نشریه علمی- پژوهشی جغرافیا و برنامه‌ریزی، سال ۲۱، شماره ۵۹، بهار ۱۳۹۶، صفحات ۱۹۵-۱۷۵

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۰۹/۱۰ تاریخ پذیرش نهایی: ۱۳۹۳/۰۲/۲۱

پیش‌بینی تاریخ‌های شروع و پایان یخبندان‌های سبک و سنگین استان کرمانشاه بر اساس برونداد مدل‌های اقلیمی Bcm2 و Hadcm3 با بهره‌گیری از ریزگردان LARS-WG

برومند صلاحی[۱]
مهدی عالی جهان[۲]
سعیده عینی[۲]
جعفر درخشی[۲]

چکیده

هدف از این پژوهش، پیش‌بینی یخبندان‌های متوسط و شدید سه ایستگاه کرمانشاه، سرپل ذهاب و کنگاور با استفاده از خروجی مدل ریزگردان لارس در دو دهه آینده می‌باشد. داده‌های ورودی مدل‌های مورد استفاده در این پژوهش شامل متغیرهای بارش، دمای کمینه، دمای بیشینه و تابش در مقیاس روزانه طی دوره زمانی ۲۰۱۲- ۱۹۹۲ می‌باشند. در پژوهش حاضر با استفاده از خروجی دو مدل اقلیمی HADCM3 و BCM2 تحت سناریوی A1B، وقوع آغاز و پایان یخبندان‌های زودرس و دیررس متوسط و شدید در سه بازه زمانی ۲۰۳۰- ۲۰۱۱، ۲۰۶۵- ۲۰۴۶ و ۲۰۹۹- ۲۰۸۰ مورد ارزیابی قرار گرفته است. نتایج حاصل از پردازش مدل LARS-WG به‌وسیله دو طرح‌واره Bcm2 و Hadcm3 نشانگر گرم‌تر شدن این ایستگاه‌ها در سال‌های آینده می‌باشد. شروع یخبندان‌های متوسط ایستگاه‌های مذکور با گذشت زمان به سمت فروردین ماه میل می‌کند. در بین ایستگاه‌های مورد بررسی، رفتار ایستگاه‌های کنگاور و کرمانشاه شباهت زیادی به هم داشته اما

۱ـ دانشیار گروه جغرافیای طبیعی دانشگاه محقق اردبیلی. Emai:bromand416@yahoo.com
۲ـ دانشجویان دوره دکترای اقلیم‌شناسی، دانشگاه محقق اردبیلی.

ایستگاه سرپل ذهاب به دلیل ماهیت گرمسیری خود، رفتاری متفاوت از دو ایستگاه در سال‌های آینده از خود نشان داد. شروع یخبندان‌های شدید این ایستگاه‌ها با گذر زمان به تأخیر افتاده و به سمت بهار پیشروی می‌کند و از آن طرف، زمان خاتمه آخرین یخبندان‌های شدید نیز با گذشت زمان و نزدیک شدن به پایان دوره پیش بینی شده، به سمت ابتدای زمستان و حتی تا بهمن ماه در ایستگاه سرپل ذهاب نیز می‌رسد. با توجه به نتایج حاصل از پردازش مدل‌های مذکور، در سال‌های آتی از تعداد روزهای یخبندان متوسط و شدید این ایستگاه‌ها کاسته شده و روند دمایی این ایستگاه‌ها رو به افزایش خواهد گذاشت.

واژگان کلیدی: یخبندان متوسط، یخبندان شدید، مدل LARS-WG، استان کرمانشاه.

مقدمه

یخبندان یکی از زیان‌آورترین بلایای طبیعی است که معمولاً با خسارت‌های فراوان مالی و حتی جانی همراه است. پدیده یخبندان حیات تمامی موجودات زنده را با خطر مواجه می‌نماید و نقش مهم و تعیین‌کننده‌ای در مسائل اقتصادی، زیست‌محیطی و عمرانی دارد. سرمازدگی و یخبندان در مراحل مختلف رویشی محصولات کشاورزی و باغی بسیار مهم است و منجر به محدودیت تولید می‌شود (طاوسی و درخشی، ۱۳۸۹: ۸۹). یخبندان هر ساله خسارت بی‌شماری به‌وجود می‌آورد از این رو مطالعه این پدیده برای جوامع بشری بسیار حائز اهمیت است. برآورد روند تغییرات برخی شاخص‌های اقلیم کشاورزی از قبیل تغییرات بارش و دما، تغییرات طول فصل رشد، تاریخ وقوع اولین و آخرین یخبندان بهاره و پائیزه و غیره طی سال‌های آتی به‌منظور ارائه برنامه‌ریزی صحیح و در نظر گرفتن تمهیدات لازم بسیار مورد توجه است. امروزه دستیابی به این امر مهم، با بسط و توسعه مدل‌های اقلیمی فراهم شده است در این مدل‌ها، متغیرهای اقلیمی تحت تأثیر تنش‌های ناشی از گازهای گلخانه‌ای شبیه‌سازی می‌شوند. به‌کارگیری خروجی مدل‌های اقلیم جهانی (GCM) و منطقه‌ای (RCM) این امکان را به وجود آورده است تا محققان بتوانند تغییرات اقلیم را در مقیاس‌های زمانی بلندمدت بر بخش‌های مختلف بررسی نمایند.

پژوهش‌های متعددی در خصوص خروجی مدل‌های اقلیمی صورت گرفته است که از جمله آن‌ها می‌توان از پژوهش‌های خارجی به کارهای ادوارد و اسلینگو (۱۹۹۶)، گریگوری و همکاران (۱۹۹۷)، وایلن (۱۹۸۸)، کاکس و همکاران (۱۹۹۹)، بروک و همکاران (۲۰۰۰)، گانوپولسکی و راهمستورف (۲۰۰۱)، هویت و همکاران (۲۰۰۱)، مادلین و بلتراندو (۲۰۰۵)، سمنوف (۲۰۰۸)، سمنوف و استراتونوویتچ (۲۰۱۰)، ژانگ و همکاران (۲۰۱۱)، فودور و همکاران (۲۰۱۳)، کیم و همکاران (۲۰۱۳) و از پژوهش‌های داخلی نیز می‌توان به مطالعات خلجی (۱۳۸۰)، بزاز و سامبروک (۱۳۸۵)، اسماعیلی (۱۳۸۶)، محمدخورشیددوست و همکاران (۱۳۸۸)، بابائیان و همکاران (۱۳۸۸)، اسماعیلی و همکاران (۱۳۸۹)، سادات آشفته و مساح بوانی (۱۳۸۹)، علیجانی و همکاران (۱۳۸۹)، مشکواتی و همکاران (۱۳۸۹)، اشرف و همکاران (۱۳۹۰)، آبابایی و همکاران (۱۳۹۰)، اسماعیلی و همکاران (۱۳۹۰)، گل محمدی و مساح بوانی (۱۳۹۰)، خلیلی اقدم و همکاران (۱۳۹۱)، اسماعیلی و کوهی (۱۳۹۱)، بابائیان و کوهی (۱۳۹۱) و روشن و همکاران (۱۳۹۱) اشاره کرد.

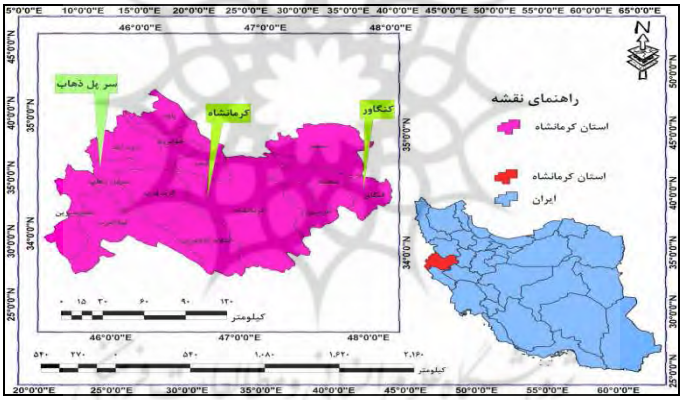
مدل LARS-WG5 که در این پژوهش از آن استفاده شده است یکی از مولدهای داده‌های تصادفی هواشناسی است که برای تولید داده‌های بارش روزانه، تابش روزانه و درجه حرارت‌های حداکثر و حداقل روزانه در یک ایستگاه تحت شرایط اقلیمی حاضر و آینده به‌کار می‌رود (سمنوف و همکاران، ۱۹۹۸: ۲). نتایج مطالعات انجام گرفته حاکی از توانمندی مدل لارس در پیش‌بینی متغیرهای اقلیمی است. استان کرمانشاه نیز با توجه به ماهیت کوهستانی بودن، همواره درگیر یخبندان بوده است. هدف از این پژوهش پیش‌بینی یخبندان‌های متوسط و شدید سه ایستگاه کرمانشاه، سرپل ذهاب و کنگاور با استفاده از خروجی مدل لارس در دو دهه آینـده می‌باشد به این امید که مورد اسـتفاده کشاورزان و سایر سازمان‌هایی که با مخاطره یخبندان دچار آسیب‌های فراوان می‌گردند قرار گرفتـه و برنامه‌ریزان محیطی بتوانند با برنامه‌ریزی دقیق، خطرات یخبندان‌های پیش‌رو را به حداقل ممکن برسانند.

مواد و روش‌ها

در این پژوهش از داده‌های ایستگاه‌های سینوپتیک کرمانشاه، کنگاور و سرپل ذهاب برای ارزیابی تغییرات تاریخ‌های شروع و پایان یخبندان در دهه‌های اخیر استفاده گردیده است. جدول (۱) مشخصات ایستگاه‌های مورد مطالعه را نمایش می‌دهد.

جدول (۱) موقعیت جغرافیایی و ارتفاع ایستگاه‌های مورد مطالعه

ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع (متر)
کرمانشاه	۴۷ ۰۹	۳۴ ۲۱	۱۳۱۸
کنگاور	۴۷ ۵۹	۳۴ ۳۰	۱۴۶۸
سرپل ذهاب	۴۵ ۵۲	۳۴ ۲۷	۵۴۵



شکل (۱) نقشه موقعیت ایستگاه‌های مورد مطالعه

داده‌های ورودی مدل‌های مورد استفاده در این پژوهش شامل متغیرهای بارش، دمای کمینه، دمای بیشینه و تابش در مقیاس روزانه طی دوره زمانی ۲۰۱۲- ۱۹۹۲ می‌باشند 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 متوسط

و شدید در سه بازه زمانی ۲۰۳۰- ۲۰۱۱ (۱۴۰۹- ۱۳۹۰)، ۲۰۶۵- ۲۰۴۶ (۱۴۴۶- ۱۴۲۵) و ۲۰۹۹- ۲۰۸۰ (۱۴۷۸- ۱۴۵۹)، به‌عنوان یک پدیده حدی مورد ارزیابی قرار گرفته است. مدل LARS-WG که در این پژوهش از آن استفاده شده است، از مهم‌ترین مدل‌های ریزگردان آماری بوده و مولد مصنوعی داده‌های آب و هوایی است در فرایند شبیه‌سازی در این پژوهش، داده‌های ورودی سه ایستگاه سینوپتیک منتخب مورد استفاده قرار گرفته و مدل بر اساس این داده‌ها اجرا شده است. در این پژوهش، از داده‌های خروجی مدل HADCM3 که یکی از مدل‌های جفت شده گردش عمومی جو- اقیانوسی می‌باشد و توسط مرکز تحقیقات و پیش‌بینی‌های اقلیمی هادلی در اداره هواشناسی انگلستان تهیه شده است استفاده گردیده است.

در پژوهش حاضر، ابتدا بر اساس شبیه‌سازی دوره مورد مطالعه در هر یک از ایستگاه‌ها و بررسی مقادیر حاصل از آزمون کلوموگراف اسمیرنف و مقادیر آماره P-value، صحت مدل‌سازی برآورد شد سپس 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 بهاره برای دو سطح یخبندان متوسط (افت درجه حرارت به زیر صفر درجه سانتی‌گراد) و یخبندان شدید (افت دما به پایین‌تر از ۲- درجه سانتی‌گراد) استخراج گردید. سپس جهت انجام عملیات آماری، تاریخ‌های وقوع هر یک از یخبندان‌ها به تاریخ ژولیوسی تبدیل گردیدند. طبق تاریخ ژولیوسی، روز اول سال زراعی یا همان اول مهرماه به‌عنوان روز اول در نظر گرفته شد و این مورد به‌طور متوالی برای روزهای دیگر نیز محاسبه گردید. در نهایت بر اساس آمار استخراج شده برای هـر یک از مدل‌ها در سه دوره زمانی، تـغییرات آغاز و پایان یـخبندان به‌صورت نمودار نمایش داده شده است. برای ارزیابی عملکرد مدل، داده‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی شده در دوره پایه (۱۹۹۰-۱۹۶۱) مورد مقایسه قرار گرفتند که در این پژوهش، شاخص‌های ضریب تعیین (R^2)، مجذور میانگین مربعات خطا (RMSE) و میانگین مطلق خطا (MAE) به کار گرفته شده است (صداقت‌کردار و همکاران، ۱۳۸۷: ۶۷).

یافته‌ها و بحث

نتایج حاصل شده از پردازش مدل LARS-WG جهت برآورد دمای حداقل ایستگاه‌های مورد بررسی در جداول ۲، ۳ و ۴ نشان داده شده‌اند. با توجه به نتایج حاصل شده و مقادیر R^2، RMSE، MAE و آزمون کولموگروف اسمیرنوف، شبیه‌سازی‌های صورت گرفته در هر سه ایستگاه از دقت قابل قبولی برخوردارند، همانگونه که در جداول ۲، ۳ و ۴ مشاهده می‌گردد در هر سه ایستگاه مورد مطالعه در این پژوهش، مقادیر آزمون کلوموگراف اسمیرنف از ۰/۰۵ بزرگ‌تر بوده که با اطمینان ۰/۹۵ فرض نرمال بودن باقیمانده‌های مدل (خطاها) رد نمی‌شود. اغلب نتایج به دست آمده از آزمون کولموگروف اسمیرنوف به ۰/۰۵ نزدیک‌تر بوده و دارای ارزش ۱ می‌باشند. همچنین مقادیر R^2 برآورد شده برای هر سه ایستگاه هم بالای ۰/۹۹ بوده و مقادیر خطاهای RMSE و MAE نیز دارای حداقل خطای ممکن می‌باشد. از طرفی، بررسی نمودارهای برآورد شده و مشاهده‌ای میانگین دمای حداقل هر سه ایستگاه، بیانگر دقت بسیار بالای مدل در برآورد مقادیر مشاهده‌ای ایستگاه‌های مورد مطالعه دارد.

جدول (۲) مقادیر آزمون کولموگروف اسمیرنوف و P-value آن برای ایستگاه سرپل ذهاب

ماه	ژانویه	فوریه	مارس	آوریل	می	ژوئن	ژوئیه	اوت	سپتامبر	اکتبر	نوامبر	دسامبر
KS statistic	۰/۱۰۶	۰/۱۰۶	۰/۰۵۳	۰/۰۵۳	۰/۱۰۶	۰/۱۰۵	۰/۱۰۶	۰/۱۰۶	۰/۰۵۳	۰/۰۵۳	۰/۰۵۳	۰/۰۵۳
P-value	۰/۹۹۸	۰/۹۹۸	۱	۱	۰/۹۹۸	۰/۹۹۹	۰/۹۹۸	۰/۹۹۸	۱	۰/۹۹	۱	۱

جدول (۳) مقادیر آزمون کولموگروف اسمیرنوف و P-value آن برای ایستگاه کنگاور

ماه	ژانویه	فوریه	مارس	آوریل	می	ژوئن	ژوئیه	اوت	سپتامبر	اکتبر	نوامبر	دسامبر
KS statistic	۰/۱۵۸	۰/۱۰۶	۰/۰۵۳	۰/۰۵۳	۰/۰۵۳	۰/۰۵۳	۰/۱۰۶	۰/۱۰۶	۰/۰۵۳	۰/۱۰۵	۰/۰۵۳	۰/۰۵۳
P-value	۰/۹۱	۰/۹۹	۱	۱	۱	۱	۰/۹۹	۰/۹۹	۱	۰/۹۹	۱	۱

جدول (٤) مقادیر آزمون کولموگروف اسمیرنوف و P-value آن برای ایستگاه کرمانشاه

ماه	ژانویه	فوریه	مارس	آوریل	می	ژوئن	ژوئیه	اوت	سپتامبر	اکتبر	نوامبر	دسامبر
KS statistic	۰/۱۰۶	۰/۱۰۶	۰/۰۵۳	۰/۰۵۳	۰/۰۵۳	۰/۰۵۳	۰/۱۰۶	۰/۱۵۸	۰/۰۵۳	۰/۰۵۳	۰/۱۰۶	۰/۱۰۶
P-value	۰/۹۹۸	۰/۹۹۸	۱	۱	۱	۱	۰/۹۹۸	۰/۹۱۲	۱	۰/۹۹	۰/۹۹۸	۰/۹۹۸

جدول (۵) مقادیر خطاهای محاسبه شده برای ایستگاه‌های مورد مطالعه

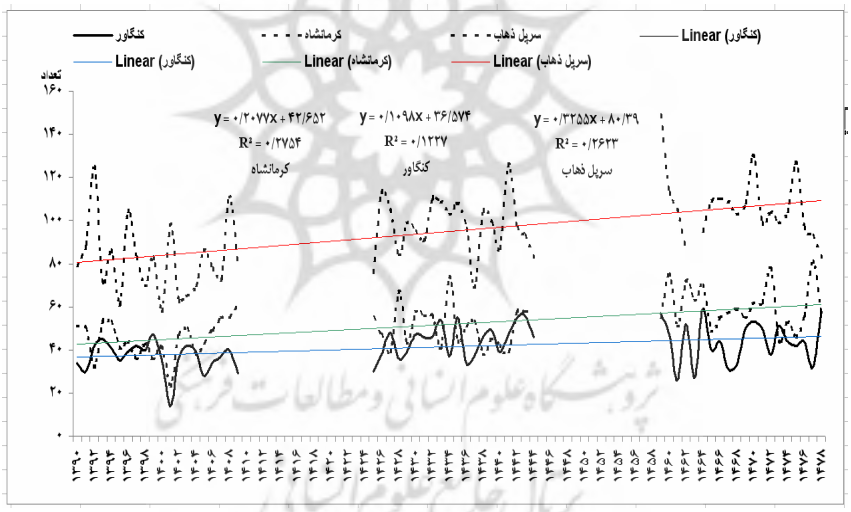
ایستگاه	RMSE	MAE	R2
کرمانشاه	۰/۰۴۹	۰/۰۶۴	۰/۹۹۹۴
سرپل ذهاب	۰/۰۰۰۴	۰/۰۰۵۸	۰/۹۹۹۸
کنگاور	۰/۰۱۲	۰/۰۱۳	۰/۹۹۸۶

شروع یخبندان متوسط

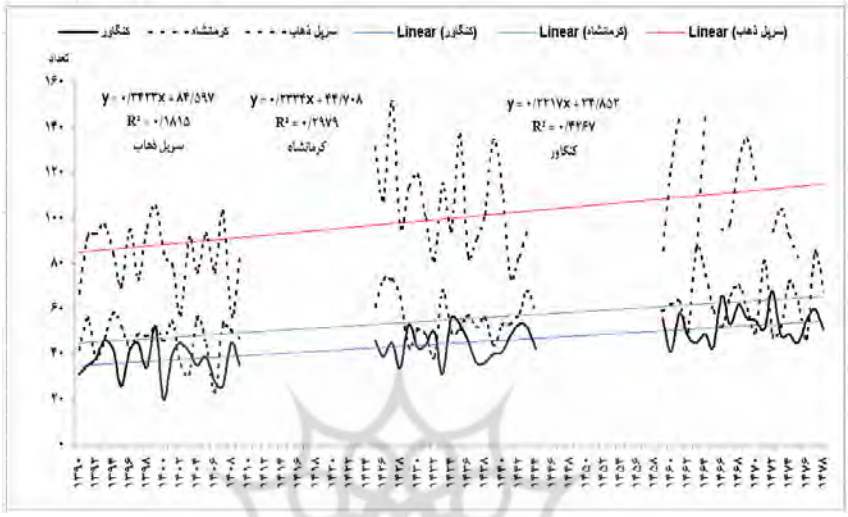
نتایج حاصل از تحلیل پیش‌بینی مدل‌های Bcm2 و Hadcm3 بیانگر به تأخیر افتادن شروع روزهای یخبندان متوسط در هر سه ایستگاه می‌باشد. بر اساس نتایج حاصل از تحلیل مدل‌ها، شروع یخبندان‌های متوسط با گذشت زمان به فروردین‌ماه نزدیک‌تر می‌شود. نتایج حاصل از تحلیل رگرسیونی، این فرآیند را به روشنی تصدیق می‌کند. در هر دو مدل، شیب خطوط رگرسیونی روندی افزایشی را نشان می‌دهد. از بین ایستگاه‌های مورد بررسی، ایستگاه سرپل ذهاب به‌دلیل ماهیت گرمسیری خود، تعداد روزهای یخبندان متوسط کم‌تری در سال‌های آتی خواهد داشت و افت و خیزهای بسیاری را متحمل می‌شود به‌گونه‌ای که در برخی از سال‌ها یخبندانی در سری زمانی آن مشاهده نمی‌شود و همواره تعداد روزهای یخبندان آن به طرف بهار نزدیک شده و به تأخیر می‌افتد. تعداد روزهای یخبندان این ایستگاه با مدل Hadcm3 با یک شیب ۱۸ درصدی و با مدل Bcm2 با شیبی ۲۶ درصدی روندی رو به تأخیر را نشان می‌دهد (اشکال ۲ و ۳).

روند شروع یخبندان‌های متوسط ایستگاه‌های کنگاور و کرمانشاه نیز همانند ایستگاه سرپل ذهاب بوده و تاریخ شروع یخبندان‌هایشان به طرف فروردین‌ماه به تأخیر می‌افتد. مدل Hadcm3 نسبت به مدل Bcm2 با شیب تندتری شروع یخبندان‌های متوسط این دو ایستگاه را پیش‌بینی کرده است به نحوی که در مدل Bcm2، شیب خط رگرسیونی ایستگاه‌های کرمانشاه و کنگاور به ترتیب برابر با ۰/۲۷ و ۰/۱۲ درصد بوده که این امر در مدل‌های Hadcm3 برابر با ۰/۲۹ و ۰/۴۲ درصد می‌باشد. این مسأله بیانگر شروع دیرهنگام یخبندان‌های این ایستگاه‌ها می‌باشد. همچنان که از جدول ۶ مشخص می‌باشد با فاصله

گرفتن از سال‌های آغازین پیش‌بینی در هر دو مدل، شروع یخبندان‌های متوسط به تعویق افتاده به نحوی که در ایستگاه کرمانشاه با برآورد مدل Hadcm3، به ۴ آذر و در مدل Bcm2، به ۳۰ آبان (در بازه ۱۴۶۸–۱۴۵۹ شمسی) رسیده است. همین امر در ایستگاه کنگاور به ۲۴ آبان در مدل Hadcm3 و ۱۶ آبان در مدل Bcm2 طی بازه ۱۴۷۸–۱۹۶۹ شمسی رسیده است. شروع یخبندان‌های متوسط در ایستگاه سرپل ذهاب که نسبت به ایستگاه‌های قبلی اقلیمی گرمسیری دارد حتی به ۲۳ دی در مدل Hadcm3 و ۱۹ دی در مدل Bcm2 طی بازه ۱۴۶۸–۱۴۵۹ شمسی رسیده است. اشکال ۲ و ۳ روند تغییرات سری زمانی شروع یخبندان‌های متوسط ایستگاه‌های مورد بررسی با مدل Hadcm3 و Bcm2 را نشان می‌دهند.



شکل (۲) نوسانات سری زمانی شروع یخبندان متوسط ایستگاه‌های مورد مطالعه طی بازه زمانی ۱۳۹۰ تا ۱۴۷۸ شمسی به‌وسیله مدل Bcm2



شکل (۳) نوسانات سری زمانی شروع یخبندان متوسط ایستگاه‌های مورد مطالعه طی بازه زمانی ۱۳۹۰ تا ۱٤۷۸ شمسی به‌وسیله مدل Hadcm3

جدول (٦) شروع اولین روز یخبندان متوسط با مدل‌های Bcm2 و Hadcm3

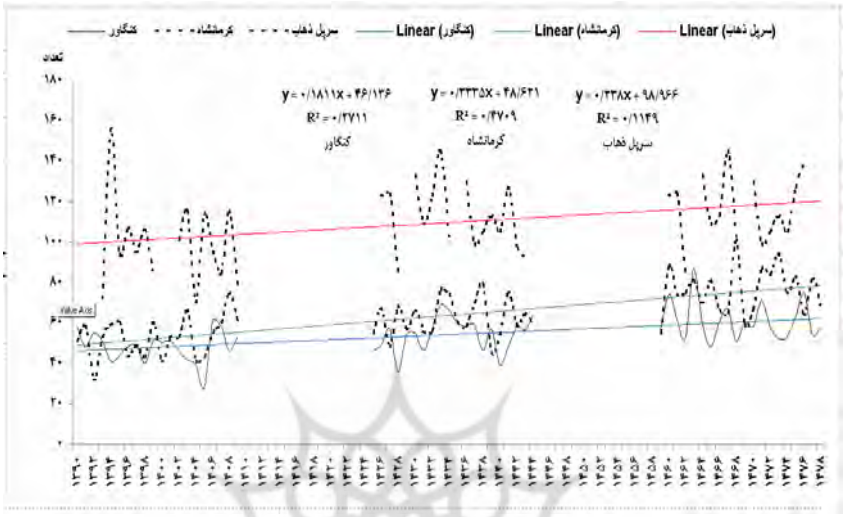
شروع یخبندان متوسط	کرمانشاه		کنگاور		سرپل ذهاب	
	Bcm2	Hadcm3	Bcm2	Hadcm3	Bcm2	Hadcm3
۱۳۹۰ –۱۳۹۹	۱۴ آبان	۱۹ آبان	۱۰ آبان	۹ آبان	۲۵ آذر	۲۷ آذر
۱۴۰۰ –۱۴۰۹	۱۶ آبان	۱۴ آبان	۳ آبان	۵ آبان	۱۸ آذر	۲۰ آذر
۱۴۲۵ –۱۴۳۴	۲۴ آبان	۲۷ آبان	۱۲ آبان	۱۴ آبان	۹ دی	۲۱ دی
۱۴۳۵ –۱۴۴۴	۱۹ آبان	۲۵ آبان	۱۶ آبان	۱۵ آبان	۶ دی	۱۱ دی
۱۴۵۹ –۱۴۶۸	۳۰ آبان	۴ آذر	۱۲ آبان	۲۲ آبان	۱۹ دی	۲۳ دی
۱۴۶۹ –۱۴۷۸	۲۹ آبان	۳ آذر	۱۶ آبان	۲۴ آبان	۱۴ دی	۱۴ دی

شروع یخبندان شدید

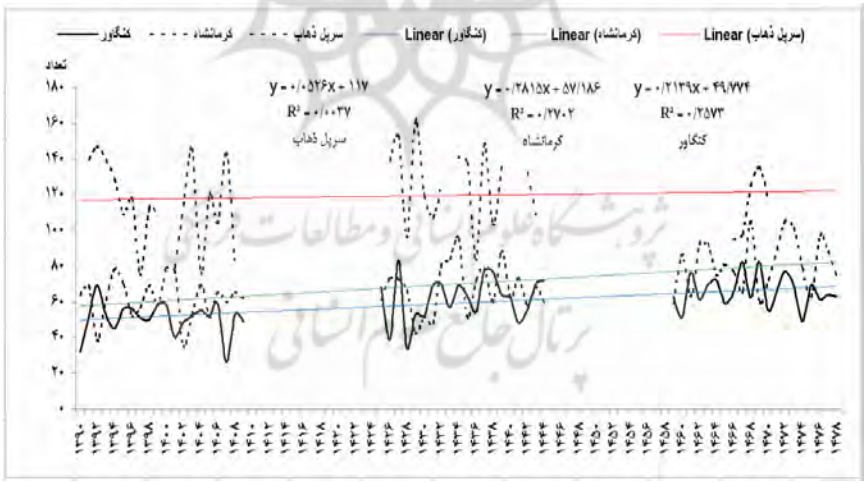
اشکال ۴ و ۵، نمودارهای روند تغییرات شروع یخبندان‌های شدید ایستگاه‌های مورد بررسی را نشان می‌دهند. بر اساس نمودارهای مذکور و پیش‌بینی‌های مدل‌های Hadcm3

و Bcm2، شروع روزهای دارای یخبندان‌های شدید نیز همانند یخبندان‌های متوسط در سال‌های آینده با یک تأخیر زمانی همراه خواهد بود. روند تغییرات سری زمانی شروع یخبندان‌های شدید در هر سه ایستگاه به‌صورت صعودی بوده که بیانگر با تأخیر افتادن شروع یخبندان‌ها می‌باشد. در بین ایستگاه‌های مورد بررسی، تاریخ شروع یخبندان‌های ایستگاه سرپل ذهاب در سال‌های آتی دستخوش تغییرات شدیدی نسبت به ۲ ایستگاه دیگر خواهد شد. در برخی از سال‌ها در این ایستگاه هیچ یخبندانی مشاهده نمی‌شود و افت و خیزهای شدیدی نسبت به سایر ایستگاه‌ها در روند بلندمدت آن مشاهده می‌شود. البته با توجه به نتایج حاصل از مدل‌های مورد استفاده، پیش‌بینی انجام شده توسط مدل Hadcm3 تعداد روزهای یخبندان کم‌تری را برای این ایستگاه نشان می‌دهد.

ایستگاه کرمانشاه نسبت به ایستگاه کنگاور تغییرات شدیدی را متحمل شده و شیب تغییرات شروع یخبندان‌های این ایستگاه نسبت به کنگاور تندتر می‌باشد که نشان از گرم‌تر شدن این ایستگاه نسبت به ایستگاه کنگاور در سال‌های آینده می‌باشد. روند تغییرات سری زمانی شروع یخبندان‌های شدید ایستگاه‌های کرمانشاه و کنگاور بر اساس مدل‌های Hadcm3 و Bcm2 افزایشی است. این روند در مدل Bcm2 نسبت به مدل Hadcm3 شیب تندتری داشته اما پیش‌بینی مدل Hadcm3 با تأخیر زمانی بیش‌تری نسبت به Bcm2 همراه است. بر اساس جدول (۷) که زمان شروع یخبندان‌های شدید را به‌وسیله هر دو مدل استفاده شده نشان می‌دهد فرآیند ذکر شده به روشنی قابل تشخیص است. بر اساس این جدول، زمان به تأخیر افتادن یخبندان‌ها آشکار می‌گردد به‌نحوی که با افزایش دوره‌های پیش‌بینی، زمان به تأخیر افتادن یخبندان‌ها هم بیش‌تر می‌شود که در مدل Hadcm3 نسبت به مدل Bcm2 این امر شدیدتر است. این روند حاکی از رخداد گرمایش در این سه ایستگاه می‌باشد.



شکل (٤) نوسانات سری زمانی شروع یخبندان شدید ایستگاه‌های مورد مطالعه طی بازه زمانی ۱۳۹۰ تا ۱٤۷۸ شمسی به‌وسیله مدل Bcm2



شکل (٥) نوسانات سری زمانی شروع یخبندان شدید ایستگاه‌های مورد مطالعه طی بازه زمانی ۱۳۹۰ تا ۱٤۷۸ شمسی به‌وسیله مدل Hadcm3

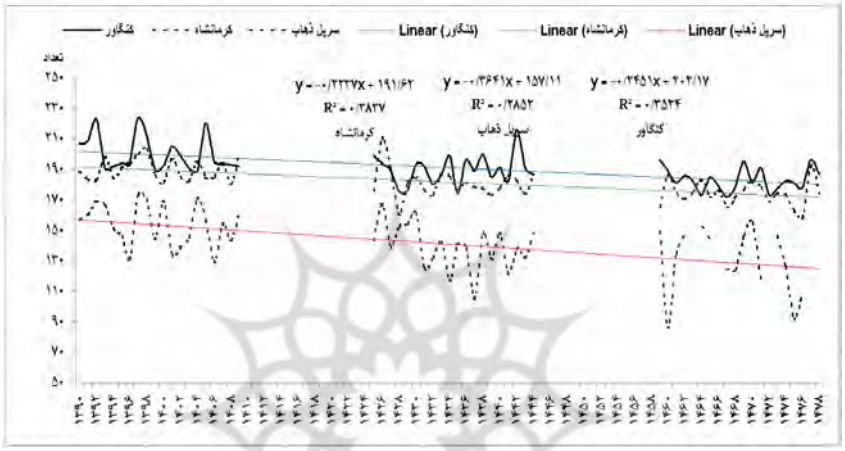
جدول (۷) شروع اولین روز یخبندان شدید با مدل‌های Bcm2 و Hadcm3

شروع یخبندان شدید	کرمانشاه		کنگاور		سرپل ذهاب	
	Bcm2	Hadcm3	Bcm2	Hadcm3	Bcm2	Hadcm3
۱۳۹۰ -۱۳۹۹	۲۱ آبان	۱ آذر	۱۹ آبان	۲۲ آبان	۱۲ دی	۳۰ دی
۱۴۰۰ -۱۴۰۹	۲۵ آبان	۲ آذر	۱۷ آبان	۱۹ آبان	۷ دی	۱۸ دی
۱۴۲۵ -۱۴۳۴	۲ آذر	۷ آذر	۲۴ آبان	۲۹ آبان	۲۸ دی	۱۰ بهمن
۱۴۳۵ -۱۴۴۴	۲ آذر	۷ آذر	۲۵ آبان	۴ آذر	۱۹ دی	۱ بهمن
۱۴۵۹ -۱۴۶۸	۱۵ آذر	۲۰ آذر	۲ آذر	۶ آذر	۲۷ دی	۲۰ دی
۱۴۶۹ -۱۴۷۸	۱۶ آذر	۲۳ آذر	۳۰ آبان	۶ آذر	۲۷ دی	۷ بهمن

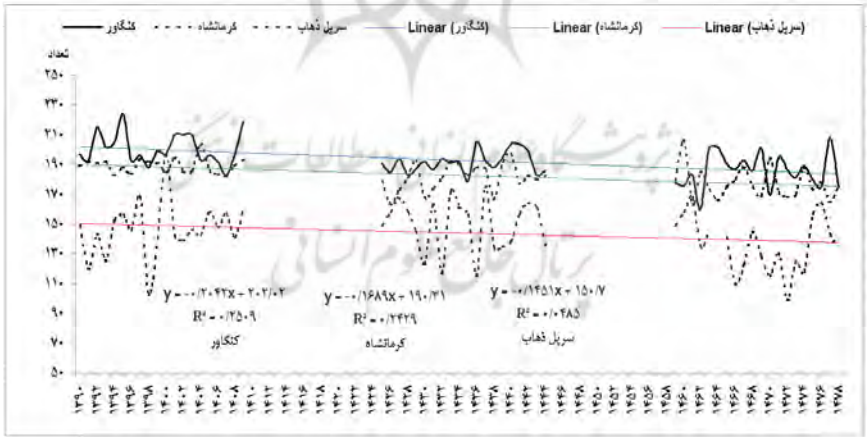
تاریخ خاتمه یخبندان‌های متوسط

بر اساس نتایج حاصل از پیش‌بینی مدل‌های Hadcm3 و Bcm2، روند تغییرات سری زمانی خاتمه یخبندان‌های متوسط ایستگاه‌های مورد بررسی به‌صورت نزولی می‌باشد که نشان از خاتمه زودهنگام یخبندان‌های متوسط در این ۳ ایستگاه است. بین ایستگاه‌های مورد بررسی، ایستگاه سرپل ذهاب با شیبی تندتر از دو ایستگاه دیگر روند نزولی به خود گرفته و یخبندان‌های متوسط آن زودتر از دو ایستگاه قبلی خاتمه پیدا می‌کند. در پیش‌بینی انجام شده به‌وسیله مدل Hadcm3، یخبندان‌های متوسط ایستگاه‌های مورد مطالعه نسبت به پیش‌بینی انجام شده توسط مدل Bcm2 زودتر خاتمه پیدا خواهند کرد. همانطور که از اشکال ۶ و ۷ پیداست ایستگاه سرپل ذهاب افت و خیزهای بیش‌تری را نسبت به دو ایستگاه دیگر داشته و زمان خاتمه آن به‌دلیل ماهیت گرمسیری این ایستگاه زودتر می‌باشد. بر اساس جدول (۸) که پایان یخبندان‌های متوسط ایستگاه‌ها را نشان می‌دهد روندی پسرفت خاتمه یخبندان‌های متوسط کاملاً محرز می‌باشد. در ایستگاه کرمانشاه، آخرین رخداد یخبندان متوسط با پیش‌بینی مدل Hadcm3، به ۲۴ اسفندماه و با پیش‌بینی مدل Bcm2، به ۲۵ اسفندماه (طی بازه ۱۴۷۸ – ۱۹۴۹ شمسی) می‌رسد. در ایستگاه کنگاور آخرین رخداد یخبندان متوسط به ۳ فروردین با مدل Hadcm3 و ۷ فروردین با مدل Bcm2 طی بازه ۱۴۶۸–۱۴۵۹ شمسی خواهد رسید اما فرآیند بررسی شده در ایستگاه سرپل

ذهاب طبق پیش‌بینی‌های انجام شده نسبت به دو ایستگاه قبل متفاوت بوده و آخرین روند خاتمه یخبندان متوسط این ایستگاه به ۷ بهمن‌ماه بر اساس پیش‌بینی مدل Hadcm3 و ۱۱ بهمن‌ماه بر اساس پیش‌بینی مدل Bcm2 در بازه ۱۴۷۸-۱۴۶۹ شمسی خواهد رسید.



شکل (٦) نوسانات سری زمانی خاتمه یخبندان متوسط ایستگاه‌های مورد مطالعه طی بازه زمانی ۱۳۹۰ تا ١٤٧٨ شمسی به‌وسیله مدل Bcm2



شکل (۷) نوسانات سری زمانی خاتمه یخبندان متوسط ایستگاه‌های مورد مطالعه طی بازه زمانی ۱۳۹۰ تا ١٤٧٨ شمسی به‌وسیله مدل Hadcm3

جدول (۸) پایان آخرین روز یخبندان متوسط با مدل‌های Bcm2 و Hadcm3

پایان یخبندان متوسط	کرمانشاه		کنگاور		سرپل ذهاب	
	Bcm2	Hadcm3	Bcm2	Hadcm3	Bcm2	Hadcm3
۱۳۹۰- ۱۳۹۹	۱۱ فروردین	۱۲ فروردین	۲۶ فروردین	۳۰ فروردین	۲۰ بهمن	۷ اسفند
۱۴۰۰- ۱۴۰۹	۱۰ فروردین	۹ فروردین	۲۶ فروردین	۱۸ فروردین	۳ اسفند	۳۰ بهمن
۱۴۲۵- ۱۴۳۴	۲۹ اسفند	۳ فروردین	۱۱ فروردین	۱۰ فروردین	۲ اسفند	۲۳ بهمن
۱۴۳۵- ۱۴۴۴	۵ فروردین	۱ فروردین	۱۵ فروردین	۱۲ فروردین	۲۷ بهمن	۱۵ بهمن
۱۴۵۹- ۱۴۶۸	۲۹ اسفند	۲۴ اسفند	۷ فروردین	۳ فروردین	۲۲ بهمن	۱۳ بهمن
۱۴۶۹- ۱۴۷۸	۲۵ اسفند	۲۴ اسفند	۷ فروردین	۵ فروردین	۱۱ بهمن	۷ بهمن

تاریخ خاتمه یخبندان‌های شدید

بر اساس نتایج پیش‌بینی تاریخ خاتمه یخبندان‌های شدید توسط مدل‌های Hadcm3 و Bcm2، روند تغییرات بلندمدت تاریخ خاتمه یخبندان‌های شدید در سال‌های آتی به‌صورت نزولی خواهد بود. فرآیند ذکر شده از گرم‌تر شدن آب و هوای این ایستگاه‌ها در سال‌های آتی حکایت دارد. تاریخ خاتمه یخبندان‌های شدید این سه ایستگاه با گذر زمان به ماه اسفند کشیده شده و حتی در ایستگاه سرپل ذهاب در دی‌ماه نیز دیده می‌شود. بر اساس نتایج حاصل شده از پیش‌بینی هر دو مدل، تاریخ خاتمه یخبندان‌های شدید در ایستگاه کرمانشاه که از اقلیمی سردتر برخوردار است روز ۲۴ اسفندماه می‌باشد (جدول ۹). در ایستگاه سرپل ذهاب، تاریخ خاتمه آخرین روز یخبندان شدید بر اساس پیش‌بینی‌های مدل Hadcm3 و Bcm2 به‌ترتیب برابر با ۲۷ دی و ۱ بهمن می‌باشد. در بین ایستگاه‌های مورد بررسی، تاریخ خاتمه آخرین روز یخبندان شدیدِ ایستگاه سرپل ذهاب، فراز و فرود متعددی را طی سری زمانی بلندمدت خود متحمل شده و تغییرات شدیدتری را نسبت به سایر ایستگاه‌ها داشته است به نحوی که در برخی از سال‌ها، یخبندانی در سری زمانی آن دیده نمی‌شود. روند تغییرات آخرین یخبندان‌های شدید ایستگاه‌های کرمانشاه و کنگاور تقریباً شبیه هم بوده و در بلندمدت، روندی نزولی در سری زمانی آن‌ها به چشم می‌خورد که نشان از گرم‌تر شدن این دو ایستگاه طی سال‌های آتی دارد.

جدول (۹) پایان آخرین روز یخبندان شدید مدل‌های Bcm2 و Hadcm3

پایان یخبندان شدید	کرمانشاه		کنگاور		سرپل ذهاب	
	Bcm2	Hadcm3	Bcm2	Hadcm3	Bcm2	Hadcm3
۱۳۹۹- ۱۳۹۰	۶ فروردین	۲۱ اسفند	۹ فروردین	۴ فروردین	۱۰ بهمن	
۱۴۰۹- ۱۴۰۰	۵ فروردین	۹ فروردین	۷ فروردین	۱۳ فروردین	۱ بهمن	۱۱ بهمن
۱۴۳۴- ۱۴۲۵	۲۱ اسفند	۲۹ اسفند	۳ فروردین	۲۸ اسفند	۸ بهمن	۲۰ بهمن
۱۴۴۴- ۱۴۳۵	۲۶ اسفند	۱۶ اسفند	۲۹ اسفند	۶ فروردین	۴ بهمن	۸ بهمن
۱۴۶۸- ۱۴۵۹	۱۶ اسفند	۱۶ اسفند	۲۸ اسفند	۲۴ اسفند	۸ بهمن	۲۷ دی
۱۴۷۸- ۱۴۶۹	۱۷ اسفند	۱۴ اسفند	۲۴ اسفند	۲۸ اسفند	۱ بهمن	۶ بهمن

نتیجه‌گیری

پژوهش پیش‌رو به‌منظور تحلیل تغییرات یخبندان‌های متوسط و شدید ایستگاه‌های کرمانشاه، سرپل ذهاب و کنگاور در سال‌های آتی صورت گرفته است. نتایج حاصل از پردازش مدل LARS-WG به‌وسیله دو طرح‌واره Bcm2 و Hadcm3 نشانگر گرم‌تر شدن این ایستگاه‌ها در سال‌های آینده می‌باشد. شروع یخبندان‌های متوسط ایستگاه‌های مذکور با گذشت زمان به سمت فروردین‌ماه میل می‌کند. نتایج حاصل از پردازش هر دو مدلِ به‌کار گرفته در این پژوهش، این ادعا را تصدیق می‌کنند. در بین ایستگاه‌های مورد بررسی، رفتار ایستگاه‌های کنگاور و کرمانشاه شباهت زیادی به‌هم داشته اما ایستگاه سرپل ذهاب به‌دلیل ماهیت گرمسیری خود، رفتاری متفاوت از دو ایستگاه در سال‌های آینده از خود نشان داده، روند گرمایش در این ایستگاه نسبت به دو ایستگاه دیگر شدیدتر بوده و از تعداد روزهای یخبندان آن به‌شدت کاسته می‌شود. از طرفی، خاتمه یخبندان‌های متوسط این ایستگاه‌ها هم با توجه به نتایج به‌دست آمده، با گذشت زمان به سمت ابتدای فصل زمستان پسروی کرده و از تعداد روزهای یخبندان متوسط این ایستگاه‌ها کاسته می‌شود. روند تغییرات شروع و خاتمه یخبندان‌های شدید این سه ایستگاه نیز همانند یخبندان‌های متوسط می‌باشد. شروع یخبندان‌های شدید این ایستگاه‌ها با گذر زمان به تأخیر افتاده و به سمت بهار پیشروی می‌کند و از آن طرف، زمان خاتمه آخرین یخبندان‌های شدید نیز با گذشت زمان و

نزدیک شدن به پایان دوره پیش‌بینی شده، به سمت ابتدای زمستان و حتی تا بـهمن‌ماه در ایستگاه سرپل ذهاب نیز مـی‌رسد. با توجه به نتایـج حاصل از پردازش مدل‌های مذکور، در سال‌های آتی از تعداد روزهای یخبندان متوسط و شدید این ایستگاه‌ها کاسته شده و روند دمایی این ایستگاه‌ها رو به افزایش خواهد گذاشت که نشانگر وقوع پدیده گرمایش جهانی در این منطقه می‌باشد. با شکل‌گیری چنین روندی، احتمال جابه‌جایی فصول در این ایستگاه‌ها در سال‌های آینده دور از انتظار نبوده و رفته رفته فصل زمستان به نفع فصل پاییز عقب‌نشینی کرده و فصل بهار به‌لحاظ ویژگی‌های اقلیمی به فصل تابستان شباهت زیادی پیدا خواهد کرد که می‌تواند تبعات نامناسبی به‌لحاظ زیست‌محیطی برای این مناطق به دنبال داشته باشد. نتایج کلی این پژوهش از حیث تغییر در تعداد روزهای یخبندان و تا حدی احتمال جابه‌جایی فصول با کارهای وایلن (۱۹۸۸)، خلجی (۱۳۸۰) و اسماعیلی و همکاران (۱۳۹۰) انطباق نسبی دارد.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

منابع

- آبابایی، بهنام؛ میرزائی، فرهاد و تیمور سهرابی (۱۳۹۰)، «ارزیابی عملکرد مدل LARS-WG در ۱۲ ایستگاه هواشناسی ساحلی ایران»، ***مجله پژوهش آب ایران***، شماره ۹، صص ۲۲۲-۲۱۷.

- اسماعیلی، رضا (۱۳۸۶)، «بررسی یخبندان‌های دیررس بهاره از دیدگاه آماری–سینوپتیکی و اثرات آن بر محصولات باغی مطالعه موردی شهرستان مه ولات»، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه سیستان و بلوچستان.

- اسماعیلی، رضا؛ حبیبی نوخندان، مجید و غلامعباس فلاح قالهری (۱۳۸۹)، «ارزیابی تغییرات طول دوره رشد و یخبندان ناشی از نوسانات اقلیمی (مطالعه موردی: خراسان رضوی)»، ***مجله پژوهش‌های جغرافیای طبیعی***، شماره ۷۳، صص ۸۲- ۶۹.

- اسماعیلی، رضا؛ عطایی، هوشمند و عباس فلاح قالهری (۱۳۹۰)، «ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر امکان توسعه دو گونه هسته دار بادام و زردآلو (مطالعه موردی: خراسان رضوی)»، ***نشریه دانش و کشاورزی و تولید پایدار***، شماره ۱، صص ۱۶۲- ۱۴۵.

- اسماعیلی، رضا و منصوره کوهی (۱۳۹۱)، «پهنه‌بندی وقوع آخرین یخبندان‌های دیررس خراسان رضوی با استفاده از خروجی مدل اقلیمی»، ***فصلنامه جغرافیای طبیعی***، شماره ۱۷، صص ۹۳-۸۳.

- اشرف، بتول؛ موسوی بایگی، محمد؛ کمالی، غلامعلی و کامران داوری (۱۳۹۰)، «پیش‌بینی نیاز آبی چغندر قند در دوره ۲۰۳۰- ۲۰۱۱ با استفاده از داده‌های اقلیمی شبیه‌سازی شده توسط مدل ریزمقیاس‌کننده LARS – WG»، ***نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)***، شماره ۵، صص ۱۱۹۶-۱۱۸۴.

- بابائیان، ایمان و منصوره کوهی (۱۳۹۱)، «ارزیابی شاخص‌های اقلیم کشاورزی تحت سناریوهای تغییر اقلیم در ایستگاه‌های منتخب خراسان رضوی»، ***نشریه آب و خاک (علوم وصنایع کشاورزی)***، شماره ۴، صص ۹۶۷-۹۵۳.

- بابائیان، ایمان؛ نجفی نیک، زهرا؛ زابلی عباسی، فاطمه؛ حبیبی نوخندان، مجید؛ ادب، حامد؛ ملبوسی، شراره، (۱۳۸۸)، «ارزیابی تغییر اقلیم کشور در دوره ۲۰۳۹- ۲۰۱۰ میلادی با استفاده

از ریز مقیاس نمایی داده‌های مدل گردش عمومی جو ECHO- G»، ***مجله جغرافیا و توسعه***، شماره ۱۶، صص ۱۵۲– ۱۳۵.

ـ بزاز، فخری؛ سومبروک، ویم (۱۳۸۵)، ***«اثر تغییر اقلیم جهانی بر تولیدات کشاورزی»***، ترجمه مهدی نصیری محلاتی، علیرضا کوچکی و پرویز رضوانی مقدم، مشهد، انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد.

ـ خلجی، مهدی (۱۳۸۰)، «پیش‌بینی سرماهای دیررس بهاره و یخبندان‌های زودرس پاییزه برای برخی از گیاهان زراعی و باغی در استان چهارمحال و بختیاری»، ***مجله نهال و بذر***، شماره ۱۷، صص ۱۲۶– ۱۳۹.

ـ خلیلی اقدم، نبی؛ مساعدی، ابوالفضل؛ سلطانی، افشین و بهنام کامکار ، (۱۳۹۱)، «ارزیابی توانایی مدل LARS–WG در پیش‌بینی برخی از پارامترهای جوی سنندج»، ***مجله پژوهش‌های حفاظت آب و خاک***، شماره ۴، صص ۱۰۳–۸۵.

ـ محمدخورشیددوست، علی؛ صنیعی، راحله؛ قویدل و یوسف رحیمی (۱۳۸۸)، «پیش‌بینی دماهای کرانگین اصفهان با استفاده از روش سری‌های زمانی»، ***مجله فضای جغرافیایی***، سال نهم، شماره ۲۶، صص ۴۸–۳۱.

ـ روشن، غلامرضا؛ خوش‌اخلاق، فرامرز و قاسم عزیزی (۱۳۹۱)، «آزمون مدل مناسب گردش عمومی جو برای پیش‌یابی مقادیر دما و بارش ایران تحت شرایط گرمایش جهانی»، ***جغرافیا و توسعه***، شماره ۲۷، صص ۳۶–۱۹.

ـ سادات آشفته، پریسا و علیرضا مساح بوانی (۱۳۸۹)، «تأثیر تغییر اقلیم بر دبی‌های حداکثر، مطالعه موردی: حوضه آیدوغموش آذربایجان شرقی»، ***مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی***، آب و خاک، شماره ۵۳، صص ۳۹–۲۵.

ـ صداقت‌کردار، علی؛ فتاحی، ابراهیم، ۱۳۸۷، شاخص‌های پیش آگاهی خشکسالی در ایران، ***مجله جغرافیا و توسعه***، دانشگاه سیستان و بلوچستان، جلد ۶، شماره ۱۱، صص ۷۶–۵۹.

ـ طاوسی، تقی و جعفر درخشی (۱۳۸۹)، «تحلیل آماری احتمال وقوع و دوره‌های برگشت یخبندان‌های زودرس و دیررس زاهدان در دوره آماری (۱۳۸۶-۱۳۶۰)، ***مجله فضای جغرافیایی***، سال دهم، شماره ۳۰ ، صص ۱۰۴-۸۹.

ـ علیجانی، بهلول؛ محمودی، پیمان؛ ریگی چاهی، الهبخش و پرویز خسروی (۱۳۸۹)، «بررسی تداوم روزهای یخبندان در ایران، با استفاده از مدل زنجیره مارکوف»، ***پژوهش‌های جغرافیای طبیعی***، شماره ۷۳، صص ۲۰-۱.

ـ قویدل رحیمی، یوسف، (۱۳۹۱)، «مدل‌های زمانی تحلیل و پیش‌بینی دماهای فرین پایین تهران» ***مجله فضای جغرافیایی***، سال دوازدهم، شماره ۳۷، صص ۱۵۷-۱۴۱.

ـ گل‌محمدی، مریم و علیرضا مساح بوانی (۱۳۹۰)، «بررسی تغییرات شدت و دوره بازگشت خشکسالی حوضه قره‌سو در دوره‌های آتی تحت تاثیر تغییر اقلیم»، ***نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)***، شماره ۲، صص ۳۲۶-۳۱۵.

ـ گوفی، مک و هندرسون سلرز (۱۳۸۰)، ***«نخستین گام در مدل‌سازی اقلیمی»***، ترجمه سیدابوالفضل مسعودیان و حسنعلی غیور، اصفهان، انتشارات دانشگاه اصفهان.

ـ مشکواتی، امیرحسین؛ کردجزی، محمد و ایمان بابایان (۱۳۸۹)، «بررسی و ارزیابی مدل لارس در شبیه‌سازی داده‌های هواشناسی استان گلستان در دوره ۲۰۰۷-۱۹۹۳ میلادی»، ***نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی***، شماره ۱۹، صص ۹۶-۸۱.

ـ هاردی، جان‌تی (۱۳۸۷)، ***«تغییر اقلیم، علل، اثرات و راه‌حل‌ها»***، ترجمه لیلی خزانه‌داری، شهرزاد قندهاری، منصوره کوهی و مهدی آسیائی، مشهد، انتشارات پاپلی.

-Brook, E.J., Harder, S., Severinghaus, J., Steig, E.J., Sucher, C.M, (2000), "On the origin and timing of rapid changes in atmospheric methane during the last frost period", ***Global Biogeochemical Cycles***, 14(2): PP. 559-572.

-Cox, P., Betts R., Bunton C., Essery R., Rowntree P.R. and Smith J., (1999), "The impact of new land-surface physics on the GCM simulation and climate sensitivity", ***Climate Dynamics***, 15: PP. 183-203.

-Edwards, J.M. and Slingo A. (1996), Studies with a flexible new radiation code 1: Choosing a configuration for a large-scale model, ***Q.J.R. Met. Soc***., 122: PP. 689-719.

-Fodor, N., Ildiko, D., Janos, M., Laszlo, S. (2013), "Applications of the MVWG multivariable stochastic weather generator", ***The Scientific World Journal***, ID 571367, 6 pages.

-Ganopolski, A., Rahmstorf, S., (2001), "Rapid changes of frost climate simulated in a coupled climate model", ***Nature***, 409: PP. 153-158.

-Gregory, D., Kershaw, R., Inness, P.M., (1997), "Parametrisation of momentum transport by convection II: tests in single column and general circulation models", ***Q.J.R. Meteorol. Soc***., 123: PP. 1153-1183.

-Hansen, J., Russell. G., Rind, D., Stone, P., Lacis, A., Lebedeff, S., Ruedy, R., Travis, L., (1983), "Efficient three dimensional global models for climate studies: models I and II", ***Monthly Weather Beview,*** 111: PP. 609–662.

-Hewitt, C.D., Broccoli, A,J., Mitchell, J,F.B., Stouffer, R,J., (2001), "A coupled model study of the last glasical maximum: was part of the north Atlantic relatively", ***Geophysical Research Letters***, 8: PP. 1571- 1574.

-Kim, H.K., Prem, B., Parajuli, S.D., Filip, T., (2013), "Assessing impacts of bioenergy crops and climate change on hydrometeorology in the Yazoo River Basin, Mississippi", ***Agricultural and Forest Meteorology***, 169: PP. 61–73.

-Madelin, M., Beltrando, G., (2005), "Spatial interpolation–based mapping of the spring frost hazard in the champagne vineyards", ***Meteorological Applications***, 12: PP. 51-56.

-Semenov, M.A., (2008), "Simulation of extreme weather events by a stochastic weather generator", ***Clim Res***, 35: PP. 203-212.

-Semenov, M.A., Brooks, R.J., Barrow, E.M., Richardson, C.W., (1998), "Comparison of the WGEN and LARS-WG stochastic weather generators for diverse climates", ***Clim Res***, 10: PP. 95-107.

-Semenov, M.A., Stratonovitch, P. (2010), "Use of multi-model ensembles from global climate models for assessment of climate change impacts", ***Clim Res***, 41: PP. 1–14.

-Waylen, P.R., (1988), "Statistical analysis of freezing temperatures in central and southern Florida", ***Journal of Climatology***, 8: PP. 607-628.

-Zhang, H., Huang, G.H., Wang, D., Zhang, X., (2011), "Uncertainty assessment of climate change impacts on the hydrology of small prairie wetlands", ***Journal of Hydrology***, 396: PP. 94-103.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی