

## اطلس اقلیم شناسی ویژگی های آماری یخبندان های ایران

### چکیده

برای تهیه اطلس اقلیم شناسی ویژگی های یخبندان های ایران و دستیابی به الگوهای زمانی و مکانی آن، داده های مربوط به دمای حداقل روزانه ۶۲ ایستگاه هواشناسی سینوپتیک، برای یک دوره ۱۵ ساله (۲۰۰۷-۱۹۹۱)، برای ماه های اکتبر تا می از سازمان هواشناسی کشور اخذ گردید. با انتخاب روز اول اکتبر (۹ مهر)، به عنوان روز مبنا، پنج ویژگی آماری: متوسط روز آغاز یخبندان، متوسط روز خاتمه یخبندان، متوسط فراوانی تعداد روزهای یخبندان، متوسط طول فصل یخبندان و متوسط طول فصل رشد استخراج و نقشه های توزیع مکانی آنها ترسیم گردید. آرایش فضایی این شاخص ها به گونه ای است که از جنوب تا مرکز ایران که ارتفاعات مرتفع در آن کمتر است، دارای آرایش منظم غربی - شرقی است، اما از مرکز ایران به سمت شمال که ارتفاعات مرتفع نقش بارزتری پیدا می کنند، این آرایش به هم خورده و بیشتر تابع ارتفاعات می گردند.

در ادامه با اجرای تحلیل خوشه ای بر روی پنج ویژگی آماری یخبندان در ایران، مشاهده شد که می توان ایران را به ۶ خوشه متمایز تفکیک نمود. خوشه های به دست آمده با حروف انگلیسی A تا F نامگذاری شده اند. آرایش مکانی این ۶ پهنه نیز همچون پنج ویژگی آماری یخبندان، تابعی از عرض جغرافیایی و ارتفاع است. پهنه A جنوبی ترین پهنه ایران است که فاقد هرگونه یخبندان بوده و پهنه F که در شمال غربی ایران واقع شده است، دارای زودرس ترین، دیررس ترین، طولانی ترین طول دوره یخبندان و کوتاه ترین طول فصل رشد در ایران می باشد. بنابراین، آرایش ویژگی آماری یخبندان در ایران هم تابع عوامل زمین - اقلیم است و هم تابع سیستم های سینوپتیک وارد شده به کشور.

**واژه های کلیدی:** ایران، یخبندان، پهنه بندی، تحلیل خوشه ای، اطلس اقلیمی.

### مقدمه

یخبندان به عنوان یکی از مخاطرات اقلیمی، هر ساله بیشتر نقاط کشور و در بعضی از سال ها حتی قسمت های جنوبی کشور را در بر گرفته و خسارات زیادی را به بار می آورد (براتی، ۱۳۷۵). به خصوص وقوع ناگهانی آن در ابتدا و انتهای فصل سرما، می تواند بسیار خطرناک برای بخش کشاورزی باشد. بنابراین برای مدیریت کاهش اثرات این پدیده اقلیمی بر بخش کشاورزی و بهره مندی اندیشمندان از توان های محیطی یک منطقه وسیع، توجه جدی به مطالعه دقیق این پدیده در همه سطح زمین لازم به نظر می رسد و این امر قاعدتاً مستلزم هزینه گزاف و صرف وقت طولانی خواهد بود؛ لذا جهت

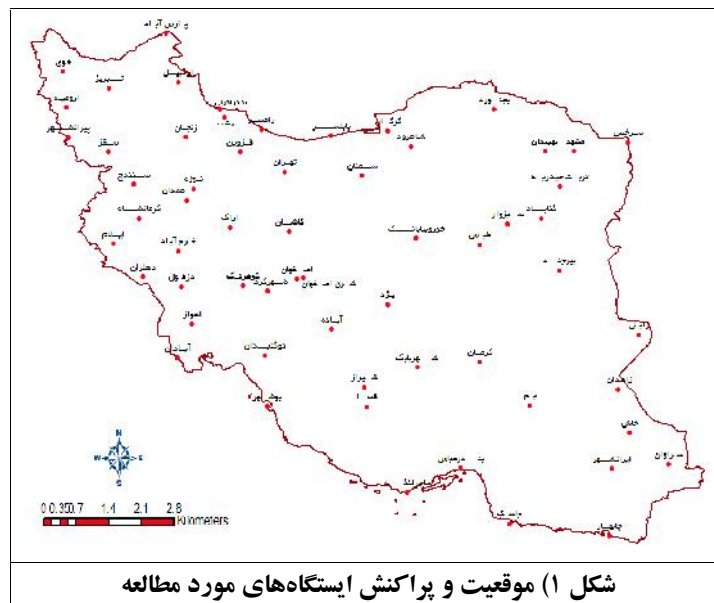
پرهیز از این دو و درعین حال در راستای رسیدن به اهداف مدیریتی، نیازمند پهنه‌بندی و شناخت دقیق تجانس و عدم تجانس بین نواحی مختلف در یک منطقه بزرگ هستیم و این می‌تواند راهگشای طراحی و دادن برنامه‌های یکسان برای نواحی متجانس بوده و از دوباره کاری‌ها بکاهد.

با توجه به اینکه اولین سرما‌های پاییزه و آخرین سرما‌های بهاره به علت غافلگیر نمودن کشاورزان و عدم اتخاذ تدابیر لازم توسط آنها، می‌تواند خسارت بارترین نوع یخبندان‌ها باشد، لذا از دیرباز اطلاع از این تاریخ‌ها، مورد توجه محققین بخش هواشناسی و اقلیم‌شناسی بوده است (تام و شاو، ۱۹۵۸؛ روزنبرگ و مایرز، ۱۹۶۲؛ اشمیدلین و دتیر، ۱۹۸۶؛ ویلن، ۱۹۸۸؛ واتکینز، ۱۹۹۱). به طوری که جهت تعیین و پیش‌بینی زمان وقوع این پدیده روش‌های گوناگونی توسط محققین مختلف ارائه شده است؛ روش‌های برآورد دمای سطحی (کنگیسر، ۱۹۵۹؛ جورج، ۱۹۷۸)، براساس اقلیم‌شناسی محلی مکان‌های مورد مطالعه در گذشته با موفقیت استفاده شده است (ایرلند، ۲۰۰۵). روش‌های مبتنی بر محاسبه تراز انرژی سطحی (کالما و همکاران، ۱۹۹۲؛ فیگورولا و ماتزو، ۱۹۹۷؛ روسی و همکاران، ۲۰۰۲؛ اسنایدر و ملو-آبرو، ۲۰۰۵) و روش‌های مبتنی بر سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی (هالی و همکاران، ۲۰۰۳) نیز به‌طور نمونه جهت پیش‌بینی دمای سطحی یا دمای تاج پوشش گیاهی با استفاده از دیده بان‌های گذشته مورد استفاده قرار گرفته است. روش کاربردی و شناخته شده‌تر دیگر استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی (ANN) است (راینسون و مورت، ۱۹۹۷؛ قیلمی و اسل، ۲۰۰۶؛ اسمیت و همکاران، ۲۰۰۶)، که یکی از ابزارهای مناسب و توانمند به حساب می‌آید و در ایالت جورجیای آمریکا نیز با موفقیت به کار برده شده است (جین و همکاران، ۲۰۰۳، ۲۰۰۶). استفاده از مدل‌های عددی نیز در چند سال اخیر به‌طور گسترده‌ای جهت شبیه‌سازی و پیش‌بینی یخبندان‌ها استفاده شده است (کاسومنوس و همکاران، ۱۹۹۷؛ پرابا و هوگنوم، ۲۰۰۸).

در ایران نیز مطالعات مختلفی در خصوص جنبه‌های مختلف این پدیده، همچون تعیین اولین یخبندان‌های پاییزه و آخرین یخبندان‌های بهاره (علیزاده و همکاران، ۱۳۷۳؛ خلجی، ۱۳۸۰؛ کاویانی و همکاران، ۱۳۸۱)، تداوم روزهای یخبندان (حجازی زاده و ناصرزاده، ۱۳۸۴؛ عساکره، ۱۳۸۹؛ علیجانی و همکاران، ۱۳۸۹)، ویژگی‌های فصل رشد (صدافت کردار و رحیم زاده، ۱۳۸۶؛ نوحی و همکاران، ۱۳۸۶ و ۱۳۸۷) و روزهای ذوب-انجماد (موسوی بایگی و همکاران، ۱۳۸۹) با استفاده از روش‌های آماری و در مقیاس‌های استانی انجام شده است. الگوهای سینوپتیکی مرتبط با یخبندان‌ها نیز توسط برخی از محققان برای برخی قسمت‌های ایران استخراج گردیده است (براتی، ۱۳۷۵؛ بهیار، ۱۳۸۲؛ عزیزی، ۱۳۸۳؛ علیجانی و هوشیار، ۱۳۸۷ و فتاحی و صالحی پاک، ۱۳۸۸). استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی برای پهنه‌بندی ویژگی‌های آماری یخبندان به‌طور محدودی در برخی مطالعات در مقیاس‌های خرد همچون مطالعات ضیائی و همکاران (۱۳۸۵)، خسروی و همکاران (۱۳۸۷) و میان‌آبادی و همکاران (۱۳۸۸) انجام شده است، اما امروزه اقلیم‌شناسان به دنبال استفاده از روش‌هایی می‌باشند که بتوانند با حداقل خطا، واقعیت‌های موجود در پهنه‌های اقلیمی را آشکار سازند. یکی از این روش‌ها که می‌تواند به اقلیم‌شناسان در این زمینه کمک کند، استفاده از روش‌های آماری چند متغیره است (عطائی، ۱۳۸۳). استفاده از این روش‌ها به‌طور گسترده‌ای در پهنه‌بندی‌های اقلیمی (حیدری و علیجانی، ۱۳۷۸؛ مسعودیان، ۱۳۸۲) و پهنه‌بندی ویژگی‌های مختلف بارشی (دین پزوه و همکاران، ۱۳۸۲؛ مسعودیان و عطائی، ۱۳۸۴؛ مسعودیان، ۱۳۸۴؛ مسعودیان، ۱۳۸۸) استفاده شده است، اما تاکنون با استفاده از این روش، پهنه‌بندی یخبندان برای ایران صورت نگرفته است و محققین این تحقیق، انجام این پهنه‌بندی را برای ایران به عهده گرفته و آن‌را به انجام رسانده‌اند.

## داده‌ها و روش پژوهش

برای تهیه اطلس اقلیم‌شناسی، ویژگی‌های یخبندان‌های ایران و دستیابی به الگوهای زمانی و مکانی آن، داده‌های مربوط به دمای حداقل روزانه ۶۲ ایستگاه هواشناسی سینوپتیک برای یک دوره ۱۵ ساله (۲۰۰۷-۱۹۹۱) برای ماه‌های اکتبر تا می از سازمان هواشناسی کشور اخذ گردید. توزیع و پراکنش ایستگاه‌های مورد مطالعه در سطح کشور در شکل ۱ آورده شده است.



بعد از اخذ داده‌ها و تشکیل بانک اطلاعاتی آن در محیط نرم افزاری اکسل، مشاهده گردید که در غالب ایستگاه‌ها در ماه اکتبر (مهر ماه)، اولین یخبندان‌ها (دمای صفر و زیر صفر درجه سانتیگراد) شروع می‌شوند، به همین علت روز اول اکتبر برابر با نهم مهرماه به عنوان روز مبنا انتخاب و مابقی روزها به ترتیب، نسبت به این مبدأ شمارش شدند؛ برای مثال اگر در یک ایستگاه اولین دمای صفر درجه سانتی گراد در روز ۶۳ رخ داده باشد، با توجه به مبنای ما که روز اول اکتبر (نهم مهر) است، معادل با ۲ دسامبر (۱۱ آذر) خواهد بود و به همین ترتیب اگر آخرین دمای زیر صفر درجه سانتی گراد در روز ۲۰۲ رخ داده باشد، برابر ۲۰ آوریل (۱ اردیبهشت) است.

بعد از تنظیم داده‌ها بر اساس روز ژولینوسی، پنج شاخص یخبندان شامل: متوسط روز آغاز یخبندان، متوسط روز خاتمه یخبندان، تعداد سالانه روزهای یخبندان، طول فصل یخبندان و طول فصل رشد برای هر ایستگاه به صورت جداگانه مستخرج گردیدند. سپس برای هر کدام از این شاخص‌ها در محیط سامانه اطلاعات جغرافیایی (ARC/GIS) و با استفاده از روش میانبایی کریجینگ نقشه‌های پهنه بندی آنها تهیه گردید.

در ادامه از روش تحلیل خوشه‌ای جهت پهنه بندی ویژگی‌های آماری یخبندان ایران بهره برده شد. تحلیل خوشه‌ای یکی از روش‌های آماری است که در زمینه کاهش داده‌ها و پیدا کردن گروه‌های واقعی مورد استفاده قرار می‌گیرد. هدف اصلی این روش، ایجاد گروه‌ها و طبقاتی است که تنوع و تفرق درون گروهی آنها کمتر از تفرق و پراکنش بین گروهی باشد (عطایی، ۱۳۸۳). برای انجام این کار، دو گام اساسی پیموده شود: گام اول محاسبه درجه همانندی ایستگاه‌ها با یکدیگر و گام دوم چگونگی ادغام ایستگاه‌ها بر حسب درجه همانندی آنها با یکدیگر است.

روش‌های گوناگونی برای اندازه‌گیری درجه همانندی پیشنهاد شده است که هر یک متناسب با ماهیت موضوع مورد بررسی کارآیی پیدا می‌کنند. در مطالعات اقلیمی، غالباً برای محاسبه درجه همانندی از فاصله اقلیدسی استفاده می‌شود. اگر  $m$  تعداد متغیرها،  $X_{ij}$  مقدار متغیر  $i$  برای نفر  $i$  باشد، فاصله اقلیدسی بین  $K$  و  $I$  عبارت است از:

$$D_{KI} = \sqrt{\sum_{j=1}^m (X_{Kj} - X_{Ij})^2} \quad \text{رابطه (۱)}$$

پس از اندازه‌گیری درجه همانندی ایستگاه‌ها باید شیوه‌ای برای ادغام ایستگاه‌هایی که بالاترین درجه همانندی را نشان داده‌اند به کار برد. روش وارد<sup>۱</sup> روشی است که در این مرحله از آن استفاده گردید. در این روش، گروه‌های  $r$  و  $s$  در صورتی ادغام می‌شوند که افزایش واریانس ناشی از ادغام آنها نسبت به ادغام هر یک از آنها با دیگر گروه‌ها کمینه باشد؛ به بیان ریاضی:

$$d(r, s) = \frac{n_r n_s d_{rs}^2}{(n_r + n_s)} \quad \text{رابطه (۲)}$$

که در اینجا  $d_{rs}^2$  فاصله بین گروه  $r$  و گروه  $s$  است.

روش مزبور این مزیت را دارد که هر ایستگاه را در گروهی جای می‌دهد که مجموع مربعات انحرافات درون گروهی به حداقل برسد. ایستگاه‌هایی که به این روش در یک خوشه جای می‌گیرند، از نظر مکانی بر روی نقشه در همسایگی یکدیگر واقع می‌شوند (مسعودیان، ۱۳۸۴).

برای انجام خوشه‌بندی از محیط نرم افزار مینی تب بهره گرفته شده و پهنه بندی نهایی نیز همچون دیگر نقشه‌های قبلی در محیط سامانه اطلاعات جغرافیایی و با استفاده از روش کریجینگ انجام شده است.

## بحث

### تحلیل فضایی شاخص‌های یخبندان در ایران

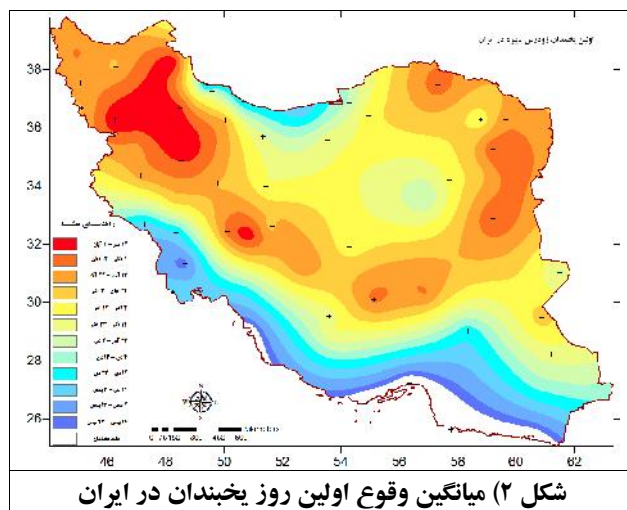
به منظور شناخت قابلیت وقوع یخبندان در ایران، خصوصیات فضایی پنج شاخص یخبندان مورد بررسی قرار گرفت تا علاوه بر مطالعه خود شاخص که از لحاظ کاربردی در برنامه‌ریزی‌ها قابل استفاده است، تصویر مناسبی از خطر وقوع یخبندان در ایران نیز ارائه گردد.

از بین شاخص‌های مورد مطالعه، دو شاخص اولین و آخرین روز یخبندان، دارای اهمیت ویژه‌ای می‌باشند؛ زیرا بسیاری از فعالیت‌های کشاورزی، از جمله: برداشت پنبه، چغندر و همچنین کشت گندم و جوی پاییزه مصادف با یخبندان‌های زودرس پاییزه و گل‌دهی درختان میوه نیز مصادف با یخبندان‌های دیررس بهار است. زودترین روز متوسط سالانه آغاز یخبندان در ایران در شمال غرب ایران رخ می‌دهد؛ به طوری که چهار ایستگاه سقز، اردبیل، شهرکرد و نوژه همدان به ترتیب اولین ایستگاه‌هایی هستند که در دهه سوم مهرماه وقوع اولین یخبندان‌ها را تجربه می‌کنند و ایستگاه‌های جنوبی و شمالی ایران - صرف نظر از نوار ساحلی جنوب ایران که فاقد هرگونه یخبندانی است - همچون اهواز و انزلی نیز ایستگاه‌هایی هستند که دیرترین متوسط سالانه آغاز یخبندان را در بهمن ماه تجربه می‌کنند. بنابراین فاصله زمانی بین زودترین و دیرترین روز متوسط سالانه آغاز یخبندان در ایران ۱۱۵ روز است (شکل ۲).

زودترین روز متوسط سالانه خاتمه یخبندان در ایران نیز متعلق به ایستگاه‌های حاشیه نوار ساحلی جنوب و جنوب شرقی ایران، همچون ایرانشهر، آبادان و دزفول است که در دهه میانی دی ماه به وقوع می‌پیوندد، اما دیرترین روز متوسط سالانه

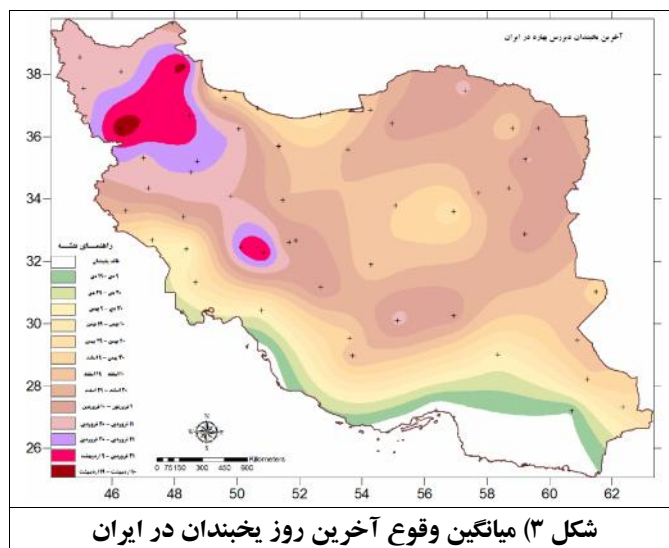
<sup>۱</sup> - Ward

خاتمه یخبندان در ایران قاعدتاً در ارتفاعات غرب و شمال غرب ایران و همچنین ارتفاعات استان چهارمحال و بختیاری است؛ به طوری که در ایستگاه‌های سقز، اردبیل و شهرکرد آخرین یخبندان‌ها در دهه میانی اردیبهشت پایان می‌پذیرد (شکل ۳).

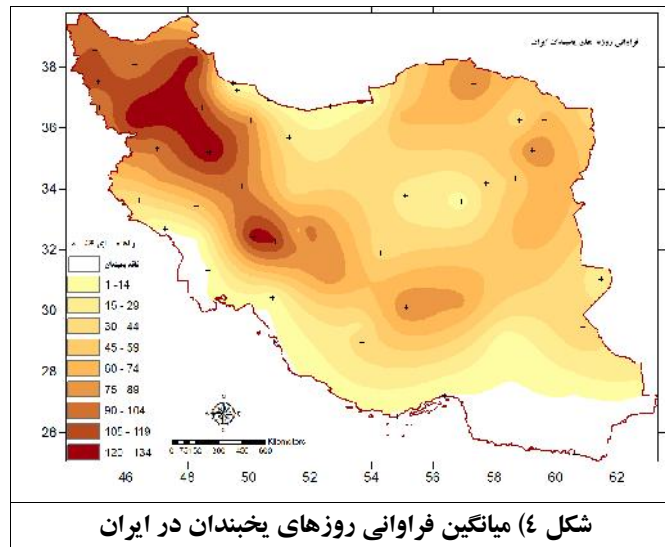


شکل ۲) میانگین وقوع اولین روز یخبندان در ایران

فراوانی وقوع یخبندان یا تعداد روزهای یخبندان، سومین شاخصی بود که برای کل ایستگاه‌های مورد مطالعه استخراج گردید. فراوانی تعداد روزهای یخبندان عبارت است از مجموع روزهایی که در آنها دمای حداقل روزانه معادل صفر یا پایین‌تر از صفر درجه سانتی‌گراد است. کمترین فراوانی تعداد روزهای یخبندان بجز نوار ساحلی جنوب ایران که فاقد هرگونه یخبندانی است، متعلق به ایستگاه‌های جنوب شرق و جنوب غرب ایران، همچون ایرانشهر، آبادان و دزفول با یک روز یخبندان و بیشترین آن با ۱۳۴ و ۱۳۱ روز متعلق به ایستگاه‌های نوره و سقز می‌باشد (شکل ۴).

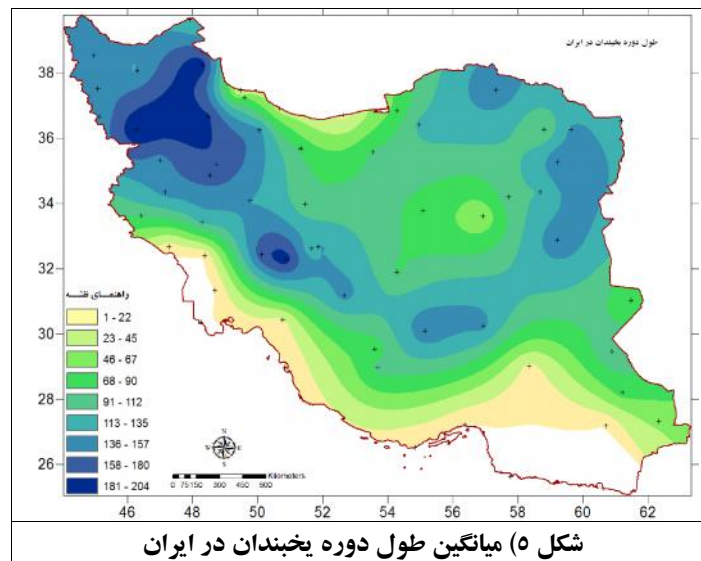


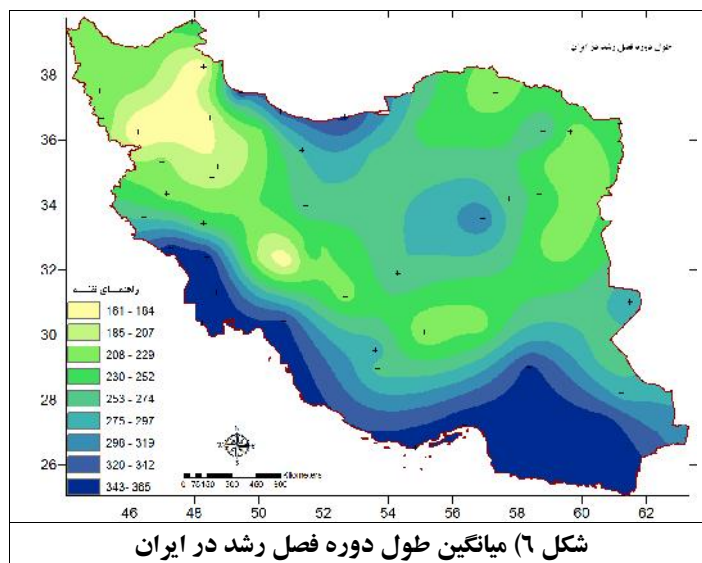
شکل ۳) میانگین وقوع آخرین روز یخبندان در ایران



طول دوره یخبندان عبارت است از: فاصله زمانی بین آخرین روز غیر یخبندان در پاییز یا اوایل زمستان و اولین روز غیر یخبندان در اواخر زمستان یا اوایل بهار. به طور معمول سه ایستگاه آبادان، اهواز و ایرانشهر با داشتن یک روز یخبندان دارای کمترین طول دوره یخبندان و سقز، اردبیل و شهرکرد با ۲۰۴، ۱۹۸ و ۱۹۶ روز دارای طولانی‌ترین طول دوره یخبندان در ایران بوده‌اند (شکل ۵).

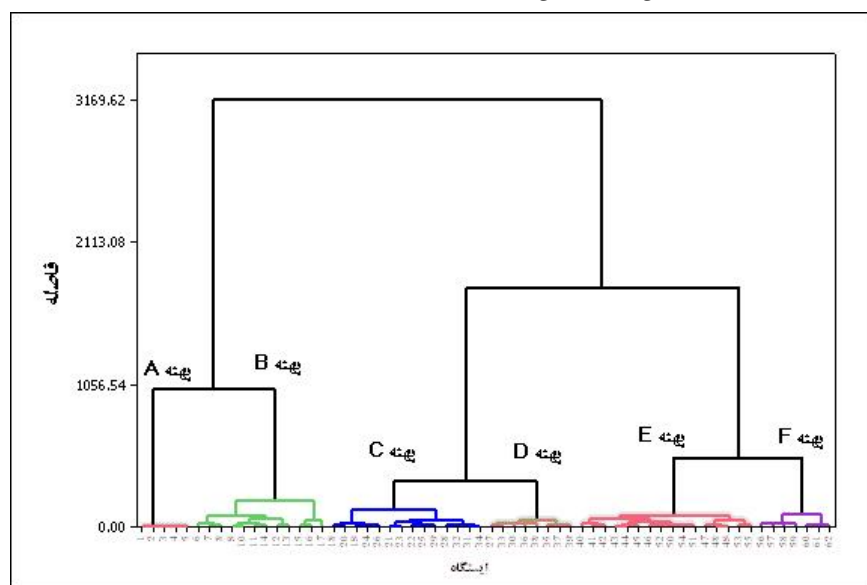
فصل رشد، پنجمین شاخصی بود که توزیع فضایی آن در ایران مورد بررسی قرار گرفت. فصل رشد توسط آغاز و خاتمه یخبندان محدود می‌شود، به عبارت دیگر، فصل رشد عبارت است از: فاصله زمانی بین خاتمه یخبندان در بهار و آغاز یخبندان در پاییز در آستانه صفر درجه سانتی‌گراد و کمتر. در تمام روزهای فصل رشد، دمای حداقل روزانه در بالای آستانه مورد نظر قرار دارد. طول فصل رشد دقیقاً عکس طول دوره یخبندان است؛ یعنی ایستگاهی که دارای طول دوره یخبندان طولانی است، قاعدتاً طول رشد آن کوتاه خواهد بود. به طوری که ایستگاه‌های سقز، اردبیل و شهرکرد با ۱۶۱، ۱۶۷ و ۱۶۹ روز کوتاه‌ترین طول دوره رشد و ایستگاه‌های اهواز، آبادان و ایرانشهر با ۳۶۴ طولانی‌ترین دوره رشد بوده است. شایان توجه است که نوار جنوبی کشور با توجه به عدم وقوع یخبندان، طول دوره فصل رشد آن ۳۶۵ است.



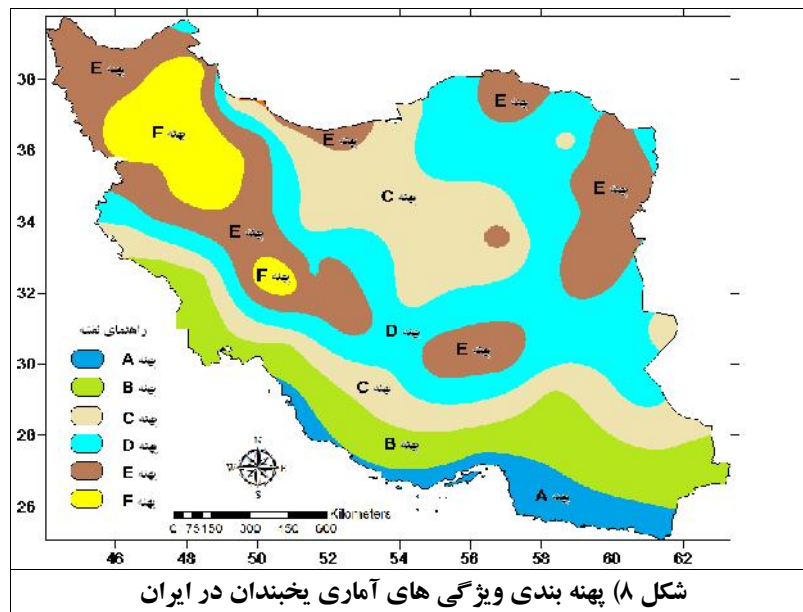


### پهنه بندی ویژگی‌های آماری یخبندان‌های ایران

با اجرای تحلیل خوشه‌ای بر روی پنج ویژگی آماری یخبندان در ایران، مشاهده شد که می‌توان ایران را به ۶ خوشه متمایز تفکیک نمود. در واقع هر خوشه گروهی است که ایستگاه‌های تشکیل‌دهنده آن بیشترین همانندی را از لحاظ ویژگی‌های آماری یخبندان با یکدیگر دارند. خوشه‌های به دست آمده با حروف انگلیسی A تا F نامگذاری شده‌اند. نتایج حاصل از این تحلیل که همواره به صورت یک نمودار به اسم نمودار درختی (دارنما) نشان داده می‌شود، در شکل (۷) آورده شده است. بر روی این نمودار، خوشه‌های مربوط به هر کدام از گروه‌ها مشخص شده‌اند. در ادامه، خوشه‌های به دست آمده با استفاده از روش زمین آمار کریجینگ به یک نقشه پهنه‌بندی با عنوان نقشه پهنه‌بندی ویژگی‌های آماری یخبندان ایران تبدیل شد (شکل ۸).



شکل ۷ نمودار درختی حاصل از تحلیل خوشه‌ای بر روی ویژگی‌های آماری یخبندان ایستگاه‌های ایران



**پهنه A:** این پهنه منطبق بر نوار ساحلی جنوب ایران است که فاقد هرگونه یخبندان در طول سال می باشد (جدول ۱). حدود ۸/۱ از کل ایستگاه های مورد مطالعه در این پهنه واقع شده اند. ایستگاه های موجود در این پهنه عبارت اند از: چابهار، جاسک، بندرعباس، بندرلنگه و بوشهر.

**پهنه B:** این پهنه با فاصله ای از سواحل جنوبی ایران، به صورت نواری از جنوب غرب تا جنوب شرق ایران کشیده شده است. ۱۹/۴ درصد ایستگاه های مورد مطالعه (۱۲ ایستگاه) در این پهنه جای گرفته اند. میانگین وقوع اولین روز یخبندان در این پهنه ۲۴ دی، میانگین وقوع آخرین روز یخبندان ۱۰ بهمن، میانگین تعداد روزهای یخبندان ۴ روز، میانگین طول دروزه یخبندان ۱۷ روز و میانگین طول دوره رشد در آن برابر با ۳۴۸ روز است (جدول ۱).

**پهنه C:** سومین پهنه که ۲۲/۶ درصد ایستگاه (ایستگاه ۱۴) را در خود جای داده است، دارای دو قسمت مجزا است. قسمت اول که به صورت نوار باریکی از ایلام در جنوب غرب ایران تا خاش در بلوچستان شمالی کشیده شده است و دومین قسمت به صورت یک چند ضلعی نامنظم از شمال ایران (به استثنای البرز مرکزی) تا شمال استان اصفهان و از غرب از تهران تا سمنان در شرق کشیده شده است. میانگین وقوع اولین روز یخبندان در این پهنه ۲۰ آذر، اتمام آن در ۱۴ اسفند، میانگین فراوانی روزهای یخبندان ۲۸ روز، طول دوره یخبندان ۸۵ روز و طول دوره رشد آن ۲۸۰ روز است (جدول ۱).

**پهنه D:** این پهنه به صورت یک U نامنظم از غرب به شرق ایران کشیده شده است و تابعی از وضعیت توپوگرافی حاکم بر ایران است. در واقع اگر رشته کوه های ایران را از لحاظ ارتفاعی به سه قسمت بالادست، میان دست و پایین دست تقسیم بندی کنیم، این پهنه منطبق بر ارتفاعات پایین دست رشته کوه زاگرس در دو قسمت غربی و شرقی آن است و امتداد آن تا استان های اصفهان، شمال استان سیستان و بلوچستان، غرب استان های خراسان جنوبی، خراسان رضوی، خراسان شمالی و شرق استان سمنان ادامه می یابد. این پهنه ۱۲/۹ درصد ایستگاه را شامل می شود و ویژگی های آماری یخبندان آن عبارت اند از: میانگین وقوع اولین روز یخبندان ۳ آذر، میانگین وقوع آخرین روز یخبندان ۲۶ اسفند، میانگین فراوانی تعداد روزهای یخبندان ۵۰ روز، میانگین طول دروزه یخبندان ۱۱۴ روز و میانگین طول دروزه رشد ۲۵۱ روز (جدول ۱).



**پهنه E:** ۲۵/۸ درصد از ایستگاه‌های مورد مطالعه (۱۶ ایستگاه) در این پهنه قرار گرفته‌اند. این پهنه منطبق بر زاگرس مرکزی و شمالی، البرز مرکزی، شمال خراسان شمالی، شرق خراسان رضوی، شمال خراسان جنوبی و قسمت‌های مرتفع استان فارس و کرمان است. میانگین وقوع اولین یخبندان در این پهنه، ۱۶ آبان؛ میانگین وقوع آخرین یخبندان، ۱۲ فروردین؛ میانگین فراوانی روزهای همراه با یخبندان، ۸۹ روز؛ میانگین طول دوره یخبندان، ۱۴۶ روز و میانگین طول دوره رشد ۲۱۹ روز است (جدول ۱).

**پهنه F:** این پهنه در واقع کوچک‌ترین پهنه در میان ۶ پهنه مورد مطالعه است. در این پهنه وقوع اولین و آخرین یخبندان‌ها نسبت به دیگر پهنه بسیار زود شروع و بسیار دیر پایان می‌پذیرد. به طوری که میانگین وقوع اولین یخبندان‌ها برابر با ۲۹ مهر و میانگین وقوع آخرین یخبندان‌ها برابر با ۴ اردیبهشت است. میانگین تعداد روزهای یخبندان ۱۲۶ روز، میانگین طول دوره یخبندان ۱۲۶ روز و میانگین طول دوره رشد ۱۷۹ روز می‌باشد (جدول ۱). ایستگاه‌های واقع در این پهنه عبارت‌اند از: همدان فرودگاه، نوژه همدان، کوهرنگ، زنجان، شهرکرد، اردبیل و سقز است.

**جدول ۱) میانگین ویژگی‌های آماری یخبندان در ۶ پهنه به‌دست آمده برای ایران**

پهنه‌ها	میانگین وقوع اولین روز یخبندان	میانگین وقوع آخرین روز یخبندان	میانگین فراوانی تعداد روزهای یخبندان	میانگین طول دوره یخبندان	میانگین طول دوره فصل رشد
A	۰	۰	۰	۰	۳۶۵
B	۲۴ دی	۱۰ بهمن	۴	۱۷	۳۴۸
C	۲۰ آذر	۱۴ اسفند	۲۸	۸۵	۲۸۰
D	۳ آذر	۲۶ اسفند	۵۰	۱۱۴	۲۵۱
E	۱۶ آبان	۱۲ فروردین	۸۹	۱۴۶	۲۱۹
F	۲۹ مهر	۴ اردیبهشت	۱۲۶	۱۸۶	۱۷۹

### نتیجه‌گیری

امروزه روش‌های حفاظتی گوناگونی جهت کاهش اثرات یخبندان وجود دارد. برای به‌کارگیری بیشتر این روش‌ها، تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی یخبندان، یک ضرورت به حساب می‌آید. به طوری که امروزه اقلیم‌شناسان به دنبال استفاده از روش‌هایی می‌باشند که با حداقل خطا، واقعیت‌های موجود در پهنه‌های اقلیمی را آشکار سازند. تحلیل خوشه‌ای یکی از این روش‌های ریاضی-آماري می‌باشد که در زمینه‌ی کاهش داده‌ها و پیدا کردن گروه‌های واقعی مورد استفاده قرار می‌گیرند (مسعودیان و عطایی، ۱۳۸۴). در این پژوهش پنج ویژگی آماری یخبندان شامل متوسط روز آغاز یخبندان، متوسط روز خاتمه یخبندان، متوسط تعداد سالانه روزهای یخبندان، متوسط طول فصل یخبندان و متوسط طول فصل رشد برای ایران استخراج و نقشه‌های مربوط به هر کدام از این ویژگی‌ها تهیه شد. آرایش فضایی این ویژگی‌ها در ایران نشان داد که توزیع مکانی آنها تابعی از عرض جغرافیایی و ارتفاع است. به طوری که از جنوب تا مرکز ایران که ارتفاعات مرتفع در آن کمتر است، دارای آرایش منظم غربی - شرقی است، اما از مرکز ایران به سمت شمال که ارتفاعات مرتفع نقش بارزتری پیدا می‌کنند، این آرایش به هم خورده و بیشتر تابع ارتفاعات می‌گردند. علاوه بر این دو عامل زمین-اقلیم، شروع و خاتمه یخبندان‌ها در ایران تابعی از شرایط سینوپتیکی حاکم بر منطقه نیز می‌باشد. به طوری که شمال غرب، شمال شرق و غرب ایران به دلیل نزدیکی بیشتر با سرزمین‌های سرد شمالی، همچون سبیری و اروپای شمالی و همچنین ورود زودتر سیستم بادهای غربی به این مناطق در مقایسه با دیگر مناطق ایران باعث شده است که دارای شرایط

متفاوتی از لحاظ ویژگی‌های آماری یخبندان باشند. بنابراین آرایش ویژگی آماری یخبندان در ایران هم تابع عوامل زمین- اقلیم و هم تابع سیستم‌های سینوپتیکی وارد شده به کشور است.

نتایج حاصل از تحلیل خوشه‌ای نیز نشان داد که می‌توان ایران را به ۶ پهنه متمایز از لحاظ ویژگی‌های آماری یخبندان تفکیک نمود. آرایش مکانی این ۶ پهنه نیز همچون دیگر ویژگی‌های آماری یخبندان تابعی از عرض جغرافیایی و ارتفاع است. پهنه A جنوبی‌ترین پهنه ایران است که فاقد هرگونه یخبندان بوده و پهنه F که در شمال غربی ایران واقع شده است، دارای زودرس‌ترین، دیررس‌ترین، طولانی‌ترین طول دوره یخبندان و کوتاه‌ترین طول فصل رشد در ایران می‌باشد. این ویژگی‌های آماری از یخبندان‌ها که در پهنه F مشاهده می‌شود، علاوه بر تأثیرپذیری از عوامل زمین - اقلیم، همچون ارتفاع از سطح دریا و عرض جغرافیایی، علل سینوپتیکی نیز دارد. در اوایل فصل پاییز به دلیل انتقال پرفشارهای اروپای مرکزی و شمالی به نواحی شمال غرب ایران، دمای هوا کاهش پیدا می‌کند، ولی این کاهش به میزانی نیست که دمای کمینه به صفر و زیر صفر درجه سانتی‌گراد برسد، ولی در برخی موارد پس از عبور این سامانه‌ها تابش شبانه از زمین سردتر، سبب کاهش دما به صفر و زیر صفر شده و یخبندان تابشی رخ می‌دهد. این نوع از یخبندان‌ها معمولاً طولانی نبوده و گاه در طی یک شبانه روز از ۲ تا ۳ ساعت تجاوز نمی‌کنند. در اواسط پاییز با ورود سامانه‌های تشکیل شده در نواحی شمالی، فرارفت‌های هوای سرد سبب کاهش دمای حداکثر شده و در زمان استقرار توده هوای سرد، دمای کمینه به صفر و زیر صفر می‌رسد.

یخبندان‌های بهاره نیز شرایط مشابهی با یخبندان‌های پاییزه دارند. بدین معنی که در این فصل پرفشارهای اروپای شمالی و مرکزی معمولاً از طریق آذربایجان و یا از سوی کرانه‌های دریای خزر و با تقویت پرفشار سیبری، سبب انتقال هوای سرد می‌شوند. این فرارفت هوای سرد، چنانچه از پروت کافی برخوردار نباشد، سبب کاهش زیاد دما در زمان استقرار هوای سرد نمی‌شود، ولی پس از عبور سامانه، تابش شبانه زمین سبب کاهش دمای کمینه به نقطه انجماد می‌شود. تداوم روزانه این نوع یخبندان‌ها بسیار کم است، ولی چنانچه توده هوای مهاجم از سرمای کافی برخوردار باشد، کاهش دمای بیشینه و کمینه در زمان استقرار توده هوای سرد زیاد بوده و دمای کمینه به صفر و زیر صفر رسیده و یخبندان فرارفتی را ایجاد می‌کند.

نقشه‌های به‌دست آمده در این تحقیق، بر مبنای داده‌های ایستگاهی می‌باشند؛ لذا پیشنهاد می‌گردد که برای تحقیقات آتی نقشه‌های پهنه‌بندی ایران به دو روش تحلیل سلولی و یا توپو- اقلیم‌شناسی نیز تهیه و با یکدیگر مقایسه گردند. همچنین پیشنهاد می‌گردد، در تکمیل این مطالعه، پژوهشگران بعدی، نقشه‌های مختلف را در سطوح احتمالاتی مختلف محاسبه و تهیه نمایند.

## منابع و مآخذ

- ۱) براتی، غلامرضا (۱۳۷۵)، طراحی و پیش‌بینی الگوهای سینوپتیک یخبندان‌های بهاره ایران، رساله دکتری اقلیم‌شناسی، دانشکده علوم انسانی، دانشگاه تربیت مدرس، صص ۲۱۳-۱.
- ۲) بهیار، محمد باقر (۱۳۸۲)، بررسی پدیده سرمازدگی در استان چهارمحال و بختیاری از دیدگاه همدیدی - دینامیکی. فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، سال هجدهم، شماره پیاپی ۶۹، تابستان، صص ۱۲۰-۱۰۷.
- ۳) حجازی زاده، زهرا و محمد حسین ناصر زاده (۱۳۸۴)، محاسبه و تجزیه و تحلیل ساعت‌های تداوم یخبندان با استفاده از برنامه نویسی به زبان دلفی « مطالعه موردی: استان لرستان». فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، سال بیستم، شماره پیاپی ۷۶، بهار، صص ۱۵۰-۱۳۹.
- ۴) حیدری، حسن، و بهلول علیجانی (۱۳۷۸)، طبقه‌بندی اقلیمی ایران با استفاده از تکنیک‌های آماری چند متغیره. مجله پژوهش‌های جغرافیایی دانشگاه تهران، شماره ۳۷، اسفند، صص ۷۴-۵۷.
- ۵) خسروی، محمود، مجید حبیبی نوخندان و رضا اسماعیلی (۱۳۸۷)، پهنه‌بندی اثر سرمازدگی دیررس بر روی باغات مطالعه موردی: شهرستان مه ولات. جغرافیا و توسعه، شماره ۱۲، صص ۱۶۲-۱۴۵.
- ۶) خلجی، مهدی (۱۳۸۰)، پیش‌بینی سرمای دیررس بهاره و یخبندان زودرس پاییزه برای تعدادی از گیاهان زراعی و باغی در استان چهارمحال و بختیاری. فصلنامه نهال و بذر، جلد ۱۷، شماره ۲، شهریور، ۱۳۹-۱۲۶.
- ۷) دین پژوه، یعقوب. فاخری فرد، ا. مقدم واحد، م. جهانبخش س. و میرنیا، م. ک. (۱۳۸۲)، انتخاب متغیرها به منظور پهنه بندی اقلیم بارش ایران با روش‌های چند متغیره. مجله علوم کشاورزی ایران، جلد ۳۴، شماره ۴، صص ۸۲۳-۸۰۹.
- ۸) صداقت کردار، عبدال... و فاطمه رحیم زاده (۱۳۸۶)، تغییرات طول دوره رشد گیاهی در نیمه دوم قرن بیستم در کشور. فصلنامه پژوهش و سازندگی، شماره ۷۵، تابستان، صص ۱۹۳-۱۸۲.
- ۹) ضیایی، علیرضا، علی اکبر کامگار حقیقی، علیرضا سپاسخواه و سعید رنجبر (۱۳۸۵)، تعیین اطلس احتمال وقوع حداقل دمای استان فارس با استفاده از آمار هواشناسی. فصلنامه علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، سال دهم، شماره سوم (الف)، پاییز، صص ۲۶-۱۳.
- ۱۰) عزیزی، قاسم (۱۳۸۳)، ارزیابی سینوپتیکی یخبندان‌های فراگیر بهاری در نیمه غربی ایران. فصلنامه مدرس علوم انسانی، شماره ۱، شماره پیاپی ۳۲، بهار، صص ۱۱۶-۹۹.
- ۱۱) عساکره، حسین (۱۳۸۹)، احتمال تواتر و تداوم یخبندان‌های زودرس و دیررس در شهر زنجان. مجله جغرافیا و برنامه ریزی محیطی، سال ۲۱، شماره پیاپی ۳۷، شماره ۱، صص ۱۶-۱.
- ۱۲) عطائی، ه. (۱۳۸۳)، پهنه بندی آماری نواحی بارشی ایران. رساله دکترای اقلیم‌شناسی، دانشکده ادبیات و علوم انسانی، دانشگاه اصفهان، ۱۸۶ صفحه.
- ۱۳) علیجانی، بهلول و محمود هوشیار (۱۳۸۷)، شناسایی الگوهای سینوپتیکی سرماهای شدید شمال غرب ایران. پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، شماره ۶۵، صص ۱۶-۱.
- ۱۴) علیجانی، بهلول، پیمان محمودی، اله بخش ریگی چاهی و پرویز خسروی (۱۳۸۹)، بررسی تداوم روزهای یخبندان در ایران با استفاده از مدل زنجیره مارکوف. پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، شماره ۷۳، صص ۲۰-۱.
- ۱۵) عزیززاده، امین، محمد موسوی بایگی و غلامعلی کمالی (۱۳۷۳)، تاریخ وقوع اولین یخبندان‌های پاییزه و آخرین یخبندان‌های بهاره در خراسان. نیوار، شماره ۲۲، زمستان، ۵۶-۳۸.
- ۱۶) فتاحی، ابراهیم و تهمینه صالحی پاک (۱۳۸۸)، تحلیل الگوهای سینوپتیکی یخبندان‌های زمستانه ایران. جغرافیا و توسعه، شماره ۱۳، صص ۱۳۶-۱۲۷.
- ۱۷) کاویانی، محمدرضا، سیدحسن حسینی ابری و اسماعیل اسدی بروجنی (۱۳۸۱)، تعیین احتمال وقوع تجربی و دوره بازگشت حداقل دما در ماه‌های اسفند، فروردین و اردیبهشت در باغ‌های بادام منطقه سامان. مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی، سال نهم، شماره سوم، صص ۵۷-۴۹.
- ۱۸) مسعودیان، سید ابوالفضل (۱۳۸۲)، نواحی اقلیمی ایران. جغرافیا و توسعه سال اول، شماره پیاپی ۲، پاییز و زمستان، صص ۱۸۴-۱۷۱.
- ۱۹) مسعودیان، سید ابوالفضل (۱۳۸۴)، شناسایی رژیم‌های بارش ایران به روش تحلیل خوشه‌ای. پژوهش‌های جغرافیایی، شماره ۵۲.
- ۲۰) مسعودیان، سید ابوالفضل (۱۳۸۸)، نواحی بارشی ایران. جغرافیا و توسعه، شماره ۱۳، بهار، صص ۹۱-۷۹.
- ۲۱) مسعودیان، سید ابوالفضل و هوشمند عطائی (۱۳۸۴)، شناسایی فصول بارشی ایران به روش تحلیل خوشه‌ای. مجله پژوهشی دانشگاه اصفهان (علوم انسانی)، جلد هجدهم، شماره ۱، صص ۱۲-۱.
- ۲۲) موسوی بایگی، محمد، بتول اشرف و احمد نظامی (۱۳۸۹)، تعیین چرخه‌های یخ و ذوب و پهنه بندی مناطق مستعد آن با GIS در استان خراسان رضوی. نشریه آب و خاک، جلد ۲۴، شماره ۵، صص ۸۸۳-۸۷۴.
- ۲۳) میان‌آبادی، آمنه، محمد موسوی بایگی، حسین ثنائی نژاد و احمد نظامی (۱۳۸۸)، بررسی و پهنه بندی یخبندان‌های زود هنگام پاییزه، دیر هنگام بهاره و زمستانه با استفاده از GIS در استان خراسان رضوی. مجله آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، جلد ۲۳، شماره ۱، صص ۹۰-۷۹.

- ۲۴) نوحی، کیوان، فاطمه صحرائیان، مزده پدram و عبدا... صداقت کردار (۱۳۸۷)، تعیین طول دوره بدون یخبندان با استفاده از تاریخ های آغاز و خاتمه یخبندان فرارفتی و تابشی در نواحی زنجان، قزوین و تهران. فصلنامه علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، سال دوازدهم، شماره چهارم و ششم (ب)، زمستان، صص ۴۴۹-۴۶۰.
- ۲۵) نوحی، کیوان، مزده پدram، فاطمه صحرائیان و غلامعلی کمالی (۱۳۸۶)، بررسی و تحلیل تاریخ آغاز و خاتمه یخبندان های تابشی-فرارفتی و فرارفتی در استان های آذربایجان غربی و شرقی. فصلنامه پژوهش و سازندگی، شماره ۷۵، صص ۷۸-۸۵.
- ۲۶) Kassomenos, P., H. A. Flocas, S. Lykoudis, and M. Petrakis (۱۹۹۷), A study of frost events in areas characterized by the absence of observations. *Meteorology and Atmospheric Physics*, ۶۲, pages ۲۴۹-۲۵۶.
- ۲۷) Figuerola, P. I., and N. A. Mazzeo (۱۹۹۷), An analytical model for the prediction of nocturnal and dawn surface temperature under calm, clear sky conditions. *Agricultural and forest meteorology*, ۸۵, ۲۲۹-۲۳۷.
- ۲۸) George, J. G. (۱۹۷۸), Techniques of frost prediction. In. Bagdonas, A., Georg, J. C., Gerber, J. F. (Eds). *Techniques of frost prediction and methods of frost and cold protection*. WMO No. ۴۸۷, Technical Note No. ۱۵۷, WMO, Geneva, pp ۲-۴۵.
- ۲۹) Ghielmi, L., and E. Eccel (۲۰۰۶), Descriptive models and artificial neural networks for spring frost prediction in an agricultural mountain area. *Computers and electronics in agriculture*, ۵۴ (۲), ۱۰۱-۱۱۴.
- ۳۰) Halley, V., M. Eriksson, M. Nunez (۲۰۰۳), Frost prevention and prediction of temperatures and cooling rates using GIS. *Australian geographical studies*, ۴۱, ۲۸۷-۳۰۲.
- ۳۱) Ireland, W. (۲۰۰۵), Frost and crops, frost prediction and plant protection, U. K., p ۲۰۰.
- ۳۲) Jain, A., R. W. McClendon, G. Hoogenboom, and R. Ramayaa (۲۰۰۳), Prediction of frost for fruit protection using artificial neural networks. *ASAE*. ۰۳-۳۰۷۵.
- ۳۳) Jain, A., R. W. McClendon, and G. Hoogenboom (۲۰۰۶), Freeze prediction for specific locations using artificial neural network. *Transe. ASABE* ۴۹ (۶), ۱۹۵۵-۱۹۶۲.
- ۳۴) Kalma, J. D., G. P. Laughlin, J. M. Caprio, and P. J. C. Hamer (۱۹۹۲), the bioclimatology of frost. Springer-Verlag, London, p ۱۴۴.
- ۳۵) Kangieser, P. C. (۱۹۵۹), Forecasting minimum temperatures on clear winter nights in an arid region. *Monthly Weather Review*, ۸۷, ۱۹-۲۷.
- ۳۶) Prabha, T., and G. Hoogenboom. (۲۰۰۸), Evaluation of the weather research and forecasting model for two frost events. *Computers and electronics in agriculture*, ۶۴, ۲۳۴-۲۴۷.
- ۳۷) Robinson, C., and N. Mort (۱۹۹۷), a neural network system for the protection of citrus crops from frost damage. *Computers and electronics in agriculture*, ۱۶ (۳), ۱۷۷-۱۸۷.
- ۳۸) Rosenberg, N. J., and R. E. Myers (۱۹۶۲), the nature of growing season frosts in and along the Platte Valley of Nebraska. *Monthly weather review*, Volume ۹۰, Issue ۱۱, Pages ۴۷۱-۴۷۶.
- ۳۹) Rossi, F., O. Facini, S. Loreti, M. Nardino, T. Georgiadis, and F. Zinoni (۲۰۰۲), Meteorological and micrometeorological applications to frost monitoring in northern Italy orchards. *Physics and Chemistry of the Earth*, ۲۷, Pages ۱۰۷۷-۱۰۸۹.
- ۴۰) Schmidlin, T. W., and B. E. Dethier (۱۹۸۶), a statistical analysis of freeze hazard in New York State. *Physical Geography*, ۷, ۲۴۶-۲۵۷.
- ۴۱) Smith, B. A., R. W. McClendon, and G. Hoogenboom (۲۰۰۶), Improving air temperature prediction with artificial neural networks. *International Journal Computer intelligent*, ۳(۳), ۱۷۹-۱۸۶.
- ۴۲) Snyder, R. L., and J. P. D. Melo-Abreu (۲۰۰۵), Frost protection: fundamentals, practice and economics, ۱. Food and Agricultural Organization of the United Nations, Rome.
- ۴۳) Thom, H. C. S., and R. H. Shaw (۱۹۵۸), Climatological analysis of freeze data for Iowa. *Monthly weather review*, Volume ۸۶, Issue ۷, Pages ۲۵۱-۲۵۷.
- ۴۴) Watkins, C (۱۹۹۱), the annual period of freezing temperatures in central England: ۱۸۵۰-۱۹۸۹. *International journal of climatology*, Volume ۱۱, Issue ۸, Pages ۸۸۹-۸۹۶.
- ۴۵) Waylen, P. R (۱۹۸۸), Statistical analysis of freezing temperatures in central and southern Florida. *Journal of climatology*, Volume ۸, Pages ۶۰۷-۶۲۸.