.; Khosravi, M.; Masoudian, A. and Alijani, B. (2015). The relationship between remote connection patterns and pervasive glaciers. *Geography and Development*. No. 40, PP. 175-194.
- Masoudian, A. and Darand, M. (2013). The Relationship between North-Caspian Sea (Ncp) and Eastern Europe-Northeast Iran (Enei) Patterns with the Frequency of Farin Cold Occurrence in the Cold Period of Iran. *Earth and Space Physics*. Vol. 39, No. 2, PP. 186-171.

- Mirmousavi, S.A. and Hossein Babaei, M. (2011). Study of temporal-spatial distribution of the probability of glaciation in Zanjan province. *Geography and Environmental Planning*. No. 43, PP. 167-184.
- Modiri, M.; Ali Bakhshi, Z.; Khosh Akhlagh F. and Hanafi, A. (2012). Identification of effective synoptic systems in the occurrence of moderate and severe glaciation in Tehran. *Sepehr Quarterly*. No. 84, PP. 2-7.
- Muller, G. V.; Nunez, M. N. and Seluchi, M. E. (2000). Relationship between ENSO cycles and frost events within the Pampa Humeda region. *International journal of climatology*. No. 20, PP. 1619-1637.
- Ord, J.K. and Getis, A. (1995). Local spatial autocorrelation statistics: distributional issues and an application. *Geogr. Anal.* 27(4): 287-306.
- Papineau, J. M. (2001). Wintertime temperature anomalies in Alaska correlated with ENSO and PDO. *International Journal of Climatology*. Vol. 21, No. 13, PP.1577-1592.