

چشم‌انداز تغییرات زمانی و مکانی وقوع یخبندان‌ها و سرماهای زودرس پاییزه و دیررس بهاره در شمال شرق کشور

مجید رضایی بنگشه درق*

استاد اقلیم‌شناسی دانشگاه تبریز، ایران

سعید جهان بخش اصل

استاد اقلیم‌شناسی دانشگاه تبریز، ایران

علی محمد خورشید دوست

استاد اقلیم‌شناسی دانشگاه تبریز، ایران

مجید علی محمدی

دانشجوی دکتری تغییرات اقلیمی، دانشگاه تبریز، ایران

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۱۱/۶

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۴/۱

چکیده

تصمیم‌سازی برای آینده، جهت فعالیت‌های کشاورزی و باغداری در راستای کاهش زیان‌ها و افزایش بهره‌وری، نیازمند مطالعات تغییر اقلیمی و کشاورزی است. برای نیل به این هدف، مطالعه روی پارامترهای اقلیمی، در بازه زمانی طولانی مدت جهت کشف ویژگی‌ها و آثار آن‌ها، در شرایط اقلیمی دوره‌های گذشته و پیش‌آگاهی از تغییرات آن‌ها در آینده امری ضروری است. چشم‌انداز تغییرات زمانی و مکانی رویدادهای حدی اقلیمی جهت کشف ویژگی‌ها، آثار و پیش‌آگاهی از تغییرات آن‌ها در آینده امری ضروری است. لذا در این پژوهش، توزیع زمانی و مکانی وقوع یخبندان‌ها، سرماهای زودرس پاییزه و دیررس بهاره در شمال شرق کشور تحت تأثیر تغییرات اقلیمی واکاوی شد. بدین منظور از برون‌داد مدل جهانی HadCM3 تحت سناریوهای A2 و B1 و روش ریزمقیاس گردانی آماری LARS-WG در دوره آماری ۲۰۶۵-۲۰۴۶ نسبت به دوره پایه (۲۰۱۵-۱۹۸۶) استفاده شد. نتایج نشان داد که دمای کمینه در دوره آتی نسبت به دوره پایه بین ۱/۲ تا ۲/۵ درجه سلسیوس افزایش خواهد یافت بر این اساس در بخش اعظم منطقه مورد مطالعه یخبندان‌های زودرس پاییزه یک الی دو هفته دیرتر شروع می‌شوند و یخبندان‌های دیررس بهاره نیز بین ۹ تا ۱۸ روز زودتر به پایان می‌رسند. همچنین سرماهای زودرس پاییزه حدود ۷ تا ۱۳ روز دیرتر شروع و سرماهای دیررس بهاره نیز حدود ۹ تا ۱۳ روز زودتر خاتمه می‌یابند.

واژگان کلیدی: تغییر اقلیم، توزیع زمانی - مکانی، سرما، یخبندان، LARS-WG

* Email: mrbanafsheh@tabrizu.ac.ir

مقدمه

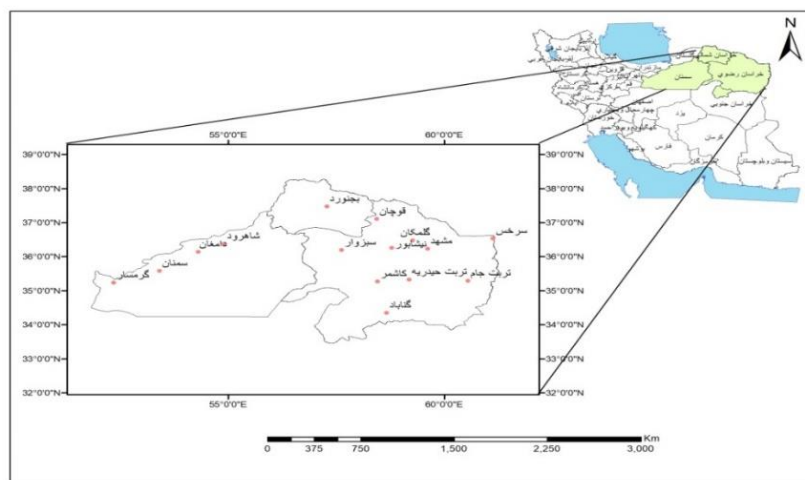
مخاطرات اقلیمی یکی از پرهزینه‌ترین مخاطرات طبیعی در جهان محسوب می‌شود (Guan et al, 2015). یکی از عامل‌های بلایای طبیعی که هر ساله به محصولات کشاورزی ایران زیان وارد می‌کند، پارامترهای دمایی است. در این بین، سرما و یخبندان از اهمیت ویژه‌ای برخوردار می‌باشد (فلاح قاهره و احمدی، ۱۳۹۴: ۸۱)؛ لذا با توجه به اهمیت پدیده یخبندان و سرماهای زیان‌بخش در بحث تولید و همچنین شواهد پدیده تغییر اقلیم در منطقه مورد مطالعه (بابائیان و نجفی، ۱۳۸۹: ۳) علاوه بر ضرورت انجام مطالعات پایه‌ای به‌منظور شناخت راه‌های مقابله با آن، می‌بایست توجه ویژه‌ای به چگونگی تغییر این پدیده در آینده در مناطق مختلف کشور گردد که این مهم توسط مدل‌های گردش عمومی جو، سناریوهای اقلیمی و روش‌های ریزمقیاس گردانی امکان‌پذیر شده است (خلیلی و همکاران، ۱۳۹۵: ۳۹). در این راستا دای و همکاران (Dai et al, 2013) کاهش ریسک یخبندان دیررس بهاره در طول دوره گلدهی درختان چوبی را در مناطق معتدله چین بررسی کردند. نتایج نشان داد که در ۵۰ سال گذشته ریسک خطر یخبندان‌های بهاره کاهش یافته است. گرازیک و کودویلیچ (۲۰۱۵) در لهستان مشخص کردند که تاریخ رخداد یخبندان‌های دیررس بهاره، در اثر گرمایش جهانی در آینده، تغییر یافته و زمان وقوع آن‌ها جلوتر می‌افتد. مدالا و همکاران (۲۰۱۶) پیش‌بینی تغییرات اقلیم برای دشت‌های منطقه تگزاس را بررسی کردند و با بررسی مدل‌های مختلف GCM مشخص نمودند که تا ۲۰۷۰ روزهای یخبندان ۱۷/۹ تا ۳۰ درصد، در کل منطقه کاهش می‌یابد. ایدالو گوالوز و همکاران (۲۰۱۷) با پیش‌بینی تغییر اقلیم در اسپانیا، اثر یخبندان‌های دیررس بهاره را بر روی فنولوژی گلدهی درختان بررسی کردند نتایج حاصل، افزایش دمای کمینه در تمام ایستگاه‌های هواشناسی مورد مطالعه را نسبت به دوره پایه نشان داد. خلیلی (۱۳۹۳) ارزیابی کمی و مدل‌سازی ریسک سرمازدگی بهاره محصول‌های زراعی و باغی در ایران را بررسی کردند. وی با ارزیابی دماهای کمینه در آستانه‌های دمایی مختلف، احتمال وقوع یخبندان‌های بهاره را پهنه‌بندی و مدل‌سازی نمودند. قادر زاده (۱۳۹۴) به ارزیابی پیامدهای تغییر اقلیم بر مراحل فنولوژی درختان سیب در شهرستان ارومیه پرداخت. نتایج نشان داد در دوره آینده ظهور زود هنگام خطر سرما و یخبندان بیشتر می‌شود. حسینی و احمدی (۱۳۹۵) با استفاده از مدل HadCM3 تحت سه سناریوی تغییر انتشار و مدل LARS-WG در سقز نشان دادند که دما در تمامی ماه‌های سال در این منطقه افزایش خواهد یافت. آقا شریعتمداری و همکاران (۱۳۹۵) چشم‌انداز زمان وقوع یخبندان‌های زودرس پاییزه و دیررس بهاره با استفاده از مدل HadCM3 تحت دو سناریوی A2 و B2 در غرب ایران را بررسی کردند؛ نتایج نشان داد که تاریخ یخبندان پاییزه دیرتر و تاریخ یخبندان بهاره زودتر از گذشته روی می‌دهد. سبحانی و همکاران (۱۳۹۶) به بررسی تاریخ آغاز و پایان یخبندان‌های زودرس و دیررس در استان اردبیل در دوره آماری ۱۹۹۶ تا ۲۰۱۰ پرداختند. نتایج نشان داد که در مناطق شمالی استان تاریخ خاتمه یخبندان دیررس در آوریل و در مرکز و جنوب مانند خلخال در ماه می پایان می‌یابد. صلاحی و همکاران (۱۳۹۶) در استان کرمانشاه و بر اساس برونداد مدل‌های اقلیمی Hadcm3, Bcm2 تحت سناریوی A1B و با بهره‌گیری از ریز گردان LARS-WG نشان دادند که شروع یخبندان‌های متوسط ایستگاه‌های مذکور به

سمت فروردین ماه میل می‌کند. جعفر بگلو (۱۳۹۷) بر اساس مدل HadCM3 و تحت سناریوهای A2، B1 و مدل ریزمقیاس نمایی برای دوره آینده نشان داد که اولین سرما و یخبندان‌های پاییزه در دوره آتی دیرتر از قبل آغاز شده و سرما و یخبندان‌های بهاره نیز زودتر به پایان می‌رسند. نظر به اهمیت تولیدهای باغی در منطقه شمال شرق کشور به‌عنوان یکی از قطب‌های اقتصادی در تولید محصولات مذکور و اهمیت تغییرات اقلیمی و توزیع زمانی و مکانی سرماها و یخبندان‌های زودرس پاییزه و دیررس بهاره به‌عنوان عاملی اساسی در عملکرد محصول‌های کشاورزی و باغی، پژوهش حاضر در صدد است به بررسی چشم‌انداز تغییرات زمانی و مکانی یخبندان‌ها و سرماهای زودرس پاییزه و دیررس بهاره با استفاده مدل جهانی HadCM3 تحت دو سناریوی A2 و B1 و مدل ریزمقیاس گردانی LARS-WG بپردازد.

داده‌ها و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه ما در این پژوهش شامل سه استان خراسان رضوی، خراسان شمالی و سمنان در شمال شرق کشور است. جهت این بررسی از آمار هواشناسی ۱۵ ایستگاه هواشناسی با دوره آماری بلند مدت (۲۰۱۵-۱۹۸۶) استفاده شد که موقعیت جغرافیایی آن‌ها در سطح منطقه مورد مطالعه در شکل (۱) آورده شده است.



مأخذ: نگارندگان

شکل ۱: موقعیت جغرافیایی منطقه و ایستگاه‌های هواشناسی مورد مطالعه

مدل ریزمقیاس گردانی LARS-WG

این مدل یک مدل تصادفی با استفاده از توزیع نیمه تجربی برای تولید داده‌های آب و هوایی به‌وسیله تکنیک‌های ریزمقیاس گردانی آماری است (Wilks and Wilby, 1999: 229) که توانایی بالایی در پیش‌بینی تغییرات اقلیمی دارد (Semonov and Stratonovitch, 2010: 14). در این پژوهش جهت ریزمقیاس گردانی داده‌ها از مدل جهانی

HadCM3 استفاده شد. مدل HadCM3 از نوع مدل‌های گردش عمومی جفت شده جوی- اقیانوسی است که در مرکز هادلی سازمان هواشناسی انگلیس طراحی و توسعه یافته است و دارای شبکه‌ای به ابعاد ۲/۵ درجه عرض جغرافیایی در ۳/۷۵ درجه طول جغرافیایی است (آشفته و مساح‌بوانی، ۱۳۸۹: ۳). در مطالعه حاضر از دو سناریوی تغییر اقلیم A2 و B1 استفاده شده است که هر یک نشان‌دهنده ویژگی‌هایی از جمله مربوط به رشد اقتصادی جهان، جمعیت جهان و آگاهی‌های اجتماعی می‌باشد (هاشمی نسب و همکاران، ۱۳۹۲: ۴۶). جهت اجرای مدل LARS-WG در این پژوهش از داده‌های روزانه دمای حداقل در دوره آماری ۳۰ ساله (۲۰۱۵-۱۹۸۶) استفاده شد. روش کار به این صورت است که مدل، داده‌های دیده‌بانی شده دوره پایه را دریافت کرده، با بررسی آن‌ها مشخصه‌های آماری داده‌ها استخراج می‌شوند. سپس به منظور صحت‌سنجی و اطمینان از توانمندی مدل، برای دوره آماری پایه مدل را اجرا کرده تا یک سری داده‌های مصنوعی در دوره پایه مجدداً ایجاد شود. سپس این خروجی‌ها را به منظور ارزیابی عملکرد مدل در بازسازی داده‌ها، با مشخصات آماری مشاهداتی به کمک آزمون‌های کلموگروف- اسمیرنوف (K-S)، T-test و F-test مقایسه می‌شوند. در این پژوهش جهت بررسی عملکرد مدل ریزمقیاس گردانی از معیارهای ضریب تعیین (R^2)، مجذور میانگین مربعات خطا (RMSE)، میانگین مربعات خطا (MSE) و میانگین مطلق خطا (MAE) استفاده شده است و همچنین در این روابط X_0 و X_s به ترتیب مربوط به داده‌های مشاهداتی و بازسازی شده در تعداد مشاهده (N) است.

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^N X_o X_s}{\sqrt{\sum_{i=1}^N X_o^2 \sum_{i=1}^N X_s^2}} \quad \text{رابطه (۱)}$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (X_o - X_s)^2}{N}} \quad \text{رابطه (۲)}$$

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^N |X_o - X_s|}{N} \quad \text{رابطه (۳)}$$

$$MSE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (X_o - X_s)^2 \quad \text{رابطه (۴)}$$

تطابق مشخصات آماری داده‌های مشاهداتی و داده‌های بازتولیدی، نشان می‌دهد که مدل، سناریوهای انتشار گازهای گلخانه‌ای انتخابی و خروجی مدل‌های اقلیمی GCM را به داده‌های دوره پایه اعمال و تغییرات را شبیه‌سازی می‌کند (آقا شاهی و همکاران، ۱۳۹۲: ۷). پس از ارزیابی عملکرد مدل LARS-WG و اطمینان از مناسب بودن مدل، داده‌های دوره آینده (۲۰۴۶-۲۰۶۵) با استفاده از مدل جهانی HadCM3 تحت دو سناریوی A2 و B1 تولید شد و داده‌های تولیدی مورد تحلیل قرار گرفت.

تعیین تاریخ آغاز و خاتمه یخبندان و سرما

جهت تعیین تاریخ آغاز و خاتمه یخبندان و سرما در منطقه مورد مطالعه داده‌های مورد بررسی به دو دوره آماری پایه (۱۹۸۶-۲۰۱۵) و دوره آینده (۲۰۴۶-۲۰۶۵)، داده‌های تولید شده توسط مدل LARS-WG تقسیم شدند و سری

زمانی دماهای کمینه برای هر یک از روزهای سال طی هر دوره برای هر یک از ایستگاه‌های مورد مطالعه تشکیل شد. تاریخ‌های وقوع اولین و آخرین یخبندان و سرما برای هر سال از روی آمار حداقل درجه حرارت روزانه برای هر ایستگاه توسط نرم‌افزار Excel استخراج شد بر اساس توصیه سازمان هواشناسی جهانی (۲۰۱۱) دماهای صفر درجه و پایین‌تر برای روزهای یخبندان و آستانه‌های دمایی ۱/۱ تا ۳/۳ برای روزهای سرمایی تعیین و در هر سال شماره اولین و آخرین روزهایی که دمای کمینه آن‌ها کم‌تر از این آستانه‌ها بودند استخراج شدند (قربانی و ولی زاده، ۱۳۹۳: ۲۰۳). روش استخراج تاریخ‌ها به این ترتیب بود که از اول ماه مهر شروع به کنترل دمای کمینه گردید و اولین روزی که دمای کمینه آستانه مورد نظر و یا کمتر از آن بود، برای زمان آغاز یخبندان و سرما در نظر گرفته شد. برای استخراج آخرین روز سرما و یخبندان بهاره نیز به همین شیوه عمل شد. بعد از اینکه تاریخ‌های اولین و آخرین روز یخبندان مشخص شد، لازم بود که این تاریخ‌ها به ساختاری تبدیل شوند که قابلیت تجزیه و تحلیل آماری را داشته باشند. برای این کار طبق روش مرسوم، تاریخ‌ها به روزشمار ژولیوسی تبدیل شد. روزشمار کردن تاریخ‌ها به این صورت انجام شد که اولین روز ماه مهر مصادف با ۲۳ سپتامبر، مبدأ شمارش مشخص شد؛ برای مثال عدد ۲۹۸ در شکل شماره (۲) بیانگر ۲۹۸ مین روز سال میلادی است که برابر با سوم آبان ماه سال شمسی است که بیانگر اولین تاریخ یخبندان در منطقه مطالعاتی است. به این ترتیب سری زمانی آغاز و خاتمه سرما و یخبندان‌ها مشخص شد و برای تجزیه و تحلیل آماری آماده شد. برای مثال نمونه‌ای از انتخاب اولین یخبندان و سرما در ایستگاه هواشناسی بجنورد در جدول‌های (۱) و (۲) آورده شده است:

جدول ۱: تاریخ رخداد اولین و آخرین یخبندان در ایستگاه بجنورد در دوره پایه

ایستگاه	آستانه یخبندان	اولین یخبندان	روزشمار ژولیوسی	آخرین یخبندان	روزشمار ژولیوسی	طول دوره یخبندان
بجنورد	۰	۱۰ آبان	۳۰۵	۱۱ فروردین	۹۰	۱۵۱
	-۱	۴ آذر	۳۲۹	۱۱ اسفند	۶۱	۹۷
	-۲	۱۰ آذر	۳۳۵	۲ اسفند	۵۲	۸۲
	-۳	۱۶ آذر	۳۴۱	۲۶ بهمن	۴۶	۷۰

مأخذ: نگارندگان

جدول ۲: تاریخ رخداد اولین و آخرین سرما در ایستگاه بجنورد در دوره پایه

ایستگاه	اولین سرما	روزشمار ژولیوسی	آخرین سرما	روزشمار ژولیوسی	طول دوره سرما (روز)
بجنورد	۲۵ مهر	۲۹۰	۲۶ فروردین	۱۰۵	۱۸۱

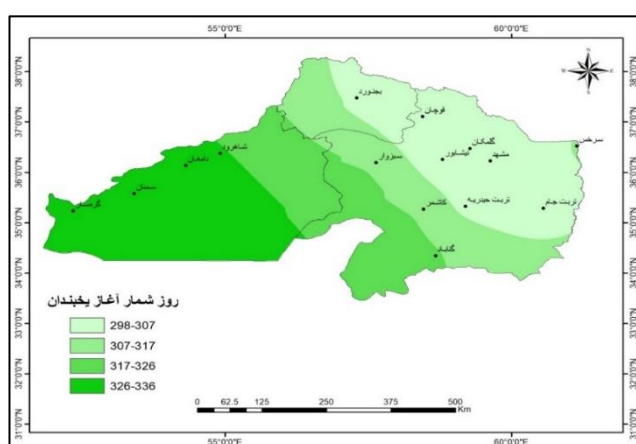
مأخذ: نگارندگان

نتایج و بحث

توزیع زمانی و مکانی تاریخ‌های آغاز و خاتمه یخبندان در دوره پایه

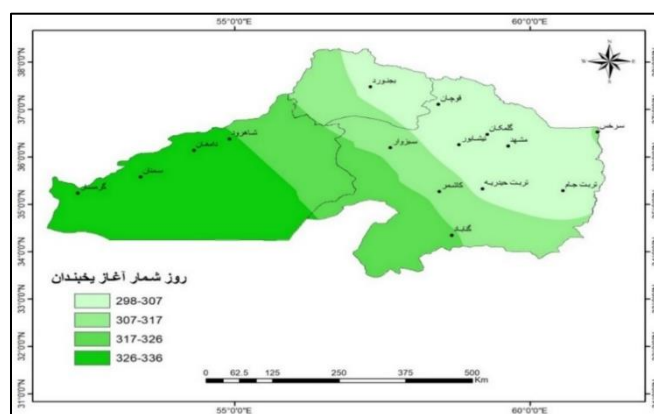
نتایج حاصل از تغییرات زمانی آغاز یخبندان در ایستگاه‌های مورد بررسی نشان می‌دهد که زودترین تاریخ یخبندان مربوط به ایستگاه‌های نیشابور، گلکان و تربت حیدریه است که در سوم و چهارم آبان ماه رخ می‌دهد، دیرترین تاریخ زمانی آغاز یخبندان نیز مربوط به ایستگاه سمنان است که در تاریخ ۱۱ آذرماه و سپس ایستگاه گرمسار است که در تاریخ

۷ آذرماه رخ می‌دهد. دیرترین پایان یخبندان نیز مربوط به ایستگاه قوچان (۱۶ فروردین) و زودترین زمان خاتمه یخبندان نیز مربوط به ایستگاه سمنان (۱۷ اسفند) است. بررسی تغییرات مکانی شروع یخبندان نشان می‌دهد که توزیع مکانی آن کم و بیش از وضعیت توپوگرافی منطقه تبعیت می‌کند، به طوری که یخبندان در نواحی شمال شرقی به سمت نواحی مرکزی منطقه زودتر آغاز می‌شود (شکل ۲). همان‌طور که ملاحظه می‌شود، تاریخ آغاز یخبندان در این نواحی از اوایل آبان است. با توجه به نتایج حاصل در بخش‌های کوچکی از نواحی جنوب شرقی نیز یخبندان در این تاریخ‌ها شروع می‌شود که دلیل آن ارتفاع زیاد این مناطق می‌باشد. همچنین نواحی غربی منطقه مورد مطالعه دیرتر از سایر مناطق یخبندان را تجربه می‌کنند. شکل (۳) تغییرات مکانی زمان خاتمه یخبندان را در منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهد.



مأخذ: نگارندگان

شکل ۲: روزشمار آغاز یخبندان در دوره پایه در منطقه مورد مطالعه



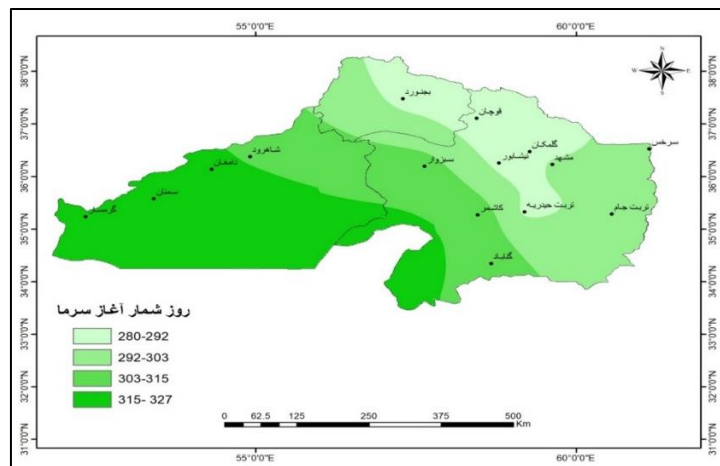
مأخذ: نگارندگان

شکل ۳: روزشمار خاتمه یخبندان در دوره پایه در منطقه مورد مطالعه

مطابق این شکل آخرین مناطقی که در آن‌ها یخبندان خاتمه می‌یابد ایستگاه‌های واقع در نواحی شمال شرقی و شمالی منطقه می‌باشد که تا ۱۶ فروردین ادامه می‌یابد. نواحی غربی و بخشی از نواحی جنوبی و شرقی منطقه نیز اولین مناطقی هستند که یخبندان در آن‌ها خاتمه می‌یابد.

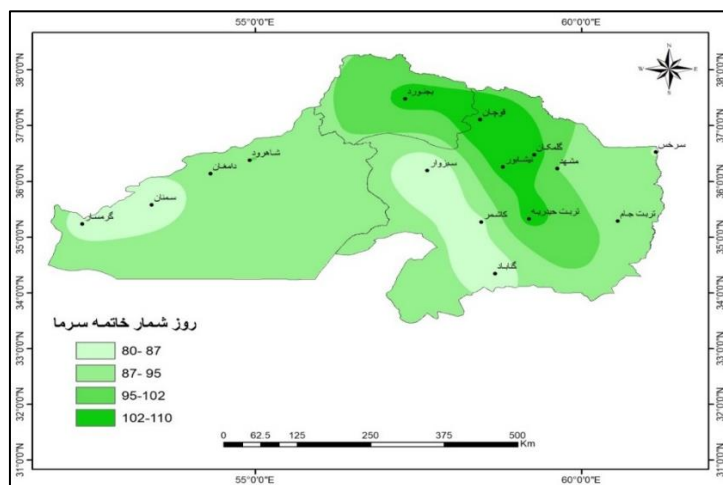
توزیع زمانی و مکانی تاریخ آغاز و خاتمه سرما در دوره پایه

نتایج حاصل از تغییرات زمانی نشان می‌دهد که اولین سرما در سطح منطقه مربوط به ایستگاه گلکان است که از ۱۵ مهر شروع می‌شود. آخرین سرما در سطح منطقه نیز مربوط به ایستگاه قوچان تا ۳۱ فروردین و سپس ایستگاه‌های گلکان تا ۲۸ فروردین است. بررسی تغییرات مکانی آغاز سرما در سطح منطقه نشان می‌دهد که سرما در نواحی شمالی و شمال شرقی منطقه زودتر از سایر مناطق آغاز می‌شود. با توجه به نتایج حاصل در بخش‌های کوچکی از نواحی مرکزی نیز سرما در این تاریخ‌ها شروع می‌شود. همچنین نواحی غربی منطقه مورد مطالعه آخرین منطقه‌ای هستند که سرمازدگی در آن‌ها اتفاق می‌افتد (شکل ۴). تغییرات مکانی زمان خاتمه سرما نیز نشان می‌دهد که نواحی شمالی و شمال شرقی آخرین منطقه‌ای هستند که در آن‌ها سرمازدگی خاتمه می‌یابد و ایستگاه‌های واقع در نواحی غربی منطقه مورد مطالعه و همچنین برخی ایستگاه‌ها در نواحی مرکزی و جنوبی منطقه، سرما زودتر از سایر مناطق در آن‌ها خاتمه می‌یابد (شکل ۵).



مأخذ: نگارندگان

شکل ۴: روزشمار آغاز سرما در دوره پایه در منطقه مورد مطالعه



مأخذ: نگارندگان

شکل ۵: روزشمار خاتمه یخبندان در دوره پایه در منطقه مورد مطالعه

پیش‌بینی تغییرات دمای کمینه در دوره آتی نسبت به دوره پایه

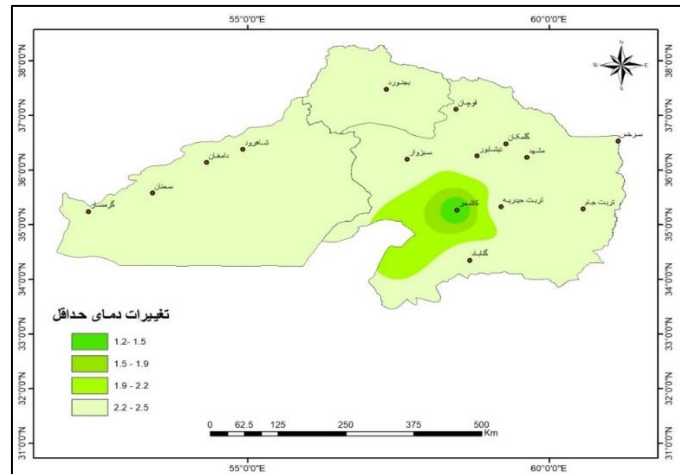
نتایج حاصل از ارزیابی عملکرد مدل ریزمقیاس گردانی LARS-WG نشان داد که این مدل از دقت بالایی در شبیه‌سازی دما در منطقه مورد مطالعه برخوردار است و اختلاف معنی‌داری بین مقادیر شبیه‌سازی‌شده و مقادیر مشاهداتی آن‌ها با خطای بحرانی ۰/۰۵ وجود ندارد. پس از ارزیابی و اطمینان از صحت و دقت مدل ریزمقیاس گردانی، به بررسی چشم‌انداز تغییرات دمای کمینه در دهه ۲۰۵۰ (۲۰۴۶-۲۰۶۵) تحت خروجی مدل HadCM3 و دو سناریوی انتشار A2 و B1 پرداخته شد. بر اساس نتایج حاصل در همه ایستگاه‌های مورد مطالعه میزان دمای کمینه بر اساس هر دو سناریوی مورد بررسی در مقایسه با دوره پایه افزایش قابل ملاحظه‌ای پیدا خواهد کرد؛ که بیشترین میزان افزایش آن نیز مربوط به ایستگاه‌های گرمسار و بجنورد با ۲/۵ درجه سلسیوس نسبت به دوره پایه است (جدول ۳).

جدول ۳: تغییرات دمای کمینه در دهه ۲۰۵۰ نسبت به دوره پایه تحت سناریوهای مختلف

ردیف	ایستگاه	دوره پایه	دوره آینده	
			B1	A2
۱	بجنورد	۶/۸	۹/۱	۹/۵
۲	دامغان	۱۰/۸	۱۲/۹	۱۳/۴
۳	گرمسار	۱۲	۱۴/۲	۱۴/۹
۴	گلمکان	۶/۷	۸/۹	۹/۴
۵	گناباد	۱۰/۹	۱۳/۱	۱۳/۶
۶	کاشمر	۱۲	۱۲/۹	۱۳/۵
۷	مشهد	۸/۹	۱۱/۱	۱۱/۶
۸	نیشابور	۶/۷	۸/۹	۹/۳
۹	قوچان	۵/۹	۸/۱	۸/۵
۱۰	سبزوار	۱۱/۷	۱۳/۹	۱۴/۴
۱۱	سرخس	۱۱/۳	۱۳/۴	۱۳/۹
۱۲	سمنان	۱۳/۱	۱۵/۲	۱۵/۸
۱۳	شاهرود	۹/۸	۱۱/۹	۱۲/۴
۱۴	تربت‌حیدریه	۷/۷	۹/۸	۱۰/۳
۱۵	تربت‌جام	۹	۱۱/۲	۱۱/۷

مأخذ: نگارندگان

نتایج حاصل از بررسی توزیع مکانی تغییرات دمای کمینه بیانگر آن است که بیشتر منطقه مورد مطالعه با تغییرات زیاد دمای کمینه (بین ۱/۵ تا ۲/۵) روبه‌رو خواهد بود که کمترین تغییرات دمای کمینه نیز مربوط شهرستان کاشمر و نواحی اطراف آن است (شکل ۶).



مأخذ: نگارندگان

شکل ۶: میزان تغییرات دمای کمینه در دوره آینده نسبت به دوره پایه

توزیع زمانی و مکانی تغییرات آغاز و خاتمه یخبندان در دوره آتی نسبت به دوره پایه

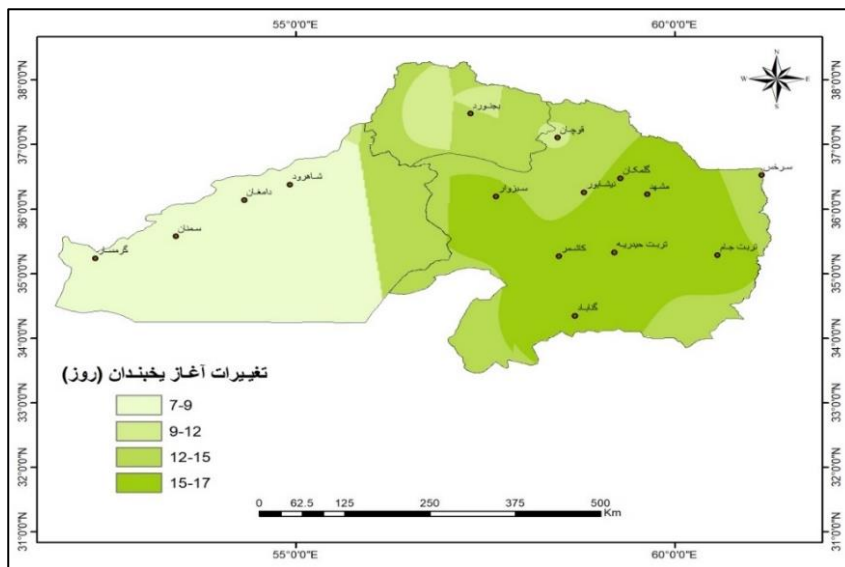
جهت بررسی تغییرات تاریخ آغاز و خاتمه یخبندان و سرما در منطقه مورد مطالعه از داده‌های دمای حداقل به صورت روزانه و سناریوی A2 مدل جفت شده جوی- اقیانوسی HadCM3 در دوره آتی استفاده شد. نتایج این تغییرات همانند جدول (۴)، برای نمونه از ایستگاه هواشناسی بجنورد ذکر شده است.

جدول ۴: تاریخ رخداد اولین و آخرین یخبندان در ایستگاه‌های مورد مطالعه در دوره آتی نسبت به دوره پایه

ایستگاه	آستانه یخبندان	دوره مشاهداتی				دوره آتی	
		اولین یخبندان	آخرین یخبندان	طول دوره یخبندان	اولین یخبندان	آخرین یخبندان	طول دوره یخبندان
بجنورد	۰	۱۰ آبان	۱۱ فروردین	۱۵۱	۱۹ آبان	۲ فروردین	۱۳۳
	-۱	۴ آذر	۱۱ اسفند	۹۷	۲۷ آذر	۱۶ بهمن	۴۹
	-۲	۱۰ آذر	۲ اسفند	۸۲	۲۹ آذر	۱۲ بهمن	۴۳
	-۳	۱۶ آذر	۲۶ بهمن	۷۰	۲ دی	۸ بهمن	۳۶

مأخذ: نگارندگان

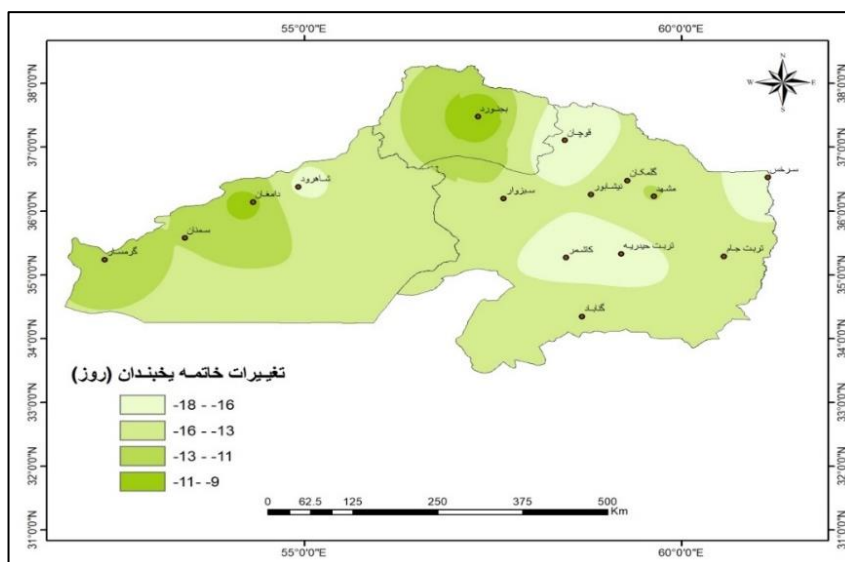
نتایج حاصل نشان می‌دهد که در سطح منطقه مورد مطالعه اولین یخبندان بین ۷ تا ۱۷ روز دیرتر اتفاق می‌افتد که کمترین تغییرات در تاریخ آغاز یخبندان‌ها نیز مربوط به ایستگاه قوچان با ۷ روز و سپس ایستگاه‌های بجنورد و شاهرود هر دو با ۹ روز تغییر نسبت به دوره پایه می‌باشد. بیشترین تغییرات نیز در این زمینه مربوط به ایستگاه مشهد با ۱۷ روز تغییر نسبت به دوره پایه است. آخرین یخبندان نیز بین ۹ تا ۱۸ روز زودتر در سطح منطقه به پایان می‌رسد؛ که کمترین و بیشترین تغییرات آن به ترتیب مربوط به ایستگاه بجنورد با ۹ روز زودتر و ایستگاه‌های شاهرود و قوچان با ۱۸ روز زودتر نسبت به دوره پایه می‌باشد. بر اساس نتایج حاصل در سطح ایستگاه‌های مورد مطالعه، تغییرات در تاریخ آغاز یخبندان‌ها کمتر از تغییرات خاتمه یخبندان‌ها می‌باشد. بررسی تغییرات مکانی آغاز یخبندان در دوره آتی نسبت به دوره پایه نشان می‌دهد که بیشترین تغییرات مربوط به نواحی جنوبی و شرقی و کمترین تغییرات مربوط به نواحی شمالی منطقه مورد مطالعه است (شکل ۷).



مأخذ: نگارندگان

شکل ۷: تغییرات آغاز یخبندان در دوره آبی نسبت به دوره پایه برحسب روز

در مجموع در دوره آبی در بخش اعظم منطقه مورد مطالعه آغاز یخبندان یک الی دو هفته دیرتر نسبت به دوره پایه آغاز خواهد شد تغییرات خاتمه یخبندان در دوره آبی نسبت به دوره پایه نیز نشان می‌دهد که بیشترین تغییرات مربوط به نواحی مرکزی، شمال شرقی و شمال غربی منطقه مورد است همچنین کمترین تغییرات نیز مربوط به نواحی شمالی و غربی منطقه مورد مطالعه است. به‌طور کلی در سطح منطقه مورد مطالعه خاتمه یخبندان در دوره آبی زودتر اتفاق خواهد افتاد که میزان آن بین ۹ تا ۱۸ روز خواهد بود که در راهنما با علامت منفی مشخص شده است. (شکل ۸).



مأخذ: نگارندگان

شکل ۸: تغییرات خاتمه یخبندان در دوره آبی نسبت به دوره پایه برحسب روز

توزیع زمانی و مکانی تغییرات آغاز و خاتمه سرما در دوره آتی نسبت به دوره پایه

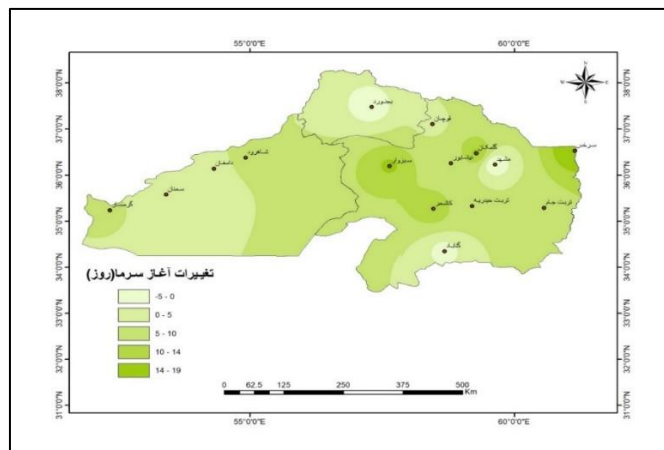
نتایج استخراج شده نشان می‌دهد که اولین سرما در سطح منطقه به غیر از ایستگاه‌های بجنورد، گناباد و مشهد که بین ۲ تا ۵ روز سرما زودتر شروع می‌شود در سایر ایستگاه‌ها سرما بین ۱ تا ۱۹ روز دیرتر شروع می‌شود که بیشترین تغییرات آن مربوط به ایستگاه سرخس با ۱۹ روز و کمترین تغییرات مربوط به ایستگاه دامغان با ۱ روز و سپس ایستگاه سمنان با ۲ روز می‌باشد؛ اما بر اساس نتایج حاصل خاتمه سرما در بین تمامی ایستگاه‌ها زودتر از دوره پایه اتفاق می‌افتد که این تغییرات در دهه ۲۰۵۰ بین ۵ تا ۲۱ روز زودتر نسبت به دوره پایه است در این رابطه کمترین تغییرات مربوط به ایستگاه سبزوار با ۵ روز و بیشترین تغییرات مربوط به ایستگاه سرخس با ۲۱ روز و سپس قوچان با ۲۰ روز اختلاف نسبت به دوره پایه می‌باشد.

جدول ۵: تاریخ رخداد اولین و آخرین سرما در ایستگاه‌های مورد مطالعه در دوره آتی نسبت به دوره پایه

ایستگاه	دوره مشاهداتی			دوره آتی	
	اولین سرما	آخرین سرما	طول دوره سرما (روز)	آخرین سرما	طول دوره سرما (روز)
بجنورد	۲۵ مهر	۲۶ فروردین	۱۸۱	۱۳ فروردین	۱۷۱
دامغان	۲۴ آبان	۱۱ فروردین	۱۳۷	۲۳ اسفند	۱۱۸
گرمسار	۲۷ آبان	۶ فروردین	۱۲۹	۲۲ اسفند	۱۱۰
کلمکان	۱۵ مهر	۲۸ فروردین	۱۹۳	۱۲ فروردین	۱۶۲
گناباد	۱۷ آبان	۳ فروردین	۱۳۶	۲۲ اسفند	۱۲۷
کاشمر	۱۹ آبان	۷ فروردین	۱۳۸	۲۰ اسفند	۱۰۸
مشهد	۴ آبان	۱۶ فروردین	۱۶۲	۴ فروردین	۱۵۳
نیشابور	۲۶ مهر	۲۷ فروردین	۱۸۱	۱۲ فروردین	۱۶۰
قوچان	۲۱ مهر	۳۱ فروردین	۱۹۰	۱۱ فروردین	۱۶۷
سبزوار	۱۶ آبان	۱ فروردین	۱۳۵	۲۵ اسفند	۱۱۴
سرخس	۶ آبان	۸ فروردین	۱۵۲	۱۶ اسفند	۱۱۱
سمنان	۲ آذر	۴ فروردین	۱۲۲	۱۸ اسفند	۱۰۴
شاهرود	۱۹ آبان	۱۶ فروردین	۱۴۷	۲۸ اسفند	۱۲۲
تربت‌حیدریه	۲۵ مهر	۲۶ فروردین	۱۸۱	۱۰ فروردین	۱۵۹
تربت‌جام	۲۹ مهر	۱۴ فروردین	۱۶۵	۴ فروردین	۱۴۷

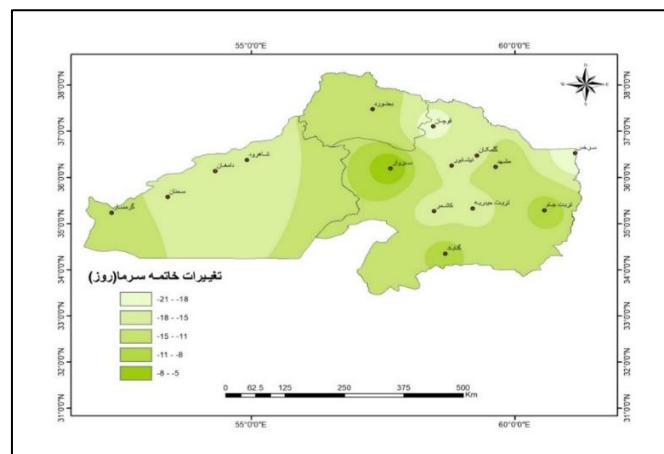
مأخذ: نگارندگان

بر این اساس تغییرات در خاتمه سرما و یخبندان بسیار بیشتر از تغییرات در آغاز سرما و یخبندان است. بررسی تغییرات مکانی آغاز سرما در سطح منطقه مورد مطالعه حاکی از کاهش تاریخ آغاز سرما در نواحی بجنورد، مشهد و گناباد و افزایش تاریخ آغاز سرما در سایر مناطق مورد مطالعه است که به‌طور متوسط در بخش اعظم منطقه حدود ۷ تا ۱۳ روز سرما دیرتر شروع خواهد شد (شکل ۹). نتایج حاصل از توزیع مکانی تغییرات خاتمه سرما در دوره آتی نسبت به دوره پایه در سطح منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهد که کمترین تغییرات مربوط به بخش‌های کوچکی از نواحی مرکزی، جنوبی و جنوب شرقی و بیشترین تغییرات مربوط به نواحی شرقی و شمال شرقی منطقه در محدوده شهرستان‌های سرخس و قوچان می‌باشد با توجه به نتایج حاصل بیشتر پهنه مورد مطالعه با کاهش حدود ۹ تا ۱۳ روز در زمان خاتمه سرما نسبت به دوره پایه مواجه خواهند شد (شکل ۱۰).



مأخذ: نگارندگان

شکل ۹: تغییرات آغاز سرما در دوره آتی نسبت به دوره پایه برحسب روز



مأخذ: نگارندگان

شکل ۱۰: تغییرات خاتمه سرما در دوره آتی نسبت به دوره پایه برحسب روز

نتیجه‌گیری

دانستن سازوکار رفتار مخاطرات اقلیمی در دوره گذشته و ارزیابی میزان تغییرات آن‌ها در آینده جهت اجرای راهبردهای خاص مدیریتی حائز اهمیت فراوان می‌باشد؛ بنابراین با توجه به اهمیت یخبندان‌های زودرس پاییزه و به‌خصوص دیررس بهاره که فعالیت فیزیولوژیکی گیاهان را تحت‌الشعاع خود قرار می‌دهد بررسی تغییرات توزیع زمانی و مکانی آن‌ها در شرایط اقلیم آتی جهان، امکان اتخاذ تصمیم‌های مدیریتی و تکنولوژیکی جدید جهت تطبیق شرایط متفاوت و تعدیل اثرات سوء احتمالی را فراهم می‌سازد. لذا در این پژوهش با توجه به اهمیت تولیدات باغی در منطقه شمال شرق کشور و همچنین خطر پدیده یخبندان‌ها و سرماهای زودرس پاییزه و دیررس بهاره به بررسی اثرات تغییرات اقلیمی بر روی این مخاطره اقلیمی پرداخته شد. بدین منظور با استفاده مدل جهانی HadCM3 تحت دو سناریوی A2 و B1 و مدل ریزمقیاس گردانی LARS-WG که ارزیابی عملکرد مدل با استفاده از شاخص‌های مختلف، دقت بالای آن را در شبیه‌سازی داده‌های اقلیمی نشان می‌دهد، دماهای کمینه در دوره ۲۰۴۶ تا ۲۰۶۵ پیش‌بینی گردید. نتایج حاصل نشان

داد که دمای کمینه در سطح منطقه مورد مطالعه طی دوره مذکور نسبت به دوره پایه (۲۰۱۵-۱۹۸۶) بین ۱/۲ تا ۲/۵ درجه سلسیوس افزایش خواهد یافت؛ بنابراین با توجه به افزایش دمای کمینه، آغاز و خاتمه یخبندانها و سرماهای زودرس و دیررس نیز دستخوش تغییر خواهند شد که بر اساس نتایج حاصل سرما و یخبندانهای زودرس پاییزه و دیررس بهاره در بیشتر مناطق دیرتر شروع و زودتر نیز به پایان خواهند رسید همچنین بر اساس نتایج حاصل در منطقه مورد مطالعه تغییرات در خاتمه سرما، بیشتر از تغییرات در خاتمه یخبندان است. نتایج حاصل از این پژوهش با مطالعات مدالا و همکاران (۲۰۱۶)، ایدالو گوالوز و همکاران (۲۰۱۷)، آقا شریعتمداری و همکاران (۱۳۹۵)، سبحانی و همکاران (۱۳۹۵)، خلیلی و همکاران (۱۳۹۶)، صلاحی و همکاران (۱۳۹۶)، گودرزی و همکاران (۱۳۹۷) و جعفر بگلو (۱۳۹۷) مطابقت دارد. بر اساس نتایج حاصل از این پژوهش در منطقه مورد مطالعه میزان دماهای کمینه افزایش پیدا خواهد کرد که این امر می‌تواند عملکرد برخی محصولات همانند درختان هسته‌دار که در دوره رشد و محصول دهی نیاز به سرما دارند را کاهش می‌دهد؛ بنابراین با قبول تغییر اقلیم در آینده، لازم است مسئولین و برنامه‌ریزان مربوطه در بخش‌های مختلف راهکاری لازم برای کاهش پیامدها و یا سازگاری با شرایط آب و هوایی جدید را اتخاذ نمایند.

منابع

- ۱- آشفته، پریسا سادات؛ مساح بوانی، علیرضا. (۱۳۸۹): تأثیر تغییر اقلیم بر دبی‌های حداکثر مطالعه موردی: حوضه آیدوغموش آذربایجان شرقی. علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، علوم آب و خاک، شماره ۵۳، صص ۳۹-۲۵.
- ۲- آقا شاهی، محسن؛ اردستانی، مجتبی؛ نیک سخن، محمدحسین؛ طهماسبی، بهشته. (۱۳۹۱): معرفی و مقایسه مدل‌های LARS-WG و SDSM به منظور ریزمقیاس سازی پارامترهای زیست‌محیطی در مطالعات تغییر اقلیم. ششمین همایش ملی و نمایشگاه تخصصی مهندسی محیط‌زیست، تهران، ص ۱۰.
- ۳- آقا شریعتمداری، زهرا؛ بذرافشان، جواد؛ صفایی، سیده الهه. (۱۳۹۵): چشم‌انداز زمان وقوع یخبندانهای زودرس پاییزه و دیررس بهاره تحت شرایط تغییر اقلیم با استفاده از مدل SDSM در چند ایستگاه منتخب در نیمه غربی ایران. نشریه هواشناسی کشاورزی، شماره ۴، صص ۳۱-۲۲.
- ۴- باباییان، ایمان؛ نجفی نیک، زهرا. (۱۳۸۹): تحلیل تغییر اقلیم استان خراسان رضوی در دوره ۲۰۳۹-۲۰۱۰ با استفاده از ریز گردانی خروجی الگوی GCM. جغرافیا و توسعه ناحیه‌ای، شماره ۱۵، صص ۱۹-۲.
- ۵- جعفری بگلو، ناصر. (۱۳۹۷): ارزیابی اثرات سرما و یخبندان دیررس بهاره بر روی درختان میوه در شمال غرب ایران، تحت شرایط اقلیم گذشته و تغییر اقلیم آینده (مطالعه موردی: درختان هسته‌دار)، رساله دکتری اقلیم‌شناسی، استاد راهنما: علی محمد خورشید دوست، دانشگاه تبریز، دانشکده برنامه‌ریزی و علوم محیطی، گروه آب و هواشناسی.
- ۶- خلیلی، علی. (۱۳۹۳): ارزیابی کمی و مدل سازی ریسک سرمازدگی بهاره محصولات زراعی و باغی در ایران. نشریه هواشناسی کشاورزی، ۱: ۳۱-۱۷.
- ۷- خلیلی، علی؛ رحیمی، جابر؛ بذرافشان، جواد. (۳۹۵): پیش‌نگری کمی اثرات محتمل تغییر اقلیم بر تاریخ و ریسک رخداد یخبندان دیررس بهاره طی قرن بیست و یکم در ایران. نشریه هواشناسی کشاورزی، شماره ۲، صص ۴۸-۳۸.
- ۸- سبحانی، بهروز؛ گنجی، مسعود؛ گل دوست، اکبر. (۱۳۹۶): تعیین و بررسی تاریخ‌های آغاز و پایان یخبندانهای زودرس و دیررس و احتمال تداوم، شدت و تواتر آن در استان اردبیل در دوره آماری ۱۹۹۶ تا ۲۰۱۰. پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، شماره ۱، صص ۵۳-۳۹.

- ۹- صلاحی، برومند؛ عالی جهان، مهدی؛ عینی، سعیده؛ درخشی، جعفر. (۱۳۹۶): پیش‌بینی تاریخ‌های شروع و پایان یخبندان‌های سبک و سنگین استان کرمانشاه بر اساس برودناد مدل‌های اقلیمی HadCM3, BCM2، با بهره‌گیری از ریز گردان LARS-WG، نشریه علمی - پژوهشی جغرافیا و برنامه‌ریزی، شماره ۵۹، صص ۱۹۵-۱۷۵.
- ۱۰- فلاح قاهره، غلام عباس و حمزه احمدی. (۱۳۹۴): برآورد زمانی - مکانی تاریخ گلدهی درختان میوه در استان آذربایجان غربی باهدف کاهش و پیشگیری از خسارت مخاطره‌های اقلیمی. فصل‌نامه پژوهشی بیمه و کشاورزی، ۴۶: ۱۰۴-۸۱.
- ۱۱- قادر زاده، آرزو. (۱۳۹۴): ارزیابی پیامدهای تغییر اقلیم بر مراحل فنولوژی درختان سیب شهرستان ارومیه. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده ادبیات و علوم انسانی، گروه جغرافیای طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی.
- ۱۲- قربانی، خلیل؛ ولی زاده، اسماعیل. (۱۳۹۳): بررسی تاریخ یخبندان‌ها و سرماهای مؤثر در کشاورزی تحت تأثیر تغییر اقلیم (مطالعه موردی: مشهد، تبریز و قزوین)، نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک، شماره ۴، صص ۲۱۴-۱۹۷.
- ۱۳- گودرزی، مسعود؛ صلاحی، برومند؛ و حسینی، سید اسعد. (۱۳۹۷): برآورد میزان تبخیر و تعرق در ارتباط با تغییرات اقلیمی در حوضه آبریز دریاچه ارومیه، فصل‌نامه علمی - پژوهشی علوم و مهندسی آبخیزداری ایران، انتشارات انجمن آبخیزداری ایران، شماره ۴۱: ۱۳-۱.
- ۱۴- هاشمی نسب، فریده السادات؛ موسوی بایگی، محمد؛ بختیاری، بهرام؛ داوری، کامران. (۱۳۹۲): پیش‌بینی تغییرات بارش ۲۰ سال آینده در استان کرمان با استفاده از مدل ریزمقیاس کننده LARS-WG و گردش عمومی HadCM3، فصل‌نامه علمی پژوهشی مهندسی آبیاری و آب، شماره ۱۲، صص ۵۸-۴۳.

- 15- Dai, I. wang, H. and Ge, Q. (2013): The Decreasing Spring Frost Risk During The Flowering Period for Woody Plants in Temperate Area of Eastern China over Past 50 Years. *Journal of Geographical Sciences*, 23: 641-652
- 16- Graczyk, D. and Kundzewicz, Z.W. (2015): Changes of Temperature- Related Agro Climatic Indices in Poland. *Theoretical and Applied Climatology*, 124: 401-410.
- 17- Guan, Y. Zheng, F. Zhang, P and Qin, C. (2015): Spatial and Temporal Changes of Meteorological Disasters in China During 1950-2013. *Natural Hazards*. 75:2607-2623. DOI: 10.1007/s11069-014-1446-3.
- 18- Hidalgo-Galvez, M. D. García-Mozo, H. Oteros, J. Mestre, A. Botey, R. and Galán, C. (2017): Phonological Behavior of Early Spring Flowering Trees in Spain in Response to Recent Climate Changes. *Theoretical and Applied Climatology*, 132: 263-273.
- 13- Karl, T. R. Meehl, G. A. Miller, C. D. Hassol, S. J. Waple, A. M. & Murray, W. L. (2008): Weather and Climate Extremes in A Changing Climate. US Climate Change Science Program.
- 20- Matusick, G. Ruthrof, K. X. Brouwers, N. C. & Hardy, G. S. J. (2014): Topography Influences The Distribution of Autumn Frost Damage on Trees in a Mediterranean-type Eucalyptus Forest. *Trees*, 28(5):1449-1462.
- 21- Meehl, G. A. Tebaldi, C. & Nychka, D. (2004): Changes in Frost Fays in Simulations of Twenty First Century Climate. *Climate Dynamics*, 23(5):495-511.
- 22- Modala, N. R. Ale, S. Goldberg, D. W. Olivares, M. Munster, C. L. Rajan, N. and Feagin, R. A. (2016): Climate Change Projections For The Texas High Plains and Rolling Plains. *Theoretical and Applied Climatology*, 129: 263-280.
- 23- Semonov M.A. and Stratonovitch P. (2010): Use of Multi-Model Ensembles From Global Climate Models for Assessment of Climate Change Impacts, *Climate Research*. 41: 1-14.
- 24- Sivakumar, M. V. Motha, R. P. & Das, H. P. (2005): Natural Disaster and Extreme Events in Agriculture. Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- 25- Wilks, D.S. and Wilby, R.L. (1999): The Weather Generation Game: A Review of Stochastic Weather Models. *Progress in Physical Geography*, 23: 329-357.
- 26- WMO. (2011): WMO Statement on The Status of The Global Climate in 2010. World Meteorological Organization, Geneva.