

بررسی تأثیرات تغییر اقلیم بر شماره روز اولین یخبندان پاییزه و آخرین یخبندان بهاره در ایران با استفاده از ریزمقیاس نمایی SDSM

محمد باقر بهیار^۱، مرضیه خیراندیش*^۲، محمدتقی زمانیان^۱

۱- استادیار پژوهشکده هواشناسی، عضو هیئت علمی پژوهشکده هواشناسی

۲- کارشناس ارشد هواشناسی کشاورزی، دانشگاه تهران

تاریخ وصول مقاله: ۹۱/۴/۲۰، تاریخ پذیرش مقاله: ۹۲/۲/۲۱

چکیده:

تغییر تاریخ اولین یخبندان زودرس پاییزه و آخرین یخبندان دیررس بهاره که به لحاظ کشاورزی بسیار حائز اهمیت است، می تواند یکی از پیامدهای پدیده گرمایش جهانی باشد. یکی از روش های مطالعه اقلیم آینده، استفاده از خروجی مدل های گردش عمومی جو است اما این مدل ها به دلیل قدرت تفکیک زمانی و مکانی پایین، گویای تغییر اقلیم منطقه ای نمی باشند. در این تحقیق از مدل آماری SDSM برای ریزمقیاس نمایی نتایج مدل های گردش عمومی جو تحت دو سناریو انتشار A2 و B2 در چند نمونه اقلیمی استفاده شده است. نتایج این تحقیق برای چشم انداز ۲۰۳۹-۲۰۲۰ نشان می دهد که دمای کمینه در اکثر ایستگاه های انتخابی افزایش و در مابقی ایستگاه ها تفاوتی نخواهد کرد. میانگین شماره روز آخرین یخبندان بهاره هم در ایستگاه های کرمانشاه، گرگان و رشت کاهش و در ایستگاه های اصفهان و زاهدان بدون تفاوت و در مابقی ایستگاه ها افزایش می یابد. میانگین شماره روز اولین یخبندان پاییزه در ایستگاه کرمانشاه افزایش، در ایستگاه رشت بدون تفاوت و در مابقی ایستگاه های مورد مطالعه کاهش خواهد یافت. با توجه به پیش بینی افزایش طول دوره یخبندان در اکثر ایستگاه های مورد مطالعه، فراوانی وقوع یخبندان در تمام ایستگاه ها در دوره ۲۰۲۰ تا ۲۰۳۹ در مقایسه با ۱۹۶۱ تا ۱۹۹۰ کاهش خواهد یافت. همچنین نتایج بیانگر کاهش فراوانی وقوع دماهای کمینه کوچکتر از دهک اول یا یخبندان شدید و افزایش وقوع دماهای کمینه بزرگتر از دهک نهم یا یخبندان ضعیف و افزایش دمای کمینه دهک اول و دهک نهم در ایستگاه های مورد مطالعه می باشد.

واژگان کلیدی: تغییر اقلیم، اولین یخبندان پاییزه، آخرین یخبندان بهاره، ریزمقیاس نمایی، SDSM، ایران

مقدمه

رشد صنایع و کارخانه‌ها از آغاز انقلاب صنعتی باعث افزایش گازهای گلخانه‌ای مخصوصاً "گاز CO₂" در چند دهه اخیر شده است. افزایش گازهای گلخانه‌ای تغییراتی را در اقلیم کره زمین بوجود آورده است که در نوشته‌های علمی به آن تغییر اقلیم گفته می‌شود. برای کاهش اثرات مخرب پدیده تغییر اقلیم باید به چگونگی تغییرات اقلیم یک منطقه در آینده پی برد. این گونه مطالعات و بررسی روند تغییرات زمانی تاریخ اولین یخبندان زودرس پاییزه و آخرین یخبندان دیررس بهار در شرایط اقلیم آبی جهان، امکان اتخاذ تصمیمات مدیریتی و تکنولوژیکی جدید جهت تطبیق با شرایط اقلیمی متفاوت و نیز تعدیل اثرات سوء احتمالی را فراهم می‌سازد. مطالعات متعددی بر روی این دو متغیر در داخل و خارج از ایران انجام گرفته است که به نمونه‌هایی از آن اشاره می‌شود. مطالعات متعددی بر روی این دو متغیر در داخل و خارج از ایران انجام گرفته است که به نمونه‌هایی از آن اشاره می‌شود.

ورشایوان و همکاران (۱۳۸۶) به مطالعه روند رخداد یخبندان دیررس بهار، زودرس پاییزه، طول دوره بدون یخبندان و تعداد روزهای یخبندان به منظور کاهش خسارات کشاورزی پرداختند. نتایج این تحقیق به طور کلی نشان داد که جز در تبریز و زاهدان طول دوره ای که گیاه به دور از ریسک مواجه با یخبندان می‌تواند به رشد و توسعه بردازند، به طور معنی داری افزایش یافته است. نوحی و همکاران (۱۳۸۷) به تعیین طول دوره بدون یخبندان با استفاده از تاریخ‌های آغاز و خاتمه یخبندان فرارفتی و تابشی در نواحی زنجان، قزوین و تهران پرداختند. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که امکان طولانی‌تر کردن فصل رشد بهار در صورتی کشت محافظت از یخبندان، در صورتیکه اولین یخبندان در پاییز و آخرین یخبندان در بهار از نوع تابشی باشند، در زنجان و تهران ۴ روز و در قزوین ۶ روز است. به این ترتیب، برآورد قابلیت اجرای عملیات محافظت از یخبندان برای محصولات کشاورزی در مناطق مورد مطالعه امکان‌پذیر می‌شود. پدرام و همکاران (۱۳۸۶) به بررسی تغییرات طول دوره بدون یخبندان و تعداد روزهای یخبندان در استان‌های آذربایجان شرقی و غربی

پرداختند. نتایج نشان می‌دهد که در بین ۸ ایستگاه منتخب، روند تعداد روزهای یخبندان در اغلب ایستگاهها به غیر از ارومیه و جلفا کاهش یافته است. میانگین میان دوره‌های ده ساله تعداد روزهای یخبندان در ایستگاههای تبریز، ارومیه، میاندوآب، سراب و مراغه از تغییرات معنی داری برخوردار بوده اما تغییر واریانس آن‌ها در ایستگاه میاندوآب مشاهده شده است. روند طول دوره بدون یخبندان نیز در ایستگاه‌های ارومیه، جلفا، سراب و اهر افزایشی، در ایستگاه میاندوآب ایستا و در سه ایستگاه تبریز، مراغه و خوی کاهش یافته است به طوری که نتایج به دست آمده تفاوت معنی داری را که بیانگر تغییرات آب و هوایی منطقه باشد، نشان می‌دهد. بابائیان و همکاران (۱۳۸۶) به مدلسازی اقلیم ایران در دوره ۲۰۳۹-۲۰۱۰ برای چهل و سه ایستگاه سینوپتیک با استفاده از ریز مقیاس نمایی آماری خروجی مدل ECHO-G پرداختند. نتایج این تحقیق نشان داد که میانگین دما در دوره ۲۰۳۹-۲۰۱۰ میلادی بطور متوسط ۰/۵ درجه سانتیگراد در مقایسه با دوره آماری ۲۰۰۵-۱۹۷۶ افزایش خواهد یافت که بیشتری افزایش ماهانه مربوط به ماههای سرد سال به میزان ۰/۷ سانتیگراد خواهد بود و میزان بارش کل کشور هم به میزان ۹٪ کاهش می‌یابد. شارات (Sharar, 1991) به تحلیل روند طول فصل رشد در آلاسکا پرداخت. این تحقیق روند طول فصل رشد و تاریخ اولین یخبندان پاییز و آخرین یخبندان بهار را در هشت ایستگاه هواشناسی بین سال‌های ۱۹۲۴ و ۱۹۸۹ را ارزیابی می‌کند. دو دمای حداقل صفر و سه درجه سانتی‌گراد بعنوان معیار برای مشخص شدن تاریخ‌های یخبندان مورد استفاده قرار گرفتند. نتایج بیانگر روند افزایشی طول فصل رشد در سه ایستگاه که نتیجه رخداد یخبندان‌های زودتر دیررس بهار می‌باشد. همچنین طول فصل رشد در سه ایستگاه (۱۹۷۰-۱۹۴۰) کوتاه‌تر شده است.

مواد و روش‌ها:

داده‌های مورد استفاده

در این مطالعه از آمار ۱۲ ایستگاه هواشناسی سینوپتیک تهران، بندرعباس، شیراز، اصفهان، بوشهر، زاهدان، کرمان، کرمانشاه، تبریز، مشهد، گرگان و رشت با توجه به سه اصل

یخبندان دیررس بهاره مصادف با آخرین شماره روزی که دمای حداقل کوچکتر مساوی صفر می باشد، که از اوایل فروردین به بعد اتفاق می افتد.

ریز مقیاس نمایی مدل های گردش عمومی جو مدلهای چرخش عمومی جو می توند، اطلاعات جامعی پیرامون پاسخ جو به افزایش غلظت گازهای گلخانه ای فراهم کند. این مدل ها وابسته به زمان و دارای شبیه سازی های عددی سه بعدی شامل حرکات جوی تبدلات گرمایی و اندرکنش های یخ اقیانوس و خشکی است.

مدل مورد استفاده در این مطالعه HADCM3 است (جدول ۲) که توسط مرکز تحقیقاتی انگلستان نوشته شده است

تنوع اقلیمی (جدول ۱)، پراکنش جغرافیایی مناسب و وضعیت آماری (طول دوره و کامل بودن داده ها) استفاده شد. این داده ها شامل بارندگی، حداقل و حداکثر دما در مقیاس روزانه در دوره آماری چهل و چهار ساله (۲۰۰۵ - ۱۹۶۱) می باشند.

استخراج شماره روز اولین یخبندان زودرس پاییزه و آخرین یخبندان دیررس بهاره:

شماره روز (شماره روز ژولوسوی که از اول ژانویه شروع می گردد) اولین یخبندان زودرس پاییزه مصادف با اولین شماره روزی که دمای حداقل، کوچکتر مساوی صفر می باشد که از اواخر شهریور به بعد اتفاق می افتد و آخرین

جدول ۱- نوع اقلیم ایستگاه های منتخب در سیستم طبقه بندی اقلیمی دومارتن گسترش یافت

| نوع اقلیم | میانگین بارندگی سالانه mm | میانگین دما سالانه °C | ایستگاه سینوپتیک |
|--------------------|---------------------------|-----------------------|------------------|
| خشک بیابانی | ۲۳۶/۱ | ۱۷/۳ | تهران |
| فراخشک | ۱۷۸/۰ | ۲۶/۹ | بندر عباس |
| نیمه خشک معتدل | ۳۲۸/۱ | ۱۷/۷ | شیراز |
| خشک بیابانی | ۱۲۰/۷ | ۱۶/۰ | اصفهان |
| فراخشک | ۲۵۳/۶ | ۲۴/۵ | بوشهر |
| فراخشک بیابانی | ۱۲۰/۰ | ۲۰/۰ | زاهدان |
| خشک بیابانی | ۱۳۵/۰ | ۱۵/۸ | کرمان |
| نیمه خشک سرد | ۴۵۶/۰ | ۱۴/۰ | کرمانشاه |
| نیمه خشک | ۳۱۰/۰ | ۱۲/۲ | تبریز |
| نیمه خشک | ۲۴۱/۰ | ۱۴/۰ | مشهد |
| مدیترانه ای | ۵۵۰/۰ | ۱۷/۹ | گرگان |
| خیلی مرطوب نوع الف | ۱۳۵۹/۰ | ۱۵/۹ | رشت |

فرض های مختلف برای وضعیت اقتصادی، اجتماعی و تغییرات رشد جمعیت کره زمین نشان می دهد. جدول ۳ به معرفی دو سناریو مورد استفاده در این تحقیق، پرداخته است.

از ورودی های اصلی این مدلها میزان انتشار گازهای گلخانه ای (SRES) در اتمسفر کره زمین می باشد که تحت سناریوهای مختلف انتشار، به مدل معرفی میگردد، که هر کدام وضعیت گازهای گلخانه ای را تا سال ۲۱۰۰ بر اساس

جدول ۲- معرفی مدل HADCM3

| مرجع | دوره های شبیه سازی شده | سناریو های انتشار | دقت مکانی | نام اختصاری مدل | مدل اقلیمی جهانی |
|--|--------------------------|-------------------|--------------|-----------------|------------------|
| (Gordon et al. 2000, Pope et al. 2000) | Bs*, 2020s, 2055s, 2090s | A1B, A2, B1 | 2.5° x 3.75° | HADCM3 | HadCM3 |

*Baselin

SDSM اولین ابزار از نوع خود است که بطور رایگان به جامعه پهناور تأثیرات تغییر اقلیم، عرضه شده است. ریزمقیاس کردن آماری شامل بسط روابط کمی بین متغیرهای اتمسفری بزرگ مقیاس و متغیرهای محلی می باشد. روش های ریزمقیاس نمایی سازی مبتنی بر رگرسیون، بر روابط تجربی بین متغیرهای وابسته در مقیاس محلی، و متغیر(های) پیش بین در مقیاس منطقه ای، تکیه دارند.

خروجی مدل های GCM دارای دقت مکانی و زمانی لازم برای مطالعات تغییر اقلیم منطقه ای نمی باشند. روش های مختلفی برای ریزمقیاس نمایی وجود دارند که عبارتند از، روش های دینامیکی (RCM) و روش های آماری (SDSM). در این مطالعه از روش های آماری مبتنی بر مولد داده های هواشناسی استفاده شد. اساس کار مولدها، برقراری همبستگی آماری بین متغیرهای اتمسفری بزرگ مقیاس و متغیرهای محلی می باشد که از مولد SDSM برای ریزمقیاس نمایی آماری استفاده گردید.

جدول ۳- معرفی سناریو های انتشار گازهای گلخانه ای و فرض های بکار رفته در آنها و غلظت (CO₂ بر حسب پی پی ام) در دهه های مختلف (غلظت CO₂ برای سناریو پایه ۳۳۴ پی پی ام) (IPCC, 2007a)

| سناریو | فرض های کلیدی | غلظت CO ₂ در دهه | | |
|--------|--|-----------------------------|------|------|
| | | ۲۰۲۰ | ۲۰۵۵ | ۲۰۹۰ |
| B1 | جهانی قابل تحمل، تغییرات سریع در ساختارهای اقتصادی و غیر مادی که شامل افزایش سرمایه و نگرانی های زیست محیطی، یک مشارکت جهانی برای مسائل اجتماعی و محیط زیست وجود دارد و تلاش زیادی برای معرفی تکنولوژی پاک انجام می گردد، جمعیت به ۷ بیلیون در سال ۲۱۰۰ می رسد. | ۴۱۰ | ۴۹۲ | ۵۳۸ |
| A2 | دنیای جدا شده، هویت فرهنگی در مناطق مختلف در حال جدا شدن است که موجب افزایش غیریکخوانی و احتمال کاهش همکاری های بین المللی می گردد. به کاهش خانواده ها و سنت های محلی، رشد بالای جمعیت (۸۳٪ در سال) در آن تاکید شده است. توجه کمتری به رشد اقتصادی (۱/۶۵٪ در سال) و ثروت مادی شده است. | ۴۱۴ | ۵۴۵ | ۷۵۴ |

در این رابطه R متغیر پیش بینی شونده (متغیر اقلیمی)، L متغیر پیش بینی کننده (یک متغیر اقلیمی بزرگ مقیاس) می باشد.

نتایج و بحث:

در مرحله اعتبار سنجی مدل نیز که به منظور بررسی دقت پیش بینی مدل، داده های دمای کمینه از سال ۱۹۹۱ تا ۲۰۰۱ بر اساس سناریو حاکم در سال های ۱۹۶۱ تا ۱۹۹۰ تولید شد و نتایج با مقادیر حقیقی مقایسه گردید. درحالیکه این نتایج نیز بیانگر دقت بالای مدل در اکثر ایستگاه های انتخابی بودند، در ایستگاه های مشهد و گرگان نتایج مدل دارای کم برآوردی، در ایستگاه های رشت و اصفهان بیش برآوردی و در ایستگاه های کرمان و کرمانشاه در برخی ماهها کم برآوردی و مابقی ماه ها بیش برآوردی بود.

بیشتر مطالعات ریزمقیاس نمایی آماری درمقیاس نقطه ای (ایستگاهی) انجام شده و از متغیرهای اقلیمی چون بارش و درجه حرارت استفاده می شود. متغیرهای پیش بینی کننده شامل متغیرهایی مانند فشار متوسط سطح دریا، ارتفاع ژئوپتانسیل، فاکتورهای بادی، رطوبت مطلق و متغیرهای درجه حرارت هستند که با دقت مکانی ۵۰۰-۳۰۰ کیلومتر از GCM ها استخراج می گردد. با برقراری ارتباط آماری مناسب بین متغیرهای پیش بینی کننده و پیش بینی شونده می توان به روابط مناسب جهت پیش بینی متغیرهای اقلیمی در آینده تحت تأثیر پدیده تغییر اقلیم دست یافت:

$$f(L) = R$$

جدول ۴- مقایسه میانگین سالانه دمای کمینه طی دوره ۱۹۶۱ تا ۱۹۹۰ با دوره های پیش بینی شده سناریو های مختلف

| ایستگاه | زمان | ۱۹۶۱-۱۹۹۰ | ۲۰۲۰-۲۰۳۹ سناریو a2 | ۲۰۲۰-۲۰۳۹ سناریو b2 |
|----------|------|-----------|---------------------|---------------------|
| تبریز | ۶/۸۰ | ۸/۰ | ۸/۲۲ | |
| تهران | ۱۱/۶ | ۱۲/۰۶ | ۱۲/۶۴ | |
| کرمان | ۷/۳۸ | ۷/۳۰ | ۷/۲۴ | |
| کرمانشاه | ۲۲/۴ | ۲۳/۶۷ | ۲۳/۹۴ | |
| اصفهان | ۹/۴۵ | ۹/۶۳ | ۹/۶۷ | |
| شیراز | ۹/۲۳ | ۹/۳۱ | ۹/۴۲ | |
| مشهد | ۶/۷۳ | ۶/۷۰ | ۶/۷۰ | |
| زاهدان | ۹/۸۰ | ۹/۸۵ | ۹/۸۴ | |
| بندرعباس | ۱۸/۳ | ۱۸/۲۶ | ۱۸/۲۴ | |
| بوشهر | ۱۹/۴ | ۱۸/۲۵ | ۱۸/۲۴ | |
| گرگان | ۱۲/۷ | ۱۳/۰ | ۱۲/۹ | |
| رشت | ۱۱/۱ | ۱۳/۰۷ | ۱۳/۰۲ | |

همانطور که در جدول مشاهده می شود: نتایج نشان می دهد در اقلیم آینده ۲۰۲۰ تا ۲۰۳۹ در ایستگاه بوشهر دمای کمینه تحت هر دو سناریو نسبت به دوره آماری مشاهده شده ۱۹۶۱ تا ۱۹۹۰ کاهش و در ایستگاه های مشهد، زاهدان، کرمان، اصفهان، شیراز و بندرعباس تفاوت قابل ملاحظه ای پیش بینی نمی شود. در مابقی ایستگاه ها تبریز، تهران، کرمانشاه و رشت نیز، افزایش دمای کمینه در دوره ۲۰۲۰ تا ۲۰۳۹ پیش بینی می گردد.

جدول ۵- مقایسه میانگین شماره روز اولین یخبندان پاییزه طی دوره ۱۹۶۱ تا ۱۹۹۰ با دوره های پیش بینی شده سناریو های مختلف

| ایستگاه | زمان | ۱۹۶۱-۱۹۹۰ | ۲۰۲۰-۲۰۳۹ سناریو a2 | ۲۰۲۰-۲۰۳۹ سناریو b2 |
|----------|------|-----------|---------------------|---------------------|
| تبریز | ۳۱۶ | ۳۱۸ | ۳۱۴ | |
| تهران | ۳۴۰ | ۳۵۰/۲ | ۳۴۶ | |
| کرمان | ۳۰۶ | ۲۸۵ | ۲۷۶ | |
| کرمانشاه | ۳۱۰ | ۳۳۳ | ۳۴۴ | |
| اصفهان | ۳۲۲ | ۳۱۸ | ۳۱۹ | |
| شیراز | ۳۳۱ | ۳۱۹ | ۳۱۷ | |
| مشهد | ۳۰۳ | ۲۹۰/۸ | ۳۰۱/۰ | |
| زاهدان | ۳۱۶ | ۲۹۴/۷ | ۲۹۲/۸ | |
| بندرعباس | - | - | - | |
| بوشهر | - | - | - | |
| گرگان | ۳۶۰ | ۳۴۴/۲ | ۳۴۵/۷ | |
| رشت | ۳۴۵ | ۳۴۹/۶ | ۳۴۱/۵ | |

تهران با افزایش قابل توجهی روبرو خواهد شد و در مابقی ایستگاه ها در مقایسه با دوره ۱۹۶۱ تا ۱۹۹۰ کاهش خواهد یافت.

نتایج جدول ۵ نشان می دهد که شماره روز اولین یخبندان پاییزه پیش بینی شده در ایستگاه رشت، تبریز، اصفهان و مشهد تفاوت قابل ملاحظه ای نسبت به میانگین آن در دوره ۱۹۶۱ تا ۱۹۹۰ نخواهد داشت. این پارامتر برای کرمانشاه و

جدول ۶- مقایسه میانگین شماره روز آخرین یخبندان بهاره طی دوره ۱۹۶۱ تا ۱۹۹۰ با دوره های پیش بینی شده سناریو های مختلف

| ایستگاه | زمان | ۱۹۶۱-۱۹۹۰ | سناریو ۲۰۲۰-۲۰۳۹ a2 | سناریو ۲۰۲۰-۲۰۳۹ b2 |
|----------|------|-----------|---------------------|---------------------|
| تبریز | ۹۲ | ۸۲ | ۸۹/۱ | |
| تهران | ۷۵ | ۷۰ | ۷۲ | |
| کرمان | ۸۱ | ۸۸/۱ | ۸۳/۲ | |
| کرمانشاه | ۹۹ | ۶۵ | ۶۳/۵ | |
| اصفهان | ۷۶ | ۷۹/۰ | ۷۸/۳ | |
| شیراز | ۶۴ | ۶۳/۹ | ۶۵/۲ | |
| مشهد | ۸۶ | ۹۴/۳ | ۸۷/۵ | |
| زاهدان | ۶۷ | ۶۱/۶ | ۶۵/۷ | |
| بندرعباس | - | - | - | |
| بوشهر | - | - | - | |
| گرگان | ۶۲ | ۵۴/۲ | ۵۷/۲ | |
| رشت | ۸۹ | ۵۶/۶ | ۵۵/۷ | |

به ارزیابی تغییرات طول فصل رشد و یخبندان ناشی از نوسانات اقلیمی مطالعه موردی استان خراسان رضوی پرداختند.

در هر دو این مطالعات نتایج حاکی از افزایش طول فصل رشد در ایستگاه های مشهد و سبزوار و کاهش در ایستگاه تربت حیدریه در دوره اقلیمی آینده است، این در حالی است که دما در هر سه این ایستگاه ها افزایش می یابد. در نهایت می توان گفت که چنین نتایج متناقض و متفاوتی در بین ایستگاه های مورد مطالعه در مطالعات قبلی هم دیده شده است. بعنوان مثال عزیزی (۱۳۸۷) در تحقیقی که با هدف آشکار سازی تغییر اقلیم در غرب کشور انجام داد دریافت که میانگین روزانه در برخی ایستگاه ها دارای روند کاهشی و در برخی دیگر دارای روند افزایشی می باشد.

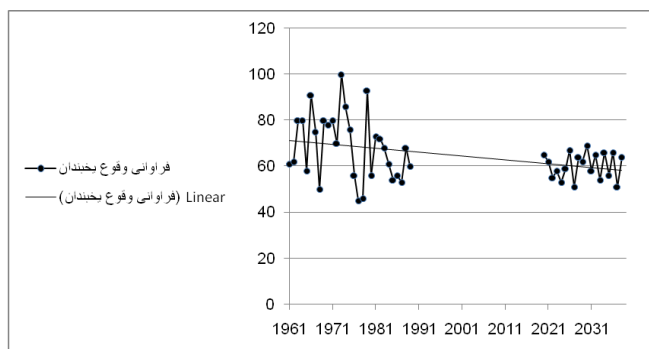
نتایج جدول ۶ نشان می دهد که شماره روز آخرین یخبندان بهاره پیش بینی شده در ایستگاه اصفهان، زاهدان، مشهد، شیراز و تهران تفاوت قابل ملاحظه ای نسبت به میانگین آن در دوره ۱۹۶۱ تا ۱۹۹۰ نخواهد داشت. این پارامتر برای کرمانشاه، رشت، گرگان، تبریز با کاهش روبرو خواهد شد. از آن جا که نتایج بیانگر افزایش دمای کمینه در ایستگاه های تبریز، تهران، کرمانشاه و رشت می باشد، کاهش طول دوره یخبندان در ایستگاه های تهران، تبریز، کرمانشاه و رشت مشاهده می گردد. در ایستگاه های کرمان، شیراز و مشهد افزایش طول دوره یخبندان به همراه ثابت ماندن دما پیش بینی می گردد و در ایستگاه های زاهدان و گرگان تفاوت قابل ملاحظه ای در طول این دوره دیده نمی شود. اسماعیلی و همکاران (۱۳۸۹) و باباییان و همکاران (۱۳۹۱)

جدول ۷- مقایسه میانگین سالانه فراوانی وقوع یخبندان در دوره ۱۹۶۱ تا ۱۹۹۰ و ۲۰۲۰ تا ۲۰۳۹ تحت سناریو های a2 و b2

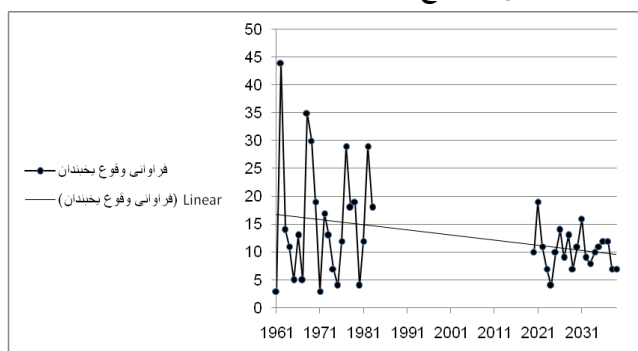
| ایستگاه | زمان | ۱۹۶۱-۱۹۹۰ | ۲۰۲۰-۲۰۳۹ سناریو a2 | ۲۰۲۰-۲۰۳۹ سناریو b2 |
|----------|------|-----------|---------------------|---------------------|
| تبریز | | ۱۰۲ | ۸۷ | ۸۷ |
| تهران | | ۴۸ | ۴۵ | ۴۳ |
| کرمان | | ۸۹ | ۸۰ | ۸۳ |
| کرمانشاه | | ۱۴ | ۱۲ | ۱۲ |
| اصفهان | | ۶۸ | ۶۰ | ۵۸ |
| شیراز | | ۵۵ | ۴۵ | ۴۳ |
| مشهد | | ۹۲ | ۸۵ | ۸۸ |
| زاهدان | | ۵۴ | ۴۷ | ۴۹ |
| بندرعباس | | - | - | - |
| بوشهر | | - | - | - |
| گرگان | | ۱۵ | ۱۱ | ۱۰ |
| رشت | | ۲۷ | ۱۲ | ۱۲ |

نتایج فراوانی یا فرکانس یخبندان در تمامی ایستگاه ها بیانگر کاهش وقوع یا فراوانی آن در اقلیم ۲۰۲۰ تا ۲۰۳۹ نسبت به اقلیم دوره ۱۹۶۱ تا ۱۹۹۰ می باشد.

افزایش مدت یخبندان در برخی از ایستگاه ها برخلاف انتظار می باشد. در نتیجه به تحلیل فراوانی و شدت یخبندان در دوره های ۱۹۶۱ تا ۱۹۹۰ و ۲۰۲۰ تا ۲۰۳۹ و مقایسه آن ها نیز پرداخته شده است.



شکل ۱- وقوع یخبندان ایستگاه اصفهان سناریو a2



شکل ۲- وقوع یخبندان ایستگاه گرگان سناریو b2

یخبندان شدید است. در همه ایستگاه ها طبق جدول ۸ می توان مشاهده کرد که از فراوانی یخبندان های کمتر از دهک اول کاسته می شود. در ایستگاه کرمانشاه نیز که تنها در دوره ۱۹۶۱ تا ۱۹۹۰ فقط در طی ۵ سال دهک ها قابل محاسبه بودند اما در سناریو های این ایستگاه به دلیل کاهش دوره یخبندان این پارامتر قابل برآورد نبوده است.

برای تحلیل شدت یخبندان نیز از فراوانی دمای کمینه زیر دهک اول بعنوان یخبندان شدید و فراوانی دمای کمینه بالای دهک نهم بعنوان یخبندان ضعیف در طول دوره یخبندان استفاده می شود و میانگین سالانه فراوانی ها و مقدار دهک ها در دوره ۱۹۶۱ تا ۱۹۹۰ با دوره ۲۰۲۰ تا ۲۰۳۹ تحت هر دو سناریو مقایسه می گردد. نتایج بیانگر کاهش فراوانی وقوع دماهای کمینه کوچکتر از دهک اول یا همان وقوع

جدول ۸- مقایسه میانگین سالانه فراوانی وقوع یخبندان های کوچکتر از دهک اول در دوره ۱۹۶۱ تا ۱۹۹۰ و ۲۰۲۰ تا ۲۰۳۹ تحت

سناریو های a2 و b2

| سناریو ۲۰۲۰-۲۰۳۹ b2 | سناریو ۲۰۲۰-۲۰۳۹ a2 | ۱۹۶۱-۱۹۹۰ | ایستگاه / زمان |
|---------------------|---------------------|-----------|----------------|
| ۱۵ | ۱۵ | ۲۰ | تبریز |
| ۱۱ | ۱۱ | ۱۲ | تهران |
| ۱۵ | ۱۶ | ۱۹ | کرمان |
| - | - | - | کرمانشاه |
| ۱۲ | ۱۳ | ۱۷ | اصفهان |
| ۱۱ | ۱۰ | ۱۱ | شیراز |
| ۱۶ | ۱۵ | ۱۴ | مشهد |
| ۱۲ | ۱۲ | ۱۴ | زاهدان |
| - | - | - | بندرعباس |
| - | - | - | بوشهر |
| ۷ | ۶ | ۱۱ | گرگان |
| ۱۰ | ۹ | ۱۱ | رشت |

در ایستگاه کرمانشاه محاسبه دهک ها به دلیل کاهش طول دوره یخبندان قابل محاسبه نبوده است

۱۰ حاکی از افزایش دهک اول و دمای کمینه دهک نهم در آینده می باشد.

در جدول ۹ همانطور که مشاهده می شود، در اکثر ایستگاه ها مورد مطالعه وقوع یخبندان های بزرگتر از دهک نهم نسبت به دوره ۱۹۶۱ تا ۱۹۹۰ افزایش خواهد یافت. جدول

جدول ۹ - مقایسه میانگین سالانه فراوانی وقوع یخبندان های بزرگتر از دهک نهم در دوره ۱۹۶۱ تا ۱۹۹۰ و ۲۰۲۰ تا ۲۰۳۹ تحت

سناریو های a2 و b2

| سناریو ۲۰۲۰-۲۰۳۹ b2 | سناریو ۲۰۲۰-۲۰۳۹ a2 | ۱۹۶۱-۱۹۹۰ | ایستگاه / زمان |
|---------------------|---------------------|-----------|----------------|
| ۱۴ | ۱۵ | ۱۷ | تبریز |
| ۱۲ | ۱۳ | ۱۰ | تهران |
| ۱۲ | ۱۳ | ۱۰ | کرمان |
| - | - | - | کرمانشاه |
| ۱۱ | ۱۱ | ۱۰ | اصفهان |
| ۱۰ | ۱۱ | ۱۱ | شیراز |
| ۲۰ | ۲۳ | ۱۵ | مشهد |
| ۱۳ | ۱۵ | ۱۴ | زاهدان |
| - | - | - | بندرعباس |
| - | - | - | بوشهر |
| ۷ | ۶ | ۵ | گرگان |
| ۱۰ | ۱۰ | ۸ | رشت |

جدول ۱۰ - مقایسه میانگین سالانه دمای کمینه دهک اول در دوره ۱۹۶۱ تا ۱۹۹۰ و ۲۰۲۰ تا ۲۰۳۹ تحت سناریو های a2 و b2

| سناریو ۲۰۲۰-۲۰۳۹ b2 | سناریو ۲۰۲۰-۲۰۳۹ a2 | ۱۹۶۱-۱۹۹۰ | ایستگاه / زمان |
|---------------------|---------------------|-----------|----------------|
| -۸ | -۸ | -۱۰ | تبریز |
| -۵ | -۵ | -۸ | تهران |
| -۸ | -۸ | -۹ | کرمان |
| - | - | - | کرمانشاه |
| -۵ | -۵ | -۵ | اصفهان |
| -۴ | -۳ | -۶ | شیراز |
| -۵ | -۶ | -۸ | مشهد |
| -۵/۶ | -۵/۶ | -۵/۷ | زاهدان |
| - | - | - | بندرعباس |
| - | - | - | بوشهر |
| -۲ | -۲ | -۴ | گرگان |
| ۰ | ۰ | -۳ | رشت |

جدول ۱۱ - مقایسه میانگین سالانه دمای کمینه دهک نهم در دوره ۱۹۶۱ تا ۱۹۹۰ و ۲۰۲۰ تا ۲۰۳۹ تحت سناریو های a2 و b2

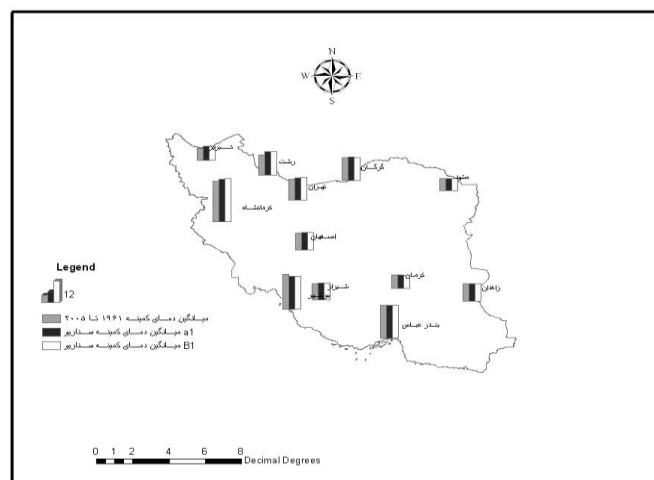
| سناریو ۲۰۲۰-۲۰۳۹ b2 | سناریو ۲۰۲۰-۲۰۳۹ a2 | ۱۹۶۱-۱۹۹۰ | ایستگاه / زمان |
|---------------------|---------------------|-----------|----------------|
| ۳/۵ | ۳/۹ | ۱/۹ | تبریز |
| ۸/۵ | ۸ | ۶ | تهران |
| ۷ | ۸ | ۶ | کرمان |

| | | | |
|----------|-----|-----|-----|
| کرمانشاه | - | - | - |
| اصفهان | ۶/۸ | ۷/۲ | ۷ |
| شیراز | ۶ | ۵ | ۶ |
| مشهد | ۶ | ۸ | ۷ |
| زاهدان | ۹/۳ | ۹/۴ | ۹/۲ |
| بندرعباس | - | - | - |
| بوشهر | - | - | - |
| گرگان | ۸ | ۶ | ۸ |
| رشت | ۱۰ | ۷ | ۹ |

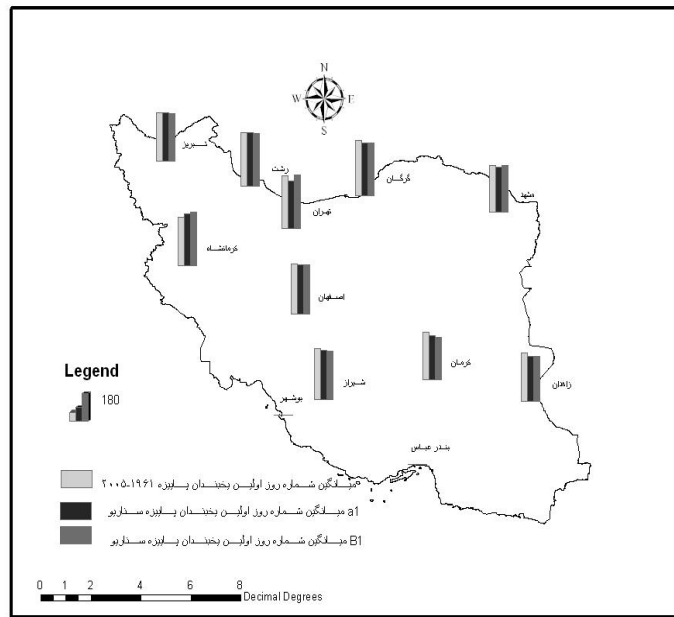
نتیجه گیری:

ایستگاه های کرمانشاه، گرگان و رشت کاهش و در ایستگاه های اصفهان و زاهدان بدون تفاوت و در مابقی ایستگاه ها افزایش می یابد. میانگین شماره روز اولین یخبندان پاییزه در ایستگاه کرمانشاه افزایش، در ایستگاه رشت بدون تفاوت و در مابقی ایستگاه های مورد مطالعه کاهش خواهد یافت. با توجه به پیش بینی افزایش طول دوره یخبندان در اکثر ایستگاه های مورد مطالعه، فراوانی وقوع یخبندان در تمام ایستگاه ها در دوره ۲۰۲۰ تا ۲۰۳۹ در مقایسه با ۱۹۶۱ تا ۱۹۹۰ کاهش خواهد یافت. همچنین نتایج بیانگر کاهش فراوانی وقوع دماهای کمینه کوچکتر از دهک اول یا یخبندان شدید و افزایش وقوع دماهای کمینه بزرگتر از دهک نهم یا یخبندان ضعیف و افزایش دمای کمینه دهک اول و دهک نهم در ایستگاه های مورد مطالعه می باشد.

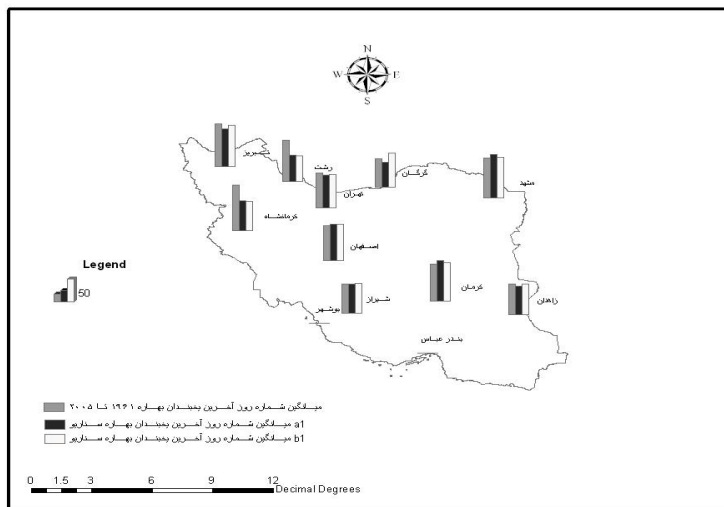
نتایج از تجزیه و تحلیل تولید داده در سال های ۱۹۶۱ تا ۱۹۹۰ و مقایسه با مقادیر حقیقی نشاندهنده توانمندی خوب مدل در بیشتر ایستگاه های انتخابی بود. در حالیکه نتایج میانگین ماهانه دمای کمینه در مرحله کالیبراسیون در بیشتر ایستگاه ها با مقادیر واقعی تطبیق داشت اما مدل در ایستگاه رشت در تمام ماه ها دارای بیش برآوردی و در ایستگاه های کرمان و کرمانشاه در برخی ماه ها بیش برآوردی و در بقیه ماه ها کم برآوردی نسبت به مقادیر واقعی داشت. همچنین نتایج بیانگر ضعف هایی در انحراف معیار و چولگی آن است. نتایج این تحقیق برای چشم انداز ۲۰۲۰-۲۰۳۹ نشان می دهد که دمای کمینه در اکثر ایستگاه های انتخابی افزایش و در مابقی ایستگاه ها تفاوتی نخواهد کرد. میانگین شماره روز آخرین یخبندان بهاره هم در



شکل ۱- نمودار ستونی میانگین دما در دوره های مختلف در ایستگاه های مورد مطالعه



شکل ۲- نمودار ستونی میانگین شماره روز اولین یخبندان پاییزه در دوره های مختلف در ایستگاه های مورد مطالعه



شکل ۳- نمودار ستونی میانگین شماره روز آخرین یخبندان بهاره در دوره های مختلف در ایستگاه های مورد مطالعه

regression to the flood regime , Technical workshop on the impact of climate change on water resources management

3. Varshavian. V, Ghahreman. N, Khalili. A, Hajam. S, 1386, The study of took place late spring frost, early winter, frost-free period and the number of frost days in order to reduce agricultural damage in some climatic zones in Iran, Agricultural research

منابع

1. Babaian. A, NajafiNik. Z, 1384, Assessment of climate change in the period 2010 to 2039 in Khorasan Razavi province with a small scale GCM output, report of a project in climatology centre
2. Samadi. Z, Mesbah bovani. A, Mahdavi. M, 1386, The effect of small scale the

- from 1981 to 1991, *Nature* 386, P. 698–702.
11. Serrano A, Mateos V, L. Garcia J, A, 1999, Trend Analysis of Monthly Precipitation Over the Iberian Peninsula for the Period 1921-1995, *phys. Chem. EARTH(B)*, VOL. 24, NO. 1-2, P.85-90
 12. Semenov M, Barrow E, 1997, Use of A Stochastic Weather Generator in the Development of Climate Change Scenarios. *Climatic Change*, vol. 35, pp. 397–414
 13. Sharratt B, S., (1992). Growing Season Trends in the Alaskan Climate Record. *ARCTIC*. (vol. 45). (pp. 124-127)
 14. Scheifinger H, Menzel A, 2003, Trends of Spring Time Frost Events and Phenological Dates in Central Europe, *Theoretical and Applied Climatology*, vol. 74, pp.41–51
 15. Sen P, K, 1968, Estimates of the Regression Coefficient Based on Kendall's tau. *Journal of the American Statistical Association*, P. 1379-1389
 16. Takeuchi Z, X, Xu. K, Ishidaira H., 2003, Monitoring Trend Step Changes in Precipitation in Japanese Precipitation. *Journal of hydrology*, 279, P. 144-150.
 17. Turgay P, Ercan K, 2006, Trend Analysis in Turkish Precipitation data. *Hydro-logical processes*, Volume 20, Issue 9, p. 2011–2026
 4. Brooks C. E. P, Carrthers. N, 1953, *Handbook of Statistical Methods in Meteorology*, London
 5. Carter T. R, 1998, Changes in the Thermal Growing Season in Nordic countries During the Past Century and Prospects for the Future, *Agric Food Sci. Finland* 7, P. 161–179, 1996, Validation of the Stochastic Weather Generator Met&ROLL. *MeteorogickeoZpravy*, Vol. 49, pp. 12
 6. Johnson. G, L. Hanson C, L, Hardegree. S. P, Ballard. E. B, 1996, Stochastic Weather Simulation: overview and analysis of two commonly used models, *J. Applied Meteorology*, vol. 35, pp. 1878-1896
 7. Lettenmaier P, Wood E. F, Wallis. R, 1994, Hydro-climatological Trends in the Continental United States, 1948–1988, *J. Climate*, 7, P. 586–607
 8. Mateescu M, Haidu I, Veronica S, Tugui O, 2007, Recent Evolution of Some Agro climatic Indices in Transylvania, *Climate change, Bulletin USAMV-CN*, pp. 63 – 64
 9. Myneni R, B. Hall F, G. Sellers, P, J. Marshak, A, L, 1995, The interpretation of spectral vegetation indexes. *IEEE Trans, Geosci.Remote Sens.* 33, P. 481–486
 10. Myneni R. C, Keeling C, D. Tucker C, J. Asrar G. Nemani R, R, 1997, Increased plant growth in the northern high latitudes *journal*, No. 4, page: 39-47