

پیش‌بینی و تحلیل رخداد یخبندان‌های سبک و سنگین ایستگاه‌های منتخب استان اردبیل با استفاده از خروجی ریزگردان لارس دلبلیو جی در دهه‌های آینده

برومند صلاحی *

دانشیار گروه جغرافیای طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی

پذیرش مقاله: 1394/8/16

تأیید نهایی مقاله: 1395/3/20

چکیده

در این پژوهش به پیش‌بینی یخبندان‌های سبک و سنگین ایستگاه‌های منتخب استان اردبیل با استفاده از خروجی مدل ریزمقیاس لارس دلبلیو جی در دهه‌های آینده پرداخته شده است. داده‌های ورودی مدل‌های مورد استفاده در این پژوهش شامل متغیرهای بارش، دمای کمینه، دمای بیشینه و تابش در مقیاس روزانه می‌باشند. در این پژوهش با استفاده از خروجی دو مدل اقلیمی HADCM3 و BCM2 تحت سناریوی A1B، آغاز و پایان وقوع یخبندان‌های سبک و سنگین در سه بازه زمانی 2011-2030، 2065-2046 و 2099-2080 مورد ارزیابی قرار گرفت و در نهایت، نقشه‌های پهنه‌بندی تاریخ‌های آغاز و پایان وقوع یخبندان‌های سبک و سنگین این استان ترسیم گردید. نتایج این پژوهش نشان داد که دوره یخبندان از آغاز یخبندان‌های سبک و سنگین تا پایان آن‌ها کوتاه می‌باشد. شروع یخبندان‌های سبک در همه ایستگاه‌ها با تأخیر همراه بوده که این تأخیر در خلخال و مشکین‌شهر بیشتر است. از نظر شروع یخبندان سنگین نیز ایستگاه‌های خلخال و پارس‌آباد بیشترین تأخیر را نشان می‌دهند. ایستگاه‌های خلخال و مشکین‌شهر نسبت به دو ایستگاه دیگر با تغییرات بیشتری از نظر تاریخ‌های پایان یخبندان سبک همراه هستند که این بیانگر کاهش طول دوره یخبندان در این دو ایستگاه است. ایستگاه‌های خلخال و پارس‌آباد بیشترین کاهش زمان رخداد یخبندان‌های سنگین را در دهه‌های آینده نشان می‌دهند که بیانگر شرایط اقلیمی گرم‌تر در دهه‌های اخیر و آینده می‌باشد.

واژگان کلیدی: پیش‌بینی، استان اردبیل، ریزمقیاس نمایی، یخبندان سبک، یخبندان سنگین، پهنه‌بندی.

Email:

*- نویسنده مسئول: 09144515922
bromand416@yahoo.com

مقدمه

دما یکی از مهم‌ترین عناصر اقلیمی است که تغییرات کوتاه‌مدت و بلندمدت آن اثرات شگرفی بر ویژگی‌ها و اختصاصات طبیعی و انسانی محیط‌زیست بشری دارد. افت دما به زیر صفر درجه تحت عنوان یخبندان، یکی از زیان‌آورترین بلایای جوی است که همواره خسارات زیادی بر جوامع بشری وارد می‌کند از این رو اقلیم‌شناسان و متخصصان محیط‌زیست همواره علاقمند به بررسی ویژگی‌های یخبندان بوده‌اند چراکه آگاهی از این مهم، در برنامه‌ریزی‌های ناحیه‌ای نقش تعیین‌کننده‌ای دارد. امروزه بررسی آماری رخداد یخبندان‌ها با استفاده از مدل‌های کلاسیک آماری چندان مورد توجه پژوهشگران نیست و با این مدل‌ها نمی‌توان دورنمای چندان مشخصی از رفتار این بلای اقلیمی را تعیین نمود. در سال‌های اخیر، با بسط و توسعه مدل‌های اقلیمی تحت سناریوهای انتشار، امکان ارزیابی تغییرات رفتار عناصر اقلیمی در سال‌های آینده فراهم شده است به ویژه اینکه در اغلب مدل‌ها، شبیه‌سازی متغیرهای اقلیمی تحت تأثیر تنش‌های گازهای گلخانه‌ای صورت می‌پذیرد. یکی از مدل‌های پرکاربرد اقلیمی در شبیه‌سازی عناصر آب و هوایی در آینده، مدل لارس دبلیو جی است که یک نوع مولد اقلیمی محسوب می‌شود. مدل مولد اقلیمی، یک مدل عددی است که بر اساس تعدادی پارامترهای آماری مشخص، سری زمانی پارامترهای اقلیمی را به صورت مصنوعی ایجاد می‌کند (سبزی‌پرور و نوروز ولاشیدی، 1394). امروزه مولدهای اقلیمی در زمینه‌های مختلف بکار می‌روند با این حال، خطر استفاده از این مدل‌ها

بدون ارزیابی عملکرد آن‌ها در مناطق مختلف وجود دارد (آبایی و همکاران، 1390). مطالعات بسیاری در ارتباط با مدل‌های اقلیمی و بررسی فراسنج‌های اقلیمی با تأکید بر یخبندان صورت گرفته است. سمنوف و همکاران (1998) با استفاده از مدل لارس دبلیو جی، بارش و طول دوره یخبندان را در اقلیم مختلف انگلستان مورد بررسی قرار دادند و به این نتیجه رسیدند که مدل لارس دبلیو جی طول دوره یخبندان در آن کشور را به خوبی ارزیابی می‌کند. مادلین و بلتراندو (2005) با استفاده از مدل لارس دبلیو جی، پراکندگی مکانی یخبندان‌ها و تأثیرات آن در ناحیه تاکداری فرانسه را مورد مطالعه قرار دادند. سمنوف و استراتونوویتچ (2010) با استفاده از مدل لارس دبلیو جی به ارزیابی اثرات یخبندان پرداختند. هارمل و همکاران (2010) با استفاده از مدل لارس دبلیو جی به ارزیابی دماهای حداقل و حداکثر چند ایستگاه هواشناسی آمریکا پرداختند و یخبندان‌های آن ایستگاه‌ها را بر اساس برونداد گردش عمومی جو مدل‌سازی کردند. چن و همکاران (2013) با استفاده از ریزگردانی مدل لارس دبلیو جی، بارش و دمای سودان را مورد ارزیابی قرار دادند و در این پژوهش به تحلیل یخبندان‌های آن کشور پرداختند. گرگو (2013) با بهره‌گیری از مدل لارس دبلیو جی، خطر یخبندان را در اروپای شمالی مورد بررسی قرار داد. ردی و همکاران (2014) بر اساس نتایج حاصل از ریزگردانی مدل لارس دبلیو جی، وضعیت یخبندان‌های ناحیه تلانگانا² در آندراپرادش هند را مورد ارزیابی قرار دادند و بر

2 - Telangana

گردش عمومی جو برای دوره 2009-2040، به بررسی وضعیت اقلیمی استان سیستان و بلوچستان پرداخته و بیشینه و کمینه دمایی آن استان را مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج بررسی‌ها و مطالعات دیگران نشان می‌دهد که مدل لارس دلیو جی در شبیه‌سازی عناصر آب و هوایی توانمندی بالایی دارد و به همین دلیل هم در این پژوهش مورد استفاده قرار گرفته است. استان اردبیل در شمال غرب ایران با توجه به ویژگی‌های جغرافیایی آن همواره با مسئله یخبندان و خطرات ناشی از آن مواجه بوده است. لذا اهمیت بررسی این مسئله در این استان و پیش‌بینی زمان وقوع آن در آینده به منظور برنامه‌ریزی‌های ناحیه‌ای موجب شد تا در این پژوهش به پیش‌بینی و تحلیل رخداد یخبندان‌های سبک و سنگین ایستگاه‌های منتخب استان اردبیل با استفاده از خروجی ریزگردان لارس دلیو جی در دهه‌های آینده پرداخته شود.

مواد و روش‌ها

در این پژوهش از داده‌های ایستگاه‌های سینوپتیک اردبیل، خلخال، مشکین‌شهر و پارس‌آباد مغان برای ارزیابی تغییرات تاریخ‌های شروع و پایان یخبندان در دهه‌های اخیر استفاده گردیده است. جدول 1، مشخصات ایستگاه‌های مورد مطالعه را نمایش می‌دهد.

صحت نتایج حاصل از این مدل تأکید نمودند. در ایران نیز خلجی (1380) با بررسی آماری زمان وقوع حداقل مطلق دما، به پیش‌بینی یخبندان‌های بهاره پاییزه استان چهار محال و بختیاری پرداخت و از ریزگردان لارس دلیو جی بهره برد. اسماعیلی و همکاران (1389) تغییرات طول دوره رشد و یخبندان ناشی از نوسانات اقلیمی برای سه ایستگاه هواشناسی مشهد، سبزوار و تربت حیدریه را مورد تحلیل قرار دادند و در ارزیابی یخبندان‌ها از مدل لارس دلیو جی بهره بردند. اسماعیلی و همکاران (1390) با استفاده از داده‌های ریزمقیاس شده مدل گردش عمومی ECHO-G (تحت سناریوی A1) و با استفاده از مدل لارس دلیو جی دریافت که به طور متوسط، تاریخ وقوع یخبندان‌های دیررس سبک، 13 روز و یخبندان‌های سنگین، هفت روز زودتر از میانگین بلندمدت اقلیمی در منطقه خراسان رضوی به اتمام خواهند رسید. اسماعیلی و کوهی (1391) با استفاده از مدل لارس دلیو جی تاریخ آخرین یخبندان در دو سطح سبک و سنگین را تحت سه سناریو انتشار در سه ایستگاه هواشناسی مشهد، سبزوار و تربت حیدریه مورد ارزیابی قرار دادند. قربانی و ولیزاده (1393) با استفاده از مدل HADCM3 تحت سناریوی A2 و با استفاده از ریزگردان لارس دلیو جی به بررسی یخبندان‌های سه ایستگاه منتخب مشهد، تبریز و قزوین پرداختند. خسروی و همکاران (1394) با ریزگردانی داده‌های مدل

جدول 1: موقعیت جغرافیایی و ارتفاع ایستگاه‌های مورد مطالعه

ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع (متر)
اردبیل	48 17	38 15	1332
خلخال	48 31	37 38	1796
مشکین‌شهر	47 40	38 23	1568
پارس‌آباد مغان	47 55	39 39	31/9

اقیانوسی می‌باشد و توسط مرکز تحقیقات و پیش-بینی‌های اقلیمی هادلی در اداره هواشناسی انگلستان تهیه شده است (معافی مدنی و همکاران، 1391). این مدل دارای قدرت تفکیک افقی $2/75$ درجه عرض جغرافیایی تا $3/75$ درجه طول جغرافیایی و قدرت تفکیک اقیانوسی آن، $1/25$ درجه عرض جغرافیایی و $1/25$ درجه طول جغرافیایی می‌باشد (اشرف و همکاران، 1390). مدل گردش عمومی جو - اقیانوس، BCM2 دارای قدرت تفکیک افقی $1/5$ درجه عرض جغرافیایی در $1/5$ درجه طول جغرافیایی می‌باشد و توسط مرکز تحقیقات اقلیمی دانشگاه برکن نروژ ارائه گردیده است. سناریوی A1B از نظر تخمین شرایط اقلیم آینده حد فاصلی بین سناریوهای خانواده A1 و B1 قرار دارد که به ترتیب، جهانی با رشد بسیار سریع اقتصادی و جمعیتی تا نیمه-های قرن حاضر و جهانی همگون با افزایش مداوم جمعیت تا نیمه قرن 21 را برای آینده پیش‌بینی می‌کنند (خزانه‌داری و همکاران، 1387). در این پژوهش ابتدا بر اساس شبیه‌سازی دوره مورد مطالعه در هر یک از ایستگاه‌ها و بررسی مقادیر حاصل از آزمون کلوموگروف اسمیرنف و مقادیر آماره P-value و همچنین بر اساس خطاهای RMSE و MAE، صحت مدل‌سازی برآورد شد. سپس با بهره‌گیری از نمودارهای جهش من کندال که روند یا عدم وجود روند داده‌ها را برای دوره مطالعاتی 2011 تا 2030 برای هر دو مدل مورد استفاده در پژوهش رسم می‌کند، به مدل‌سازی رفتار آینده اقلیم ایستگاه‌های مورد مطالعه طی سه دوره زمانی پرداخته شد. بر اساس داده‌های تولید شده برای دوره‌های اقلیمی آینده، ابتدا تاریخ‌های آغاز و پایان وقوع یخبندان‌های زودرس پاییزه و دیررس بهار برای دو سطح یخبندان سبک (افت درجه حرارت به زیر صفر

داده‌های ورودی مدل‌های مورد استفاده در این پژوهش شامل متغیرهای بارش، دمای کمینه، دمای بیشینه و ساعات آفتابی در مقیاس روزانه استخراج شده از سازمان هواشناسی استان اردبیل می‌باشند که با توجه به موضوع پژوهش، از داده-های خروجی کمینه دمایی سه ایستگاه مورد مطالعه استفاده گردیده است. دوره‌های آماری ایستگاه‌های استان با توجه به تاریخ احداث ایستگاه هواشناسی در آن منطقه متفاوت می‌باشد. در این پژوهش، تاریخ‌های وقوع شروع و پایان یخبندان سبک و سنگین استان اردبیل با بهره-گیری از مدل ریزمقیاس لارس دلبیو جی برای سه بازه زمانی (1390-1399، 1425-1444 و 1459-1478) پیش‌بینی شدند. مدل لارس دلبیو جی مولد مصنوعی داده‌های آب و هواشناسی است (اسماعیلی و همکاران، 1389) که برای تولید مقادیر روزانه دماهای بیشینه و کمینه بارش و تابش یا ساعت آفتابی در یک ایستگاه، تحت شرایط اقلیم حاضر و آینده به کار رفته (اشرف و همکاران، 1390) و برای مدل‌سازی متغیرهای هواشناسی، توزیع‌های آماری پیچیده‌ای را به کار می‌برد (بابائیان و همکاران، 1388). متغیرهای مورد استفاده در این مدل شامل داده‌های روزانه 4 متغیر حداقل دما، حداکثر دما، بارش و ساعات آفتابی سه ایستگاه سینوپتیک استان اردبیل می‌باشد که با توجه به موضوع پژوهش، از داده‌های خروجی کمینه دمایی سه ایستگاه مورد مطالعه استفاده گردیده است. در پژوهش حاضر با استفاده از خروجی دو مدل اقلیمی HADCM3 و BCM2 تحت سناریوی A1B، وقوع آغاز و پایان یخبندان‌های زودرس و دیررس سبک و سنگین به عنوان یک پدیده حدی مورد ارزیابی قرار گرفته است. مدل HADCM3 یکی از مدل‌های جفت شده گردش عمومی جو -

- مجذور میانگین مربعات خطا و میانگین مطلق خطا: نشان دهنده میزان خطای مدل می‌باشد که بهترین مقدار آن برابر صفر است و از طریق روابط زیر محاسبه می‌شوند (صداقت‌کردار و همکاران، 1387):

رابطه (2)

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^K (X_k - Y_k)^2}{K}}$$

رابطه (3)

$$MAE = \frac{\sum_{k=1}^K |X_k - Y_k|}{K}$$

در روابط فوق، X_k مقادیر مشاهداتی، Y_k مقادیر شبیه‌سازی شده و K تعداد داده‌ها می‌باشد.

بحث و نتایج

روند حداقل درجه حرارت در دوره مشاهداتی در شکل 1 نشان داده شده است. طبق این شکل، طول دوره‌های آماری در ایستگاه‌ها با هم تفاوت داشته و کمترین طول دوره آماری را ایستگاه مشکین‌شهر با 15 سال دارا می‌باشد. با توجه به خط روند رسم شده برای هر ایستگاه می‌توان استنباط نمود که در همه ایستگاه‌های استان اردبیل، روند افزایشی مقادیر کمینه دمایی مشاهده می‌گردد. طبق تحلیل نمودارهای جهش من‌کندال، پس از ترسیم نمودارهای مربوطه، وجود هرگونه روند در سری‌ها به صورت منفی ظاهر می‌شود و زمانی که روند معنی‌داری در داده‌ها وجود داشته باشد، خطوط ui و ui' همدیگر را قطع می‌کنند. اگر خطوط مذکور در داخل محدوده بحرانی ($\pm 1/96$) همدیگر را قطع کنند نشانه زمان آغاز تغییر ناگهانی و در صورتی که

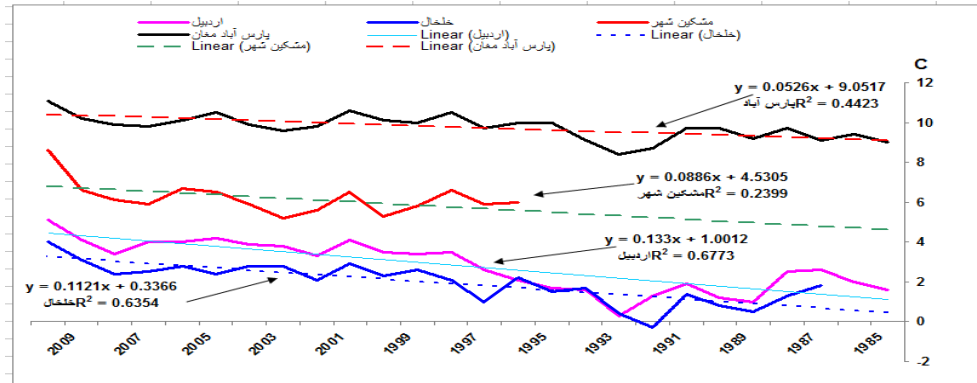
درجه سانتی‌گراد) و یخبندان سنگین (افت دما به پایین‌تر از 2- درجه سانتی‌گراد) استخراج گردید. سپس جهت انجام عملیات آماری، تاریخ‌های وقوع هر یک از یخبندان‌ها به تاریخ ژولیوسی تبدیل گردید. طبق تاریخ ژولیوسی، روز اول سال زراعی یا همان اول مهرماه به عنوان روز اول در نظر گرفته شده و این به طور متوالی برای روزهای دیگر نیز محاسبه گردیده و به دلیل اینکه در مدل‌سازی، سال‌ها غیر کبیسه محاسبه می‌گردند، آخرین روز ژولیوسی که عدد 365 می‌گیرد برابر با روز 31 شهریور سال بعد می‌باشد. در نهایت بر اساس آمار استخراج شده برای هر یک از مدل‌ها در سه دوره زمانی، تغییرات آغاز و پایان یخبندان به صورت نمودار نمایش داده شد. به منظور تحلیل مناسب‌تر به ترسیم نقشه‌های پهنه‌بندی دوره‌های مطالعاتی پیش‌بینی شده از نظر تاریخ‌های شروع و پایان یخبندان‌های سبک و سنگین در محیط GIS و بر اساس روش پهنه‌بندی کریجینگ پرداخته شده است که با میان‌یابی صورت گرفته، وضعیت یخبندان‌های استان اردبیل طی دهه‌های آینده ارزیابی گردید. برای ارزیابی عملکرد مدل، داده‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی شده در دوره پایه مورد مقایسه قرار گرفتند که در این پژوهش، شاخص‌های ضریب تعیین (R^2)، مجذور میانگین مربعات خطا (RMSE)، میانگین مطلق خطا (MAE) به کار گرفته شده است.

- ضریب تعیین: معیاری بدون بعد و بهترین مقدار آن برابر یک می‌باشد. رابطه 1 نحوه محاسبه آن را نشان می‌دهد (صداقت‌کردار و همکاران، 1387):

رابطه (1)

$$R^2 = \frac{\sum_{k=1}^K X_k Y_k}{\sqrt{\sum_{k=1}^K X_k^2 \sum_{k=1}^K Y_k^2}}$$

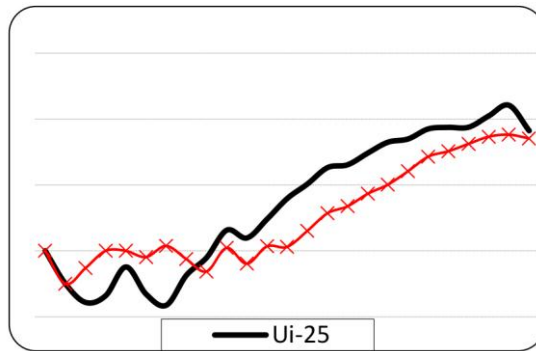
خارج از محدوده بحرانی همدیگر را قطع نمایند بیانگر وجود روند در سری‌های زمانی است.



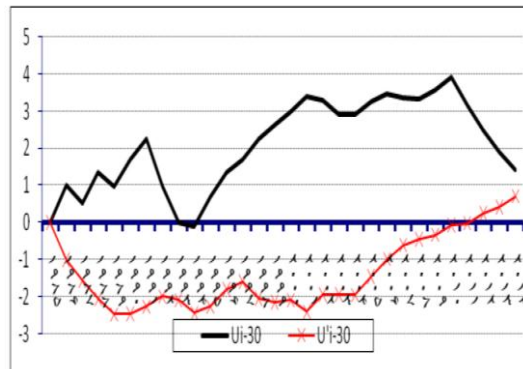
شکل 1: نمودار روند کمینه دمایی استان اردبیل

نکرده‌اند (شکل 4). در ایستگاه مشکین شهر نیز خطوط u_i و u_i' در سال 1998 در داخل محدوده بحرانی ($\pm 1/96$) همدیگر را قطع کرده‌اند که نشانه زمان آغاز تغییر ناگهانی در این ایستگاه می‌باشد (شکل 5)؛ بنابراین می‌توان استنباط نمود در دو ایستگاه اردبیل و پارس‌آباد روندی در مقادیر حداقل درجه حرارت سالانه دیده نمی‌شود اما در دو ایستگاه خلخال و مشکین شهر با جهش و افزایش در مقادیر حداقل درجه حرارت سالانه برخورداری بوده‌اند.

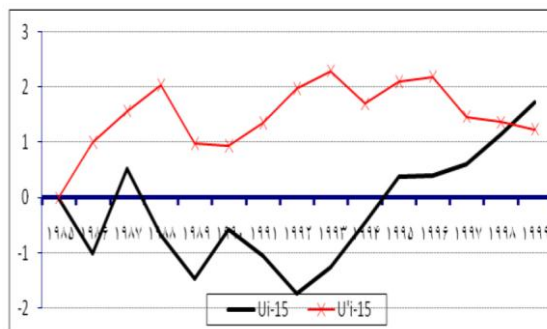
بر اساس نمودارهای من کندال ترسیم شده برای داده‌های مشاهداتی هر یک از ایستگاه‌های مورد مطالعه استان اردبیل، در ایستگاه اردبیل هیچ‌گاه خطوط u_i و u_i' همدیگر را قطع نکرده‌اند (شکل 2). در ایستگاه خلخال بین سال‌های 1992 و 1993، خطوط u_i و u_i' در داخل محدوده بحرانی ($\pm 1/96$) همدیگر را قطع کرده‌اند که نشانه زمان آغاز تغییر ناگهانی در این ایستگاه می‌باشد (شکل 3). در ایستگاه پارس‌آباد مغان نیز مانند ایستگاه اردبیل هیچ‌گاه خطوط u_i و u_i' همدیگر را قطع



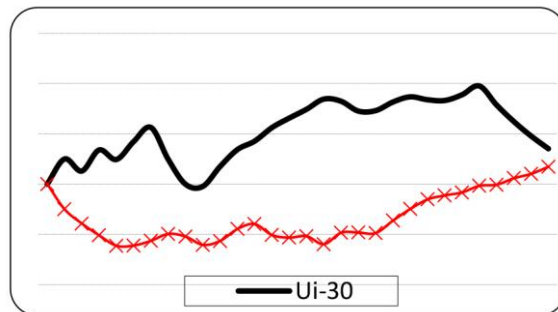
شکل 2: نمودار من کندال کمینه دمایی ایستگاه اردبیل



شکل 3: نمودار من کندال کمینه دمایی ایستگاه خلخال



شکل 4: نمودار من کندال کمینه دمایی ایستگاه پارس آباد مغان

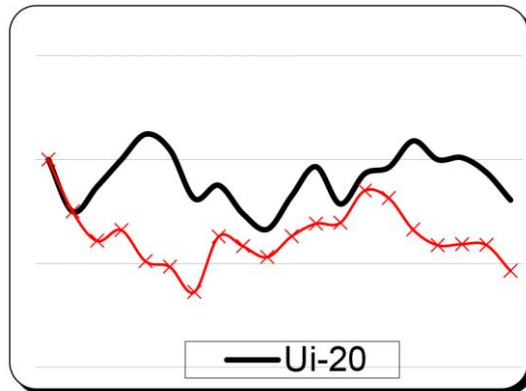


شکل 5: نمودار من کندال کمینه دمایی ایستگاه مشکین شهر

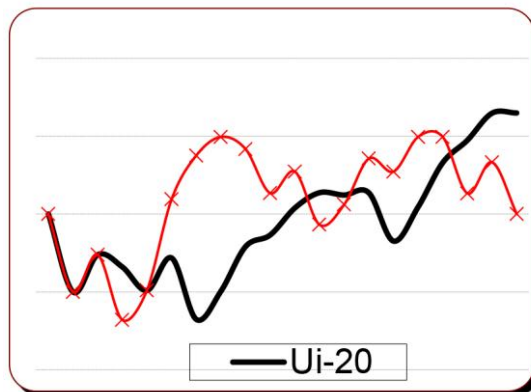
شده برای ایستگاه اردبیل بر اساس مدل BCM2 (شکل 6)، روند در داده‌ها وجود داشته و از سال 2012 تغییر ناگهانی در مقادیر حداقل درجه حرارت سالانه این ایستگاه پیش‌بینی می‌شود که این با توجه به وجود روند منفی در سری‌ها و قطع خطوط u_i و u_i' در محدوده بحرانی $\pm 1/96$ می‌باشد؛ اما بر اساس مدل HADCM3 (شکل 7)، میانگین حداقل درجه حرارت سالانه شهر اردبیل فاقد روند بوده و با چندین نقطه جهش در سال-

بررسی روند حداقل درجه حرارت ماهانه: پیش از بررسی تاریخ‌های پیش‌بینی شده برای شروع و پایان یخبندان‌های سبک و سنگین در استان اردبیل، روند میانگین حداقل درجه حرارت سالانه ایستگاه‌های مورد مطالعه با استفاده از نمودار جهش من کندال برای دوره آماری 2011-2030 و بر اساس هر دو مدل مورد استفاده در پژوهش، ترسیم شدند. بر اساس نمودارهای جهش ترسیم

های 2012، 2015، 2021، 2023 و 2027 مشخص می‌گردد.



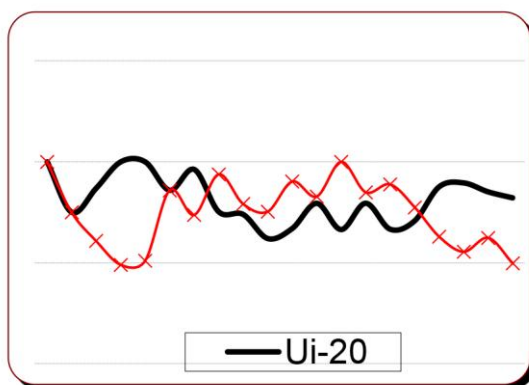
شکل 6: نمودار جهش میانگین حداقل درجه حرارت سالانه اردبیل پیش‌بینی شده بر اساس مدل BCM2



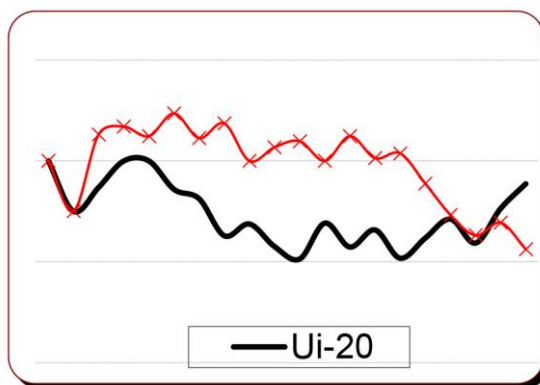
شکل 7: نمودار جهش میانگین حداقل درجه حرارت سالانه اردبیل پیش‌بینی شده بر اساس مدل HADCM3

در این سال‌ها می‌باشد. بررسی نمودار جهش میانگین حداقل درجه حرارت سالانه بر اساس مدل HADCM3 (شکل 9) نیز نشان دهنده وجود روند در داده‌ها می‌باشد اما بر اساس این مدل، خطوط ui و ui' در دو نقطه 2012 و 2028 درون محدوده بحرانی $\pm 1/96$ همدیگر را قطع می‌نمایند.

نمودار جهش میانگین حداقل درجه حرارت پیش‌بینی شده شهر خلخال بر اساس مدل BCM2 (شکل 8) نشانگر وجود روند در داده‌ها - با توجه به منفی بودن روند در نمودار - می‌باشد. همچنین در سال‌های 2012-2016-2018 و 2026، خطوط ui و ui' در محدوده بحرانی $\pm 1/96$ یکدیگر را قطع نموده‌اند که نشانگر تغییرات ناگهانی در میانگین حداقل درجه حرارت سالانه



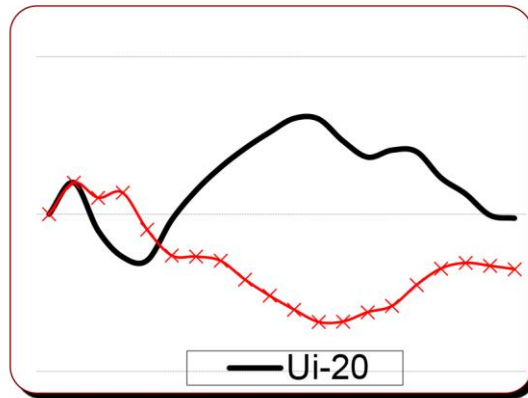
شکل 8: نمودار جهش میانگین حداقل درجه حرارت سالانه
خلخال پیش‌بینی شده بر اساس مدل BCM2



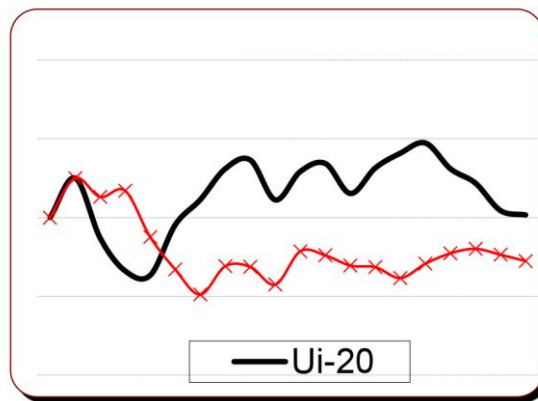
شکل 9: نمودار جهش میانگین حداقل درجه حرارت سالانه
خلخال پیش‌بینی شده بر اساس مدل HADCM3

حرارت در این نقاط می‌باشد. بر اساس مدل HADCM3 (شکل 11) نیز روند خاصی در داده‌ها مشاهده نمی‌شود و خطوط u_i و u_i' در دو نقطه 2012 و 2015 درون محدوده بحرانی $\pm 1/96$ یکدیگر را قطع نموده‌اند. در این ایستگاه نمودارهای جهش هر دو مدل به یک شکل شرایط را نشان می‌دهند.

نمودارهای جهش من کندال برای داده‌های پیش-بینی شده حداقل درجه حرارت سالانه ایستگاه مشکین‌شهر نیز رسم گردید. بر اساس نمودار ترسیم شده برای مدل BCM2 (شکل 10)، روند خاصی در داده‌ها مشاهده نگردید و خطوط u_i و u_i' در دو نقطه 2012 و 2015 درون محدوده بحرانی $\pm 1/96$ یکدیگر را قطع نمود که بیانگر آغاز تغییرات ناگهانی در مقادیر حداقل درجه



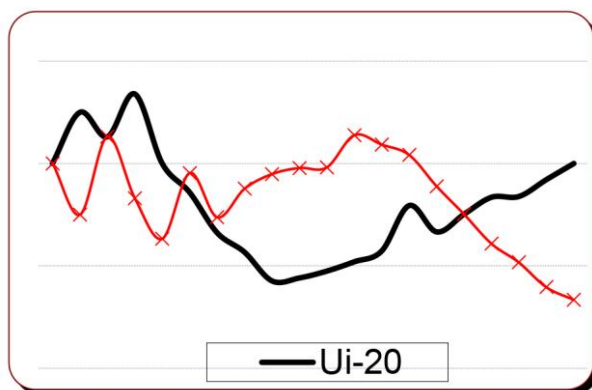
شکل 10: نمودار جهش میانگین حداقل درجه حرارت سالانه
مشکین شهر پیش‌بینی شده بر اساس مدل BCM2



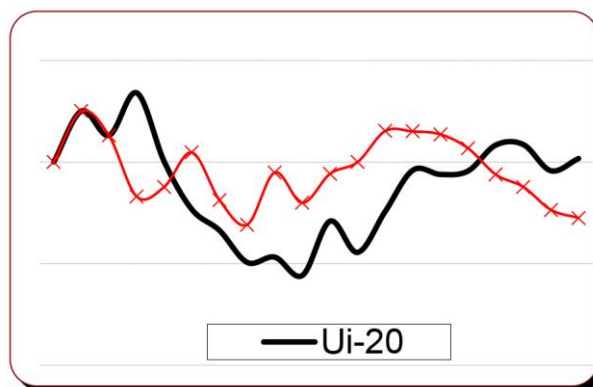
شکل 11: نمودار جهش میانگین حداقل درجه حرارت سالانه
مشکین شهر پیش‌بینی شده بر اساس مدل HADCM3

درجه حرارت در این نقاط می‌باشد (شکل 12). همچنین بر اساس مدل HADCM3، در سه نقطه خطوط ui و ui' درون محدوده بحرانی $\pm 1/96$ یکدیگر را قطع نموده‌اند که بیانگر آغاز تغییرات ناگهانی در مقادیر حداقل درجه حرارت در این نقاط می‌باشد (شکل 13).

نمودارهای جهش ایستگاه پارس‌آباد مغان وجود روند را بر اساس هر دو مدل مورد استفاده در دوره آماری 2011-2030 نشان می‌دهند. بر اساس مدل BCM2، در سه نقطه خطوط ui و ui' درون محدوده بحرانی $\pm 1/96$ یکدیگر را قطع نموده‌اند که بیانگر آغاز تغییرات ناگهانی در مقادیر حداقل



شکل 12: نمودار جهش میانگین حداقل درجه حرارت سالانه
پارس آباد مغان پیش‌بینی شده بر اساس مدل BCM2



شکل 13: نمودار جهش میانگین حداقل درجه حرارت سالانه
پارس آباد مغان پیش‌بینی شده بر اساس مدل HADCM3

سازي‌هاي صورت گرفته در هر چهار ايستگاه از دقت قابل قبولي برخوردارند و در هر چهار ايستگاه مورد مطالعه در اين پژوهش، مقادير آزمون کولموگراف اسميرنوف از 0/05 بزرگ‌تر بوده که با اطمینان 0/95 فرض نرمال بودن باقیمانده‌های مدل (خطاها) رد نمی‌شود. اغلب نتایج به دست آمده از آزمون کولموگروف اسمیرنوف به 0/05 نزدیک بوده و دارای ارزش 1 می‌باشند. همچنین مقادیر R^2 برآورد شده برای هر چهار ایستگاه بالای 0/99 بوده و مقادیر خطاهای RMSE و MAE نیز دارای حداقل خطای ممکن می‌باشد. از طرفی، بررسی نمودارهای برآورد شده و مشاهده-

صحت سنجی مدل **LARS-WG** در این بخش از پژوهش، ابتدا به بررسی صحت مدل و آزمون‌های خطا برای بررسی دقت مدل لارس دلیو جی برای ایستگاه‌های استان اردبیل پرداخته شده است. برای این منظور، از مقادیر آزمون کولموگراف اسمیرنوف و آماره P-value ارائه شده در خروجی مدل و همچنین محاسبه مقادیر R^2 و بررسی خطاهای RMSE و MAE و همچنین رسم نمودار مقایسه مقادیر حداقل درجه حرارت شبیه‌سازی شده و مشاهده شده استفاده گردیده است. با توجه به نتایج حاصله و مقادیر R^2 ، RMSE، MAE و آزمون کولموگروف اسمیرنوف، شبیه-

ای میانگین دمای حداقل هر چهار ایستگاه، بیانگر ایستگاه‌های مورد مطالعه دارد. دقت بسیار بالای مدل در برآورد مقادیر مشاهده-

جدول 2: مقادیر خطاهای محاسبه شده برای ایستگاه‌های مورد مطالعه

ایستگاه	RMSE	MAE	R ²
اردبیل	0/087	0/024	0/998
خلخال	0/124	0/174	0/998
مشکین‌شهر	0/063	0/204	0/997
پارس‌آباد مغان	0/058	0/083	0/997

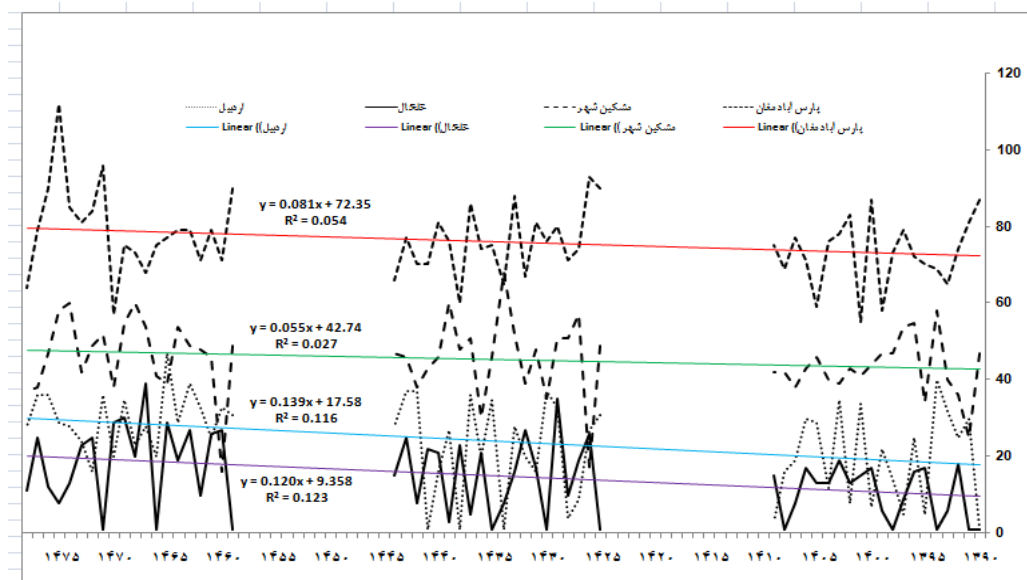
مغان با حداکثر 4 روز مشاهده می‌گردد. از نظر تاریخ شروع یخبندان سبک، ایستگاه خلخال، زودترین تاریخ و ایستگاه پارس‌آباد مغان دیرترین زمان آغاز یخبندان‌های سبک را در بین چهار ایستگاه مورد مطالعه استان اردبیل دارا می‌باشند اما از لحاظ نوسانات دوره‌ای تاریخ‌های آغاز یخبندان، ایستگاه خلخال بیشترین نوسان و ایستگاه مشکین‌شهر کمترین نوسان را نشان می‌دهند. در نهایت به منظور بررسی دقیق‌تر، نقشه پهنه‌بندی تاریخ‌های شروع یخبندان سبک در استان اردبیل ترسیم گردید. بر اساس نقشه، میانگین دوره‌های مطالعاتی تاریخ‌های وقوع یخبندان‌های سبک استان اردبیل بر اساس مدل ریزمقیاس BCM2 پهنه‌بندی گردید. همان‌گونه که از نقشه پهنه‌بندی شده مشاهده می‌گردد از شمال به جنوب استان اردبیل، تاریخ‌های شروع یخبندان سبک زودتر اتفاق می‌افتد.

شروع یخبندان سبک (مدل BCM2): طبق خروجی مدل برای هر یک از چهار ایستگاه مورد مطالعه در استان اردبیل، تاریخ‌های شروع یخبندان سبک بر اساس تاریخ ژولیوسی (اولین زمانی را که حداقل درجه حرارت به زیر صفر درجه رسیده باشد) محاسبه گردید و روند شروع تاریخ‌های یخبندان سبک در هر سه دوره مورد مطالعه و برای هر چهار ایستگاه در قالب شکل 14 ترسیم گردید.

بر اساس نمودار ترسیم شده، در هر چهار ایستگاه مورد مطالعه در استان اردبیل، روند تاریخ شروع یخبندان‌های سبک افزایش داشته و نتایج حاصل از تحلیل رگرسیونی، این فرآیند را به روشنی تصدیق می‌کند چرا که شیب خطوط رگرسیونی روندی افزایشی را نشان می‌دهد. همچنین بر اساس جدول شماره 6، بیشترین تأخیر در رخداد یخبندان سبک در ایستگاه خلخال با 14 روز اختلاف و کمترین تأخیر در ایستگاه پارس‌آباد

جدول 3: شروع اولین روز یخبندان سبک با مدل Bcm2

دوره‌های مطالعاتی	اردبیل	خلخال	مشکین‌شهر	پارس‌آباد مغان
1399-1390	20 مهر	8 مهر	14 آبان	13 آذر
1400-1409	19 مهر	13 مهر	12 آبان	13 آذر
1425-1434	21 مهر	16 مهر	17 آبان	18 آذر
1435-1444	24 مهر	14 مهر	15 آبان	13 آذر
1459-1468	1 آبان	20 مهر	16 آبان	16 آذر
1469-1478	29 مهر	18 مهر	18 آبان	22 آذر



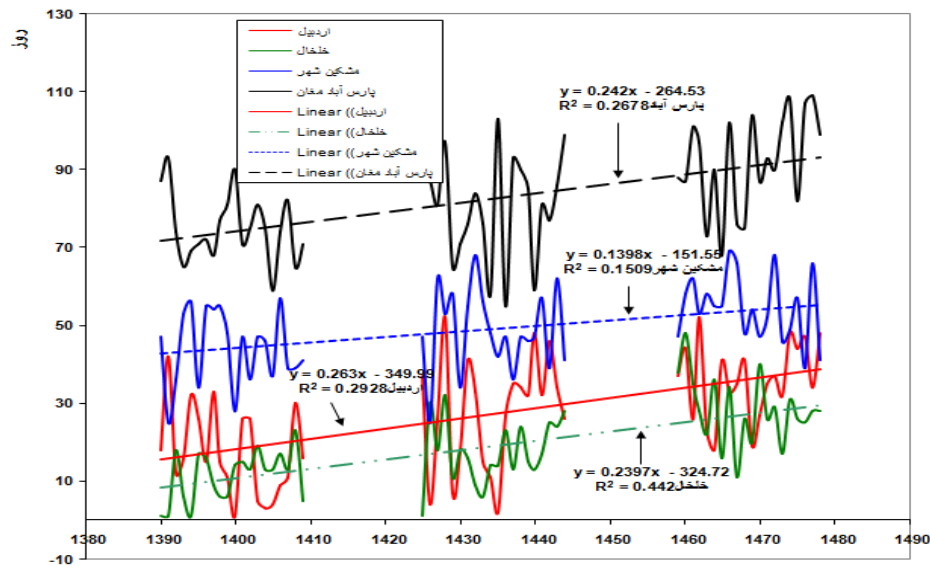
شکل 14: نوسانات سری زمانی شروع یخبندان سبک ایستگاه‌های مورد مطالعه به وسیله مدل Bcm2

25 روز رسیده است. شیب خط مثبت در هر 4 ایستگاه نشان دهنده روند کاملاً افزایشی تاریخی-های آغاز یخبندان سبک می‌باشد. با توجه به مقادیر شیب خط، ایستگاه پارس‌آباد روند افزایشی سریع‌تر و ایستگاه خلخال پایین‌ترین روند افزایشی تاریخی‌های آغاز یخبندان سبک را نشان می‌دهند. به طور کلی، میزان اختلاف دوره‌ای وقوع یخبندان در ایستگاه‌های استان اردبیل با استفاده از مدل BCM2 کمتر می‌باشد و در دوره‌های پایانی نیز با استفاده از این مدل تاریخ‌های زودتری را نسبت به مدل HADCM3 نشان می‌دهد که این امر بیانگر خوش‌بینانه‌تر بودن این مدل نسبت به مدل HADCM3 در این استان می‌باشد. بر اساس نقشه میانگین دوره‌های مطالعاتی، ایستگاه‌های اردبیل و خلخال زودترین تاریخ آغاز یخبندان سبک را داشته و پارس‌آباد دیرترین تاریخ شروع یخبندان سبک را دارد.

شروع یخبندان سبک (مدل HADCM3): بر اساس داده‌های استخراج شده از مدل ریزمقیاس HADCM3، تاریخ‌های آغاز یخبندان سبک ایستگاه‌های استان اردبیل محاسبه گردید که نتایج آن در قالب شکل 15 و جدول 4 نمایش داده شده است. همان گونه که از شکل این مدل نمایان است، در این مدل نیز در همه ایستگاه‌ها با روند افزایش تاریخی‌های شروع یخبندان سبک روبرو هستیم. باز هم ایستگاه پارس‌آباد مغان دیرترین تاریخ‌های رخداد یخبندان سبک را دارد و ایستگاه خلخال نیز زودترین زمان وقوع اولین یخبندان سبک را در بین سایر ایستگاه‌ها داراست. در ایستگاه مشکین‌شهر، روند کاملاً یک روند افزایشی با کمترین نوسان می‌باشد و اختلاف بین دوره‌ها به 15 روز می‌رسد اما در ایستگاه پارس‌آباد مغان و اردبیل، بیشترین نوسان دوره‌ای مشاهده می‌شود که حداکثر اختلاف دوره‌ای به

جدول 4: شروع اولین روز یخبندان سبک با مدل HADCM3

دوره‌های مطالعاتی	اردبیل	خلخال	مشکین‌شهر	پارس‌آباد مغان
1390-1399	22 مهر	8 مهر	16 آبان	16 آذر
1400-1409	13 مهر	14 مهر	12 آبان	14 آذر
1425-1434	24 مهر	15 مهر	21 آبان	18 آذر
1435-1444	2 آبان	20 مهر	16 آبان	23 آذر
1459-1468	5 آبان	29 مهر	27 آبان	26 آذر
1469-1478	7 آبان	27 مهر	22 آبان	8 دی

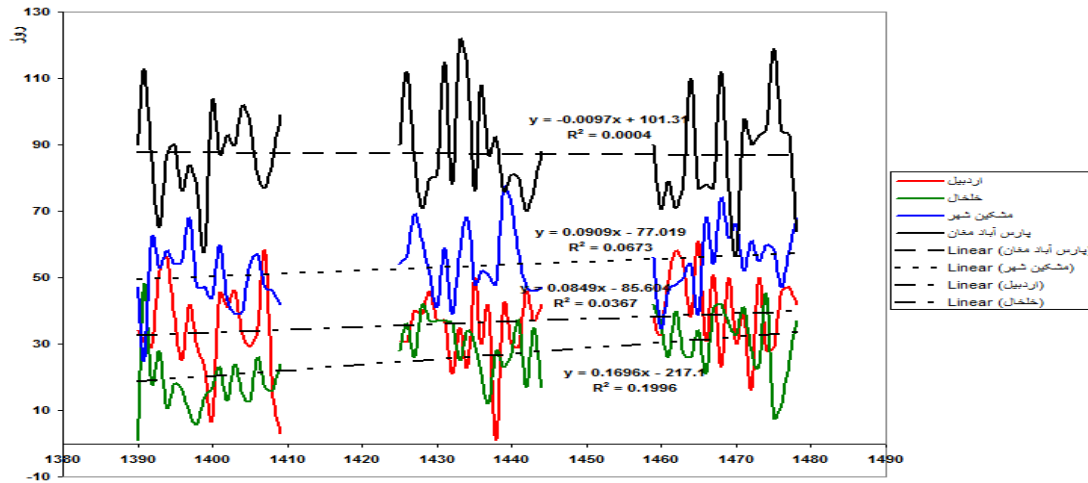


شکل 15: نوسانات سری زمانی شروع یخبندان سبک ایستگاه‌های مورد مطالعه شمسی به وسیله مدل HADCM3

به شروع یخبندان در همه ایستگاه بیشتر شده و در ایستگاه پارس‌آباد مغان نیز منفی شده است که این تغییرات بیشتر روند یخبندان‌های سنگین را بیان می‌دارد. جدول 5 نیز میانگین آغاز یخبندان-های سنگین را در دوره‌های مختلف نشان می‌دهد. بر اساس نتایج این جدول، زودترین یخبندان‌های سبک در ایستگاه خلخال و دیرترین یخبندان‌ها در ایستگاه پارس‌آباد مغان رخ می‌دهد. همچنین بیشترین نوسان دوره‌ای از نظر آغاز وقوع یخبندان سنگین در ایستگاه خلخال و کمترین نوسان نیز در ایستگاه مشکین‌شهر مشاهده می‌شود. همانطور که مشاهده می‌گردد تاریخ‌های آغاز یخبندان سنگین در ایستگاه پارس‌آباد مغان گاهی به فصل زمستان نیز می‌رسد. نقشه پهنه‌بندی میانگین دوره‌های مطالعاتی نیز نشان می‌دهد از شمال به

شروع یخبندان سنگین (مدل BCM2): یخبندان-های سنگین به کاهش حداقل درجه حرارت به زیر منفی 2 درجه گفته می‌شود و اولین وقوع این رخداد را شروع یخبندان سنگین می‌نامند. این یخبندان از نظر میزان آسیبی که به محصولات زراعی و باغی وارد می‌سازد حائز اهمیت می‌باشد. بر اساس مدل BCM2 و با توجه به شکل 16، روند آغاز یخبندان‌های سنگین در همه ایستگاه-های مورد مطالعه استان اردبیل رو به افزایش می-باشد. خطوط رگرسیون هم با شیب ملایم روند افزایشی روزهای آغاز یخبندان‌های سنگین را به سمت فاصله از آغاز سال ژولویوسی نشان می‌دهند. مقادیر شیب خطوط نسبت به شروع یخبندان سبک و با همین مدل تغییرات چشمگیری را نشان می‌دهد. در واقع، میزان شیب خطوط نسبت

جنوب استان زمان تاریخ‌های یخبندان سنگین کاهش می‌یابد.



شکل 16: نوسانات سری زمانی شروع یخبندان سنگین ایستگاه‌های مورد مطالعه به وسیله مدل BCM2

جدول 5: شروع اولین روز یخبندان سنگین با مدل Bcm2

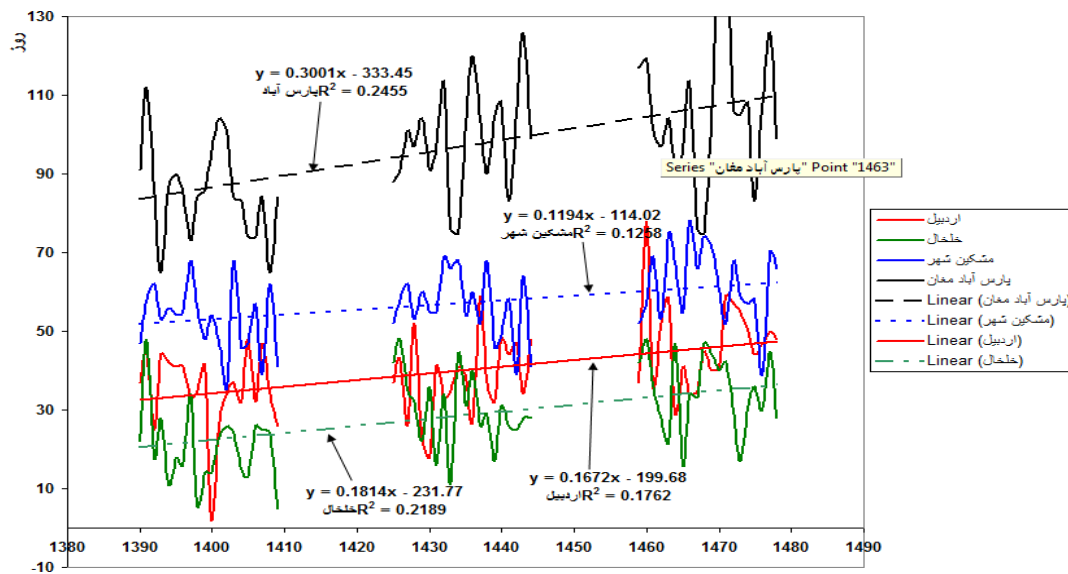
دوره‌های مطالعاتی	اردبیل	خلخال	مشکین شهر	پارس آباد مغان
1390-1399	6 آبان	17 مهر	22 آبان	22 آذر
1400-1409	1 آبان	19 مهر	17 آبان	1 دی
1425-1434	4 آبان	4 آبان	26 آبان	4 دی
1435-1444	5 آبان	25 مهر	25 آبان	23 آذر
1459-1468	14 آبان	3 آبان	22 آبان	24 آذر
1469-1478	8 آبان	29 مهر	29 آبان	28 آذر

در زمان آغاز یخبندان سنگین در دوره‌های مختلف پیش‌بینی شده در ایستگاه پارس‌آباد مغان با 29 روز اختلاف مشاهده می‌شود و کمترین نوسان دوره‌ای در ایستگاه خلخال با 16 روز اختلاف پیش‌بینی شده است. نقشه پهنه‌بندی میانگین دوره‌های مطالعاتی حاکی از این است که خلخال زودترین تاریخ شروع و پارس‌آباد مغان دیرترین تاریخ آغاز یخبندان سنگین را نشان می‌دهند که هر چه از شمال به جنوب استان حرکت کنیم زمان آغاز یخبندان سنگین زودتر رخ می‌دهد.

شروع یخبندان سنگین (مدل HADCM3): خروجی مدل HADCM3 با قدری تفاوت نسبت به مدل BCM2 آغاز رخداد یخبندان‌های سنگین را برای ایستگاه‌های استان اردبیل پیش‌بینی نمود که نتایج در قالب شکل 17 و همچنین جدول 6 ارائه گردیده است. همان‌گونه که از نمودار پیداست، در همه ایستگاه‌های استان اردبیل طی 20 ساله آینده روندی افزایشی برای شروع یخبندان‌های سبک پیش‌بینی گردیده است. بیشترین شیب خط برای ایستگاه پارس‌آباد مغان نشانگر روند افزایشی بیشتر این ایستگاه در رخداد زمان آغاز یخبندان سنگین می‌باشد. همچنین بر اساس نتایج جدول 10، بیشترین نوسان دوره‌ای

جدول 6: شروع اولین روز یخبندان سنگین با مدل HADCM3

دوره‌های مطالعاتی	اردبیل	خلخال	مشکین شهر	پارس آباد مغان
1390-1399	8 آبان	21 مهر	26 آبان	25 آذر
1400-1409	2 آبان	19 مهر	20 آبان	26 آذر
1425-1434	5 آبان	2 آبان	30 آبان	3 دی
1435-1444	11 آبان	28 مهر	23 آبان	14 دی
1459-1468	14 آبان	5 آبان	5 آذر	9 دی
1469-1478	19 آبان	4 آبان	30 آبان	24 دی



شکل 17: نوسانات سری زمانی شروع یخبندان سنگین ایستگاه‌های مورد مطالعه به وسیله مدل HADCM3

جدول 7: پایان آخرین روز یخبندان سبک با مدل Bcm2

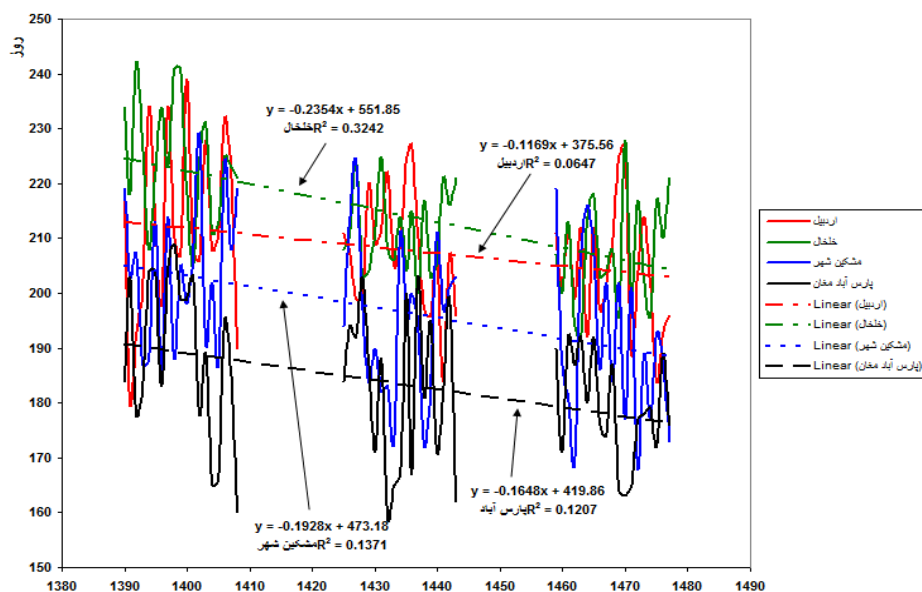
دوره‌های مطالعاتی	اردبیل	خلخال	مشکین شهر	پارس آباد مغان
1390-1399	31 اردیبهشت	20 خرداد	23 اردیبهشت	17 اردیبهشت
1400-1409	7 خرداد	10 خرداد	29 اردیبهشت	4 اردیبهشت
1425-1434	31 اردیبهشت	2 خرداد	17 اردیبهشت	3 اردیبهشت
1435-1444	27 اردیبهشت	2 خرداد	17 اردیبهشت	6 اردیبهشت
1459-1468	27 اردیبهشت	27 اردیبهشت	18 اردیبهشت	6 اردیبهشت
1469-1478	26 اردیبهشت	1 خرداد	7 اردیبهشت	27 فروردین

به طرف فروردین‌ماه روند کاهشی را دنبال می‌کند. شکل 19 به خوبی نشانگر روند پایان یخبندان‌های سبک در استان اردبیل می‌باشد. بررسی شیب خط حاکی از روند کاهشی با شیب خط بالا می‌باشد. بر اساس جدول 7، کمترین

پایان یخبندان‌های سبک (مدل BCM2): بررسی روند پایان یخبندان‌های سبک بر اساس مدل BCM2 نشان می‌دهد که در همه 4 ایستگاه مورد مطالعه روند تاریخ‌های پایان یخبندان سبک روبه کاهش بوده یعنی زمان پایان یخبندان‌های سبک

تاریخ پایان یخبندان سبک در ایستگاه خلخال با شیب خط بیشتر و نوسان دوره‌ای بیشتر همراه است که بیانگر تغییرات چشمگیرتر در رخداد پایان یخبندان‌های سبک در این ایستگاه است. بر اساس نقشه پهنه‌بندی میانگین دوره‌ها خلخال دیرترین تاریخ خاتمه یخبندان و پارس‌آباد مغان زودترین تاریخ خاتمه یخبندان سبک را دارا می‌باشد.

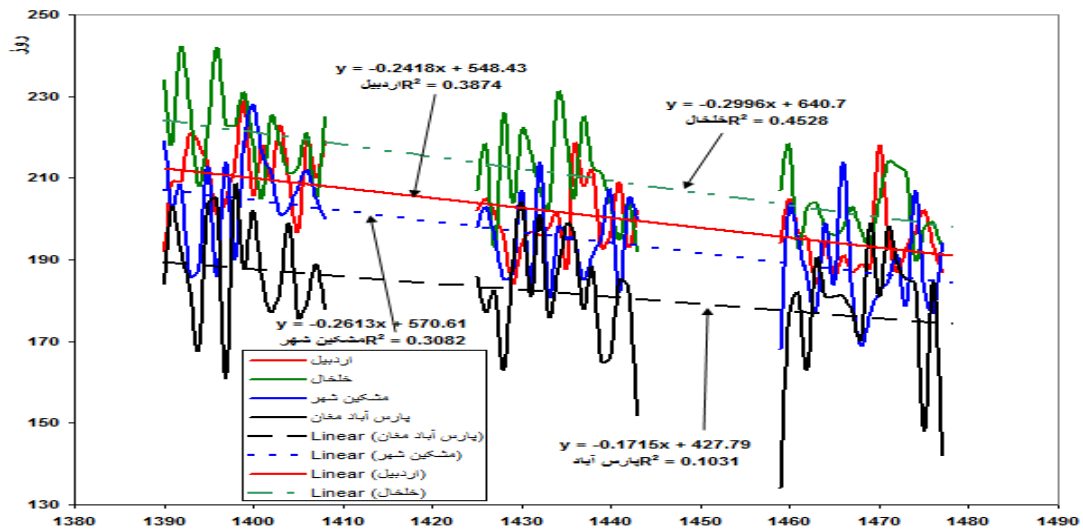
نوسان دوره‌ای تاریخ‌های پایان یخبندان سبک در ایستگاه اردبیل و بیشترین نوسان در ایستگاه خلخال مشاهده می‌گردد. همچنین بر اساس این جدول می‌توان مشاهده نمود که در همه ایستگاه‌ها تاریخ‌های پایان یخبندان سبک به سمت اردیبهشت و فرودین در کاهش بوده که بیانگر کاهش دوره یخبندان و طولانی شدن دره رشد در این ایستگاه‌ها می‌باشد. بر اساس مدل BCM2



شکل 18: نوسانات سری زمانی پایان یخبندان سبک ایستگاه‌های مورد مطالعه به وسیله مدل BCM2

8 که متوسط تاریخ‌های پایان یخبندان‌های سبک استان اردبیل را بر اساس مدل HADCM3 طی دوره‌های پیش‌بینی شده نشان می‌دهد، بیشترین نوسان دوره‌ای در ایستگاه خلخال و کمترین نوسان دوره‌ای در ایستگاه پارس‌آباد مغان مشاهده می‌گردد. نقشه پهنه‌بندی دوره‌های مطالعاتی حاکی از این است که از شمال به جنوب استان تاریخ‌های خاتمه یخبندان سبک دیرتر رخ می‌دهد.

پایان یخبندان‌های سبک (مدل HADCM3): پایان یخبندان‌های سبک بر اساس مدل HADCM3 بیانگر روندی نزولی با شیب خط منفی است که نتایج حاصل از خروجی‌های این مدل در شکل 19 نشان داده شده است. همانطور که مشخص است بیشترین شیب خط یا در واقع بیشترین میزان کاهش در تاریخ‌های پایان یخبندان‌های سبک در ایستگاه خلخال و کمترین کاهش بر اساس کمترین میزان شیب خط در ایستگاه پارس‌آباد مغان مشاهده می‌گردد. همچنین بر اساس جدول



شکل 19: نوسانات سری زمانی پایان یخبندان سبک ایستگاه‌های مورد مطالعه به وسیله مدل HADCM3

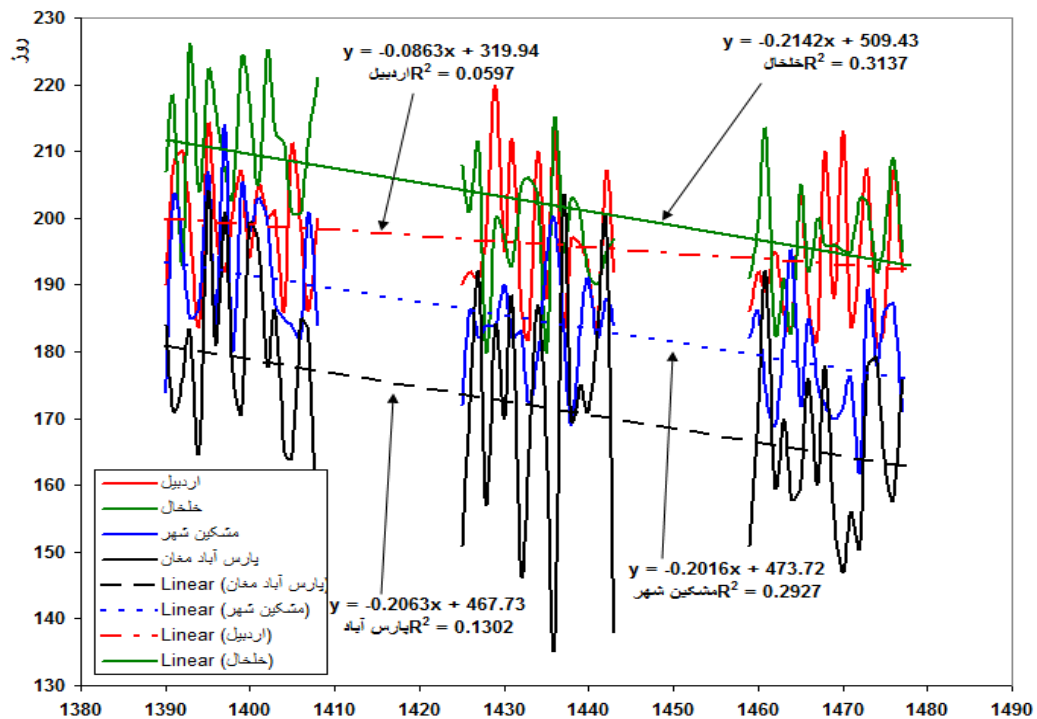
جدول 8: پایان آخرین روز یخبندان سبک با مدل HADCM3

دوره‌های مطالعاتی	اردبیل	خلخال	مشکین شهر	پارس‌آباد مغان
1390-1399	2 خرداد	18 خرداد	25 اردیبهشت	12 اردیبهشت
1400-1409	3 خرداد	7 خرداد	31 اردیبهشت	7 اردیبهشت
1425-1434	19 اردیبهشت	4 خرداد	17 اردیبهشت	7 اردیبهشت
1435-1444	24 اردیبهشت	29 اردیبهشت	17 اردیبهشت	1 اردیبهشت
1459-1468	14 اردیبهشت	24 اردیبهشت	10 اردیبهشت	27 فروردین
1469-1478	18 اردیبهشت	24 اردیبهشت	8 اردیبهشت	1 اردیبهشت

مطلب را تأیید می‌کند. بر اساس جدول 9، بیشترین نوسان دوره‌ای پایان یخبندان‌های سنگین در استان اردبیل در ایستگاه پارس‌آباد مغان و کمترین نوسان دوره‌ای در ایستگاه اردبیل مشاهده می‌گردد. همچنین بر اساس این جدول می‌توان مشاهده کرد که در ایستگاه خخلخال، تاریخ‌های پایان یخبندان‌های سنگین دیرتر از سایر ایستگاه‌ها به پایان رسیده و در ایستگاه پارس‌آباد مغان پیش از سایر ایستگاه‌های استان اردبیل تاریخ‌های پایان وقوع یخبندان‌های سنگین رخ داده است. بر اساس پهنه‌بندی میانگین دوره‌های مطالعاتی، از شمال به جنوب استان زمان پایان یخبندان سنگین افزایش می‌یابد. طبق این

پایان یخبندان‌های سنگین (مدل BCM2): پایان یخبندان‌های سنگین یعنی تاریخی را که در تقویم ژولیوسی، حداقل درجه حرارت به 2 درجه سانتی‌گراد زیر صفر می‌رسد. بر اساس نتایج استخراج شده از مدل BCM2 و نمودار ترسیم شده با داده‌های خروجی از این مدل برای مشخص نمودن روند پایان یخبندان‌های سنگین در استان اردبیل، می‌توان روند کاهشی تاریخ‌های پایان یخبندان دیررس را مشاهده نمود. طبق شکل 20، در هر 4 ایستگاه مورد مطالعه در استان اردبیل با شیب خط روند نزولی و کاهشی تاریخ‌های پایان یخبندان‌های سنگین کاملاً مشخص است و تحلیل خط رگرسیونی نیز این

نقشه، خلخال دیرترین و پارس آباد مغان زودترین تاریخ خاتمه یخبندان سنگین را دارا هستند.



شکل 20: نوسانات سری زمانی پایان یخبندان سنگین ایستگاه‌های مورد مطالعه به وسیله مدل BCM2

جدول 9: پایان آخرین روز یخبندان سنگین با مدل Bcm2

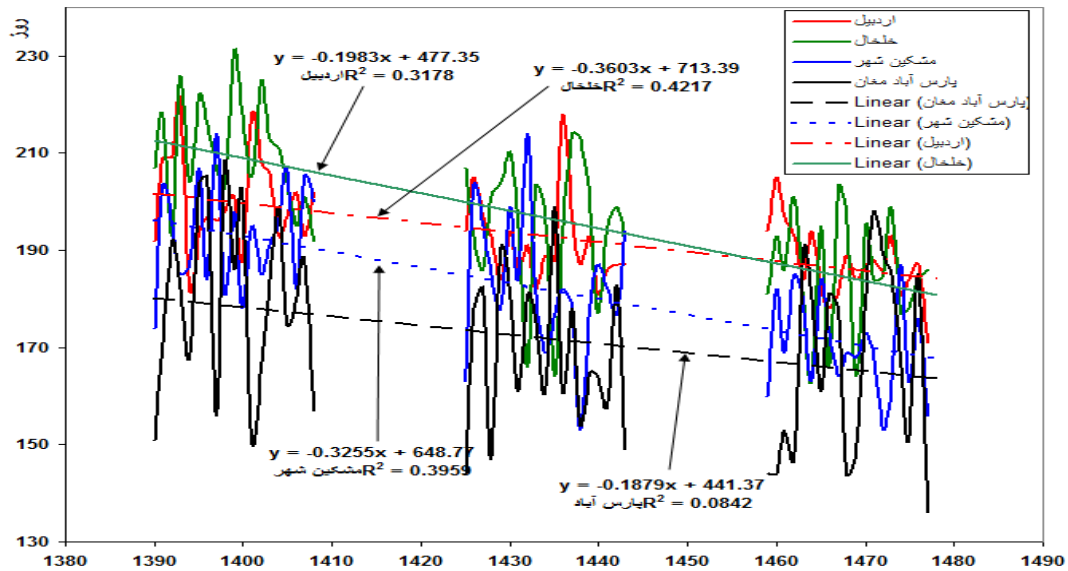
دوره‌های مطالعاتی	اردبیل	خلخال	مشکین شهر	پارس آباد مغان
1390-1399	22 اردیبهشت	3 خرداد	15 اردیبهشت	3 اردیبهشت
1400-1409	20 اردیبهشت	3 خرداد	13 اردیبهشت	30 فروردین
1425-1434	20 اردیبهشت	22 اردیبهشت	3 اردیبهشت	24 فروردین
1435-1444	17 اردیبهشت	18 اردیبهشت	8 اردیبهشت	24 فروردین
1459-1468	13 اردیبهشت	17 اردیبهشت	1 اردیبهشت	21 فروردین
1469-1478	17 اردیبهشت	20 اردیبهشت	30 فروردین	16 فروردین

در ایستگاه اردبیل مشاهده شده و روند کلی شیب‌های خط در همه ایستگاه‌های استان اردبیل نیز کمتر از مدل HADCM3 می‌باشد. نتایج جدول 10 نیز بیانگر حداکثر نوسان دوره‌ای در ایستگاه خلخال و کمترین نوسان در ایستگاه اردبیل می‌باشد و در کل، ایستگاه پارس آباد مغان دارای زودترین تاریخ پایان یخبندان‌های سنگین و ایستگاه خلخال دارای دیرترین تاریخ‌های پایان یخبندان‌های سنگین می‌باشد. نقشه پهنه‌بندی

پایان یخبندان‌های سنگین (مدل HADCM3): براساس پیش‌بینی‌های مدل HADCM3، تاریخ-های پایان یخبندان‌های سنگین استان اردبیل روند منفی داشته که نشانگر نزول تاریخ‌های یخبندان‌های دیررس می‌باشد. نتایج این پیش-بینی در شکل 21 ترسیم گردیده است. همانطور که در شکل نمایان است شیب‌های خط در همه ایستگاه‌ها منفی می‌باشد این در حالی است که بر اساس خروجی مدل BCM2، کمترین شیب خط

ایستگاه پارس‌آباد مغان زودترین تاریخ خاتمه یخبندان را دارد.

میانگین دوره‌های مطالعاتی حاکی از این می‌باشد که ایستگاه‌های اردبیل و خلخال دیرترین تاریخ‌های پایان یخبندان سنگین را نشان می‌دهند و



شکل 21: نوسانات سری زمانی پایان یخبندان سنگین ایستگاه‌های مورد مطالعه به وسیله مدل HADCM3

جدول 10: پایان آخرین روز یخبندان سنگین با مدل HADCM3

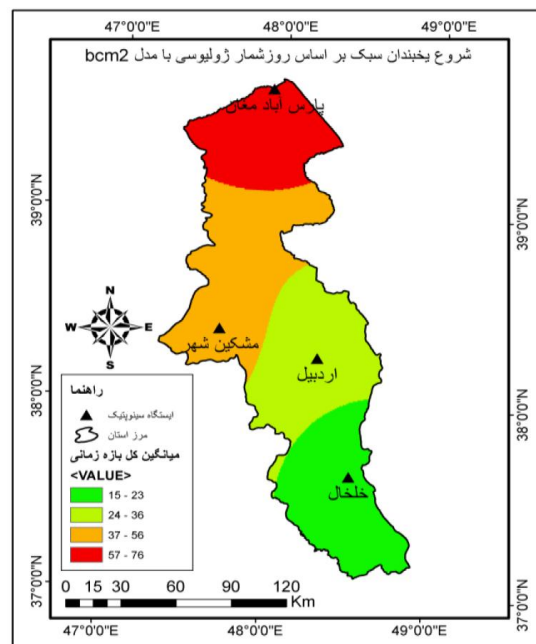
دوره‌های مطالعاتی	اردبیل	خلخال	مشکین شهر	پارس‌آباد مغان
1390-1399	22 اردیبهشت	4 خرداد	15 اردیبهشت	4 اردیبهشت
1400-1409	23 اردیبهشت	29 اردیبهشت	15 اردیبهشت	31 فروردین
1425-1434	13 اردیبهشت	18 اردیبهشت	9 اردیبهشت	24 فروردین
1435-1444	13 اردیبهشت	16 اردیبهشت	1 اردیبهشت	21 فروردین
1459-1468	12 اردیبهشت	8 اردیبهشت	26 فروردین	15 فروردین
1469-1478	6 اردیبهشت	5 اردیبهشت	20 فروردین	24 فروردین

ایستگاه‌های اردبیل و خلخال زودترین تاریخ آغاز یخبندان سبک را داشته و پارس‌آباد مغان دیرترین تاریخ شروع یخبندان سبک را دارد. بر اساس نقشه‌های پهنه‌بندی تاریخ‌های آغاز یخبندان سنگین، طبق مدل BCM2، نقشه میانگین دوره‌های مطالعاتی نشان داد که از شمال به جنوب استان زمان تاریخ‌های یخبندان سنگین کاهش می‌یابد. بر اساس مدل HADCM3 نیز نقشه پهنه‌بندی میانگین دوره‌های مطالعاتی

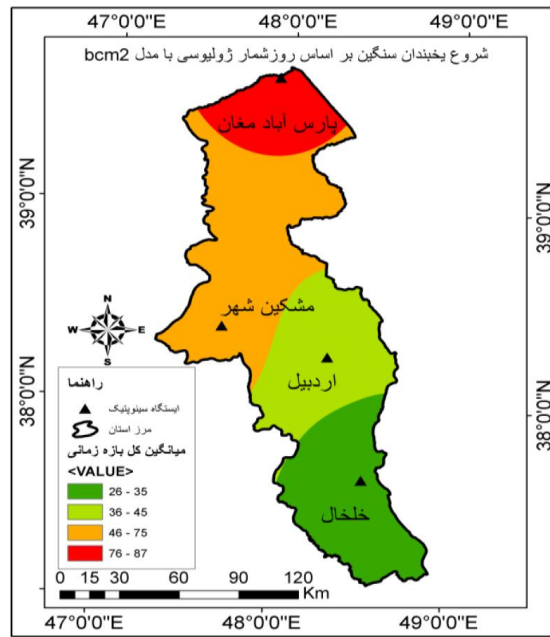
بر اساس نتایج حاصل شده پیش‌بینی دوره‌های مطالعاتی نقشه‌های پهنه‌بندی تاریخ‌های وقوع یخبندان‌های سبک و سنگین برای هر دو مدل مورد مطالعه ترسیم گردید (شکل‌های 22 تا 29) که بر اساس نتایج حاصله برای شروع یخبندان سبک بر اساس مدل BCM2 از شمال به جنوب استان تاریخ‌های شروع یخبندان سبک زودتر اتفاق می‌افتد. بر اساس مدل HADCM3، نقشه میانگین دوره‌های مطالعاتی نشان دادند که

ترسیم شده تاریخ‌های پایان یخبندان‌های سنگین استان اردبیل، بر اساس مدل ریزمقیاس BCM2 و بر اساس پهنه‌بندی میانگین دوره‌های مطالعاتی، از شمال به جنوب استان زمان پایان یخبندان سنگین افزایش می‌یابد. خلخال دیرترین و پارس‌آباد مغان زودترین تاریخ خاتمه یخبندان پهنه‌بندی میانگین دوره‌های مطالعاتی پایان یخبندان سنگین مدل HADCM3 نشان می‌دهد که ایستگاه‌های اردبیل و خلخال دیرترین تاریخ‌های پایان یخبندان سنگین را نشان می‌دهد و ایستگاه پارس‌آباد مغان زودترین تاریخ خاتمه یخبندان را دارد.

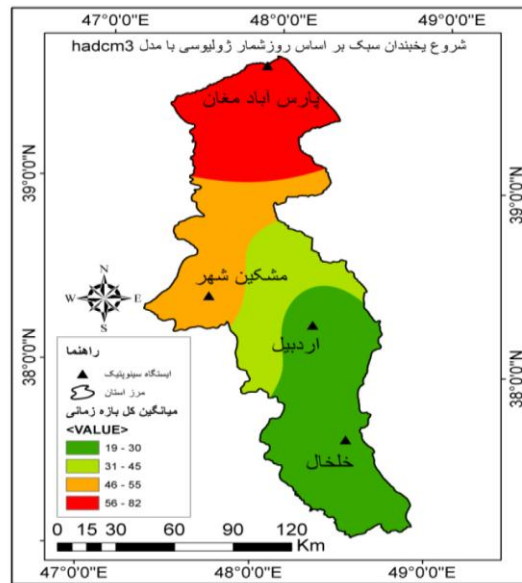
حاکمی از این بودند که خلخال زودترین تاریخ شروع و پارس‌آباد مغان دیرترین تاریخ آغاز یخبندان سنگین را دارند که هر چه از شمال به جنوب استان حرکت کنیم زمان آغاز یخبندان سنگین زودتر رخ می‌دهد. نقشه‌های پهنه‌بندی پایان یخبندان‌های سبک بر اساس مدل BCM2 نشان می‌دهد که خلخال دیرترین تاریخ خاتمه یخبندان و پارس‌آباد مغان زودترین تاریخ خاتمه یخبندان سبک را دارد. همچنین نقشه پهنه‌بندی میانگین دوره‌های مطالعاتی پایان یخبندان‌های سبک استان اردبیل بر اساس مدل ریزمقیاس HADCM3 حاکمی از این می‌باشند که از شمال به جنوب استان تاریخ‌های خاتمه یخبندان سبک دیرتر رخ می‌دهد. طبق نقشه‌های



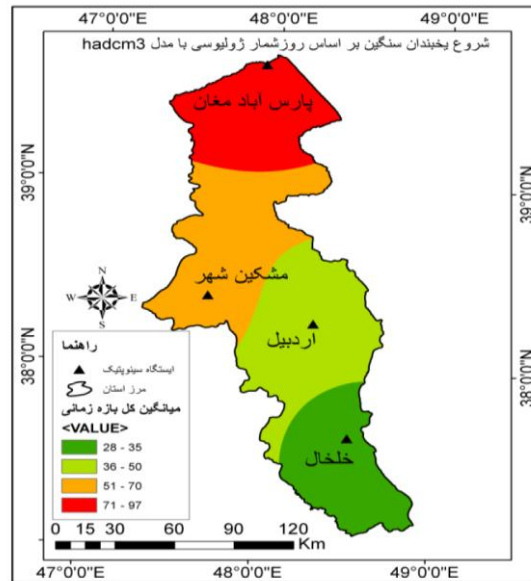
شکل 22: نقشه پهنه‌بندی شروع یخبندان سبک بر اساس مدل BCM2



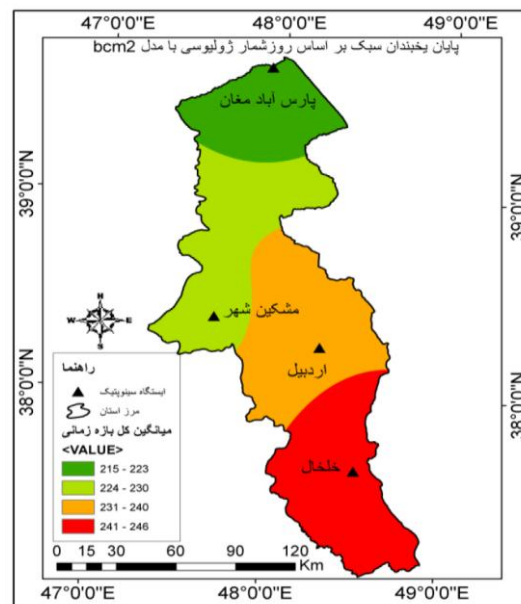
شکل 23: نقشه پهنه‌بندی شروع یخبندان سنگین بر اساس مدل BCM2



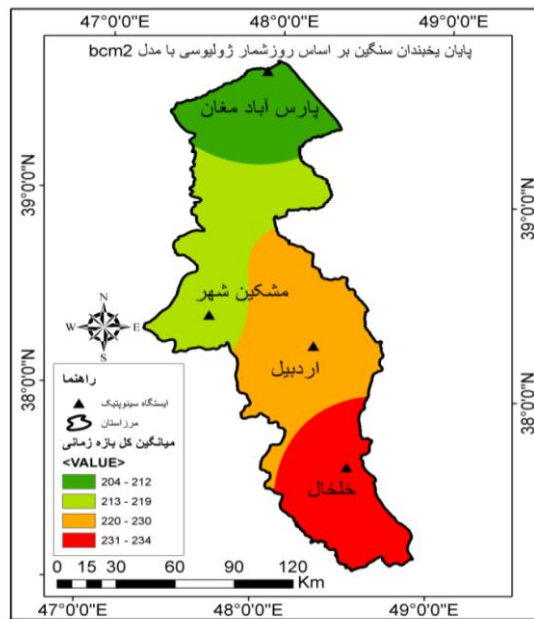
شکل 24: نقشه پهنه‌بندی شروع یخبندان سبک بر اساس مدل HADCM3



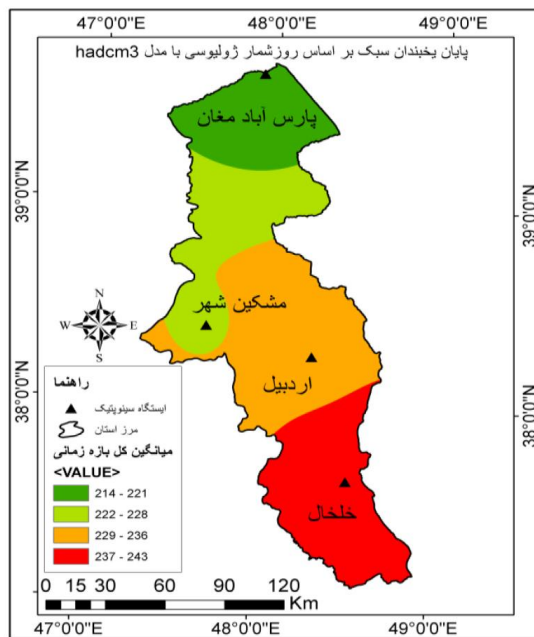
شکل 25: نقشه پهنه‌بندی شروع یخبندان سنگین بر اساس مدل HADCM3



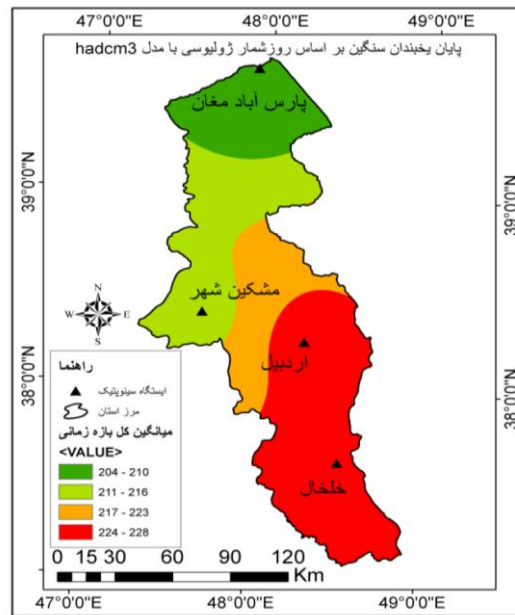
شکل 26: نقشه پهنه‌بندی پایان یخبندان سبک بر اساس مدل BCM2



شکل 27: نقشه پهنه‌بندی پایان یخبندان سنگین بر اساس مدل BCM2



شکل 28: نقشه پهنه‌بندی پایان یخبندان سبک بر اساس مدل HADCM3



شکل 29: نقشه پهنه‌بندی پایان یخبندان سنگین بر اساس مدل HADCM3

نتیجه‌گیری

اسمیرنوف به $0/05$ نزدیک‌تر بوده و دارای ارزش 1 می‌باشند. همچنین مقادیر R^2 برآورد شده برای هر چهار ایستگاه هم بالای $0/99$ بوده و مقادیر خطاهای $RMSE$ و MAE نیز دارای حداقل خطای ممکن می‌باشند. از طرفی، بررسی نمودارهای برآورد شده و مشاهده‌ای میانگین دمای حداقل هر چهار ایستگاه، بیانگر دقت بسیار بالای مدل در برآورد مقادیر مشاهده‌ای ایستگاه‌های مورد مطالعه دارد. در مرحله نهایی، بر اساس روزهای ژولیوسی تاریخ‌های شروع و پایان یخبندان‌های سبک و سنگین استان اردبیل بر اساس دو مدل ریزمقیاس $BCM2$ و $HADCM3$ محاسبه گردید و روند هریک از تاریخ‌ها رسم شد. سپس میانگین دهه‌ای تاریخ‌های وقوع یخبندان‌ها نیز برآورد شد که بر اساس نتایج حاصل شده، برای تاریخ‌های شروع یخبندان‌های سبک و سنگین با روند تأخیری و افزایش تاریخ‌های یخبندان به سمت تاریخ‌های بالای روزهای ژولیوسی روبرو هستیم. تاریخ‌های پایان وقوع یخبندان‌های سبک و سنگین نیز روندی نزولی به

پیش‌بینی وقوع یخبندان‌های سبک و سنگین استان اردبیل در دو بازه شروع و پایان رخداد یخبندان، بر روی متغیر کمینه دمایی 4 ایستگاه استان اردبیل صورت گرفت. برای این منظور از مدل ریزمقیاس لارس دبلیو جی بهره گرفته شد و به این ترتیب دو مدل پرکاربرد $BCM2$ و $HADCM3$ به همراه سناریو حد وسط $A1B$ انتخاب گردیدند. ابتدا صحت سنجی مدل صورت گرفت. برای این منظور، از مقادیر آزمون کولموگراف اسمیرنوف و آماره P -value ارائه شده در خروجی مدل و همچنین محاسبه مقادیر R^2 و بررسی خطاهای $RMSE$ و MAE همچنین رسم نمودار مقایسه مقادیر حداقل درجه حرارت شبیه‌سازی شده و مشاهده شده استفاده گردید. بر اساس نتایج در هر چهار ایستگاه مورد مطالعه در این پژوهش، مقادیر آزمون کولموگراف اسمیرنوف از $0/05$ بزرگ‌تر بوده که با اطمینان $0/95$ فرض نرمال بودن باقیمانده‌های مدل (خطاها) رد نشد. اغلب نتایج به دست آمده از آزمون کولموگراف

ایستگاه پارس‌آباد دیرترین تاریخ آغاز یخبندان سنگین را داشتند. با حرکت از شمال به جنوب استان، آغاز یخبندان سنگین زودتر رخ می‌دهد. ایستگاه خلخال دیرترین تاریخ خاتمه یخبندان و پارس‌آباد مغان زودترین تاریخ خاتمه یخبندان سبک را دارا بودند. از شمال به جنوب استان تاریخ‌های خاتمه یخبندان سبک دیرتر رخ می‌دهد و زمان پایان یخبندان سنگین افزایش می‌یابد. ایستگاه خلخال دیرترین و پارس‌آباد مغان زودترین تاریخ خاتمه یخبندان سنگین را دارا هستند. ایستگاه‌های اردبیل و خلخال دیرترین و ایستگاه پارس‌آباد مغان زودترین تاریخ‌های پایان یخبندان سنگین را به خود اختصاص دادند.

سمت تاریخ‌های پایین روزهای ژولیوسی را طی می‌کنند و در مجموع، می‌توان کاهش طول دوره-های یخبندانی را متصور شد که این نتایج با یافته‌های اسماعیلی و همکاران (1389 و 1390) انطباق نسبی دارد. نتایج حاصله از نقشه‌های پهنه‌بندی تاریخ‌های وقوع یخبندان‌های سبک و سنگین نشان دادند که از شمال به جنوب استان، تاریخ‌های شروع یخبندان سبک زودتر اتفاق می‌افتد و ایستگاه‌های اردبیل و خلخال زودترین تاریخ آغاز یخبندان سبک را دارند. نقشه پهنه‌بندی تاریخ‌های یخبندان سنگین نشان داد که از شمال به جنوب استان، زمان تاریخ‌های یخبندان سنگین کاهش می‌یابد. ایستگاه خلخال زودترین تاریخ شروع و

منابع

با استفاده از خروجی مدل اقلیمی، فصلنامه جغرافیای طبیعی، شماره 17، ص 83-93.
-اشرف، ب.، موسوی بایگی، م.، کمالی، غ. و داوری، ک.، 1390. پیش‌بینی نیاز آبی چغندر قند در دوره 2030-2011 با استفاده از داده‌های اقلیمی شبیه‌سازی شده توسط مدل ریزمقیاس کننده LARS-WG، نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، شماره 5، ص 1184-1196.
-بابائیان، ا.، نجفی نیک، ز.، زابلی عباسی، ف.، حبیبی نوخندان، م.، ادب، ح. و ملبوسی، ش.، 1388. ارزیابی تغییر اقلیم کشور در دوره 2039-2010 میلادی با استفاده از ریزمقیاس‌نمایی داده‌های مدل گردش عمومی جو ECHO-G، مجله جغرافیا و توسعه، شماره 16، ص 135-152.
-خلجی، م.، 1380. پیش‌بینی سرماهای دیررس بهاره و یخبندان‌های زودرس پاییزه برای برخی از گیاهان زراعی و باغی در استان چهارمحال و

-آبابایی، ب.، میرزائی، ف. و سهرابی، ت.، 1390. ارزیابی عملکرد مدل LARS-WG در 12 ایستگاه هواشناسی ساحلی ایران، مجله پژوهش آب ایران، شماره 9، ص 217-222.
-اسماعیلی، ر.، حبیبی نوخندان، م. و فلاح قالهری، غ.، 1389. ارزیابی تغییرات طول دوره رشد و یخبندان ناشی از نوسانات اقلیمی (مطالعه موردی: خراسان رضوی)، مجله پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، شماره 73، ص 69-82.
-اسماعیلی، ر.، عطایی، ه. و فلاح قالهری، غ.، 1390. ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر امکان توسعه دو گونه هسته‌دار بادام و زردآلو (مطالعه موردی: خراسان رضوی)، نشریه دانش و کشاورزی و تولید پایدار، شماره 1، ص 145-162.
-اسماعیلی، ر. و کوهی، م.، 1391. پهنه‌بندی وقوع آخرین یخبندان‌های دیررس خراسان رضوی

- بختیاری، مجله نهال و بذر، شماره 17، ص 126-139.
- خسروی، م.، طاووسی، ت. و اکبر زهرایی، 1394. شبیه‌سازی تغییرات آب و هوای استان سیستان و بلوچستان با استفاده از ریزگردانی داده‌های مدل گردش عمومی جو (GCM) برای دوره آب و هوایی (2009-2040)، فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، سال 30، شماره 3، ص 185-206.
- سبزی‌پرور، ع. و نوروز ولاشدی، ر.، 1394. اثر تغییر اقلیم بر روند تامین نیاز سرمایی گیاهان خزان‌دار (مطالعه موردی استان همدان)، نشریه علوم باغبانی (علوم و صنایع کشاورزی)، جلد 29، شماره 3، ص 358-367.
- صداقت‌کردار، ع. و فتاحی، ا.، 1387. شاخص‌های پیش‌آگاهی خشکسالی در ایران، مجله جغرافیا و توسعه، دانشگاه سیستان و بلوچستان، جلد 6، شماره 11، ص 59-76.
- قربانی، خ. و ولیزاده، ا.، 1393. بررسی تاریخ یخبندان‌ها و سرماهای مؤثر در کشاورزی تحت-تأثیر تغییر اقلیم مطالعه موردی: (مشهد، تبریز، قزوین)، پژوهش‌های حفاظت آب و خاک، دوره 21، شماره 4، ص 197-214.
- معافی مدنی، س. ف.، موسوی بایگی، م. و انصاری، ح.، 1391. پیش‌بینی خشکسالی استان خراسان رضوی طی دوره 2011-2030 با استفاده از ریزمقیاس نمایی آماری خروجی مدل LARS-WG، جغرافیا و مخاطرات محیطی، شماره 3، ص 21-37.
- هاردی، ج.، 1387. تغییر اقلیم، علل، اثرات و راه‌حل‌ها، ترجمه لیلی خزانه‌داری، شهرزاد قندهاری، منصوره کوهی و مهدی آسیائی، مشهد، انتشارات پاپلی، 364 ص.