

Statistical analysis of the frequency and stability of the frost days in southern Khorasan Province, using Markov Chain Model
Mahnaz Rostamian^{1*}, Amir Hossein Halabian²

1- MSc, Department of Physical Geography, University of Zanjan, Zanjan, Iran

2- Associate Professor, Department of Geography, Payame Noor University, Tehran, Iran

Abstract

Cold and frost waves are among the most important natural phenomena, occurring in the cold period of the year. The reason why the frost phenomenon has been considered is its feedbacks on the nature and human life, which sometimes has been associated with negative severe tension and sometimes positive feedbacks, particularly in agriculture and gardening. This study has tried to analysis of daily, as monthly and seasonal, frosts of Southern Khorasan province. To do this, the minimum daily temperature of synoptic stations of Southern Khorasan province were used for a 27 years period (1988-2014). And to investigate the probability and frequency of the frost days, Markov chain model was used. Results illustrated that Ghaen city in the north, and Birjand city in center of Southern Khorasan province, had the maximum occurrence and frequency of the frost days, respectively. Among the stations, Nehbandan city has experienced the minimum probability of frost days. Two-days continuities in all stations, revealed the minimum return period, indicating the less continuity of frost days in Southern Khorasan province.. All the analyzed stations in the studied area, except for Nehbandan, which generally hasn't experienced any frost day, are characterized by Markov chain, first class. In other words, any occurrence of frost days, depend on climate conditions of past days. The beginning of autumn frost days of Southern Khorasan province, is in November, known as the first autumn frost; and the beginning of winter frost is concentrated in January. The maximum frosty cycle in October have been occurred in Ghaen station about 0.058, and in November in Ferdos and Boshrooye stations about 0.05 and 0.043, respectively. Results confirmed the obvious role of high and mountain regions in the frequency and continuity of frost days in the province.

Keywords: Fequency, Minimum temperature, Statistical analysis, Return period, Maximum likelihood.

فصلنامه علمی - پژوهشی برنامه‌ریزی فضایی (جغرافیا)
سال هشتم، شماره دوم، (پیاپی ۲۹)، تابستان ۱۳۹۷
تاریخ وصول: ۹۶/۰۵/۱۴ تاریخ پذیرش: ۹۷/۰۲/۰۲
صص: ۶۰ - ۳۹

واکاوی آماری تواتر و تداوم روزهای یخبندان در استان خراسان جنوبی با بهره‌گیری از مدل زنجیره مارکوف

مهناز رستمیان^{۱*}، امیرحسین حلبیان^۲

۱- کارشناس ارشد اقلیم‌شناسی، گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده ادبیات و علوم انسانی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران

mrostamian1394@yahoo.com

۲- دانشیار، گروه جغرافیا، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران

halabian_a@yahoo.com

چکیده

امواج سرما و یخبندان از مهم‌ترین پدیده‌های طبیعی است که بیشتر در دوره سرد سال اتفاق می‌افتد. آنچه در این بین سبب توجه به این پدیده شده، بازخوردهای آن در طبیعت و زندگی انسان است که گاه تنش‌های شدید منفی و گاه بازخوردهای مناسبی را در پی داشته است؛ به‌ویژه اینکه گاهی از الزامات بخشی از مراحل کشاورزی و باغداری است. هدف از پژوهش حاضر، واکاوی یخبندان‌های روزانه استان خراسان جنوبی به تفکیک ماهیانه و فصلی است؛ بدین منظور از داده‌های کمینه دمای روزانه ایستگاه‌های هم‌دید استان طی دوره آماری ۱۹۸۸-۲۰۱۴ و برای بررسی احتمال رخداد و تواتر یخبندان‌ها از روش زنجیره مارکوف مرتبه یک بهره برده شد. در ادامه، تداوم ۲ تا ۵ روزه یخبندان نیز واکاوی شد. یافته‌های پژوهش نشان داد ایستگاه هم‌دید قائن در شمال و پس از آن ایستگاه بیرجند در مرکز استان با بیشینه رخداد یخبندان و در نتیجه بیشینه تداوم آن در استان خراسان جنوبی همراه بوده است. در این بین ایستگاه نهبندان کمینه احتمال رخداد یخبندان را تجربه کرده است. تداوم دو روزه یخبندان در تمامی ایستگاه‌ها، کمینه دوره بازگشت را نشان دادند که گویای پایایی و تداوم کمتر روزهای یخبندان در خراسان جنوبی است. تمامی ایستگاه‌های واکاوی شده در منطقه مدنظر از زنجیره مارکوف مرتبه اول پیروی می‌کنند. از این بین فقط ایستگاه نهبندان از این امر مستثنی شده که پدیده یخبندان را تجربه نکرده است؛ به بیان دیگر وقوع روز یا روزهای یخبندان به شرایط اقلیمی روزهای گذشته وابسته است. آغاز یخبندان‌های پاییزه استان خراسان جنوبی در ماه نوامبر (آبان) بوده که به نخستین یخبندان‌های پاییزه معروف است. شروع یخبندان‌های زمستانه استان نیز در ماه ژانویه (دی) بوده است. بیشینه سیکل هوایی یخبندان در ماه اکتبر (مهر) در ایستگاه قائن با حدود ۰/۰۵۸ و سپس در ماه نوامبر (آبان) در ایستگاه‌های فردوس و بشرویه به ترتیب با حدود ۰/۰۴۳ و ۰/۰۵ رخ داده است. یافته‌های این پژوهش نقش نواحی کوهستانی و مرتفع را در تواتر و تداوم یخبندان در این گستره جغرافیایی تأیید می‌کند.

واژه‌های کلیدی: فراوانی، دمای کمینه، تحلیل آماری، دوره بازگشت، بیشینه درست‌نمایی.

مقدمه

یخ‌بندان، یکی از پدیده‌های جدی آب‌وهوایی است که بر جوانب مختلف زندگی انسان از جمله کشاورزی، حمل و نقل و انرژی تأثیر می‌گذارد (سبحانی و همکاران، ۱۳۹۶: ۳۹). این پدیده جزء بلایای طبیعی محسوب می‌شود و معمولاً با خسارات فراوان مالی و حتی جانی همراه است (جهان‌بخش و همکاران، ۱۳۹۵: ۸۴). با توجه به دیدگاه‌های پژوهشی، تعریف یخ‌بندان و روز یخ‌بندان متفاوت است. در فعالیت‌های کشاورزی، ساختمانی، پزشکی، حمل و نقل، صنعت و ...، آستانه‌های متفاوتی برای واکاوی یخ‌بندان مطرح است؛ اما از دیدگاه هواشناسی یخ‌بندان هنگامی رخ می‌دهد که دمای کمینه (شبان) به زیر صفر درجه سانتی‌گراد برسد (مسعودیان، ۱۳۹۲: ۱۲۹). هر فعالیتی تقریباً مستقیم یا غیرمستقیم متأثر از یخ‌بندان بوده است و وسعت ناشی از وقوع این پدیده بر بسیاری از فعالیت‌های انسانی تأثیر می‌گذارد. در این میان، تأثیر مخرب این پدیده بر بخش کشاورزی، به دلیل میزان زیاد خسارات واردشده، بسیار چشمگیر است (فرج‌زاده، ۱۳۹۲: ۷۶). یخ‌بندان‌ها را بر مبنای شدت، تداوم و زمان وقوع تقسیم‌بندی می‌کنند. منظور از تقسیم بر مبنای شدت، قدرت مؤلفه‌های توزیع انرژی است که معمولاً براساس دمای میانگین، حداقل میانگین صفر و زیر صفر و پایین‌ترین دمای حداقل‌ها اندازه‌گیری می‌شود. منظور از تداوم یخ‌بندان، مدت زمانی است که دمای صفر یا کمتر از آن در یک منطقه حاکم باشد. براساس زمان وقوع، یخ‌بندان‌هایی که زمان اوج آنها نسبت به تاریخ شاخص کمتر یا بیشتر باشد، زودرس یا دیررس تلقی می‌شوند. تداوم یخ‌بندان، چه در مقیاس ساعتی و چه در مقیاس روزانه، اهمیت ویژه‌ای دارد؛ برای نمونه یخ‌بندان به محض وقوع در درجه‌های حرارت کم باعث خسارت به بافت‌های گیاهی می‌شود. البته با توجه به حرارت‌های آستانه برای هر نوع محصولی متفاوت است. اگرچه پدیده یخ‌بندان به منزله پدیده‌ای تصادفی دقیق پیش‌بینی نمی‌شود، از مشاهده پیاپی آن آگاهی‌های مفیدی به دست می‌آید که با قوانین احتمالی تعریف‌شدنی است؛ بنابراین فهم بخش مهمی از مکانیزم یخ‌بندان به شناخت احتمال وقوع این پدیده بستگی دارد. از آنجا که یخ‌بندان بر بیشتر فعالیت‌ها و زیرساخت‌های اقتصادی مانند ترابری، سدها، آسفالت جاده‌ها، مصرف انرژی و نیز آسایش دمایی انسان تأثیر می‌گذارد، برای کاهش زیان‌ها و آثار مخرب این پدیده اقلیمی، آگاهی از تواتر، تداوم و شدت آن ضرورتی اجتناب‌ناپذیر است.

استان خراسان جنوبی از جمله استان‌هایی است که با پدیده یخ‌بندان مواجه بوده است؛ به گونه‌ای که همه‌ساله بروز این پدیده مخاطره‌آمیز با تأثیرگذاری بر بخش‌های مختلف اقتصادی منطقه، زیان‌های زیادی را به همراه می‌آورد؛ برای نمونه در آذرماه ۱۳۹۵ بر اثر این پدیده بیش از ۳۰۰ میلیارد تومان به بخش کشاورزی خسارت وارد شد (اداره جهاد کشاورزی خراسان جنوبی). از علل گسترده‌بودن خسارات ناشی از پدیده یخ‌بندان در منطقه، ناشناخته‌ماندن ابعاد و ماهیت این پدیده است که در این پژوهش تواتر و تداوم آن براساس قوانین احتمالی به صورت فرایندهایی تصادفی و با بهره‌گیری از مدل زنجیره مارکوف تحلیل شد.

پیشینه پژوهش

به پدیده یخ‌بندان در بسیاری از پژوهش‌ها، چه در سطح جهانی و چه در سطح داخلی، توجه شده است؛ اما درباره تواتر و تداوم روزهای یخ‌بندان با روش زنجیره مارکوف، پژوهش‌های چندانی صورت نگرفته است؛ این در

حالی است که با توجه به کاربرد ویژه این مدل، پژوهش‌های متعددی در دنیا با بهره‌گیری از آن صورت گرفته است؛ برای نمونه لاکس و همکاران^۱ (۲۰۰۹) ضمن بررسی ویژگی‌های بارش روزانه حوضه ولتا در غرب آفریقا، با بهره‌گیری از مدل زنجیره مارکوف مرتبه اول و مدل توزیع گاما، الگوهای متمایز فضایی احتمال وقوع بارش را شناسایی و مناطق مناسب را برای کشت معرفی کردند.

پژوهش لوکیو و همکاران^۲ (۲۰۱۰) نشان داد تحلیل وردایی رخ نمود فرین‌های دما در مناطق خشک و قاره‌ای پرتغال بیان‌کننده کاهش معنادار روزهای سرد و یخبندان است.

روتوندی^۳ (۲۰۱۰) با بهره‌گیری از داده‌های روزانه شبکه‌ای جهانی (GHCN) و مدل زنجیره مارکوف، روزهای برفی هشت ایستگاه هواشناسی ملی ایالات متحده را پیش‌بینی کرد. در این پژوهش، معناداری وابستگی عمق ارتفاع برف فردا نسبت به شرایط عمق برف امروز سنجیده شد. برآیند پژوهش نشان داد برآوردهای حاصل ماتریس انتقال مناسب بوده است و کد نوشته شده در زبان برنامه‌نویسی آماری R توانایی شبیه‌سازی را برای دیگر مناطق جغرافیایی نیز دارد.

مایروپیچ و همکاران^۴ (۲۰۱۰) پهنه‌های اقلیمی را با بهره‌گیری از زنجیره مارکوف واکاوی کردند. آنها از این روش برای بررسی رفتار بخار آب و ناهنجاری‌های دمایی دو منطقه آب‌وهوایی شبه‌جزیره ایبری و جزایر هاوایی در بخش مرکزی اقیانوس آرام بهره بردند. برآیند پژوهش تفاوت معناداری را بین دو منطقه آب‌وهوایی نشان داد؛ در عین حال آشکار ساخت ناهنجاری‌ها ناشی از شرایط فصلی و طولانی اقلیمی است و اختلاف معنادار در دو منطقه به تفاوت در پایداری کوتاه‌مدت شرایط اقلیمی دو پهنه برمی‌گردد.

فریر و همکاران^۵ (۲۰۱۱) به منظور مدل‌سازی مراتع متأثر از تغییرات آب‌وهوایی با به‌کارگیری فرایند مارکوف در کشور نیمه‌خشک مراکش به این نتیجه رسیدند که آثار اقتصادی و زیست‌محیطی خشکسالی در شبیه‌سازی انجام‌شده فراتر از پیش‌بینی‌های هواشناسی است.

سانتوس^۶ (۲۰۱۱) در بررسی روند دما و بارش‌های فرین در ایالت یوتا با برازش رگرسیون خطی ساده بر روی سری زمانی ۲۰ نمایه فرین بارشی و دمایی ۲۸ ایستگاه همدید در ایالت یوتای آمریکا طی سال‌های ۲۰۰۶-۱۹۳۰ دریافت دما، افزایش و روزهای یخبندان، کاهش چشمگیری داشته است؛ همچنین نمایه‌های فرین بارشی نشان‌دهنده تغییرپذیری بارش در محدوده پژوهشی طی دوره بررسی شده است.

دش^۷ (۲۰۱۲) رخداد بارش روزانه ایالت ادیسا را با بهره‌گیری از مدل زنجیره مارکوف و براساس داده‌های روزانه بارش بازه ۲۰۰۱ تا ۲۰۱۰ بررسی کرد. برآیند پژوهش نشان داد زنجیره مارکوف مرتبه اول به خوبی رخداد

¹ Laux et al

² Lucio et al

³ Rotondi

⁴ Mieruch

⁵ Freier et al

⁶ Santos et al

⁷ Dash

بارش تمامی ماه‌ها را نشان می‌دهد. چهار حالت تغییر به‌کاربرده‌شده در بازنشانی بارش در یک روز تر، برای نشان‌دادن توزیع مقدار بارش در هر طبقه، برازش خوبی را ارائه می‌دهد.

سلطانی و همکاران (۲۰۱۴) ضمن بررسی رخداد سرمای‌های غیرعادی آوریل ۲۰۰۹ به این نتیجه رسیدند گسترش بیش از حد تاوه قطبی به عرض‌های پایین‌تر، یخبندان شدید و فراگیر را در ایران به وجود آورده است. کیم و باین^۱ (۲۰۱۶) با بررسی تغییرپذیری زمانی - مکانی یخبندان‌های دیررس در شبه‌جزیره کره نشان دادند بیشترین فراوانی یخبندان‌های دیررس در سال ۲۰۱۳ بوده است؛ همچنین بین ارتفاع و عرض جغرافیایی با یخبندان‌های زودرس همبستگی مثبت وجود داشته است.

ویتاس و همکاران^۲ (۲۰۱۸) با واکاوی خطر یخبندان‌های بهاره بر درختان در سوئیس نشان دادند از سال ۱۹۷۵ تا ۲۰۱۶ خطر یخبندان‌های دیررس برای درختان واقع در ارتفاعات بیش از ۸۰۰ متر افزایش داشته است؛ ولی در نقاط پایین‌تر این خطر تغییری نکرده است.

عساکره (۱۳۸۹) در پژوهشی تواتر و تداوم یخبندان‌های زودرس و دیررس شهر زنجان را طی سال‌های ۱۳۸۳-۱۳۳۹ براساس قوانین احتمالی، به صورت فرایندهای تصادفی و با بهره‌گیری از تکنیک‌های زنجیره مارکوف بررسی کرد. وی نتیجه گرفت احتمال وقوع یخبندان در هر روز برای فروردین، ۰/۳۵۱۹ و برای مهرماه، ۰/۳۷۵ است.

کوزه‌گران و همکاران (۱۳۹۲) در پژوهشی پهنه‌بندی یخبندان‌های زودرس پاییزه و دیرهنگام بهاره و زمستانه را در استان خراسان جنوبی با بهره‌گیری از GIS بررسی کردند. نتایج نشان داد وقوع یخبندان‌های پاییزه از شمال استان به سمت جنوب استان است و یخبندان‌های پاییزه در جنوب استان زودتر پایان می‌پذیرد.

خورشیددوست و همکاران (۱۳۹۵) نیز احتمال تواتر و تداوم روزهای بارانی را در جنوب غرب ایران با بهره‌گیری از مدل زنجیره مارکوف طی سال‌های ۲۰۰۹-۱۹۹۵ ارزیابی کردند. نتایج ارزیابی آنها نشان داد کمترین احتمال بارش در مناطق هموار و بیشترین احتمال بارش در مناطق کوهستانی است.

صلاحی و فاطمی‌نیا (۱۳۹۶) ضمن پیش‌بینی روند تغییرات یخبندان در ایستگاه هواشناسی کاشان به این نتیجه رسیدند از تعداد روزهای یخبندان ضعیف، متوسط و شدید در آینده کاسته خواهد شد. در این بین بیشترین میزان کاهش تعداد روزهای یخبندان، مربوط به یخبندان‌های ضعیف خواهد بود.

شادمان و همکاران (۱۳۹۶) با بررسی یخبندان‌های دیررس در باختر ایران با بهره‌گیری از روش‌های آماری و مدل‌سازی زنجیره مارکوف نشان دادند در جنوب باختری منطقه، تاریخ آغاز یخبندان دیررس بین ۷ تا ۱۵ اسفند و در شمال منطقه بین ۱ تا ۱۵ اردیبهشت است. شدت یخبندان‌های دیررس در جنوب باختری منطقه نیز نسبت به شمال بیشتر است.

از آنجا که از بررسی پیاپی یخبندان به منزله فرایندی تصادفی، اطلاعات سودمندی حاصل می‌شود که با دانش احتمالات وصف‌شدنی است، در این نوشتار کوشش شده است با بهره‌گیری از قوانین احتمالات و براساس مدل زنجیره مارکوف، بعضی ویژگی‌های احتمالاتی وقوع یخبندان همچون فراوانی، طول دوره یخبندان و به‌ویژه تداوم ۲

^۱ Kim and Byun

^۲ Vitasse et al

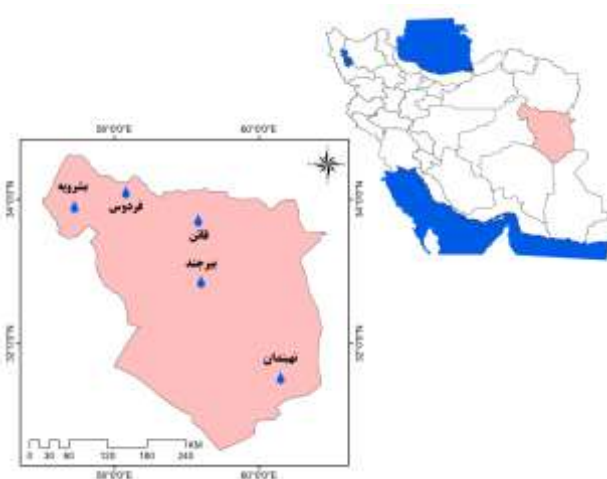
تا ۵ روزه و دوره بازگشت این پدیده اقلیمی، احتمال اقلیمی و سیکل هوایی آن در پهنه خراسان جنوبی واکاوی و الگوی احتمالی روزهای یخبندان معرفی شود.

روش‌شناسی پژوهش

محدوده پژوهش

منطقه بررسی شده در این پژوهش، استان خراسان جنوبی است (شکل ۱). استان خراسان جنوبی با مساحت ۱۵۱/۱۹۳ کیلومتر مربع در شرق ایران واقع شده است. این منطقه از نظر ناهمواری به دو قسمت کوهستانی مرتفع و پست هموار تقسیم شده است که آب و هوای خشک و بیابانی دارد. قسمت‌های کوهستانی در شمال و شمال غرب استان و قسمت‌های پست و هموار در دشت‌های مرکز و جنوب استان واقع شده‌اند. مناطق پست و هموار استان شامل زمین‌ها و دشت‌هایی هستند که در قسمت‌های مرکزی، غربی و جنوب غربی استان قرار گرفته‌اند (سایت اداره کل هواشناسی خراسان جنوبی، ۱۳۹۵).

متوسط کمینه دمای روزانه ایستگاه‌های همدید استان نشان می‌دهد ایستگاه‌های قائن و بیرجند به ترتیب با متوسط کمینه دمای روزانه ۶/۷ و ۱۱/۴ درجه سانتی‌گراد، سردترین نقاط دمایی استان‌اند که در بخش شمالی تا مرکزی استان جای گرفته‌اند. نهبندان با متوسط کمینه دمایی حدود ۱۳ درجه سانتی‌گراد نیز، گرم‌ترین پهنه بررسی شده است که در بخش جنوب تا جنوب شرق استان جای گرفته است و پس از آن شمال غرب استان با متوسط کمینه دمایی حدود ۱۰ تا ۱۱ درجه سانتی‌گراد قرار دارد. با توجه به موقعیت ایستگاه‌ها و شرایط ناهمواری منطقه از شمال و شمال شرق به سمت سایر قسمت‌های استان از میزان کمینه دمای روزانه کاسته می‌شود که پیروی درجه حرارت از شرایط ارتفاعی را به خوبی نشان می‌دهد. با توجه به شواهد آماری موجود ماه ژانویه (دی)، سردترین ماه سال منطقه است.



شکل - ۱: موقعیت جغرافیایی منطقه پژوهش به همراه ایستگاه‌های برگزیده

روش پژوهش

اساساً پژوهش دربارهٔ یخ‌بندان، فرایند گسترده‌ای را در قالب نگرشی سیستمی مشتمل بر تحلیل آماری، واکاوی هم‌دید و اصول و حفاظت در برابر یخ‌بندان دربرمی‌گیرد. در این بین، پژوهش حاضر به تحلیل آماری یخ‌بندان با بهره‌گیری از مدل زنجیرهٔ مارکوف در منطقهٔ پژوهشی توجه داشته است؛ بدین ترتیب داده‌های کمینهٔ دمای روزانهٔ ۵ ایستگاه هم‌دید استان خراسان جنوبی برای یک دورهٔ آماری مشترک ۲۷ ساله (۲۰۱۴-۱۹۸۸) با بهره‌گیری از مدل زنجیرهٔ مارکوف مرتبهٔ یک دو حالت واکاوی شد؛ سپس داده‌های روزانه در دو مقیاس ماهیانه و فصلی مرتب و بررسی و ماتریس فراوانی، ماتریس تغییر وضعیت، ماتریس احتمال در نرم‌افزار Minitab و ماتریس پایا در نرم‌افزار Matlab محاسبه شد و احتمال وقوع و وقوع نیافتن رخداد یخ‌بندان به دست آمد. در نهایت یخ‌بندان‌های تداومی و دورهٔ بازگشت یخ‌بندان‌های ۲ تا ۵ روزه در مقیاس میانگین ماهیانه و فصلی برآورد شد. مراحل زیر، روش انجام پژوهش حاضر را به منظور تحلیل مارکوفی یخ‌بندان‌های پهنهٔ خراسان جنوبی و دستیابی به اهداف این پژوهش نشان می‌دهد:

- ۱- ابتدا داده‌های دمای کمینهٔ روزانه به صورت زنجیره‌ای مارکوفی و براساس آستانهٔ صفر به دو قسمت تقسیم شدند. روزهای با کمینهٔ دمای مساوی و کمتر از صفر درجه به منزلهٔ روزهای یخ‌بندان (f) و روزهای با کمینهٔ دمای بیشتر از صفر درجهٔ سانتی‌گراد به منزلهٔ روزهای بدون یخ‌بندان (u) معرفی شدند.
- ۲- در این مرحله، فراوانی وقوع هریک از حالات دوگانه (یخ‌بندان و نبود یخ‌بندان) و تغییر حالات به هم محاسبه شد. در ادامه، ماتریس شمارش فراوانی برای به‌دست آوردن ماتریس احتمالات تغییر وضعیت محاسبه شد. ماتریس شمارشی دو وضعیتی در زیر نشان داده شده است:

$$\begin{matrix} & f & u \\ \begin{matrix} f \\ u \end{matrix} & \begin{bmatrix} n_{11} & n_{12} \\ n_{21} & n_{22} \end{bmatrix} \end{matrix} \quad (1)$$

این ماتریس، فراوانی تغییر وضعیت را از روز یخ‌بندان به روز یخ‌بندان با n_{11} ، از روز یخ‌بندان به روز بدون یخ‌بندان با n_{12} ، از روز بدون یخ‌بندان به روز یخ‌بندان با n_{21} و از روز بدون یخ‌بندان به روز بدون یخ‌بندان با n_{22} نشان می‌دهد. برای آزمون نیکویی برازش ماتریس فراوانی با فرایند دو حالت مارکوفی، دو آزمون استقلال و آزمون علیه روند انجام شد. در آزمون استقلال فرض صفر (H_0) بر این ایده استوار است که سری‌ها مستقل هستند (داده‌ها از زنجیرهٔ مارکوف مرتبهٔ ۲ پیروی نمی‌کنند) (عساکره و مازینی، ۱۳۸۹: ۳۷) و با بهره‌گیری از مقادیر دیده‌شده (O) و مقادیر مورد انتظار (E) صورت می‌گیرد:

$$\chi^2 = \frac{(O - E)^2}{E} \quad (2)$$

χ^2 بحرانی با $(r-1)$ ، $(c-1)$ درجهٔ آزادی (در اینجا r و c به ترتیب تعداد سطر و ستون ماتریس است) و در سطح ۵ درصد خطا از جدول مربوطه به دست می‌آید. اگر χ^2 محاسباتی بزرگ‌تر از χ^2 جدول باشد، فرض صفر در سطح معناداری مدنظر رد می‌شود (عساکره، ۱۳۸۷: ۵۰). از آنجا که زنجیرهٔ مارکوف نوعی داده‌های رتبه‌ای حاصل

از داده‌های نسبی است، برای آزمون علیه روند معقول‌تر است روش رتبه‌ای به کار رود. از روش‌های معمول، به‌کارگیری آزمون رتبه‌ای اسپیرمن است (معادله ۳). در این شیوه ابتدا اختلاف بین رتبه هر مقدار K و ترتیب آن در سری i محاسبه می‌شود تا d به دست آید.

$$r_s = 1 - \frac{6 \sum d_i^2}{n(n^2 - 1)} \quad (3)$$

برای $n > 8$ مقدار r_s^* به وسیله معادله ۴ و با درجه آزادی $n-2$ و با توجه به حدود بحرانی، فرض صفر (تصادفی بودن مقادیر) در ازای فرض مقابل (وجود روند در مقادیر) آزمون می‌شود (خورشیددوست و فخاری، ۱۳۹۵: ۹۱).

$$t_o = r_s \sqrt{\frac{n-2}{1-r_s^2}} \quad (4)$$

۳- شیوه‌های برآورد ماتریس احتمال به طرز تفکر پژوهشگر بستگی دارد و شامل روش‌های بی‌زی^۱، کمترین توان‌های دوم خطا (LSE)^۲، برآورد بی‌زی تجربی^۳ و بیشینه درست‌نمایی^۴ است. ساده‌ترین روش برآورد احتمال روش بیشینه درست‌نمایی است که در این پژوهش به کار گرفته شده است. بر مبنای نظریه کلاسیک، احتمال براساس فراوانی‌های نسبی در یک دوره آماری طولانی و به‌صورت درست‌نمایی بیشینه اتفاق افتادن رویداد مدنظر تعریف می‌شود. این درست‌نمایی غالباً با P نشان داده می‌شود (عساکره و مازینی، ۱۳۸۹: ۳۶). در این پژوهش، ماتریس احتمال تغییر حالت با روش درست‌نمایی بیشینه محاسبه شد.

$$p = \frac{f}{u} \begin{bmatrix} \frac{x_{11}}{x_{1+}} & \frac{x_{12}}{x_{1+}} \\ \frac{x_{21}}{x_{2+}} & \frac{x_{22}}{x_{2+}} \end{bmatrix} \quad (5)$$

ماتریس بالا، ماتریسی تصادفی است؛ زیرا درایه‌های آن نامنفی و مجموع درایه‌های آن در هر ردیف برابر یک است. یکی از راه‌های معمول ارائه احتمال‌های تغییر وضعیت یک زنجیره مارکوف به کمک ماتریس، تغییر وضعیت یک‌مرحله‌ای است. احتمال تغییر وضعیت یک مرحله‌ای برابر احتمال شرطی زیر است:

$$P_n = (i \rightarrow j) = P[X(n+1) = j | X(n) = i] \quad (6)$$

احتمال تغییر وضعیت یک‌مرحله‌ای برابر احتمال رفتن از حالت i به j در یک دوره زمانی با آغاز از n بیان می‌شود. احتمال تغییر وضعیت مرحله‌ای در نظریه و کاربرد زنجیره مارکوف نقشی کلیدی ایفا می‌کند. مانند احتمال تغییر وضعیت یک‌مرحله‌ای، احتمال تغییر وضعیت k مرحله‌ای را می‌توان به‌صورت زیر تعریف کرد:

$$P^k = (i \rightarrow j) = P[X(n+k) = j | X(n) = i] \quad (7)$$

¹ Bayes

² Least Squares Error

³ Empirical Bayes

⁴ Maximum Likelihood

ماتریس تغییر وضعیت K ، مرحله ماتریسی است که درایه‌های آن با احتمال‌های تغییر وضعیت K مرحله‌ای متناظرند. در این ماتریس برچسب سطر نشان‌دهنده وضعیت در زمان n و برچسب ستون نشان‌دهنده وضعیت در مرحله $n+k$ است.

۴- برای محاسبه ماتریس تغییر وضعیت k مرحله‌ای می‌توان ماتریس یک مرحله‌ای متناظر را به صورت ماتریسی به توان k رساند. از مقدار k به بعد هیچ تغییری در ماتریس ایجاد نمی‌شود. در این صورت گفته می‌شود ماتریس به حالت ایستایی (پایایی) رسیده است. پس از محاسبه احتمال پایا که بیان‌کننده تغییر وضعیت یخبندان در درازمدت است، دوره بازگشت هریک از تغییر وضعیت‌ها محاسبه شد. یکی از کاربردهای روش زنجیره مارکوف، برآورد احتمال وقوع یک رویداد با تداوم m روزه است. منظور از تداوم m روز یخبندان، تعداد m روز متوالی یخبندان است که رخ می‌دهد، ولی پیش و پس از m روز یخبندان رخ نداده باشد (عساکره، ۱۳۸۷: ۱۱). در این پژوهش براساس بردار احتمال پایا، تداوم یخبندان‌ها برای دوره‌های ۲ تا ۵ روزه محاسبه شد.

$$T_m = \frac{1}{P^{m-1}(1-P)} \quad (۸)$$

۵- در ادامه احتمالات اقلیمی یخبندان و بدون یخبندان، طول دوره‌های یخبندان و بدون یخبندان، سیکل اقلیمی یخبندان، فراوانی دوره‌های یخبندان و بدون یخبندان مورد انتظار محاسبه و برآورد شد. احتمال اقلیمی با رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$P_{ij} = \frac{m_{ij}}{\sum_j m_{ij}} \quad ij = 1, \dots, s \quad (۹)$$

m_{ij} فراوانی رخداد پدیده در ردیف i ام از ستون j ام و $\sum_j m_{ij}$ مجموع فراوانی‌های ردیف i ام است. احتمال اقلیمی که نشان می‌دهد چند درصد از روزهای بررسی شده یخبندان و چند درصد بدون یخبندان است، از روابط زیر حاصل می‌شود (حجازی‌زاده و شیرخانی، ۱۳۸۴: ۱۸):

$A_{(1)}$ = احتمال ساکن وقوع روزهای یخبندان، $A_{(2)}$ = احتمال ساکن وقوع روزهای بدون یخبندان

$$A_1 = FU / (FU + UF) \quad (۱۰)$$

$$A_2 = UF / (FU + UF) \quad (۱۱)$$

طول دوره‌های بدون یخبندان و یخبندان از روابط زیر به دست آمده است. $B_{(1)}$ = طول دوره‌های یخبندان در بازه مورد انتظار، $B_{(2)}$ = طول دوره‌های بدون یخبندان در بازه مورد انتظار

$$B_1 = 1/FU \quad (۱۲)$$

$$B_2 = 1/UF \quad (۱۳)$$

۶- پس از مشخص شدن طول دوره‌های یخبندان و بدون یخبندان، می‌توان با جمع آنها، سیکل هوایی را محاسبه کرد. سیکل هوایی نشان‌دهنده یک دوره یخبندان و یک دوره بدون یخبندان متوالی است.

C = سیکل هوایی در هر بازه

$$C = B_{(1)} + B_{(2)} \quad (۱۴)$$

از مهم‌ترین ویژگی‌های محاسبه‌شدنی با این روش، تعیین متوسط روزهای یخبندان و بدون یخبندان در هر ماه است؛ به بیان دیگر در هر ماه به‌طور متوسط چند روز یخبندان و چند روز بدون یخبندان است که با روابط زیر حساب می‌شود:

$U_{(1)} =$ فراوانی وقوع متوسط تعداد روزهای یخ بندان در بازه، $U_{(2)} =$ فراوانی وقوع متوسط تعداد روزهای بدون

یخبندان در بازه و $n =$ تعداد روزها در بازه

$$U_{(1)} = n \times A_{(1)} \quad (15)$$

$$U_{(2)} = n \times A_{(2)} \quad (16)$$

تجزیه و تحلیل و یافته‌های پژوهش

تعیین مرتبه تغییر وضعیت مارکوفی

وضعیت کمینه دمای روزانه پنج ایستگاه همدید استان خراسان جنوبی با فرض دو حالت بودن در ماتریس فراوانی در دو مقیاس ماهیانه و فصلی مرتب و محاسبه شد؛ جدول (۱) این موضوع را نشان می‌دهد. در مقیاس ماهیانه، بیشترین تغییر وضعیت از روز یخبندان به روز یخبندان بعدی به ترتیب در ماه‌های ژانویه (دی)، دسامبر (آذر)، فوریه (بهمن) و نوامبر (آبان) نمود دارد. در این بین بیشینه فراوانی تغییر وضعیت از روز یخبندان به روز یخبندان بعدی در ژانویه (دی) مربوط به قائن با ۵۵۸ روز و کمینه آن متعلق به نهبندان با ۲۹۹ روز بوده است؛ به بیان دیگر در ماه یادشده بسامد این تغییر حالت از شمال - بخش‌های کوهستانی و مرتفع پهنه بررسی شده - به سوی جنوب شرقی - منطبق بر قسمت‌های پست و هموار - روندی نزولی را نشان می‌دهد؛ در عین حال در این ماه بیشینه فراوانی تغییر وضعیت از روز بدون یخبندان به روز بدون یخبندان از آن نهبندان با ۳۳۳ روز و کمینه آن مربوط به قائن با ۹۴ روز بوده است. در ماه دسامبر (آذر) نیز در تغییر حالت روزهای یخبندان به یخبندان بعدی همانند ژانویه (دی) قائن با ۴۵۶ روز بیشترین و نهبندان با ۲۰۷ روز کمترین مقدار را به خود اختصاص داده‌اند. در این ماه بیشینه تعداد تغییر وضعیت از روز بدون یخبندان به روز بدون یخبندان در نهبندان ۶۶۹ روز و کمینه آن در قائن با ۱۴۲ روز بوده است.

در مقیاس فصلی و در زمستان بیشینه فراوانی تغییر وضعیت از روز یخ بندان به روز یخ بندان بعدی مربوط به قائن با ۱۰۹۰ روز و کمینه آن متعلق به نهبندان با ۴۳۸ روز بوده است؛ به بیان دیگر در این فصل نیز بسامد این تغییر وضعیت از شمال قلمرو مطالعاتی به سوی جنوب شرقی آن کاهش چشمگیری یافته است؛ این در حالی است که در این فصل بیشینه فراوانی تغییر وضعیت از روز بدون یخبندان به روز بدون یخبندان از آن نهبندان با ۱۶۳۴ روز و کمینه آن مربوط به قائن با ۷۶۷ روز است.

در فصل پاییز نیز همانند زمستان در روزهای یخبندان به یخبندان، قائن با ۷۸۹ روز بیشترین و نهبندان با ۲۲۵ روز کمترین مقدار را دارد. در این فصل بیشینه تعداد تغییر وضعیت از روز بدون یخ بندان به روز بدون یخبندان در نهبندان ۲۰۴۸ روز و کمینه آن در قائن با ۱۲۰۵ روز بوده است. در ادامه دو پرسش ارزیابی شد:

۱- آیا فراوانی حالات مستقل اند یا از زنجیره مارکوف دو حالتی پیروی می‌کنند؟

۲- آیا براساس فرض صفر داده‌ها بدون روند هستند ($H_0: \rho_s = 0$) یا براساس فرض مقابل از روند خاصی پیروی می‌کنند ($H_A: \rho_s \neq 0$)؟

بدین منظور دو آزمون انجام شد. از آزمون‌های بسیار معتبر برای ارزیابی ماتریس تغییر حالت مارکوفی، آزمون χ^2 است. این آزمون براساس جدول متقابل مقادیر انتقال مشاهده شده (o) و تعداد انتقال مورد انتظار (e) بنا نهاده شده است. مقادیر مورد انتظار از روی مقادیر مشاهده شده انتقال به دست می‌آید؛ با این فرض که جمع حاشیه‌ای مقادیر قابل انتظار مثل انتقالات مشاهده شده است (عساکره، ۱۳۸۷: ۵۱). براساس آزمون مربوطه ارزش آماره p (p-value) در هر سطحی معنادار است ($p=0$). اگر χ^2 به دست آمده از فرمول بزرگ‌تر از χ^2 به دست آمده از جدول باشد، در سطح معناداری مدنظر (۹۵ درصد)، شواهد کافی برای پذیرش فرض (استقلال داده‌ها و پیروی نکردن از زنجیره مارکوف دو حالته) وجود ندارد؛ این بدان معناست که فراوانی حالات از زنجیره مارکوف دو حالته پیروی می‌کند.

انجام آزمون χ^2 نشان داد در ایستگاههای بررسی شده فقط ماه‌های گرم سال از قاعده بالا پیروی نکردند؛ به این معنا که استقلال داشتند و از زنجیره مارکوف مرتبه اول پیروی نکردند و از ادامه محاسبات بعدی حذف شدند؛ به بیان دیگر فراوانی حالات در دیگر ماه‌ها نشان از پیروی از زنجیره مارکوف دو حالته داشت.

براساس آزمون رتبه‌ای اسپیرمن نیز با توجه به سطح خطای ۰/۰۱، شواهد کافی برای رد فرض صفر ($H_0: \rho_s = 0$) وجود ندارد؛ به بیان دیگر داده‌ها بدون روند هستند و فراوانی‌ها با زمان تغییر زیادی ندارند. بدین ترتیب با توجه به تعداد تغییر وضعیت‌ها به حالات دیگر و بنا بر تعریف احتمال، ماتریس احتمال تغییر حالت از ماتریس فراوانی حاصل شد (جدول ۲). ماتریس‌های یادشده احتمال تغییر وضعیت و انتقال حالت را نشان می‌دهد. براساس ماتریس‌های احتمال، بیشینه احتمال وقوع یک روز یخبندان پس از یک روز یخبندان در مقیاس ماهیانه در قلمرو بررسی شده مربوط به ژانویه (دی) در تمامی ایستگاهها بوده که در این بین قائل با حدود ۸۶ درصد، بیشترین احتمال وقوع را داشته است. در مجموع احتمال رخداد این حالت از شمال پهنه مطالعاتی دربرگیرنده توده‌های کوهستانی به سوی جنوب شامل سرزمین‌های پست و هموار کاهش یافته است.

در ماه‌های آوریل (فروردین) تا سپتامبر (شهریور)، هیچ حالتی از تغییر وضعیت حالت روزهای متوالی با یخبندان در ایستگاه‌های بررسی شده دیده نمی‌شود. این موضوع برای ماه اکتبر (مهر) نیز در بیشتر ایستگاه‌ها به جز بیرجند و قائل صادق است. در مقیاس فصلی نیز زمستان بیشینه احتمال وقوع یک روز یخبندان پس از یک روز یخبندان را در تمامی ایستگاه‌ها به استثناء بشرویه به خود اختصاص داده که در این بین قائل با حدود ۷۹ درصد پیشتاز بوده است. با توجه به جدول ماتریس احتمال تغییر حالت در منطقه بررسی شده، یخبندان عمدتاً در دو فصل زمستان و پاییز متمرکز شده است؛ به بیان دیگر این دو فصل بیشترین وضعیت و حالت رخداد یخبندان یا تغییر وضعیت به حالت‌های یادشده را داشته‌اند. البته باید اشاره کرد در بین ایستگاههای بررسی شده، قائل تنها ایستگاهی است که علاوه بر دو فصل یادشده تغییر وضعیت حالت‌های یخبندان - یخبندان، یخبندان - بدون یخبندان، بدون یخبندان - یخبندان و بدون یخبندان را در فصل بهار نیز داشته است.

جدول- ۱: ماتریس تغییر وضعیت برای داده‌های ماهیانه و فصلی ایستگاه‌های مطالعاتی (۱۹۸۸-۲۰۱۴)

ایستگاه بیرجند				ایستگاه بشرویه				
روز بدون یخبندان به بدون یخبندان	روز بدون یخبندان به یخبندان	روز یخبندان به بدون یخبندان	روز یخبندان به یخبندان	روز بدون یخبندان به بدون یخبندان	روز بدون یخبندان به یخبندان	روز یخبندان به بدون یخبندان	روز یخبندان به یخبندان	
۹۸۲	۲۹۷	۲۹۸	۸۵۸	۱۳۰۹	۲۴۷	۲۴۸	۶۳۲	زمستان
۲۴۳۲	۹	۹	۵	۲۴۵۴	۱	۱	۰	بهار
۲۴۷۵	۴	۴	۰	۲۴۷۹	۲	۲	۰	تابستان
۱۴۰۴	۲۳۳	۲۳۲	۶۱۲	۱۷۸۵	۱۴۷	۱۴۶	۴۰۵	پاییز
۱۵۱	۱۱۱	۱۱۲	۴۶۲	۱۹۰	۱۱۵	۱۱۶	۴۱۵	ژانویه
۲۴۴	۱۰۹	۱۰۹	۳۰۰	۳۸۲	۹۷	۹۶	۱۸۷	فوریه
۵۸۷	۷۶	۷۶	۹۶	۷۳۶	۳۵	۳۵	۳۰	مارس
۷۸۹	۸	۸	۵	۸۰۷	۱	۱	۰	آوریل
۸۳۴	۱	۱	۰	۸۳۶	۰	۰	۰	می
۸۰۷	۰	۰	۰	۸۰۹	۰	۰	۰	ژوئن
۸۳۲	۲	۲	۰	۸۳۶	۰	۰	۰	جولای
۸۳۲	۲	۲	۰	۸۳۶	۰	۰	۰	آگوست
۸۰۹	۰	۰	۰	۸۰۵	۲	۲	۰	سپتامبر
۷۶۴	۲۶	۲۶	۲۰	۸۳۴	۱	۱	۰	اکتبر
۴۵۰	۸۹	۸۸	۱۸۲	۶۳۰	۴۵	۴۵	۸۹	نوامبر
۱۸۹	۱۱۸	۱۱۸	۴۰۹	۳۱۹	۱۰۱	۱۰۰	۳۱۶	دسامبر
ایستگاه فردوس				ایستگاه نهبندان				
روز بدون یخبندان به بدون یخبندان	روز بدون یخبندان به یخبندان	روز یخبندان به بدون یخبندان	روز یخبندان به یخبندان	روز بدون یخبندان به بدون یخبندان	روز بدون یخبندان به یخبندان	روز یخبندان به بدون یخبندان	روز یخبندان به یخبندان	
۱۲۷۱	۲۳۵	۲۳۶	۶۹۴	۱۶۳۴	۱۸۲	۱۸۲	۴۳۸	زمستان
۲۵۱۰	۳	۳	۱	۲۴۲۲	۲	۲	۳۰	بهار
۲۴۸۳	۰	۰	۰	۲۴۸۱	۱	۱	۰	تابستان
۱۸۸۹	۱۴۲	۱۴۲	۳۰۹	۲۰۴۸	۱۰۰	۱۰۰	۲۳۵	پاییز
۲۲۱	۱۰۴	۱۰۵	۴۰۵	۳۳۳	۱۰۲	۱۰۲	۲۹۹	ژانویه
۳۶۰	۸۴	۸۴	۲۳۵	۵۰۳	۶۴	۶۳	۱۳۲	فوریه
۶۸۸	۴۷	۴۷	۵۴	۷۹۷	۱۶	۱۶	۷	مارس
۸۰۲	۳	۳	۱	۸۰۷	۱	۱	۰	آوریل
۸۶۷	۰	۰	۰	۸۳۴	۱	۱	۳۰	می
۸۳۹	۰	۰	۰	۸۰۹	۰	۰	۰	ژوئن
۸۳۶	۰	۰	۰	۸۳۴	۱	۱	۰	جولای

روز بدون یخ‌بندان به بدون یخ‌بندان	روز بدون یخ‌بندان به یخ‌بندان	روز یخ‌بندان به بدون یخ‌بندان	روز یخ‌بندان به یخ‌بندان	زمستان
۸۳۶	۰	۰	۰	۸۳۶
۸۰۹	۰	۰	۰	۸۰۹
۸۲۶	۴	۴	۲	۸۳۶
۶۶۸	۴۰	۴۰	۶۱	۷۴۱
۳۹۳	۹۸	۹۸	۲۴۶	۴۶۹
ایستگاه قائن				
۷۶۷	۲۸۸	۲۸۹	۱۰۹۰	زمستان
۲۳۷۴	۱۶	۱۷	۴۳	بهار
۲۴۷۷	۳	۳	۰	تابستان
۱۲۰۵	۲۴۵	۲۴۴	۷۸۹	پاییز
۹۴	۹۲	۹۲	۵۵۸	ژانویه
۱۷۸	۱۰۷	۱۰۶	۳۷۱	فوریه
۴۹۵	۸۹	۸۹	۱۶۱	مارس
۷۶۴	۱۳	۱۴	۱۲	آوریل
۷۹۹	۳	۳	۳۱	می
۸۰۹	۰	۰	۰	ژوئن
۸۳۲	۲	۲	۰	جولای
۸۳۶	۰	۰	۰	آگوست
۸۰۷	۱	۱	۰	سپتامبر
۷۰۹	۳۵	۳۴	۵۸	اکتبر
۳۵۴	۹۱	۹۰	۲۷۴	نوامبر
۱۴۲	۱۱۹	۱۱۹	۴۵۶	دسامبر

جدول-۲: ماتریس احتمال تغییر حالت برای داده‌های ماهیانه و فصلی ایستگاه‌های مطالعاتی (۲۰۱۴-۱۹۸۸)

ایستگاه بیرجند				ایستگاه بشروه				
روز بدون یخ‌بندان به بدون یخ‌بندان	روز بدون یخ‌بندان به یخ‌بندان	روز یخ‌بندان به بدون یخ‌بندان	روز یخ‌بندان به یخ‌بندان	روز بدون یخ‌بندان به بدون یخ‌بندان	روز بدون یخ‌بندان به یخ‌بندان	روز یخ‌بندان به بدون یخ‌بندان	روز یخ‌بندان به یخ‌بندان	
۰/۷۶۷۸	۰/۲۳۲۲	۰/۲۵۷۸	۰/۷۴۲۲	۰/۸۴۱۳	۰/۱۵۸۷	۰/۲۸۱۸	۰/۷۱۸۲	زمستان
-	-	-	-	-	-	-	-	بهار
-	-	-	-	-	-	-	-	تابستان
۰/۸۵۷۷	۰/۱۴۲۳	۰/۲۷۴۹	۰/۷۲۵۱	۰/۹۲۳۹	۰/۰۷۶۱	۰/۲۶۵۰	۰/۷۳۵۰	پاییز
۰/۵۷۶۳	۰/۴۲۳۷	۰/۱۹۵۱	۰/۸۰۴۹	۰/۶۲۳۰	۰/۳۷۷۰	۰/۲۱۸۵	۰/۷۸۱۵	ژانویه
۰/۶۹۱۲	۰/۳۰۸۸	۰/۲۶۶۵	۰/۷۳۳۵	۰/۷۹۷۵	۰/۲۰۲۵	۰/۳۳۹۲	۰/۶۶۰۸	فوریه
۰/۸۸۵۴	۰/۱۱۴۶	۰/۴۴۱۹	۰/۵۵۸۱	۰/۹۵۴۶	۰/۰۴۵۴	۰/۵۳۸۵	۰/۴۶۱۵	مارس

-	-	-	-	-	-	-	-	آوریل
-	-	-	-	-	-	-	-	می
-	-	-	-	-	-	-	-	ژوئن
-	-	-	-	-	-	-	-	جولای
-	-	-	-	-	-	-	-	آگوست
-	-	-	-	-	-	-	-	سپتامبر
۰/۹۶۷۱	۰/۰۳۲۹	۰/۵۶۵۲	۰/۴۳۴۸	-	-	-	-	اکتبر
۰/۸۳۴۹	۰/۱۶۵۱	۰/۳۲۵۹	۰/۶۷۴۱	۰/۹۳۳۳	۰/۰۶۶۷	۰/۳۳۵۸	۰/۶۶۴۲	نوامبر
۰/۶۱۵۶	۰/۳۸۴۴	۰/۲۲۳۹	۰/۷۷۶۱	۰/۷۵۹۵	۰/۲۴۰۵	۰/۲۴۰۴	۰/۷۵۹۶	دسامبر
ایستگاه فردوس				ایستگاه نهبندان				
روز بدون یخبندان به بدون یخبندان	روز بدون یخبندان به یخبندان	روز یخبندان به بدون یخبندان	روز یخبندان به یخبندان	روز بدون یخبندان به بدون یخبندان	روز بدون یخبندان به یخبندان	روز یخبندان به بدون یخبندان	روز یخبندان به یخبندان	
۰/۸۴۴۰	۰/۱۵۶۰	۰/۲۵۳۸	۰/۷۴۶۲	۰/۸۹۹۸	۰/۱۰۰۲	۰/۲۹۳۵	۰/۷۰۶۵	زمستان
-	-	-	-	-	-	-	-	بهار
-	-	-	-	-	-	-	-	تابستان
۰/۹۳۰۱	۰/۰۶۹۹	۰/۳۱۴۹	۰/۶۸۵۱	۰/۹۵۳۴	۰/۰۴۶۶	۰/۲۹۸۵	۰/۷۰۱۵	پاییز
۰/۶۸۰۰	۰/۳۲۰۰	۰/۲۰۵۹	۰/۷۹۴۱	۰/۷۶۵۵	۰/۲۳۴۵	۰/۲۵۴۴	۰/۷۴۵۶	ژانویه
۰/۸۱۰۸	۰/۱۸۹۲	۰/۲۶۳۳	۰/۷۳۶۷	۰/۸۸۷۱	۰/۱۱۲۹	۰/۳۲۳۱	۰/۶۷۶۹	فوریه
۰/۹۳۶۱	۰/۰۶۳۹	۰/۴۶۵۳	۰/۵۳۴۷	۰/۹۹۸۸	۰/۰۰۱۲	۰/۰۳۲۳	۰/۹۶۷۷	مارس
-	-	-	-	-	-	-	-	آوریل
-	-	-	-	-	-	-	-	می
-	-	-	-	-	-	-	-	ژوئن
-	-	-	-	-	-	-	-	جولای
-	-	-	-	-	-	-	-	آگوست
-	-	-	-	-	-	-	-	سپتامبر
-	-	-	-	-	-	-	-	اکتبر
۰/۹۴۳۵	۰/۰۵۶۵	۰/۳۹۶۰	۰/۶۰۴۰	۰/۹۷۳۷	۰/۰۲۶۳	۰/۴۱۶۷	۰/۵۸۳۳	نوامبر
۰/۸۰۰۴	۰/۱۹۹۶	۰/۲۸۴۹	۰/۷۱۵۱	۰/۸۵۴۳	۰/۱۴۵۷	۰/۲۷۸۷	۰/۷۲۱۳	دسامبر
ایستگاه قائن								
روز بدون یخبندان به بدون یخبندان				روز بدون یخبندان به یخبندان	روز یخبندان به بدون یخبندان	روز یخبندان به یخبندان		
۰/۷۲۷۰				۰/۲۷۳۰	۰/۲۰۹۶	۰/۷۹۰۴		زمستان
۰/۹۹۳۳				۰/۰۰۶۷	۰/۲۸۳۳	۰/۷۱۶۷		بهار
-				-	-	-		تابستان
۰/۸۳۱۰				۰/۱۶۹۰	۰/۲۳۶۲	۰/۷۶۳۸		پاییز
۰/۵۰۵۴				۰/۴۹۴۶	۰/۱۴۱۵	۰/۸۵۸۵		ژانویه

۰/۶۲۴۶	۰/۳۷۵۴	۰/۲۲۲۲	۰/۷۷۷۸	فوریه
۰/۸۴۷۶	۰/۱۵۲۴	۰/۳۵۶۰	۰/۶۴۴۰	مارس
-	-	-	-	آوریل
-	-	-	-	می
-	-	-	-	ژوئن
-	-	-	-	جولای
-	-	-	-	آگوست
-	-	-	-	سپتامبر
۰/۹۵۳۰	۰/۰۴۷۰	۰/۳۶۹۶	۰/۶۳۰۴	اکتبر
۰/۷۹۵۵	۰/۲۰۴۵	۰/۲۴۷۳	۰/۷۵۲۷	نوامبر
۰/۵۴۴۱	۰/۴۵۵۹	۰/۲۰۷۰	۰/۷۹۳۰	دسامبر

محاسبه احتمال پایا

تغییر حالات بی‌شماری برای زنجیره مارکوف تصور و برآورد می‌شود. وقتی ماتریس احتمال تغییر حالت چندین بار به توان برسد، در ماتریس تغییر وضعیت پدیده جالبی رخ می‌دهد؛ در این حالت همه ستون‌های ماتریس تغییر وضعیت با هم برابر می‌شود و با ادامه به توان رساندن ماتریس، تغییری دیده نمی‌شود (نمونه: برای روزهای یخ‌بندان ایستگاه بشرویه در فصل زمستان، ماتریس تغییر وضعیت K مرحله‌ای در مرحله هفدهم و تا ۴ رقم اعشار به این شرایط رسید و پایا شد).

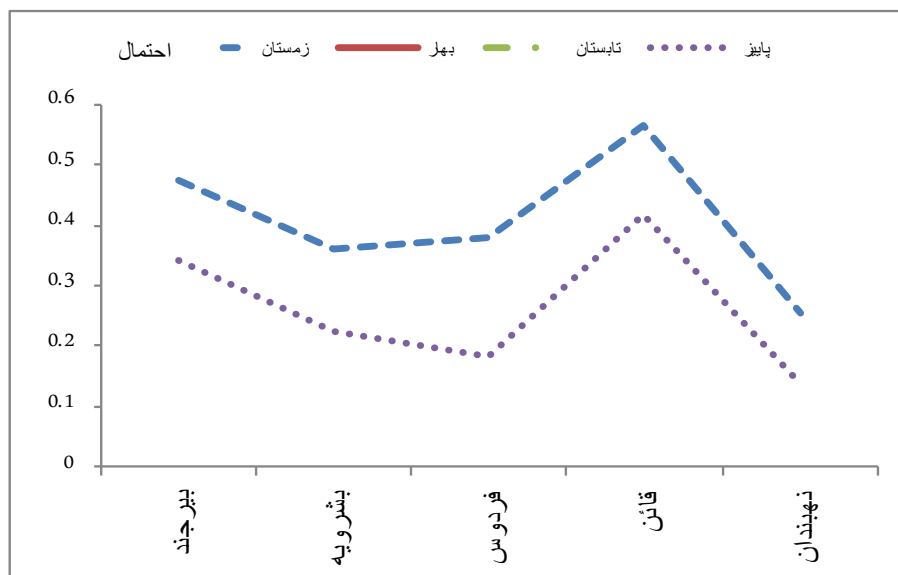
$$p = \begin{matrix} & f & u \\ \begin{matrix} f \\ u \end{matrix} & \begin{bmatrix} ۰/۳۶۰۳ & ۰/۶۳۹۷ \\ ۰/۳۶۰۳ & ۰/۶۳۹۷ \end{bmatrix} \end{matrix}$$

با توجه به ماتریس احتمال پایاشده این ایستگاه، احتمال رخداد یخ‌بندان در فصل زمستان ۳۶ درصد و احتمال رخ ندادن آن ۶۳ درصد است. با توجه به شواهد آماری، بیشینه احتمال رخداد روزهای یخ‌بندان را ایستگاه همدید قائن (با حدود ۲۴ درصد) تجربه می‌کند که در بخش شمالی و مرتفع استان واقع شده است. ایستگاه بیرجند نیز با احتمال رخداد حدود ۲۰ درصد روزهای یخ‌بندان واقع در بخش مرکزی استان در مرتبه بعدی قرار گرفته است. ایستگاه‌های واقع در بخش جنوبی و پست و هموار استان با کمینه احتمال رخداد روزهای یخ‌بندان همراه است؛ بدین گونه که کمینه احتمال رخداد روزهای یخ‌بندان در جنوب شرق استان دیده می‌شود که گستره‌های هموار استان را دربرمی‌گیرد.

در مقیاس فصلی و در فصل زمستان، بیشینه احتمال رخداد یخ‌بندان به ترتیب در ایستگاه‌های قائن، بیرجند، فردوس و بشرویه و کمینه آن در ایستگاه نهبندان است؛ این در حالی است که بیشینه یخ‌بندان پاییزه به ترتیب در ایستگاه‌های قائن و بیرجند و کمینه آن در ایستگاه نهبندان دیده می‌شود (شکل ۲).

وقوع یخ‌بندان در ماه‌های گرم امری محتمل نیست. نخستین یخ‌بندان‌های پاییزه استان خراسان جنوبی نیز در ماه نوامبر (آبان) دیده می‌شود که بیشینه رخداد آن در ایستگاه‌های قائن و بیرجند به ترتیب با احتمال رخداد ۴۵

و ۳۴ درصد همراه است. در طول ماه‌های ژانویه (دی)، فوریه (بهمن)، مارس (اسفند)، نوامبر (آبان) و دسامبر (آذر)، بیشترین احتمال وقوع یخبندان با مقادیر مختلف و بیشتر در شمال، مرکز و شمال غرب استان دیده می‌شود (جدول ۳).



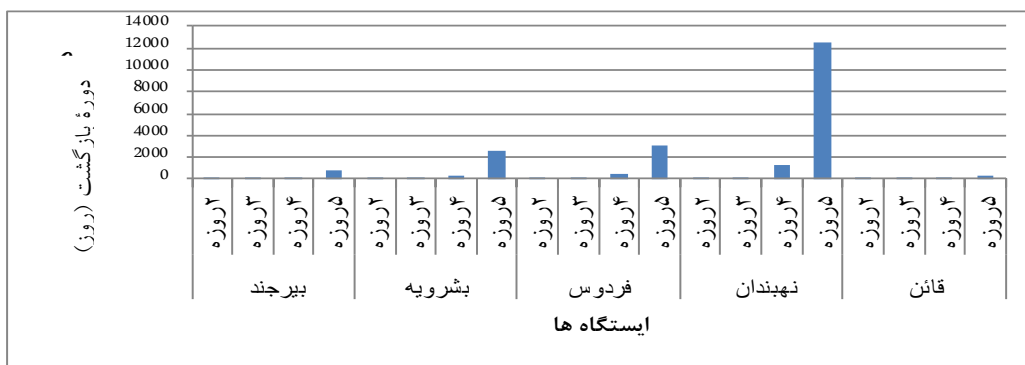
شکل - ۲: احتمال پایای یخبندان فصلی ایستگاه‌های خراسان جنوبی (۱۹۸۸ - ۲۰۱۴)

جدول - ۳: احتمال پایای روزهای همراه با رخداد یخبندان در ایستگاه‌های خراسان جنوبی (۱۹۸۸ - ۲۰۱۴)

نهبندان	قائن	فردوس	بشرویه	بیرجند	زمستان
۰/۲۵۴۵	۰/۵۶۵۷	۰/۳۸۰۷	۰/۳۶۰۳	۰/۴۷۳۹	زمستان
-	۰/۰۲۳۱	-	-	-	بهار
-	-	-	-	-	تابستان
۰/۱۳۵	۰/۴۱۷۱	۰/۱۸۱۷	۰/۲۲۳۱	۰/۳۴۱۱	پاییز
۰/۴۷۹۶	۰/۷۷۷۶	۰/۶۰۸۵	۰/۶۳۳۱	۰/۶۸۴۷	ژانویه
۰/۲۵۸۹	۰/۶۲۸۲	۰/۴۱۸۱	۰/۳۷۳۸	۰/۵۳۶۸	فوریه
-	۰/۲۹۹۸	۰/۱۲۰۷	۰/۰۷۷۸	۰/۲۰۵۹	مارس
-	-	-	-	-	آوریل
۰/۰۳۵۸	-	-	-	-	می
-	-	-	-	-	ژوئن
-	-	-	-	-	جولای
-	-	-	-	-	آگوست
-	-	-	-	-	سپتامبر
-	-	-	-	-	اکتبر
۰/۰۵۹۴	۰/۴۵۲۶	۰/۱۲۴۹	۰/۱۶۵۷	۰/۳۳۶۳	نوامبر
۰/۳۴۳۳	۰/۶۸۷۷	۰/۴۱۲	۰/۵۰۰۱	۰/۶۳۱۹	دسامبر

برآورد تداوم یخبندان

با توجه به برآورد صورت گرفته در منطقه مطالعاتی، کمینه دوره بازگشت یخبندان دو روزه در ایستگاه قائن و سپس در ایستگاه بیرجند به ترتیب با حدود ۵/۴ و ۶/۱ روزه دیده می‌شود؛ بدین معنا که رخداد یخبندان‌های دو روزه با تکرارپذیری هر ۶ روز یک‌بار در گستره مرکزی استان انتظار می‌رود. این مقدار در گستره جنوبی و شمال غرب به ترتیب به ۱۱ و ۸ روز افزایش یافته است که گویای تکرارپذیری کمتر یخبندان‌های مداوم در این مناطق است. در مقیاس ماهیانه هم ماه‌های ژانویه (دی)، فوریه (بهمن)، نوامبر (آبان)، دسامبر (آذر) و مارس (اسفند) به ترتیب در ایستگاه‌های قائن و بیرجند، کمینه دوره بازگشت یخبندان را با تداوم دو روزه دارند. در مجموع در مقیاس‌های ماهیانه و فصلی دوره بازگشت دو روزه، کوتاه‌ترین دوره بازگشت را دارد (جدول ۴ و ۵). شکل (۳) دوره‌های بازگشت یخبندان‌های ۲ تا ۵ روزه ایستگاه‌های خراسان جنوبی را نشان می‌دهد.



شکل ۳- دوره‌های بازگشت یخبندان‌های ۲ تا ۵ روزه ایستگاه‌های خراسان جنوبی (۲۰۱۴-۱۹۸۸)

جدول ۴- تداوم یخبندان ۲ تا ۵ روزه ایستگاه‌های خراسان جنوبی (۲۰۱۴-۱۹۸۸)

تداوم به روز	ژانویه	فوریه	مارس	آوریل	م	ژوئن	جولای	اگوست	سپتامبر	اکتبر	نوامبر	دسامبر	سالیانه
بیرجند	۲	۴/۶	۴/۰	۶/۱	-	-	-	-	-	۱۹/۲	-	۴/۳	۶/۱
	۳	۶/۸	۷/۵	۲۹/۷	-	-	-	-	-	۳۴۹/۸	-	۶/۸	۳۰/۰
	۴	۹/۹	۱۴/۰	۱۴۴/۳	-	-	-	-	-	۶۳۶۰/۳	-	۱۰/۸	۱۴۶/۸
	۵	۱۴/۴	۲۶/۰	۷۰۰/۶	-	-	-	-	-	۱۱۵۶۴۲/۵	-	۱۷/۰	۷۱۷/۵
	۲	۴/۳	۴/۳	۱۳/۹	-	-	-	-	-	-	-	۷/۲	۸/۰
بشرویه	۳	۶/۸	۱۱/۴	-	-	-	-	-	-	-	-	۴۳/۷	۵۵/۳
	۴	۱۰/۷	۳۰/۶	-	-	-	-	-	-	-	-	۲۶۳/۵	۳۸۰/۷
	۵	۱۷/۰	۸۱/۸	-	-	-	-	-	-	-	-	۱۵۹۰/۰	۲۶۱۸/۱
فردوس	۲	۴/۲	۴/۱	-	-	-	-	-	-	-	-	۹/۱	۸/۳
	۳	۶/۹	۹/۸	-	-	-	-	-	-	-	-	۷۳/۳	۵۹/۲

۴۲۲/۰	۲۴/۳	۵۸۶/۵	-	-	-	-	-	-	-	۶۴۶/۸	۲۳/۵	۱۱/۳	۴	نهبندان
۳۰۱۰/۳	۵۹/۰	۴۶۹۵/۶	-	-	-	-	-	-	-	۵۳۵۸/۴	۵۶/۲	۱۸/۶	۵	
۱۱/۴	۴/۴	۱۷/۹	-	-	-	-	-	۲۹/۰	-	-	۵/۲	۴/۰	۲	
۱۱۷/۵	۱۲/۹	۳۰۱/۳	-	-	-	-	-	۸۰۹/۲	-	-	۲۰/۱	۸/۴	۳	
۱۲۰۹/۸	۳۷/۶	۵۰۷۲/۷	-	-	-	-	-	۲۲۶۰۳/۹	-	-	۷۷/۸	۱۷/۴	۴	
۱۲۴۵۹	۱۰۹/۶	۸۵۳۹۸/۳	-	-	-	-	-	۶۳۱۳۹/۵	-	-	/۳ ۳۰۰	۳۶/۳	۵	
۵/۴	۴/۷	۴/۰	-	-	-	-	-	-	-	۴/۸	۴/۳	۵/۸	۲	قائن
۲۱/۶	۶/۸	۸/۹	۸۸/۶	-	-	-	-	-	-	۱۵/۹	۶/۸	۷/۴	۳	
۸۷/۰	۹/۸	۱۹/۷	۷۸۵/۳	-	-	-	-	-	-	۵۳/۰	۱۰/۸	۹/۶	۴	
۳۵۰/۵	۱۴/۳	۴۳/۶	۶۹۶۲/۱	-	-	-	-	-	-	۱۷۶/۸	۱۷/۳	۱۲/۳	۵	

جدول- ۵: تداوم یخبندان ۲ تا ۵ روزه در فصول مختلف (۲۰۱۴ - ۱۹۸۸)

پاییز	تابستان	بهار	زمستان	تداوم به روز	
۴/۴	-	-	۴/۰	۲	بیرجند
۱۳/۰	-	-	۸/۵	۳	
۳۸/۲	-	-	۱۷/۹	۴	
۱۱۲/۱	-	-	۳۷/۷	۵	
۵/۸	-	-	۴/۳	۲	بشرویه
۲۵/۹	-	-	۱۲/۰	۳	
۱۱۵/۹	-	-	۳۳/۴	۴	
۵۱۹/۶	-	-	۹۲/۸	۵	
۶/۷	-	-	۴/۲	۲	فردوس
۳۷/۰	-	-	۱۱/۱	۳	
۲۰۳/۷	-	-	۲۹/۳	۴	
۱۱۲۱/۲	-	-	۷۶/۹	۵	
۸/۶	-	-	۵/۳	۲	نهبندان
۶۳/۴	-	-	۲۰/۷	۳	
۴۶۹/۹	-	-	۸۱/۴	۴	
۳۴۸۰/۶	-	-	۳۱۹/۷	۵	
۴/۱	-	۴۴/۳	۴/۱	۲	قائن
۹/۹	-	۱۹۱۸/۳	۷/۲	۳	
۲۳/۶	-	۸۳۰۴۵/۱	۱۲/۷	۴	
۵۶/۷	-	۳۵۹۵۰۲۵/۵	۲۲/۵	۵	

احتمال اقلیمی

در این پژوهش مقادیر احتمال اقلیمی با بهره‌گیری از خاصیت پایایی ارزش‌های موجود در احتمال شرطی به دست آمده است. با این روش، احتمال وقوع و وقوع نیافتن یخ‌بندان در بازه‌های مدنظر بررسی می‌شود. کمینه احتمال اقلیمی یخ‌بندان در ماه‌های گرم سال است که رخداد یخ‌بندان در آن صفر بوده است. بیشینه احتمال یخ‌بندان در بیشتر ایستگاه‌ها در ماه‌های دسامبر (آذر) تا فوریه (بهمن) بوده که از حدود ۰/۴۹ تا ۰/۵۱ متغیر بوده است (جدول ۶). فراوانی وقوع دوره‌های یخ‌بندان و بدون یخ‌بندان نیز در جدول (۷) آمده است؛ بر این اساس بیشینه فراوانی رخداد یخ‌بندان در ماه ژانویه (دی) در ایستگاه‌های بشرویه، بیرجند و فردوس و کمینه آن در ماه فوریه (بهمن) در تمامی ایستگاه‌ها دیده می‌شود. از نظر فصلی نیز بیشینه فراوانی دوره‌های یخ‌بندان در پاییز و در ایستگاه‌های نهبندان و فردوس رخ داده است. طول دوره‌های یخ‌بندان و بدون یخ‌بندان نیز در جدول (۸) ارائه شده است. با توجه به شواهد، طول دوره یخ‌بندان و بدون یخ‌بندان در ایستگاه‌ها نسبت به هم تفاوت زیادی را نشان نمی‌دهند؛ ولی بیشینه مقدار آن در فصل پاییز و ماه دسامبر (آذر) است. درباره سیکل هوایی که نشان‌دهنده مجموع دوره‌های بارز و پی‌درپی گرم و سرد است (حجازی‌زاده و شیرخانی، ۱۳۸۴: ۱۸)، بیشینه سیکل هوایی یخ‌بندان در ماه اکتبر (مهر) در ایستگاه قائن و پس از آن در ماه نوامبر (آبان) به ترتیب در ایستگاه‌های فردوس و بشرویه دیده می‌شود. ایستگاه‌های یادشده در بخش کوهستانی و مرتفع پهنه پژوهشی واقع شده‌اند؛ این در حالی است که در بازه فصلی نیز در فصل زمستان، رویداد بیشینه سیکل یخ‌بندان در ایستگاه نهبندان بوده است؛ این امر گویای تمرکز بیشتر یخ‌بندان نهبندان در فصل زمستان است (جدول ۹).

جدول ۶- احتمال اقلیمی یخ‌بندان در ایستگاه‌های مطالعاتی (۲۰۱۴-۱۹۸۸)

ماه و فصل	نهبندان		قائن		بیرجند		فردوس		بشرویه	
	احتمال یخ‌بندان	احتمال نبود یخ‌بندان	احتمال یخ‌بندان	احتمال نبود یخ‌بندان	احتمال یخ‌بندان	احتمال نبود یخ‌بندان	احتمال یخ‌بندان	احتمال نبود یخ‌بندان	احتمال یخ‌بندان	احتمال نبود یخ‌بندان
ژانویه	۰/۵۰۰	۰/۵۰۰	۰/۵۰۰	۰/۵۰۰	۰/۵۰۲	۰/۴۹۸	۰/۵۰۲	۰/۴۹۸	۰/۵۰۲	۰/۴۹۸
فوریه	۰/۴۹۶	۰/۵۰۴	۰/۴۹۸	۰/۵۰۲	۰/۵۰۰	۰/۵۰۰	۰/۵۰۰	۰/۵۰۰	۰/۴۹۷	۰/۵۰۳
مارس	-	-	۰/۵۰۰	۰/۵۰۰	۰/۵۰۰	۰/۵۰۰	۰/۵۰۰	۰/۵۰۰	۰/۵۰۰	۰/۵۰۰
اکتبر	-	-	۰/۴۹۳	۰/۵۰۷	-	-	-	-	-	-
نوامبر	-	-	۰/۴۹۷	۰/۵۰۳	۰/۴۹۷	۰/۵۰۳	۰/۵۰۰	۰/۵۰۰	۰/۵۰۰	۰/۵۰۰
دسامبر	۰/۵۰۰	۰/۵۰۰	۰/۵۰۰	۰/۵۰۰	۰/۵۰۰	۰/۵۰۰	۰/۵۰۰	۰/۵۰۰	۰/۴۹۸	۰/۵۰۲
زمستان	۰/۵۰۰	۰/۵۰۰	۰/۵۰۱	۰/۴۹۹	۰/۵۰۱	۰/۴۹۹	۰/۵۰۱	۰/۴۹۹	۰/۵۰۱	۰/۴۹۹
پاییز	۰/۵۰۰	۰/۵۰۰	۰/۴۹۹	۰/۵۰۱	۰/۴۹۹	۰/۵۰۱	۰/۵۰۰	۰/۵۰۰	۰/۴۹۸	۰/۵۰۲

جدول-۷: فراوانی دوره‌های یخبندان و بدون یخبندان در ایستگاه‌های مطالعاتی (۲۰۱۴-۱۹۸۸)

ماه و فصل	نهبندان		قائن		بیرجند		فردوس		بشرویه	
	یخبندان	بدون یخبندان	یخبندان	بدون یخبندان	یخبندان	بدون یخبندان	یخبندان	بدون یخبندان	یخبندان	بدون یخبندان
ژانویه	۴۱۸/۵	۴۱۸/۵	۴۱۸/۵	۴۱۸/۵	۴۲۰/۴	۴۱۶/۶	۴۲۰/۰	۴۱۶/۰	۴۲۰/۳	۴۱۶/۷
فوریه	۳۷۸/۵	۳۸۴/۵	۳۷۹/۷	۳۸۳/۳	۳۸۱/۵	۳۸۱/۵	۳۸۲/۰	۳۸۲/۰	۳۷۹/۰	۳۸۳/۰
مارس	-	-	۴۱۸/۵	۴۱۸/۵	۴۱۸/۰	۴۱۸/۰	۴۱۸/۵	۴۱۸/۵	۴۱۸/۵	۴۱۸/۵
اکتبر	-	-	۴۱۲/۴	۴۲۶/۶	-	-	-	-	-	-
نوامبر	-	-	۴۰۲/۸	۴۰۷/۲	۴۰۲/۷	۴۰۷/۳	۴۰۵/۰	۴۰۵/۰	۴۰۵/۰	۴۰۵/۰
دسامبر	۴۱۸/۵	۴۱۸/۵	۴۱۸/۵	۴۱۸/۵	۴۱۸/۵	۴۱۸/۵	۴۱۸/۰	۴۱۸/۰	۴۱۶/۴	۴۲۰/۶
زمستان	۱۲۱۸/۵	۱۲۱۸/۵	۱۲۲۰/۶	۱۲۱۶/۴	۱۲۲۰/۰	۱۲۱۶/۰	۱۲۲۱/۱	۱۲۱۵/۹	۱۲۲۱/۰	۱۲۱۶/۰
پاییز	۱۲۴۲/۰	۱۲۴۲/۰	۱۲۳۹/۵	۱۲۴۴/۵	۱۲۳۹/۳	۱۲۴۴/۷	۱۲۴۱/۵	۱۲۴۱/۵	۱۲۳۷/۸	۱۲۴۶/۲

جدول-۸: طول دوره یخبندان و بدون یخبندان در ایستگاه‌های مطالعاتی (۲۰۱۴-۱۹۸۸)

ماه و فصل	نهبندان		قائن		بیرجند		فردوس		بشرویه	
	یخبندان	بدون یخبندان	یخبندان	بدون یخبندان	یخبندان	بدون یخبندان	یخبندان	بدون یخبندان	یخبندان	بدون یخبندان
ژانویه	۰/۰۱۰	۰/۰۱۰	۰/۰۱۱	۰/۰۱۱	۰/۰۰۹	۰/۰۰۹	۰/۰۱۰	۰/۰۱۰	۰/۰۰۹	۰/۰۰۹
فوریه	۰/۰۱۶	۰/۰۱۶	۰/۰۰۹	۰/۰۰۹	۰/۰۰۹	۰/۰۰۹	۰/۰۱۲	۰/۰۱۲	۰/۰۱۰	۰/۰۱۰
مارس	-	-	۰/۰۱۱	۰/۰۱۱	۰/۰۱۳	۰/۰۱۳	۰/۰۲۱	۰/۰۲۱	۰/۰۲۹	۰/۰۲۹
اکتبر	-	-	۰/۰۲۹	۰/۰۲۹	-	-	-	-	-	-
نوامبر	-	-	۰/۰۱۱	۰/۰۱۱	۰/۰۱۱	۰/۰۱۱	۰/۰۲۵	۰/۰۲۵	۰/۰۲۲	۰/۰۲۲
دسامبر	۰/۰۱۳	۰/۰۱۳	۰/۰۰۸	۰/۰۰۸	۰/۰۰۸	۰/۰۰۸	۰/۰۱۰	۰/۰۱۰	۰/۰۱۰	۰/۰۱۰
سالیانه	۰/۰۰۴	۰/۰۰۴	۰/۰۰۲	۰/۰۰۲	۰/۰۰۲	۰/۰۰۲	۰/۰۰۳	۰/۰۰۳	۰/۰۰۳	۰/۰۰۳
زمستان	۰/۰۰۵	۰/۰۰۵	۰/۰۰۳	۰/۰۰۳	۰/۰۰۳	۰/۰۰۳	۰/۰۰۴	۰/۰۰۴	۰/۰۰۴	۰/۰۰۴
پاییز	۰/۰۱۰	۰/۰۱۰	۰/۰۰۴	۰/۰۰۴	۰/۰۰۴	۰/۰۰۴	۰/۰۰۷	۰/۰۰۷	۰/۰۰۷	۰/۰۰۷

جدول-۹: سیکل هوایی دوره یخبندان و بدون یخبندان در ایستگاه‌های مطالعاتی (۲۰۱۴-۱۹۸۸)

ماه	نهبندان	قائن	بیرجند	فردوس	بشرویه
ژانویه	۰/۰۲۰	۰/۰۲۲	۰/۰۱۸	۰/۰۱۹	۰/۰۱۷
فوریه	۰/۰۳۱	۰/۰۱۹	۰/۰۱۸	۰/۰۲۴	۰/۰۲۱
مارس	-	۰/۰۲۲	۰/۰۲۶	۰/۰۴۳	۰/۰۵۷
اکتبر	-	۰/۰۵۸	-	-	-
نوامبر	-	۰/۰۲۲	۰/۰۲۳	۰/۰۵۰	۰/۰۴۴

دسامبر	۰/۰۲۵	۰/۰۱۷	۰/۰۱۷	۰/۰۲۰	۰/۰۲۰
سالیانه	۰/۰۰۷	۰/۰۰۴	۰/۰۰۴	۰/۰۰۵	۰/۰۰۵
زمستان	۰/۰۱۱	۰/۰۰۷	۰/۰۰۷	۰/۰۰۸	۰/۰۰۸
پاییز	۰/۰۲۰	۰/۰۰۸	۰/۰۰۹	۰/۰۱۴	۰/۰۱۴

نتیجه‌گیری

پژوهش حاضر احتمال رخداد، توأتر و دوره بازگشت یخ‌بندان‌های استان خراسان جنوبی را شناسایی و واکاوی کرده است. یافته‌ها نشان داد در بازه ماهیانه، بیشینه رخداد یخ‌بندان در ایستگاه‌های قائن و بیرجند در ژانویه (دی) به ترتیب با حدود ۷۸ و ۶۹ درصد و کمینه احتمال رخداد یخ‌بندان نیز در ایستگاه همدید نهبندان در فوریه (بهمن) با حدود ۲۶ درصد نمودی آشکار دارد. واکاوی فصلی یخ‌بندان استان خراسان جنوبی نیز گویای بیشینه رخداد یخ‌بندان در فصل زمستان و در ایستگاه‌های قائن، بیرجند، فردوس و بشرویه بوده و کمینه آن در ایستگاه نهبندان دیده شده است.

در فصل پاییز نیز کماکان ایستگاه‌های قائن و بیرجند بیشینه و ایستگاه نهبندان کمینه احتمال رخداد یخ‌بندان را نشان دادند. در این بین ایستگاه‌های قائن (در شمال)، بیرجند (در مرکز) و فردوس و بشرویه (در شمال غرب)، بیشینه یخ‌بندان پاییزه را آشکار ساختند که ممکن است تأثیر منفی بر بعضی از محصولات کشاورزی منطقه مانند زعفران، زرشک، انار، چغندرقد، پنبه و گندم داشته باشد. آغاز یخ‌بندان‌های پاییزه استان خراسان جنوبی که به نخستین یخ‌بندان‌های پاییزه معروف است، در ماه نوامبر (آبان) و شروع رخداد یخ‌بندان‌های زمستانه نیز در ماه ژانویه (دی) بوده است. در مجموع بسامد رخداد یخ‌بندان‌های پاییزه و زمستانه از شمال به جنوب پهنه پژوهشی کاهش می‌یابد. این موضوع با نظر کوزه‌گران و رحیم‌زاده (۱۳۹۲) مطابقت دارد.

بیشینه احتمال یخ‌بندان نیز در بیشتر ایستگاه‌ها در ماه‌های دسامبر (آذر) تا فوریه (بهمن) از حدود ۰/۴۹ تا ۰/۵۱ متغیر بوده است. فراوانی رخداد یخ‌بندان نیز با بیشینه رخداد آن در ماه ژانویه (دی) با حدود ۴۲۰ همراه بوده است و کمینه مقدار آن در ماه فوریه (بهمن) در تمامی ایستگاه‌ها دیده می‌شود. بیشینه سیکل هوایی یخ‌بندان نیز در ماه اکتبر (مهر) در ایستگاه قائن با حدود ۰/۰۵۸ و پس از آن در ماه نوامبر (آبان) در ایستگاه‌های فردوس و بشرویه به ترتیب با حدود ۰/۰۵ و ۰/۰۴۳ رخ داده است. تداوم دو روزه یخ‌بندان نیز در تمامی ایستگاه‌ها کمینه دوره بازگشت را نشان دادند که گویای پایایی و تداوم بیشتر یخ‌بندان‌های دو روزه در خراسان جنوبی است. در عین حال بیشینه تداوم دو روزه یخ‌بندان در فصول زمستان و پاییز و در ایستگاه‌های واقع در بخش شمال تا مرکز استان بوده است. این پژوهش نشان داد در احتمال رخداد یخ‌بندان در منطقه نباید به‌سادگی از نقش ناهمواری‌ها گذشت؛ به گونه‌ای که این احتمال متناسب با شرایط توپوگرافیک افزایش می‌یابد؛ از جنوب که پهنه‌ای پست و کم‌ارتفاع است به سوی شمال که گستره‌ای کوهستانی را دربرمی‌گیرد.

پیشنهاد

پیشنهاد می‌شود با توجه به اینکه علت‌یابی پدیده‌ها در حیطه زنجیره مارکوف نیست، به واکاوی سامانه‌ها و الگوهای هم‌دید مؤثر در رخداد یخبندان در این گستره جغرافیایی برای پژوهش‌های آینده توجه شود.

منابع

- ۱- جهان‌بخش اصل، سعید؛ راشدی، شهناز و اصلاحی، مهدی، (۱۳۹۵)، تجزیه و تحلیل دوره‌های بازگشت یخبندان و توزیع زمانی آن در مراغه، جغرافیا و برنامه‌ریزی، سال ۲۰، شماره ۵۸، تبریز، ۱۰۰-۸۳.
- ۲- حجازی‌زاده، زهرا و شیرخانی، علیرضا، (۱۳۸۴)، محاسبه و تجزیه و تحلیل ساعت‌های تداوم یخبندان با استفاده از برنامه‌نویسی دلفی (مطالعه موردی: لرستان)، تحقیقات جغرافیایی، سال ۲۰، شماره ۱ (پیاپی ۷۶)، تهران، ۱۵۰-۱۳۹.
- ۳- خورشیددوست، علی‌محمد و فخاری، مجتبی، (۱۳۹۵)، بررسی احتمال تواتر و تداوم روزهای بارانی در جنوب غرب ایران با استفاده از مدل زنجیره مارکوف، نشریه جغرافیا و برنامه‌ریزی، سال ۲۰، شماره ۵۵، تبریز، ۱۰۴-۸۷.
- ۴- سایت اداره کل هواشناسی خراسان جنوبی، ۱۳۹۵.
- ۵- سایت اداره جهاد کشاورزی خراسان جنوبی، ۱۳۹۶.
- ۶- سبحانی، بهروز، گنجی، مسعود و گل‌دوست، اکبر، (۱۳۹۶)، تعیین و بررسی تاریخ‌های آغاز و پایان یخبندان‌های زودرس و دیررس و احتمال تداوم، شدت و تواتر آن در استان اردبیل در دوره آماری ۱۹۹۶ تا ۲۰۱۰، پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، دوره ۴۹، شماره ۱، تهران، ۵۳-۳۹.
- ۷- شادمان، حسن؛ جلالی، مسعود و لطیفی، فرصت، (۱۳۹۶)، پیشنهاد یک روش آماری - احتمالی برای شناسایی یخبندان‌های دیررس (مطالعه موردی: یخبندان‌های دیررس در باختر ایران)، مطالعات علوم محیط زیست، دوره ۲، شماره ۱، تهران، ۱۱۰-۱۰۱.
- ۸- صلاحی، برومند و فاطمی‌نیا، فخرالسادات، (۱۳۹۶)، پیش‌بینی روند تغییرات یخبندان در ایستگاه هواشناسی کاشان، مجله جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، سال ۲۸، شماره ۶۷، اصفهان، ۳۶-۲۱.
- ۹- عساکره، حسین، (۱۳۸۷)، بررسی احتمال تواتر و تداوم روزهای بارانی در شهر تبریز با استفاده از مدل زنجیره مارکوف، تحقیقات منابع آب ایران، شماره ۲، تهران، ۵۶-۴۶.
- ۱۰- عساکره، حسین، (۱۳۸۹)، احتمال تواتر و تداوم یخبندان‌های زودرس و دیررس در شهر زنجان، مجله جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، سال ۲۱، شماره ۳۷، اصفهان، ۱۶-۱.
- ۱۱- عساکره، حسین و مازینی، فرشته، (۱۳۸۹)، بررسی احتمال وقوع روزهای خشک در استان گلستان با استفاده از مدل زنجیره مارکوف، جغرافیا و توسعه، شماره ۱۷، زاهدان، ۴۴-۲۹.
- ۱۲- فرج‌زاده، منوچهر، (۱۳۹۲)، مخاطرات اقلیمی ایران، انتشارات سمت، چاپ اول، تهران، ۷۷.
- ۱۳- کوزه‌گران، سعیده و رحیم‌زاده، فاطمه، (۱۳۹۲)، پهنه‌بندی یخبندان‌های زودرس پاییزه، دیرهنگام بهاره و زمستانه با استفاده از GIS (مطالعه موردی: استان خراسان جنوبی)، دومین کنفرانس بین‌المللی مخاطرات محیطی، چاپ اول، تهران، خوارزمی، ۱۰.

۱۴- مسعودیان، سید ابوالفضل و دارند، محمد، (۱۳۹۲)، تحلیل هم‌دید یخ‌بندان‌های فراگیر و بادوام ایران، جغرافیا و

برنامه‌ریزی محیطی، شماره ۵۰، تهران، ۱۴۰-۱۲۹.

- 15- Kim, J.A. and H.R. Byun, (2016). **Spatiotemporal variability of the latest frosts in Korean Peninsula and causes of atmospheric circulation**, Meteorology and Atmospheric Physics, Vol 128 (5), Austria, Pp 663-675.
- 16- Korbinian, P.Freier, b, Uwe A.Schneiderb, Manfred Finckc, (2011). **Dynamic interactions between vegetation and land use in semi –arid Morocco: Using a Markov process for modeling rangelands under climate chang**, Agriculture, Ecosystems and Environment, 140, Netherlands, Pp 462-472.
- 17- Laux, P., Wagner, S., Wagner, A., Jacobeit, J., Ardossy, A. B., Kunstmann, H., (2009). **Modelling daily precipitation features in the Volta Basin of West Africa**, Int.J.Climatol, 29, USA, Pp 937-954.
- 18- Lucio, PS., Silva, AM. and Serrano, Al., (2010). **Changes in of temperature extremes in continental Portugal: a stochastic approach**, Meterological Application, VOL 17, USA, Pp 404-418.
- 19- Mieruch, S., Noel, H., Bovensmann, J.P. .Burrows, and J.A.Freund, (2010). **Markov chain analysis of regional climates**, Nonlin, Processes Geophys, 17, Germany, Pp 651-661.
- 20- Priyaranjan, R.Dash, (2012). **A Markof chain Modelling of daily precipitation occurrences of Odisha**, ISSN 2230- 9924, Vol 3, issue 4, India, Pp 482-486.
- 21- Rotondi, M.A, (2010). **Estimating transition matrices to predict tomorrow's snowfall using real data**, Journal of Statistics Education, Vol 18 (3), USA, Pp 1-14.
- 22- Santos, C.A.C, Neale, C.M.U, Rao.T.V.R ana Silva, B.B., (2010). **Trends in indices for extremes in daily temperature and precipitation over Utah, USA**, Int.J.Climatol, Vol 31, USA, Pp1813-1822.
- 23- Soltani, M., Babu,C.A., Mofidi, A., (2014). **Meteorological aspects of an abnormal cooling event over Iran in April 2009**, Meteorol Atmos Phys, Vol 124, Austria, Pp 47-65.
- 24- Vitasse, Y., Schneider, L., Rixen, C., Christen, D., Rebetez, M., (2018). **Increase in the risk of exposure of forest and fruit trees to spring frosts at higher elevations in Switzerland over the last four decades**, Agricultural and Forest Meteorology, Vol 248, Netherlands, Pp 60-69.