

## بررسی و پیش‌بینی توزیع زمانی و مکانی آغاز و خاتمه یخبندان در شمال ایران

غلامعباس فلاح قاله‌ری<sup>۱</sup>، فهیمه شاکری<sup>۲</sup>

۱- استادیار اقلیم‌شناسی، دانشکده جغرافیا و علوم محیطی، دانشگاه حکیم سبزواری

۲- دانشجوی دکتری اقلیم‌شناسی شهری، دانشکده جغرافیا و علوم محیطی، دانشگاه حکیم سبزواری

### چکیده

هدف تحقیق حاضر، پهنه‌بندی توزیع زمانی و مکانی آغاز و خاتمه یخبندان در دوره پایه و آینده در منطقه شمال کشور است. بدین منظور از داده‌های آماری بلند مدت دمای کمینه ایستگاه‌های همدیدی انزلی، بابلسر، رشت، گرگان، رامسر و نوشهر در مقیاس روزانه استفاده شده است. در این تحقیق دوره آماری ۱۹۷۶-۲۰۰۵ میلادی به عنوان دوره پایه و دوره آماری ۲۰۱۱-۲۰۳۹ میلادی به عنوان دوره آینده در نظر گرفته شده است. شایان ذکر است برای پیش‌بینی زمان آغاز و خاتمه یخبندان در دوره آینده، از داده‌های مدل ECHO-G در مقیاس روزانه استفاده شد. برای تعیین زمان آغاز و خاتمه یخبندان، تاریخ آغاز و خاتمه یخبندان در دوره پایه و آینده در هر سال، به روزشمار شمسی تبدیل و از نرم‌افزار Minitab و ArcGIS به ترتیب برای رسم نمودار و نقشه‌های توزیع زمانی و مکانی آغاز و خاتمه یخبندان استفاده گردید. نتایج بدست آمده نشان می‌دهد که تاریخ آغاز یخبندان تابع طول جغرافیایی بوده و با حرکت از غرب به شرق، زودتر فرا می‌رسد. نتایج بدست آمده همچنین حاکی از آن است که در آینده یخبندان‌ها زودتر شروع خواهند شد و زودتر هم خاتمه خواهند یافت. نتایج نشان می‌دهد تاریخ آغاز یخبندان در مناطق شرقی در دوره آینده (۹ آذرماه) تقریباً ۱۰ روز زودتر از دوره گذشته (۱۹ آذرماه) به وقوع خواهد پیوست. این مقدار در مناطق غربی کمتر است و از ۲۳ دیماه در دوره گذشته به ۱۸ دیماه در دوره آینده می‌رسد. در نواحی مرکزی و جنوبی منطقه مورد مطالعه، یخبندان در آینده ۷ روز زودتر به وقوع خواهد پیوست و از ۶ دیماه در گذشته به ۲۹ آذرماه خواهد رسید. به عبارت دیگر، زمان آغاز یخبندان از اوایل زمستان به اواخر پاییز منتقل خواهد شد. نتایج به دست آمده همچنین نشان می‌دهد در اکثر نواحی منطقه مورد مطالعه، تاریخ خاتمه یخبندان ۲۳-۲۰ روز زودتر به وقوع خواهد پیوست و نسبت به دوره گذشته (۱۷ اسفندماه)، تقریباً در ۲۴ بهمن ماه رخ خواهد داد. بنابراین طول فصل رشد در مناطق شمالی کشور در دوره آینده افزایش خواهد یافت. بیشترین تعداد روزهای یخبندان مربوط به سواحل شرقی دریای خزر و کمترین تعداد روزهای یخبندان مربوط به سواحل غربی آن است.

**کلمات کلیدی:** پهنه‌بندی، آغاز یخبندان، خاتمه یخبندان، مدل ECHO-G.

### ۱- مقدمه

خسارات زیادی را به بار می‌آورد (روزنبرگ<sup>۱</sup> و مایرز، ۱۹۶۲، ۴۷۸).

یخبندان‌ها را بر مبنای شدت، تداوم و زمان وقوع می‌توان تقسیم‌بندی نمود. منظور از تقسیم بر مبنای شدت، قدرت مؤلفه‌های توزیع انرژی می‌باشد که معمولاً بر اساس دمای میانگین، حداقل میانگین صفر و زیر صفر و پایین‌ترین دمای حداقل‌ها اندازه‌گیری می‌شود. منظور از تداوم یخبندان‌ها مدت زمانی است که دمای صفر یا کمتر از آن در یک منطقه حاکم باشد. بر اساس زمان وقوع، یخبندان‌هایی که زمان اوج آن‌ها نسبت به تاریخ شاخص کمتر یا بیشتر باشد، زودرس یا دیررس تلقی می‌شوند (حجازی زاده و مقیمی، ۱۳۸۱). دمای یکی از عمده‌ترین و اساسی‌ترین عوامل در تعیین نقش و پراکندگی بقیه عناصر اقلیمی و یکی از شاخص‌های

یکی از پدیده‌های مهم آب و هوایی که در طی دوره سرد سال در بیشتر مناطق کشور رخ می‌دهد، سرما و یخبندان است که باعث بروز خسارات فراوانی در بخش‌های اقتصادی از جمله کشاورزی، فعالیت‌های صنعتی، حمل و نقل و جاده‌ای می‌شود. بنابراین، شناخت و مطالعه دقیق این پدیده به منظور مقابله با خسارت‌های احتمالی آن لازم و ضروری به نظر می‌رسد. این پدیده بسیاری از فعالیت‌ها را به طور مستقیم یا غیرمستقیم تحت تأثیر قرار می‌دهد، اما بیشترین تأثیر آن در سه بخش انرژی، حمل و نقل و کشاورزی است. اثرات یخبندان در بخش کشاورزی بیشتر از سایر بخش‌هاست (حجازی زاده و ناصرزاده، ۱۳۸۴، ۱۳۹). یخبندان به صورت گوناگون، مناطق مختلف را تحت تأثیر قرار می‌دهد و سالانه

وگا<sup>۶</sup> و همکاران (۱۹۹۴، ۳۸۸) با استفاده از آمار ۳۴۲ ایستگاه هواشناسی در یک دوره ۳۰ ساله، به تحلیل زمان آغاز و خاتمه یخبندان در نواحی جنوب ایالات متحده پرداختند و تاریخ آغاز یخبندان‌های زودرس پاییزه و خاتمه یخبندان‌های دیررس بهاره را برای هر ایستگاه تعیین نمودند. ویلن (۱۹۸۸، ۶۷) با تحلیل احتمالاتی ویژگی‌های یخبندان تاریخ‌های آغاز و خاتمه یخبندان، سردترین دما و ریسک وقوع دوره‌های سرد را در فلوریدای مرکزی بررسی و توزیع احتمالی آن را پیش‌بینی کرده است. بوئر<sup>۷</sup> و همکاران (۱۹۹۳، ۱۷۳۱) بر مبنای پنج ویژگی یخبندان، یکی از مناطق گندم خیز استرالیا را به چهار ناحیه همگن تقسیم کردند و بر مبنای فرم وزنی تحلیل رگرسیون به این نتیجه رسیدند که ارتفاع، بهترین عامل پیش‌بینی کننده ویژگی‌های یخبندان است و از این نظر عرض جغرافیایی و سایر عوامل در درجه بعدی اهمیت قرار می‌گیرند. واتکینز<sup>۸</sup> (۱۹۹۱، ۸۸۹) به منظور پی بردن به تغییرات بلند مدت طول فصل یخبندان، با تحلیل دماهای روزانه، شروع و خاتمه یخبندان‌ها را در مرکز انگلستان مطالعه کرد. تایت<sup>۹</sup> و ژنگ (۲۰۰۳، ۱۹۳) با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای، ویژگی‌های یخبندان ناحیه اوتاگو در کشور نیوزیلند را مورد مطالعه قرار دادند و نقشه‌های زمان آغاز و خاتمه یخبندان را با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی برای این ناحیه تهیه کردند. علیزاده و همکاران (۱۳۷۳، ۳۶) با استفاده از آمار دمای حداقل روزانه ۱۵ ایستگاه هواشناسی استان خراسان، تاریخ وقوع اولین یخبندان پاییزه و آخرین یخبندان بهاره را در سه آستانه حرارتی با توزیع‌های احتمالاتی مطابقت داده و چنین نتیجه‌گیری کرده‌اند که وقوع یخبندان‌های زودرس پاییزه و دیررس بهاره از توزیع گامای دو پارامتری تبعیت می‌کند. عزیززی (۱۳۸۳، ۹۹) یخبندان‌های نیمه غربی ایران را از دیدگاه سینوپتیکی مورد مطالعه قرار داد. حجازی زاده و ناصرزاده (۱۳۸۵، ۱)، ساعت‌های تداوم یخبندان را در استان

اصلی در پهنه‌بندی و طبقه‌بندی اقلیمی به شمار می‌رود (غیور و عساکره، ۱۳۸۱، ۹۴). انسان و گیاهان می‌توانند در محدوده‌ی حرارتی معینی رشد نمایند و تحمل‌پذیری آن‌ها در مقابل دماهای بالا و پایین محدود است. کاهش دما از آستانه‌های حداقل گیاهان و وقوع یخبندان در جاده‌ها همه ساله خسارت‌های گسترده‌ای را به اقتصاد کشور وارد می‌کند. شناخت توزیع زمانی و مکانی و احتمال وقوع یخبندان‌ها یکی از بنیادی‌ترین تحقیقات اقلیمی است که می‌تواند برنامه‌ریزان را به منظور کاهش خسارت‌های سرما و یخبندان راهنمایی و کمک نماید (کمالی، ۱۳۸۱، ۱۴۹).

مطالعه در مورد سرما و یخبندان در جهان به ۱۵۰ سال قبل به مطالعه ریکنگل<sup>۱</sup> بر می‌گردد (WMO، ۱۹۶۳). تام و شاور<sup>۲</sup> (۱۹۵۹، ۱۳۶) نشان دادند که تاریخ وقوع اولین یخبندان در پائیز و آخرین یخبندان در بهار از توزیع تصادفی نرمال تبعیت می‌کند. تاریخ وقوع یخبندان‌های زودرس پاییزه در ۹ نقطه در منطقه گورنچسکا در اسلونی در طول سال‌های ۱۹۸۷-۱۹۴۷ مورد مطالعه قرار گرفته است و تاریخ متوسط اولین یخبندان به دست آمده است. در این مطالعه رابطه تاریخ وقوع اولین یخبندان با ارتفاع محل نیز مورد بررسی قرار گرفته است (کاجفز<sup>۳</sup>، ۱۹۸۹، ۱۹). وایلن و لوبتیلر<sup>۴</sup> (۱۹۸۹، ۶۰۷) در مطالعه‌ای تحت عنوان خصوصیات آماری متغیرهای تاریخ یخبندان و طول فصل رشد، با استفاده از دمای حداقل روزانه ایستگاه‌های لیک سیتی و رگینا ایرپورت، به پیش‌بینی تاریخ وقوع یخبندان پرداخته‌اند. برای این منظور از روش‌های آماری توزیع نرمال، پواسون، ضریب چولگی، کشیدگی، رگرسیون، همبستگی، انواع گشتاورها و نیز از آزمون‌های دو جهت نیکویی برازش اعداد مربوط به تاریخ وقوع اولین و آخرین یخبندان و طول فصل رشد استفاده کرده‌اند. اریکسون<sup>۵</sup> و لیندکویست (۲۰۰۲، ۴۴۹) به بررسی علل لغزندگی سطح جاده‌ای سوئد به هنگام بارندگی و ریزش برف پرداختند.

6- Vega  
7- Boear  
8- Watkins  
9- Tait

1- Ryknagl  
2- Thom  
3- Kajfez  
4- Waylen  
5- Eriksson

وقوع یخبندان دیررس بهاره به دست آید. آستانه مورد نظر در این تحقیق دمای حداقل صفر و کمتر از آن است. بنابراین برای هر سال آماری و با توجه به آستانه مورد نظر، تاریخ وقوع اولین و آخرین یخبندان استخراج گردید.

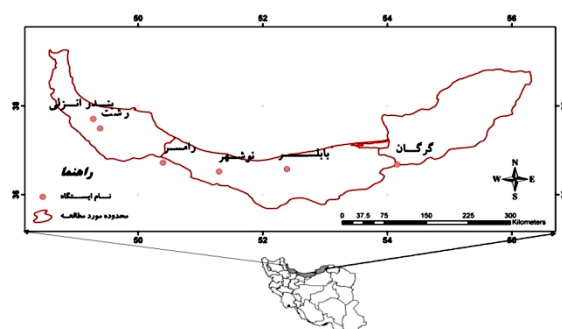
آمار مورد نیاز شامل، دمای حداقل روزانه برای تمام روزهای سال و برای کل سال‌های آماری موجود برای هر شش ایستگاه سینوپتیک گرگان، بابلسر، نوشهر، رامسر، رشت و بندر انزلی از بانک اطلاعات سازمان هواشناسی کشور تهیه گردید. در این تحقیق، فاصله بین سال‌های ۲۰۰۵-۱۹۷۶ میلادی به عنوان دوره پایه و فاصله بین سال‌های ۲۰۱۱-۲۰۰۵ میلادی به عنوان دوره آینده در نظر گرفته شد. شایان گفتن است برای دوره آینده، داده‌های روزانه مدل ECHO-G از پژوهشکده اقلیم‌شناسی اخذ گردید. بر اساس آستانه دمای صفر و کمتر از آن، تاریخ وقوع اولین و آخرین یخبندان برای هر سال از آمار دمای حداقل استخراج شد. روش استخراج داده‌ها به این ترتیب بود که از اول ماه مهر شروع به کنترل دمای حداقل گردید و اولین روزی که دمای حداقل معادل آستانه مورد نظر و یا کمتر از آن بود، به عنوان تاریخ شروع وقوع یخبندان در نظر گرفته شد. برای استخراج آخرین روز یخبندان به همان شیوه عمل شد. بعد از اینکه تاریخ‌های اولین و آخرین روز یخبندان به دست آمد، نیاز بود که این تاریخ‌ها به صورتی درآیند که تحلیل آن‌ها با روش‌های آماری امکان‌پذیر شود. برای این کار طبق روش مرسوم، تاریخ‌ها به روز شمار تبدیل شدند. روز شمار کردن تاریخ‌ها به این صورت انجام شد که اولین روز ماه مهر مصادف با ۲۳ سپتامبر به عنوان مبدأ شمارش انتخاب شد. مثلاً، برای روز اول ماه مهر، شماره یک و برای سایر روزهای این ماه شماره‌های بعدی ملحوظ شد. به این ترتیب سری داده‌های تاریخ اولین و آخرین وقوع یخبندان‌ها قابل تحلیل آماری شدند. پس از تحلیل آماری و محاسبه احتمالات وقوع یخبندان‌های زودرس پاییزه و دیررس بهاره، روز شمارها به روزهای خورشیدی متناظر تبدیل گردید. فاصله بین اولین و آخرین رخداد دمای حداقل آستانه به عنوان فصل یخبندان در نظر گرفته شد و فاصله بین آخرین و اولین رخداد دمای آستانه صفر و کمتر از آن به عنوان طول فصل

لرستان مورد بررسی قرار داده‌اند. هژبرپور و علیجانی (۱۳۸۶)، در پژوهشی با عنوان تحلیل هم‌دید یخبندان‌های استان اردبیل به این نتیجه رسیدند که بیشتر یخبندان‌های این استان از نوع انتقالی است. میر موسوی و بابایی (۱۳۹۰، ۱۸۴)، در مطالعه‌ای تحت عنوان مطالعه توزیع زمانی مکانی احتمال وقوع یخبندان در استان زنجان به این نتیجه رسیده‌اند که بیشترین میانگین تعداد روزهای وقوع یخبندان در ایستگاه خیرآباد و کمترین میانگین در ایستگاه فیله خاصه زنجان وجود دارد. با توجه به مطالب بیان شده، مشاهده می‌شود که در مورد تغییرپذیری زمان آغاز و خاتمه یخبندان در دهه‌های آینده تحقیقات اندکی انجام شده است. لذا هدف تحقیق حاضر، بررسی توزیع زمانی و مکانی یخبندان‌های زودرس پاییزه و دیررس بهاره در شمال کشور و تغییرپذیری آن‌ها در دوره آینده است.

## مواد و روش‌ها

### منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در این تحقیق نوار شمالی کشور شامل ۳ استان مازندران، گلستان و گیلان می‌باشد. شکل ۱ نقشه محدوده مورد مطالعه و ایستگاه‌های منتخب را نشان می‌دهد. لازم به ذکر است در این تحقیق از آمار و اطلاعات ۶ ایستگاه هم‌دید گرگان، بابلسر، نوشهر، رامسر، رشت و بندر انزلی استفاده شده است که دارای آمار بیش از ۳۰ سال بوده‌اند.

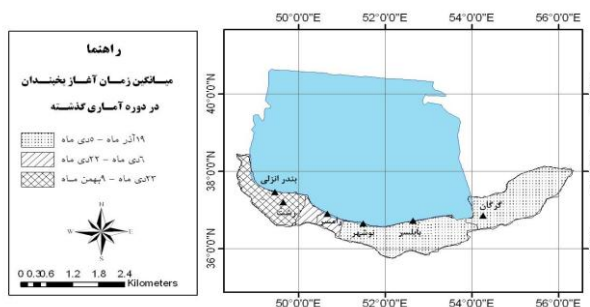


شکل ۱- نقشه محدوده مورد مطالعه به همراه ایستگاه‌های منتخب

### ۲- داده‌ها و روش تحقیق

برای تحلیل فراوانی وقوع یخبندان‌ها نیاز بود که برای هر سال، تاریخ اولین وقوع یخبندان زودرس پاییزه و آخرین

آذر ماه تا ۵ دی ماه در نوسان است. منطقه بعدی رامسر و بخش‌های شرقی رشت است که تاریخ وقوع آن از ۶ دی تا ۲۲ دی ماه می‌باشد. آخرین ناحیه‌ای که یخبندان را تجربه می‌کند، سواحل غربی دریای خزر (رشت و بندرانزلی) است که تاریخ وقوع آن ۲۳ دی ماه تا ۹ بهمن می‌باشد. شکل ۳ نمودار احتمالاتی تاریخ آغاز یخبندان را در دوره پایه بر اساس توزیع نرمال در ایستگاه‌های مختلف نشان می‌دهد. به عنوان مثال، شکل (۳-ذ) تاریخ آغاز یخبندان را در ایستگاه گرگان در دوره آماری پایه نشان می‌دهد. همانطور که ملاحظه می‌شود، با احتمال ۵۰ درصد، شروع یخبندان در تاریخ ۵ دی ماه، با احتمال ۷۰ درصد در تاریخ ۱۵ دی ماه و با احتمال ۹۹ درصد یخبندان در تاریخ ۱۶ بهمن ماه آغاز می‌شود. شکل ۴ تاریخ خاتمه یخبندان را در دوره پایه نشان می‌دهد. همانطور که مشاهده می‌شود دوره یخبندان در سواحل غربی دریای خزر (بندر انزلی، رشت، رامسر) زودتر از مناطق دیگر پایان می‌یابد و تاریخ وقوع آن ۲۳ بهمن تا ۱ اسفند است. در مناطق جنوبی (بابلسر، نوشهر) خاتمه یخبندان در تاریخ ۲ اسفند تا ۹ اسفند ماه واقع شده است. با توجه به شکل در سواحل شرقی دریای خزر (گرگان و شرق بابلسر) یخبندان دیرتر به اتمام می‌رسد و تاریخ خاتمه یخبندان در ۱۰ اسفند تا ۱۷ اسفند رخ می‌دهد. همانطور که ملاحظه می‌شود، در سواحل شرقی دریای خزر یخبندان زودتر اتفاق افتاده و دیرتر هم به پایان می‌رسد و بالعکس در سواحل غربی یخبندان دیرتر شروع می‌شود و زودتر هم پایان می‌یابد. به عبارتی طول فصل یخبندان در سواحل شرقی افزایش (حدود ۸۸ روز) و به همین نسبت طول فصل رشد کاهش می‌یابد، اما در سواحل غربی طول فصل یخبندان کوتاه است (حدود ۳۸ روز) و طول فصل رشد افزایش می‌یابد.



شکل ۲- میانگین زمان آغاز یخبندان در دوره آماری گذشته

رشد در نظر گرفته شد. شواهد امر نشان می‌دهد که توزیع این نوع داده‌ها، توزیع نرمال است (تام و شاو، ۱۹۵۹: ۱۳۶). به این ترتیب برای این سری آماری با استفاده از توزیع نرمال، تاریخ‌های اولین و آخرین رخدادها در سطوح احتمال مختلف محاسبه گردید. سپس با استفاده از نرم‌افزار Minitab در سطوح احتمالی مختلف، نمودار تاریخ آغاز و خاتمه یخبندان رسم شد و از نرم‌افزار ArcGIS جهت پهنه‌بندی زمان آغاز و خاتمه یخبندان در دوره آماری گذشته و آینده استفاده گردید. همچنین از مدل ECHO-G جهت پیش‌بینی آینده استفاده شد.

### مدل ECHO-G

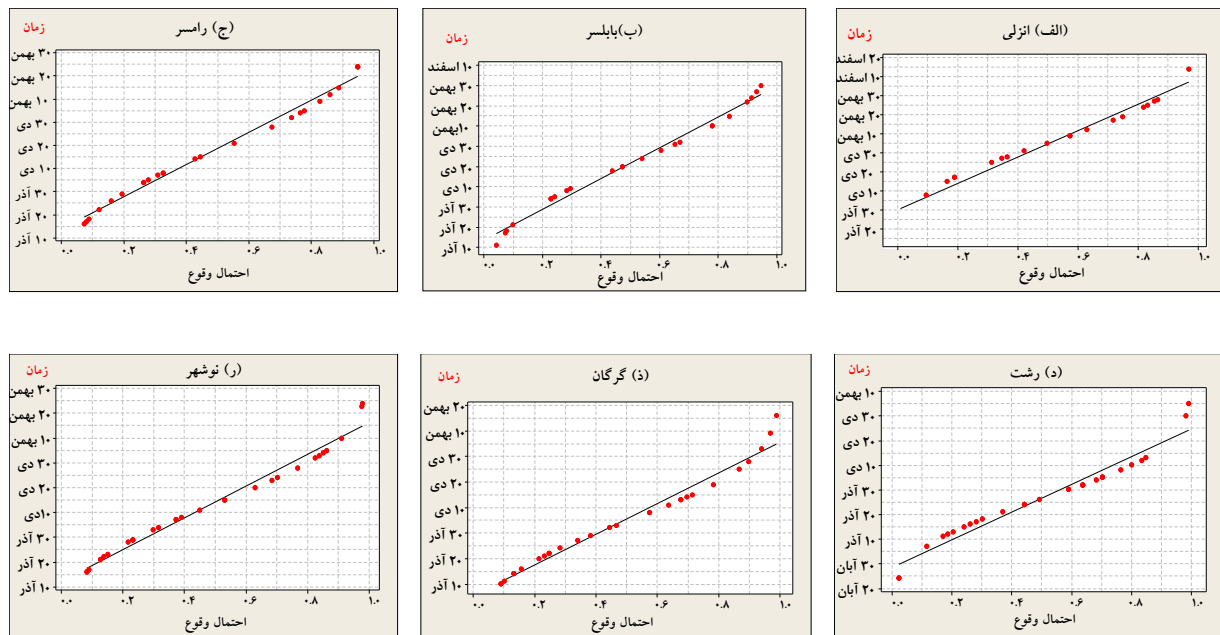
مدل آب و هوایی ECHO-G (لیگاک و موس<sup>۱</sup>، ۱۹۹۹: ۴) یک مدل جفت شده اتمسفری اقیانوسی است و شامل مدل جوی ECHAM4 (روکنر<sup>۲</sup> و همکاران، ۱۹۹۶: ۲) و مدل اقیانوس<sup>۳</sup> HOPE- (وولف<sup>۴</sup> و همکاران، ۱۹۹۷) می‌باشد.

مدل ECHAM4 یکی از سری مدل‌های مرکز اروپایی پیش‌بینی‌های میان مدت آب و هوایی<sup>۵</sup> (ECMWF) است. مقطع قائم مدل ECHAM4 دارای ۲۰ لایه است و تا سطح ۱۰ هکتوپاسکال در ارتفاع تقریباً ۳۰ کیلومتری امتداد دارد. این مدل دارای تفکیک افقی  $3/75 \times 3/75$  درجه طول و عرض جغرافیایی است. مدل اقیانوسی HOPE-G دارای تفکیک افقی  $2/8 \times 2/8$  درجه طول جغرافیایی است. این مدل دارای ۲۰ لایه قائم است (تیموتی و راپر<sup>۶</sup>، ۲۰۰۶، ۱۳).

### بحث و نتایج

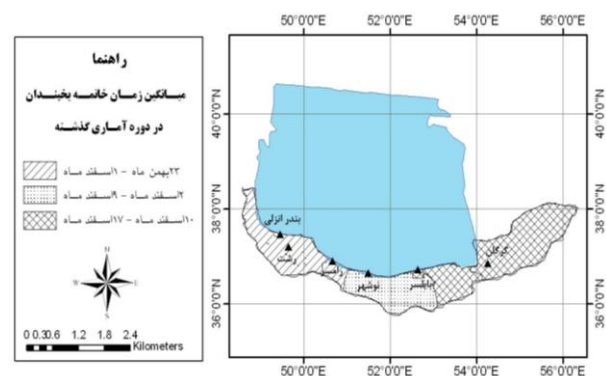
شکل ۲ تاریخ آغاز یخبندان را در دوره پایه نشان می‌دهد. همانگونه که ملاحظه می‌شود، اولین منطقه‌ای که دچار یخبندان می‌شود، سواحل شرقی و جنوبی دریای خزر (گرگان، بابلسر و نوشهر) است که تاریخ وقوع آن از ۱۹

- 1- Legutk eand voss
- 2- Roeckner
- 3- Hamburg Ocean Primitive Equation
- 4- Wolff
- 5- EUROPEAN Center For Medium Weather Forecasts
- 6- Timothy and Raper



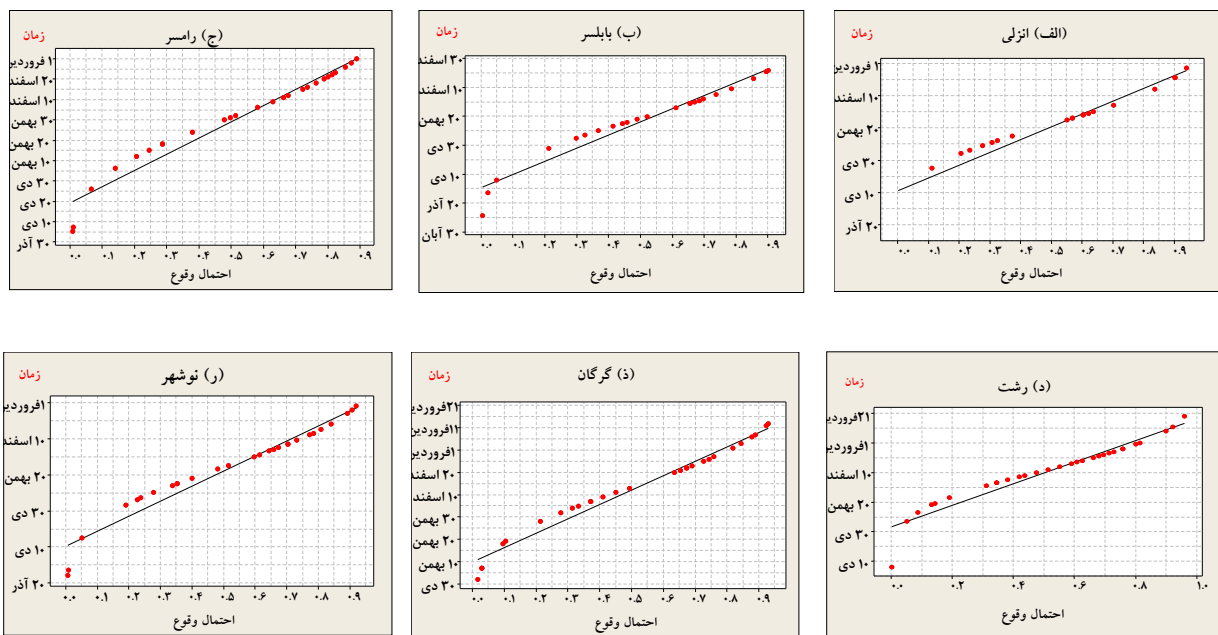
شکل ۳- نمودار احتمالاتی آغاز یخبندان در دوره پایه در ایستگاه‌های مختلف

شکل ۶ تاریخ آغاز یخبندان را در دوره آینده نشان می‌دهد. همانطور که مشاهده می‌شود، اولین مناطقی که یخبندان را تجربه می‌کنند، سواحل شرقی دریای خزر می‌باشند (گرگان و بابلسر) که تاریخ وقوع آن ۹ آذر تا ۲۸ آذرماه خواهد بود. نواحی جنوبی دریای خزر (نوشهر و رامسر) دومین منطقه‌ای است که یخبندان در آن رخ خواهد داد. تاریخ آغاز یخبندان در این مناطق ۲۹ آذر تا ۱۷ دیماه خواهد بود. آخرین منطقه-ای که دچار یخبندان خواهد شد، سواحل غربی دریای خزر (رشت و بندرانزلی) می‌باشد که تاریخ وقوع آن ۱۸ دی تا ۶ بهمن ماه خواهد بود. همانگونه که ملاحظه می‌شود تاریخ وقوع یخبندان در آینده نسبت به دوره پایه در نواحی شرقی منطقه مورد مطالعه ۱۰ روز، در نواحی جنوبی ۷ روز، و در نواحی غربی ۵ روز زودتر رخ خواهد داد. به عبارت دیگر، تاریخ آغاز یخبندان در دوره آینده نسبت به دوره پایه زودتر به وقوع خواهد پیوست.



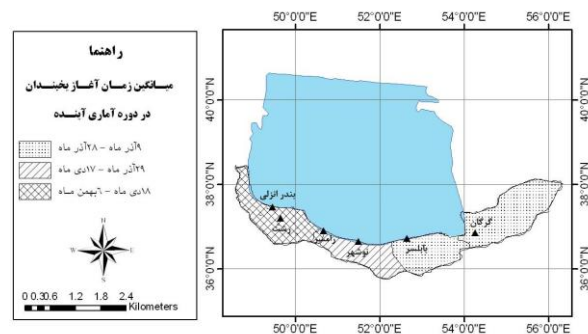
شکل ۴- میانگین زمان خاتمه یخبندان در دوره آماری پایه

شکل ۵ نمودار احتمالاتی تاریخ خاتمه یخبندان را در دوره پایه بر اساس توزیع نرمال نشان می‌دهد. به عنوان مثال، شکل (۵- ذ) تاریخ خاتمه یخبندان را در ایستگاه گرگان نشان می‌دهد. با توجه به شکل، یخبندان به احتمال ۵۰ درصد در ۱۲ اسفند، به احتمال ۷۰ درصد ۲۵ اسفند و به احتمال ۹۰ درصد در تاریخ ۸ فروردین خاتمه می‌یابد.



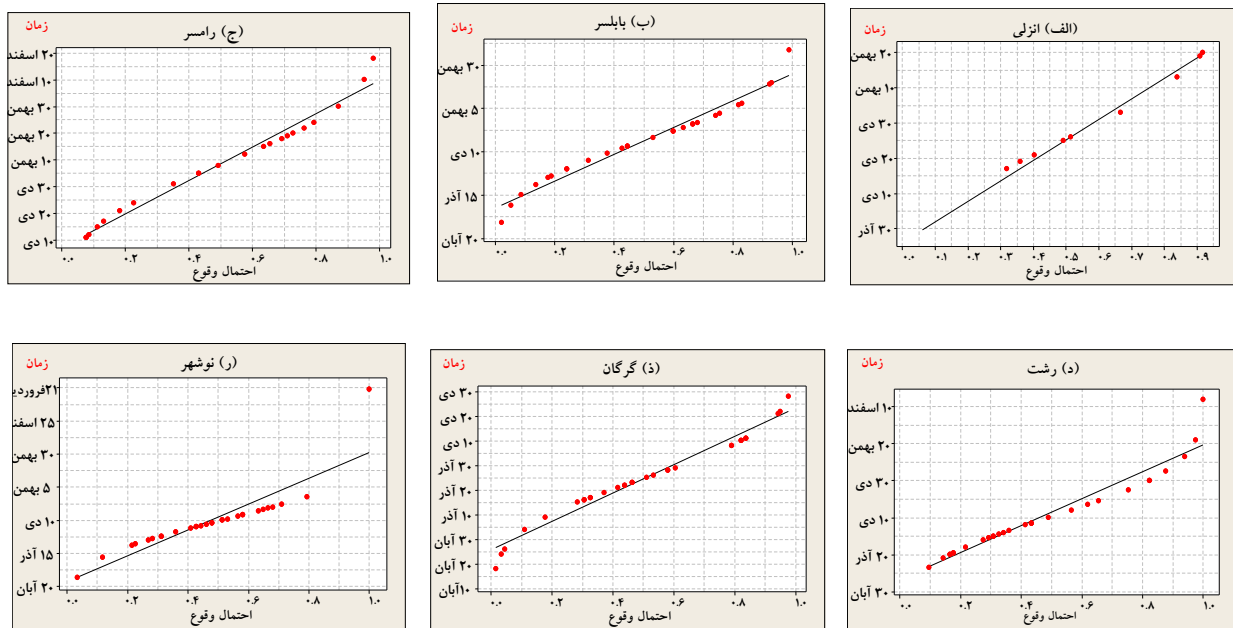
شکل ۵- نمودار احتمالاتی خاتمه یخبندان در دوره پایه در ایستگاه‌های مختلف

ملاحظه می‌شود که اولین منطقه‌ای که در آن یخبندان خاتمه پیدا می‌کند، سواحل غربی دریای خزر (رشت و بندر انزلی) و در تاریخ ۱ بهمن تا ۱۶ بهمن ماه خواهد بود. زمان خاتمه یخبندان در سواحل جنوبی (رامسر و شرق رشت) بین ۱۷ بهمن تا ۳۰ بهمن ماه در نوسان خواهد بود. تاریخ خاتمه یخبندان در سواحل شرقی (گرگان، بابلسر و نوشهر) در تاریخ ۱ اسفند تا ۱۴ اسفند ماه رخ خواهد داد. نتایج بدست آمده حاکی از آن است که همانند دوره پایه، در نواحی شرقی یخبندان زودتر شروع شده و دیرتر هم به پایان خواهد رسید، در نتیجه طول فصل یخبندان افزایش و طول فصل رشد کاهش خواهد یافت. اما در مناطق غربی یخبندان دیرتر شروع و زودتر هم خاتمه خواهد یافت، در نتیجه طول فصل یخبندان کاهش و طول فصل رشد افزایش خواهد یافت. نتایج همچنین نشان دهنده آن است که تاریخ خاتمه یخبندان در دوره آینده نسبت به دوره پایه زودتر رخ داده و از اواخر زمستان به اواسط زمستان منتقل خواهد گشت.



شکل ۶- میانگین زمان آغاز یخبندان در دوره آماری آینده

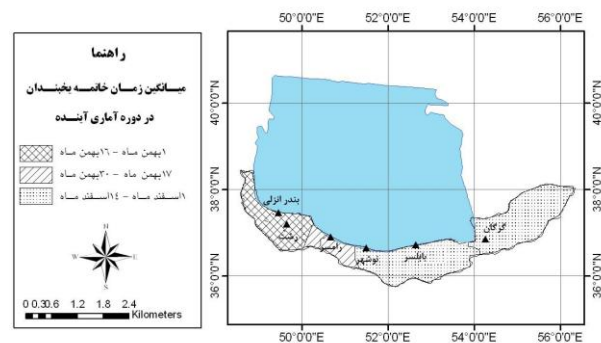
شکل ۷ نمودار احتمالاتی تاریخ آغاز یخبندان را در دوره آینده بر اساس توزیع نرمال نشان می‌دهد. به عنوان مثال، شکل (۷-ذ) تاریخ آغاز یخبندان را در ایستگاه گرگان در دوره آینده نشان می‌دهد. همانگونه که ملاحظه می‌شود به احتمال ۵۰ درصد، یخبندان در تاریخ ۲۵ آذرماه، به احتمال ۷۰ درصد در تاریخ ۶ دیماه و به احتمال ۹۹ درصد یخبندان در تاریخ ۲۸ دی ماه رخ خواهد داد. شکل ۸ تاریخ خاتمه یخبندان را در دوره آینده نشان می‌دهد. با توجه به این شکل



شکل ۷- نمودار احتمالاتی آغاز یخبندان در دوره آینده در ایستگاه‌های مختلف

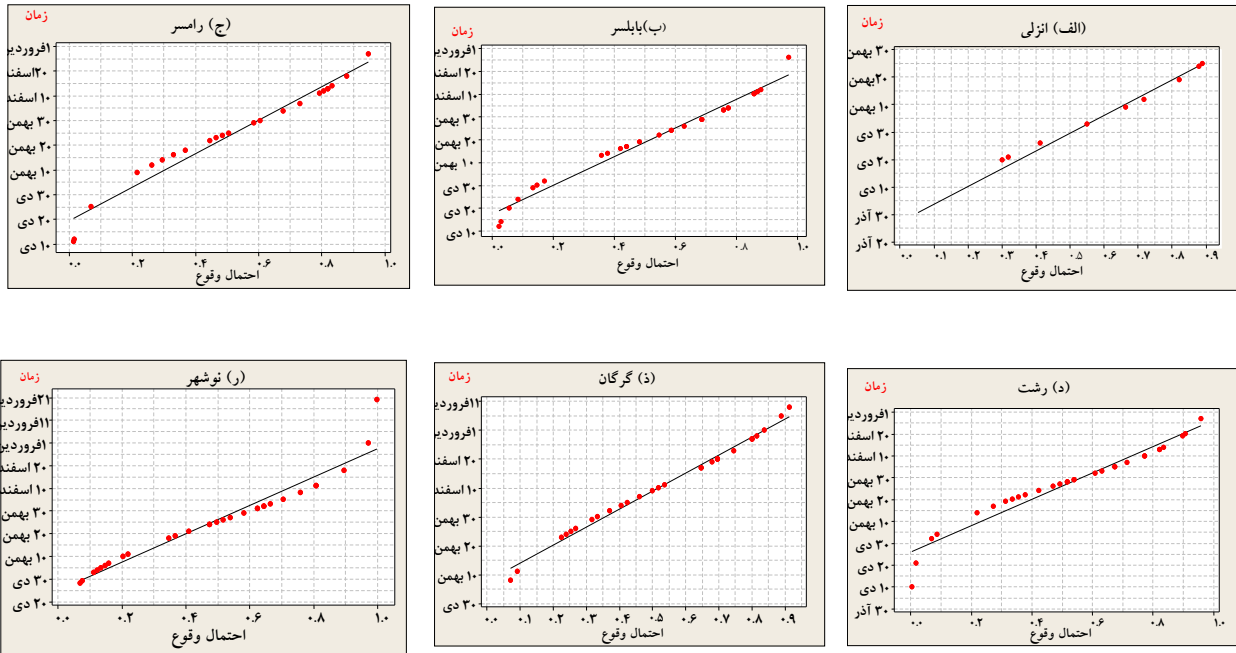
درصد در تاریخ ۵ فروردین ماه خاتمه خواهد یافت. شکل ۱۰ ناهنجاری زمان آغاز یخبندان را در دوره آماری گذشته و آینده نشان می‌دهد. با توجه به شکل مشاهده می‌شود که در دوره آینده، در نواحی شرق و مساحت کوچکی در غرب دریای خزر (گرگان، شرق بابلسر و بندر انزلی) یخبندان بین ۱۰-۰ روز زودتر آغاز می‌شود. بر عکس، در نواحی جنوب و جنوب غربی (بابلسر، نوشهر، رامسر و رشت) یخبندان بین ۱۱-۰ روز دیرتر آغاز می‌شود.

شکل ۱۱ ناهنجاری زمان خاتمه یخبندان را در دوره آماری گذشته و آینده نشان می‌دهد. همانطور که مشاهده می‌شود، در اکثر مناطق (گرگان، جنوب بابلسر، جنوب نوشهر، رامسر، رشت و بندر انزلی) یخبندان زودتر خاتمه می‌یابد (بین ۲۳-۰ روز). در مقابل، در بخش‌هایی از جنوب دریای خزر (ایستگاه‌های بابلسر و نوشهر) یخبندان بین ۲-۰ روز دیرتر خاتمه می‌یابد.

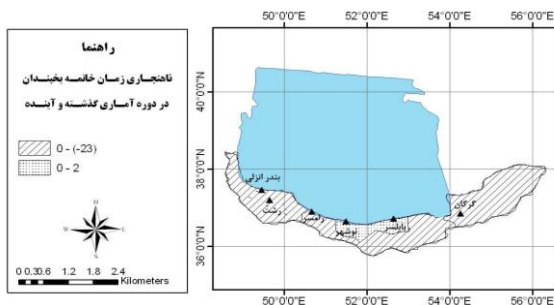


شکل ۸- میانگین زمان خاتمه یخبندان در دوره آماری آینده

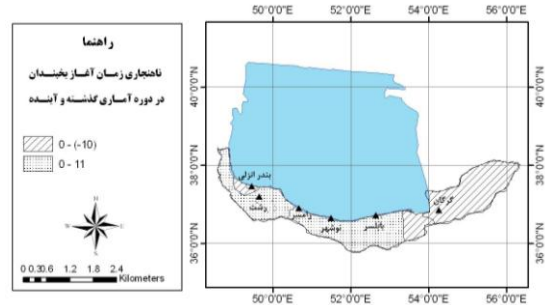
شکل ۹ نمودار احتمالاتی تاریخ خاتمه یخبندان را در دوره آینده بر اساس توزیع نرمال نشان می‌دهد. به عنوان مثال، شکل (۹-د) تاریخ خاتمه یخبندان را در ایستگاه گرگان در دوره آینده نشان می‌دهد. همانگونه که ملاحظه می‌شود با احتمال ۵۰ درصد یخبندان در تاریخ ۱۰ اسفند ماه، با احتمال ۷۵ درصد در تاریخ ۲۳ اسفند ماه و با احتمال ۹۰



شکل ۹- نمودار احتمالاتی تاریخ خاتمه یخبندان در دوره آینده در ایستگاه‌های مختلف



شکل ۱۱- ناهنجاری زمان خاتمه یخبندان در دوره آماری گذشته و آینده



شکل ۱۰- ناهنجاری زمان آغاز یخبندان در دوره آماری گذشته و آینده

**نتایج**

اهم نتایج بدست آمده از این تحقیق عبارتند از:

- ۳- در آینده یخبندان زودتر شروع شده و زودتر هم خاتمه خواهد یافت. به عبارت دیگر، طول فصل یخبندان کاهش و طول فصل رشد افزایش خواهد یافت.
- ۴- تعداد روزهای یخبندان در دوره آینده کاهش خواهد یافت.
- ۵- تعداد روزهای یخبندان در نواحی شرقی و غربی از نوسان بیشتری نسبت به نواحی جنوبی برخوردارند.
- ۶- بیشترین تعداد روزهای یخبندان مربوط به سواحل شرقی و کمترین تعداد روزهای یخبندان مربوط به سواحل غربی است.

- ۱- همانگونه که ملاحظه می‌شود تاریخ آغاز یخبندان تابع طول جغرافیایی بوده و دارای آرایش غربی شرقی است، بدین معنی که با حرکت از غرب به شرق تاریخ آغاز یخبندان زودتر فرا می‌رسد.
- ۲- نتایج بدست آمده حاکی از آن است که در آینده یخبندان زودتر شروع خواهد شد. به عبارت دیگر، زمان آغاز یخبندان از اواسط زمستان به اواخر پاییز منتقل خواهد گشت.



## منابع

- ۱۰- میرموسوی، س.ح.، حسین بابایی، مصطفی (۱۳۹۰)، مطالعه توزیع زمانی- مکانی احتمال وقوع یخبندان در استان زنجان، مجله جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، سال ۲۲، شماره پیاپی ۴۳، شماره ۳، صص ۱۶۷-۱۸۴.
- 11- Boer, R., L.C. Campbell., and D.J. Fletcher. 1993. "Characteristics of Frost in a Major Wheat-growing Region of Australia, Australian journal of agricultural research", Volume 44, Number 8, pp. 1731-1743.
- 12- Eriksson And Lindquist, S. 2002. "Regional Influence on Road Slipperiness During Winter Precipitation Events", (2nd) International Road Weather Conference, Sapporo, Japan. pp.449-460.
- 13- Kajfez, B. I.1989. "Carly Autumn Frost in Upper Carolina Slovenia. Zbornik Biotehniske Universe (Yugoslavia). 53:pp.19 – 20.
- 14- Legutke, S. and R. Voss .1999. "The Hamburg atmosphere –ocean coupled model ECHO-G". Technical Report 18, German Climate Computer Center (DKRZ).pp. 4.
- 15- Rosenberg, N. J. & R. E. Myers.1962. "The Nature of Growing Season Frost in and along the Plate Valley of Nebraska". Monthly Weather Review. November (1962، pp. 471-478.
- 16- Rockner, E., K. Arpe, L. Bengtsson, M. Christoph, M. Claussen, L. Dumenil, M. Esch, M. Giorgtta, U. Schlese, and U. Schulzweida .1996. "The atmospheric general circulation model ECHAM4: model description and simulation of present-day climate". Technical Report 218, Max Planck Institute for Meteorology. pp. 2.
- 17- Tait, A., and X. Zheng. 2003. "Mapping Frost Occurrence Using Satellite Data", Journal of applied meteorology, Volume 42, Issue 2, pp. 193- 203.
- 18- Thom, H.C.S. 1959. "The distribution of freeze-data and freeze free period for climatologically series with freeze less years", Monthly weather review. April. 1959. 136-144.
- 19- Timothy J. O., Racer S. C.B. 2006. "Simulated climate change during the last 1,000 years: comparing the ECHO-G general circulation model with the last MAGICC simple climate model", climate Dynamics. DOI 10.1007 / s00382-006-0129-5, 13 PP.
- ۱- براتی، غ (۱۳۷۵)، طراحی و پیش‌بینی الگوهای سینوپتیکی یخبندان‌های بهار ایران، رساله دکترای اقلیم‌شناسی، گروه جغرافیا، دانشگاه تربیت مدرس.
- ۲- حجازی زاده، ز.، ناصر زاده، محمد حسین (۱۳۸۴)، محاسبه و تجزیه و تحلیل ساعت‌های تداوم یخبندان با استفاده از برنامه‌نویسی به زبان دلفی، فصل‌نامه تحقیقات جغرافیایی، شماره ۷۶ صص ۱۳۹-۱۵۰.
- ۳- حجازی زاده، ز.، ناصرزاده، محمد حسین، (۱۳۸۵)، تجزیه و تحلیل یخبندان در استان لرستان، نشریه علوم جغرافیایی، شماره ۸ و ۹، صص ۳۱-۴۷.
- ۴- حجازی زاده، ز.، مقیمی، شوکت (۱۳۸۱)، میکرو کلیماتولوژی مقدماتی، جلد اول، انتشارات پیام نور، تهران.
- ۵- کمالی، غ (۱۳۸۱)، سرمایه‌های زیان‌بخش به کشاورزی ایران در قالب معیارهای احتمالاتی، مطالعه موردی، تهران، فصل‌نامه تحقیقات جغرافیایی شماره ۶۴-۶۳، زمستان ۸۰ و بهار ۸۱، صص ۱۶۵-۱۴۹.
- ۶- عزیزی، ق (۱۳۸۳)، ارزیابی سینوپتیکی یخبندان‌های فراگیر بهاری در نیمه غرب ایران، مجله دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ۸ (۱) پیاپی ۳۲ صص ۹۹-۱۱۶.
- ۷- علیزاده، ا.، موسوی، محمد، کمالی، غلامعلی (۱۳۷۳). تاریخ وقوع اولین یخبندان‌های پاییزه و آخرین یخبندان‌های بهاره در خراسان، نیوار، شماره ۲۴، صص ۳۸-۵۶.
- ۸- هژبرپور، ق.، علیجانی، بهلول (۱۳۸۶)، تحلیل هم‌دید یخبندان‌های استان اردبیل، فصل‌نامه جغرافیا و توسعه، شماره ۱۰، پائیز و زمستان ۸۶، صص ۸۹-۱۶۶.
- ۹- غیور، ح.، عساکره، حسین (۱۳۸۱)، مطالعه اثر پیوند از دور بر اقلیم ایران، مطالعه موردی، اثرنوسانات اطلس شمالی و نوسانات جنوبی بر تغییرات میانگین ماهانه دمای جاسک، فصل‌نامه تحقیقات جغرافیایی، شماره ۶۳-۶۴ زمستان ۸۰ و بهار ۸۱، صص ۹۳-۱۱۳.

- 23- Waylen, P. R. and Leboutillier, D. W. 1988. "Stochastic analysis of cold spells" J. Appl. Meteor, 27(1): 67-76.
- 24- WMO, 1963. "Protection. Against frost damage", no. 133.pp.600.
- 25- Wolff, J., E. Maier-Reimer, and S. Legutke Technical Report 18, German Climate Computer Center (DKRZ). 1997. "The Hamburg Primitive Equation Model HOPE".
- 20- Vega, A. J; Robbins, K.D; & Grymes, J, M.1994. "Frost/Freeze Analysis in the Southern Climate Region". Southern Regional Climate Center. pp. 388.
- 21- Watkins, S. C. 1991. "The annual period of freezing temperatures in Central England 1850-1959", Inter. J. Climatology, 11(8).889-896.
- 22- Waylen, P. R .1989. "Statistical Analysis of Freezing Temperatures in Central and Southern Florida", 8 (6): 607 -628.