فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، سال ۳۰، شماره ۳، پاییز ۱۳۹۴، شماره پیاپی ۱۱۸

مهدی دوستکامیان، کارشناس ارشد آب و هواشناسی همدید
سعیده اشرفی، مربی و دانشجوی دکتری آب و هواشناسی همدید، دانشگاه تبریز
فردین قدمی، دانشجوی دکتری آب و هواشناسی، دانشگاه خوارزمی تهران

M. Doostkamian
S. Ashrafi
F. Ghadami

E-mail: s.mehdi67 @ gmail.com

شماره مقاله: ۱۰۳۲ صص: ۵۰-۳۹
وصول:۹۳/۲/۱۶ پذیرش: ۹۳/۱۲/۸

بررسی تغییرات الگوی فضایی یخبندان‌های دوره‌ای ایران

چکیده

هدف از پژوهش حاضر، تحلیل تغییرات خودهمبستگی فضایی یخبندان‌های دوره‌ای ایران طی نیم قرن اخیر است. بدین منظور، داده‌های روزانه دما طی دوره ۱۳۴۰- ۱۳۸۳ از پایگاه داده اسفزاری استخراج و به منظور افزایش تفکیک زمانی پایگاه داده مذکور، مشاهدات روزانه دما از سال ۱۳۸۳ تا انتهای ۱۳۹۰ با بهره‌گیری از همان روش و همان تفکیک مکانی به پایگاه داده مذکور افزوده گردید. سپس با استفاده از امکانات برنامه‌نویسی در محیط نرم‌افزار متلب و سامانه اطلاعات جغرافیایی با استفاده شاخص موران به تحلیل تغییرات خود همبستگی فضایی یخبندان طی پنج دوره مساوی پرداخته شد. در این مطالعه، برای عملیات ترسیمی از نرم‌افزار سرفر بهره گرفته شد. نتایج نشان می‌دهد که بیشینه فراوانی وقوع یخبندان در تمام دوره‌ها، بیشتر در غرب، شمال غرب و شمال شرق قرار دارد که بر ارتفاعات منطبق هستند. در این میان، نواحی جنوبی کشور به علت موقعیت قرارگیری و همچنین، حاکمیت پرفشار پویشی در تمام دوره تقریباً فاقد یخبندان بوده است. با وجود این، به سمت دوره‌های اخیر (به‌ویژه از ۱۳۷۰ به بعد) وقوع یخبندان‌ها به‌شدت کاهش پیدا کرده است؛ به طوری که تحلیل تغییرات الگوی خودهمبستگی فضایی یخبندان‌ها نشان داد که الگوی توزیع فضایی یخبندان‌ها طی سال‌های اخیر، کاهش محسوسی داشته است که با نتایج مطالعات در زمینه گرمایش جهانی مطابقت دارد.

واژه‌های کلیدی: فراوانی یخبندان، الگوی خودهمبستگی فضایی، شاخص موران، ایران

مقدمه

دما یکی از مهم‌ترین عناصر اقلیمی است که حالات مختلف آن می‌تواند سایر عناصر را متاثر سازد (خسروی و همکاران ۱۳۹۳: ۱۲۱-۱۳۲). یکی از حالات دمایی که به عنوان مخاطره اقلیمی قلمداد می‌شود، یخبندان است. این پدیده از لحاظ بنیادین شامل دو نوع یخبندان تابشی و فرارفتی است. یخبندان قابلیت فراوانی در ایجاد خسارت در بخش‌های مختلف اقتصادی؛ به‌ویژه کشاورزی دارد (خوشحال و همکاران، ۱۳۸۸). همه ساله در سرتاسر جهان، رخداد یخبندان‌های شدید اعم از زمستانه، پاییزه و بهاره باعث بروز زیان های اقتصادی فراوانی می‌شود. ایران نیز هر ساله خسارت‌های زیادی را در بخش کشاورزی، دامداری، در رابطه با یخبندان متحمل می‌شود. یخبندان در بخش کشاورزی باعث محدودیت تولید

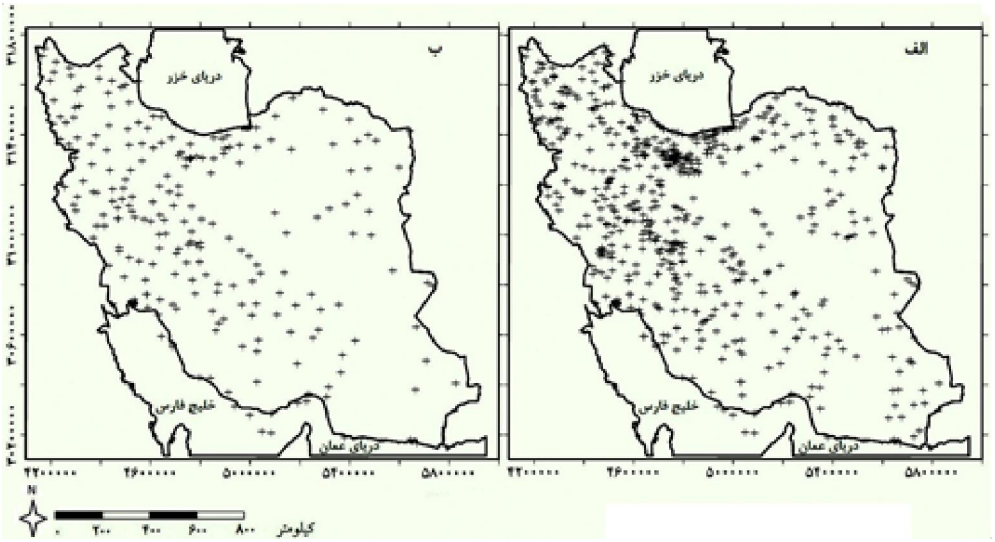
شده و نیز در بخش صنعت و ترابری نقش تعیین‌کننده‌ای در جاده‌سازی، سدسازی و پل‌سازی دارد. علاوه برآن، در مناطق کوهستانی، رخداد این پدیده در جاده‌ها باعث مشکلات زیادی در بخش حمل و نقل و تصادفات جاده‌ای می‌شود. از این رو، مطالعه این مخاطره اقلیمی مورد توجه اقلیم‌شناسان است؛ برای مثال: فرونفلد[1] و همکاران (۲۰۰۷) شاخص‌های یخبندان در قرن بیستم را بررسی کرده و به این نتیجه رسیده‌اند که در سرتاسر آمریکای شمای، کانادا و آلاسکا شاخص‌های یخبندان در فصل سرد روند کاهشی داشته‌اند. سینها و چرکوئر[2] (۲۰۰۸) یخبندان‌های سطح خاک ایندیانا را بررسی کردند. مطالعه ایشان نشان داد که دمای کمینه خاک روند افزایشی داشته است. سایکرانثی و همکاران (۲۰۱۳) ارتفاع سطح انجماد را با استفاده از داده‌های رادار TRMM بررسی کردند. ولیت و همکاران (۲۰۱۴) تاثیر شرایط مختلف دما و رطوبت را بر هسته‌های یخ بررسی کردند. در ایران نیز کمالی و نوخندان (۱۳۸۴) نقش یخبندان‌های کشور را در حمل و نقل جاده‌ای بررسی کرده‌اند. هژبرپور و علیجانی (۱۳۸۶) یخبندان‌های خسارت بار استان اردبیل را مطالعه کرده و به این نتیجه رسیدند که بیشتر یخبندان‌های استان از نوع انتقالی هستند که در دوره سرد سال از آبان تا فروردین اتفاق می‌افتند. حجازی‌زاده و ناصرزاده (۱۳۸۶) با بررسی یخبندان‌های استان لرستان، ارتفاع را مهمترین عامل در تعیین تعداد فراوانی یخبندان در استان ذکر کرده‌اند. نوحی و همکاران (۱۳۸۷) تاریخ‌های آغاز و خاتمه یخبندان‌های فرارفتی و تابشی استان‌های زنجان، قزوین و تهران را مطالعه کرده‌اند. امیدوار و ابراهیمی (۱۳۸۸) شدت یخبندان در استان یزد را پهنه‌بندی نمودند. فتاحی و صالحی‌پاک (۱۳۸۸) تیپ‌های هوای مؤثر در یخبندان‌های زمستانه ایران را شناسایی نمودند. علیجانی و همکاران (۱۳۸۹) تداوم روزهای یخبندان کشور را بررسی نمودند. بررسی‌های ایشان نشان داد که وقوع روزهای یخبندان در ایران از ویژگی زنجیره مارکوفی تبعیت می‌کند. عیسی‌زاده و همکاران (۱۳۸۹) با استفاده از نقشه‌های سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال، علت تداوم و تشدید یخبندان‌های آذربایجان شرقی را بررسی نمودند. طاووسی و درخشی (۱۳۸۹) یخبندان‌های زودرس و دیررس زاهدان را بررسی نمودند. مسعودیان و دارند (۱۳۸۹) روزهای فرین سرد ایران را به شش ناحیه تقسیم کردند. جهانبخش و همکاران (۱۳۹۰) یخبندان‌های بهار ۱۳۸۲ و ۱۳۸۳ را به صورت همدید مطالعه نمودند. ذوالفقاری و همکاران (۱۳۹۱) یخبندان‌های بهاره را در غرب و شمال غرب بررسی کردند. نتایج حاصل حاکی از این است که در منطقه مذکور، وقوع یخبندان از ارتفاع پیروی می‌کند. مسعودیان و دارند (۱۳۹۲) پنج الگوی فشار را در رابطه با یخبندان‌های فراگیر ایران شناسایی نمودند. با توجه به آنچه گفته شد یخبندان‌های ایران به صورت دوره‌ای بررسی نشده است؛ از این رو، در پژوهش حاضر تلاش می‌شود روند یخبندان‌های دوره‌ای ایران طی نیم قرن اخیر بررسی شود.

داده ها و روش پژوهش

در این مطالعه به منظور بررسی و تحلیل یخبندان‌های درون دهه‌ای داده‌های دما به صورت روزانه طی دوره ۱۳۴۰-۱۳۸۳ از پایگاه اسفزاری که توسط دکتر مسعودیان در ابعاد ۱۵ در ۱۵ کیلومتر (مجموعاً ۸۲۳۱ یاخته) تهیه شده، بهره گرفته شد. به منظور افزایش تفکیک زمانی پایگاه داده مذکور، مشاهدات روزانه دما از سال ۱۳۸۳ تا انتهای ۱۳۹۰ با استفاده

1-Frauenfeld
2- Sinha and Cherkauer

از ۴۲۱ ایستگاه همدید، آب و هوایی با بهره‌گیری از همان روش و همان تفکیک مکانی، میانیابی و به پایگاه داده‌های مذکور اضافه شد. شکل (۱) پراکنش ایستگاه های مورد استفاده را نشان می‌دهد.



شکل ۱) پراکنش ایستگاه‌های مورد استفاده در پایگاه داده اسفزاری (الف)و پراکنش ایستگاه‌های مورد استفاده برای تکمیل پایگاه اسفزاری (ب)

در این مطالعه روزی که دمای روزانه آن کمتر از صفر باشد، به عنوان روز همراه با یخبندان درنظرگرفته شده است. برای انجام محاسبات از امکانات برنامه‌نویسی در محیط نرم‌افزار متلب و نیز برای انجام عملیات ترسیمی از نرم‌افزار سرفر و سامانه اطلاعات جغرافیایی بهره گرفته شد. بدین ترتیب، داده‌های شبکه‌ای به شکل ماتریسی به محیط نرم‌افزار متلب انتقال داده شد. سپس با استفاده از امکانات برنامه‌نویسی، فراوانی وقوع یخبندان به صورت دوره‌ای در پنج دوره مساوی (دوره اول: ۱۳۵۰-۱۳۴۰، دوره دوم: ۱۳۶۰-۱۳۵۰، دوره سوم: ۱۳۷۰-۱۳۶۰، دوره چهارم ۱۳۸۰-۱۳۷۰ و دوره پنجم: ۱۳۹۰-۱۳۸۰) استخراج و بررسی و تحلیل شد. در ادامه، به منظور بررسی تاثیر افزایش گرمایش جهانی بر روند یخبندان‌های ایران دمای جهان طی ۱۸۹۵ تا ۲۰۱۲؛ یعنی به مدت ۱۱۷ سال از سازمان هواشناسی جهانی استخراج و بررسی و تجزیه و تحلیل شد.

برای بررسی الگو توزیع خودهمبستگی فضایی یخبندان از تحلیل خوشه و ناخوشه[1] که به شاخص انسلین محلی موران[2] معروف است، استفاده شده است که یکی از شاخص‌های پرکاربرد برای شناسایی خود همبستگی فضایی مشاهدات و الگوی فضایی آن‌هاست. این ابزار نشان می‌دهد که الگوی پراکنش این عوارض با درنظرگرفتن مقادیر پارامتر مورد مطالعه از الگوی خوشه‌ای و یا پراکنده برخوردار است. نتایج حاصل از این تحلیل نشان می‌دهد که آیا عوارض به صورت پراکنده و یا خوشه‌ای در فضا توزیع شده‌اند. این ابزار نشان می‌دهد که در کجاها مقادیر زیاد و یا کم این پدیده‌ها در فضا به طور خوشه‌ای توزیع شده‌اند و کدام عوارض، دارای مقادیر بسیار متفاوت از عوارض پیرامونشان هستند. این روش با فرض داشتن عوارض وزن‌دهی شده، به شناسایی خوشه‌هایی از عوارض که مقادیر آنها از نظر اندازه،

1- outlier
2- Anserine Local Moran I

مشابه و یا نزدیک به هم هستند، می پردازد. این ابزار همچنین ناخوشه‌های فضایی را شناسایی می‌کند. آماره محلی موران I به صورت زیر به دست می‌آید (عسگری ۱۳۹۰: ۶۹-۸۰):

$$I = \frac{x_i - \overline{X}}{S_i^2} \sum_{j=1\ j\neq i}^{n} w_{i.j}\ (x_i - \overline{X}) \quad (۱)$$

که در آن x_i خصیصه عارضه i و $\overline{X}$ میانگین خصیصه مربوط و $w_{i.j}$ وزن فضایی بین عارضه i و jاست و:

$$S_i^2 = \frac{\sum_{j=1\ j\neq i}^{n} w_{i.j}}{n-1} - \overline{X}^2 \quad (۲)$$

که در آن n برابر با تعداد کل عارضه‌هاست. امتیاز استاندارد $z\ I_i$ به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$z_{Ii} = \frac{I_i - E[I_i]}{\sqrt{V}[I_i]} \quad (۳)$$

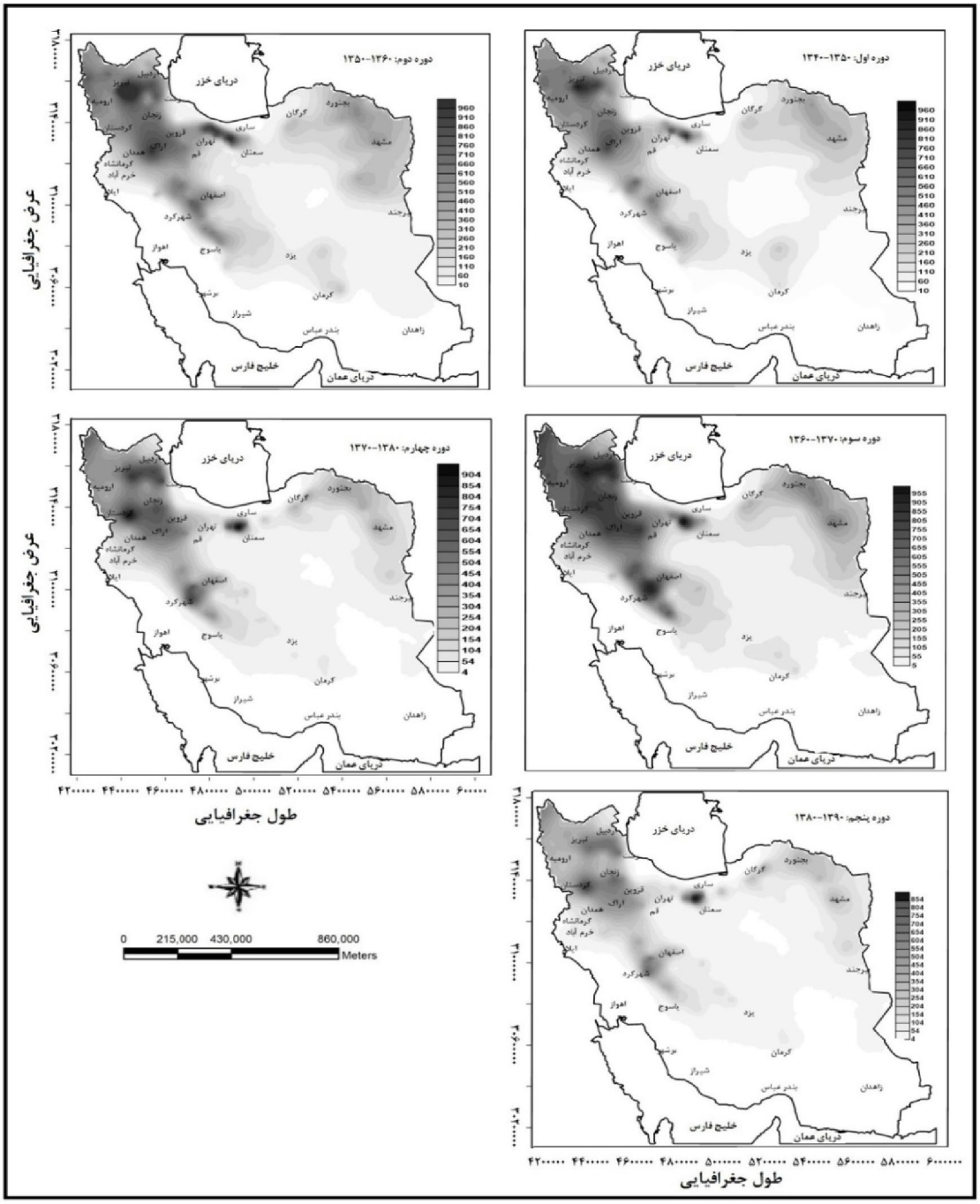
در اینجا خواهیم داشت:

$$E[I] = -\frac{\sum_{j=1\ j\neq i}^{n}}{n-1} \quad V[I] = E[I_1^2] - E[I_1^2] \quad (۴)$$

یافته‌های پژوهش

شکل (۲) فراوانی وقوع یخبندان را طی دوره‌های مختلف نشان می‌دهد. در این اشکال قسمت‌هایی که به رنگ تیره میل می‌کنند، بیانگر مناطقی هستند که دارای بیشترین فراوانی وقوع یخبندان بوده‌اند و در مقابل، هرچه رنگ‌ها به سمت سفید میل کنند، بیانگر مناطق با کمترین فراوانی وقوع یخبندان هستند. قسمت‌های سفید رنگ بیانگر مناطقی هستند که فاقد یخبندان هستند. همان‌طورکه در تمام دوره‌ها مشاهده می‌شود، فراوانی وقوع یخبندان از شمال به جنوب و از غرب به شرق کاسته می‌شود. به ترتیب نواحی شمال غرب، قسمت‌هایی از غرب و مرکز (اصفهان، شهرکرد و یاسوج) و شمال شرق کشور، بیشترین میزان فراوانی را طی این سال‌ها به خود اختصاص می‌دهند که بر نواحی مرتفع کشور؛ یعنی رشته کوه‌های البرز و زاگرس منطبق هستند. در زمینه یخبندان‌های شمال غرب چند دیدگاه وجود دارد؛ برای مثال، جهانبخش و همکاران یخبندان‌های این مناطق را به موقعیت و قدرت سامانه‌های وضع هوای حاکم بر منطقه در زمان رخداد یخبندان نسبت می‌دهند؛ به طوری‌که الگوی همدیدی حاکم بر این مناطق را عمیق شدن ناوه کم‌فشار شمال دریای خزر می‌دانند (جهانبخش و همکاران ۱۳۹۰: ۱۷۲۷۲-۱۷۲۴۸). مسعودیان یخبندان‌های شمال غرب و جنوب شرق را بیشتر از نوع تابشی می‌داند (مسعودیان ۱۳۹۱: ۹۹). هژبرپور و همکاران علل وقوع یخبندان شمال غرب را به حرکت آنتی سیکلونی‌های غربی و پرفشار سیبری نسبت داده‌اند (هژبرپور و همکاران ۱۳۸۶: ۸۹ -۱۰۶). در عین حال، میزان فراوانی یخبندان در جنوب کشور در تمامی دوره‌ها بسیار ناچیز است که از دلایل عمده آن می‌توان به نقش پرفشار پویشی (مسعودیان ۱۳۹۱: ۷۸ و علیجانی ۱۳۸۵: ۱۱۵) و همچنین، پایین بودن عرض جغرافیایی و تابش زیاد اشاره کرد که باعث عدم وقوع یخبندان می‌شوند. این مناطق بر قسمت‌هایی منطبق هستند که امکان رخداد هوای شرجی وجود دارد. به گفته مسعودیان، دمای کمینه این بخش‌های از ایران بیش از ۱۸/۵ درجه سانتیگراد است (مسعودیان ۱۳۹۱: ۹۷). نبود یخبندان و رخداد شرجی این نواحی را از سایر نواحی ایران جدا می‌کند. فراوانی وقوع یخبندان در شمال شرق به طور متوسط در هر دهه تقریباً ۵۰۰ روز است. بسیاری از پژوهشگران منشأ یخبندان‌های شمال شرق را بیشتر وزشی می‌دانند. در این میان، پرفشار مهاجر سیبری از اهمیت زیادی برخوردار است؛ به طوری‌که در زمان حاکمیت این سامانه، هوای سرد از شمال

غرب و شمال شرق وارد ایران شده و سبب سرمایش در این مناطق می‌شود (علیجانی و همکاران، ۱۳۸۲: ۱-۲۰؛ مسعودیان، ۱۳۸۵: ۹۸-۹۹ ؛ فتاحی و همکاران، ۱۳۸۸: ۱۳۶-۱۲۷). فراوانی یخبندان در نواحی شمال و مرکز به طرف شرق کشور در دوره‌های مورد بررسی دارای نوسان‌هایی متفاوت بوده است. هرچه از دوره‌های گذشته (دوره اول:۱۳۵۰-۱۳۴۰) به دوره‌های نزدیک به حال (دوره پنجم: ۱۳۹۰-۱۳۸۰) پیش می‌رویم، از فراوانی وقوع یخبندان کاسته می‌شود؛ به طوری که وقوع گرمایش‌های جهانی تاییدی بر گفته فوق است. از این‌رو، تعداد روزهای یخبندان ایران طی دهه‌های اخیر رو به کاهش است؛ به طوری که پیش از سال ۱۳۶۱ تعداد روزهای یخبندان ایران گاهی کاهش و گاهی افزایش داشته است؛ اما پس از سال ۱۳۶۱ تعداد روزه‌های یخبندان به طور آشکارا رو به کاهش بوده است (مسعودیان ۱۳۹۰: ۱۰۱). بنابراین، می‌توان چنین استنباط کرد که سیستم‌های تاثیرگذار طی دوره‌های مختلف از ماهیت متفاوتی برخوردار بوده است. با توجه به اینکه بیشترین فراوانی در نقاط پرارتفاع کشور (به‌ویژه تهران، تبریز، اردبیل، همدان، زنجان و شهرکرد) رخ داده است، می‌توان چنین استنباط نمود که فراوانی وقوع یخبندان تحت تاثیر ارتفاع و عرض جغرافیایی است؛ به‌طوری‌که مناطق مرتفع کشور چون سهند و دماوند، بیشترین فراوانی وقوع روزهای یخبندان را به خود اختصاص داده‌اند. قسمت‌هایی از کشور که عمدتاً منطبق بر زاگرس است، دارای فراوانی وقوع یخبندان متوسط و به بالا هستند.

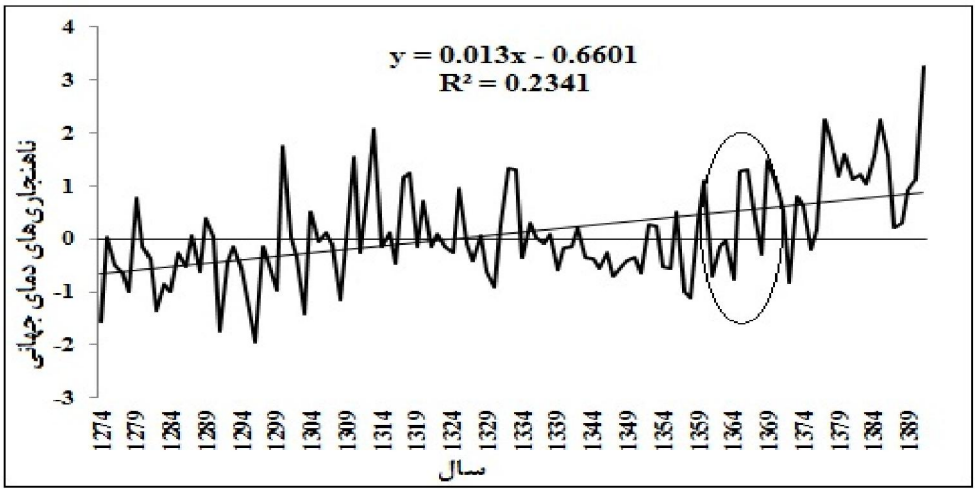


شکل۲) توزیع فضایی فراوانی روزهای یخبندان طی دوره‌های مختلف

شایان ذکر است که مطالعات مختلف توسط بسیاری از پژوهشگران، بیانگر این است که یخبندان‌های این مناطق به طورکلی علاوه بر اینکه منشأ تابشی دارند، از عوامل کلان مقیاس هم تاثیر می‌پذیرند (حجازی‌زاده و ناصرزاده ۱۳۸۴: ۱۵۰-۱۳۹؛ فتاحی و همکاران ۱۳۸۵: ۱۳۶-۱۲۷؛ عزیزی ۱۳۸۳: ۱۱۶-۹۹). در دوره دوم (۱۳۵۰-۱۳۶۰) شدت یخبندان‌ها بیشتر شده و فراوانی وقوع نیز نسبت به دهه گذشته افزایش یافته است. بالاترین فراوانی وقوع یخبندان در بخش‌هایی از شمال غرب کشور؛ به‌ویژه سهند و دماوند دیده می‌شود. در دوره سوم (۱۳۶۰-۱۳۷۰) یخبندان‌ها بخصوص در ارتفاعات

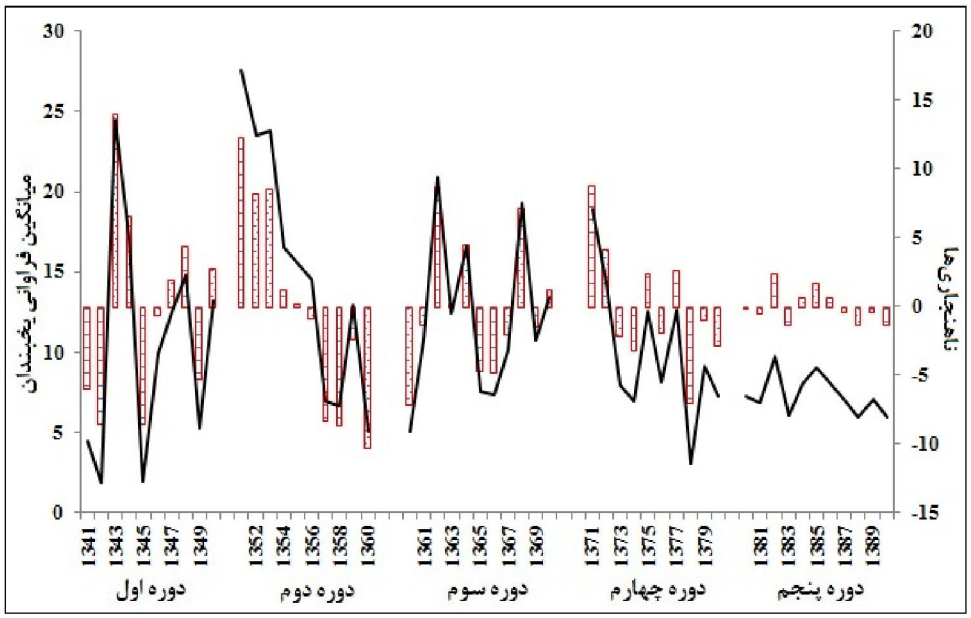
شمال غرب کشور نسبت به تمامی دوره‌ها از شدت بیشتری برخوردار بوده است. در این دهه گستره وقوع یخبندان‌ها نسبت به سایر دوره‌ها بیشتر است؛ به طوری که حتی در قسمت‌های مرکزی کشور نیز یخبندان به‌وقوع پیوسته است. شایان ذکر است که در این دوره همانند سایر دوره‌ها بالاترین فراوانی وقوع یخبندان در شمال غرب و بخش‌هایی از زاگرس و قسمت کوچکی از البرز (دماوند) دیده می‌شود. متوسط فراوانی وقوع یخبندان نیز در شمال شرق کشور قرار دارد.

در دوره چهارم (۱۳۷۰-۱۳۸۰) وقوع یخبندان نسبت به دهه پیشین کاهش قابل ملاحظه‌ای داشته است. همچنین، در گستره وقوع یخبندان نیز کاهش دیده می‌شود. بالاترین فراوانی وقوع یخبندان در دماوند، قسمتی از کردستان، بخش از زاگرس و با فراوانی نسبتاً کمتر در حوالی سبلان و سهند رخ داده است. در دوره پنجم (۱۳۸۰-۱۳۹۰) فراوانی وقوع یخبندان‌ها نسبت به سایر دوره‌ها کمتر است. تنها در دماوند وقوع یخبندان فراوانی بالایی دارد. تنزل فراوانی وقوع یخبندان در شمال غرب کشور از زیاد به متوسط می‌تواند شاهدی بر کمتر بودن یخبندان‌های این دهه باشد. همان طور که مشاهده شد، روند یخبندان‌های ایران به سمت دوره‌های اخیر، کاهش محسوسی داشته است. از آنجایی که یخبندان مستقیماً تحت تاثیر دماست، کاهش یخبندان طی دوره‌های اخیر را می‌توان به روند افزایش (گرمایش جهانی) نسبت داد؛ به طوری که آنومالی دمای جهانی نشان می‌دهد که روند دما و همچنین، ناهنجاری‌های دما طی سال‌های اخیر رو به افزایش بوده است (شکل ۲)؛ تا جایی که میزان ناهنجاری های دمای جهانی به طور متوسط ۰/۰۱۳ درجه سانتیگراد روند افزایشی داشته است.



شکل ۳) ناهنجاری‌ها دمایی جهان و روند آن طی سال‌های ۱۹۸۵ – ۲۰۱۲

با توجه شکل (۳) نمایان می‌شود که از ۱۳۶۹ (معادل سال ۱۹۹۰ م.) به بعد آنومالی دما سیر افزایشی به خود می‌گیرد (شکل ۳). این در حالی است که سیر یخبندان‌های ایران تقریباً از همین سال؛ یعنی دوره سوم (۱۳۷۰-۱۳۶۰) به بعد روند کاهشی محسوسی به خود می‌گیرد (شکل ۴).

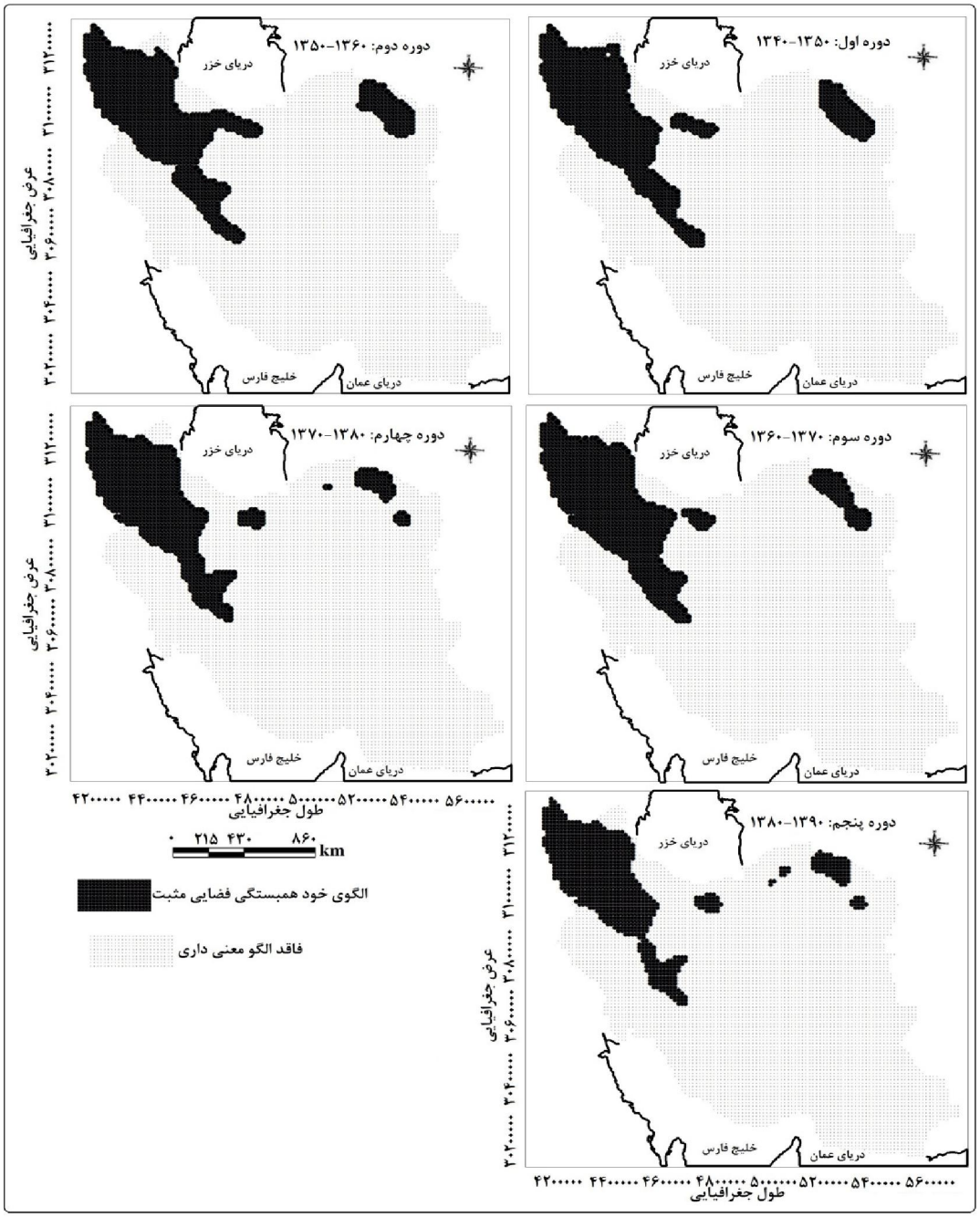


شکل ۴) ناهنجاری‌ها و فراوانی وقوع سالانه یخبندان طی دوره‌های مختلف در ایران

همان‌طورکه در شکل دیده می‌شود، بیشترین فراوانی وقوع یخبندان طی دوره اول (۱۳۵۰-۱۳۴۰) و دوم (۱۳۶۰-۱۳۵۰) رخ داده است. بنابراین، می‌توان گفت افزایش گرمایش جهانی طی سال‌های اخیر به شدت بر روند کاهشی یخبندان‌های ایران تاثیر گذاشت؛ به طوری که سیر افزایشی آنومالی دمای جهانی با سیر کاهشی یخبندان‌های ایران تقریباً مطابقت دارد.

تحلیل الگوی فضایی یخبندان

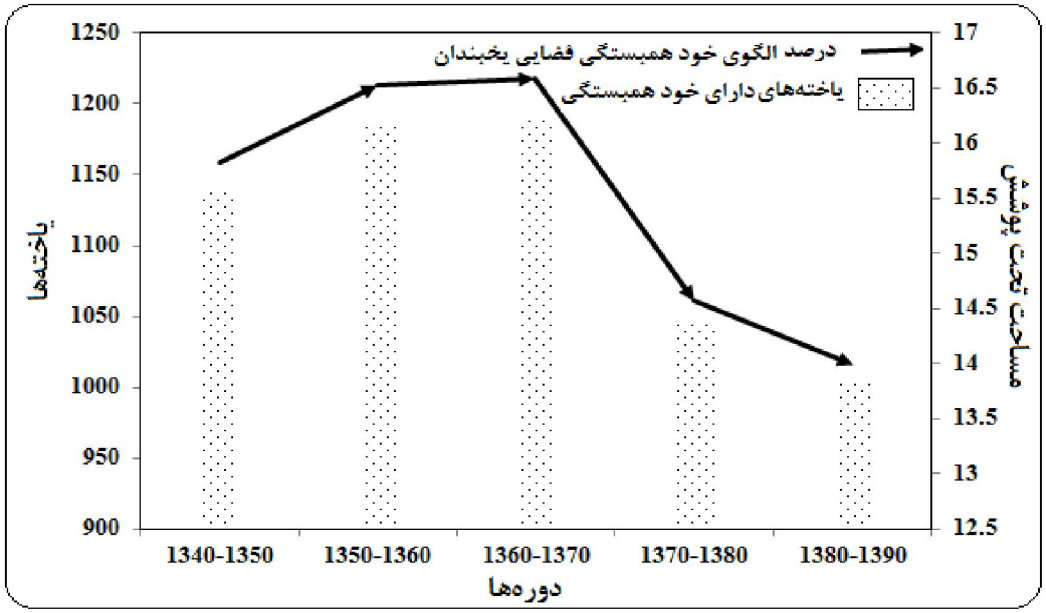
در این مرحله از کار، به منظور بررسی تحلیل فضایی یخبندان‌های ایران طی دوره‌های مورد بررسی از تحلیل فضایی موران محلی بهره گرفته شده است. این تحلیل الگوی توزیع عوارض در فضا را با ملاحظه همزمان موقعیت مکانی و خصیصه ارزیابی می‌کند. نتایج حاصل از این تحلیل نشان می‌دهد که آیا عوارض به صورت تصادفی، پراکنده و یا خوشه‌ای در فضا توزیع شده‌اند. اگر مقدار I مثبت باشد، به معنای آن است که عارضه مورد نظر توسط عوارض مشابه خود محاصره شده است. بنابراین، عارضه مورد نظر بخشی از آن خوشه است. اگر مقدار I منفی باشد، به معنای آن است که عارضه مورد نظر توسط عوارضی که اصلاً مشابهتی با آن ندارند، محاصره شده است. نتایج حاصل از تحلیل موران محلی در شکل (۵) نمایش داده شده است. همان طوری که مشاهده می‌شود، خودهمبستگی فضایی مثبت یخبندان‌ها در همه دوره‌ها بیشتر مربوط به غرب و شمال غرب و همچنین، به صورت لکه‌هایی از شمال شرق است. الگوی تغییرات خودهمبستگی فضایی یخبندان بعد از اینکه طی دوره اول (۱۳۵۰-۱۳۴۰) روند کاهشی داشته، در دوره دوم (۱۳۶۰-۱۳۵۰) و سوم (۱۳۷۰-۱۳۶۰) تغییرات روند افزایشی محسوسی داشته‌اند؛ اما مشاهده می‌شود که از دوره سوم (۱۳۷۰-۱۳۶۰) به بعد؛ یعنی دوره سیر افزایش ناهنجاری‌های جهانی، سیر یخبندان‌های ایران روند کاهشی درخورتوجهی به خود می‌گیرد.



شکل۵) تحلیل فضایی یخبندان‌های ایران بر اساس موران محلی طی دوره‌های مختلف

همان‌طور که دیده می‌شود، بیشینه این یخبندان‌ها بر اساس موران محلی بیشتر در امتداد کوه‌های زاگرس مشاهده می‌شود. با وجود این، همان طورکه از شکل (۶) نیز استنباط می‌شود، به سمت دوره‌های اخیر (دوره پنجم) از روند خودهمبستگی فضایی یخبندان‌های ایران کاسته شده است؛ برای مثال، در دوره اول تقریباً ۱۵درصد از مساحت کشور دارای الگوی خودهمبستگی فضایی مثبت یخبندان بوده است. این درحالی است که در دوره پنجم این مقدار به ۱۳درصد می‌رسد. در سواحل دریای خزر در بین دوره‌های مورد بررسی، در دوره دوم مساحت بیشتری از کرانه‌های

سواحل دریای خزر دارای یخبندان بوده است که در دوره‌های سوم الگوی خودهمبستگی فضایی مثبت این یخبندان‌ها کاهش یافته و در دوره چهارم به بعد تقریباً فاقد الگوی خودهمبستگی فضایی مثبت شده است. بر اساس این مدل، بخش بسیار زیادی از مساحت کشور فاقد الگوی خودهمبستگی فضایی بوده است. بنابراین، بر اساس تحلیل فضایی موران محلی، الگوی خودهمبستگی فضایی یخبندان‌های ایران رو به کاهش است که این نتایج با نتایج مسعودیان و همکاران (۱۳۹۲) همخوانی دارد.



شکل ۶) درصد الگوی خودهمبستگی فضایی یخبندان‌های ایران طی دوره‌های مختلف

نتیجه‌گیری

در این پژوهش، با استفاده از تحلیل فضایی شاخص موران به بررسی یخبندان و تغییر الگوی فضایی یخبندان طی دوره‌های مختلف (دوره اول: ۱۳۵۰-۱۳۴۰، دوره دوم: ۱۳۶۰-۱۳۵۰، دوره سوم: ۱۳۷۰-۱۳۶۰، دوره چهارم ۱۳۸۰-۱۳۷۰ و دوره پنجم: ۱۳۹۰-۱۳۸۰) طی نیم قرن اخیر پرداخته شد. یافته‌های پژوهش نشان می‌دهد، با اینکه فراوانی وقوع یخبندان در دوره‌های مختلف متغیر بوده است؛ اما در تمام دوره‌ها بیشینه یخبندان‌ها منطبق با نواحی مرتفع کشور بوده است، که این خود بیانگر این است که یخبندان‌های ایران بیشتر از شرایط و عوامل محلی؛ به‌ویژه توپوگرافی تأثیر می‌پذیرد؛ هرچندکه می‌توان استنباط نمود که افزایش دمای جهانی طی سال‌های اخیر بر کاهش یخبندان‌های ایران تاثیر گذاشت؛ به طوری که نتایج بیانگر این بوده است که از دهه‌ای که دمای جهان افزایش بوده است، یخبندان‌های ایران کاهش قابل محسوسی داشته است. با وجود این، در دوره سوم مساحت بیشینه یخبندان نسبت به سایر دوره‌ها بیشتر و فراوانی یخبندان‌ها در دوره پنجم نسبت به سایر دوره‌ها کمتر بوده است. این مسأله بیانگر این است که به سمت دوره‌های اخیر از فراوانی یخبندان‌ها به شدت کاسته شده است که این روند کاهش یخبندان دوره اخیر با روند افزایش ناهنجاری‌های دمای جهان طی سال‌های اخیر همسان بوده است. تحلیل الگوی خودهمبستگی فضایی شاخص موران

محلی بیانگر این است که الگوی خودهمبستگی فضایی مثبت یخبندان‌های ایران بیشتر مربوط به نواحی غرب، شمال غرب و همچنین، به صورت لکه‌هایی در شمال شرق پراکنده شده‌اند. همچنین، نتایج نشان داد که الگوی خودهمبستگی فضایی یخبندان‌های ایران به سمت دوره‌های اخیر روند کاهشی محسوسی داشته‌اند. این وضعیت بیانگر این است که به سمت دوره‌های اخیر مساحت‌های تحت پوشش یخبندان روند کاهشی داشته است.

منابع

۱- امیدوار، کمال و ابراهیمی، عاطفه .(۱۳۸۸). پهنه‌بندی شدت یخبندان در استان یزد، *جغرافیا (نشریه علمی-پژوهشی انجمن جغرافیای ایران)*، ش ۲۰ و ۲۱، صص ۱۱۳-۱۲۷.

۲- جهانبخش، سعید؛ رضایی، سمیه؛ قاسمی، احمدرضا و تدینی، معصومه .(۱۳۹۰). تحلیل همدیدی یخبندان‌های بهاره تبریز (مطالعه موردی: سرمای بهار ۱۳۸۲ و ۱۳۸۳)، *فصلنامه تحقیقات جغرافیایی*، ش ۳، صص ۱-۲۴.

۳- حجازی‌زاده، زهرا و ناصرزاده، محمد حسین .(۱۳۸۴). محاسبه و تحلیل یخبندان‌ها توسط برنامه دلفی در استان لرستان، *فصلنامه تحقیقات جغرافیایی*، بهار، صص ۱۳۹-۱۵۰.

۴- حجازی‌زاده، زهرا؛ ناصرزاده، محمدحسین .(۱۳۸۶). تجزیه و تحلیل یخبندان در استان لرستان، *نشریه علوم جغرافیایی*، ج ۶، ش۸ و ۹، صص ۱۹-۳۲.

۵- خوشحال دستجردی، جواد؛ یزدان‌پناه، حجت‌الله، حاتمی، بهمن و بیگلو، خداکرم .(۱۳۸۹). شناسایی الگوهای گردشی پدیده یخبندان با کاربرد تحلیل مؤلفه‌های مبنا و تحلیل خوشه‌ای (مطالعه موردی: استان فارس). ش ۲، صص ۲۷-۳۸.

۶- خسروی، محمود و دوستکامیان، مهدی؛ میرموسوی، سیدحسین و بیات، علی و بیگ رضایی، احسان .(۱۳۹۳) تحلیل و طبقه‌بندی دما و بارش در ایران زمین با استفاده از روش‌های زمین آمار و تحلیل خوشه‌ای، ش ۱۳، صص ۱۲۱-۱۳۲.

۷- ذوالفقاری، حسن؛ زاهدی، غلامرضا و سجادی‌فر، طیبه .(۱۳۹۱). پیش‌بینی تاریخ آخرین یخبندان‌های بهاری در غرب و شمال غرب ایران، *جغرافیا و پایداری محیط*، ۴، صص ۵۹-۷۴.

۸- طاووسی، تقی و درخشی، جعفر .(۱۳۸۹). تحلیل آماری احتمال وقوع و دوره‌های برگشت یخبندان‌های زودرس و دیررس زاهدان در دوره آماری (۱۳۸۶-۱۳۶۰)، *مجله علمی-پژوهشی فضای جغرافیایی*، ۳۰، صص ۸۹-۱۰۴.

۹- عزیزی، قاسم .(۱۳۸۳). ارزیابی همدیدی یخبندان‌های بهاری نیمه غرب ایران، *مدرس علوم انسانی*، ش ۱۸، صص ۹۹-۱۱۶.

۱۰- عسگری، علی .(۱۳۹۰). *تحلیل‌های آمار فضایی*، انتشارات سازمان اطلاعات و فناوری شهرداری تهران.

۱۱- علیجانی، بهلول .(۱۳۸۵). *آب و هوای ایران*، انتشارات دانشگاه پیام نور.

۱۲- علیجانی، بهلول و کاویانی، محمدرضا .(۱۳۸۵). *مبانی آب و هواشناسی*، انتشارات سمت.

۱۳- علیجانی، بهلول؛ محمودی، پیمان؛ سلیقه، محمد و ریگی‌چاهی، محمد .(۱۳۹۰). بررسی تغییرات کمینه‌ها و بیشینه‌های سالانه دما در ایران، *فصلنامه تحقیقات جغرافیایی*، ش ۳، صص ۱۷۳۵۲ – ۱۷۳۷۴.

۱۴- علیجانی، بهلول؛ محمودی، پیمان؛ ریگی چاهی، الهبخش و خسروی، پرویز .(۱۳۸۹). بررسی تداوم روزهای یخبندان در ایران، *پژوهش‌های جغرافیای طبیعی*، ۷۳، صص ۱-۲۰.

۱۵- عیسی‌زاده، شاهرخ؛ معماریان، محمدحسین؛ میرکنی، سید مجید و تقی‌زاده، احسان .(۱۳۸۹). تحلیل همدیدی یخبندان‌های استان آذربایجان شرقی، چهاردهمین کنفرانس ژئوفیزیک ایران، تهران، *فیزیک فضا*، صص ۲۳۸-۲۴۱.

۱۶- فتاحی، ابراهیم و تهمینه، صالحی پاک .(۱۳۸۸). تحلیل الگوهای همدیدی یخبندان‌های زمستانه ایران، *جغرافیا و توسعه*، صص ۱۲۷-۱۳۶.

۱۷- فتاحی، ابراهیم و صالحی پاک تهمینه .(۱۳۸۸). تحلیل الگوی همدیدی یخبندان‌های زمستانه ایران، *مجله جغرافیا و توسعه*، ش ۱۳، صص ۱۳۶-۱۲۷.

۱۸- کمالی، غلامعلی و حبیبی نوخندان، مجید .(۱۳۸۴). بررسی توزیع مکانی و زمانی یخبندان در ایران و نقش آن در حمل و نقل جاده‌ای، *پژوهشنامه حمل ونقل*، سال دوم، ش ۲: ۱۲۷-۱۳۵.

۱۹- مسعودیان، ابوالفضل و دارند، محمد .(۱۳۸۹). شناسایی و پهنه‌بندی نواحی دمای فرین سرد ایران، *مطالعات جغرافیایی مناطق خشک*، ۲، صص۴۳-۵۴.

۲۰- مسعودیان، سیدابوالفضل و دارند، محمد .(۱۳۹۲). تحلیل همدید یخبندان‌های فراگیر و با دوام ایران، *جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی*، ۲، صص ۱۲۹-۱۴۰.

۲۱- مسعودیان، سیدابوالفضل .(۱۳۸۳). بررسی دمای ایران در نیم سده گذشته، *مجله جغرافیا و توسعه*، صص ۸۹ – ۱۰۶.

۲۲- مسعودیان، سیدابوالفضل .(۱۳۹۰). *آب هوای ایران*، انتشارات شریعه توسعه مشهد- دانشگاه اصفهان.

۲۳- نوحی، کیوان؛ صحرائیان، فاطمه؛ پدرام، مژده و صداقت کردار، عبدالله .(۱۳۸۷). تعیین طول دوره بدون یخبندان با استفاده از تاریخ‌های آغاز و خاتمه یخبندان فرارفتی و تابشی در نواحی زنجان، قزوین و تهران، *علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی*، ۴۶، صص ۴۴۹-۴۶۰.

۲۴- هژبرپور، قاسم و علیجانی، بهلول .(۱۳۸۶). تحلیل همدید یخبندان‌های استان اردبیل، *جغرافیا و توسعه*، ش۱۰، صص ۸۹-۱۰۶.

25- Frauenfeld, Oliver W, Zhang, Tingjun and McCreight James L.(2007). Northern hemisphere freezing/thawing index variations over the twentieth century, Int. J. Climatol. 27,pp 47 – 63

26- Saikranthi, K., T. Narayana Rao, B. Radhakrishna, S. Vijaya Bhaskara Rao.(2013): Impact of Misrepresentation of Freezing-Level Height by the TRMM Algorithm on Shallow Rain Statistics over India and Adjoining Oceans. J. Appl. Meteor. Climatol, 52,pp: 2001–2008.

27- Sinha, Tushar and Cherkauer, Keitha .(2008). Time Series Analysis of Soil Freeze and Thaw Processes in Indiana, Iournal of Hydrometeorology, Vol 9,pp: 936- 950

28- Welti, André, Zamin A. Kanji, F. Lüönd, Olaf Stetzer, Ulrike Lohmann .(2014). Exploring the Mechanisms of Ice Nucleation on Kaolinite: From Deposition Nucleation to Condensation Freezing. J. Atmos. Sci., 71, pp:16–36.