

## شبیه سازی اثرات تغییر اقلیم بر یخبندان های زاهدان با استفاده از مدل های سه بعدی گردش عمومی جو

محمود احمدی<sup>۱\*</sup>، اکبر زهرایی<sup>۲</sup>

۱- استادیار دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی

۲- دانشجوی دوره دکتری آب و هواشناسی، دانشگاه اصفهان

پذیرش مقاله: ۱۳۹۳/۸/۱۵

تأیید نهایی مقاله: ۱۳۹۳/۱۱/۲۲

### چکیده

اقلیم یک سیستم پیچیده است. در سال های اخیر به دلیل افزایش گازهای گلخانه ای در حال تغییر است. این پژوهش در نظر دارد اثرات تغییر اقلیم را در یخبندان های شهر زاهدان با استفاده از مدل های سه بعدی گردش عمومی جو شبیه سازی نماید. در این پژوهش ابتدا ده مدل گردش عمومی جو بررسی شد. سپس با ارزیابی مناسب هر نمونه، مدل مناسب جهت استخراج یخبندان های ایستگاه زاهدان شناسایی گردید. پس از صحت سنجی مدل های بکار گرفته شده با روش های آماری و چشمی مشخص گردید، مدل HADGEM با میزان خطای مطلق ۰/۱۶، با انطباق کامل قابلیت شبیه سازی مولفه کمینه دما در دوره سرد سال را دارد. نتایج نشان داد، تعداد یخبندان های سالانه در آینده حدود ۱۸ روز نسبت به دوره حاضر کاهش خواهد یافت. در میان طبقات مورد بررسی یخبندان های ضعیف دارای روند افزایشی و یخبندان های شدید و خیلی شدید دارای روند کاهشی مشاهده گردید. بازه زمانی یخبندان های شدید و خیلی شدید از هفت ماه در دوره آماری حاضر به پنج ماه در دوره آماری آینده تقلیل خواهد یافت.

**واژه های کلیدی:** تغییر اقلیم، شبیه سازی، مدل های سه بعدی گردش عمومی جو، زاهدان.

## مقدمه

انجام پژوهش های مرتبط با تغییر اقلیم برای آمادگی هر چه بیشتر جهت مقابله و نیز کاهش هزینه های خسارت بار ناشی از این تغییر بسیار ضروری است. رشد صنایع و به موجب آن مصرف بیش از حد سوخت های فسیلی از یک سو و افزایش جمعیت جهان، تغییر کاربری اراضی و تخریب پوشش گیاهی از جمله جنگل و مرتع از سوی دیگر، موجب شده است تا پس از انقلاب صنعتی به تدریج تغییرات مشهودی در اقلیم کره زمین به وجود آید (بابائیان، ۱۳۸۶). بارزترین این تغییرات افزایش متوسط دمای کره زمین، افزایش پدیده های حدی اقلیمی نظیر سیل، طوفان، تگرگ، طوفان های حاره ای، امواج گرمایی، افزایش سطح آب دریاها، ذوب شدن یخ های قطبی، خشکسالی، کاهش دامنه شبانه روزی دما و تبعات آن و... می باشد. اقلیم سیستم بسیار پیچیده ای است که عمدتاً به دلیل افزایش گازهای گلخانه ای در حال تغییر است (بابائیان و همکاران، ۱۳۸۸). برای پیش بینی بلند مدت اقلیمی روش های گوناگونی وجود دارند یکی از این روش ها استفاده از مدل های گردش عمومی جو (GCMs2) می باشد. یکی از ضعف های مدل های جوی- اقیانوسی AOGCM بزرگ مقیاس بودن سلول محاسباتی آنها، به لحاظ مکانی و زمانی نسبت به منطقه مورد مطالعه می باشد. لذا این متغیرها برای مطالعات هیدرولوژی و منابع آب از دقت کافی برخوردار نیستند. روش های مختلفی جهت تولید سناریوهای اقلیمی منطقه ای از سناریوهای اقلیمی مدل های AOGCM وجود دارد که به این روش ها ریز مقیاس کردن گفته می شود. لذا در این مطالعه از مدل آماری لارس استفاده گردید که در ادامه به بررسی آن ها پرداخته می شود. لارس یکی از این مدل ها می باشد که برای تولید مقادیر بارش،

تابش و درجه حرارت روزانه در یک ایستگاه براساس سری زمانی موجود و بسط آن به آینده به کار می رود. نسخه اولیه این مدل توسط راسکو و همکاران (۱۹۹۱) در بوداپست مجارستان به عنوان بخشی از پروژه ریسک های کشاورزی ابداع شد و سپس توسط سمونوف و بارو ارتقاء یافت. برای انجام مطالعات تغییر اقلیم بر منابع مختلف در دوره های آتی، در ابتدا می بایست متغیرهای اقلیمی تحت تاثیر تغییرات گازهای گلخانه ای شبه سازی شوند. یکی از اثرات تغییر اقلیم در دوره اقلیمی آینده به واسطه افزایش مولفه های دمایی، کاهش تعداد و فراوانی یخبندانهای با شدت های متفاوت می باشد. از جمله مطالعاتی که در زمینه مدلسازی اقلیمی مناطق مختلف جهان با استفاده از مدل های آماری انجام شده می توان به مقاله تامسون و مولان (۱۹۹۵) در ارتباط با مدل سازی ۳۰ سال اقلیم ایستگاه های هواشناسی در نیوزلند اشاره کرد (تامسون و مولان، ۱۹۹۵). جانسون و همکاران (۱۹۹۶) دو مدل مختلف تولید داده های هواشناسی را مورد بررسی قرار دادند (جانسون و همکاران، ۱۹۹۶ و ۱۸۷۸). در تحقیقی اثرات هیدرولوژی تغییر اقلیم بوسیله مدل های GCM و یک مدل کوچک مقیاس کردن آنالوگ در جنوب انگلستان توسط الشمی و همکاران (۲۰۰۵) مورد مطالعه قرار گرفت. این مطالعه چگونگی تبدیل داده های ماهانه به روزانه توسط تکنیک مولدهای هواشناسی را بررسی نمود. ویلی و همکاران (۲۰۰۱) مدل SDSM را برای ریز مقیاس نمایی اطلاعات بارش و دما با استفاده از روش های آماری ابداع کردند (ویلی، ۲۰۰۱). CLIMGEN یکی از مولدهای تصادفی داده های آب و هوایی از نوع ریچارسون است که سری های زمانی روزانه بارندگی، دما، نقطه شبنم، باد و تابش خورشیدی را برای یک منطقه مشخص

فصول تابستان و بهار کاهش بارش رخ خواهد داد. بابایان و همکاران (۱۳۸۵) با استفاده از مدل LARS-WG، خروجی مدل ECHO-G را بر روی ایستگاه‌های سینوپتیک استان خراسان ریزمقیاس نمودند. کارآموز و همکاران (۱۳۸۶) با استفاده از ریزمقیاس نمایی به روش آماری به پیش بینی بارش حوضه آبریز اهرچای پرداختند. حسامی و همکاران (۱۳۸۶) با استفاده از نرم افزار SDSM با استفاده از الگوریتم آماری داده‌های درجه حرارت بیشینه ایستگاه کرمان را جهت بررسی تغییرات اقلیمی در دهه‌های آینده ریزمقیاس نمودند. نجفی نیک (۱۳۸۷) در پژوهشی جهت پایش و پیش بینی خشکسالی در استان کرمان، با استفاده از شاخص دهک‌ها بارش را برای دوره ۲۰۳۹-۲۰۱۰ مدلسازی کرده است. تلان و همکاران (۱۳۸۷) تغییر اقلیم استان آذربایجان شرقی در دوره سالهای ۲۰۴۹-۲۰۲۰ میلادی را با استفاده از ریزگردانی آماری مدل ECHO-G بررسی کردند. بابائیان و همکاران (۱۳۸۸) تغییر اقلیم کشور شامل ۴۳ ایستگاه سینوپتیک را در دوره ۲۰۳۹-۲۰۱۰ میلادی با استفاده از ریزگردانی داده‌های مدل گردش عمومی جو ECHO-G ارزیابی کردند.

### مواد و روش ها

در پژوهش حاضر جهت ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر یخبندان‌های ایستگاه زاهدان ابتدا داده‌های ورودی به مدل جمع آوری و تصحیح گردید. ورودی مدل شامل چهار پارامتر کمینه دما، بیشینه دما، بارش و ساعات آفتابی بعنوان نماینده تابش در ایستگاه‌ها در مقیاس روزانه طی دوره آماری ۲۰۰۹-۱۹۶۱ بود. پس از اخذ داده‌ها از سازمان هواشناسی اقدام به مرتب کردن هر پارامتر بر اساس ماه‌های میلادی جهت ورود به

برآورد می‌کند (ریچارسون و همکاران، ۱۹۸۴). هارمل و همکارانش (۲۰۰۲) در موسسه تحقیقات کشاورزی آمریکا دمای کمینه و بیشینه ایستگاه‌های هواشناسی آمریکا را با استفاده از روش‌های آماری مدلسازی کردند (هارمل و همکاران، ۲۰۰۲). ویلکس و همکاران (۱۹۹۲ و ۱۹۹۸) روشی را برای کاربرد سناریوهای تغییر اقلیم با استفاده از مدل WGEN که یک مدل مولد داده‌های هواشناسی است، ابداع کردند این مدل می‌تواند برای تولید مقادیر روزانه دمای ماکزیمم، مینیمم، بارندگی و تابش روزانه خورشید به کار رود (ویلکس و همکاران، ۱۹۹۲؛ ویلکس و همکاران، ۱۹۹۹؛ ریچارسون و همکاران، ۱۹۸۴ و زمنف، ۱۹۹۸). مک کاگ (۲۰۰۳) توانمندی مدل CLIMGEN را برای شبیه سازی پارامترهای هواشناسی در ایستگاه‌های انتاریوی جنوبی در کانادا مورد مطالعه قرار دادند (مک کاگ، ۲۰۰۳). در ایران، آذرانفر و ابریشم چی (۱۳۸۵) اثر تغییر اقلیم بر بارش و دما را در حوضه آبریز زاینده رود در دو دوره ۲۰۵۰-۲۰۲۱ و ۲۱۰۰-۲۰۷۱ با استفاده از مدل گردش عمومی جو CGCM3 تحت دو سناریوی انتشار A2 و B2 با استفاده از ریزمقیاس نمایی به روش آماری مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان دهنده افزایش دما به اندازه ۵-۲ درجه سانتی گراد در دوره‌های آینده و همچنین افزایش بارش در ماه‌های دسامبر و ژانویه می‌باشد. سادات آشفته و مساح یوانی (۱۳۸۶) تاثیر تغییر اقلیم بر حوضه رودخانه آیدوغموش آذربایجان شرقی را در دوره ۲۰۶۹-۲۰۴۰ با استفاده از مدل گردش عمومی HadCM3 تحت سناریوی انتشار A2 بررسی کردند و نتیجه گرفتند که دما در دوره آتی نسبت به دوره پایه (۲۰۰۰-۱۹۷۱) بین ۱/۵ تا ۴ درجه افزایش خواهد داشت. این در حالی است که در فصول پاییز و زمستان افزایش و در

مذکور همگی از طریق نرم افزار لارس اجرا می-  
گردند. جدول ۱ مشخصات کلی مدل های  
AOGCM بکار رفته را ارائه می دهد.

مدل گردید. جهت بررسی تغییر اقلیم در دوره های  
آینده نیاز به تدوین سناریوهای تغییر اقلیم می-  
باشد. برای اینکار از خروجی ۱۰ مدل گردش  
عمومی جو جدول ۱ استفاده شده است. مدل های

جدول ۱: مشخصات مدل های گردش عمومی جو مورد مطالعه (سمنوف و استرانویچ، ۲۰۱۰)

مرجع	کشور	سناریوهای شبه سازی شده SRES	دقت مکانی (درجه)	نوع مدل
Déqué (1994)	نروژ	A1	۱.۹×۱.۹	BCM2
McFarlane et al. (1992)	کانادا	A1	۲.۸×۲.۸	CGMR
Gordon et al. (2002), CSMD (2005)	استرالیا	A1	۱.۹×۱.۹	CSMK3
Russell et al. (1995)	امریکا	A1	۳×۴	GIAOM
Gordon et al. (2000), Pope et al. (2000)	انگلستان	A1	۲.۵×۳.۷۵	HADCM3
Martin et al. (2006), Ringer et al. (2006)	انگلستان	A1	۱.۳×۱.۹	HADGEM
Hourdin et al. (2006)	فرانسه	A1	۲.۵×۳.۷۵	IPCM4
Roeckner et al. (1996)	آلمان	A1	۱.۹×۱.۹	MPEH5
Collins et al. (2004)	امریکا	A1	۱.۴×۱.۴	NCCCSM
Kiehl et al. (1998), Kiehl & Gent (2004)	امریکا	A1	۲.۸×۲.۸	NCPCM

کمتر در سرعت پیشرفت اقتصادی در نظر گرفته  
شده است (IPCC, 1999).

$$\Delta E = E_{GCM}^{fut} - E_{GCM}^{base} \quad (\text{رابطه ۱})$$

$$\Delta F = F_{GCM}^{fut} / F_{GCM}^{base} \quad (\text{رابطه ۲})$$

در روابط فوق  $E_{GCM}^{base}$  و  $F_{GCM}^{base}$  نشان دهنده  
میانگین ماهانه کمیت های تحت بررسی در دوره پایه  
و  $E_{GCM}^{fut}$  و  $F_{GCM}^{fut}$  نشان دهنده میانگین ماهانه  
کمیت های تحت بررسی در دوره آتی می باشند که از  
خروجی مدل های GCM بدست آمده اند. برای  
ریزمقیاس نمایی و تولید داده برای دوره آتی از مدل  
LARS-WG استفاده شده است که یک مدل مولد

بدین منظور خروجی مدل های اقلیمی تحت  
بررسی شامل مقادیر دمای کمینه، بیشینه، بارش  
و ساعت آفتابی ماهانه در دوره پایه (۲۰۰۰-  
۱۹۷۱) و همچنین در دوره آتی (۲۰۳۹-۲۰۱۱)  
تحت سناریوی انتشار A1 از مجموعه سناریوهای  
SRES بر طبق گزارش چهارم IPCC  
(AR4, 2007) از سایت (CCCSN) استخراج  
شدند. سپس مقادیر مربوط به این دو دوره با  
یکدیگر مقایسه و سناریوی تغییر اقلیم مطابق  
رابطه ۱ در مورد دما و ساعت آفتابی و مطابق  
رابطه ۲ در مورد بارش تدوین گردید. در سناریوی  
A1 جهان متمایز با وضعیت فعلی آن خواهد بود  
بطوریکه در این سناریو رشد زیاد جمعیت جهان،  
افزایش زیاد غلظت گاز گلخانه ای CO<sub>2</sub> و نوسانات

شده و در نهایت اقدام به تولید داده های در مقیاس روزانه برای دوره اقلیمی ۲۰۴۱-۲۰۱۳ گردید. در گام اول پژوهش همگنی داده ها مورد بررسی قرار گرفت. برای همگنی داده ها، از آزمون RUN-TEST استفاده شد که تصادفی بودن آنها در سطح ۹۵ درصد قابل قبول بود. پس از آزمون همگنی داده ها داده های ورودی به مدل با استفاده از ده مدل بکارگرفته برای دوره پایه شبیه سازی گردید. سپس قدرت هر مدل در تولید مولفه های دمایی ایستگاه زاهدان با استفاده از صحت سنجی آماری و چشمی آزمون گردید تا در نهایت جهت بررسی یخبندان- های ایستگاه زاهدان مدل انتخاب گردد که بیشترین قدرت را در شبیه سازی دوره پایه مولفه های دمایی بخصوص مولفه کمینه دمایی را داشته باشد. صحت سنجی آماری مدل ها با استفاده از خطاهای اریبی و مطلق هر مدل به تفکیک مولفه های دمایی و عنصر تابش صورت گرفت. نتایج صحت سنجی آماری مدل نشان داد که جهت شبیه سازی یخبندان های زاهدان نامناسب ترین مدل، مدل NCPCM با خطای مطلق ۰/۳۸ و پس از آن مدل های HADCM3 و MPEH5 با خطای مطلق به میزان ۰/۳ شناسایی گردید. در نهایت با توجه به میزان خطای مطلق مناسب ترین مدل، مدل HADGEM با خطای مطلق به میزان ۰/۱۶ شناسایی گردید. خطاهای محاسبه شده برای هر مدل در جدول ۲ آمده است. پس از محاسبه خطاهای اریبی و مطلق مدل ها اقدام به مقایسه چشمی هر مدل با مقایسه مقادیر میانگین دیده بانی و شبیه سازی شده و همچنین انحراف معیار مقادیر دیده بانی شده و شبیه سازی شده گردید. نتایج مقایسه چشمی در شکل های ۱ تا ۱۰ آمده است. چون هدف پژوهش بررسی یخبندان ها است پس در روند پژوهش شبیه سازی دوره سرد بیش از دوره گرم مورد توجه است.

داده های وضع هوا می باشد. مبنای این مدل برای مدلسازی طول دوره های خشک و تر، بارش روزانه و سری های تابش، توزیع نیمه تجربی می باشد و سری فوریه، درجه حرارت را تخمین می زند. تولید داده توسط مدل Lars-WG در سه مرحله انجام می شود: کالیبره کردن، ارزیابی و ایجاد داده های هواشناسی. برای ارزیابی توانمندی مدل باید فایل داده های واقعی در دوره آماری و فایل داده های ساختگی توسط مدل Lars-WG برای هر ایستگاه در همین دوره با یکدیگر مقایسه شود (سمنوف و همکاران، ۱۹۹۹).

پس از اطمینان از توانمندی مدل Lars-WG در شبیه سازی پارامترهای هواشناسی تحت بررسی، می توان با وارد کردن مشخصات ایستگاه و داده های روزانه آن در دوره مشاهداتی و سناریوی اقلیمی تدوین شده با استفاده از خروجی های GCM به مدل، برای دوره آینده داده های روزانه تولید کرد. در صورتی که انحراف معیار مقادیر مدل سازی شده کمتر از مقادیر واقعی بدست آید با استفاده از رابطه ۳ می توان انحراف معیار مقادیر مدل سازی شده را با حفظ میانگین های آن اصلاح (Inflate) کرد که در آن STD انحراف معیار پارامتر هواشناسی تحت بررسی است (بابائیان و کوان، ۲۰۰۴).

$$\text{رابطه ۳)} \quad STD_{fut} = \frac{STD_{base}^{OBS}}{STD_{base}^{GCM}} \times STD_{fut}^{GCM}$$

جهت صحت سنجی مدل از دو روش آماری و مقایسه ای استفاده گردید. در روش آماری با محاسبه خطای اریبی و خطای مطلق مدل ها نقاط قوت و ضعف مدل ها در شبیه سازی مورد ارزیابی قرار گرفت. قدرت کلی مدل در مدل داده های دیده بانی شده با محاسبه بایاس و خطای مطلق بین داده های دیده بانی شده و مدل شده محاسبه گردید. پس از صحت سنجی مدل داده های برای دوره ۲۰۴۱-۲۰۱۳ بر اساس سناریوی پایه ریزگردانی

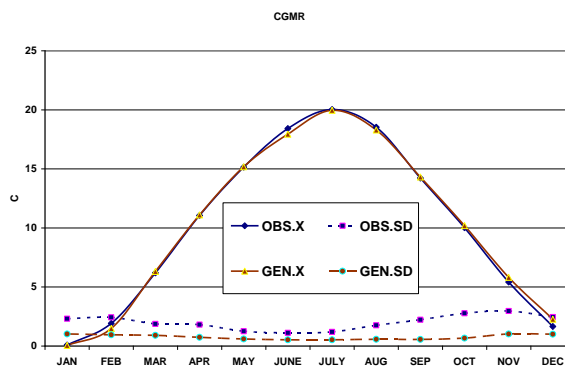
جدول ۲: میزان خطای اریبی و مطلق هر مدل در شبهه سازی مولفه های دمایی و تابش ایستگاه زاهدان

تابش		بیشینه دما		کمینه دما		نوع خطا مدل انتشار
خطای مطلق	خطای اریبی	خطای مطلق	خطای اریبی	خطای مطلق	خطای اریبی	
۰/۱۹	۰/۱۷	۰/۲۲	۰/۰۹۸	۰/۲۶	۰/۰۵	BCM2
۰/۱۷	۰/۱۷	۰/۲۵	۰/۱۳	۰/۱۹	۰/۰۲	CGMR
۰/۱۹	۰/۱۹	۰/۲۴	۰/۱۴	۰/۲۶	۰/۰۳	CSMK3
۰/۱۸	۰/۱۴	۰/۱۶	۰/۱۴	۰/۲۳	۰/۰۲	GIAOM
۰/۱۷	۰/۱۷	۰/۲۹	۰/۱۴	۰/۳	۰/۰۱	HADCM3
۰/۱۷	۰/۱۷	۰/۲۳	۰/۱۱	۰/۱۶	۰/۰۵	HADGEM
۰/۲۲	۰/۱۹	۰/۲۳	۰/۱۵	۰/۲۸	۰/۰۱	IPCM4
۰/۲	۰/۱۹	۰/۳	۰/۱۳	۰/۳	-۰/۰۴	MPEH5
۰/۱۷	۰/۱۵	۰/۲۴	۰/۱۸	۰/۲۸	-۰/۰۱	NCCCSM
۰/۱۷	۰/۱۶	۰/۲۶	۰/۱۴	۰/۳۸	۰	NCPCM

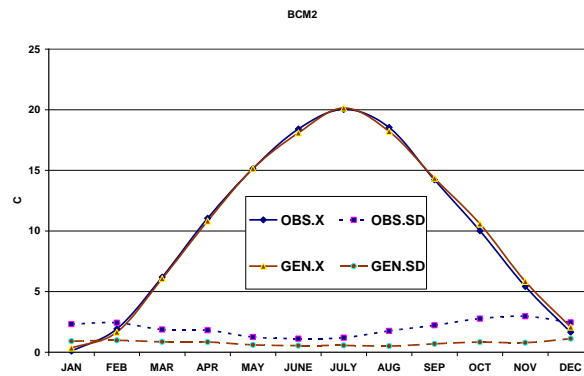
### نتایج

انطباق خوبی بین مقادیر شبهه سازی شده و مقادیر دیده بانان شده وجود ندارد. مدل CGMR در شبهه سازی مقادیر کمینه دمای دوره گرم قابلیت بیشتری نسبت به دوره سرد داشته است، بطوریکه در فصل تابستان انطباق کامل بین مقادیر شبهه سازی شده و مقادیر دیده بانان شده دیده می شود (شکل ۱ و ۲).

نتایج تفسیر چشمی در مدل BCM2 نشان داد که مدل در شبهه سازی کمینه دما در فصل بهار قدرت و انطباق بیشتری نسبت به سایر فصول دارد. کمترین انطباق بین مقادیر شبهه سازی شده و مقادیر دیده بانان شده را می توان در فصل پاییز مشاهده کرد. در دو فصل زمستان و تابستان نیز



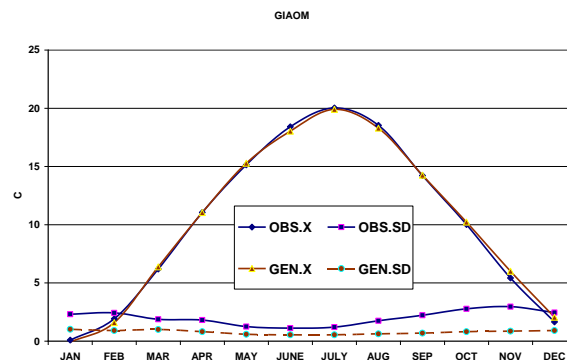
شکل ۱: میانگین و انحراف معیار مقادیر دیده بانان (OBS) و شبهه سازی شده (GEN) مولفه کمینه دما با مدل BCM2



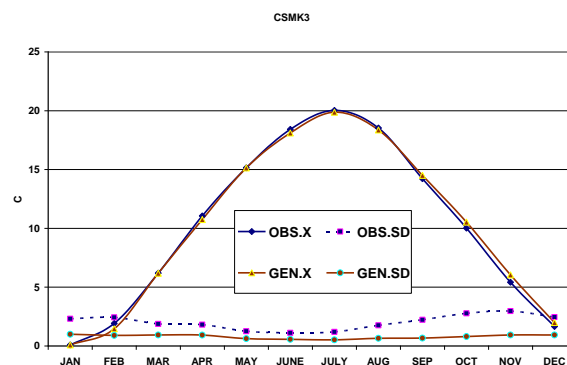
شکل ۲: میانگین و انحراف معیار مقادیر دیده بان (OBS) و شبیه سازی شده (GEN) مولفه کمینه با مدل CGMR

می‌شود. مدل GIAOM توانسته با انطباق کامل مقادیر کمینه دما در دوره گرم را شبیه‌سازی نماید ولی در دوره سرد بخوبی نتوانسته مقادیر دیده‌بانی شده را شبیه‌سازی نماید. کمترین انطباق مدل در ماههای دسامبر و فوریه دیده می‌شود (شکل ۳ و ۴).

مدل CSMK3 در ایستگاه بخوبی توانسته کمینه دما در فصل بهار را با انطباق خوب شبیه سازی نماید ولی بخوبی نتوانسته مقادیر کمینه دما را در دوره سرد که هدف مطالعه است شبیه سازی نماید. بدترین انطباق بین مقادیر شبیه سازی شده و مقادیر دیده‌بانی شده در فصل پاییز مشاهده



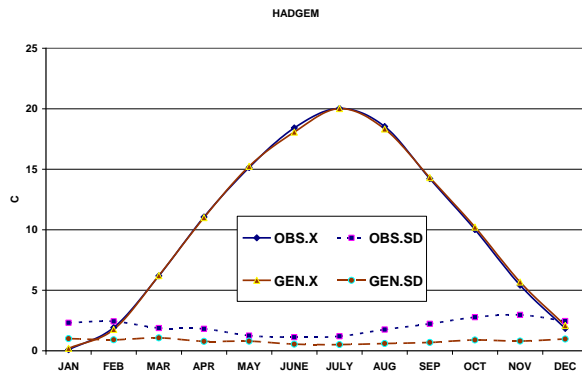
شکل ۳: میانگین و انحراف معیار مقادیر دیده بان (OBS) و شبیه سازی شده (GEN) مولفه کمینه با مدل CSMK3



شکل ۴: میانگین و انحراف معیار مقادیر دیده بان (OBS) و شبیه سازی شده (GEN) مولفه کمینه با مدل GIAOM

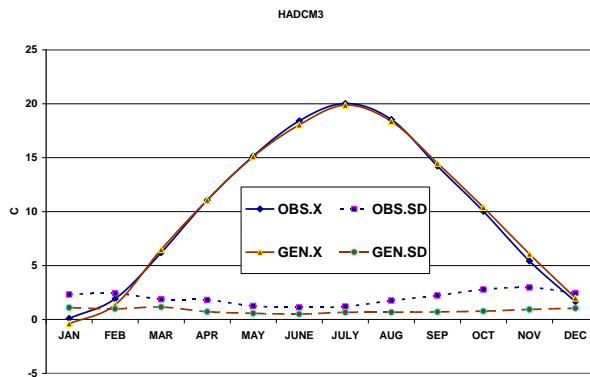
خوبی و با انطباق کامل توانسته مقادیر کمینه دما در دوره سرد را شبهه سازی نماید و میزان این انطباق در فصل زمستان بیش از فصل پاییز است. کمترین قابلیت مدل در شبهه سازی مقادیر کمینه دما در اواخر فصل پاییز مشاهده می شود (شکل ۵ و ۶).

در مورد نتایج مدل HADCM3 می توان گفت که بهترین قابلیت مدل در تولید مقادیر فصل بهار و کمترین قابلیت و قدرت آن در تولید مقادیر کمینه دما در فصل زمستان دیده می شود. مدل مذکور نیز در شبهه سازی مقادیر دیده بانی شده در دوره گرم بیشتر از دوره سرد قابلیت داشته است. نتایج مدل HADGEM نشان داد که مدل به



شکل ۵: میانگین و انحراف معیار مقادیر دیده بانی (OBS) و شبهه سازی شده (GEN) مولفه کمینه با مدل

HADCM3



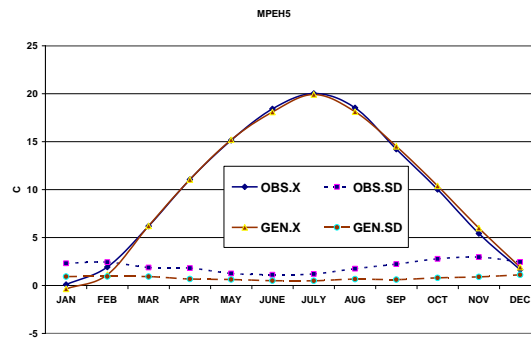
شکل ۶: میانگین و انحراف معیار مقادیر دیده بانی (OBS) و شبهه سازی شده (GEN) مولفه کمینه با مدل

HADGEM

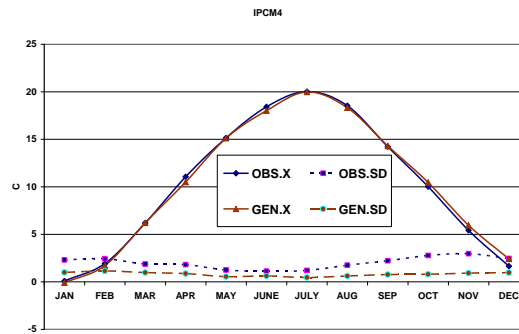
دما در فصل بهار را شبهه سازی نماید ولی در سایر فصول انطباق خوبی بین مقادیر دیده بانی شده و مقادیر شبهه سازی دیده نمی شود. کمترین قابلیت مدل در فصل زمستان دیده می شود (شکل ۷، ۸، ۹ و ۱۰).

نتایج مدل IPCM4 نشان داد که قابلیت مدل در شبهه سازی مقادیر کمینه دمای در فصل تابستان بیشتر از سایر فصول است. کمترین قابلیت مدل در دوره سرد، بخصوص در فصل پاییز دیده می شود. نتایج بدست آمده از مدل MPEH5 نشان داد که مدل با انطباق خوبی توانسته مقادیر کمینه

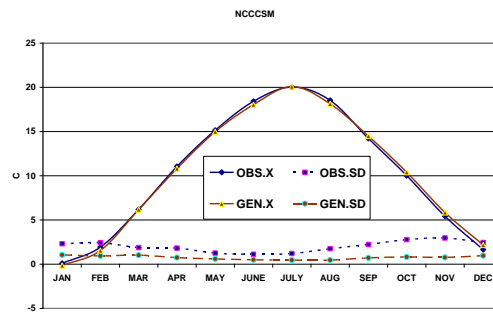




شکل ۷: میانگین و انحراف معیار مقادیر دیده بانی (OBS) و شبیه سازی شده (GEN) مولفه کمینه با مدل IPCM4

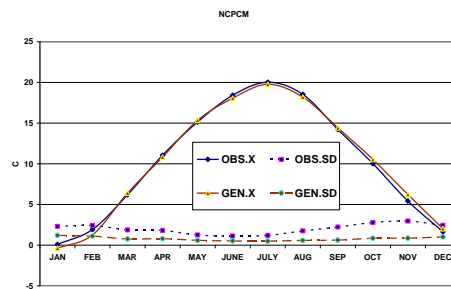


شکل ۸: میانگین و انحراف معیار مقادیر دیده بانی (OBS) و شبیه سازی شده (GEN) مولفه کمینه با مدل MPEH5



شکل ۹: میانگین و انحراف معیار مقادیر دیده بانی (OBS) و شبیه سازی شده (GEN) مولفه کمینه با مدل

NCCCSM



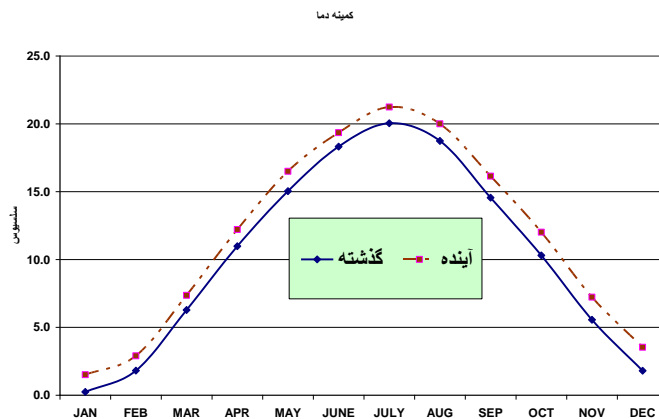
شکل ۱۰: میانگین و انحراف معیار مقادیر دیده بانی (OBS) و شبیه سازی شده (GEN) مولفه کمینه با مدل

NCPCM

آینده جهت تولید داده مصنوعی و تحلیل آن باشد. پس از بررسی شایستگی و مناسبت مدل-های مورد مطالعه و انتخاب مدل مناسب (HADGEM)، با استفاده از مدل مذکور اقدام به تولید داده های مصنوعی کمینه دما برای دوره آماری ۲۰۱۳-۲۰۴۱ در مقیاس روزانه گردید. مقایسه میانگین دمای کمینه ماهانه در دوره آماری حاضر (۲۰۰۹-۱۹۶۱) و دوره آماری آینده (۲۰۱۳-۲۰۴۱) نشان داد که میانگین دمای کمینه در دوره آینده در تمامی ماه های نسبت به دوره حاضر افزایش خواهد یافت و مقدار این افزایش چیزی در حدود یک درجه سلسیوس برای ایستگاه زاهدان است. بیشترین افزایش در کمینه دما در فصل پاییز و کمترین آن در فصل زمستان مشاهده می شود (شکل ۱۱).

قابلیت مدل NCCCSM در شبه سازی مقادیر فصل بهار بهتر از سایر فصول است. کمترین قابلیت مدل در فصل پاییز دیده می شود. همچنین مدل ماه های اول زمستان را نیز نتوانسته بخوبی شبه سازی نماید. مدل NCPCM نیز نتوانسته بخوبی کمینه دما در دوره سرد را شبه سازی نماید بطوریکه کمترین قابلیت مدل در دوره سرد و بهترین قابلیت آن در فصل بهار مشاهده می-شود.

نتایج صحت سنجی چشمی مدل های مورد مطالعه نیز همانند صحت سنجی آماری حاکی از آن بود که مدل HADGEM بخوبی توانسته تغییرات مولفه کمینه دما در دوره سرد را با انطباق کامل شبه سازی نماید و می تواند مدل مناسب برای بررسی یخبندان های ایستگاه زاهدان در دوره



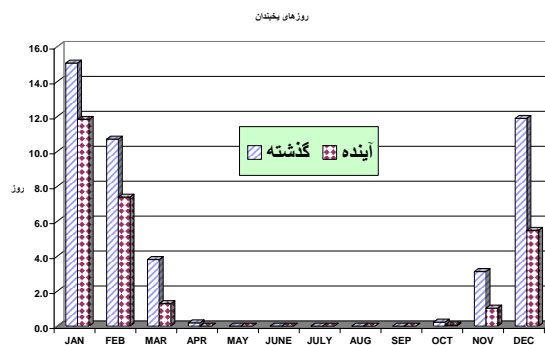
شکل ۱۱: میانگین کمینه دمای ایستگاه زاهدان در دو دوره آماری حاضر و آینده

۱۳۸۶). برای بررسی یخبندان ها از دو مولفه میانگین ماهانه و تعداد سالانه هر کدام استفاده گردید. نتایج بررسی یخبندان ها نشان داد که یخبندان های ایستگاه زاهدان در دوره حاضر در هفت ماه از سال از ماه های اکتبر تا آوریل دیده می شوند. بیشترین میانگین روزهای یخبندان در ماه ژانویه با حدود ۱۵ روز و کمترین آن در ماه-های آوریل و اکتبر با میانگین حدود یک روز می-

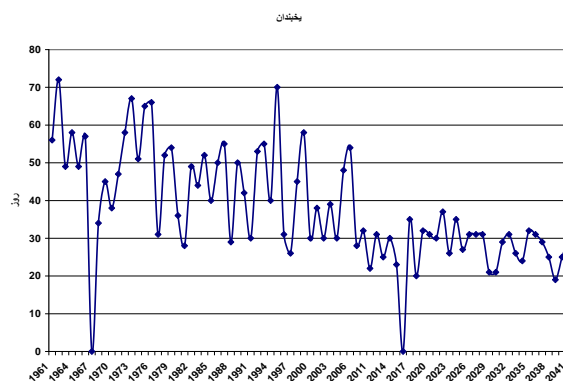
پس از بررسی مقادیر کمینه دما روزهای با دمای کمتر از صفر در دوره های آماری مورد مطالعه به عنوان روز یخبندان شناخته شده و استخراج گردید. پس از استخراج یخبندان ها، آنها در سه طبقه یخبندان های ضعیف (صفر تا -۱ درجه سلسیوس)، یخبندان های شدید (-۱ تا -۳ درجه سلسیوس) و یخبندان های خیلی شدید (پایین تر از -۳ درجه سلسیوس) جای گرفتند (اسماعیلی،

آینده نسبت به دوره حاضر است. به لحاظ ماهانه بیشترین کاهش در میانگین یخبندان ماهانه در دوره آینده در ماه دسامبر با حدود ۶ روز است (شکل ۱۲). کمترین میزان کاهش در میانگین نیز در ماه ژانویه دیده می‌شود. روند سالانه تعداد یخبندان‌ها نیز حاکی از کاهش تعداد آنها در دوره آماری آینده است (شکل ۱۳).

باشد. میانگین یخبندان‌های سالانه ایستگاه در دوره حاضر ۴۵ روز بوده که در دوره آینده به حدود ۲۷ روز خواهد رسید و این به معنی تعداد یخبندان‌های سالانه در آینده حدود ۱۸ روز نسبت به دوره حاضر کاهش خواهد یافت. نتایج بررسی میانگین یخبندان‌های ایستگاه زاهدان در دو دوره حاکی از کاهش تعداد و میانگین آنها در دوره



شکل ۱۲: مقایسه میانگین تعداد یخبندان‌ها در دو دوره آماری مورد بررسی



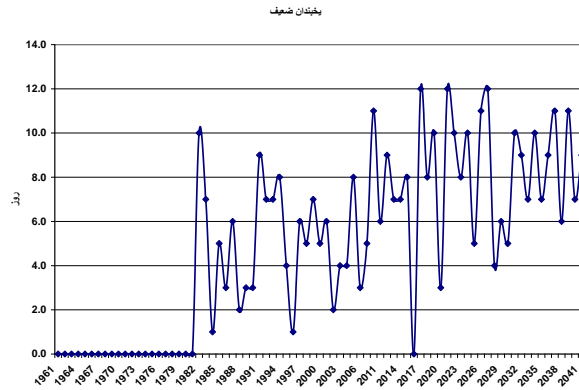
شکل ۱۳: مقایسه تعداد یخبندان‌های سالانه در دو دوره آماری مورد بررسی

یخبندان‌های ضعیف است. بیشترین میزان افزایش ماهانه در دوره آماری آینده در ماه‌های ژانویه و فوریه و کمترین میزان آن در ماه مارس دیده می‌شود. نتایج تحلیل میانگین یخبندان‌های ضعیف نشان داد که تعداد آنها در ماه ژانویه از حدود یک روز در دوره حاضر به حدود سه روز، در ماه فوریه از حدود ۰/۵ روز به حدود یک روز و در ماه دسامبر از حدود ۰/۷ روز به حدود دو روز خواهد

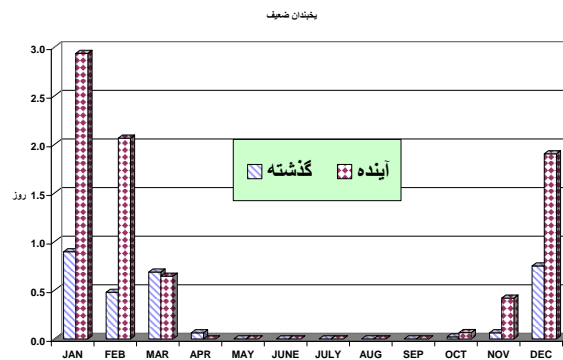
بررسی یخبندان‌های ایستگاه زاهدان با شدت-های مختلف

۱- یخبندان‌های ضعیف: نتایج تحلیل یخبندان‌های ضعیف در ایستگاه زاهدان نشان داد که برخلاف روند یخبندان‌ها بصورت کلی تعداد یخبندان‌های ضعیف در دوره آماره آینده (۲۰۴۱-۲۰۱۳) افزایش خواهد یافت و میانگین این افزایش برای دوره آینده حدود ۵ روز افزایش در تعداد

رسید (شکل ۱۴). بررسی سالانه تعداد یخبندان- های ضعیف در دو دوره آماری مورد مطالعه حاکی از افزایش آنها در دوره آماری آینده برای ایستگاه زاهدان خواهد بود (شکل ۱۵).



شکل ۱۴: مقایسه میانگین تعداد یخبندان های ضعیف در دو دوره آماری مورد بررسی

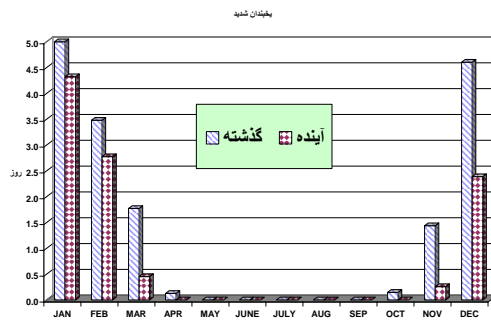


شکل ۱۵: مقایسه تعداد یخبندان های ضعیف سالانه در دو دوره آماری مورد بررسی

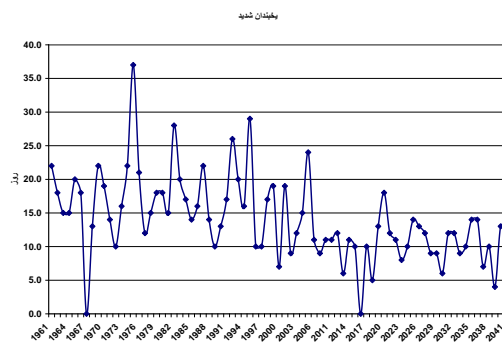
۲

از ۱/۶ روز به کمتر از ۰/۵ در ماه مارس، از ۱/۵ روز به ۰/۲ در ماه نوامبر و از ۴/۵ روز به ۲/۲ روز در ماه دسامبر خواهد رسید. ضمناً یخبندان های شدید در دو ماه آوریل و اکتبر به صفر روز در دوره آماری آینده خواهد رسید و دوره یخبندان- های شدید از ۷ ماه در دوره آماری گذشته به ۵ ماه ر دوره آماری آینده خواهد رسید (شکل ۱۶). نمودار سری زمانی سالانه یخبندان های شدید نیز کاهش در تعداد یخبندان های شدید در دوره آماری آینده را نشان می دهد (شکل ۱۷).

یخبندان های شدید: نتایج تحلیل یخبندان های شدید با استفاده از مدل بکارگرفته شده نشان داد که یخبندان های شدید در دوره آماری آینده نسبت به دوره آماری گذشته کاهش خواهد یافت. مقدار این کاهش بصورت میانگین برای دوره آماری آینده حدود ۶ روز خواهد بود. بیشترین کاهش ماهانه در تعداد یخبندان های شدید در ماه های مارس و نوامبر و کمترین آن در ماه های ژانویه و فوریه خواهد بود. تعداد یخبندان ها از ۵ یخبندان در ماه ژانویه به ۴ یخبندان در دوره آماری آینده، از ۳/۵ روز در ماه فوریه به ۲/۵ روز،



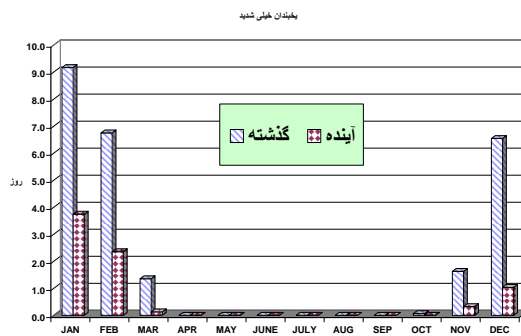
شکل ۱۶: مقایسه میانگین یخبندان‌های شدید ماهانه در دو دوره آماری مورد بررسی



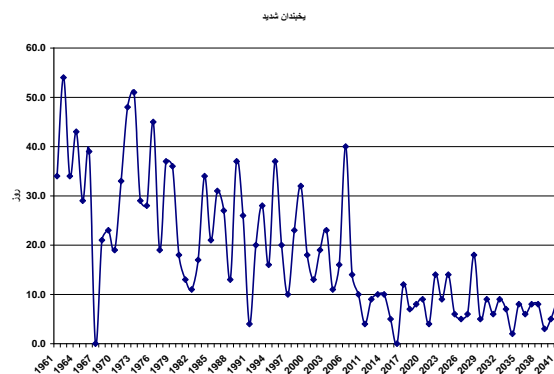
شکل ۱۷: مقایسه تعداد یخبندان‌های شدید سالانه در دو دوره آماری مورد بررسی

کاهش خواهد یافت. میزان کاهش در ماه‌های فصل پاییز بیشتر از فصل زمستان خواهد بود. تعداد آنها از ۹ روز به ۳/۵ روز در ماه ژانویه، از ۶/۵ روز به ۲ روز در ماه فوریه، از ۱/۱ روز به ۰/۱ روز در ماه مارس، ۱/۲ روز به ۰/۲ در ماه نوامبر و از ۶/۵ روز به یک روز در ماه دسامبر در دوره آماری آینده خواهد رسید (شکل ۱۸). نمودار سری زمانی سالانه یخبندان‌های شدید نیز کاهش در تعداد یخبندان‌های خیلی شدید در دوره آماری آینده را نشان می‌دهد (شکل ۱۹).

۳- یخبندان‌های خیلی شدید: تحلیل یخبندان‌های خیلی شدید نشان داد که میانگین آنها در دوره آماری آینده نسبت به دوره آماری گذشته کاهش خواهد یافت و میزان این کاهش حدود ۱۸ روز برای دوره آماری آینده خواهد بود. نتایج نشان داد که میزان کاهش در یخبندان‌های خیلی شدید بیشتر از کاهش در یخبندان‌های شدید ایستگاه است. میانگین یخبندان‌های شدید در دوره آماری آینده از ماه نوامبر تا مارس خواهد بود و در تمامی ماه‌ها تعداد آنها نسبت به دوره آماری گذشته



شکل ۱۸: مقایسه میانگین یخبندان‌های خیلی شدید ماهانه در دو دوره آماری مورد بررسی



شکل ۱۹: مقایسه تعداد یخبندان های خیلی شدید سالانه در دو دوره آماری مورد بررسی

### بحث و نتیجه گیری

هدف پژوهش حاضر بر آن بود تا اثرات تغییر اقلیم را بر یخبندان های شهر زاهدان با استفاده از مدل های سه بعدی گردش عمومی جو شبه سازی نماید. برای انجام پژوهش تعداد ده مدل گردش عمومی جو بررسی گشته تا در نهایت با ارزیابی مناسب هر کدام، مدل مناسب جهت استخراج یخبندان های ایستگاه زاهدان شناسایی گردد. پس از اجرا و صحت سنجی مدل های بکار گرفته شده با روش های آماری و چشمی مشخص گردید که مدل HADGEM با میزان خطای مطلق ۰/۱۶، با انطباق کامل قابلیت شبه سازی مولفه کمینه دما در دوره سرد سال را دارد. مقایسه میانگین دمای کمینه ماهانه در دوره آماری حاضر (۲۰۰۹-۱۹۶۱) و دوره آماری آینده (۲۰۴۱-۲۰۱۳) نشان داد که میانگین دمای کمینه در دوره آینده در تمامی ماه های نسبت به دوره حاضر افزایش خواهد یافت و مقدار این افزایش چیزی در حدود یک درجه سلسیوس برای ایستگاه زاهدان است. بیشترین افزایش در کمینه دما در فصل پاییز و کمترین آن در فصل زمستان مشاهده می شود. پس از استخراج یخبندان ها آنها در سه طبقه

ضعیف، شدید و خیلی شدید جای گرفتند که هر کدام با دو مولفه میانگین و سری سالانه مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند. نتایج کلی نشان داد که تعداد یخبندان های سالانه در آینده حدود ۱۸ روز نسبت به دوره حاضر کاهش خواهد یافت. در میان طبقات مورد بررسی یخبندان های ضعیف دارای روند افزایشی و یخبندان های شدید و خیلی شدید دارای روند کاهشی بودند. بازه زمانی یخبندان های شدید و خیلی شدید از هفت ماه در دوره آماری حاضر به پنج ماه در دوره آماری آینده تقلیل خواهد یافت. میانگین افزایش در تعداد یخبندان های ضعیف برای دوره آینده حدود ۵ است. مقدار کاهش در یخبندان های شدید بصورت میانگین برای دوره آماری آینده حدود ۶ روز خواهد بود. میانگین یخبندان های خیلی شدید در دوره آماری آینده نسبت به دوره آماری گذشته حدود ۱۸ روز کاهش خواهد یافت. این نتایج با پژوهش های آذرانفر و ابریشمچی و تحقیقات بابائیان و همکاران مقایسه و با توجه به اینکه پارامتر کیفی یخبندان در این شکل تاکنون کار نشده است. نتایج این تحقیق با استفاده از مدل ها بهتر می تواند حقایق را معین نماید.

## منابع

- تلان، ا. و ضرغامی، م.، ۱۳۸۷. بررسی تغییر اقلیم استان آذربایجان شرقی در دوره سالهای ۲۰۴۹-۲۰۲۰ میلادی با استفاده از ریز مقیاس نمایی آماری مدل ECHO-G، سومین کنفرانس مدیریت منابع آب ایران، دانشگاه تبریز، دانشکده مهندسی عمران، ۲۳ الی ۲۵ مهر.
- حسامی کرمانی، م. ر.، محزونی، ج. م.، نجفی نیک، ز.، یآوری، م. و خواجه حسنی، س.، ۱۳۸۶. هفتمین همایش پیش بینی عددی وضع هوا، ۲۸ آذر.
- سادات آشفته، پ. و مساح بوانی، ع.، ۱۳۸۷. تاثیر عدم قطعیت تغییر اقلیم بر رژیم سیلاب، مطالعه موردی، حوضه آیدوغموش، آذربایجان شرقی، مجله تحقیقات منابع آب ایران، سال پنجم، شماره ۲، پاییز ۱۳۸۸، ص ۲۷ - ۳۹.
- کارآموز، م.، ایمن، س. و نظیف، س.، ۱۳۸۶. تدوین مدل پیش بینی بارش جهت بهره برداری از منابع آب حوزه آبریز اهر چای: ریزمقیاس کردن آماری، سومین کنگره ملی مهندسی عمران، دانشگاه تبریز.
- نجفی نیک، ز.، ۱۳۸۷. تدوین مدل پیش بینی بارش جهت پایش و پیش آگهی خشکسالی استان کرمان با استفاده از شاخص دهک برای دوره ۲۰۳۹-۲۰۱۰، اولین کنفرانس بین المللی بحران آب، دانشگاه زابل، ۲۲-۲۰ اسفند ماه.
- اسماعیلی، ر.، ۱۳۸۶. بررسی یخبندانهای دیررس بهاره از دیدگاه آماری- سینوپتیکی و اثرات آن بر محصولات باغی مطالعه موردی شهرستان مه ولات، پایان نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه سیستان و بلوچستان.
- آذرانفر، آ.، ابریشمچی، ا. و تجریشی. م.، ۱۳۸۶. ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر بارش و دما در حوضه آبریز زاینده رود با استفاده از خروجی مدل های چرخش عمومی اتمسفر، پایان نامه کارشناسی ارشد دانشگاه صنعتی شریف دانشکده مهندسی عمران.
- بابائیان، ا.، نجفی نیک، ز.، حبیبی نوخندان، م.، زابل عباسی، ف.، ملبوسی، ش. و ادب، ح.، ۱۳۸۸. ارزیابی تغییر اقلیم کشور در دوره ۲۰۳۹-۲۰۱۰ میلادی با استفاده از ریزنمایی داده های مدل گردش عمومی جو ECHO-G، فصلنامه جغرافیا و توسعه، شماره ۱۶، ص ۱۳۵-۱۵۲.
- بابائیان، ا.، نجفی نیک، ز.، حبیبی نوخندان، م.، زابل عباسی، ف.، ملبوسی، ش.، ادب، ح.، رسولی، س. ج.، بذرافشان، ب. و پیشقدم، ن.، ۱۳۸۶. مدلسازی اقلیم و مطالعه تغییر اقلیم در ایران، مجری طرح: پژوهشکده اقلیم شناسی، گزارش پروژه.
- Babaeian, I., Kwon, W.T. and Im, E.S., 2004. Application of weather generator technique for Climate change assessment over Korea. Korea Meteorological Research Institute, climate research lab, 98p.
- Elshamy, M. E., Wheeler, H.S., Gedney, N. and Huntingford, C., 2005. Evaluation of the rainfall component of weather generator for climate change studies, journal of hydrology, v. 326, p. 1-24.
- Harmel, R.D., Richardson, C. W., Hanson, C. L. and Johnson, G. L., 2002. Evaluating the Adequacy of Simulating Maximum and Minimum Daily Air Temperature With the Normal Distributian, Canadian Society for engineering, 26p.
- IPCC., 1999. Guidelines on the use of scenario data for climate impact and adaptation assessment, eds, Carter, T.R., Hulme, M. and Lal, M., Version, v. 1, 69p. Intergovernmental Panel on Climate Change, Task Group on Scenarios for Climate Impact Assessment.
- Johnson, G.L., Hanson, C.L., Hardegree, S.P. and Ballard, E.B., 1996.

- Stochastic weather simulation: overview and analysis of two commonly used models, *J. Applied Meteorology*, v. 35, p.1878-1896.
- Mc kague, k., 2003. Clim Gen- A ZGnvenient weather Genera Tion Tool for Canadian climat stations, proceeding of CCAE/SCGR 2003 Meeting, Montreal, Canada.
- Rasco, P., Szeidl, L. and Semenov, M.A., 1991. A serial approach to local stochastic models, *J.Ecological Modeling*, v. 57, p. 27-41.
- Richardson, C.W. and Wright, D.A., 1984. WGEN: A model for generating daily weather variables, U.S. Dept. Agr., Agricultural Research Service, Publ. ARS-8, 83 p.
- Semenov, M.A., 2007. Development of high-resolution UKCIP02-based climate change scenarios in the UK, *Agricultural and Forest Meteorology*, v. 144, p. 127-138.
- Semenov, M.A., 2008. Simulation of extreme weather events by a stochastic weather generator, *Climate Research*, v. 35, p. 203-212.
- Semenov, M.A. and Brooks, R.J., 1999. Spatial interpolation of the LARS-WG stochastic weather generation in Great Britain, *Climate Research*, v. 11, p. 137-148.
- Thompson, C.S. and Mullan, A.B., 1995. Weather Generators, NIWA Internal report, p. 115- 120.
- Wilks, D.S., 1992. Adapting stochastic weather generation algorithms for climate change studies, *Climate Change*, v. 22, p. 67-84.
- Wilks, D.S. and Wilby, R.L., 1999. The Weather Generation game: a review of Stochastic Weather Models, *Progress in Physical Geography*, v. 23, p. 329-357.
- Willby, R.L., Dawson, C.W. and Barrow, E. M., 2001. SDSM Version 3.1 –A decision support tool for the assessment of regional climate change impacts.