

## روند روزهای یخبندان در ایران (۱۹۸۲-۲۰۱۲)

حسین محمدی<sup>۱</sup>، قاسم عزیزی<sup>۲</sup>، فرامرز خوش اخلاق<sup>۳</sup> و فیروز رنجبر<sup>۴</sup>  
تاریخ وصول: ۱۳۹۴/۱/۲۲، تاریخ تایید: ۱۳۹۴/۳/۵

### چکیده

امروزه گرمایش جهانی باعث تغییر در روند شرایط اقلیمی در نواحی مختلف جهان شده است. این تغییرات می‌تواند در شاخص‌های دمایی و بارش نمود پیدا کند. هدف از پژوهش حاضر، بررسی روند روزهای یخبندان ایران در دوره ۱۹۸۲-۲۰۱۲ می‌باشد. جهت انجام این کار از داده‌های روزانه دمای حداقل هوا مربوط به ۴۴ ایستگاه سینوپتیک کشور در بازه زمانی ۱/۱/۱۹۸۲ تا ۳۰/۱۲/۲۰۱۲ استفاده شده است. جهت استخراج روندها از نرم‌افزار RCLimDex تحت زبان برنامه‌نویسی R بهره گرفته شده است. نتایج حاصل از پژوهش نشان می‌دهد در دوره مطالعاتی، بیشتر ایستگاه‌های کشور روند روزهای همراه با یخبندان دارای شیب منفی است. این روند از نزدیک به صفر تا  $-1/4$  (Slope estimate = -1.4) روز در هر سال متغیر می‌باشد. همچنین نتایج نشان داد با وجود کاهش روزهای یخبندان در بیشتر ایستگاه‌ها، در برخی از ایستگاه‌ها نیز یک شیب ملایم مثبت در تعداد روزهای یخبندان وجود داد. بیشترین افزایش مربوط به ایستگاه سمنان با ۵/۰ روز افزایش در هر سال می‌باشد.

کلیدواژگان: روزهای یخبندان، گرمایش جهانی، تغییر اقلیم، روند، ایران.

۱. عضو هیأت علمی دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران.
۲. عضو هیأت علمی دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران.
۳. عضو هیأت علمی دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران.
۴. دانشجوی دکتری اقلیم‌شناسی دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران.

## مقدمه

در بخش‌های بزرگی از خشکی‌های نیمکره شمالی، دمای هوا در طول قرن گذشته افزایش داشته است، به ویژه دمای حداقل افزایش بیشتری را نسبت به دمای بیشینه نشان می‌دهد (اسچفینگر و همکاران، ۲۰۰۳)<sup>۱</sup>. در طول نیمه دوم قرن ۲۱ میانگین دما در دو متری سطح زمین حدود ۰/۶ درجه سلسیوس افزایش یافته کرده است (ال‌کنای و همکاران<sup>۲</sup>، ۲۰۱۱، کیان و لین<sup>۳</sup>، ۲۰۰۴)، اما این گرمایش از نظر مکانی و زمانی یکسان نیست. این افزایش دما همچنان ادامه خواهد داشت مگر اینکه انتشار گازهای گلخانه‌ای به شدت کاهش پیدا کند (سیلمن و روکنر، ۲۰۰۸). دومین گزارش هیأت بین‌الدول تغییر اقلیم اشاره دارد مبنی بر اینکه، اگرچه مناطق چندگانه‌ای تغییراتی محلی را در حدهای اقلیمی تجربه می‌کنند، اما برای بحث درباره تغییرات اقلیمی جهانی، کمبود آماری وجود دارد. (کیکتیو و همکاران، ۲۰۰۳)<sup>۴</sup>. فرین‌های اقلیمی شامل امواج گرمایی و رخدادهای حدی بارش یا خشکسالی‌ها اثرات مهمی بر اکوسیستم‌ها و جوامع دارد (لورنز و همکاران<sup>۵</sup>، ۲۰۱۴ و مانتون و همکاران<sup>۶</sup>، ۲۰۱۱). برای مثال رخدادهای حدی دمایی می‌تواند اثراتی را بر بسیاری از جنبه‌های زندگی انسانها از جمله: مرگ و میر، آسایش، اکولوژی، کشاورزی و هیدرولوژی داشته باشد (ال‌کنای و همکاران، ۲۰۱۱). اثرات مشخص و بالقوه مخرب تغییرات حدهای اقلیمی در ارزیابی گزارش سوم IPCC یک کوشش همه‌جانبه را برای دستیابی به یک تصویر جهانی از این نمایه‌های اقلیمی ایجاد کرده است (کیکتیو و همکاران، ۲۰۰۳).

تغییر در رفتار حدهای اقلیمی علاوه بر اینکه از پدیده‌های جهانی مانند گرمایش جهانی پیروی می‌کنند، می‌توانند به وسیله عوامل محلی نیز کنترل شوند. رخدادهای حدی می‌تواند به‌طور مستقیم به وسیله فرایندهای سطح زمین تغییر کند. برای مثال امواج گرمایی می‌تواند به وسیله فرایندهایی همچون کاهش رطوبت سطح زمین و کاهش پوشش گیاهی تشدید گردد (لورنز و

- 
1. Scheifinger et al
  - 2 . El Kenawy et al
  - 3 . Qian and Lin
  4. Kiktev et al
  5. Lorenz et al
  6. Manton et al

همکاران، ۲۰۱۴). از آنجا که دما از عناصر اساسی شکل‌گیری اقلیم است، تغییرات آن می‌تواند ساختار آب و هوایی هر محل را دگرگون سازد (اسدی و حیدری، ۱۳۹۰). یکی از مشخصه‌های اقلیمی که از پدیده گرمایش جهانی اثر می‌پذیرد، تعداد روزهای همراه با یخبندان ( $T_{min} < 0$ ) می‌باشد. با افزایش دمای کمینه، به‌طور مشخص روزهای یخبندان با افت مواجه خواهد شد. تغییر در تعداد روزهای همراه با یخبندان می‌تواند اثرات مختلفی بر محیط داشته باشد. با کاهش تعداد روزهای یخبندان طول عمر برف‌های کوهستان و همچنین منابع یخچالی کوتاه شده و این حالت تغذیه سفره‌های زیرزمینی را با تهدید مواجه می‌کند و همچنین رخداد سیلاب را نیز تحت تأثیر قرار خواهد داد. از این رو بررسی و شناخت تغییرات و رفتار روزهای همراه با یخبندان به عنوان یکی از فرین‌های اقلیمی در نواحی مختلف دارای اهمیت است. تحقیقات صورت گرفته در بیشتر نواحی جهان نشان‌دهنده کاهش حداقل دما و به تبع آن روزهای همراه با یخبندان می‌باشد.

فریچ و همکاران (۲۰۰۲)، در تحقیقی تغییرات در فرین‌های اقلیمی را در نیمه دوم قرن بیستم مورد مطالعه قرار دادند. برای این کار از داده‌های ۱۸۱ ایستگاه که عمدتاً در کشورهای عرض‌های بالا قرار دارند استفاده شده است. بر اساس نتایج آنها در بیشتر ایستگاه‌ها و در دوره مورد مطالعه روزهای یخبندان کاهش نشان می‌دهد و تنها در ایستگاه‌های معدودی مانند ایستگاه‌های واقع در جنوب غرب آمریکا و ایسلند روزهای یخبندان با افزایش همراه است. اسچفینگر و همکاران (۲۰۰۳)، در تحقیقی در نواحی مرکزی اروپا نشان دادند تعداد روزهای همراه با یخبندان در این منطقه حدود ۰/۲ روز در هر سال با کاهش مواجه شده است. کواین و لین (۲۰۰۴)<sup>۱</sup> در تحقیقی روند شاخص‌های دمایی کشور چین را بررسی کردند. نتایج آنها نشان‌دهنده یک کاهش در طول دوره یخبندان در این کشور می‌باشد، به‌طوری که به تبع افزایش دمای حداقل طول روزهای همراه با یخبندان در نواحی شمالی و طول دوره یخبندان در بخش‌های شمالی و بخش‌های جنوبی منطقه جنوب شرقی با کاهش مواجه است. همچنین در برخی نواحی مانند شمال منطقه کسینجیانگ یک افزایش جزئی مشاهده می‌شود. وینسنت و

---

1. Qian and Lin

همکاران<sup>۱</sup> (۲۰۰۵)، روندهای مشاهداتی در شاخص‌های حدی دمای روزانه در آمریکای جنوبی را مورد بررسی قرار دادند. نتایج برای دوره ۱۹۶۰-۲۰۰۰ نشان داد که تغییرات قوی در دمای بیشینه مشاهده نمی‌شود، اما در شاخص‌های دمای کمینه یک روند قابل توجه وجود دارد. یک افزایش قابل توجه در شب‌های گرم و یک روند کاهشی در شب‌های سرد مشاهده شد. نیو و همکاران<sup>۲</sup> (۲۰۰۶) شواهد روند در حدهای اقلیمی روزانه در جنوب و غرب آفریقا را با استفاده از داده‌های اقلیمی ۱۴ کشور از قاره آفریقا مورد بررسی قرار دادند. بر اساس نتایج آنها تعداد روزها و شب‌های سرد در منطقه مورد مطالعه در حدود ۳/۷ تا ۶ روز در دهه با کاهش روبرو شده است. براون و همکاران<sup>۳</sup> (۲۰۱۰)، در تحقیقی تغییرات شاخص‌های حدی اقلیمی برای شمال شرق ایالات متحده را طی دوره ۱۸۷۰-۲۰۰۵، محاسبه کردند. نتیجه این تحقیق بیانگر آن است که در شاخص‌های دما، فراوانی رخداد‌های گرم رو به افزایش و فراوانی رخداد‌های سرد رو به کاهش است. اینساف و همکاران<sup>۴</sup> (۲۰۱۲)، با بررسی روندهای حدهای اقلیمی در نیویورک به این نتیجه رسیدند که تعداد روزهای یخبندان ۰/۹۷ روز در هر دهه در این منطقه با کاهش مواجه است. داشخو و همکاران (۲۰۱۵)، نشان دادند یک افزایش حدود ۱۵ روزه در ۵۰ سال گذشته در تعداد روزهای یخبندان کشور مغولستان رخ داده است.

محمدی و تقوی (۱۳۸۴)، با استفاده از داده‌های اقلیمی ایستگاه‌های شهر تهران روند و تغییرات شاخص‌های حدی تهران را در دوره ۱۹۵۱-۲۰۰۳ مورد بررسی قرار دادند. نتایج این تحقیق نشان داد که شاخص‌های FD و ID یا شاخص‌های حدهای سرد رو به کاهش است. همچنین روند دمای کمینه و متوسط روزانه کاملاً افزایشی بوده و شیب مثبت دارد. ربانی و کرمی (۱۳۸۸) با مطالعه روند روزهای همراه با یخبندان در استان خراسان شمالی، به این نتیجه رسیدند که روزهای یخبندان در سال‌های آتی با نوسان همراه است و این نوسان همراه با روند نزولی می‌باشد. اسماعیلی و همکاران (۱۳۹۰)، در یک پژوهش تغییرات اقلیمی استان خراسان رضوی را از دیدگاه

- 
1. Vincent et al
  2. New et al
  3. Brown et al
  4. Insaf et al

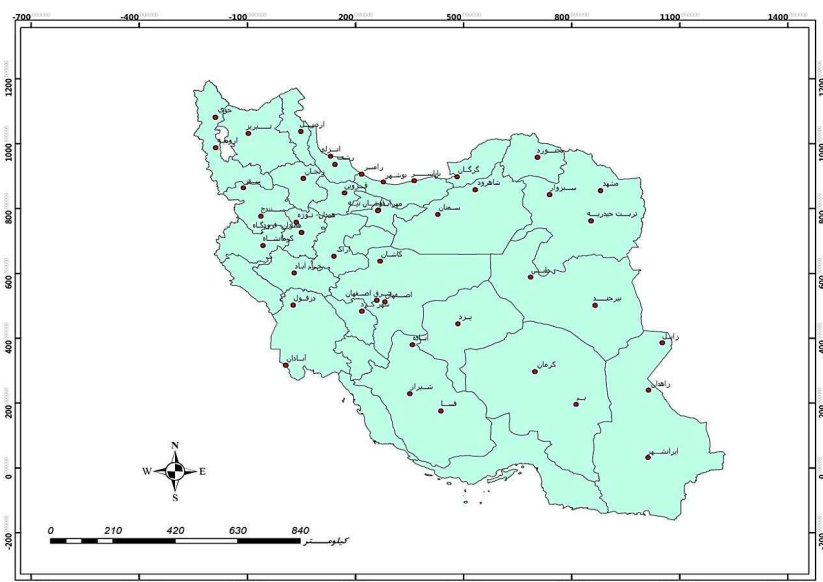
کشاورزی با استفاده از مدل ECHO-G مورد بررسی قرار دادند. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد در دوره ۱۳۸۹-۱۴۱۸ حدود ۱۵ روز از تعداد روزهای یخبندان در منطقه کاهش خواهد یافت. محمودی و همکاران (۱۳۹۲)، در تحقیقی ویژگی‌های روزهای یخبندان را در ایران بر اساس شاخص‌های میانگین شروع و پایان یخبندان، فراوانی روزهای یخبندان، طول فصل یخبندان و طول فصل رشد بررسی کردند. آنها بر اساس این شاخص‌ها ایستگاه‌های ایران را به شش خوشه متمایز تقسیم بندی نمودند که هر خوشه ویژگی‌های خاص خود را از نظر یخبندان دارد. شمس و موسوی بایگی (۱۳۹۳)، در یک پژوهش روند تغییرات در دماهای حدی مشهد را مور بررسی قرار دادند. در این مطالعه به بررسی تغییرات دماهای بیشینه و کمینه سالانه، فصلی، ماهانه و روزانه شهر مشهد به کمک آزمون‌های SNHT، Pettitt، Von-Neumann، Buishand و کندال-تاو پرداخته شد. نتایج آنها نشان می‌دهد دمای شهر مشهد در دوره مطالعاتی دارای رند افزایشی بوده است و این افزایش درباره دمای کمینه در حدود دو برابر دمای بیشینه می‌باشد (۰/۶۲٪ در برابر ۰/۳۱٪). مسعودیان و دارند (۱۳۹۴)، در تحقیقی، روند روزهای یخبندان را در ایران و در بازه زمانی ۱۳۴۰-۱۳۸۲ مورد بررسی قرار دادند. نتایج آنها حاکی از کاهش تعداد روزهای یخبندان در بیشتر نواحی ایران می‌باشد. در این مقاله سعی شده است با استفاده از داده‌های روزانه کمینه دمای هوا، روند و تغییرات رخداد روزهای یخبندان در کشور مورد بررسی قرار گیرد.

#### داده‌ها و روش

جهت بررسی روند روزهای یخبندان در ایران از داده‌های دمای حداقل روزانه مربوط به ایستگاه‌های سینوپتیک کشور که دارای آمار بلندمدت (۳۰ ساله) و قابل اطمینان بودند، استفاده شده است. بازه زمانی مورد مطالعه دوره ۱۹۸۲-۲۰۱۲ (۱۱۳۲۳ روز متوالی) می‌باشد. بر این اساس از بین تمامی ایستگاه‌های سینوپتیک موجود در کشور، ۵۱ ایستگاه دارای آمار کافی و بلندمدت بودند. با توجه به عدم وقوع دمای صفر و زیر صفر درجه سانتیگراد در ایستگاه‌های بندرعباس، بندر لنگه، جزیره کیش، بوشهر، اهواز، چابهار و جاسک، این ایستگاه‌ها از بانک اطلاعاتی ایجاد شده حذف شدند و در نهایت ۴۴ ایستگاه مبنای بررسی‌ها قرار گرفت. جدول و نقشه شماره ۱ مشخصات و موقعیت ایستگاه‌های مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

جدول ۱: مشخصات ایستگاه‌های سینوپتیک مورد مطالعه.

ردیف	ایستگاه	ارتفاع	طول جغرافیایی (E)	عرض جغرافیایی (N)
۱.	آبادان	6.6	48°15'	30°22'
۲.	آباده	2030	52°40'	31°11'
۳.	انزلی	-26.2	49°28'	37°28'
۴.	اراک	1708	49°46'	34°06'
۵.	اردبیل	1332	48°17'	38°15'
۶.	بابلسر	-21	52°39''	36°43'
۷.	بم	1066.9	58°21'	29°06'
۸.	بیرجند	1491	59°12'	32°52'
۹.	بجنورد	1091	57°19'	37°28'
۱۰.	دزفول	143	48°23'	32°24'
۱۱.	دوشان تپه	1209.2	51°20'	35°42'
۱۲.	اصفهان	1550.4	51°40'	32°37'
۱۳.	فسا	1288.3	53°41'	28°58'
۱۴.	قزوین	1279.2	50°03'	36°15'
۱۵.	گرگان	13.3	54°16'	36°51'
۱۶.	همدان - فرودگاه	1741.5	48°32'	34°52'
۱۷.	ایرانشهر	591.1	60°42'	27°12'
۱۸.	کرمانشاه	1318.6	47°09'	34°21'
۱۹.	کاشان	982.3	51°27'	33°59'
۲۰.	کرمان	1753.8	56°58'	30°15'
۲۱.	خرم آباد	1147.8	48°17'	23°26'
۲۲.	خوی	1103	44°58'	38°33'
۲۳.	مشهد	999.2	59°38'	36°16'
۲۴.	مهرآباد	1190.8	51°19'	35°41'
۲۵.	همدان - توژه	1679.7	48°43'	35°12'
۲۶.	نوشهر	-20.9	51°30'	36°39'
۲۷.	ارومیه	1315.9	45°05'	37°32'
۲۸.	راسر	-20	50°40'	36°54'
۲۹.	رشت	8.6-	49°39'	37°12'
۳۰.	سیزوار	977.6	57°43'	36°12'
۳۱.	سقز	1522.8	46°16'	36°15'
۳۲.	سنندج	1373.4	47°00'	35°20'
۳۳.	سمنان	1130.8	53°33'	35°35'
۳۴.	شهرکرد	2048.9	50°51'	32°17'
۳۵.	شاهرود	1345.3	54°57'	36°25'
۳۶.	شرق اصفهان	1543	51°52'	32°40'
۳۷.	شیراز	1484	52°36'	29°32'
۳۸.	طیس	711	56°55'	33°36'
۳۹.	تبریز	1361	46°17'	38°05'
۴۰.	تربت حیدریه	1450.8	59°13'	35°16'
۴۱.	یزد	1237.2	54°17'	31°54'
۴۲.	زابل	489.2	61°29'	31°02'
۴۳.	زاهدان	1370	60°53'	29°28'
۴۴.	زنجان	1663	48°29'	36°41'



شکل ۱: موقعیت ایستگاه‌های مورد مطالعه.

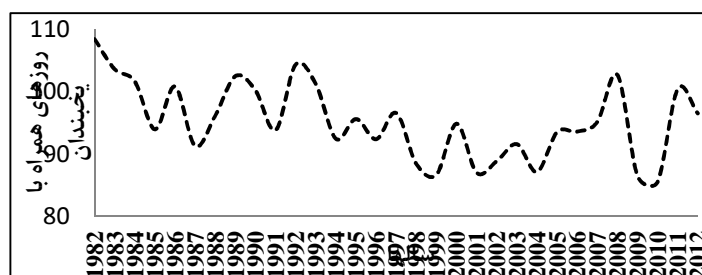
جهت استخراج روند روزهای یخبندان از نرم‌افزار RCLimDex استفاده شده است. RCLimDex به وسیله زانگ و یانگ در شعبه تحقیقات اقلیمی سرویس هواشناسی کانادا توسعه یافته است. توسعه اولیه آن در آژانس توسعه ملی کانادا از طریق پروژه همکاری تغییرات اقلیمی کانادا-چین صورت گرفته است. این نرم‌افزار برای محاسبه شاخص‌های حدی دما و بارش توسعه یافته است (Zhang et al, 2005, Zhang and Yang, 2004). تیم کارشناسی آشکارسازی و نمایش تغییر اقلیم و شاخص‌ها (ETCCDI)<sup>۱</sup> بر اساس مجموع استاندارد ۲۷ شاخص حدی در زبان برنامه‌نویسی R (R یک زبان و محیط محاسبه و گرافیکی آماری می‌باشد، Zhang and Yang, 2004) بر اساس الگوریتم‌های بهبود یافته و کاهش خطای عددی طراحی کرده است. ETCCDI به صورت مشترک به وسیله کمیون اقلیم‌شناسی، سازمان جهانی هواشناسی و برنامه جهانی دیدبانی داده‌ها، تغییرپذیری و پیش‌بینی اقلیم (CLIVAR)، حمایت می‌شود (سیلمن و روکنر، ۲۰۰۸)<sup>۲</sup> در این پژوهش از شاخص FD به

1. Expert Team on Climate change Detection, Monitoring and Indices
2. Sillmann and Roeckner, 2008

عنوان یکی از شاخص‌های ETCCDI جهت استخراج روند روزهای همراه با یخبندان در دوره ۱۹۸۲-۲۰۱۲ استفاده می‌شود. پس از استخراج روند شاخص FD بر اساس یک تحلیل خوشه‌ای، به بررسی منطقه‌ای شدت روندها بر اساس میزان نزدیکی تغییرات در ایستگاه‌های کشور پرداخته شد. به دلیل حساسیت برنامه R به صحت داده‌های ورودی، ابتدا در چند مرحله بانک اطلاعاتی داده‌های روزانه دمای حداقل مورد بازبینی و کنترل قرار گرفت تا هیچگونه خلأ یا خطا در بین سلول‌های آماری وجود نداشته باشد.

### یافته‌های پژوهش

بررسی‌های آماری تعداد روزهای یخبندان در ایران نشان می‌دهد، به طور میانگین تعداد روزهای یخبندان در دوره مطالعاتی حدود ۹۵/۲ روز می‌باشد. در این بین سهم برخی ایستگاه‌ها از این نظر بیشتر و برخی از ایستگاه‌ها روزهای یخبندان کمتری را تجربه می‌کنند. در بین ایستگاه‌های مورد مطالعه، اهواز، ایرانشهر و آبادان به ترتیب با میانگین ۰/۱۲، ۰/۵ و ۰/۶ روز، کمترین وقوع یخبندان را در دوره ۱۹۸۲-۲۰۱۲ تجربه کرده‌اند. این در حالی است که ایستگاه‌های همدان-نوژه، شهرکرد، اردبیل، سقز، همدان-فرودگاه، زنجان، ارومیه و خوی به‌طور میانگین تعداد روزهایی بیش از ۱۰۰ روز را تجربه کرده‌اند که در این بین ایستگاه همدان-نوژه با میانگین ۱۲۸/۹ روز، بیشترین رخداد یخبندان را دارا می‌باشد. در مجموع می‌توان گفت روزهای همراه با یخبندان، از نظر توزیع مکانی در کشور از تغییرات زیادی برخوردار است. از نظر رخداد روزهای یخبندان سالانه نیز تغییرات زیادی در سال‌های مورد مطالعه مشاهده می‌شود. با توجه به شکل شماره ۲، روزهای یخبندان در ایران در دوره مطالعاتی تغییرات زیادی دارد و از این نظر بیشترین رخداد یخبندان در سال ۱۹۸۲ و کمترین آن نیز در سال ۲۰۱۰ رخ داده است.



شکل ۲: تغییرات و روند تعداد روزهای یخبندان در ایران.



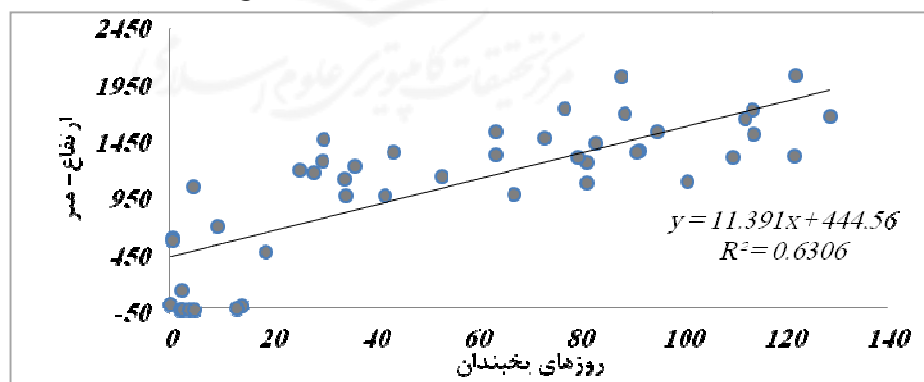
از نظر مکانی یکی از ویژگی‌های رخداد یخبندان در ایران، ارتباط معنادار با ارتفاع زمین می‌باشد. ارتباط بین تعداد روزهای یخبندان در ایران و ارتفاع از سطح دریا نشان می‌دهد با افزایش ارتفاع ایستگاه، تعداد روزهای یخبندان نیز افزایش پیدا می‌کند. جدول شماره ۲ ارتباط نسبتاً قوی بین تعداد روزهای یخبندان ( $R=0.794$ ) را در ایران نشان می‌دهد. شکل شماره ۲ نیز پراکنش ارتفاع و روزهای یخبندان را در ایران نشان می‌دهد. با توجه به این شکل می‌توان ارتباط مستقیم و مثبت بین ارتفاع و روزهای یخبندان را مشاهده نمود. بر این اساس ایستگاه‌هایی که در ارتفاع کمتری از سطح دریا قرار دارند (مانند ایستگاه‌های واقع در حاشیه دریای خزر) تعداد روزهای یخبندان کمتر و ایستگاه‌هایی که در ارتفاع بیشتری قرار دارند تعداد روزهای یخبندان بیشتری را تجربه می‌کنند.

جدول ۲: ارتباط تعداد روزهای همراه با یخبندان و ارتفاع

		elevation	Fd
elevation	Pearson Correlation	1	.794(**)
	Sig. (2-tailed)		.000
	N	45	45
fd	Pearson Correlation	.794(**)	1
	Sig. (2-tailed)	.000	
	N	45	45

\*\* Correlation is significant at the 0.01 level

شکل ۳: نمودار پراکنندگی همبستگی تعداد روزهای یخبندان و ارتفاع در ایران.



نتایج حاصل از بررسی روند روزهای یخبندان در ایران، نشان می‌دهد در دوره مطالعاتی در اکثر

ایستگاه‌های کشور روزهای یخبندان با شیب کاهشی مواجه است و در برخی ایستگاه‌ها که تعداد آنها اندک می‌باشد، روند روزهای یخبندان شیب افزایشی دارد. در بین تمامی ایستگاه‌های مورد مطالعه، ایستگاه اردبیل و شرق اصفهان بیشترین کاهش در تعداد روزهای یخبندان را در دوره ۱۹۸۲-۲۰۱۲ نشان می‌دهد. در این ایستگاه‌ها شیب روند روزهای یخبندان  $-1/4$  (Slope estimate = -1.4، معناداری در سطح ۹۵٪ اطمینان) می‌باشد. به عبارتی حدود  $1/4$  روز در هر سال با کاهش در روزهای یخبندان مواجه بوده است. همچنین ایستگاه مشهد با شیب  $-1/2$  (معناداری در سطح ۹۵٪ اطمینان)، سنندج با شیب  $-1/1$  (معناداری در سطح ۹۵٪ اطمینان) و یزد و بجنورد با شیب  $-1$  (معناداری در سطح ۹۵٪ اطمینان) روز در سال، دارای بیشترین کاهش در تعداد روزهای یخبندان می‌باشند. از طرفی برخی از ایستگاه‌ها همچون بم، آبادان و ایرانشهر هیچگونه تغییری در تعداد روزهای یخبندان نشان نمی‌دهند. در دوره مطالعاتی برخی ایستگاه‌ها نیز با افزایش تعداد روزهای یخبندان همراه بوده است برای مثال در ایستگاه سمنان میزان شیب روزهای یخبندان حدود  $0.5$  (Slope estimate = 0.5، معناداری در سطح ۹۵٪ اطمینان) و به عبارتی  $0.5$  روز افزایش در هر سال می‌باشد. جدول زیر شیب محاسبه شده و ویژگی‌های آماری روزهای یخبندان را در دوره ۱۹۸۲-۲۰۱۲ نشان می‌دهد.

جدول ۳: شیب روزهای یخبندان در ایران (۱۹۸۲-۲۰۱۲)

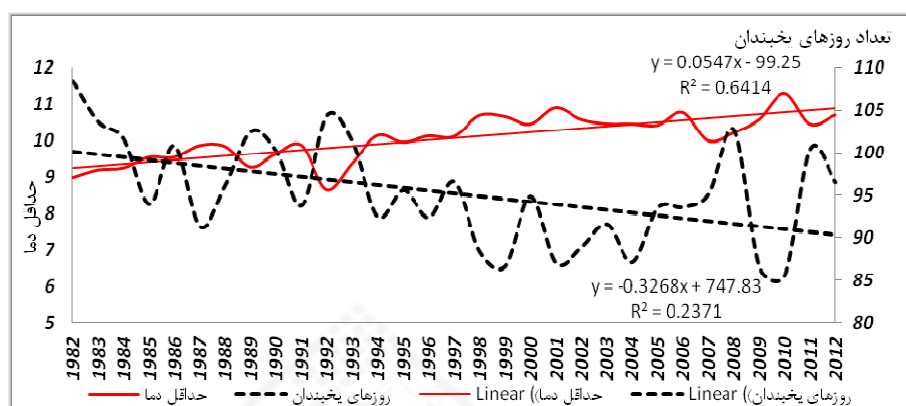
ردیف	ایستگاه	میانگین روزهای یخبندان	شیب محاسبه شده (روز)	انحراف معیار شیب	p-value
۱.	آبادان	0.6	0.0	0.0	0.8
۲.	آباده	88.0	-0.1	0.2	0.6
۳.	انزلی	2.0	-0.1	0.1	0.2
۴.	اراک	88.8	-0.7	0.2	0.0**
۵.	اردبیل	121.9	-1.4	0.3	0.0**
۶.	بابلسر	62.	-0.2	0.1	0.0**
۷.	بم	64.	0.0	0.1	0.7
۸.	بیرجند	73.0	-0.7	0.2	0.0**
۹.	بجنورد	81.4	-1.0	0.2	0.0**
۱۰.	دزفول	2.2	-0.1	0.1	0.2
۱۱.	دوشان تپه	۳۱	-0.9	0.3	0.0**
۱۲.	اصفهان	63.5	0.2	0.3	0.5
۱۳.	فسا	29.6	0.2	0.2	0.5
۱۴.	قزوین	81.4	-0.5	0.2	0.0**

ردیف	ایستگاه	میانگین روزهای یخبندان	شیب محاسبه شده (روز)	انحراف معیار شیب	p-value
۱۵	گرگان	14.1	0.3	0.2	0.1
۱۶	همدان - فرودگاه	113.8	-0.8	0.2	0.0**
۱۷	ایرانشهر	0.5	0.0	0.0	0.8
۱۸	کرمانشاه	79.7	-0.2	0.2	0.4
۱۹	کاشان	34.4	-0.2	0.2	0.4
۲۰	کرمان	77.1	-0.8	0.3	0.0**
۲۱	خرم آباد	53.1	-0.6	0.3	0.0**
۲۲	خوی	101.0	-0.6	0.2	0.0**
۲۳	مشهد	67.3	-1.2	0.3	0.0**
۲۴	مهرآباد	27.9	-0.7	0.2	0.0**
۲۵	همدان - توزه	128.9	-0.5	0.2	0.0**
۲۶	نوشهر	3.7	-0.1	0.1	0.5
۲۷	ارومیه	109.7	-0.2	0.2	0.3
۲۸	رامسر	4.7	-0.3	0.1	0.0**
۲۹	رشت	13.0	-0.4	0.1	0.0**
۳۰	سبزوار	42.0	-0.2	0.3	0.4
۳۱	سقز	114.0	0.2	0.3	0.5
۳۲	سنندج	91.7	-1.1	0.2	0.0**
۳۳	سمنان	34.0	0.5	0.3	0.1
۳۴	شهرکرد	122.0	0.3	0.2	0.2
۳۵	شاهرود	63.5	-0.8	0.3	0.0**
۳۶	شرق اصفهان	95.2	-1.4	0.2	0.0**
۳۷	شیراز	30.0	0.2	0.3	0.6
۳۸	طیس	9.3	-0.1	0.2	0.8
۳۹	تبریز	91.2	-0.6	0.3	0.0**
۴۰	تربت حیدریه	83.2	-0.5	0.3	0.1
۴۱	یزد	36.2	-1.0	0.2	0.0**
۴۲	زابل	18.7	0.1	0.2	0.5
۴۳	زاهدان	43.7	-0.1	0.2	0.8
۴۴	زنجان	112.2	-0.7	0.2	0.0**

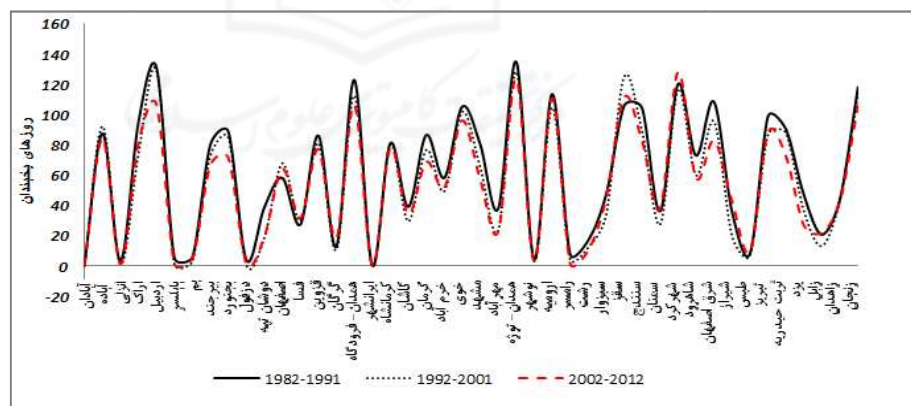
\*\* معناداری در سطح ۹۵٪ اطمینان

بررسی کمینه دمای ایران نشان از یک افزایش در دوره مطالعاتی ۱۹۸۲-۲۰۱۲ دارد. به تبع این افزایش، تعداد روزهای یخبندان نیز دچار افت شده است. شکل ۴ تغییرات روزهای یخبندان ایران را در ارتباط با تغییرات حداقل دما در دوره مطالعاتی نشان می‌دهد. طبق این شکل، در سال‌هایی

که دمای کمینه با افزایش همراه بوده است، تعداد روزهای یخبندان با کاهش مواجه شده است و در سال‌هایی که دمای کمینه با کاهش مواجه بوده، تعداد روزهای یخبندان نیز با افزایش همراه شده است. در مجموع دمای کمینه در ایران دارای یک شیب افزایشی ( $R^2 = 0.64$ ) و تعداد روزهای یخبندان با شیب کاهششی ( $R^2 = 0.24$ ) مواجه می‌باشد. تقسیم‌بندی دوره مطالعاتی به سه دوره ۱۹۸۲-۱۹۹۱، ۱۹۹۲-۲۰۰۱ و ۲۰۰۲-۲۰۱۲ نشان می‌دهد تعداد روزهای یخبندان در دوره‌های دوم و سوم نسبت به دوره اول (۱۹۸۲-۱۹۹۱) دارای یک روند کاهششی می‌باشد (شکل ۵). در دوره اول (۱۹۸۲-۱۹۹۱) میانگین روزهای یخبندان در ایران حدود ۶۰/۸ روز، در دوره دوم (۱۹۹۱-۲۰۰۱) حدود ۵۵ روز و در دوره سوم (۲۰۰۲-۲۰۱۲) حدود ۵۳/۵ روز بوده است.



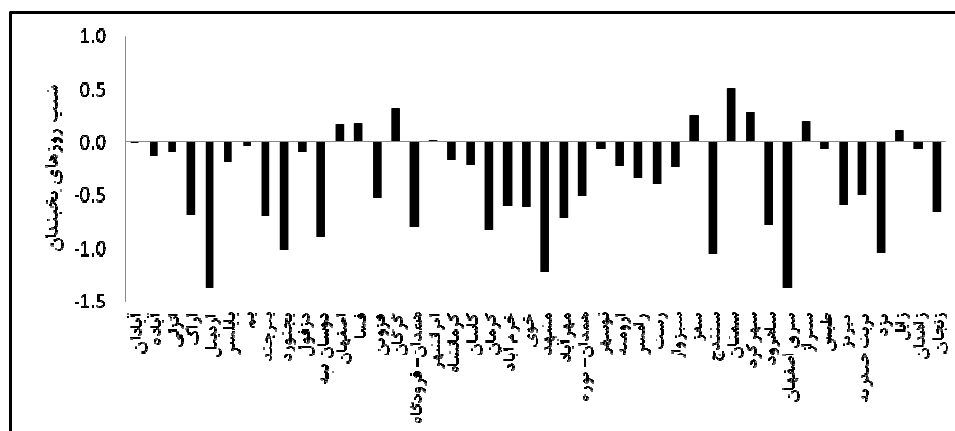
شکل ۴: تغییرات روزهای یخبندان و دمای حداقل ایران در دوره ۱۹۸۲-۲۰۱۲



شکل ۵: روند روزهای یخبندان ایران در دوره‌های ۱۹۸۲-۱۹۹۱، ۱۹۹۲-۲۰۰۱ و ۲۰۰۲-۲۰۱۲

در مجموع به طور میانگین در دوره مطالعاتی، در کل ایران حدود ۴ روز در هر دهه از روزهای

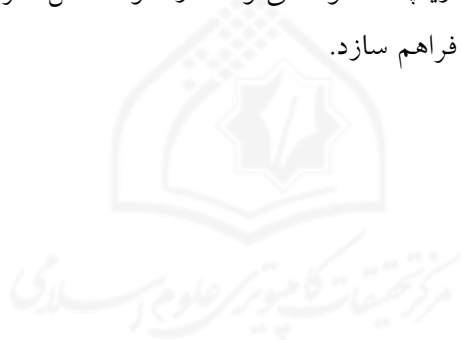
یخبندان کاهش یافته است. این نکته می‌تواند بیانگر افزایش در دمای حداقل در ایستگاه‌های ایران باشد. شکل ۶ شیب محاسبه شده روزهای یخبندان را در ایستگاه‌های مورد مطالعه نشان می‌دهد.

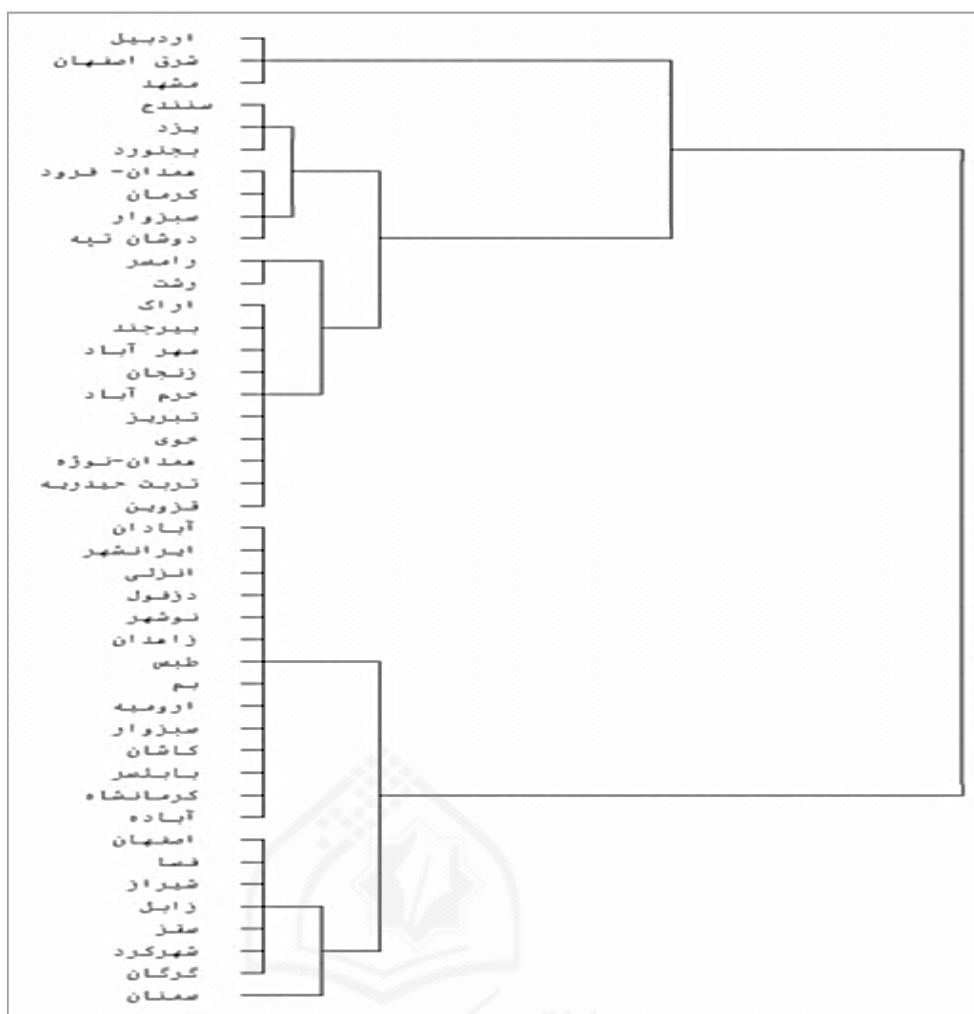


شکل ۶: شیب روزهای یخبندان در ایران (۱۹۸۲-۲۰۱۲)

جهت مقایسه شیب روزهای یخبندان در بین ایستگاه‌های مختلف، با استفاده از تحلیل خوشه‌ای که با روش فاصله اقلیدسی صورت گرفته است، یک خوشه‌بندی از تغییرات روزهای یخبندان در دوره مطالعاتی انجام گرفت. بر این اساس ایستگاه‌های موجود از روندکاهشی تا افزایشی طبقه‌بندی شدند. خوشه اول مربوط به ایستگاه‌هایی است که روند منفی روزهای یخبندان در آنها چشمگیر می‌باشد. ایستگاه‌های اردبیل، شرق اصفهان و مشهد با بیشترین کاهش در گروه اول قرار دارند. با یک نگاه جغرافیایی می‌توان گفت بیشتر ایستگاه‌های که روند منفی بالایی در روزهای یخبندان در آنها مشاهده می‌شود مربوط به نیمه شمالی ایران هستند. همچنین در رابطه با ایستگاه‌هایی که دارای بیشترین روند منفی هستند این نکته قابل ذکر است که اکثر ایستگاه‌ها در ردیف ایستگاه‌هایی قرار دارند که تعداد روزهای یخبندان بیشتری نسبت به سایر ایستگاه‌ها دارا بوده‌اند. ایستگاه‌هایی مانند آبادان، ایرانشهر، انزلی، دزفول، نوشهر و بابلسر در یک گروه و با تغییرات اندک روزهای یخبندان همراه هستند. این ایستگاه‌ها از نظر فراوانی روزهای یخبندان دارای کمترین روزهای یخبندان در بین ایستگاه‌های مورد مطالعه می‌باشند. ایستگاه سمنان نیز با بیشترین افزایش در روزهای یخبندان در ردیف اول مناطق افزایشی قرار دارد (شکل ۷).

با توجه به اینکه در بیشتر ایستگاه‌های مورد مطالعه شیب روزهای یخبندان روند منفی را نشان می‌دهد، اما در ایستگاه‌های مختلف مقدار شیب دارای تفاوت‌های زیادی است. این تفاوت مکانی می‌تواند بیانگر این مطلب باشد که با وجود اثر پدیده گرمایش جهانی که می‌تواند منجر به کاهش روزهای یخبندان گردد، عوامل دیگری مانند شرایط محلی و سطحی نیز اثرگذار می‌باشند. برای مثال در ایستگاه‌های مشهد و مهرآباد علاوه بر اثر پدیده گرمایش جهانی، اثر توسعه شهرنشینی و فعالیت‌های انسانی که موجب افزایش کمینه دما می‌گردد نیز دارای اهمیت می‌باشد. در سایر ایستگاه‌های کشور نیز با توجه به شرایط محلی، امکان اثر سایر شرایط در کاهش روزهای یخبندان قابل بررسی می‌باشد. همچنین افزایش تعداد روزهای یخبندان نیز با توجه به اثرات کلان گرمایش جهانی در برخی ایستگاه‌های کشور، ناشی از تغییرات در پوشش سطحی زمین و ایجاد زمینه برای خروج بیشتر انرژی به صورت امواج بلند باشد. در سال‌های اخیر کاهش منابع آبهای سطحی و زیرزمینی و کاهش پوشش گیاهی می‌تواند اثر مستقیمی بر افزایش خروج انرژی به صورت موج بلند در طول شب داشته باشد. برای مثال در ایستگاه شیراز کاهش منابع آب در دریاچه مهارلو و در ایستگاه زابل کاهش منابع رطوبتی دریاچه هامون می‌تواند در طول فصل سرد شرایط را برای افزایش تعداد روزهای یخبندان فراهم سازد.





شکل ۷: خوشه‌بندی ایستگاه‌های ایران از نظر روند در تعداد روزهای یخبندان.

### نتیجه‌گیری

تغییر در تعداد روزهای یخبندان، یکی از پیامدهای گرمایش جهانی می‌باشد. در واقع افزایش دمای هوا و به ویژه کمینه دما، اثر مستقیمی بر کاهش تعداد روزهای یخبندان خواهد داشت. این روند اثراتی را بر روی اکوسیستم‌ها دارد که می‌تواند اهمیت این مسئله را بیان نماید. این پژوهش تغییرات و روند روزهای یخبندان در ایران در دوره ۱۹۸۲-۲۰۱۲ را بررسی کرده

است. با توجه به تجزیه و تحلیل صورت گرفته، به صورت خلاصه می‌توان نتایج را به صورت ذیل تشریح نمود:

به‌طور کلی در بیشتر ایستگاه‌های کشور روند روزهای همراه با یخبندان منفی می‌باشد (جدول ۳). این روند منفی از نظر مکانی دارای تفاوت‌هایی می‌باشد. به طوریکه در برخی نواحی مانند آباد، بابلسر، آبادان و غیره کمترین کاهش را نشان می‌دهند و ایستگاه‌هایی همچون اردبیل، سنندج و شرق اصفهان دارای بیشترین روند منفی در روزهای یخبندان مشاهده می‌شود. ایستگاه‌هایی که با بیشترین روند منفی یخبندان مواجه می‌باشند بیشتر در ردیف ایستگاه‌های می‌باشند که تعداد روزهای یخبندان بالایی را در طول سال تجربه می‌کنند (جدول ۳). از طرف دیگر بررسی‌ها نشان داد در برخی ایستگاه‌های کشور نیز روند روزهای همراه با یخبندان با یک شیب مثبت مواجه است که این روند نسبت به روندهای منفی چندان قابل توجه نیست. ایستگاه‌هایی همچون شیراز، سمنان، شهرکرد و زابل در دوره مورد مطالعه با یک شیب مثبت در تعداد روزهای یخبندان مواجه بوده‌اند. در بین تمامی ایستگاه‌های کشور، ایستگاه سمنان بیشترین شیب مثبت (۵/۱) در روزهای یخبندان را در طول دوره مطالعاتی را تجربه کرده است. نتایج پژوهش حاضر و چگونگی تغییرات و روند در دوره‌های یخبندان، به طور نسبی با نتایج سایر پژوهش‌ها در جهان و ایران مطابقت دارد به طوریکه در اکثر پژوهش‌های صورت گرفته در جهان، روند روزهای یخبندان در اکثر نواحی با کاهش مواجه است و این روند نیز در نواحی مختلف یکسان نمی‌باشد.



## کتابشناسی

۱. اسدی، اشرف و علی حیدری (۱۳۹۰)، تحلیل تغییرات سری‌های دما و بارش شیراز طی دوره ۱۹۵۱-۲۰۰۵، مجله جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، سال ۲۲، شماره پیاپی ۴۱، شماره ۱، صص ۱۳۷-۱۵۲؛
۲. اسماعیلی، رضا؛ امیر گندمکار و حسنعلی غیور (۱۳۹۰)، پهنه‌بندی میزان تغییرات اقلیمی از دیدگاه کشاورزی در دوره اقلیمی آینده مطالعه موردی: استان خراسان رضوی، مجله جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، سال ۲۲، شماره پیاپی ۴۱، شماره ۱، صص ۳۵-۵۲؛
۳. ربانی، فاطمه؛ فریا کرمی (۱۳۸۸)، بررسی روند تعداد روزهای یخبندان در استان خراسان شمالی، فصلنامه جغرافیای طبیعی، سال اول، شماره ۴، صص ۸۵-۹۴؛
۴. شمس، شیده و محمد موسوی‌بایگی (۱۳۹۳)، بررسی روند تغییرات حدی دمای شهر مشهد در مقیاس‌های مختلف، نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، جلد ۲۸، شماره ۱، صص ۴۶-۶۰؛
۵. محمدی، حسین، تقوی، فرحناز (۱۳۸۴)، روند شاخص‌های حدی دما و بارش تهران، پژوهش‌های جغرافیایی، شماره ۵۳، صص ۱۷۲-۱۵۱؛
۶. محمودی، پیمان؛ محمود خسروی؛ سیدابوالفضل مسعودیان و بهلول علیجانی (۱۳۸۹)؛ اطلس اقلیم‌شناسی ویژگی‌های آماری یخبندانهای ایران، فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، سال ۲۸، شماره ۴، زمستان ۱۳۹۲، شماره پیاپی ۱۱۱، صص ۵۵-۶۶؛
۷. مسعودیان، سید ابوالفضل و محمد دارند (۱۳۹۴)، بررسی روند تعداد روزهای یخبندان ایران، جغرافیا و توسعه، شماره ۳۹، صص ۴۹-۶۰؛
8. Brown .P. J, Raymond. S. Bradley, Frank T. Keimig (2010), Changes in Extreme Climate Indices for the Northeastern United States, 1870–2005, Journal of Climate, vol 23, pp 6555- 6572;
9. Dashkhuu.D, Jong PilKim, Jong Ahn Chun, Woo-Seop Lee'(2015), Long-term trends in daily temperature extremes over Mongolia, Weather and Climate Extremes, vol8, pp26–33;
10. El Kenawy.A, J. I. López-Moreno, and S. M. Vicente-Serrano(2011) Recent trends in daily temperature extremes over northeastern Spain (1960–2006), Natural Hazards and Earth System Sciences, vol 11, pp2583–2603;
11. Frich.P, L. V. Alexander, P. Della-Marta, B. Gleason3, M. Haylock, A. M. G. Klein Tank, T. Peterson(2002), Observed coherent changes in climatic extremes during the second half of the twentieth century, CLIMATE RESEARCH, vol 19, pp 193–212;
12. Insaf, T.Z., Lin, S., Sheridan, S.C. (2012), climate trends in indices for temperature and precipitation across New York State, 1948-2008, Air QualAtmos Health, Volume 1, N. 1, June 2008, DOI 10.1007/s11869-011-0168-x;
13. KIKTEV. D , DAVID M. H. SEXTON, LISA ALEXANDER, AND CHRIS K. FOLLAND(2003) Comparison of Modeled and Observed Trends in Indices of Daily Climate Extremes, J O U R N A L O F C L I M A T E, vol 16, pp 3560-3571;

14. Lorenz, R. A. J. Pitman, M. G. Donat, A. L. Hirsch, J. Kala, E. A. Kowalczyk, R. M. Law, and J. Srbinovsky (2014) Representation of climate extreme indices in the ACCESS1.3b coupled atmosphere-land surface model, *Geoscientific Model Development*, vol 7, pp545-567;
15. Manton. M.J, P.M. DELLA-MARTA, M.R. HAYLOCK, K.J. HENNESSY, N. NICHOLLS, L.E. CHAMBERS, D.A. COLLINS, G. DAW, A. FINET, D. GUNAWAN, K. INAPE, H. ISOBE, T.S. KESTIN, P. LEFALE, C.H. LEYU, T. LWIN, L. MAITREPIERRE, N. OUPRASITWONG, C.M. PAGE, J. PAHALAD, N. PLUMMER, M.J. SALINGER, R. SUPPIAH, V.L. TRAN, B. TREWIN, I. TIBIG and D. YEE (2001) Trends in extreme Daily Rainfall and Temperature in Southeast Asia and south Pacific: 1961- 1998, *International Journal of Climatology*, vol 21: pp269-284;
16. Mark New, Bruce Hewitson, David B. Stephenson, Alois Tsiga, Andries Kruger, Atanasio Manhique, Bernard Gomez, Caio A. S. Coelho, Dorcas Ntiki Masisi, Skansi. María de los Milagros, Manola Brunet, Javier Sigró, Enric Aguilar, Juan Andrés Arevalo Groening, Oscar J. Bentancur, Yaruska Rosa Castellón Geier, Ruth Leonor Correa Amaya, Homero Jácome, Andrea Malheiros Ramos, Clara Oria Rojas, Alejandro Max Pasten, Sukarni Sallons Mitro, Claudia Villaroel Jiménez, Rodney Martínez, Lisa V. Alexander, P.D. Jones (2013) Warming and wetting signals emerging from analysis of changes in climate extreme indices over South America, *Global and planetary change*, vol 100, pp 295-307;
17. Qian .W and Lin .X (2004) Regional trends in recent temperature indices in China, *CLIMATE RESEARCH*, Vol. 27, pp 119-134;
18. Scheifinger, H., A. Menzel, E. Koch, and Ch. Peter (2003) Trends of spring time frost events and phenological dates in Central Europe, *Theoretical and Applied Climatology*, vol 74, pp41-51;
19. Sillmann .J & Roeckner .E (2008) Indices for extreme events in projections of anthropogenic climate change, *Climatic Change*, vol 86, pp83-104
20. Vincent. L. A. T. C. PETERSON, V. R. BARROS, M. B. MARINO, M. RUSTICUCCI, G. CARRASCO, E. RAMIREZ, L. M. ALVES, T. AMBRIZZI, M. A. BERLATO, A. M. GRIMM, J. A. MARENGO, L. MOLION, K. D. F. MONCUNILL, I. E. REBELLO, Y. M. T. ANUNCIAÇÃO, J. QUINTANA, J. L. SANTOS, J. BAEZ, G. CORONEL, J. GARCIA, I. TREBEJO, M. BIDEGAIN, M. R. HAYLOCK, AND D. KAROLY (2005) Observed Trends in Indices of Daily Temperature Extremes in South America 1960-2000, *Journal of climatology*, vol 18, pp 5011- 5023;
21. Zhang .Xuebin and Feng Yang (2004), *RClimDex (1.0) User Manual*, Climate Research Branch Environment Canada Downsview, Ontario Canada;
22. Zhang .Xuebin, Enric Aguilar, Serhat Sensoy, Hamlet Melkonyan, Umayra Tagiyeva, Nader Ahmed, Nato Kutaladze, Fatemeh Rahimzadeh, Afsaneh Taghipour, T. H. Hantosh, Pinhas Albert, Mohammed Semawi, Mohammad Karam Ali, Mansoor Halal Said Al-Shabibi, Zaid Al-Oulan, Taha Zatari, Imad Al Dean Khelet, Saleh Hamoud, Ramazan Sagir, Mesut Demircan, Mehmet Eken, Mustafa Adiguzel, Lisa Alexander, Thomas C. Peterson, and Trevor Wallis (2005), Trends in Middle East climate extreme indices from 1950 to 2003, *Journal of Geophysical Research*, VOL. 110.