

## پیش بینی تغییرات یخبندان شهر زابل بر پایه شبیه سازی مدل گردش عمومی جو

تقی طاوسی<sup>۱</sup>، محمود خسروی<sup>۲</sup>، اکبر زهرایی<sup>۳</sup>

### چکیده

هدف این پژوهش، شبیه سازی پیامدهای تغییر آب و هوا بر پدیده یخبندان در ایستگاه زابل است. برای رسیدن به این منظور، روش مقایسه و انتخاب بهترین مدل برازش داده شده به سری توسط مدل‌های گردش عمومی جو بکار گرفته شد. نخست داده‌های ایستگاه همدید زابل در دوره آماری (۲۰۰۸ - ۱۹۶۶) با مقیاس روزانه فراهم شد، سپس داده‌های مدل گردش عمومی جو در دو دوره جداگانه ۲۰۰۴ - ۱۹۸۸ و ۲۰۳۹ - ۲۰۱۰ برای تهیه یک سناریوی تغییر اقلیم برای این ایستگاه استفاده گردید. پس از تهیه سناریوی پایه با انتخاب چهار مدل کاربردی از مدل‌های گردش عمومی جو شامل HADCM3، BCM2، HADGEM و NCCPM به ارزیابی این مدل‌ها با دو روش آماری پرداخته شد. یعنی محاسبه بایاس و خطای مطلق هر مدل و نیز مقایسه میانگین و انحراف معیار برای هر یک از مدل‌های به کار گرفته شده جهت تولید داده‌های روزانه تا سال ۲۰۳۷ گردید. پس از انتخاب بهترین مدل، داده‌های مصنوعی برای دوره اقلیمی آینده و نیز ویژگی یخبندان‌های زابل برای دوره اقلیمی آینده پیش‌بینی شد. نتایج پژوهش نشان داد که در دوره اقلیمی آینده مؤلفه‌های دمایی نسبت به دوره گذشته افزایش خواهد یافت. افزایش بیشینه دما «برای فصول بهار و پاییز بیش از فصول زمستان و تابستان خواهد بود. «کمینه دما» نیز بیشترین میزان افزایش دما در نیمه سرد سال از آگوست تا فوریه مشاهده می‌گردد. دامنه یخبندان در دوره اقلیمی مشاهده شده که مدت آن ۶ ماه است و از نوامبر تا آوریل تداوم دارد، در دوره اقلیمی آینده این مدت به ۵ ماه کاهش پیدا می‌کند و دامنه آن از نوامبر تا مارس می‌باشد. نتایج تحلیل انواع یخبندان نشان داد که در هر سه نوع یخبندان، سری‌ها نا ایستا می‌باشند. در یخبندان‌های ضعیف جهت روند آن افزایشی و در یخبندان‌های متوسط و شدید جهت روند کاهش می‌باشد. افزایش تعداد یخبندان‌های ضعیف و کاهش نوع متوسط و شدید برای ایستگاه زابل بیانگر حساسیت یخبندان نسبت به پدیده گرمایش جهانی می‌باشد.

کلید واژه‌ها: شبیه سازی، یخبندان، مدل گردش عمومی جو (GCM)، زابل

۱- دانشیار اقلیم شناسی دانشگاه سیستان و بلوچستان

۲- دانشیار اقلیم شناسی دانشگاه سیستان و بلوچستان

۳- دانشجوی کارشناسی ارشد اقلیم شناسی دانشگاه سیستان و بلوچستان

## مقدمه

انجام پژوهش‌های مرتبط با تغییر اقلیم برای آمادگی هر چه بیشتر جهت مقابله و نیز کاهش هزینه‌های خسارت بار ناشی از این تغییر بسیار ضروری می‌باشد. رشد صنایع و به موجب آن مصرف بیش از حد سوخت‌های 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 (بابایان؛ ۱۳۸۶: ۳). بارزترین این تغییرات افزایش متوسط دمای کره زمین، افزایش پدیده‌های جدی اقلیمی نظیر سیل، توفان، تگرگ، توفان‌های حاره‌ای، امواج گرمایی، افزایش سطح آب دریاها، ذوب شدن یخ‌های قطبی، خشکسالی، کاهش دامنه شبانه روزی دما و پیامدهای آن می‌باشد. اقلیم سیستم پیچیده‌ای است که عمدتاً به دلیل افزایش گازهای گلخانه‌ای در حال تغییر است (بابایان و همکاران؛ ۱۳۸۸: ۱۳۶). سامانه آب و هوا به آرامی در حال دگرگون شدن است و نقش آن بر همه بخش‌های زندگی بشر روشن است. برای انجام پژوهش در موضوع تغییر اقلیم، نخست می‌بایست متغیرهای اقلیمی ناشی از تغییرپذیری گازهای گلخانه‌ای شبیه سازی شوند. روش‌های متفاوتی برای شبیه سازی آزمون شده‌اند. مدل شبیه سازی گردش عمومی جو (GCM) که در این پژوهش بکار گرفته شده است، یکی از این مدل‌ها می‌باشد. مدل‌های اقلیمی نیاز به زمان زیادی برای ارزیابی، آزمایش و اجرا دارند. بنابراین، مدل‌های تولید سناریوهای اقلیمی (SCGs) گزینه مناسبی برای این منظور می‌باشند، به شرطی که بتوانند رفتار مدل‌های پیچیده‌تر را الگوسازی نمایند و به آسانی در بسیاری از مناطق کاربرد داشته باشند (مسعودیان و غیور، ۱۳۸۰). پژوهش‌هایی که در زمینه مدل‌سازی اقلیمی مناطق گوناگون جهان با استفاده از مدل‌های آماری انجام شده می‌توان به شرح زیر بیان کرد:

جانسون<sup>۱</sup> و همکاران (۱۹۹۶) دو مدل مختلف به نام‌های USCLIMATECLIGEN را برای تولید داده‌های هواشناسی و پیش‌بینی آب و هوای نیوزلند بکار بردند (جانسون و همکاران؛ ۱۹۹۶، ۱۸۷۸). در پژوهش دیگری پیامدهای هیدرولوژی تغییر اقلیم به وسیله مدل‌های GCM و یک مدل کوچک مقیاس کردن آنالوگ در جنوب انگلستان توسط الشمی<sup>۲</sup> و همکاران (۲۰۰۵) آزمون شد (الشمی، ۲۰۰۵: ۲۴). تامسون<sup>۳</sup> (۱۹۹۵) در ارتباط با مدل‌سازی ۳۰ ساله آب و هوای ایستگاه‌های هواشناسی در نیوزلند اشاره کرد (تامسون و مولان؛ ۱۹۹۵: ۱۱۶). در این پژوهش چگونگی تبدیل داده‌های ماهانه به روزانه توسط تکنیک مولدهای هواشناسی بررسی شدند. ویلی<sup>۴</sup> و همکاران (۲۰۰۱) مدل SDSM را برای ریز مقیاس نمایی اطلاعات بارش و دما با استفاده از روش‌های آماری ابداع کردند (ویلی؛ ۲۰۰۱). هارمل<sup>۵</sup> 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: ۲۶). ویلکسو 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 بیشینه، کمینه، بارندگی و تابش روزانه خورشید به کار

1- G.L.Johnson  
2-M.L.Elshamy  
3 -C.S.Thompson  
4-Wilby  
5- R.D.Harmel

رود (ویلیکس و همکاران، ۱۹۹۲: ۷۵؛ ویلیکس و همکاران، ۱۹۹۹: ۳۵۲؛ ریچاردسونو همکاران، ۱۹۸۴: ۸۳؛ زمنف، ۱۹۹۸: ۹۶). مک کاگ<sup>۱</sup> و همکاران (۲۰۰۳) توانمندی مدل CLIMGEN را برای شبیه‌سازی پارامترهای هواشناسی در ایستگاه‌های انتاریوی جنوبی در کانادا مورد آزمایش قرار دادند (مک کاگ، ۲۰۰۳). در پژوهشی مارتین دوبروسکی<sup>۲</sup> در جمهوری چک ارزیابی مدل MET & ROLL را انجام داد. این مدل داده‌های دمای بیشینه و کمینه، تابش خورشیدی و بارش را بر روی یک ایستگاه هواشناسی مدل سازی می‌نماید (دوبروسکی: ۱۹۹۶، ۱۲)، (دوبروسکی ۱۹۹۶: ۱۰۰) (دوبروسکی، ۱۹۹۸). وجه مشترک همه این پژوهش‌ها که با مدل‌سازی آماری و شبیه‌سازی داده‌های هواشناسی به انجام رسیده است به این منظور بوده که بتوانند رفتار آب و هوایی در یک محل مشخص را پیش‌بینی نمایند. از آنجایی که یکی از پیامدهای تغییرپذیری آب و هوا که با احتمال زیاد به دنبال افزایش دما رخ خواهد داد، می‌تواند کاهش روزهای همراه با پدیده یخبندان باشد. بنابراین، هدف این پژوهش شبیه‌سازی پیامدهای تغییر اقلیم بر یخبندان‌های ایستگاه زابل است. روند تغییرات یخبندان ایستگاه مورد مطالعه با استفاده از مقایسه مدل‌های مختلف گردش عمومی جو و سرانجام برآورد یخبندان‌ها با شدت‌های متفاوت با بهترین مدل گردش عمومی جو پیش‌بینی خواهد شد.

### داده‌ها و روش‌ها

با توجه به هدف این پژوهش که شبیه‌سازی پیامدهای دگرگونی آب و هوا بر یخبندان ایستگاه زابل است. رسیدن به این هدف با کمک مقایسه و انتخاب بهترین مدل برازش داده شده به سری توسط مدل‌های گردش عمومی جو انجام شده است. بنابراین در گام نخست داده‌های روزانه ایستگاه همدید زابل در دوره آماری (۲۰۰۸ - ۱۹۶۶) فراهم شد، سپس داده‌های مدل گردش عمومی جو در دو دوره جداگانه ۲۰۰۴ - ۱۹۸۸ و ۲۰۳۹ - ۲۰۱۰ برای تهیه یک سناریوی تغییر اقلیم برای این ایستگاه بکار برده شد. پس از تهیه سناریوی پایه با انتخاب چهار مدل کاربردی از مدل‌های گردش عمومی جو اقدام به ارزیابی و صحت‌سنجی مدل‌های مذکور برای تولید داده‌های روزانه تا سال ۲۰۳۷ گردید. پس از انتخاب مدل مناسب اقدام به تولید داده‌های مصنوعی برای دوره اقلیمی آینده و استخراج تعداد و فراوانی یخبندان‌های با شدت مختلف برای ایستگاه زابل برای دوره اقلیمی آینده گردید.

### مبانی نظری مدل‌های مولد داده‌های هواشناسی

بیشتر مدل‌های مولد داده‌های هواشناسی از دو روش آماری استفاده می‌کنند: زنجیره مارکف (در نوع ریچاردسون) و توزیع نیمه تجربی (Semenov). به هر صورت (WGEN) و (LARS-WG) دو نمونه‌ای هستند که به ترتیب از روش‌های توزیع نیمه تجربی و مارکف استفاده می‌کنند (زهرایی، ۱۳۹۱).

در زنجیره مارکف (در نوع ریچاردسون) مجموعه‌ای از متغیرهای تصادفی  $X_j$  به صورتی مرتب می‌شوند که در آن  $j$  شماره روز است:  $j = 1, 2, 3, \dots, 366$  و  $X_j$  معرف یک پدیده خاص هواشناسی مانند یخبندان می‌باشد.

در این صورت  $p(x_j=1)=P_1(j)$  احتمال اقلیمی رخداد پدیده یخبندان در روز  $j$ ام  $(x_{j+1}=1|x_j=1)$   $P_{11}(j)=Pp_{11}(j)$  خواهد بود و احتمال شرطی رخداد پدیده یخبندان در روز معین  $j+1$  است. یعنی یخبندان در روز  $j+1$  رخ داده است.  $P_0(j)+p_1(j)=1$  و  $p_{00}(j)+p_{01}(j)$  دو حالت  $p_{01}(j)$  و  $p_{11}(j)$  احتمال گذار نامیده می‌شوند. به شرطی که برای تمامی روزهای  $j$ ام احتمال رخداد یک پدیده در روز  $J+1$  از فرمول زیر پیروی کند:

$$P = (x_{j+1} = 1 | x_i = x_i, i \leq j) = p(x_{j+1} = 1 | x_j = x_i) \quad \text{رابطه ۱}$$

اگر احتمال گذار به  $j$  وابسته نباشد آنگاه زنجیره مارکف بیان می‌دارد که زمان همگن می‌باشد. مرتبه  $m$  زنجیره مارکف (بطوریکه  $m=1,2,\dots$ ) به صورت زیر تعریف شود:

$$P = (x_{j+1} = 1 | x_i = x_i, i \leq j) = p(x_{j+1} = 1 | x_j = x_i, j - m \leq i \leq j) \quad \text{رابطه ۲}$$

مرتبه اول زنجیره مارکف برای رخداد هر پدیده با دو احتمال گذار شرطی چنین تعریف می‌شود:

$$P_{01} = \Pr(\text{روز } j-1 \text{ بدون یخبندان باشد} \mid \text{یخبندان در روز } j \text{ ام})$$

$$P_{11} = \Pr(\text{اگر روز } j-1 \text{ یخبندان باشد} \mid \text{یخبندان در روز } j \text{ ام})$$

معروف‌ترین WG بی‌گروه Rasco یا Serial می‌تواند قرار گیرد، LARS-WG است. اساس و تئوری این

مدل در مقاله (راسکو و همکاران، ۱۹۹۹) آمده است که از توزیع نیمه تجربی (Semenov) استفاده می‌کند:

$$EMP = \{a_0, a_i, h_i; i = 0, 1, 2, \dots, 10\} \quad \text{رابطه ۳}$$

که در اینجا EMP یک هیستوگرام با ده بازه با شدت‌های مختلف بارش است.

$$[a_{i-1}, a_i) \quad a_{i-1} < a_i$$

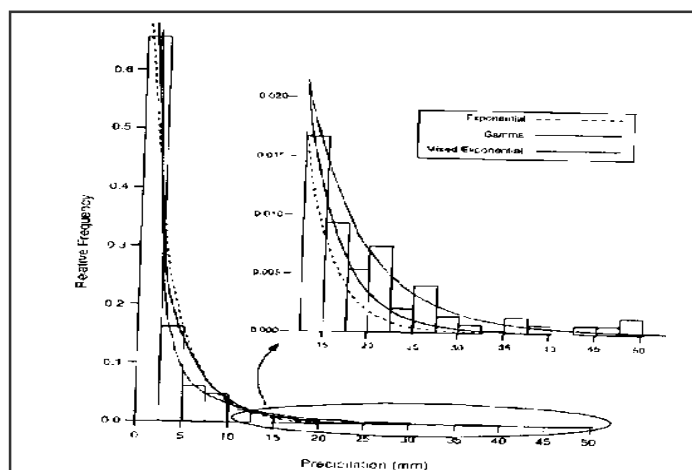
$h_i$  تعداد رخداد یخبندان در  $i$  امین فاصله را نشان می‌دهد.

توزیع نیمه تجربی (Semenov). قابل انعطاف است و می‌تواند تا حدودی تبدیل به تنوع وسیعی از شکل‌های مختلف با بازه‌های مختلف  $[a_{i-1}, a_i)$  شوند. فاصله  $[a_{i-1}, a_i)$  بر اساس توزیع قابل انتظار از رفتار متغیرهای هواشناسی است. برای تابش خورشیدی فاصله‌ها بین مقادیر بیشینه و کمینه داده‌های دیده‌بانی شده ماهانه برابر هستند، در صورتی که برای طول سری خشک و تر و بارش، اندازه فاصله‌ها به تدریج با افزایش  $i$ ، افزایش می‌یابد. در این دو مورد مقادیر کوچک به تعداد زیاد و مقادیر بزرگ به مقدار کمی وجود دارد که این نحوه انتخاب فاصله از یک دقت پایین برای فواصل کوچک جلوگیری می‌کند. در اینجا رخداد یخبندان با استفاده از سری‌های یخبندان و بدون یخبندان مدل‌سازی شده است. طول هر سری به طور تصادفی از توزیع نیمه تجربی ماهانه انتخاب شده است. برای یک روز یخبندان، یعنی روزی با کمینه دمای برابر با صفر درجه سلسیوس یا کمتر از آن، مقدار دما با به کار بردن توزیع نیمه تجربی به دست می‌آید. دمای بیشینه و کمینه روزانه با بکار بردن مدت یخبندان روز مورد نظر تولید می‌شود. مدل‌سازی دماهای بیشینه و کمینه روزانه به صورت فرآیندی آماری با لحاظ میانگین و انحراف معیار روزانه آن‌ها صورت می‌گیرد. مؤلفه‌های فصلی میانگین و انحراف معیار دما با استفاده از یک سری فوریه مرتبه سوم مدل‌سازی می‌شوند. مقادیر باقیمانده دما نیز با استفاده از توزیع نرمال مدل می‌شوند. چنانچه تابش آفتاب از توزیع نرمال تبعیت نکند آنگاه آن با استفاده از یک توزیع نیمه تجربی مستقل از دما مدل‌سازی می‌شود.

## ارزیابی و صحت سنجی مقایسه‌ای مدل‌های مختلف بر روی ایستگاه زابل

### مدل HADCM3:

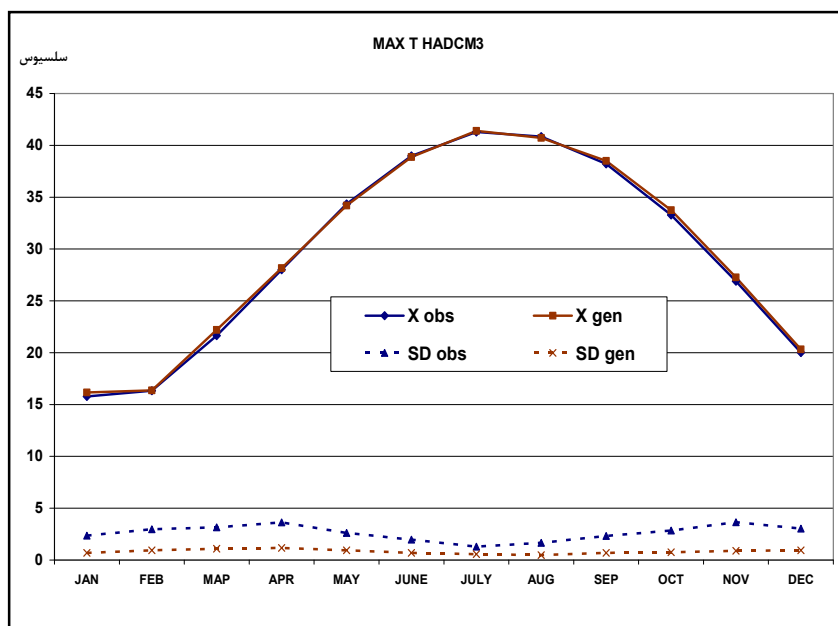
بر اساس خروجی شبیه‌سازی شده مدل HADCM3 در مؤلفه بیشینه دما انطباق کامل به خوبی دیده می‌شود. در مؤلفه کمینه در ماه‌های ژانویه و فوریه انطباق کامل دیده نمی‌شود و اختلاف در مقادیر دیده‌بانی و شبیه‌سازی شده مشاهده می‌گردد. از آنجا که موضوع پژوهش بررسی یخبندان‌های زابل می‌باشد پس اصل در بررسی مقایسه‌ای مقادیر انطباق کامل در دوره سرد سال به خصوص در فصل زمستان است. نتایج خروجی مدل در جدول شماره (۱) و مقایسه میانگین و انحراف معیار مقادیر دیده بانی شده (obs) و مقادیر شبیه سازی شده (gen) در اشکال شماره ۲ و ۳ آمده است.



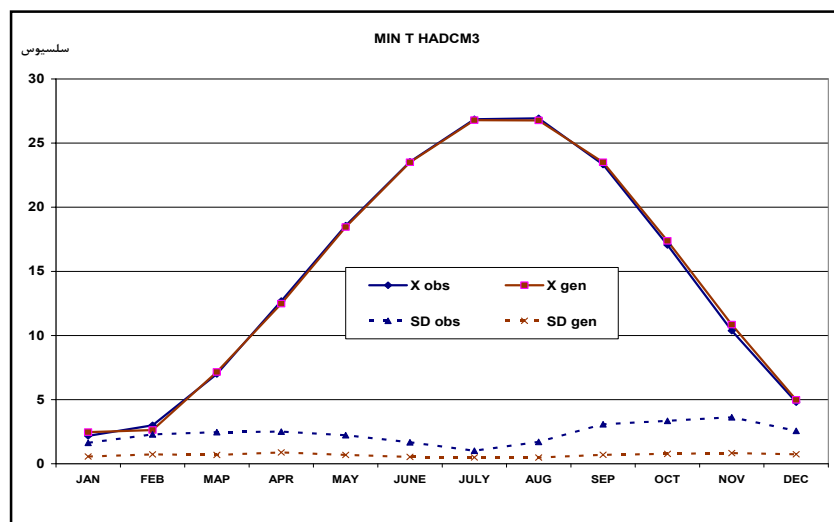
شکل ۱: مقایسه مقادیر بارش مدل شده با استفاده از تابع گاما، نمایی و نمایی مخلوط

جدول ۱: مقایسه مقادیر دیده بانی شده (obs) و مقادیر شبیه سازی شده (gen) مؤلفه های دمایی زابل بر اساس مدل HADCM3

		JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUNE	JULY	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC
MIN TEMP	X obs	2.18	3	7	12.69	18.57	23.54	26.86	26.93	23.33	17.06	10.38	4.8
	SD obs	1.63	2.291	2.464	2.505	2.225	1.668	1.021	1.706	3.079	3.351	3.621	2.566
	X gen	2.46	2.63	7.15	12.48	18.45	23.5	26.79	26.77	23.5	17.38	10.85	4.98
	SD gen	0.56	0.733	0.692	0.884	0.691	0.533	0.491	0.485	0.702	0.766	0.835	0.738
MAX TEMP	X obs	15.78	16.33	21.64	28	34.35	38.98	41.29	40.84	38.21	33.29	26.89	20.01
	SD obs	2.363	2.968	3.151	3.64	2.623	1.978	1.294	1.661	2.325	2.85	3.644	3.028
	X gen	16.16	16.36	22.2	28.16	34.19	38.87	41.4	40.72	38.5	33.75	27.26	20.32
	SD gen	0.69	0.939	1.093	1.171	0.946	0.7	0.577	0.479	0.689	0.755	0.894	0.937



شکل ۲: مقایسه میانگین و انحراف معیار مقادیر دیده بانی (obs) و شبیه سازی شده (gen) مؤلفه کمینه با مدل HADCM3

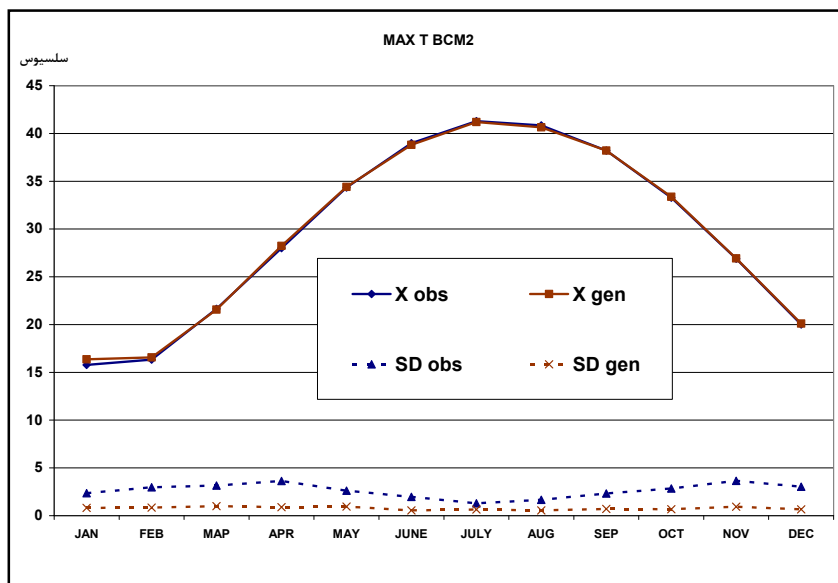


شکل ۳: مقایسه میانگین و انحراف معیار مقادیر دیده بانی (obs) و شبیه سازی شده (gen) مؤلفه بیشینه با مدل HADCM3

مدل BCM2

نتایج خروجی مدل BCM2 حاکی از آن است که در مؤلفه بیشینه به جز در ماه ژانویه انطباق خوبی بین مقادیر دیده بانی شده (obs) و مقادیر شبیه سازی شده (gen) در سایر ماه‌های سال مشاهده می‌گردد. در مورد

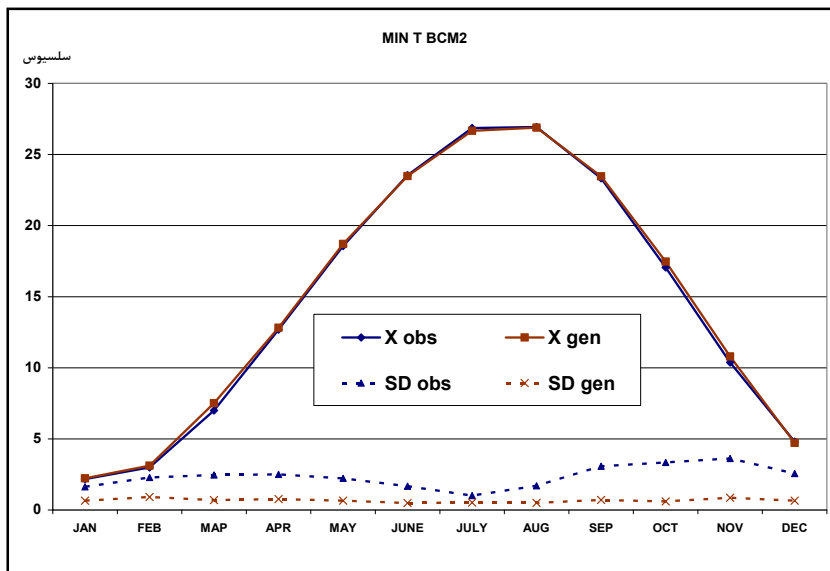
مؤلفه کمینه می‌توان گفت که انطباق بسیار خوبی بین مقادیر دیده بانی شده (obs) و مقادیر شبیه سازی شده (gen) به خصوص در دوره سرد سال دیده می‌شود. نتایج خروجی مدل در جدول شماره (۲) و مقایسه میانگین و انحراف معیار مقادیر دیده بانی شده (obs) و مقادیر شبیه سازی شده (gen) در اشکال شماره ۴ و ۵ آمده است.



شکل ۴: مقایسه میانگین و انحراف معیار مقادیر دیده بانی (obs) و شبیه سازی شده (gen) مؤلفه کمینه با مدل BCM2

جدول ۲: مقایسه مقادیر دیده بانی شده (obs) و مقادیر شبیه سازی شده (gen) مؤلفه های دمایی زابل بر اساس مدل BCM2

		JAN	FEB	MAP	APR	MAY	JUNE	JULY	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC
MIN TEMP	X obs	2.18	3	7	12.69	18.57	23.54	26.86	26.93	23.33	17.06	10.38	4.8
	SD obs	1.63	2.291	2.464	2.505	2.225	1.668	1.021	1.706	3.079	3.351	3.621	2.566
	X gen	2.23	3.12	7.51	12.82	18.71	23.48	26.66	26.89	23.46	17.47	10.8	4.72
	SD gen	0.652	0.913	0.698	0.774	0.656	0.492	0.52	0.498	0.705	0.61	0.867	0.659
MAX TEMP	X obs	15.78	16.33	21.64	28	34.35	38.98	41.29	40.84	38.21	33.29	26.89	20.01
	SD obs	2.363	2.968	3.151	3.64	2.623	1.978	1.294	1.661	2.325	2.85	3.644	3.028
	X gen	16.37	16.56	21.57	28.23	34.41	38.81	41.19	40.65	38.21	33.37	26.93	20.11
	SD gen	0.811	0.852	1.001	0.9	0.949	0.56	0.647	0.558	0.71	0.68	0.934	0.669



شکل ۵: مقایسه میانگین و انحراف معیار مقادیر دیده بانی (obs) و شبیه سازی شده (gen) مؤلفه بیشینه با مدل BCM2

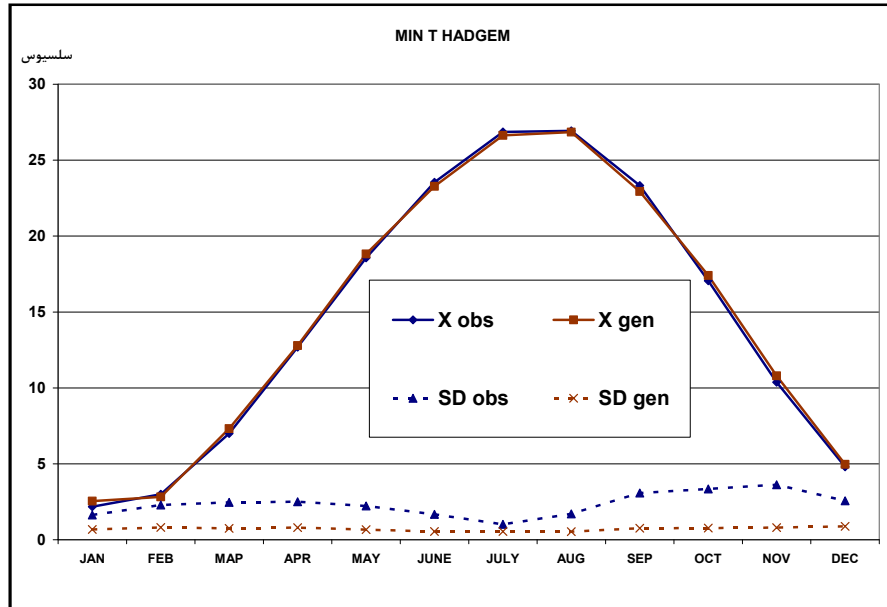
#### مدل HADGEM

در مورد مؤلفه بیشینه نتایج مدل HADGEM نیز همانند مدل HADCM3 نشان داد که مدل در ماه ژانویه نارسایی داشته و انطباق خوبی دیده نمی‌شود و در سایر ماه‌ها انطباق کامل مشاهده می‌گردد. در مورد مؤلفه کمینه دما نیز در دو ماه ژانویه و فوریه بین مقادیر دیده بانی شده (obs) و مقادیر شبیه سازی شده (gen) مدل نارسایی داشته و انطباق مناسبی مشاهده نمی‌گردد. نتایج خروجی مدل در جدول شماره (۳) و مقایسه میانگین و انحراف معیار مقادیر دیده بانی شده (obs) و مقادیر شبیه سازی شده (gen) در اشکال شماره ۶ و ۷ آمده است.

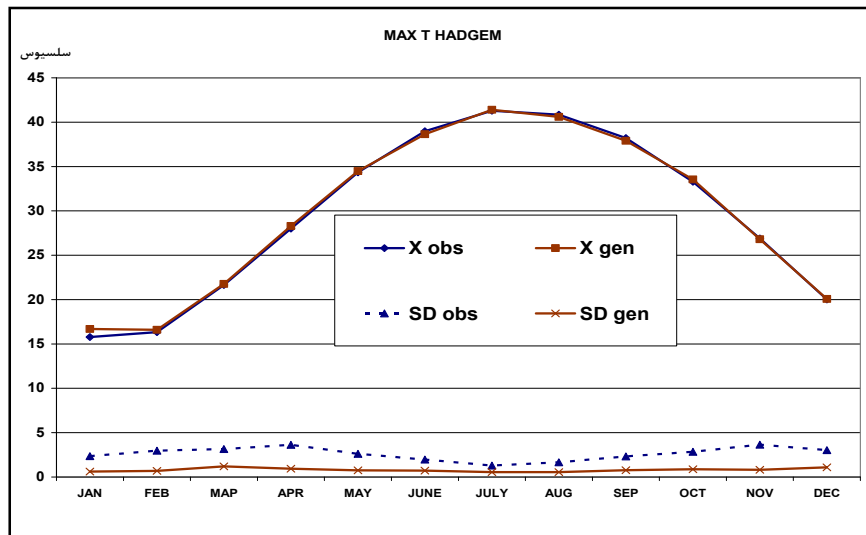
جدول ۳: مقایسه مقادیر دیده بانی شده (obs) و مقادیر شبیه سازی شده (gen) مؤلفه های دمایی زابل بر اساس مدل HADGEM

		JAN	FEB	MAP	APR	MAY	JUNE	JULY	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC
MIN TEMP	X obs	2.18	3	7	12.69	18.57	23.54	26.86	26.93	23.33	17.06	10.38	4.8
	SD obs	1.63	2.291	2.464	2.505	2.225	1.668	1.021	1.706	3.079	3.351	3.621	2.566
	X gen	2.55	2.82	7.32	12.79	18.82	23.28	26.63	26.85	22.94	17.41	10.8	4.97
	SD gen	0.68	0.808	0.752	0.797	0.663	0.542	0.54	0.529	0.756	0.769	0.799	0.883
MAX TEMP	X obs	15.78	16.33	21.64	28	34.35	38.98	41.29	40.84	38.21	33.29	26.89	20.01
	SD obs	2.363	2.968	3.151	3.64	2.623	1.978	1.294	1.661	2.325	2.85	3.644	3.028
	X gen	16.69	16.6	21.77	28.29	34.49	38.64	41.4	40.6	37.9	33.55	26.81	20.08
	SD gen	0.618	0.686	1.201	0.944	0.753	0.728	0.56	0.555	0.772	0.878	0.815	1.086





شکل ۶: مقایسه میانگین و انحراف معیار مقادیر دیده بانی (obs) و شبیه سازی شده (gen) مؤلفه کمینه با مدل HADGEM



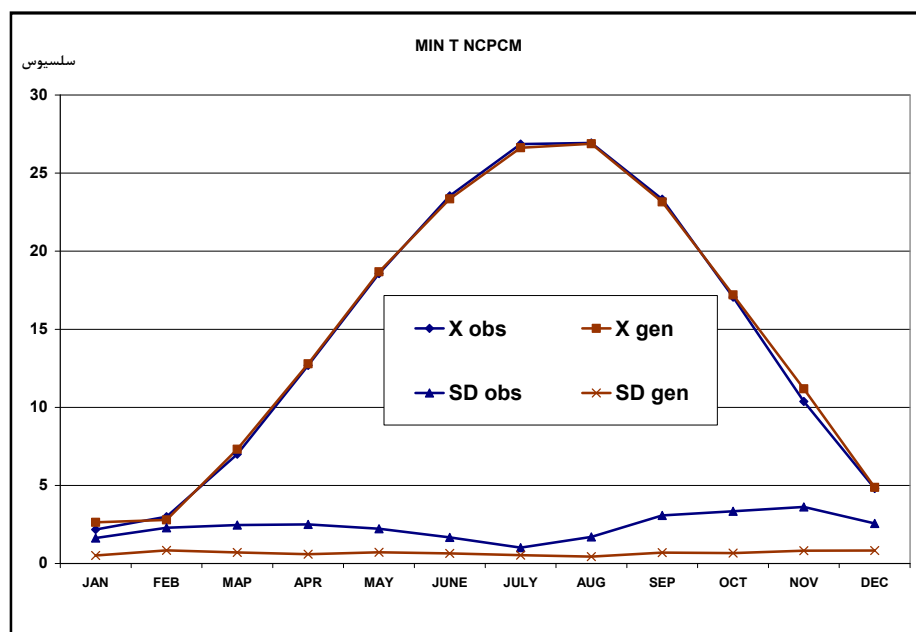
شکل ۷: مقایسه میانگین و انحراف معیار مقادیر دیده بانی (obs) و شبیه سازی شده (gen) مؤلفه بیشینه با مدل HADGEM

## مدل NCPCM

مقایسه مقادیر با توجه به مدل NCPCM حاکی از آن است که در مورد مؤلفه بیشینه دما همانند مدل‌های HADGEM و HADCM3 مدل در اوایل زمستان و در ماه ژانویه نارسایی داشته و در سایر ماه‌ها انطباق کامل بین مقادیر دیده بانی شده (obs) و مقادیر شبیه‌سازی شده (gen) دیده می‌شود. در مورد مؤلفه کمینه نیز مدل در ماه‌های ژانویه و نوامبر نارسایی داشته و در سایر ماه‌ها بین مقادیر دیده بانی شده (obs) و مقادیر شبیه‌سازی شده (gen) انطباق خوبی دیده می‌شود. نتایج خروجی مدل در جدول شماره (۴) و مقایسه میانگین و انحراف معیار مقادیر دیده‌بانی شده (obs) و مقادیر شبیه‌سازی شده (gen) در اشکال شماره ۸ و ۹ آمده است.

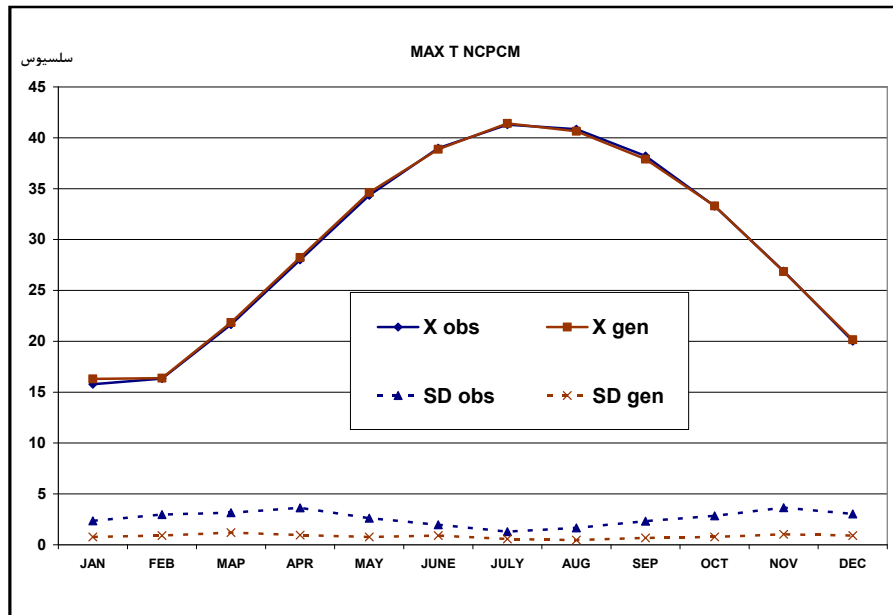
جدول ۴: مقایسه مقادیر دیده بانی شده (obs) و مقادیر شبیه‌سازی شده (gen) مؤلفه‌های دمایی زابل بر اساس مدل NCPCM

		JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUNE	JULY	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC
MIN TEMP	X obs	2.18	3	7	12.69	18.57	23.54	26.86	26.93	23.33	17.06	10.38	4.8
	SD obs	1.63	2.291	2.464	2.505	2.225	1.668	1.021	1.706	3.079	3.351	3.621	2.566
	X gen	2.64	2.79	7.32	12.79	18.68	23.35	26.62	26.88	23.15	17.2	11.19	4.88
	SD gen	0.516	0.844	0.709	0.595	0.721	0.651	0.533	0.442	0.697	0.664	0.825	0.836
MAX TEMP	X obs	15.78	16.33	21.64	28	34.35	38.98	41.29	40.84	38.21	33.29	26.89	20.01
	SD obs	2.363	2.968	3.151	3.64	2.623	1.978	1.294	1.661	2.325	2.85	3.644	3.028
	X gen	16.31	16.38	21.84	28.23	34.62	38.87	41.41	40.64	37.91	33.3	26.85	20.15
	SD gen	0.764	0.916	1.194	0.959	0.773	0.91	0.574	0.463	0.671	0.77	1.028	0.914



شکل ۸: مقایسه میانگین و انحراف معیار مقادیر دیده بانی (obs) و

شبیه‌سازی شده (gen) مؤلفه کمینه با مدل NCPCM



شکل ۹. مقایسه میانگین و انحراف معیار مقادیر دیده بانی (obs) و شبیه سازی شده (gen) مؤلفه بیشینه با مدل NCPCM

### صحت سنجی آماری مدل های مورد مطالعه در روند پژوهش

پس از مقایسه چشمی مقادیر میانگین و انحراف معیار اقدام به صحت سنجی مدل های بکار گرفته شده از طریق محاسبه بایاس (Bias) و مقدار خطای مطلق (MAE) هر کدام از مدل ها گردید تا مدل مناسب تر شناسایی شود. 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. مقدار بایاس و خطای مطلق با استفاده از معادلات زیر به دست می آید:

$$\text{Bias} = 1/n \sum_{i=1}^n (s - o) \quad \text{رابطه ۴}$$

$$\text{MAE} = 1/n \sum_{i=1}^n |S - O| \quad \text{رابطه ۵}$$

که در آن S و O به ترتیب نشان دهنده پارامتر مدل شده و دیده بانی شده هستند که شامل پارامترهای کمینه دما، بیشینه دما، بارش و تابش و تعداد ماه های سال است. نتایج صحت سنجی مدل برای مؤلفه های کمینه و بیشینه دما در جدول شماره (۵) آمده است.

جدول ۵. محاسبه بایاس و خطای مطلق مدل‌های مورد مطالعه برای ایستگاه زابل

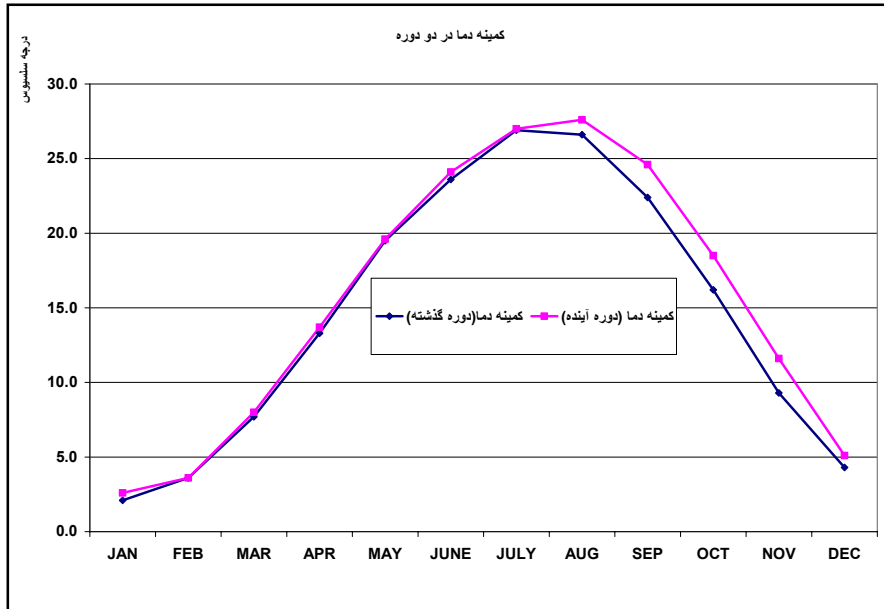
بیشینه دما		کمینه دما		مؤلفه مدل
MAE	Bias	MAE	Bias	
۰/۲۵	۰/۱۹	۰/۲۱	۰/۰۵	HADCM3
۰/۱۵	۰/۰۶	۰/۱۹	۰/۱۲	BCM2
۰/۲۶	۰/۱	۰/۲۶	۰/۰۷	HADGEM
۰/۱۸	۰/۰۷	۰/۲۴	۰/۰۹	NCPCM

نتایج حاصل از صحت سنجی آماری مدل‌های مذکور بیانگر آن است که مدل HADGEM با توجه به بیشترین خطای مطلق در هر دو مؤلفه کمینه و بیشینه دما نامناسب‌ترین مدل در بین این مدل‌ها است. با توجه به مقادیر خطای مطلق هر کدام از مدل‌ها برای هر دو مؤلفه کمینه و بیشینه دما، مدل BCM2 برای برآزش داده‌های دما مناسب‌تر باشد. بنابراین، با توجه به هر دو روش بکار گرفته شده این مدل جهت تولید داده‌های دمایی و پیش‌بینی روند یخبندان زابل از دقت بالاتری برخوردار است.

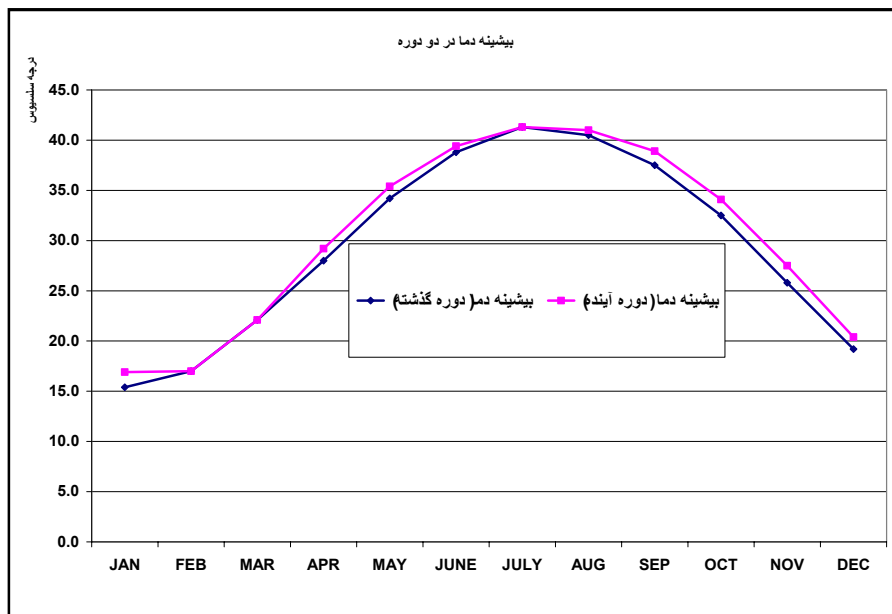
### بحث و نتایج

#### بررسی تغییرات مؤلفه‌های دمایی زابل در دوره اقلیمی آینده با استفاده از مدل BCM2

نتایج حاصل از تحلیل داده‌های دمایی زابل در دو دوره گذشته و آینده بیانگر آن بود که در دوره اقلیمی آینده میزان دما برای هر دو مؤلفه کمینه و بیشینه افزایش خواهد یافت. در دوره اقلیمی آینده در مورد مؤلفه بیشینه دما همان طور که از شکل (۱۱) مشخص است میزان افزایش دما برای فصول بهار و پاییز بیش از فصول زمستان و تابستان می‌باشد. کمترین میزان افزایش دما ابتدا در فصل زمستان و سپس در فصل تابستان مشاهده می‌گردد. شکل (۱۰) مقایسه مؤلفه کمینه برای دوره اقلیمی گذشته و آینده را نشان می‌دهد. نتایج محاسبات و تولید داده برای مؤلفه کمینه بیانگر آن است که در دوره اقلیمی آینده بیشترین میزان افزایش دما در نیمه سرد سال از آگوست تا فوریه مشاهده می‌گردد.



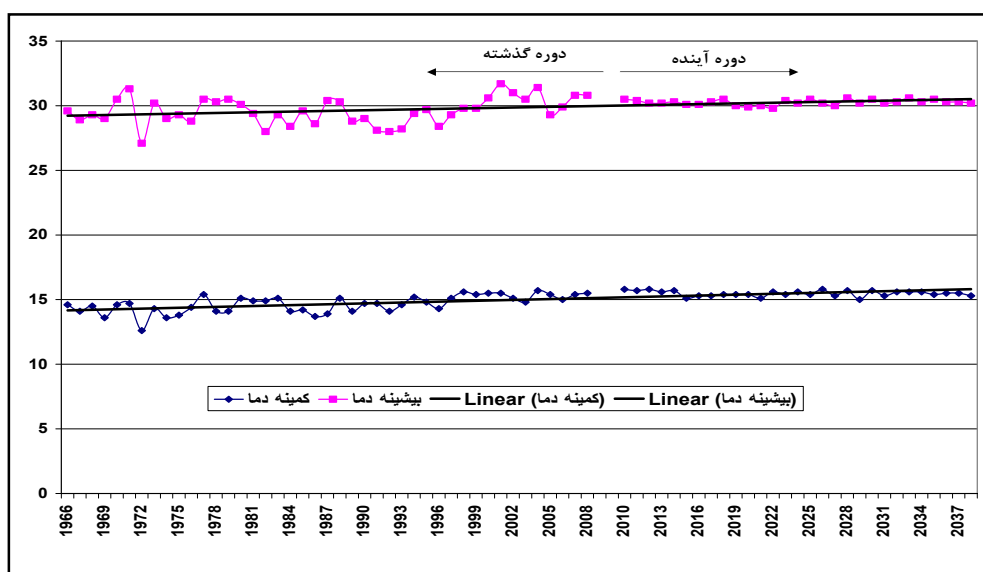
شکل ۱۰: مقایسه میانگین کمینه دما در دو دوره اقلیمی گذشته و آینده



شکل ۱۱: مقایسه میانگین بیشینه دما در دو دوره اقلیمی گذشته و آینده

پس از مقایسه میانگین مؤلفه‌های دمایی اقدام به مقایسه میزان سالانه مؤلفه‌های دمایی برای دو دوره اقلیمی گذشته و آینده گردید و جهت مشاهده میزان ایستایی یا ناپیوستایی هر کدام از سری‌ها خط روند بر هر کدام از

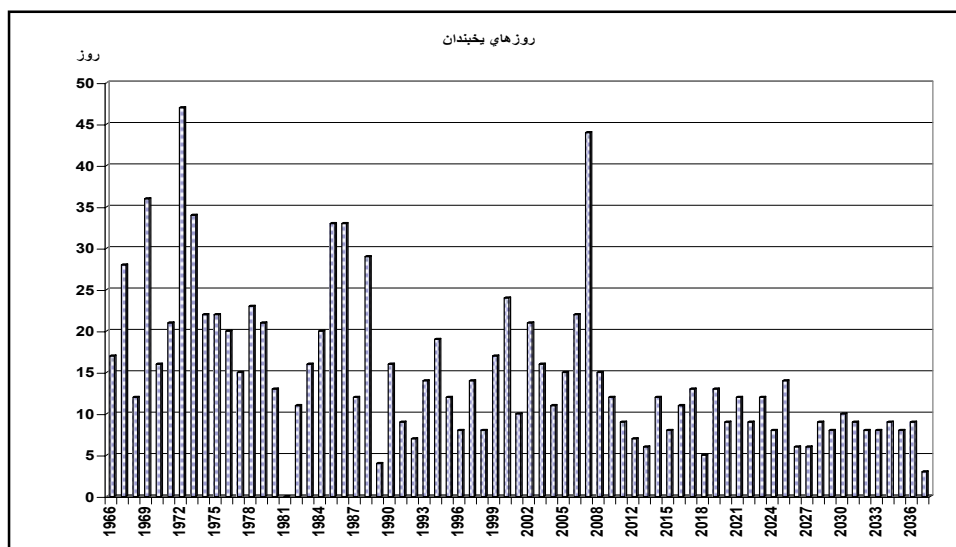
مؤلفه‌ها برازش گردید تا در صورت نایستایی جهت روند برای هر کدام مشخص شود. همان طور که از شکل (۱۲) پیداست هر دو مؤلفه در طول سری خود یک وضعیت نایستا دارند که جهت روند برای هر دو مؤلفه افزایشی می‌باشد.



شکل ۱۲: مقایسه مؤلفه‌های دمای سالانه و خط روند برازش یافته بر آن در دو دوره اقلیمی گذشته و آینده

### بررسی تغییرات یخبندان‌های زابل در دوره اقلیمی آینده با استفاده از مدل BCM2

پس از تحلیل مؤلفه‌های دمایی زابل برای هر دو دوره اقلیمی آینده و ارزیابی میزان تغییرات هر کدام اقدام به استخراج روزهای یخبندان ایستگاه به صورت کلی گردید تا ابتدا روند آن‌ها برای دوره اقلیمی آینده مشخص گردد. روند کلی تعداد یخبندان‌های سالانه برای هر دو دوره اقلیمی در شکل (۱۳) آمده است. همان طور که از نمودار تعداد یخبندان‌های سالانه پیداست تعداد یخبندان‌های زابل در دوره اقلیمی آینده به میزان چشمگیری کاهش پیدا خواهد نمود که همبستگی کامل این کاهش با افزایش میانگین دمای کمینه دوره سرد سال در دوره اقلیمی آینده که پیش‌تر ذکر گردید، تایید می‌گردد.



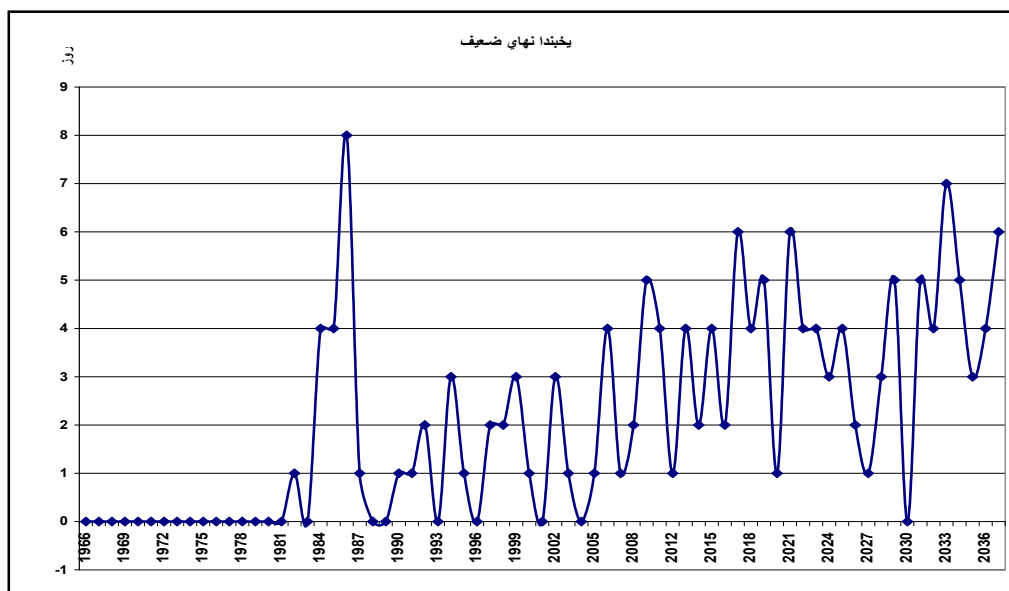
شکل ۱۳: تعداد یخبندان های سالانه در دو دوره اقلیمی گذشته و آینده

پس از تعیین کلی روند یخبندان های برای هر دو دوره اقلیمی اقدام به استخراج یخبندان های با شدت مختلف برای هر دو سری گردید. در پژوهش یخبندان های کمتر از  $-1$  درجه سلسیوس را به عنوان یخبندان های ضعیف، یخبندان های بین  $-3$  و  $-1$  درجه سلسیوس به عنوان یخبندان های متوسط و یخبندان های با دمای کمتر از  $-3$  درجه به عنوان یخبندان های شدید در نظر گرفته شد. پس از استخراج فراوانی انواع یخبندان ها، ابتدا اقدام به مقایسه میانگین آن ها طی دو دوره اقلیمی گذشته و آینده و در گاه بعد اقدام به ارزیابی ایستایی یا نایستایی سری هر کدام از شدت ها و تعیین جهت آن ها برای دو دوره گردید.

جدول ۶: مقایسه میانگین یخبندان های زابل بر اساس شدت های مختلف طی دو دوره گذشته (۲۰۰۸-۱۹۶۶) و آینده (۲۰۳۷-۲۰۱۰)

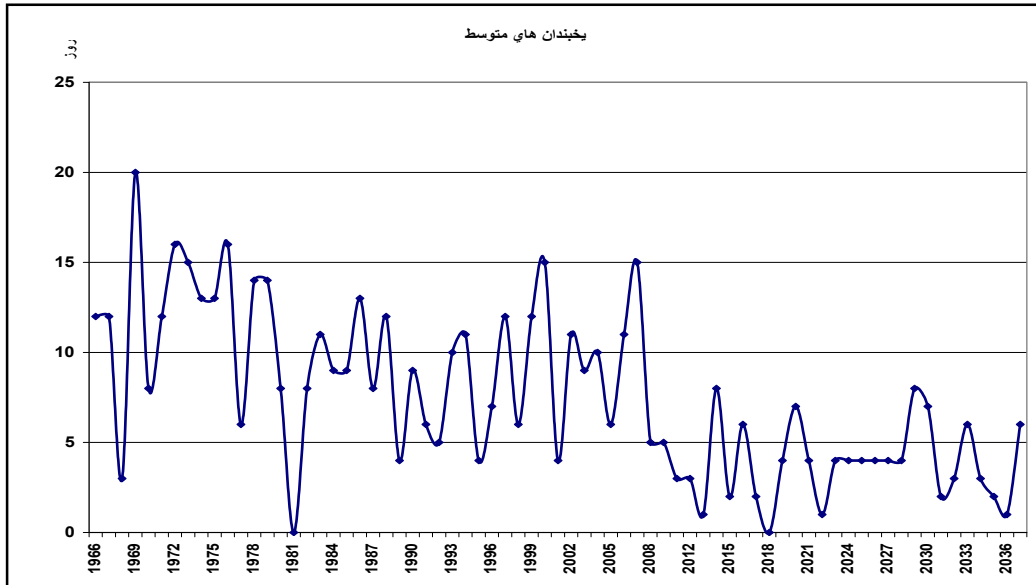
	شدت یخبندان	نوامبر	دسامبر	ژانویه	فوریه	مارس	آوریل
دوره گذشته	ضعیف	۰	۰/۱	۰/۳	۰/۴	۰/۲	۰
	متوسط	۰/۵	۲/۲	۴/۴	۳/۲	۰/۹	۰/۰۷
	شدید	۰/۳	۲/۲	۳/۳	۲/۲	۰/۱	۰
	جمع	۰/۸	۴/۵	۸	۵/۸	۱/۲	۰/۰۷
دوره آینده	ضعیف	۰/۰۷	۰/۳	۲/۱	۱/۱	۰/۱	۰
	متوسط	۰	۰/۴	۱/۴	۲/۱	۰/۱	۰
	شدید	۰	۰/۴	۱/۴	۰/۷	۰	۰
	جمع	۰/۰۷	۱/۱	۴/۹	۳/۹	۰/۲	۰

در جدول شماره (۶) میانگین تعداد یخبندان‌های با شدت‌های متفاوت برای هر دو دوره اقلیمی آمده است. همان‌طور که از جدول پیداست دامنه یخبندان‌های زابل در دوره اقلیمی گذشته به مدت ۶ ماه از نوامبر تا آوریل است در حالی که در دوره اقلیمی آینده این دامنه به ۵ ماه کاهش پیدا کرده که دامنه آن از نوامبر تا مارس می‌باشد. نتایج محاسبات مربوط به محاسبه میانگین در دو دوره نشان از کاهش میانگین آن‌ها در دوره اقلیمی آینده نسبت به دوره گذشته می‌باشد. کمترین میزان افزایش مربوط به اواسط پاییز و ماه نوامبر با حدود ۰/۱ روز کاهش در تعداد یخبندان‌های در دوره اقلیم آینده نسبت به دوره گذشته مربوط به ماه دسامبر با حدود ۳/۴ روز کاهش می‌باشد. در مورد یخبندان‌های ضعیف نکته قابل توجه افزایش قابل توجه آن در دوره اقلیمی آینده نسبت به دوره گذشته می‌باشد که بیشترین مقدار مربوط به فصل زمستان است. بر عکس یخبندان‌های با شدت ضعیف در مورد یخبندان‌های متوسط و شدید می‌توان گفت بر خلاف یخبندان‌های ضعیف تعداد آن‌ها در دوره اقلیمی آینده نسبت به دوره گذشته کاهش خواهد یافت. در گام پایانی سری سالانه هر کدام از انواع یخبندان‌ها برای هر دو دوره اقلیمی محاسبه و ترسیم گردید تا میزان ایستایی و ناپایداری آن‌ها و همچنین جهت روند مشخص گردد.

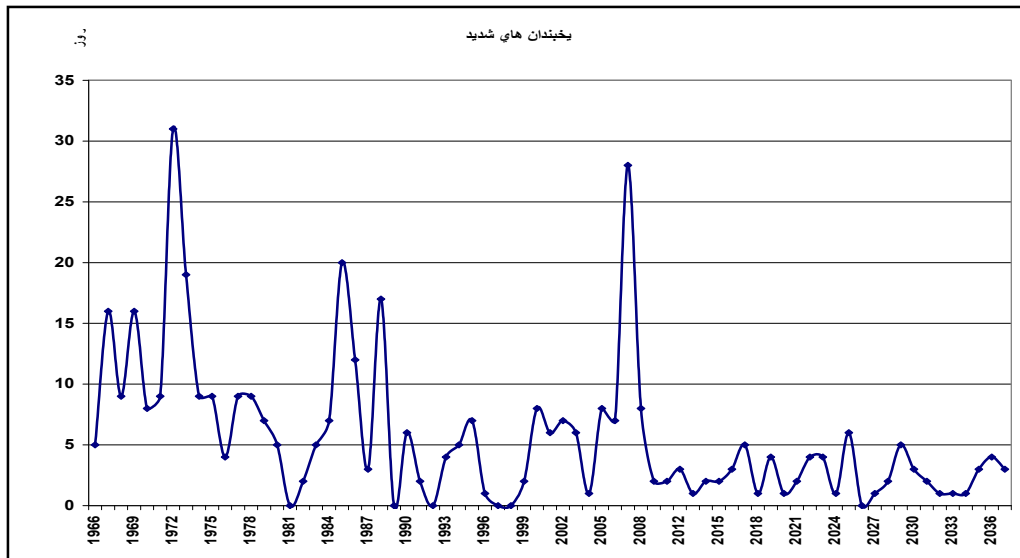


شکل ۱۴: تعداد یخبندان‌های ضعیف سالانه در دو دوره اقلیمی گذشته و آینده





شکل ۱۵: تعداد یخبندان های متوسط سالانه در دو دوره اقلیمی گذشته و آینده



شکل ۱۶: تعداد یخبندان های شدید سالانه در دو دوره اقلیمی گذشته و آینده

همان طور که از اشکال ۱۲ تا ۱۶ پیداست. در هر سه نوع یخبندان سری ها نا ایستا می باشند که در یخبندان های ضعیف جهت روند آن افزایشی و در یخبندان های متوسط و شدید جهت روند کاهش می باشد. افزایش تعداد یخبندان های ضعیف و کاهش نوع متوسط و شدید برای ایستگاه زابل بیانگر میزان تأثیرپذیری آن در دوره آینده اقلیمی از پدیده گرمایش جهانی می باشد.

### تحلیل روند یخبندان های زابل

پس از استخراج و تحلیل یخبندانها با شدت متفاوت اقدام به ارزیابی روند برای هر کدام بر اساس روشهای ناپارامتری کندال و سنس استیمیتور گردید. در گام اول مقدار Z و همچنین کرانهای بالا و پایین شیب روند برای دو سطح اطمینان ۹۵ و ۹۹ درصد بدست آمد. نتایج محاسبات مربوط به روند سریها در جدول شماره آمده است. نتایج محاسبات مربوط به ارزیابی روند سریها حاکی از آنست که در تمام مقیاسهای شدت یخبندان سریها ناپایستا می باشد. سری یخبندانهای ضعیف با هر دو آمار ناپارامتری بکار گرفته شده در سطح ۹۹ درصد دارای روند افزایشی در سری خود است. سایر سریها نیز شامل متوسط و شدید نیز دارای روند با سطح اطمینان ۹۹ درصد در سری خود می باشند با این تفاوت که جهت روند برای آنها کاهشی است. (جدول ۷)

جدول ۷: تعیین مقادیر Z و کرانهای بالا و پایین شیب روند یخبندانهای ایستگاه زابل

نوع یخبندان	Test Z	Sig	Q	Qmin99	Qmax99	Qmin95	Qmax95	B
ضعیف	3.72	***	0.06	0.00	0.10	0.03	0.09	0.94
متوسط	-5.64	***	-0.14	-0.20	-0.09	-0.18	-0.10	12.15
شدید	-4.45	***	-0.10	-0.16	-0.04	-0.14	-0.06	8.35

### نتیجه گیری

نتایج رفتار اقلیمی دوره گذشته با توجه به سناریوهای پایه تغییر اقلیم توسط چهار مدل از مدل های گردش عمومی جو شامل HADGEM، BCM2، HADCM3 و NCPCM آزمون شدند. پس از شبیه سازی مقادیر اقدام به صحت سنجی مدل های مذکور توسط دو روش آماری و مقایسه ای گردید. نتایج هر دو روش حاکی از آن بود که مدل BCM2 به بهترین نحو می تواند یخبندانهای زابل را جهت دوره اقلیمی آینده مدل سازی نماید. پس از انتخاب مدل اقدام به تولید داده ها گردید نتایج مدل حاکی از آن بود که میانگین مؤلفه های دمایی در دوره اقلیمی آینده نسبت به دوره گذشته افزایش خواهد یافت که بیشترین این افزایش در فصول بهار و پاییز بیش از فصول زمستان و تابستان می باشد. کمترین میزان افزایش دما ابتدا در فصل زمستان و سپس در فصل تابستان مشاهده می گردد. نتایج محاسبات و تولید داده برای مؤلفه کمینه بیانگر آن بود که در دوره اقلیمی آینده بیشترین میزان افزایش دما در نیمه سرد سال از آگوست تا فوریه مشاهده می گردد. از لحاظ روند سالانه سری هر دو سری ناپایستا بودند که جهت روند برای هر دو افزایشی بود. تحلیل تعداد یخبندان بیانگر آن بود که شمار روزهای یخبندان زابل به میزان چشمگیری کاهش پیدا خواهد نمود که همبستگی کامل این کاهش با افزایش میانگین دمای کمینه دوره سرد سال تایید می گردد. نتایج نشان داد که دامنه یخبندان که اکنون به مدت ۶ ماه از نوامبر تا آوریل است در آینده این دامنه به ۵ ماه کاهش پیدا می کند که دامنه آن از نوامبر تا مارس می باشد. کمترین میزان افزایش یخبندانها مربوط به اواسط پاییز و ماه نوامبر با حدود ۰/۱ روز کاهش در تعداد یخبندانهای در دوره اقلیم آینده نسبت به دوره گذشته است.

بیشترین میزان افزایش در میزان یخبندان‌های دوره آینده نسبت به دوره گذشته مربوط به ماه دسامبر با حدود ۳/۴ روز کاهش می‌باشد. در مورد یخبندان‌های ضعیف نکته قابل توجه افزایش قابل توجه آن در دوره اقلیمی آینده نسبت به دوره گذشته می‌باشد که بیشترین مقدار مربوط به فصل زمستان است. بر عکس یخبندان‌های با شدت ضعیف در مورد یخبندان‌های متوسط و شدید می‌توان گفت بر خلاف یخبندان‌های ضعیف تعداد آن‌ها در دوره اقلیمی آینده نسبت به دوره گذشته کاهش خواهد یافت.

## منابع

۱. بابائیان، ا.، نجفی نیک، ز.، حبیبی نوخندان، م.، زابل عباسی، ف.، ملبوسی، ش.، ادب، ح. (۱۳۸۸). ارزیابی تغییر اقلیم کشور در دوره ۲۰۳۹-۲۰۱۰ میلادی با استفاده از ریز نمایی داده‌های مدل گردش عمومی جو ECHO-G. فصلنامه جغرافیا و توسعه، شماره ۱۶. صص ۱۵۲-۱۳۵.
۲. بابائیان، ا.، کریمیان، م.، مدیریان، ر. (۱۳۸۶). مدل‌سازی اقلیم و مطالعه تغییر اقلیم در ایران. مجری طرح. پژوهشکده اقلیم شناسی. گزارش پروژه.
۳. زهرایی، ا.، شبیه‌سازی تغییرات اقلیمی استان سیستان و بلوچستان با استفاده از ریزگردانی داده‌های مدل گردش عمومی جو (GCMS) برای دوره اقلیمی ۲۰۴۰-۲۰۰۹، پایان نامه کارشناسی ارشد، گروه اقلیم شناسی دانشگاه سیستان و بلوچستان
۴. مسعودیان، ا.، غیور، ح. (۱۳۸۰). نخستین گام در مدل‌سازی اقلیمی. انتشارات دانشگاه اصفهان.
5. Dubrovsky M., 1998: Estimating climate change impacts on crop yields with use of crop growth model and weather generator. Proc. 14th Conf. Prob. Stat. AMS.
6. Dubrovsky, M., 1996: Met&Roll: the stochastic generator of daily weather series for the crop growth model. Meteorological Bulletin 49, 97-105.
7. Dubrovsky, M., 1996: Validation of the stochastic Weather Generator Met&ROLL, MeteorologickeoZpravy, Vol49, pp. 12q – 1380.
8. Elshamy, M.E., Wheater, .H.S., Gedney, .N., Huntingford, .C., 2005: Evaluation of the rainfall component of weather generator for climate change studies. Journal of hydrology, 326:1-24.
9. Harmel, R.D, et.al, 2002: Evaluating the Adequacy of Simulating Maximum and Minimum Daily Air Temperature With the Normal Distributian, Canadian Society for engineering , 26pp.
10. 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 35, 1878-1896.
11. Mckague, k., et. Al 2003: Clim Gen- A ZGnvenient weather Genera Tion Tool for Canadian climat stations, proceeding of CCAE/SCGR 2003 Meeting, Montreal, Canada.
12. Rasco, P., Szeidl, L., and Semenov, M.A., 1991: A serial approach to local stochastic models. J. Ecological Modeling 57, 27-41.
13. 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 pp.
14. Semenov, M.A., and Barrow, E.M., 2002: LARS-WG a stochastic weather generator for use in climate impact studies. User's manual, Version 3.0.
15. Semenov, M.A., Brooks, R.J., Barrow, E.M., and Richardson, C.W., 1998: Comparison of the WGEN and LARS-WG stochastic weather generators in divers climates. Climate Research 10, 95-107.
16. Semenov, M.A., and Barrow, E.M., 1997: Use of a stochastic Weather Generator in the development of Climate Change Scenarios. Climatic Change 35, 397-414.
17. Semenov, M.A., and Brooks, R.J., 1999: Spatial interpolation of the LARS-WG Stochastic Weather Generator in Great Britain. Climate Research 11, 137-148.
18. Thompson, C.S, and Mullan, A.B, 1995: Weather Generators. NIWA Internal report, 115- 120.
19. Wilks, D.S. 1992: Adapting stochastic weather generation algorithms for climate change studies. Climate Change. 22, 67-84.
20. 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.
21. Willby, R.L, Dawson, C.W, Barrow, EM, 2001: SDSM Version 3.1 –A decision support tool for the assessment of regional climate change impacts.