

تحلیلی آماری بر یخبندان‌های ایران زمین

دکتر حسین عساکره^۱، سهیلا رحیمی^۲، فاطمه ترکارانی^۳

چکیده

حالات دما، نوع تأثیر آن بر محیط را تعیین می‌کند. یکی از حالات بسیار مهم، قابل توجه و مؤثر دما، که به عنوان یک مخاطره جوی به شمار می‌آید، پدیده یخبندان است. یخبندان به لحاظ تأثیر بر فعالیت‌های اقتصادی و حیاتی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. به منظور تحلیل آماری یخبندان در ایران، داده‌های شبکه‌ای دمای کمینه روزانه ایران، از پایگاه داده اسفزاری ویرایش نخست بهره‌برداری شد. این داده‌ها دارای تفکیک زمانی روزانه از ۱۳۴۰/۰۱/۰۱ تا ۱۳۸۳/۱۰/۱۱ (۱۵۹۹۲ روز) است. تفکیک مکانی داده‌ها ۱۵×۱۵ کیلومتر (۷۱۸۷ یاخته) است. بدین ترتیب داده‌های شبکه‌ای دمای کمینه ایران آرایه‌ای به ابعاد ۱۵۹۹۲×۷۱۸۷ و با آرایش گاه جای چیده شد. کلیه تحلیل‌ها بر روی این آرایه انجام شده است. به منظور تحلیل یخبندان‌ها و بر اساس آستانه صفر درجه سلسیوس روزهای یخبندان و مشخصات توصیفی، آماری و ترسیمی آن‌ها از میان سطرها و ستون‌های آرایه تولید شده استخراج گردید. برای به کارگیری روش‌ها و دست‌یابی به اهداف این تحقیق از نرم افزارهای سورفر و متلب استفاده شد. تحلیل سری زمانی متوسط دما در روزها و یاخته‌هایی که در آن‌ها یخبندان رخ داده است، نشان داد که کل روزهایی که یخبندان در آن‌ها رخ داد ۹۲۲۴ روز از ۱۵۹۹۲ روز بوده است. رفتار نوسانی قوی و روند افزایشی ضعیف و نیز ظهور یک جهش رو به بالا از نیمه دوم دوره آماری از ویژگی‌های این سری زمانی است. الگوی نوسانی مشابه میانگین دمای یخبندان‌ها ولی فقدان روند معنی‌داری بر سری زمانی پهنه‌های زیر یخبندان حاکم است. کرانه‌های دریای عمان و بخش‌هایی از خلیج فارس در استان هرمزگان طی دوره آماری مورد بررسی فاقد یخبندان بوده‌اند. نواحی مرتفع دارای یخبندان‌هایی با دمای پایین و نواحی کم ارتفاع یخبندان‌های با دماهای بالاتر را تجربه می‌کرده‌اند؛ اما بررسی‌های آماری رابطه قوی‌تری برای عرض جغرافیایی نشان داده است. میانگین تعداد روزهای یخبندان در ایران بین صفر و ۱۴۵ روز قرار دارد. تعداد روزهای یخبندان در ایران با ارتفاعات رابطه قابل توجهی دارد. به منظور بررسی شدت یخبندان از نمایه چندک‌ها بهره گرفته شد. نتایج نشان داد که شدت یخبندان‌ها از دو متغیر مکانی (ارتفاع و عرض جغرافیایی) تبعیت بیش‌تری داشته‌اند.

کلید واژه‌ها: ایران، دمای کمینه، شدت یخبندان، نمایه صدک، یخبندان

مقدمه

حالات دما تعیین‌کننده نوع تأثیر آن بر محیط و بر سایر عناصر، فرایندها و پدیده‌های اقلیمی است. یکی از حالات بسیار مهم، قابل توجه و مؤثر دما، که بعضاً یک مخاطره اقلیمی به شمار می‌آید، پدیده یخبندان است. یخبندان حالتی از دماست که مقداری برابر یا زیر صفر باشد (مسعودیان و کاویانی، ۱۳۸۷: ۶۶). یخبندان به لحاظ تأثیر بر فعالیت‌های اقتصادی (شامل فعالیت‌های صنعتی، کشاورزی، خدمات) و نیز تأثیر بر فعالیت‌های حیاتی (انسان، حیوان و گیاهان) از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. از این رو جنبه‌های مختلف آن مورد اقبال و استقبال محققین پرشماری

۱-دانشیار اقلیم شناسی - دانشگاه زنجان

۲-کارشناسی ارشد اقلیم شناسی از دانشگاه زنجان

۳-کارشناس ارشد اقلیم شناسی از دانشگاه اصفهان

بوده است. یکی از این جنبه‌ها، تحلیل زمانی این پدیده است. به عنوان مثال بوتسما^۱ (۱۹۷۶) دمای کمینه و احتمال وقوع خطر یخبندان را در یک سرزمین ناهموار در کشور کانادا بررسی کردند. بارون^۲ و همکاران (۱۹۸۴) در بازسازی یخبندان‌های ۱۷۳۳ تا ۱۹۸۰ ماساچوست شرقی، کاهش آشکاری را در یخبندان‌ها طی سده اخیر مشاهده نمودند. لاگلین و کالما^۳ (۱۹۸۷) میانگین سرعت باد و میزان هدر رفت تابش طول موج بلند شبانه را دو متغیری می‌دانند که می‌تواند نزدیک به ۷۵ درصد تغییرات دمای کمینه هوا با ارتفاع را در یک ناحیه چراگاهی به وسعت ۱۷۰ کیلومتر مربع تبیین کند. بر اساس این مدل سرزمین‌های محدب شکل گرم‌تر و سرزمین‌های مقعر شکل سردتر پیش‌بینی می‌شوند. آن‌ها همچنین یک رابطه بین دو فراسنج وسعت حوضه و شیب برای تبیین ۲۵ درصد مقدار باقیمانده از مدل قبلی توسعه دادند و مشاهده کردند که این مدل جدید ۷۶ درصد تغییرات باقیمانده را که از مدل قبلی تبیین نشده بود، تبیین می‌کرد. بوئر^۴ و همکاران (۱۹۹۳) بعد از استخراج پنج ویژگی یخبندان؛ یعنی: میانگین اولین و آخرین روز یخبندان، میانگین تعداد روزهای یخبندان، نسبت یخبندان‌های تک روزه و نسبت‌های بدون یخبندان که طول دوره آن‌ها کم تر از ۵ روز است، ایالت نیوساوث ولز استرالیا را با استفاده از تحلیل خوشه‌ای به چهار ناحیه همگن تقسیم بندی نمودند. تمامی این پنج ویژگی در کل چهار ناحیه مورد مطالعه همبستگی بسیار بالایی با ارتفاع و همبستگی بسیار ضعیفی با عرض جغرافیایی و طول جغرافیایی داشتند. بنابراین ارتفاع به عنوان یک پیش‌بینی کننده سودمند برای این ویژگی‌ها در این ناحیه می‌تواند شناخته شود. استون^۵ و همکاران (۱۹۹۶) با تحلیل سری زمانی یخبندان‌های شمال شرق استرالیا و اثر نوسانات جنوبی بر روی آن‌ها نتیجه گرفتند که یک روند کاهشی در تعداد روزهای یخبندان قابل مشاهده است. لیندکویست^۶ و همکاران (۲۰۰۰) در ارزیابی یخبندان‌های مناطق کوهستانی جنوب سوئد با استفاده از داده‌های شبانه ۸۳ ایستگاه به این نتیجه دست یافتند که بیش از ۹۰ درصد یخبندان‌ها از نوع تابشی و در دره‌های باریک و پس از آن در نواحی مسطح بوده است. سپس مناطق دارای یخبندان را در شش خوشه با شدت‌های متفاوت قرار داده‌اند. دایوی^۷ و همکاران (۲۰۰۴) رابطه نوسان شمالی را با تغییرات دمای روزانه فصل زمستان (۱ نوامبر تا ۳۱ دسامبر) در چین بررسی کردند و به این نتیجه دست یافتند که تغییرات دما به میزان قابل توجهی کاهش یافته و در ۵۰ سال گذشته نوسان شمالی موجب کاهش روند تغییرات دمای روزانه شده است. بولدیروو^۸ و همکاران (۲۰۰۹) یخبندان‌های فصل سرد سال‌های ۲۰۰۷ و ۲۰۰۸ را در شمال دریای خزر مطالعه کردند. ایشان دریافتند که فراوانی زیاد گذر و اچرخندها در نوامبر ۲۰۰۷ و مارس ۲۰۰۸ موجب تکوین یخبندان‌ها می‌شده است.

در ایران نیز به ویژه طی سال‌های اخیر مطالعه یخبندان‌ها مورد توجه اندیشمندان ایرانی بوده است. به عنوان مثال حجاری زاده و ناصر زاده (۱۳۸۶) به منظور تجزیه و تحلیل یخبندان در استان لرستان از داده‌های حداقل روزانه ده سال آماری از ۱۹۸۹ تا ۱۹۹۸ استفاده کرده و با به کارگیری روش‌های آماری، یخبندان‌های زودرس پاییزه و دیررس بهاره با دوره‌های برگشت مختلف را تعیین و محاسبه نمودند. خورشید دوست و سلیمانپور (۱۳۸۷) در تحلیل نوسانات و آستانه‌های یخبندان‌های پاییزه و بهاره شهرستان اهر، نوسانات تاریخ‌های وقوع اولین یخبندان‌های پاییزه و آخرین یخبندان‌های بهاره را در چهار آستانه دمایی مورد مطالعه قرار داده و نوسانات شدید بهاره را به این چهار

1-Boostsma

2-Baron

3-Laughlin and Kalma

4-Boor

5-Stone

6-Lindkvist

7-Daoyi

8-Boldyrev

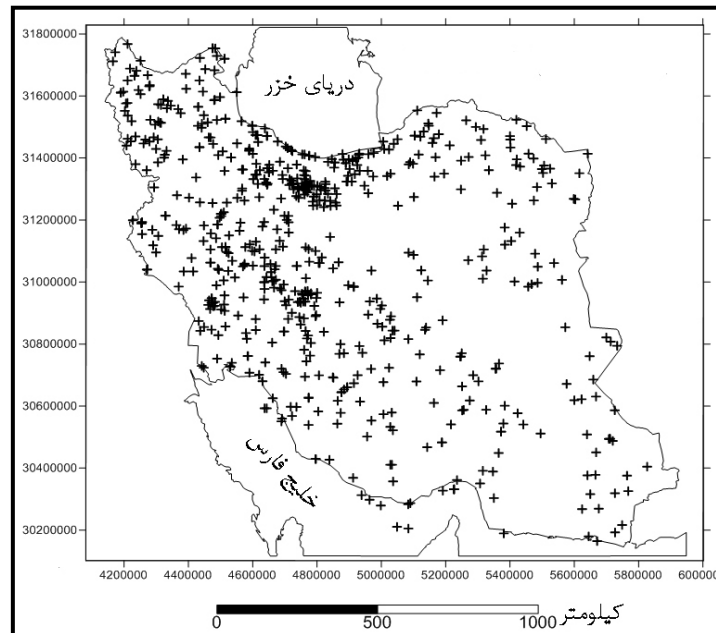
آستانه دمایی نسبت دادند. فتاحی و نوحی (۲۰۰۸) توده هواهای موثر بر یخبندان جنوب غرب ایران مورد بررسی قرار دادند. ایشان با استفاده از داده‌های دما، نقطه شبنم و فشار تراز دریا برای ۴۵ سال دوره آماری ۱۹۶۱ تا ۲۰۰۵ را بررسی و براین اساس توده‌های هوایی فصل بهار را شناسایی نمودند. بر اساس یافته‌های ایشان، توده‌های هوای فصل بهار شامل توده هوای خشک قطبی، مرطوب قطبی و مرطوب معتدل می‌باشد. توأم با توده هوای خشک قطبی، آسمانی صاف و دما بسیار پایین بوده شدیدترین و گسترده‌ترین یخبندان‌های فرارفتی را با خود به همراه داشته است. ربانی و کرمی (۱۳۸۸) با بررسی روند تعداد روزهای یخبندان در استان خراسان شمالی طی دوره آماری ۱۹۷۸-۲۰۰۵ با استفاده از روش باکس - جنکینس و نیز روش رگرسیونی به این نتیجه رسید که تعداد روزهای یخبندان طی سال‌های آتی همچنان با نوساناتی از روند نزولی برخوردار می‌باشد. رضایی و عابد (۱۳۸۹) در بررسی روند دمای حداقل در ایستگاه همدید شهر رشت با تاکید بر دوره یخبندان در یک بازه ۵۰ ساله با روش آماری به این نتیجه دست یافتند که طول دوره یخبندان در ایستگاه مورد مطالعه روند کاهشی داشته و از ۱۰۰ روز به ۸۰ روز رسیده و فراوانی روزهای یخبندان نیز کاهش یافته است. طاوسی و درخشی (۱۳۸۹) احتمال وقوع و دوره‌های برگشت یخبندان‌های زودرس و دیررس زاهدان را در دوره آماری ۱۳۶۰-۱۳۸۶ با استفاده از دمای حداقل روزانه مطالعه نمودند. ایشان به این نتیجه دست یافتند که یخبندان‌های زودرس و دیررس از هر دو سوی فصل زمستان، به سمت فصل زمستان درحال عقب‌نشینی است. بنابراین فصل یخبندان در زاهدان کوتاه‌تر شده است. عساکره (۱۳۸۹) احتمال تواتر و تداوم یخبندان‌های زودرس و دیررس شهر زنجان را با بهره‌گیری از آمار میانگین دمای حداقل روزانه ماه‌های مهر و فروردین و استفاده از تکنیک زنجیره مارکوف تجزیه و تحلیل نمود. ایشان احتمال وقوع یخبندان را در هر روز برای فروردین ۰/۳۵۱۹ و برای مهرماه ۰/۳۷۵ محاسبه نمود و احتمال تداوم‌های ۲ تا ۵ روزه و نیز احتمال وقوع یخبندان با شدت‌های مختلف برای روزهای فروردین و مهر محاسبه و ترسیم نمود. تداوم روزهای یخبندان در گستره ایران با استفاده از مدل زنجیره مارکوف توسط علیجانی و همکاران (۱۳۸۹) مطالعه شده است. آن‌ها در این مطالعه بعد از استخراج تداوم‌های ۲، ۳ و ۴ روزه یخبندان‌ها و تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی آن‌ها به این نتیجه رسیدند که وقوع روزهای یخبندان در ایران به جز نواحی شمالی و جنوبی کشور که عموماً فاقد یخبندان هستند از مدل زنجیره مارکوف تبعیت می‌کنند؛ یعنی: وقوع روز یا روزهای یخبندان به شرایط جوی روزهای گذشته وابسته است. این وابستگی برای دو ماه اکتبر و می که به ترتیب یخبندان‌های زودرس پاییزه و دیررس بهار مشهور هستند، از زنجیره مارکوف مرتبه اول دو حالت تبعیت می‌کنند. در حالی که برای دیگر ماه‌های نیمه سرد سال تداوم یخبندان‌ها از زنجیره مارکوف مرتبه دوم و سوم دو حالت پیروی می‌کنند. فرج زاده و حسینی (۱۳۸۹) با تحلیل و پهنه‌بندی زمانی- مکانی یخبندان در ایران، میانگین سالانه روزهای یخبندان را ۶۲ روز با میانگین دمای ۳- درجه سلسیوس محاسبه نمودند. ایشان در یک پهنه‌بندی، منطقه غرب، شمال غرب و البرز را توأم با یخبندان‌های بسیار شدید و شمال را با یخبندان کم مقدار پهنه‌بندی کردند. منتظری (۱۳۸۹) به منظور بررسی و تحلیل آماری پدیده یخبندان در شهرستان نجف آباد با استفاده از داده‌های دمای شبانه با اعمال رگرسیون خطی به روش آزمون بتا و روش ناپارامتری مان- کندال، به این نتایج دست یافت که تعداد روزهای یخبندان در نجف آباد کاهش نیافته، اما وقوع یخبندان‌های شدید رو به کاهش بوده و از سوی دیگر فراوانی وقوع دماهای صفر درجه به شدت رو به افزایش بوده است.

در تحقیق حاضر تلاش می‌شود، برخی مشخصات توصیفی یخبندان‌های ایران زمین در بستر زمان و مکان ارائه و تحلیل گردد. بنابراین روش تحقیق تحلیل توصیفی و بر اساس تکنیک‌های آماری خواهد بود. در این راستا از داده‌های شبکه ای حدود ۴۳ ساله بهره گرفته خواهد شد.

داده‌ها و روش‌ها

در این پژوهش داده‌های شبکه‌ای دمای کمینه روزانه ایران، از پایگاه داده اسفزاری ویرایش نخست که در دانشگاه اصفهان و به وسیله دکتر سید ابوالفضل مسعودیان طراحی گردیده، برداشت شده است. این داده‌ها دارای تفکیک زمانی روزانه از ۱۳۴۰/۰۱/۰۱ تا ۱۳۸۳/۱۰/۱۱ است. تفکیک مکانی داده‌ها ۱۵×۱۵ کیلومتر است که در سیستم تصویر لامبرت مخروطی هم‌شکل نگاشته شده‌اند. با توجه به مختصات یاد شده سراسر ایران با ۷۱۸۷ یاخته پوشیده می‌شود. بر این اساس داده‌های شبکه‌ای دمای ایران آرایه‌ای است به ابعاد ۷۱۸۷×۱۵۹۹۲ که با آرایش گاه جای^۱ (زمان بر روی سطرها و مکان بر روی ستون‌ها) چیده شده است. درایه‌های این آرایه به کمک داده‌های ۶۶۳ ایستگاه همدید و اقلیمی و با روش میانبایی کریگینگ برآورد شده است. پراکنندگی مکانی ایستگاه‌های مورد استفاده در شکل (۱) ارائه شده است. برای برآورد داده‌های شبکه‌ای هر روز از داده‌های همه ایستگاه‌هایی که در آن روز دمای کمینه را اندازه‌گیری کرده بودند، بهره‌برداری شده است. بنابراین در برخی روزها تعداد اندازه‌گیری‌ها کم‌تر و در برخی روزها بیش‌تر بوده است.

به منظور تحلیل یخبندان‌ها و بر اساس آستانه صفر درجه سلسیوس روزهای یخبندان از میان سطرها و ستون‌های آرایه تولید شده استخراج گردید. سپس مشخصات توصیفی یخبندان‌هایی که طی ۱۵۹۹۲ روز برای هر یاخته رخ داده است، محاسبه شد. نتایج مربوط بر پایه روش‌های آماری - ترسیمی ارائه گردید. در نهایت روابط زمانی - مکانی یخبندان‌ها از روش پارامتری همبستگی و رگرسیون خطی بررسی و تحلیل شد. به منظور بررسی شدت یخبندان‌ها (بسیار شدید، کم شدت و متوسط) برای هر یاخته و هر روز صدک‌های بحرانی (دهم و نودم) و صدک متوسط (دمای بین صدک ده و صدک نود) یخبندان‌های رخ داده محاسبه شد. صدک دهم دمای یخبندان‌ها برای هر یاخته به عنوان آستانه یخبندان شدید، صدک نودم دمای یخبندان‌ها برای هر یاخته به عنوان آستانه یخبندان ضعیف و دمای بین صدک‌های دهم و نودم یخبندان‌ها برای هر یاخته به عنوان آستانه متوسط تلقی شد. بدیهی است در این صورت یخبندان شدید، ضعیف و متوسط برای هر یاخته از نقشه ایران زمین با یاخته‌های دیگر متفاوت خواهد بود. برای به کارگیری روش‌ها و دستیابی به اهداف این تحقیق از نرم افزارهای سورفر^۲ و متلب^۳ استفاده شد.

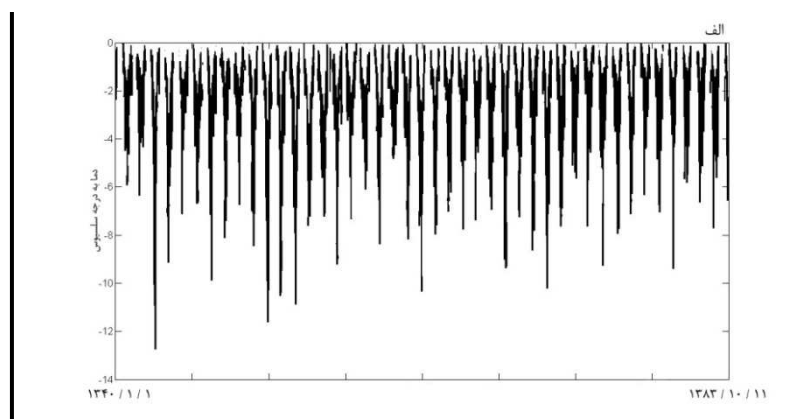


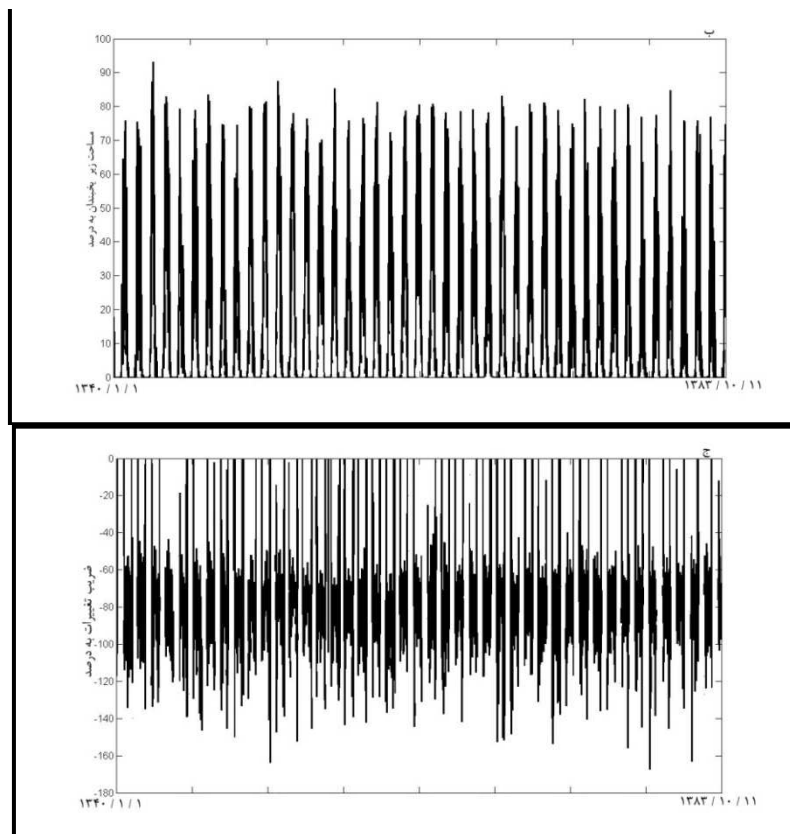
شکل ۱: توزیع مکانی ایستگاه‌های مورد استفاده در میان یابی

یافته‌ها و نتایج

مشخصات زمانی یخبندان‌های ایران زمین

جهت بررسی و تحلیل آماری یخبندان‌های ایران، برای کل دوره آماری و برای هر یاخته، یخبندان‌های رخ داده استخراج شد. شکل ۲- الف، سری زمانی متوسط دما در روزها و یاخته‌هایی که در آن‌ها یخبندان رخ داده است را نشان می‌دهد. برای به دست آوردن این نمودار، میانگین یخبندان هر روز در کل دوره آماری برای یاخته‌هایی که در آن‌ها یخبندان رخ داده است محاسبه گردید.





شکل ۲: تغییرات زمانی میانگین دما (الف) مساحت تحت پوشش (ب) و ضریب تغییرات مکانی (ج) یخبندان در ایران زمین

کل روزهایی که یخبندان در آن‌ها رخ داد ۹۲۲۴ روز از ۱۵۹۹۲ روز بوده است. مشخصات آماری این سری زمانی در جدول (۱) آمده است. بر اساس این جدول متوسط دمای یخبندان کشور حدود $2/5$ درجه سلسیوس زیر صفر و با ضریب تغییرات بسیار بالایی رخ می‌دهد. این امر به دلیل رخداد دماهای بسیار شدید اما نادر در برخی از روزهاست. به عنوان مثال تنها $2/7$ درصد از یخبندان‌های ایران طی روزهای توأم با یخبندان بین -6 تا $12/7$ درجه سلسیوس (مربوط به یکم بهمن ماه ۱۳۴۲) بوده است. همچنین به دلیل منفی بودن ضریب چولگی می‌توان استنباط نمود که دماهای یخبندان تمایل به دماهای نزدیک به صفر درجه سلسیوس داشته‌اند و تمایل به دماهای بسیار کم‌تر از صفر محدودتر بوده است. این وضعیت در تمرکز بیشتر دماهای یخبندان در اطراف محور افقی بالای نمودار دیده می‌شود. همچنین چارک‌های اول و سوم نیز دامنه اقلیمی دماهای یخبندان را نشان می‌دهند. در واقع شرایط معمول دماهای یخبندان بین این دو آستانه در تغییر بوده‌اند. بدیهی است دماهای فراتر و فروتر از این آستانه‌ها به عنوان دماهای غیر معمول تلقی می‌شوند. کشیدگی مثبت ($2/53$) نیز بیان‌گر تمرکز دماهای یخبندان حول میانگین و افراستگی توزیع فراوانی یخبندان‌هاست.

جدول ۱: مشخصات عمومی یخبندان ایران

نمایه	میانگین	میانه	کمینه	بیشینه	دامنه	پراش	انحراف استاندارد	ضریب تغییرات	چولگی	کشیدگی	چارک اول	چارک سوم
ارزش	-۲/۵	-۱/۹۹	-۱۲/۸	۰	۱۲/۷۴	۳/۲	۱/۷۸	۷۰	-۱/۴	۲/۵۳	-۳/۳	-۱/۲

همان‌گونه که در شکل (۲) الف دیده می‌شود، رفتار نوسانی دماها و نیز گسستگی در خط نماینده دما گویای رفتار نوسانی یخبندان‌هاست که حاصل طبیعت فصلی بودن آن‌هاست. علاوه بر این رفتار نوسانی، یک روند افزایشی در میانگین دمای یخبندان‌ها دیده می‌شود که گویای بالا رفتن دمای کمینه و کاهش شدت یخبندان‌هاست. با این وصف رابطه ضعیفی بین دما - زمان ($r=0/06$) به دست آمد. معادله خط برازنده براین مشاهدات به شکل زیر به دست آمد:

$$F = 0.00002t - 2.68$$

این بدان معنی است که روزانه $0/00002$ درجه سلسیوس ($0/2$ درجه در حدود هر ۲۷ سال) بر دمای یخبندان‌ها افزوده می‌شود. نمودار گویای این مطلب است که اگر دوره مورد مطالعه را به دو نیم دوره تقسیم کنیم؛ پایین‌ترین دماهای یخبندان که با شدت بیش‌تری نوسان داشته است، در طی نیمه اول دوره آماری (8000 روز اول) قابل مشاهده می‌باشد. به منظور ایجاد تصویری ذهنی از مشخصات مکانی یخبندان در هر روز، دو مشخصه مورد بررسی قرار گرفت؛ اول برای هر روز درصد پهنه کشور که زیر پوشش یخبندان قرار گرفته بود، محاسبه شد و دوم ضریب تغییرات مکانی در معرض توجه قرار گرفت.

سری زمانی درصد پهنه زیر پوشش یخبندان را می‌توان در شکل (۲ب) مشاهده کرد. متوسط مساحت زیر پوشش یخبندان برای تمامی روزهای یخبندان مورد مطالعه بین صفر تا ۵۵ درصد از پهنه کشور را در بر می‌گیرد. در فصول گرم میزان متوسط درصد پهنه زیر پوشش صفر و برای فصول سرد این متوسط به ۵۵ درصد می‌رسد. حدود $6/8$ درصد از روزها مساحتی بیش از ۶۰ درصد کل کشور زیر پوشش یخبندان بوده است. این یخبندان‌ها در فصل‌های سرد و عمدتاً در ماه‌های آذر تا بهمن رخ داده‌اند.

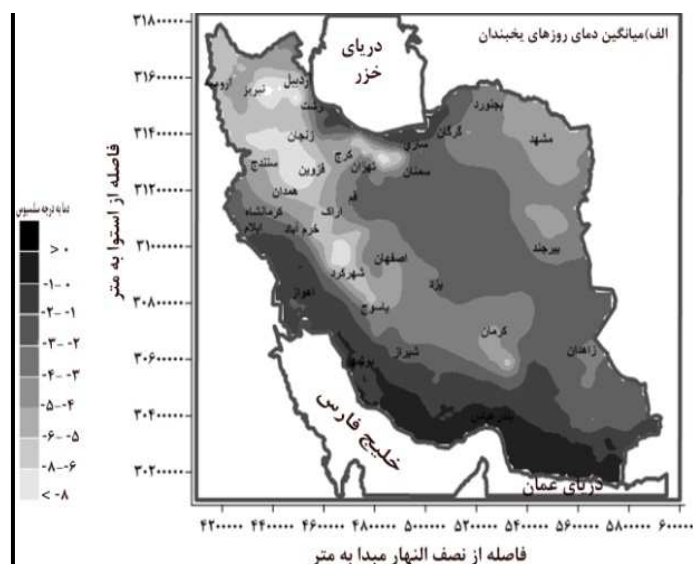
بیش‌ترین درصد مساحت زیر پوشش یخبندان در پنج روز متوالی سوم تا هفتم بهمن سال ۱۳۴۲ بیش از نود درصد پهنه کشور را در بر گرفته است. الگوی نوسانی مشابه میانگین دمای یخبندان‌ها بر سری زمانی درصد پهنه زیر پوشش یخبندان حاکم است. با این وصف برخلاف متوسط دمای یخبندان، این نوسان‌ها فاقد روند معنی‌داری بوده است. بنابراین می‌توان استنباط کرد که علی‌رغم افزایش دماهای یخبندان، پهنه‌های زیر پوشش از ثبات نسبی برخوردار بوده‌اند.

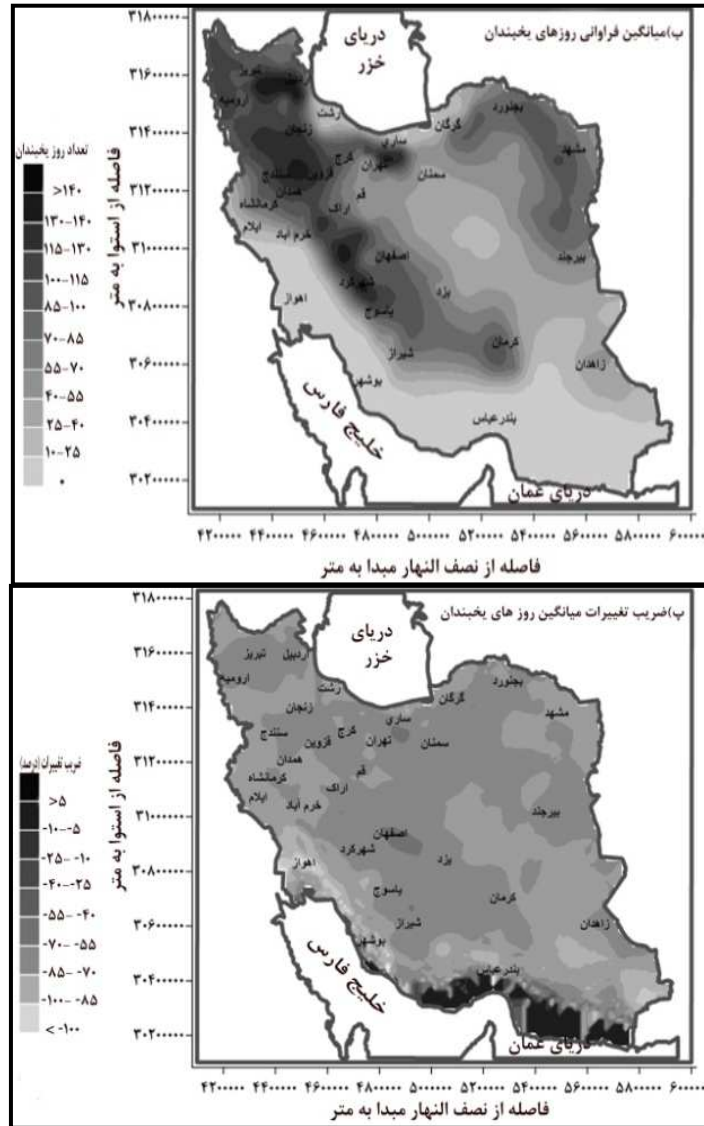
ضریب تغییرات زمانی پهنه‌های زیر پوشش یخبندان برای هر روز در شکل (۲-ج) ارائه شده است. بدیهی است در شرایط عدم رخداد یخبندان، ضریب تغییرات مکانی به صفر میل می‌کند. در روزهای توأم با یخبندان مقادیر ضریب تغییرات مکانی تا بیش از ۱۶۰ درصد می‌رسد. همبستگی منفی بسیار کم ($-0/151$) میان ضریب تغییرات و میانگین دمای یخبندان در روزهای مختلف بیان می‌دارد کاهش ضریب تغییرات با افزایش میانگین دمای روزهای یخبندان همراه است. با این وصف بیش‌تر ضریب تغییرات مکانی یخبندان بین ۶۰ تا ۱۰۰ درصد را نشان می‌دهند. این مقادیر

بیان‌گر این موضوع هستند که نقاط مختلف به لحاظ میزان یخبندان حدود ۶۰ تا ۱۰۰ درصد بالاتر یا پایین‌تر از میانگین پهنه زیر پوشش یخبندان تغییر می‌کنند. برای دریافت دقیق‌تر این اعداد به توضیح زیر توجه کنید: در بالا گفته شد که در شرایط یخبندان، به طور متوسط ۵۵ درصد از پهنه کشور زیر پوشش یخبندان است. بدیهی است در شرایطی که ضریب تغییرات مکانی ۱۰۰ درصد است، بدین معنی است که نصف پهنه، توأم با یخبندان و نصف پهنه، بدون یخبندان است. در شرایطی که مثلاً مقدار ضریب تغییرات مکانی ۶۰ درصد است بدین معنی است که ۶۰ درصد از ۵۵ درصد (۳۳ درصد) کم‌تر و بیش‌تر از این مقدار بین نواحی زیر پوشش یخبندان و آزاد از یخبندان هستند. تغییرات بیش‌تر و کم‌تر از این مقادیر ضرایب بسیار بالا و بسیار پایین را نشان می‌دهند. بیش‌ترین مقادیر این ضرایب در ماه‌های مهر، اردیبهشت، آبان و اواخر ماه فروردین با مقادیر بیش از ۱۵۰ درصد رخ داده است. میان ضریب تغییرات یخبندان با میانگین دمای یخبندان یک رابطه منفی (۰/۱۵۱-) وجود دارد. این بدان معنی است که با افزایش تفاوت‌های مکانی دمای یخبندان کاسته می‌شده است. یعنی یخبندان‌های با گستره کوچک‌تر، شدیدتر و در گستره بزرگ‌تر با شدت کم‌تر رخ می‌داده‌اند.

مشخصات مکانی یخبندان‌های ایران زمین

برای تحلیل مکانی یخبندان‌ها، برای هر یاخته متوسط، فراوانی و ضریب تغییرات یخبندان محاسبه و توزیع مکانی آن در نقشه‌های ارائه شده در شکل ۳ مشخص گردیده است:





شکل ۳: میانگین دما (الف)، تعداد روزها (ب) و ضریب تغییرات (پ) یخبندان‌های ایران

میانگین دمای یخبندان هر یاخته در طول دوره آماری در شکل (۳) الف نمایش داده شده است. بر اساس این شکل کرانه‌های دریای عمان و بخش‌هایی از خلیج فارس در استان هرمزگان (۵ درصد مساحت ایران) طی دوره آماری مورد بررسی فاقد یخبندان بوده است. نواحی مرتفع دارای یخبندان‌هایی با دمای پایین تر از ۵- درجه سلسیوس (۱/۸ درصد مساحت ایران) با چهار هسته کمینه دمای یخبندان در محور کوهستانی شمال غرب- جنوب شرق (زاگرس مرتفع، کوهستان‌های شمال غرب، شمال کردستان) و یک هسته در البرز مرکزی می‌باشد. ۱۳/۴ درصد مساحت ایران با متوسط دمای بین ۴- تا ۵- درجه سلسیوس در ارتفاعات شمال شرق، دامنه‌های غربی و شرقی زاگرس، دامنه‌های جنوبی البرز شرقی و دامنه‌های شمالی سه‌بلند قرار دارند. ۲۳/۱ درصد از

مساحت کشور با متوسط دما بین ۳- تا ۴- درجه سلسیوس را پوشش می‌دهند. $32/8$ درصد مساحت ایران را دمای بین ۳- تا ۲- درجه در شرق، نواحی مرکزی و جنوب شرق ایران پوشش می‌دهد. ۱۹ درصد مساحت ایران را متوسط دمای یخبندان بالاتر از ۲- به خود اختصاص می‌دهد. این مساحت نواحی کم ارتفاع جلگه‌های شمالی و جنوبی را شامل می‌شود. در دامنه‌های غربی زاگرس متوسط دما، به تبعیت از ارتفاع کاسته می‌شود و میانگین دما از ۸- در ارتفاعات به $1/5$ - درجه در دامنه‌های آن می‌رسد. همبستگی معکوس و قابل توجه ($0/341$ -) میان متوسط دمای یخبندان و ارتفاع نیز این امر را تایید می‌کند. با این وجود چنان که در شکل‌ها می‌توان دید، عرض جغرافیایی بیش‌ترین ارتباط را با میانگین دمای یخبندان دارد. از عرض‌های جنوبی به سمت عرض‌های شمالی کشور میزان دما کاهش می‌یابد. با افزایش عرض جغرافیایی بر ارتفاعات کشور افزوده می‌گردد و زاویه تابش خورشید مایل‌تر می‌گردد این عوامل می‌تواند بر تأثیر بیش‌تر عرض جغرافیایی بر کاهش دمای یخبندان دخالت داشته باشند. میزان همبستگی شمار روزهای یخبندان و ارتفاع حدود $0/399$ است. در این زمینه نقش عرض جغرافیایی بارزتر از سایر فاکتورهاست. با توجه به نقشه (۳-ب)، دامنه میانگین تعداد روزهای یخبندان در ایران بین صفر و 145 روز قرار دارد.

از دامنه‌های غربی زاگرس، دامنه کوه‌های البرز مرکزی، دامنه کوه‌های شمال غرب و نیز دامنه کوه‌های بزمان به سمت بخش‌های مرتفع آن‌ها تعداد روزهای یخبندان از 115 روز به 145 روز و از این دامنه‌ها به سمت نواحی کم ارتفاع اطراف، شمار روزهای یخبندان به ۵ روز می‌رسد. محور کوهستانی شمال غرب - جنوب شرق دارای چندین هسته بیشینه روزهای یخبندان است. تعداد روزهای یخبندان در شمال کردستان و زاگرس از 115 تا 135 روز، در شمال غرب بیش از 135 روز و بیشینه تعداد روزهای یخبندان ایران در سبلان با 145 روز مشاهده شده است. ارتفاعات شمال شرق دارای دو هسته ۹۵ تا 100 روز با میانگین دمای ۸- درجه، در رتبه دوم قرار دارد. کوه‌های بزمان نیز با ۹۵ روز یخبندان و میانگین دمای ۴- درجه می‌توان جزء نواحی جنوبی با یخبندان قابل توجه دانست. زیرا سواحل جنوبی، جنوب غرب و جنوب شرق فاقد یخبندان و یا یخبندان‌های ناچیزی را تجربه کرده‌اند. نواحی مرکزی ۲۵ تا ۳۵ روز و سواحل شمالی ۱۰ تا ۲۵ روز یخبندان را به طور متوسط تجربه کرده‌اند.

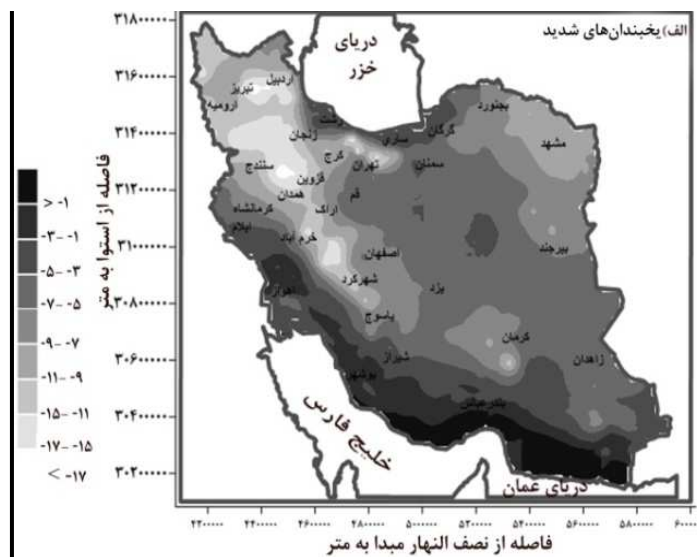
ضریب تغییرات یخبندان هر یاخته در طول دوره آماری در شکل ۲-ج، نمایش داده شده است. دامنه ضریب تغییرات میانگین دمای یخبندان ایران زمین بین صفر و تا بیش‌تر از ۱۰۰ می‌باشد. تقریباً بیش‌تر پهنه ایران با مساحت $51/7$ درصد در دامنه تغییرات ۷۰ تا ۸۵ درصد در شرق، شمال شرق، بخش‌هایی از نواحی داخلی ایران، دامنه‌های بادپناه زاگرس و دامنه‌های جنوبی البرز قرار گرفته است که نشان از عدم یکنواختی دمای یخبندان در این پهنه دارد؛ دلیل آن را می‌توان در گستردگی ایران در عرض جغرافیایی و تنوع عوامل آب و هوایی ذکر کرد. مناطق مرتفع شمال شرق، نواحی پست داخلی و جنوب شرق، بخش‌های کم ارتفاع غرب و شمال غرب (با مساحت $38/8$ درصد) دارای ضریب تغییرات بین ۸۵ تا ۱۰۰ درصد می‌باشند. بیش‌ترین ضریب تغییرات رخ داده با رقم بالاتر از ۱۰۰ درصد در جلگه خوزستان و چاله جازموریان با مساحت $6/5$ درصد از کل پهنه کشور قرار دارد. بخش‌های باریکی در کرانه‌های دریای عمان در جنوب و سواحل خلیج فارس در استان هرمزگان با مساحت $0/8$ درصد دارای ضریب تغییراتی بین ۲۵ تا ۵۰ درصد می‌باشند. همبستگی بسیار ضعیف و مثبت ضریب تغییرات یخبندان‌ها با ارتفاع ($0/27$) و عرض جغرافیایی ($0/61$) گویای تنوع مکانی زیاد ضریب تغییرات یخبندان و مستقل از تأثیر این متغیرهای مکانی است. جدول (۲) ضریب همبستگی متوسط دمای یخبندان و متغیرهای مکانی را نشان می‌دهد. این ضرایب در هر سطح دلخواه معنی‌دار هستند.

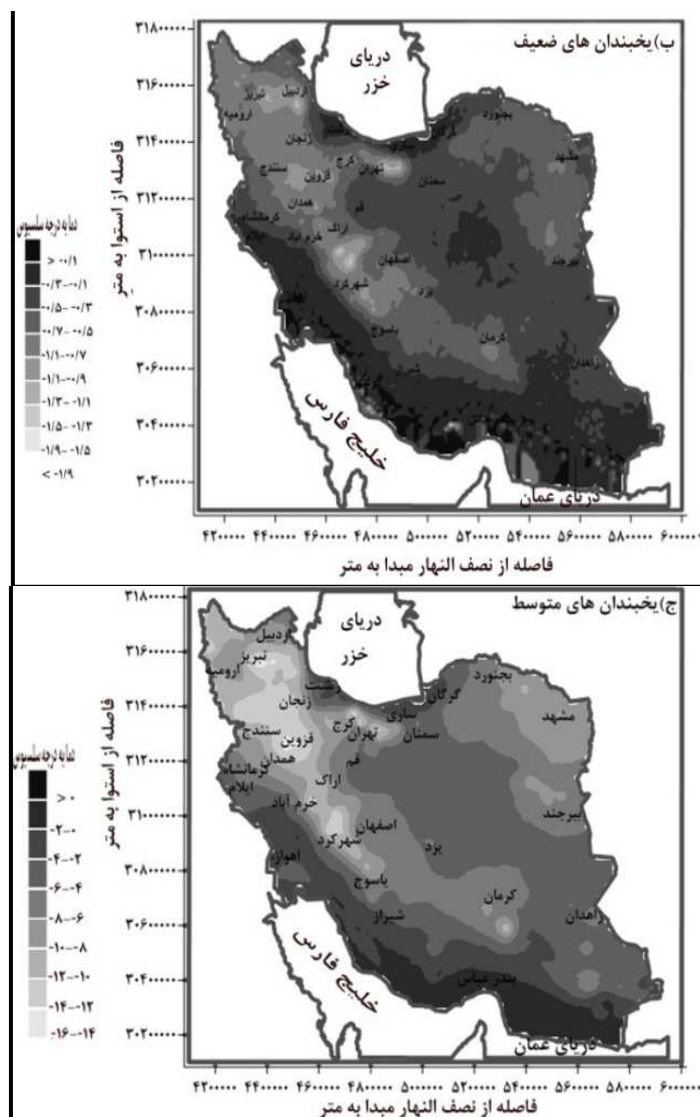
جدول ۲: رابطه مشخصات یخبندان و متغیرهای مکانی

ارتفاع	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	
متوسط دمای یخبندان	-۰/۳۴۱	۰/۳۶۵	-۰/۶۴
فراوانی روزهای یخبندان	۰/۳۹۹	-۰/۴۱۵	۰/۶۷۷
ضریب تغییرات	۰/۰۲۷	-	۰/۰۶۱

شدت یخبندان‌های ایران زمین

شکل (۴) پراکندگی مکانی یخبندان‌های ضعیف، شدید و متوسط را نشان می‌دهد. در شکل (۴- الف)، یخبندان‌های شدید کشور در دامنه دمایی ۱- تا ۱۷- درجه سلسیوس قرار دارند. ۳۹/۸ درصد از پهنا ایران دامنه دمایی ۷- تا ۱۷- درجه رادر نواحی کوهستانی در بر می‌گیرد. بیشینه پراکندگی مکانی این یخبندان‌ها را نواحی کوهستانی زاگرس، بخش‌های مرتفع البرز مرکزی و پس از آن کوه‌های بزمان و کوه‌های شمال شرق کشور (در مجموع با مساحت ۲۱/۶ درصد) دمای کم تر از ۹- درجه را تجربه کرده‌اند.





شکل ۴: پراکندگی مکانی یخبندان های شدید (الف)، ضعیف (ب) و متوسط (ج)

بر اساس آن چه در جدول (۳) ارائه شده است، ضریب همبستگی یخبندان های شدید با متغیرهای مکانی، گویای همبستگی منفی دمای یخبندان با ارتفاع (۰/۳۳۶-) است. این رابطه، شدیدترین دماهای یخبندان ایران زمین را به بخش های کوهستانی کشور نسبت می دهد؛ اما نقش عرض جغرافیایی (همبستگی ۰/۶۵۲-) در شدت یخبندان بسیار مشهودتر از ارتفاع و طول جغرافیایی است. به عنوان مثال در عرض های پایین جغرافیایی شدیدترین دماهای یخبندان رخ داده به سمت صفر نزدیک تر است. در حالی که عرض های بالاتر، یخبندان های شدیدتری را تجربه کرده اند. توجه به نقشه (الف)، سه پهنه بسیار شدید را نشان می دهد؛ یکی در امتداد کوه های زاگرس، دومی در شمال غرب کشور و سومی در شمال شرق ایران دیده می شود. پهنه نخست اثر ارتفاعات و دو پهنه دیگر اثر مجاورت با پرفشار حرارتی سیبری و کوه های قفقاز را به عنوان منابع ریزش سرما نشان می دهد. بنابراین دو عامل عرض جغرافیایی و ارتفاع عوامل غالب در رخداد شدیدترین یخبندان ها است.

جدول ۳: رابطه شدت یخبندان و متغیرهای مکانی

عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی	ارتفاع	
-۰/۶۵۲	۰/۳۶۳	-۰/۳۳۶	یخبندان شدید
-۰/۶۵۴	۰/۳۵۹	-۰/۳۳۲	یخبندان متوسط
-۰/۵۳۹	۰/۳۵۸	-۰/۳۳۶	یخبندان ضعیف

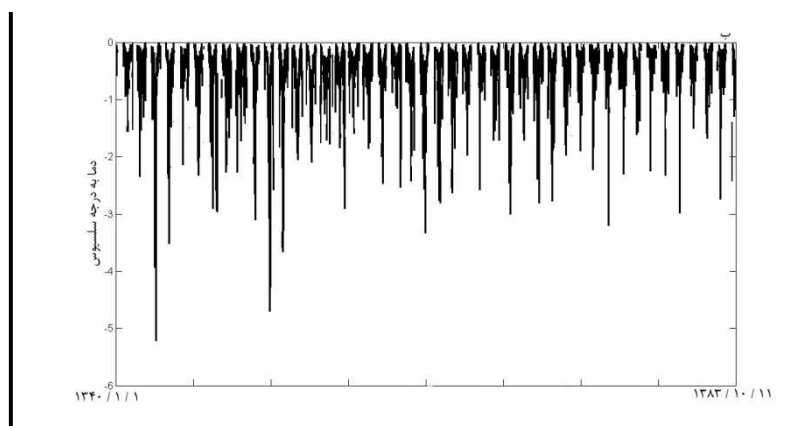
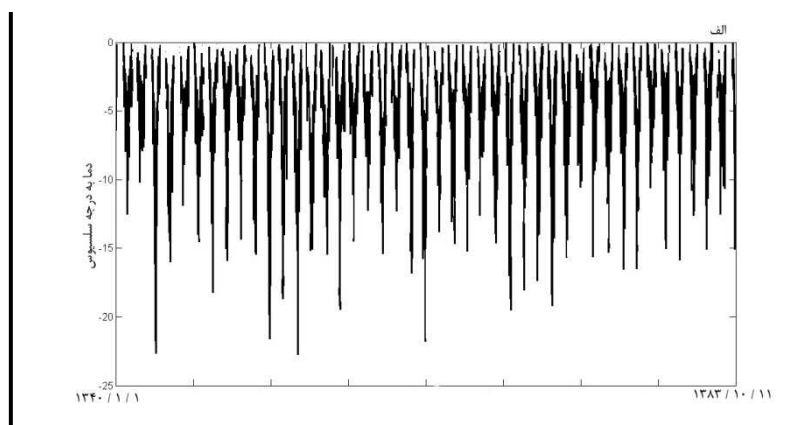
شکل (۴)، یخبندان‌های کم شدت ایران را نشان می‌دهد. بر اساس این شکل دماهای یخبندان برای این نوع یخبندان‌ها در دامنه دمایی صفر تا $1/9$ - درجه سلسیوس است. پهنه‌های وسیعی از ایران در این رده دمایی یخبندان قرار دارد. $1/5$ درصد مساحت ایران زمین در دامنه دمایی $1/9$ - تا 1 - در پهنه‌های کوچکی از نواحی مرتفع سیلان، سهند، دماوند و چند قله مرتفع در زاگرس قرار دارد.

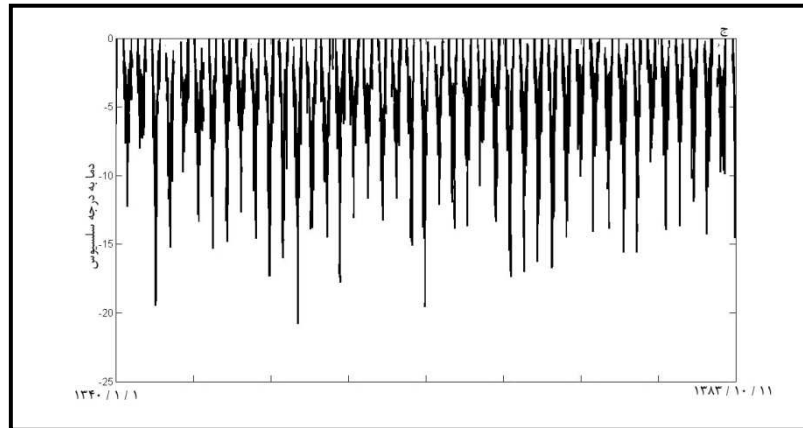
پهنه‌های وسیع‌تری در بخش‌های کوهستانی شمال غرب - جنوب شرق، شمال شرق و بزمان با پوشش $3/37$ درصدی مساحت ایران دمایی بین 1 - تا $0/5$ - را دارا می‌باشند. $42/8$ درصد مساحت کشور با دمای $0/5$ - تا $25/0$ نوار باریکی از غرب، جنوب غرب، تمام نواحی داخلی و شرق را در بر می‌گیرد. تمام سواحل جنوبی در خلیج فارس و دریای عمان و کرانه‌های دریای خزر (مساحت $18/4$ درصد) دمای بیش تر از $0/25$ - را به خود اختصاص داده‌اند. به طور کلی می‌توان گفت که یخبندان‌های کم شدت ایران زمین در پهنه وسیعی با مساحت 80 درصد، در دامنه دمایی $0/25$ - تا 1 - درجه قرار دارند. از تفاوت‌های مهم یخبندان‌های ضعیف و شدید، علاوه بر تفاوت‌های دمایی، افزایش سهم نوار جنوبی کشور و نیز بخش قابل توجهی از کویر مرکزی ایران است. با توجه جدول (۳) ضریب همبستگی متوسط و مثبتی بین یخبندان‌های ضعیف و عرض جغرافیایی وجود دارد. همچنین همبستگی مثبت $0/358$ طول جغرافیایی و دمای یخبندان افزایش دما را از غرب به شرق و همبستگی $0/336$ - دما با ارتفاع کاهش دما را با افزایش ارتفاع نشان می‌دهد.

با توجه به شکل (۴ ج)، یخبندان‌های متوسط ایران زمین در دامنه دمایی صفر تا $15/16$ - درجه سلسیوس قرار دارند. در یخبندان‌های متوسط نیز همانند یخبندان‌های شدید و ضعیف، بخش‌های کوهستانی پایین‌ترین دماها را به خود اختصاص داده‌اند. بخش‌های مرتفع کوهستان‌های شمال غرب و زاگرس (مساحت $4/8$ درصد) دمای پایین‌تر از 12 - درجه را دارا می‌باشند. پس از آن کوه‌های شمال شرق، شمال غرب و بزمان با دامنه دمایی 10 - تا 12 - درجه، $7/1$ درصد مساحت ایران را تحت پوشش قرار می‌دهند. دمای بین 6 - تا 10 - درجه $35/9$ درصد مساحت ایران را در محدوده وسیعی از شمال شرق و دامنه‌های محور کوهستانی شمال غرب - جنوب شرق پوشش می‌دهد. شرق، نواحی داخلی و جنوب شرق و بخش باریکی از غرب ایران زمین (مساحت $35/5$ درصد) دمای 4 - تا 6 - درجه را دارا می‌باشند. جلگه خوزستان و نوار باریکی در امتداد دریای عمان و خلیج فارس با فاصله اندکی از ساحل دمایی بین 2 - تا 4 - را به خود اختصاص داده‌اند. کرانه‌های، خلیج فارس، دریای عمان در قسمت‌های بسیار کوچکی با مساحت $3/5$ درصد دمای نزدیک به صفر را تجربه کرده‌اند. ضریب همبستگی یخبندان‌های متوسط با پارامترهای مکانی، همانند یخبندان‌های شدید و ضعیف ارتباط منفی را با عرض جغرافیایی ($0/654$ -) و ارتفاع ($0/332$ -) دارد.

شکل (۵) مشخصات سری زمانی شدت‌های مختلف یخبندان‌ها را نشان می‌دهد. شکل (۵) الف سری زمانی یخبندان‌های شدید را برای هر روز طی دوره مورد مطالعه نمایش می‌دهد. می‌توان دید که ده درصد یخبندان‌های

ایران در دامنه دمایی صفر تا ۲۲- درجه قرار دارند. به طور متوسط در گستره ایران یخبندان‌های شدید بین صفر تا ۱۳- درجه سلسیوس بوده است. دماهای کم تر از ۱۳- درجه سلسیوس تنها ۱/۷ درصد کل دماهای شدید را به خود اختصاص می‌دهند. شدیدترین یخبندان‌ها در طی ۱۵۹۹۲ روز با دمای ۲۲- درجه سلسیوس در روزهای یکم، چهارم و پنجم بهمن‌ماه سال ۱۳۴۲ و شانزدهم و هفدهم بهمن ماه سال ۱۳۵۲ اتفاق افتاده است. یخبندان‌های بسیار شدید با دمای بین ۱۹- تا ۲۲- عموماً در روزهای دی و بهمن سال‌های، ۱۳۶۷، ۱۳۷۰، ۱۳۵۵، ۱۳۶۱، ۱۳۵۲، ۱۳۵، ۱۳۴۲ می‌توان مشاهده نمود. با توجه به شکل می‌توان دریافت که با گذشت زمان دماهای بسیار پایین یخبندان (کم تر از ۱۵-) کاهش می‌یابد. اگر روزهای دوره مورد مطالعه به دو دوره تقسیم شود، دوره اول دارای تناوب‌های یکسان و افزایشی می‌باشد. همبستگی بسیار کم و منفی ۰/۰۶- بین دماهای شدید دوره اول با زمان وجود دارد. این امر بر افزایش دماهای یخبندان دلالت دارد. دوره دوم روندی کاهشی در دماهای یخبندان شدید را نشان می‌دهد. با این وصف همبستگی بسیار کم ۰/۰۵۹- بین زمان و یخبندان‌های شدید وجود دارد.





شکل ۵: سری زمانی یخبندان‌های شدید (الف)، ضعیف (ب) و متوسط (ج) در ایران

شکل (۵ب)، دمای یخبندان‌های کم شدت را نشان می‌دهد. افزایش دمای این نمایه از مشخصاتی است که در این شکل قابل رویت است. ضریب همبستگی بسیار ضعیف $0/088$ حاکی از فقدان معنی آماری برای این افزایش است. دمای یخبندان‌های کم شدت بین صفر و -1 می‌باشد. با تقسیم دوره مورد مطالعه به دو نیم دوره مشاهده شد که نیم دوره دوم دماهای یخبندان روندی کاهشی یافته و به سمت صفر درجه نزدیک می‌شوند. شکل (۵ج)، دمای یخبندان‌های متوسط را بین صفر تا $-20/79$ درجه نشان می‌دهد. $2/21$ درصد دمای یخبندان‌های متوسط در طی 15992 روز دمایی کم تر از -12 درجه را تجربه کرده‌اند و $98/78$ درصد دمای افتاده بین صفر و -12 درجه بوده‌اند. سردترین دمای رخ داده در این یخبندان‌ها $-20/79$ و $-20/51$ درجه در شانزدهم و هفدهم بهمن ماه 1352 و پس از آن دمای $-19/55$ تا $-19/45$ درجه در روزهای هفتم بهمن ماه 1361 و بیست و سه دی ماه 1342 اتفاق افتاده است. با تقسیم دوره مورد مطالعه به دو نیم دوره، دوره اول همبستگی بسیار ضعیف و منفی $-0/065$ و دوره دوم همبستگی بسیار ضعیف و مثبت $0/068$ بین دمای یخبندان‌های متوسط با زمان مشاهده شد.

نتیجه گیری

تحلیل کمی حالات عناصر اقلیمی ایران هم به لحاظ شناسایی اقلیم متنوع و متغیر کشور و هم به لحاظ کاربرد دانسته‌های حاصل از این شناسایی در برنامه‌ریزی و مدیریت محیطی از اهمیت شایان توجهی برخوردار است. این امر به ویژه با تکیه بر ابزار و روش‌های محکم و متقن، دستاوردهای متفاوتی از یافته‌های گذشتگان به دست می‌دهد. در تحقیق حاضر، یکی از حالات دما، یخبندان ایران بر اساس داده‌های شبکه‌ای میانگین کمینه دمای روزانه ایران، برای طول دوره آماری قابل قبول اقلیمی و با توان تفکیک مناسب مورد بررسی قرار گرفت. یخبندان پدیده‌ای مهم و قابل توجه در کشور است. به طوری که حدود 58 درصد از 15922 روز مورد بررسی این پدیده مشاهده شده است. بر این اساس و برخلاف یافته‌های حاصل از تحقیقات پیشین متوسط دمای یخبندان کشور حدود $-2/5$ درجه سلسیوس و با ضریب تغییرات 70 درصد در دامنه ای بین $-3/3$ و $-1/2$ درجه سلسیوس رخ می‌داده است. علی‌رغم این که سری زمانی دماهای یخبندان از روند افزایشی ضعیف برخوردار بوده است، پهنه‌های تحت تأثیر آن تغییر چشم‌گیری نداشته‌اند. بنابراین می‌توان استنباط کرد که افزایش دمایی در محدوده تحت تأثیر یخبندان به طور یکنواخت رخ می‌داده است. همچنین یک جهش رو به بالا از نیمه دوم دوره آماری این یکنواختی را تایید می‌کند.

یکی از ویژگی‌های یخبندان‌های کشور که نقش مخاطره آمیز آن‌ها را افزایش می‌دهد، ضریب تغییرات مکانی آن‌هاست. این ویژگی عمدتاً در ماه‌های گذار نظیر ماه‌های مهر، اردیبهشت، آبان و اواخر ماه فروردین بارزتر است. با این وجود یخبندان‌های با گستره بزرگ‌تر با شدت کم‌تر رخ می‌دهند، اما مخاطره آمیز بودن آن‌ها بدین دلیل است که در نواحی که با این شرایط رخ نداده‌اند، محتمل خواهند بود. ضریب تغییرات مکانی بسیار شدید دمای یخبندان گویای این واقعیت است که اولاً طبق متون کلاسیک و رایج منشاء یخبندان‌ها از عوامل محلی و بیرونی متأثر می‌شده‌اند (این ویژگی زمینه و پیشنهاد مطالعاتی مناسبی برای تحلیل‌های دقیق‌تر است). دوم این که عوامل فراگیر به طور یکسان در همه جا عمل نمی‌کرده‌اند. بیش‌ترین تفاوت‌های مکانی در یخبندان‌ها در دو ماه اول هر دو فصل گذر (بهار و پاییز) رخ می‌داده است. این امر ضمن بیان این مهم که سامانه‌های فراگیر کشور را زیر پوشش یخبندان قرار نمی‌دهند بیان‌گر اثرات محلی به دلیل مجاورت و همسایگی با سرزمین‌های حاشیه‌ای نظیر قفقاز و سیبری و یا ارتفاعات و وجود امکانات زیاد برای تنوع شبانه روزی دما هستند. تمامی ویژگی‌های یخبندان شامل بسامد، شدت و پایداری آن از دو متغیر مکانی ارتفاع و عرض جغرافیایی تبعیت بیش‌تری داشته‌اند.

منابع

- ۱- حجاری زاده، زهرا، ناصرزاده، محمدحسین (۱۳۸۶). تجزیه و تحلیل یخبندان در استان لرستان. نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی. ۹ و ۸.
- ۲- خورشیددوست، علی محمد، سلمان پور، رقیه (۱۳۸۷). تحلیل نوسانات و آستانه‌های یخبندان‌های پاییزه و بهاره شهرستان اهر. فصلنامه فضای جغرافیایی، سال هشتم، شماره ۲۱.
- ۳- ربانی، فاطمه، کرمی، فریبا (۱۳۸۸). بررسی روند تعداد روزهای یخبندان در استان خراسان شمالی. فصلنامه جغرافیای طبیعی. سال اول شماره ۴.
- ۴- رضایی، پرویز و عابدی، حسین (۱۳۸۹). بررسی روند تغییرات دمای حداقل در ایستگاه شهر رشت با تاکید بر دوره یخبندان. فصلنامه جغرافیا و مطالعات محیطی. سال دوم. شماره ۴.
- ۵- طاوسی، تقی، درخشانی، جعفر (۱۳۸۹). تحلیل آماری وقوع و دوره‌های برگشت یخبندان‌های زودرس و دیررس زاهدان در دوره آماری ۱۳۶۰-۱۳۸۶. فصلنامه فضای جغرافیایی. سال دهم، شماره ۳۰.
- ۶- فرج زاده، منوچهر، حسینی، سید امیر (۱۳۸۹). تحلیل و پهنه‌بندی زمانی - مکانی یخبندان در ایران. جغرافیا و توسعه ناحیه ای. شماره ۱۵.
- ۷- عساکره، حسین (۱۳۸۹). احتمال تواتر و تداوم یخبندان‌های زودرس و دیررس در شهر زنجان. جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی. سال بیستم، شماره ۱.
- ۸- علیجانی، بهلول و همکاران (۱۳۸۹). بررسی تداوم روزهای یخبندان در ایران با استفاده از مدل زنجیره مارکوف. پژوهش‌های جغرافیای طبیعی ۷۰.
- ۹- مسعودیان، سید ابوالفضل، کاویانی، محمدرضا (۱۳۸۷). اقلیم شناسی ایران. نشر دانشگاه اصفهان. چاپ اول.
- ۱۰- منتظری، مجید (۱۳۸۹). تحلیل آماری یخبندان‌های کشاورزی در شهرستان نجف آباد. فصلنامه جغرافیا و مطالعات محیطی ۴.
- 11 - Baron, W.R., Gordon, G.A., Borns, H.W., and Smith, D.C (1984). Frost-free record reconstruction for Eastern Massachusetts, 1733-1980. *Journal of Climate and Applied Meteorology*, 23: 317-319.
- 12- Boldyrev, B.Yu. Andreev. A.N. and Dozortseva, Yu.V. (2009). Weather peculiarities of the 2007-2008 cold seasons in the Northern Caspian Sea, *Russian Meteorology and Hydrology*. 34: 89-92.
- 13-Bootsma A (1976). Estimating minimum temperature and climatological freezerisk in hilly terrain. *Agricul, Meteorol*, 16:425-443.
- 14-Boor R, mpebell, I.C, letcher, D.J. (1993). Characteristics of frost in a major wheat -growing reagon of Australia. *Aust.J.Agric.Res*, 44(8).1731-1743.
- 15- Cheng, Q., Yan, Zhongwei., W. Zhaohua., F.T. Congbin., and K. Tu (2011). Trend in Temperature extremes in association with weather-intraseasonal fluctuations in eastern China, *Advances in Atmospheric Sciences*, 28(2):297-309.
- 16-Danny H.W., K.Li., K.W. Kevin., L.Y. Wan., and J. C. Lam (2011). Heat and cold stresses in different climate zones across China, A Comparison between the 20th and 21st centuries. *Building and Environment*, 46: 1649-165.
- 17-Daoyi, G., W. Shaowu and Z. Jinhong (2004). Artic Oscillation influence on daily temperature variance in winter over Chona, *Chinese Science Bulletin*, 49(6):637-642.
- 18-Fatthi, E., K. Noohi (2008). Monitoring the occurrence of frost through an analysis of air masses in south west basins of Iran, *DESERT*, 13:137-146.
- 19-Vithkevich, V.I (1963): "Agricultural Meteorology. Jerusalem, 183-305.
- 20-Laughlin J.P. and J.D. Kalma (1987). Frost hazard assessment from local weather and terrain data. *Agricultural and Frost Meteorol*, 40:1-16.
- 21-Lindkvist, L., B. Gustavsson, t, and J. Bogren (2000) A frost assessment method for mountainous areas. *Agricultural and Forest Meteorology*, 102: 51-67.
- 22-Stone, R., N. Niville., and G. Hammer (1996). Frost Northeast Australia: Trends and influences of the Southern Oscillation. *Journal of Climat*, 9:1896-1909.